

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**К. А. Савко, И. П. Лебедев**

**МЕСТОРОЖДЕНИЯ  
РЕДКИХ И РАССЕЯННЫХ  
ЭЛЕМЕНТОВ**

Учебное пособие для вузов

Воронеж  
Издательский дом ВГУ  
2015

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| Введение.....  | 4  |
| 1. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЛИТОФИЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ.....                     | 6  |
| 1.1. Литий (Li).....   | 6  |
| 1.2. Рубидий (Rb) и цезий (Cs).....                            | 11 |
| 1.3. Бериллий (Be) .....                                       | 12 |
| 1.4. Цирконий и гафний (Zr и Hf).....                          | 19 |
| 1.5. Ниобий и тантал (Nb и Ta) .....                           | 20 |
| 1.6. Редкоземельные элементы (иттрий и лантаноиды Y и TR)..... | 28 |
| 1.7. Рений (Re) .....  | 36 |
| 2. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХАЛЬКОФИЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ .....                  | 38 |
| 2.1. Кадмий (Cd) .....   | 38 |
| 2.2. Галлий (Ga) .....   | 39 |
| 2.3. Индий (In) .....  | 40 |
| 2.4. Таллий (Tl) .....   | 41 |
| 2.5. Германий (Ge).....  | 43 |
| 2.6. Селен (Se).....   | 45 |
| 2.7. Теллур (Te).....  | 46 |
| 3. МЕСТОРОЖДЕНИЯ СИДЕРОФИЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ.....                   | 48 |
| 3.1. Скандий (Sc) .....  | 48 |
| Литература .....   | 53 |

# 1. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЛИТОФИЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

## 1.1. ЛИТИЙ (Li)

### Общие сведения, свойства

Литий – элемент первой группы таблицы Д. Менделеева, имеет порядковый номер 3; открыт в 1817 г. шведским химиком А. Арфедсоном в петалите.

Природный литий – смесь двух изотопов  $Li^6$  и  $Li^7$ . Плотность лития –  $0,5 \text{ г/см}^3$ , температура плавления  $180 \text{ }^\circ\text{C}$ , кипения –  $1317 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Литий обладает пластичностью и вязкостью, твердость 0,6. Он легко сплавляется почти со всеми металлами, образуя твердые растворы или интерметаллические соединения.

### Области применения

Традиционными областями использования лития являются военная техника, стекольная и керамическая отрасли промышленности, производство флюсов, припоев, смазок, щелочных аккумуляторов, приборов для кондиционирования воздуха. В последние годы литий нашел применение при получении алюминия, наметились большие перспективы его использования в легких конструкционных материалах.  $Li^6$  – единственный источник получения радиоактивного изотопа водорода-третия – основного «горючего» компонента водородных бомб. Литий – теплоноситель ядерных реакторов благодаря большой разнице между температурой плавления и кипения.

### Геохимия и минералогия

Кларк лития 27 г/т. Содержание его в магматических породах возрастает от ультраосновных к кислым породам. Всего установлено 54 минерала лития. Большинство минералов представлено силикатами и фосфатами. В половине всех минералов лития, в том числе в большинстве его силикатов, К и Na, реже Cs и Rb находятся в формульных количествах, могут присутствовать Ca, Ba и Sr; особенно характерен гетеровалентный изоморфизм. В природе наиболее широко проявлено изоморфное замещение литием магния и двухвалентного железа.

Главными промышленными минералами являются: сподумен  $LiAlSi_2O_6$  (содержание лития 5,8–7,6 %), лепидолит (лития 3,2–4,4 %), петалит  $LiAlSi_4O_{10}$  (лития 3,4–4,1 %), амблигонит-монтебразит  $LiAlPO_4F$  (лития 4,6–9,1 %).

В богатых рудах содержание  $Li_2O$  1,3–1,5 %, редко достигает 2 %, в бедных – 0,6–1 %.

### Промышленные типы месторождений

Промышленные концентрации лития образуются как в эндогенных, так и экзогенных процессах рудообразования. Ведущими промышленными типами месторождений являются гранитные пегматиты, а также природные высокоминерализованные воды (рапа соляных озер, рассолы, термальные воды). Меньшее значение имеют грейзеновые и гидротермальные месторождения.

## ЭНДОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

### *Месторождения гранитных пегматитов*

*Альбит-сподуменовые пегматиты с колумбитом и бериллом.* Наиболее характерные месторождения этого типа находятся в России (Колмозерское, Полмостундровское, Тастыгское), известны в США (Кингз-Маунтин) и Афганистане (Дарае-Пич). Месторождения приурочены к метаморфическим, реже интрузивным породам разного возраста от протерозоя до мезозоя.

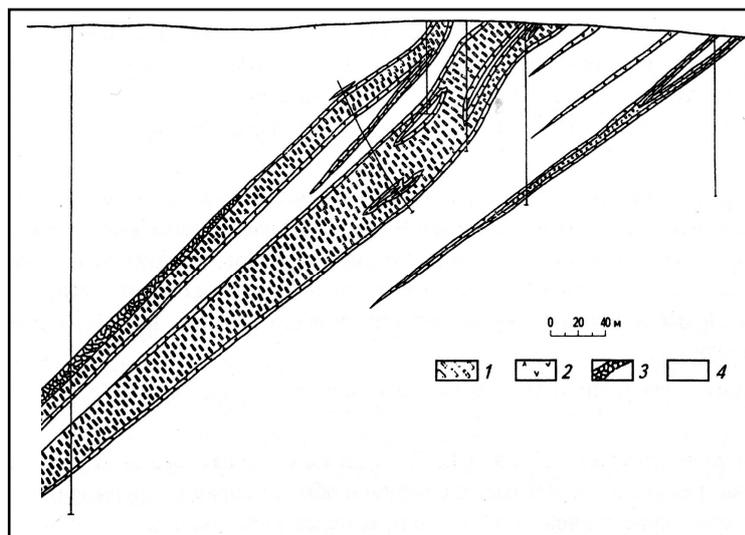
Альбит-сподуменовые пегматиты группируются в протяженные зоны. Форма рудных тел – плитообразные жилы с раздувами. Протяженность пегматитовых жил 500–3000 м, мощность 10–40 м. Залегание жил, как правило, согласное с региональным простиранием пегматитового поля.

Главные минералы – кварц, альбит и сподумен, количество микроклина не превышает 15 %; из второстепенных минералов встречаются мусковит, турмалин, апатит, касситерит, гранат. Наряду со сподуменом нередко присутствуют берилл, колумбит и др.

Альбит-сподуменовые пегматиты характеризуются наименее отчетливой зональностью и самой низкой степенью дифференциации. В их внутреннем строении принимают участие всего три зоны: мелкозернистая кварц-альбитовая, кварц-альбит-сподуменовая и блокового микроклина (рис. 1).

Альбит-сподуменовые пегматиты представляют собой крупные месторождения лития (с попутным извлечением Та и Ве). Сподумен образует крупные кристаллы размером до 50 см, редко до 2 м.

Среднее содержание  $Li_2O$  – 1–1,5 %. Запасы  $Li_2O$  исчисляются сотнями тысяч тонн.



*Рис.1.* Геологический разрез по жилам альбит-сподуменового пегматита (Н.А. Солодов, 1957):

1 – кварц-альбит-сподуменовая зона; 2 – среднезернистая кварц-альбитовая зона; 3 – интенсивно выщелоченный кавернозный пегматит; 4 – габбро-анортозит

*Сподумен-микроклин-альбитовые пегматиты* с лепидолитом, петалитом, поллуцитом, танталатами и бериллом представляют один из наиболее важных типов промышленных редкометальных месторождений. Они известны во многих пегматитовых полях мира от позднеархейской до герцинской эпох. К месторождениям этого типа относятся Бикита (Зимбабве), Карибиб (Намибия), Берник-Лейк (Канада), Васин-Мыльк (Россия) и др. Обычно сподумен-микроклин-альбитовые пегматиты залегают в метаморфических породах и ассоциируют с микроклиновыми, микроклин-альбитовыми и альбитовыми разностями. При этом они более удалены от магматического очага, чем микроклиновые и микроклин-альбитовые пегматиты. Месторождения представлены крупными линзо- и жиллообразными телами. Длина их измеряется многими сотнями метров (в отдельных случаях превышает 1 км), мощность 5–50 м (иногда до 150 м).

*Сподумен-микроклин-альбитовые пегматиты* отличаются от всех типов пегматитов наибольшей сложностью минерального состава. Наряду с главными минералами – альбитом, микроклином и кварцем – в жилах присутствуют мусковит, апатит, гранат, турмалин. Редкометальные минералы представлены сподуменом, петалитом, лепидолитом, амблигонитом, эвкрипитом, поллуцитом, бериллом, танталитом и др.

Внутреннее строение рассматриваемых пегматитов характеризуется самой высокой степенью дифференциации (рис. 2): в отдельных жилах выделяется 11 зон, в большинстве пегматитов 3–7 зон.

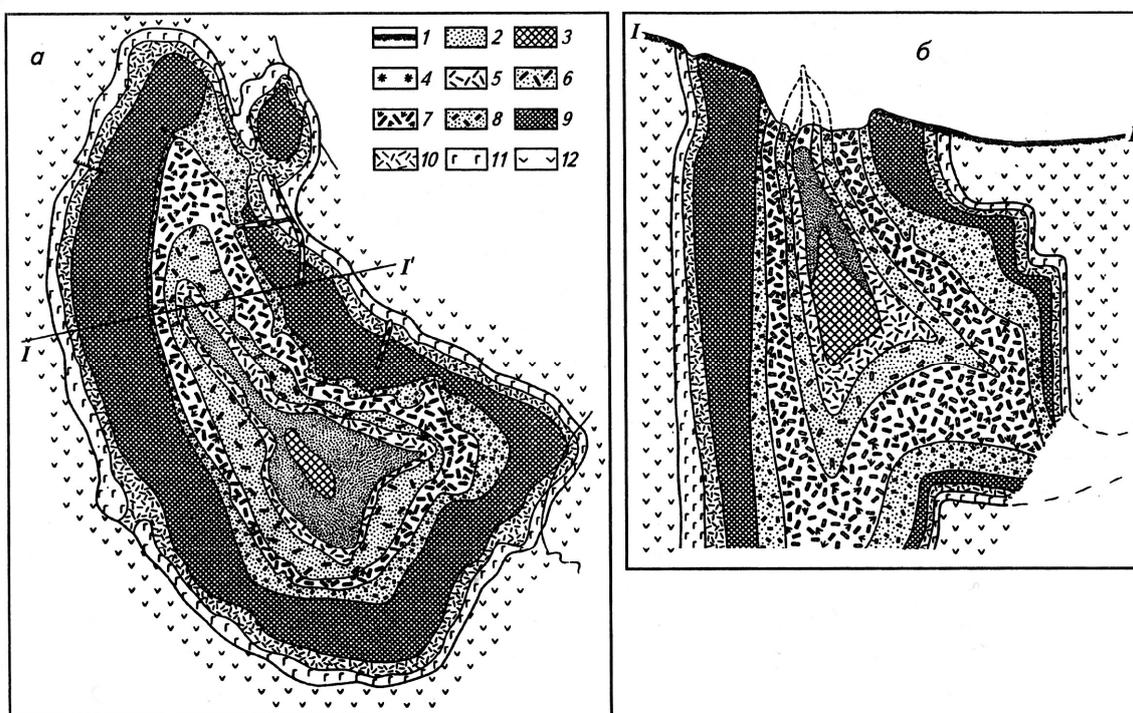


Рис. 2. Геологический план (а) и разрез (б) по жиле сподумен-микроклин-альбитового типа КНР, Коктогай (Н.А. Солодов, 1952):