

УДК 550.4:546.882/.883

© Д. чл. УАГН Григорьев Н.А.

### НИОБАТЫ И ТАНТАЛАТЫ КАК НОСИТЕЛИ НИОБИЯ И ТАНТАЛА В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

*Институт геологии и геохимии Уральского Отделения РАН  
620151 Екатеринбург, Почтовый переулок, 7 E-mail: root @ igg. e-burg. su*

© Grigor'ev N.A.

### NIOBATES AND TANTALATES AS CARRIERS OF NIOBIUM AND TANTALUM IN THE UPPER CONTINENTAL CRUST'S

Автореферат

Роль ниобатов и танталатов как носителей Nb и Ta в верхней части континентальной коры определена по модели А.Б. Ронова и др. (1990). Расчет выполнен на основе больше чем 3416 количественных минералогических анализов важнейших горных пород опубликованных в СССР. Установлено, что в ниобатах сконцентрировано 0,72 % массы Nb. В том числе: в ильменорутиле - 0,26, в колумбите - 0,26, в пирохлоре - 0,03, в эвксените - 0,09, в фергусоните 0,06, в лопарите - 0,01, в блонстрандине - 0,01 %. В ниобатах и танталатах сконцентрировано 1,58 % массы Ta. В том числе: в ильменорутиле - 0,8, в колумбите - 0,34, в эвксените - 0,28, в пирохлоре - 0,02, в танталите - 0,1, в фергусоните - 0,02, в блонстрандине - 0,02 %. Эти цифры - минимально возможные.

**Ключевые слова:** ниобаты, танталаты, носители, ниобий, тантал, верхняя часть континентальной коры.

Abstract

The role of niobates and tantalates as carriers of Nb and Ta in the upper continental crust's has been defined by the model of A. B. Ronov et al.(1990). Calculation has been made by the base more than 3416 quantitative mineralogical analyses of important rocks, published in the USSR. It was established, that in the niobates concentration 0.72 % of masses Nb. In particular: in ilmenorutile - 0.26, in columbite - 0.26, in pirochlorite - 0.03, in euxenite - 0.09 %, in fergusonite - 0.06, in loparite - 0.01, in blomstrandite - 0.01. In the niobates and tantalates concentration 1.58 % of masses Ta. In particular: in ilmenorutile - 0.8, in columbite - 0.34, in euxenite - 0.28 in pirochlorite - 0.02, in tantalite - 0.1, in fergusonite - 0.02, in blomstrandite - 0.02. These figures a minimal from possible.

**Key words:** niobates and tantalates, carrier's, niobium, tantalum, upper continental crust.

Ниобаты и танталаты – наиболее перспективные источники Nb и Ta. Этим предопределена необходимость определения сконцентрированного в них резерва Nb и Ta.

Роль минералов в качестве носителей Nb и Ta изучали на примере гранитоидов, включая сиениты и пегматиты, кор выветривания гранитоидов и некоторых руд. Руды (Журавлева и др., 1976, Солодов и др., 1987, Григорьев, 1999) здесь не рассматриваем. На исследования горных пород оказало влияние представление о том, что Nb и Ta в земной коре в основном рассеяны в породообразующих минералах. Поэтому часть минеральных балансов Nb и Ta рассчитана с учетом только породообразующих минералов (Бровчук и др., 1969, Недашковский и др., 1969). Суммы учтенных долей масс Nb и Ta в таких неполных минеральных балансах варьируют от 11 до 115 %. Более корректные исследования (Еськова, 1959, Толок, 1964, Косалс, Мазуров, 1970, Косалс, 1976, Солодов и др., 1987, Чашухина и др., 1989, Григорьев, 1999) показали, что в большинстве случаев существенна роль акцессорных минералов. Кроме ниобатов и танталатов к ним относятся минералы: титановые, циркониевые, редкоземельные, ториевые, урановые, оловянные. Но только в ниобатах и танталатах содержание Nb и Ta стабильно высокое, хотя и варьирует. Поэтому ниже рассматриваются только эти минералы. Согласно имеющимся данным суммарные доли масс Nb, сконцентрированные в ниобатах варьируют от 0 до 94 %. Суммарные доли масс Ta варьируют: сконцентрированные в ниобатах - от 0 до 99%, сконцентрированные в танталатах – от 0 до 8 %. В целом же роль отмеченных минералов зависит от минерального состава и генезиса горных пород и от суммарного содержания Nb и Ta в последних (Григорьев, 1999). Для определения роли ниобатов и танталатов в качестве носителей Nb и Ta верхней части континентальной коры этих данных не достаточно. Но в литературе рассеяны результаты тысяч количественных определений содержаний акцессорных минералов в горных породах. Значительная их часть получена такими методами, которые обеспечивали возможность учета ниобатов и танталатов. Эта часть данных использована для решения вопроса.

## Исходные данные и методика расчетов

Расчет выполнен на базе фрагмента модели химического строения земной коры А.Б. Ронова и др. (1990), несколько детализированного автором (Григорьев, 2003). Верхняя часть континентальной коры рассматривается в составе двух слоев: осадочного и гранитно-гнейсового. Средние содержания Nb и Ta в магматических породах гранитно-гнейсового слоя - по Л.Н. Овчинникову (1990), остальные – авторские (Григорьев, 2003). Средние содержания Nb и Ta в минералах определено приблизительно по литературным данным. Средние содержания минералов в горных породах рассчитано по опубликованным результатам количественных минералогических анализов больше чем 3416 проб горных пород. Наиболее изучены: пески и песчаники осадочного слоя (>1164 проб), граниты (> 690 проб), сиениты (> 539 проб), гранодиориты и прочие гранитоиды повышенной основности (459 проб), базиты (>96 проб), метабазиты (> 84 проб), ультрабазиты (>84 проб), основные вулканиты (60 проб). Количество изученных проб по каждой из остальных горных пород или не известно, или меньше 50. Ниже перечислены главные источники исходных данных.

**Пески, песчаники:** Русской платформы, Северного Приуралья и Южного Урала от четвертичных до нижне-рифейских (Карякин, 1951, Ронов и др., 1963, Челышев и др., 1965, Ильин, Сыромятина, 1972, Сергеева, 1989, Кузнецов, 1992), Восточной Камчатки (Малиновский, 1990), Азербайджана и Приверхоанского прогиба (Справочное руководство, 1958), палеозойские Центрального Таджикистана (Бабкин, 1986). **Глины, сланцы:** Русской платформы от верхнепермских до плиоценовых (Саркисян, 1949, Челышев, 1965 Кузнецов, 1992), Западной Сибири юрские и четвертичные (Плуман, 1975, Шумилова, 1971). **Карбонатные породы** - известняки Русской платформы (Саркисян, 1949). **Кремнистые породы** харьковского яруса Украины (Карякин, 1954). **Вулканиты осадочного слоя** - кавказские и восточно-сибирские липариты, андезиты, базальты, порфириты: липарит-дацитовые андезитовые, долеритовые, диабазовые (Петров, 1945, Ляхович, Чирвинская, 1961, Ляхович, 1963, Држбашян, 1965, Мнацаканян, 1965, Ипатьева, Соловьев, 1982). **Граниты СССР** (Ляхович, 1967, Вигорова, Покровский, 1973,

Щербаков, 1975, Ипатьева, 1976, Бельков, 1979, Винокурова, 1982, Недашковский, 1982, Чашухина, 1991). **Гранодиориты СССР**, включая кварцевые диориты, диориты, плагиограниты (Ляхович, 1967, Туровский, Кокарев, 1968, Бартикян, 1968, Фишман и др., 1968 Чернышов, 1971, Щербаков, 1975, Бушляков, Соболев, 1976). **Сиениты СССР** (Туровский, Кокарев, 1968, Фишман, 1968, Бельков, 1979, Батиева, Бельков, 1984, 1985, Бельков и др., 1988, Еськова и др., 1964, Тихоненкова, 1982). **Базиты:** докембрийские габброиды Украинского щита (Чернышов, 1971, Чернышов, Плаксенко, 1982), уральские габброиды, габбро-диабазы, диабазы и порфириты (Соболев, 1965, 1968, Фишман и др., 1968), дальневосточные габбро (Недашковский, 1982). **Ультрабазиты:** уральские дуниты, пироксениты (Соболев, 1968) и перидотиты (Фишман и др., 1968), докембрийские дуниты, перидотиты, серпентиниты Украинского щита (Чернышов, 1971, Чернышов, Плаксенко, 1982). **Метапесчаники:** докембрийские метапесчаники, конгломераты, кварциты: Приполярного Урала (Фишман и др., 1966, Вигорова, Покровский, 1973, Крылова и др., 1986), Тувы (Ляхович, 1966), Украинского щита (Носырев и др., 1986), кварциты Киргизии (Кокарев и др., 1986). **Парагнейсы:** рифейские парасланцы Рудных Гор (Ермолаев и др., 1976), докембрийские парагнейсы и парасланцы Кольского полуострова, Украинского щита, Урала, Тувы (Ляхович, 1966, Вигорова, Покровский, 1973, Носырев и др., 1986, Вулканизм ..., 1987). **Метакарбонатные породы** - кальцифиры Украинского щита (Носырев и др., 1986). **Гранито-гнейсы:** Кольского полуострова, Урала и Юго-Восточной Тувы (Ляхович, 1966, 1967, Бельков и др., 1988), Дальнего Востока (Недашковский, 1982). **Метариолиты** - метаморфизованные кварцевые порфиры, кварцевые амфиболиты и метадациты Урала (Фишман и др., 1966, 1968, Гурбанов и др., 1999). **Метандезиты** - протерозойские безрудные амфиболиты вольфрамового месторождения на Северном Кавказе (Кременецкий, Овчинников, 1986) и часть докембрийских амфиболитов Украинского щита (Носырев и др., 1986). **Метабазиты:** метабазальты из уральской сверхглубокой скважины СГ-4 (Гурбанов, Бубнов, 1999), метадиабазы, аподиабазовые амфиболиты и зеленые сланцы Приполярного Урала (Фишман и др., 1966, Крылова и др., 1986), докембрийские габбро-амфиболиты и амфиболиты

Центрального Памира (Акрамов, Дусматов, 1986), аподиабазовые и апогнейсовые мигматиты Криворожской зоны (Троценко, 1975).

Ниобаты и танталаты были установлены только в гранитоидах (включая сиениты), в парасланцах и гранито-гнейсах. Расчет выполнен в предположении, что в остальных горных породах этих минералов нет.

### Распределение масс Nb и Ta в совокупности континентальных горных пород

Новые данные о среднем содержании Nb и Ta в континентальных породах (Григорьев, 2003) подробнее имевшихся раньше. Средние содержания Nb меньше, чем считалось. Новые данные по Ta близки к литературным. Сравним среднее содержание Nb и Ta в верхней части континентальной коры в мас. %: 0,0012 и 0,00014 (Григорьев, 2003); 0,0025 и 0,00022 (Тейлор, Мак-Леннан, 1988); 0,0026 и 0,00015 (Wedepohl, 1995). Распределение Nb и Ta в верхней части континентальной коры приближается к требованиям геохимического баланса. Их среднее содержание в совокупности континентальных осадочных пород (Nb – 0,00076 и Ta – 0,0001%) несколько меньше того, которое могло быть унаследовано от гранитно-гнейсового слоя современного состава (Nb - 0,0011, Ta – 0,00012 %, расчет изоалюминиевым методом). Но разница соизмерима с возможными погрешностями определений. Главные концентраторы: Nb – сиениты, Ta – граниты. Главные носители Nb и Ta - метаморфические породы гранитно-гнейсового слоя (табл.1). Из остальных горных пород наибольшую роль играют граниты, а также глины и глинистые сланцы.

### Доли масс ниобия и тантала, сконцентрированные в ниобатах и танталатах

Согласно полученным данным роль ниобатов как носителей Nb существенна в гранитно-гнейсовом слое и верхней части континентальной коры в целом (табл. 2). Она максимальная в сиенитах и гранитах, заметная в гранодиоритах (табл. 3). В парасланцах установлен ильменорутит (среднее содержание  $2 \cdot 10^{-7}$

%), а в гранитогнейсах – пироклор ( $2 \cdot 10^{-6}$  %). Сконцентрированные в них доли массы Nb соответственно: <0,01 и 0,08 %. Роль танталатов как носителей Nb во всех объектах ничтожна. Суммарные доли массы Ta, сконцентрированные в ниобатах гранитно-гнейсового слоя и верхней части континентальной коры больше соответствующих суммарных долей масс Nb (табл. 4). Это предопределяется в основном соответствующей ситуацией в гранитах и сиенитах (табл. 5). В парасланцах в ильменорутите сконцентрирована 0,01 % от всей имеющейся здесь массы Ta. В гранито-гнейсах на пироклор приходится 0,03 % всей массы Ta. Роль танталатов в качестве носителей Ta существенна только в сиенитах и гранитах.

Таблица 1

Распределение массы Nb и Ta в совокупности горных пород верхней части континентальной коры

| Горные породы                             | Масса пород, отн. % | Среднее содержание, $10^{-4}$ % |            | Доли массы, отн. % |               |
|---|---------------------|---------------------------------|------------|--------------------|---------------|
|   |                     | Nb                              | Ta         | Nb                 | Ta            |
| Пески и песчаники                         | 5,11                | 6,4                             | 1          | 2,66               | 3,64          |
| Глины и глинистые сланцы                  | 10,4                | 11                              | 1,4        | 9,32               | 10,36         |
| Карбонатные породы                        | 3,85                | 0,8                             | 0,1        | 0,25               | 0,27          |
| Кремнистые породы                         | 0,33                | Н.опр.                          | 0,3        | Н.опр.             | 0,07          |
| Эвапориты                                 | 0,26                | Н.опр.                          | Н.опр.     | Н.опр.             | Н.опр.        |
| Кислые вулканиты                          | 0,44                | 26                              | 1,8        | 0,93               | 0,56          |
| Средние вулканиты                         | 1,13                | 19                              | 1          | 1,75               | 0,8           |
| Основные вулканиты                        | 2,11                | 10                              | 0,8        | 1,72               | 1,2           |
| Граниты                                   | 8,21                | 21                              | 3,6        | 14,04              | 21,04         |
| Гранодиориты                              | 3,38                | 20                              | 2,8        | 5,51               | 6,74          |
| Базиты                                    | 1,5                 | 19                              | 0,74       | 2,32               | 0,79          |
| Сиениты                                   | 0,05                | 35                              | 2,1        | 0,14               | 0,08          |
| Ультрабазиты                              | 0,05                | 13                              | 0,41       | 0,05               | 0,01          |
| Метапесчаники                             | 2,92                | 7,1                             | 0,45       | 1,69               | 0,94          |
| Парагнейсы и парасланцы                   | 30,56               | 15                              | 1,1        | 37,33              | 23,93         |
| Метаморфизованные карбонатные породы      | 1,13                | 1,4                             | 0,3        | 0,13               | 0,24          |
| Железистые породы                         | 0,38                | 14                              | 0,3        | 0,43               | 0,08          |
| Гранито-гнейсы                            | 23,21               | 9,8                             | 1,6        | 18,52              | 26,43         |
| Метарнелиты                               | 0,66                | 14                              | 1,2        | 0,75               | 0,56          |
| Метаандезиты                              | 1,03                | 8,1                             | 1,3        | 0,68               | 0,95          |
| Метабазиты                                | 3,29                | 6,8                             | 0,56       | 1,82               | 1,31          |
| <b>Верхняя часть континентальной коры</b> | <b>100</b>          | <b>12</b>                       | <b>1,4</b> | <b>100,04</b>      | <b>100,00</b> |
| Осадочные породы                          | 19,95               | 7,55                            | 1,01       | 12,23              | 14,34         |
| Вулканиты осадочного слоя                 | 3,68                | 14,7                            | 0,98       | 4,4                | 2,56          |

Продолжение таблицы 1

| Горные породы                      | Масса пород, отн. % | Среднее содержание, 10 <sup>-4</sup> % |      | Доли массы, отн. % |       |
|------------------------------------|---------------------|--|------|--------------------|-------|
|                                    |                     | Nb                                     | Ta   | Nb                 | Ta    |
| Осадочный слой                     | 23,23               | 8,65                                   | 1,01 | 16,63              | 16,90 |
| Магматиты гранитно-гнейсового слоя | 13,19               | 20,54                                  | 3,05 | 22,06              | 28,66 |
| Параметаморфические породы         | 34,99               | 13,89                                  | 1,01 | 39,58              | 25,19 |
| Ортометаморфические породы         | 28,19               | 9,48                                   | 1,46 | 21,77              | 29,25 |
| Гранитно-гнейсовый слой            | 76,37               | 13,41                                  | 1,53 | 83,41              | 83,10 |

Таблица 2

Роль ниобатов и танталатов как носителей Nb в верхней части континентальной коры

| Минералы     | Среднее содержание Nb, % | Гранитно-гнейсовый слой |                  | Верхняя часть континентальной коры |                  |
|--------------|--------------------------|-------------------------|------------------|------------------------------------|------------------|
|              |                          | Содержание минералов, % | Доли массы Nb, % | Содержание минералов, %            | Доли массы Nb, % |
| Микролит     | 2,6                      | 1·10 <sup>-8</sup>      | <0,01            | 7,6·10 <sup>-9</sup>               | <0,01            |
| Делоренцит   | 2,9                      | 8,6·10 <sup>-9</sup>    | <0,01            | 6,6·10 <sup>-9</sup>               | <0,01            |
| Лопарит      | 6,4                      | 1,3·10 <sup>-6</sup>    | 0,01             | 1·10 <sup>-6</sup>                 | <0,01            |
| Велерит      | 7,5                      | 1,7·10 <sup>-11</sup>   | <0,01            | 1,3·10 <sup>-11</sup>              | <0,01            |
| Танталит     | 11,2                     | 3,5·10 <sup>-7</sup>    | <0,01            | 2,6·10 <sup>-7</sup>               | <0,01            |
| Бломстрандин | 11,7                     | 1,2·10 <sup>-6</sup>    | 0,01             | 9·10 <sup>-7</sup>                 | 0,01             |
| Ильменорутит | 12,6                     | 3,3·10 <sup>-5</sup>    | 0,32             | 2,5·10 <sup>-5</sup>               | 0,26             |
| Эвксенит     | 16,5                     | 8,6·10 <sup>-6</sup>    | 0,11             | 6,6·10 <sup>-6</sup>               | 0,09             |
| Фергусонит   | 30,6                     | 3,1·10 <sup>-6</sup>    | 0,07             | 2,4·10 <sup>-6</sup>               | 0,06             |
| Пироклор     | 39,6                     | 1,3·10 <sup>-6</sup>    | 0,04             | 1·10 <sup>-6</sup>                 | 0,03             |
| Колумбит     | 46,9                     | 8,6·10 <sup>-6</sup>    | 0,31             | 6,6·10 <sup>-6</sup>               | 0,26             |
| Сумма        |                          | 6,5·10 <sup>-5</sup>    | 0,87             | 5,2·10 <sup>-5</sup>               | 0,72             |

Таблица 3

Доли масс Nb, сконцентрированные в ниобатах и танталатах гранитоидов в %

| Минералы     | Граниты                      | Гранодиориты                 | Сиениты                      | Гранитоиды в целом           |
|--------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Микролит     | <0,01 (1·10 <sup>-7</sup> )  | Н.опр.                       | Н.опр.                       | <0,01 (6·10 <sup>-8</sup> )  |
| Делоренцит   | Н.опр.                       | Н.опр.                       | 0,01 (1,3·10 <sup>-5</sup> ) | <0,01 (5·10 <sup>-8</sup> )  |
| Лопарит      | 0,01 (1,8·10 <sup>-6</sup> ) | <0,01 (6·10 <sup>-7</sup> )  | 3,11 (0,0017)                | 0,02 (7,7·10 <sup>-6</sup> ) |
| Велерит      | Н.опр.                       | Н.опр.                       | <0,01 (1·10 <sup>-7</sup> )  | <0,01 (4·10 <sup>-9</sup> )  |
| Танталит     | 0,02 (3·10 <sup>-6</sup> )   | Н.опр.                       | Н.опр.                       | 0,01 (2·10 <sup>-6</sup> )   |
| Бломстрандин | 0,05 (8,7·10 <sup>-6</sup> ) | Н.опр.                       | 1,1 (3,3·10 <sup>-4</sup> )  | 0,04 (6,7·10 <sup>-6</sup> ) |
| Ильменорутит | 1,8 (0,0003)                 | 0,11 (1,8·10 <sup>-5</sup> ) | Н.опр.                       | 1,17 (1,9·10 <sup>-4</sup> ) |
| Эвксенит     | 0,63 (8·10 <sup>-5</sup> )   | Н.опр.                       | <0,01 (8·10 <sup>-8</sup> )  | 0,4 (5·10 <sup>-5</sup> )    |
| Фергусонит   | 0,22 (1,5·10 <sup>-5</sup> ) | 0,49 (3,2·10 <sup>-5</sup> ) | 0,03 (3,8·10 <sup>-6</sup> ) | 0,27 (1,8·10 <sup>-5</sup> ) |
| Пироклор     | 0,09 (5·10 <sup>-6</sup> )   | 0,04 (2·10 <sup>-6</sup> )   | 1,13 (0,0001)                | 0,08 (4·10 <sup>-6</sup> )   |
| Колумбит     | 1,79 (8·10 <sup>-5</sup> )   | Н.опр.                       | Н.опр.                       | 1,14 (5·10 <sup>-5</sup> )   |
| Сумма        | 4,61                         | 0,64                         | 5,38                         | 3,13                         |

Примечание: в скобках дано содержание минералов в %.

Таблица 4

Роль ниобатов и танталатов как носителей Ta в верхней части континентальной коры

| Минералы     | Содержание Ta, % | Гранитно-гнейсовый слой |                  | Верхняя часть континентальной коры |                  |
|--------------|------------------|-------------------------|------------------|------------------------------------|------------------|
|              |                  | Содержание минералов, % | Доли массы Ta, % | Содержание минералов, %            | Доли массы Ta, % |
| Велерит      | 0,15             | 1,7·10 <sup>-11</sup>   | <0,01            | 1,3·10 <sup>-11</sup>              | <0,01            |
| Лопарит      | 0,55             | 1,3·10 <sup>-6</sup>    | <0,01            | 1·10 <sup>-6</sup>                 | <0,01            |
| Фергусонит   | 1                | 3,1·10 <sup>-6</sup>    | 0,02             | 2,4·10 <sup>-6</sup>               | 0,02             |
| Пироклор     | 2,1              | 1,3·10 <sup>-6</sup>    | 0,02             | 1·10 <sup>-6</sup>                 | 0,02             |
| Бломстрандин | 2,7              | 1,2·10 <sup>-6</sup>    | 0,02             | 9·10 <sup>-7</sup>                 | 0,02             |
| Ильменорутит | 4,5              | 3,3·10 <sup>-5</sup>    | 0,99             | 2,5·10 <sup>-5</sup>               | 0,8              |
| Эвксенит     | 5,9              | 8,6·10 <sup>-6</sup>    | 0,34             | 6,6·10 <sup>-6</sup>               | 0,28             |
| Колумбит     | 7,2              | 8,6·10 <sup>-6</sup>    | 0,41             | 6,6·10 <sup>-6</sup>               | 0,34             |
| Делоренцит   | 28,8             | 8,6·10 <sup>-9</sup>    | <0,01            | 6,6·10 <sup>-9</sup>               | <0,01            |
| Танталит     | 51,5             | 3,5·10 <sup>-7</sup>    | 0,12             | 2,6·10 <sup>-7</sup>               | 0,1              |
| Микролит     | 58,5             | 1·10 <sup>-8</sup>      | <0,01            | 7,6·10 <sup>-9</sup>               | <0,01            |
| Всего        |                  | 6,5·10 <sup>-5</sup>    | 1,92             | 4,9·10 <sup>-5</sup>               | 1,58             |

Таблица 5

Доли масс Ta, сконцентрированные в ниобатах и танталатах гранитоидов в %

| Минералы     | Граниты | Гранодиориты | Сиениты | Гранитоиды в целом |
|--------------|---------|--------------|---------|--------------------|
| Велерит      | <0,01   | Н.опр.       | Н.опр.  | <0,01              |
| Лопарит      | <0,01   | <0,01        | 4,45    | 0,01               |
| Фергусонит   | 0,04    | 0,11         | 0,02    | 0,06               |
| Пироклор     | 0,03    | 0,02         | 1       | 0,03               |
| Бломстрандин | 0,07    | Н.опр.       | 4,24    | 0,06               |
| Ильменорутит | 3,75    | 0,29         | Н.опр.  | 2,85               |
| Эвксенит     | 1,31    | Н.опр.       | <0,01   | 0,98               |
| Колумбит     | 1,6     | Н.опр.       | Н.опр.  | 1,2                |
| Делоренцит   | Н.опр.  | Н.опр.       | 1,78    | <0,01              |
| Танталит     | 0,43    | Н.опр.       | Н.опр.  | 0,34               |
| Микролит     | 0,02    | Н.опр.       | Н.опр.  | 0,01               |
| Всего        | 7,25    | 0,42         | 11,49   | 5,54               |

### Обсуждение полученных данных

Исходные данные получены микрообогатительными методами. Они допускали учет эндогенных ниобатов и танталатов. Но не исключено, что эта возможность не всегда была реализована. В частности, - при изучении осадочных пород. По физиче-

ским свойствам эндогенные ниобаты и танталаты похожи на более распространенные минералы (титановые, редкоземельные и другие). Исследования уральских минералогов (включая автора) показали что частицы некоторых ниобатов и танталатов существенно изменяют внешний вид уже в начальные стадии выветривания. В каолинит-гидрослюдистых зонах кор выветривания они представлены частицами неправильной формы с землистыми поверхностями. Правильная диагностика таких частиц возможна только при специально поставленных исследованиях. Экзогенные же ниобиевые и танталовые минералы вообще изучены слабо. Они известны в виде охристых образований. Учет их использованными методами практически исключен. Кроме того отметим, что при количественных анализах учитывали лишь частицы аксессуарных минералов крупностью 50-250 мкм или > 30-50 мкм. Таким образом, исходные данные соответствуют не истинным, а минимально возможным значениям содержания ниобатов и танталатов в горных породах.

Согласно полученным данным доли масс Nb, сконцентрированные в ниобатах, больше долей масс Ta, сконцентрированных в танталатах. Вместе с тем, роль ниобатов как носителей в отношении Nb меньше чем в отношении Ta. Разница не выходит за пределы возможных погрешностей. И тем не менее, она вероятно отражает реальную ситуацию. Учтем два обстоятельства. Первое – абсолютные величины сконцентрированных в ниобатах масс Nb, больше сконцентрированных здесь масс Ta. Второе – роль ниобатов в отношении Ta практически аналогична роли титановых минералов в отношении Nb. Определение же последней не было задачей данного исследования.

Анализ отмеченных выше данных о минеральных балансах Nb и Ta в различных горных породах показал, что роль ниобатов и танталатов в целом уменьшается при увеличении содержания таких титановых минералов как ильменит и титанит а также биотита, амфиболов и некоторых других. В гранитоидах и корах их выветривания, характеризующихся пониженными или умеренными содержаниями этих минералов, ниобаты появляются при содержании Nb близком к кларковому. Главными носителями Nb и Ta ниобаты и танталаты бывают при содержаниях данных элементов в горных породах, превосходящих кларковые в десятки и сотни раз. Новые данные не противоре-

чат этому положению.

## Выводы

Установлено, что в верхней части континентальной коры в ниобатах сконцентрировано 0,72 % массы Nb. В том числе: в ильменорутиле - 0,26, в колумбите – 0,26, в пирохлоре – 0,03, в эвксените – 0,09, в фергусоните 0,06, в лопарите – 0,01, в блонстрандине – 0,01 %. В ниобатах и танталатах сконцентрировано 1,58 % массы Ta. В том числе: в ильменорутиле – 0,8, в колумбите – 0,34, в эвксените – 0,28, в пирохлоре – 0,02, в танталите – 0,1, в фергусоните – 0,02, в блонстрандине – 0,02 %. Эти цифры – минимально возможные.

Роль ниобатов и танталатов как носителей Nb и Ta максимальная в гранитах и сиенитах, значительная в гранодиоритах (включая другие гранитоиды повышенной основности). Вопрос о роли их в других континентальных породах остается открытым.

Сконцентрированные в ниобатах и танталатах массы Nb и Ta - значительны. Распределение этих масс неравномерное.

## Литература

1. **Акрамов Б.М., Дусматов В.Д.** Аксессуарные минералы докембрийских ортоамфиболитов Центрального Памира // Аксессуарные минералы докембрия. М.: Наука. 1986. С.170-175.
2. **Бабкин В.Ф.** Минералы тяжелой фракции терригенных образований палеозоя (Центральный Таджикистан) // Минеральные кларки и природа их устойчивости. Душанбе. Дониш. 1986. С. 145-146.
3. **Бартиян М.П.** Аксессуарные минералы Шамшадинской группы интрузивов (Армения) // Аксессуарные минералы изверженных пород. М.: Наука, 1968. С. 108-115.
4. **Батиева И.Д., Бельков И.В.** Сахарйокский щелочной массив, слагающие его горные породы и минералы. Апатиты. 1984. 133 с.
5. **Батиева И.Д., Бельков И.В.** Закономерности концентрации рудных элементов в связи со щелочными гранитоидами Кольского полуострова. // Закономерности концентрации рудных элементов в гранитоидных формациях Карело-Кольского региона. Апатиты. 1985. С. 62-72.
6. **Бельков И.В.** Аксессуарные минералы гранитоидов Кольского полуострова. Л.: Наука. 1979. 185с.
7. **Бельков И.В., Батиева И.Д., Виноградова Г.В., Виноградов А.Н.** Минерализация и флюидный режим контактовых зон интрузий щелочных гранитов. Апатиты. 1988. 110 с.

**8. Бровчук И.Ф., Недашковский П.Г., Овчарек Э.С.** Возрастные взаимоотношения палеозойских гранитоидов Малого Хингана и распределение в них тантала и ниобия // Геохимические циклы Дальнего Востока. Владивосток. 1969. С. 77-82.

**9. Бушляков И.Н., Соболев И.Д.** Петрология, минералогия и геохимия гранитоидов Верхисетского массива. М. Наука. 1976. 339 с.

**10. Вигорова В.Г., Покровский П.В.** Некоторые особенности акцессорной минерализации гранитоидов центральной и восточной части Приполярного Урала // Геология и полезные ископаемые северо-востока европейской части СССР и севера Урала. Сыктывкар. 1973. Т. 2. С. 334-340.

**11. Винокурова Т.Н., Долгушина А.А., Амшинский Н.Н. и др.** Акцессории гранитоидов области сочленения структур Алтая, Западного Саяна и Западной Тувы. // Акцессорные минералы магматических и метаморфических пород. М.: Наука. 1982. С. 40-52.

**12. Вулканизм и седиментогенез докембрия северо-востока Балтийского щита / А.А.Предковский, В.А. Мележик, В.В. Болотов и др. Л.: Наука. 1987, 185 с.**

**13. Григорьев Н.А.** Введение в минералогическую геохимию. Екатеринбург. 1999. 302с.

**14. Григорьев Н.А.** Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры. Геохимия, № 7, 2003 г. С. 785-792.

**15. Гурбанов А.Г., Бубнов С.Н., Гольцман Ю.В. и др.** Петрогенезис и возраст вулканических образований Именновской свиты в разрезе Уральской сверхглубокой скважины по изотопным и геохимическим данным (интервал 0-4617 м) // Научное бурение в России. Результаты бурения и исследований Уральской сверхглубокой скважины (СГ-4). Ярославль. 1999. Вып. 5. С. 132-168.

**16. Држбашян Р.Т.** Акцессорные элементы и минералы эффузивных образований Базумского хребта как индикаторы их металлогенической специализации // Акцессорные минералы и элементы как критерий комагматичности и металлогенической специализации магматических комплексов. М.: Наука. 1965. С. 79-101.

**17. Ермолаев Н.П., Величкин В.И., Аверина А.С., Лактионова Н.В.** Геохимические особенности гранитизации в Рудных Горах // Геохимия. 1976. № 5. С. 696-707.

**18. Еськова Е.М.** К геохимии Nb и Ta в массивах нефелиновых сиенитов Вишневых Гор. // Геохимия. 1959, № 2. С. 131-139.

**19. Еськова Е.М., Жабин А.Г., Мухитдинов Г.Н.** Минералогия и геохимия редких элементов Вишневых Гор. М.: Наука. 1964. 319 с.

**20. Журавлева Л.Н., Березина Л.А., Гулин Е.Н.** Особенности геохимии редких и радиоактивных элементов в апатит-магнетитовых рудах ультраосновных-щелочных комплексов. Геохимия. 1976. № 10. С. 1512-1532.

**21. Ильин В.А., Сыромятина Н.Д.** Минералогические особенности четвертичных отложений и их зависимость от подстилающих коренных пород // Четвертичная геология и геоморфология восточной части Балтийского щита. Л.: Наука. 1972. С. 102-108.

**22. Ипатьева И.С.** Акцессорные минералы позднемезозойских гранитоидов северо-востока СССР. Новосибирск: Наука. 1976. 110 с.

**23. Ипатьева И.С., Соловьев В.И.** Акцессорные минералы вулканических и интрузивных пород Березовской зоны (северо-восток СССР) // Акцессорные минералы магматических и метаморфических пород. М.: Наука. 1982. С. 111-118.

**24. Карякин Л.И.** Минеральный состав песков харьковского яруса в пределах УССР и их генезис // Записки Всесоюзного минералогического общества. 1951. №3. С. 191-201.

**25. Кокарев Г.Н., Смирнов А.А., Шуляева Л.Н.** Акцессорные минералы докембрийских пород Макбала (Киргизский хребет) // Акцессорные минералы докембрия. М.: Наука. 1986. С. 151-152.

**26. Косалс Я.А.** Геохимия амазонитовых апогранитов. Новосибирск: Наука. 1976. 190с.

**27. Косалс Я.А., Мазуров М.П.** Поведение молибдена, вольфрама, олова, ниобия и тантала в процессе становления Биту-Джидинского гранитного массива (Ю.З. Прибайкалье) // Геохимия, 1970, № 6. С. 731-743.

**28. Кременецкий А.А., Овчинников Л.Н.** Геохимия глубинных пород. М.: Наука. 1986. 262с.

**29. Крылова Г.И., Кокарев Г.Н., Сучкова Е.М., Хетчиков Л.Н.** Видовой состав и распространенность акцессорных минералов в докембрийских породах хрусталеносных районов Урала // Акцессорные минералы докембрия. М.: Наука. 1986. С. 45-85.

**30. Кузнецов А.П.** Терригенная минералогия пород фанерозоя бассейна Курской Магнитной Аномалии // Литология и полезные ископаемые. 1992. №2. С. 90-114.

**31. Ляхович В.В.** Акцессорные минералы эффузивных и субэффузивных пород // Известия АН СССР. Сер. геол. 1963. № 12. С. 80-90.

**32. Ляхович В.В.** Акцессорные минералы гнейсов // Минералогический сборник Львовского Государственного Университета. 1966. Вып. 2. № 20. С. 199-208.

**33. Ляхович В.В.** Акцессорные минералы в гранитоидах Советского Союза, М.: Наука. 1967. 448 с.

**34. Ляхович В.В., Червинская А.Д.** Акцессорные минералы в гранитоидах Тырны-Ауза

**35. Малиновский А.И.** Псефиты молассы Олюторского прогиба Восточной Камчатки // Литогенез и рудообразование в древних и современных морских бассейнах Дальнего Востока. Владивосток. 1990. С.55-59.

**36. Мнацаканян А.Х.** Акцессорно-минералогические и геохимические особенности меловых вулканических серий Северной Армении как индикаторы комагматичности и металлогенической специализации вулканических комплексов // Акцессорные минералы и элементы как критерий комагматичности и металлогенической специализации магматических комплексов. М. Наука. 1965. С. 39-78.

**37. Недашковский П.Г.** Акцессорные минералы разнотипных гранитоидов Дальнего Востока // Акцессорные минералы магматических и метаморфических пород. М.: Наука. 1982. С. 73-83.

**38. Недашковский П.Г., Дербаремдикер М.М., Славкина С.П. и др.** Распределение акцессорных элементов в гранитоидах Улканского массива // Геохимические циклы Дальнего Востока. Владивосток. 1969. С. 65-76.

**39. Носырев И.В., Робул В.М., Голуб П.Я. и др.** Акцессорные минералы метаморфических пород Украинского Щита // Акцессорные минералы докембрия. М.: Наука. 1986. С. 34-45.

**40. Овчинников Л.Н.** Прикладная геохимия. М. Недра. 1990. 248 с.

**41. Петров Р.П.** Анортоклаз с верховьев реки Галов (северо-восток СССР). // Записки Всесоюзного Минералогического общества. 1945. Ч.74. Вып. 3. С. 205-214.

**42. Плуман И.И.** Распределение урана, тория и калия в отложениях Западно-Сибирской плиты // Геохимия. 1975. №5. С. 756-767.

**43. Ронов Б.А., Михайловская М.С., Солодкова И.И.** Эволюция химического и минерального состава песчаных пород // Химия земной коры, т.1. М.: Изд. АН СССР. 1963. С. 201-252.

**44. Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А.** Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М.: Наука. 1990. 182 с.

**45. Саркисян С.Г.** Петрографо-минералогические исследования верхнепермских и триасовых пестроцветных отложений Приуралья. М.Л.: Изд. АН СССР. 1949. 191 с.

**46. Сергеева Н.Д.** Акцессорные минералы терригенных толщ // Нижний рифей Южного Урала / Козлов В.И., Краснобаев А.А., Ларионов Н.Н. и др. М.: Наука. 1989, С. 148-166.

**47. Соболев С.Ф.** Габбро-тоналитовый комплекс Полярного Урала. М.: Наука. 1965. 163 с.

**48. Соболев С.Ф.** Акцессорные минералы ультраосновных и основных пород Урала // Акцессорные минералы изверженных пород. М.: Наука. 1968. 236-248 с.

**49. Солодов Н.А., Семенов Е.И., Бурков В.В.** Геологический справочник по тяжелым литофильным редким элементам. М.: Недра. 1987. 439 с.

**50. Справочное руководство по петрографии осадочных пород.** Т. 2. Л.: Гостоптехиздат. 1958. 519 с.

**51. Тейлор С.Р., Мак-Леннон С.М.** Континентальная кора, ее состав и эволюция. М., Мир, 1988, с. 379.

**52. Тихоненкова Р.П.** Средние содержания акцессорных минералов щелочных пород как индикатор их формационной принадлежности. // Акцессорные минералы магматических и метаморфических пород. М.: Наука. 1982. С. 83-96.

**53. Толлок А.А.** Геохимические особенности Погинского массива нефелиновых сиенитов в Приморье. // Геохимия. 1964. № 12. С. 1256-1260.

**54. Трощенко И.Н.** Геохимические признаки унаследованности состава мигматитов (на примере обрамления Криворожской зоны). Геохимия. №10. 1975. С. 1552-1567.

**55. Туровский С.Д., Кокарев Г.Н.** Акцессорные минералы палеозойских интрузивных комплексов Северного Тянь-Шаня // Акцессорные минералы изверженных пород. М.: Наука. 1968. С. 130-141.

**56. Фишман М.В., Голдин Б.А., Юшкин Н.П., Калинин Е.П.** Акцессорные минералы в горных породах южной части Печорского Урала // Петрография и минералогия Приполярного Урала и Тимана. Л.-М.: Наука. 1966. С. 3-63.

**57. Фишман М.В., Юшкин Н.П., Голдин Б.А., Калинин Е.П.** Минералогия, типоморфизм и генезис акцессорных минералов изверженных пород севера Урала и Тимана Л.: Наука. 1968. 251с.

**58. Чащухина В.А.** Минеральный баланс циркония в некоторых гранитоидах различной формационной принадлежности // Минеральный баланс химических элементов в горных породах и рудах Урала. Свердловск. Вып. 2. 1991. С. 54-58.

**59. Чащухина В.А., Вигорова В.Г., Траянова М.В.** Роль акцессорных минералов в балансе ниобия // Минеральный баланс химических элементов в горных породах и рудах Урала. Свердловск. 1989. С.80-85

**60. Чельшев В.И., Мельникова Е.М., Беляев В.В.** Минералогические особенности бызовской свиты Северного Приуралья // Геология северо-востока Русской платформы и Приполярного Урала. Сыктывкар: Коми книжное издательство. 1965.С. 41-52.

**61. Чорнышов Н.М.** Сульфидные медно-никелевые месторождения юго-востока Воронежского кристаллического массива. Воронеж: Издательство Воронежского Университета. 1971. 312 с.

**62. Чернышов Н.М. Плаксенко А.Н.** Акцессорные минералы дифференцированных габбро-норит-гипербазитовых интрузий Воронежского кристаллического массива.// Акцессорные минералы магматических и метаморфических пород. М.: Наука. 1982. С. 96-111.

**63. Шумилова Е.В.** Минералого-петрографическая характеристика четвертичных доказанцевских отложений севера Западной Сибири. М.: Наука. 1971. 157с.

**64. Щербаков И.Б.** Петрография докембрийских пород центральной части Украинского Щита. Киев : Наукова Думка. 1975. 279 с.

**65. Wedepohl K.H.** The Composition of the Continental Crust. Geochimica et Cosmochimica Acta № 7, v. 59. 1995. P. 1217-1232.