

УДК 549.752.141'143: 552.321(571.62)

**Н.А.ЕГОРОВА**, студентка, *natulyal131208@rambler.ru*

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

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

**N.A.EGOROVA**, student, *natulyal131208@rambler.ru*

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

National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

## **ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА МОНАЦИТА И КСЕНОТИМА КАК ОСНОВА РАСЧЛЕНЕНИЯ ГРАНИТОИДОВ ВЕРХНЕУРМИЙСКОГО МАССИВА (ПРИАМУРЬЕ)**

Установлены главные черты эволюции состава монацита-(Ce) и ксенотима-(Y) в гранитоидах Верхнеурмийского массива в Приамурье. Предлагается использовать выявленные особенности акцессорных фосфатов для регионального расчленения гранитоидов и оценки потенциальной рудоносности интрузивных массивов.

*Ключевые слова:* монацит, ксенотим, гранитоиды, Приамурье.

## **COMPOSITION FEATURES OF MONAZITE AND XENOTIME AS A BASIS OF PARTITION OF VERTKHNEURMIYSKY GRANITE MASSIF (AMUR RIVER REGION)**

The main lines of monazite-(Ce) and xenotime-(Y) composition evolution were established in granitoids of the Verkhneurmiysky massif in Amur River region. It is suggested to use revealed features of accessory phosphates composition for a regional partition of granitoids and the assessment of intrusive massifs ore-potential.

*Key words:* monazite, xenotime, granitoids, Amur River region.

**Введение.** Промышленные редкотектонические проявления Баджало-Комсомольского оловорудного района приурочены к положительным морфоструктурам, насыщенным гранитоидными интрузиями. Источниками оруденения являются крупные магматические очаги, испытывающие эманационную и кристаллизационную дифференацию и воздействие мантийных флюидов. Исследование акцессорных минералов и минеральных ассоциаций позволяет проводить корректное расчленение гранитоидов района, реставрировать условия формирования гранитоидных серий и оценивать потенциальную рудоносность конкретных массивов этих серий [1]. Крупнейший интрузивный массив района – Верхне-

урмийский, представляет собой многофазный плутон биотитовых лейкогранитов, осложненный внедрением редкотектонических циннвальдитовых гранитов. Нами были исследованы акцессорные монацит-(Ce) и ксенотим-(Y), установленные в последовательно образованных крупнозернистых биотитовых гранитах, среднезернистых порфировидных биотитовых гранитах, мелкозернистых порфировых биотитовых гранитах (гранит-порфирах), лейкократовых циннвальдитовых гранитах, а также в монцогранит-порфирах автономного дайкового комплекса.

**Особенности состава монацита и ксенотима.** Для удобства изучения состава монацита и ксенотима гранитоидов принято деление лантаноидов (Ln) на группы:  $Сe_g$

(La – Eu) и Y<sub>g</sub> (Gd – Lu). Состав изоморфных смесей редкоземельных элементов в минералах определяется множеством причин: генетическим типом минерализации, стадийностью процессов, составом магматических пород, положением в гидротермально-метасоматических зонах, pH и Eh среды минералообразования. Редкоземельные элементы, благодаря их уникальным свойствам, можно отнести к важнейшим индикаторам поведения минералов в ходе геологических процессов [2]. Количественные минералого-геохимические данные позволяют полно и достоверно изучить эволюцию редких элементов в процессе дифференциации гранитной магмы и выявить геохимическую специализацию отдельных интрузивных фаз.

В работе использованы структурно-химические данные, полученные в ЦКП Горного университета на электронных микроскопах JSM-6460LV и JSM-7001F с системой энергодисперсионного микроанализа Oxford INCA Energy. Методом расчета по зарядам были определены эмпирические формулы монацитов и ксенотимов в гранитоидах (табл. 1, 2).

Представительные формулы монацита:

- (Ce<sub>0,51</sub>La<sub>0,17</sub>Sm<sub>0,02</sub>Nd<sub>0,18</sub>Th<sub>0,06</sub>)PO<sub>4</sub> – в биотитовых гранитах;
- (Ce<sub>0,46</sub>La<sub>0,16</sub>Nd<sub>0,17</sub>Th<sub>0,06</sub>U<sub>0,01</sub>Si<sub>0,16</sub>)PO<sub>4</sub> – в дайках;
- (Ce<sub>0,45</sub>La<sub>0,17</sub>Sm<sub>0,03</sub>Nd<sub>0,17</sub>Gd<sub>0,02</sub>Th<sub>0,03</sub>Ca<sub>0,02</sub>) × × PO<sub>4</sub> – в циннвальдитовых гранитах.

Монациты циннвальдитовых гранитов характеризуются накоплением наиболее тяжелых металлов Ln – Sm, Gd, но при этом обеднены Th и U. Для монацитов даек отмечено обратное соотношение этих примесей (см. рисунок, а).

Представительные формулы ксенотима:

- (Y<sub>0,72</sub>Sm<sub>0,01</sub>Gd<sub>0,04</sub>Dy<sub>0,06</sub>Er<sub>0,03</sub>Yb<sub>0,06</sub>Th<sub>0,01</sub> × × U<sub>0,01</sub>)PO<sub>4</sub> – в биотитовых гранитах;
- (Y<sub>0,73</sub>Nd<sub>0,02</sub>Gd<sub>0,04</sub>Dy<sub>0,05</sub>Er<sub>0,05</sub>Yb<sub>0,06</sub>Th<sub>0,03</sub>) × × PO<sub>4</sub> – в гранит-порфирах;
- (Y<sub>0,72</sub>Ce<sub>0,07</sub>Nd<sub>0,06</sub>Gd<sub>0,01</sub>Dy<sub>0,07</sub>Yb<sub>0,06</sub>Th<sub>0,24</sub> × × Ca<sub>0,01</sub>Si<sub>0,23</sub>)PO<sub>4</sub> – в дайках;
- (Y<sub>0,60</sub>Nd<sub>0,01</sub>Sm<sub>0,01</sub>Gd<sub>0,03</sub>Dy<sub>0,07</sub>Ho<sub>0,01</sub>Er<sub>0,06</sub> × × Yb<sub>0,10</sub>U<sub>0,01</sub>)PO<sub>4</sub> – в циннвальдитовых гранитах.

Для ксенотимов гранитоидов отмечена тенденция обогащения тяжелыми Ln от ранних фаз к поздним и дальнейшее накопление тяжелых Ln в ксенотимах циннвальдитовых гранитов; последние наиболее бедны торием. Для ксенотимов даек характерно обогащение легкими Ln (Ce, Nd) и уменьшение содержания Y<sub>g</sub>, а также накопление тория и обеднение ураном (см. рисунок, б).

#### Особенности формирования массива.

При рассмотрении эволюции гранитоидов Верхнеурмийского массива необходимо учитывать возможность мантийного вклада в происхождение магмы. Это подтверждают выявленные в обрамлении plutона интрузивно-дайковые пояса. Акцессории дайки отличаются особыми трендами накопления Ce<sub>g</sub> и Y<sub>g</sub>, а также высокими концентрациями радиоактивных элементов (см. рисунок). Отмечена связь интрузивно-дайковых поясов и редкometалльного оруденения.

Установленные тенденции изменения химизма акцессорных монацита и ксенотима из различных гранитоидов могут объясняться процессами дифференциации магмы. В частности, антагонизм лантаноидов Ce<sub>g</sub> и Y<sub>g</sub>, а также других элементов отражает обогащение поздних порций магмы кремнием, летучими элементами, торием, ураном, тяжелыми лантаноидами и иттрием.

#### Выводы

1. Установлено минимальное содержание примесных лантаноидов в структуре монацита и ксенотима даек по сравнению с монацитом и ксенотимом биотитовых и циннвальдитовых гранитов. Акцессории редкometалльных циннвальдитовых гранитов обогащены тяжелыми лантаноидами.

2. Торий и уран накапливались преимущественно в акцессорных фосфатах из циннвальдитовых гранитов и дайковых монцонитоидов.

3. Эволюция состава монацита и ксенотима гранитов Верхнеурмийского массива

Таблица 1

## Состав представительных проб монацита, % (по массе)

Компонент	Биотитовый гранит					Биотитовый монцогранит					Циннвальдитовый гранит				
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,52	14,13	18,41	14,13	9,52	12,44	11,61	12,13	12,28	10,46	11,67	12,53	13,7	9,75	12,51
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	42,56	50,98	32,09	32,6	29,13	32,96	33,96	36,63	33,18	31,84	34,49	33,69	36,36	25,14	33,65
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,15	14,34	8,38	11,88	17,15	10,55	11,61	9,7	11,56	16,92	8,92	12,38	11,29	17,95	11,9
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,18	0,91	—	—	2	—	—	—	—	—	1,61	2,31	1,62	5,17	2,17
ThO <sub>2</sub>	8,02	0,63	9,17	8,72	8,01	10,6	6,44	4,86	6,1	6,18	2,46	4,95	2,42	0	4,25
UO <sub>2</sub>	0,21	0,12	0	0	0,21	0	0	0	1,17	0	—	—	—	—	—
SiO <sub>2</sub>	—	—	—	—	—	3,86	0	5,7	3,44	0	—	—	—	—	—
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,26	1,44	0	0	1,41
CaO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0	0,17	1,13	0,19

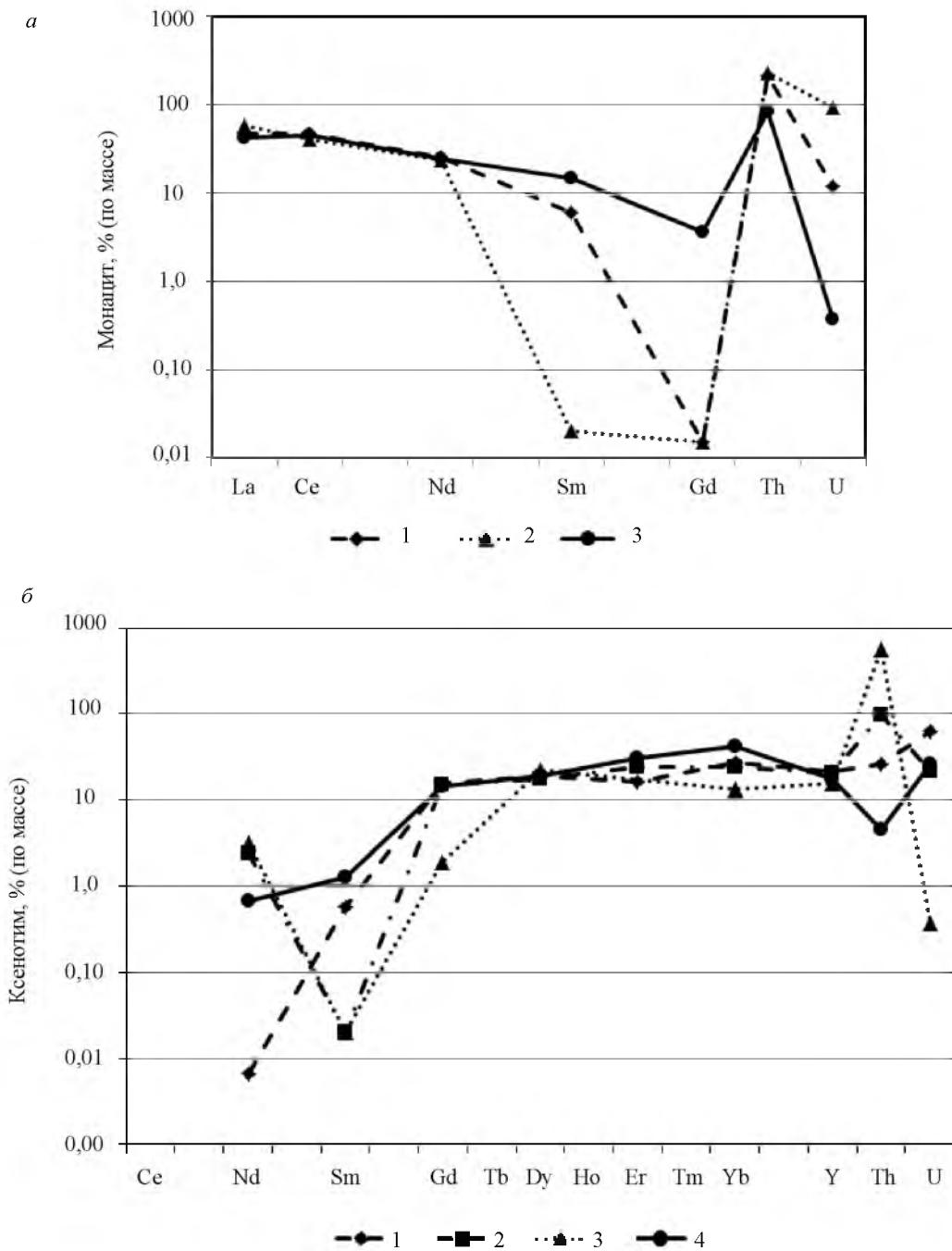
Примечание. Прочерк – элемент не установлен.

Таблица 2

## Состав представительных проб ксенотима, % (по массе)

Компонент	Гранит							
	Биотитовый гранит			Гранит-порфир				
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	—	—	—	0,03	3,73
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	0,48	—	—	—	—	—
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,24	3,41	3,47	3,52	3,58	2,78	2,1	5,52
Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	0,03	—	—	—	—	—
Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,55	6,57	5,55	5,45	4,11	4,66	5,1	4,87
Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	0,12	—	—	—	—	—
Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,21	—	2,16	4,2	4,34	4,55	4,21	4,52
Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,7	5,49	4,69	5,04	5,59	4,65	4,57	4,29
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	42,7	40,27	42,58	41,95	42,41	43,79	44,22	36,14
ThO <sub>2</sub>	1,38	0,57	1,33	1,06	—	3,95	5,75	—
UO <sub>2</sub>	0,74	0,81	0,99	0,37	—	—	0,57	—
Биотитовый монцогранит								
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	10,00	0,48	—	—	—	—	—
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	5,08	—	—	0,20	0,19	0,64	0,73
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	—	1,22	0,38	0,27	—
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	1,27	2,74	1,88	3,88	3,64	4,42
Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,79	3,86	8,03	6,33	6,06	7,04	7,08	—
Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	0,78	0,56	—	—	—
Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	4,78	5,17	5,38	5,65	6,83
Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	0,42	0,28	—	—	—
Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,84	3,53	—	5,47	8,28	7,69	8,73	8,26
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30,34	33,93	28,77	41,20	38,32	31,95	35,36	27,76
ThO <sub>2</sub>	31,56	—	24,03	—	0,57	0,16	—	—
UO <sub>2</sub>	—	—	—	—	0,78	0,30	—	—
CaO	—	—	0,28	—	—	—	—	—
SiO <sub>2</sub>	—	—	6,23	—	—	—	—	—

Примечание. Прочерк – элемент не установлен.



Кривые распределения REE, Th, U в монацитах (а) и ксенотитах (б) гранитоидов Верхнеурмийского массива, нормированные по хондриту [3]

а: 1 – крупнозернистые биотитовые граниты; 2 – монцогранит-порфиры дайкового комплекса; 3 – лейкократовые циннвалльдитовые граниты; б: 1 – крупнозернистые биотитовые граниты; 2 – биотитовые гранит-порфиры; 3 – монцогранит-порфиры дайкового комплекса, 4 – лейкократовые циннвалльдитовые граниты

отражает дифференциацию магматических расплавов, увеличение во времени редкометалльного потенциала гранитоидов и может быть использована для их расчленения и металлогенической оценки.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (государственный контракт № 14.740.11.0192) и РФФИ (проект 11-05-00868-а).

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Марин Ю.Б.* Аксессорные минералы гранитоидных серий оловянных и молибденовых провинций // Записки РМО. 2004. № 6. С.1-7.

2. *Семенов Е.И.* Оруденение и минерализация редких земель, тория и урана (лантанидов и актинидов). М., 2001. 307 с.

3. *McDonough W.F.* The composition of the Earth W.F.McDonough, S.-s.Sun // Chem. Geol. 1995. Vol.120. P.223-253.

## REFERENCES

1. *Marin Y.B.* Accessory minerals of granitoid series of tin and molybdenic provinces // Proceedings RMO. 2004. N 6. P.1-7.

2. *Semenov E.I.* Orudeneniye and mineralization of rare earths, thorium and uranium (lanthanides and actinides). Moscow, 2001. 307 p.

3. *McDonough W.F., Sun S.-s.* The composition of the Earth // Chem. Geol. 1995. Vol.120. P.223-253.