

**УДК 553.3/4:553.2:550.4**

Гусев Анатолий Иванович

д. г.-м. н.. профессор

Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет

Бийск

Gusev Anatoliy Ivanovich

Shukshin Altai State Humanities Pedagogical University

[anzer@mail.ru](mailto:anzer@mail.ru)

Алексеевко Анна Александровна

студент

Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет

Бийск

Alekseenko Anna Aleksandrovna

Shukshin Altai State Humanities Pedagogical University

[himera.kun@gmail.com](mailto:himera.kun@gmail.com)

**ПЕТРОГЕОХИМИЯ МАРАЛИХИНСКОГО МАССИВА УСТЬ-  
БЕЛОВСКОГО КОМПЛЕКСА АЛТАЯ**

**PETROGEOCHEMISTRY OF MARALIKHINSKIY MASSIF UST-  
BELOV COMPLEX OF ALTAY**

Аннотация. В статье приведены петро-геохимические данные породных типов Маралихинского массива усть-беловского комплекса Алтая. Выделены 4 фазы внедрения: габбро-долериты, габбро-диориты, кварцевые диориты, тоналиты,. В тоналитах проявлен М -тип тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ. Перспективные на золото тоналиты характеризовались активностью хлор- и фтор-комплексов во флюидах.

Abstract. Petrological and geochemical data about rock types of Maralikhinskiy massif Ust-belov complex of Altay lead in paper. 4 phases of intrusion detached

gabbro-dolerites, gabbro-diorites, quartz diorites and tonalities. M- type of tetrad effect of fractionation REE manifestation in tonalites. Tonalites, perspective on gold characterized active chlor- and fluor-complexes in fluids.

Ключевые слова: габбро-долериты, габбро-диориты, кварцевые диориты, тоналиты, хлор- и фтор-комплексы, золото.

Key words: gabbro-dolerites, gabbro-diorites, quartz diorites, tonalities, chlor and – fluor-complexes in fluids, gold.

Маралихинский массив локализуется в верховьях рек Малой и Большой Маралихи Чарышского тектонического блока Горного Алтая. Он состоит из пород 4 фаз внедрения.

Габбро-долериты первой фазы внедрения присутствуют по периферии Маралихинского массива. Тела габбро-долеритов имеют различную форму от изометричной до удлиненной и неправильной и размеры от первых десятков и сотен метров до  $1 \times 2$  км. Характерной разновидностью габброидных тел в Маралихинском массиве являются среднезернистые гиперстеновые габбронориты с постепенными переходами к оливин-содержащим габбропироксенитам, в значительной степени амфиболизированным до образования крупно-гигантозернистых пород. Габброиды ранней фазы представляют собой темно- и буровато-серые мелко-среднезернистые массивные, иногда шлирово-такситовые породы, которые локализуются по периферии массива, в особенности на северной его части. Структура пород пойкилоофитовая, иногда венцовая. Они состоят (%) из сосюритизированного лабрадора (38–50), частично замещенного актинолитом, клинопироксена, определяемого авгитом (12–16), обыкновенной роговой обманки (25–35), биотита (до 10) и титаномagnetита (до 5). Петрохимически характеризуются нормальной щелочностью ( $\text{Na}_2\text{O} = 1,85\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} = 0,7\%$ ), умеренной глиноземистостью

( $\text{Al}_2\text{O}_3 = 16.8\%$ ), титанистостью ( $\text{TiO}_2 = 0,7\%$ ), низкой железистостью ( $\text{FeO}^*/\text{MgO} = 1.2$ ) и относятся к известково-щелочной серии.

Во вторую фазу формировались более мелкие тела пород амфиболизированных габбродиоритов, при этом породы в различной степени окварцованы и фельдшпатизированы с образованием участков вторичных сиенитов амфибол-альбит-микроклинового состава. Габбро-диориты бедны акцессорными минералами; в них присутствуют титанит, ильменит, в небольших количествах встречаются апатит и циркон. В диоритах определен более широкий спектр акцессориев при примерно равных количествах магнетита (21-87 г/т) и ильменита (31-47 г/т). В значительных количествах здесь присутствуют титанит и циркон (до 4 г/т), характерны апатит, монацит, рутил, алланит, пирит.

Кварцевые диориты (редко варьируют до монцодиоритов) третьей фазы внедрения представляют собой серые, средне- и крупнозернистые породы, насыщенные ксенолитами габброидного состава овальной или сложной формы и сложены зональным призматическим андезином ( $\text{An}_{34-39}$ ), клинопироксеном и, иногда, гиперстеном, в сумме составляющих до 15 %, роговой обманкой (от 15 до 25%), лепидомеланом, интерстиционным кварцем и калишпатом с акцессорными апатитом, цирконом, пиритом, гематитом. Микроклин в породах образует ксеноморфные выделения размерами от 0,8 до 1,6 мм со смазанной микроклиновой решёткой. Крупные индивиды клинопироксена местами по периферии замещены хлоритом, эпидотом и роговой обманкой.

Кварцевые диориты встречаются в виде самостоятельных тел неправильной формы в центре Маралихинского массива среди пород ранних фаз. Размеры тел кварцевых диоритов от  $20 \times 70$  до  $40 \times 120$  м.

Породы характеризуются умеренной щелочностью, незначительным преобладанием  $\text{Na}_2\text{O}$  (3,1%) над  $\text{K}_2\text{O}$  (2,2%), высокой известковистостью ( $\text{C} = 0,63$ ), низкой глиноземистостью (индекс Шенда = 0,92) и

агпаитностью ( $K_{AG} = 0,47$ ). Отличительной чертой клинопироксен-содержащих диоритов и кварцевых диоритов являются ксеноморфные выделения гематита, иногда переходящие в участках богатых оксидом железа, в сидеронитоподобные структуры.

В четвёртую фазу формировались тоналиты, представленные телами неправильной формы размерами 20×50 м, прорывающих в центре массива кварцевые диориты. Тоналиты биотит-роговообманковые, крупно-среднекристаллические нередко с меланократовыми шлирами диоритового состава. Минеральный состав (масс. %): плагиоклаз № 20-28 – 65-75, кварц – 12-20, роговая обманка – 10-15, биотит- 5-8, клинопироксен – 0-2, калиевый полевой шпат – 2-4. Акцессории представлены более широким спектром минералов, чем в кварцевых диоритах: магнетитом, апатитом, титанитом, цирконом, рутилом, алланитом, пиритом, халькопиритом.

Такой характер зональности интрузивного массива свидетельствует о том, что дифференциация глубинного очага происходила сравнительно быстро, в результате чего ранние фазы не успевали закристаллизоваться и легко прорывались последующими. Подобный сценарий формирования интрузивных тел приводит к формированию прямой интрузивной зональности [4], когда на периферии располагаются породы ранних фаз внедрения, а в центре – наиболее поздних фаз. Химический состав пород Маралихинского массива представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав пород Маралихинского массива усть-беловского комплекса (оксиды в %, элементы – в г/т)

| Компоненты             | Номера проб |       |       |      |       |       |       |      |
|------------------------|-------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|
|                        | 1           | 2     | 3     | 4    | 5     | 6     | 7     | 8    |
| <b>SiO<sub>2</sub></b> | 49,1        | 54,19 | 54,34 | 53,9 | 63,04 | 60,40 | 58,48 | 65,4 |
| <b>TiO<sub>2</sub></b> | 0,71        | 0,98  | 0,52  | 0,7  | 0,62  | 0,72  | 0,71  | 0,5  |

|                                    |      |       |       |      |       |       |       |      |
|------------------------------------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 16,8 | 16,54 | 15,1  | 16,2 | 14,52 | 16,14 | 16,96 | 16,3 |
| <b>FeO*</b>                        | 9,8  | 9,62  | 8,72  | 8,95 | 7,00  | 7,20  | 7,66  | 3,3  |
| <b>MnO</b>                         | 0,17 | 0,16  | 0,14  | 0,15 | 0,11  | 0,14  | 0,12  | 0,12 |
| <b>MgO</b>                         | 7,3  | 5,16  | 7,02  | 6,8  | 2,84  | 2,63  | 3,20  | 2,1  |
| <b>CaO</b>                         | 10,9 | 8,05  | 9,42  | 8,2  | 5,03  | 4,95  | 6,28  | 2,0  |
| <b>Na<sub>2</sub>O</b>             | 1,85 | 2,29  | 1,42  | 2,1  | 2,19  | 2,42  | 2,31  | 4,7  |
| <b>K<sub>2</sub>O</b>              | 0,7  | 1,71  | 1,3   | 1,2  | 3,08  | 2,46  | 3,06  | 3,15 |
| <b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>  | 0,1  | 0,19  | 0,1   | 0,2  | 0,13  | 0,14  | 0,14  | 0,3  |
| <b>Sc</b>                          | 45,7 | 34    | 35    | 36   | 17,7  | 27,0  | 26,0  | 2,1  |
| <b>V</b>                           | 236  | 225   | 219   | 223  | 115,0 | 161,0 | 185,0 | 2,5  |
| <b>Cr</b>                          | 78,6 | 52    | 340   | 65   | 127,0 | 23,0  | 102,0 | 12,8 |
| <b>Co</b>                          | 42,4 | 33    | 29    | 36   | 17,8  | 18,5  | 21,0  | 43   |
| <b>Ni</b>                          | 38,9 | 25    | 56    | 32   | 31,0  | 5,8   | 70,0  | 26,0 |
| <b>Rb</b>                          | 37,8 | 48    | 39    | 45   | 88,0  | 70,0  | 91,0  | 67,0 |
| <b>Sr</b>                          | 225  | 287   | 199   | 290  | 202,0 | 318,0 | 247,0 | 440  |
| <b>Y</b>                           | 30   | 25    | 15,8  | 13,7 | 25,0  | 26,0  | 34,0  | 14,8 |
| <b>Zr</b>                          | 54   | 138   | 65    | 79   | 151,0 | 130,0 | 154,0 | 115  |
| <b>Nb</b>                          | 8,2  | 7,1   | 3,9   | 5,8  | 8,9   | 9,4   | 15,4  | 7,1  |
| <b>Cs</b>                          | 1,9  | 1,88  | 1,63  | 1,9  | 3,3   | 4,4   | 5,8   | 936  |
| <b>Ba</b>                          | 322  | 327   | 262   | 280  | 389,0 | 418,0 | 431,0 | 327  |
| <b>La</b>                          | 20,5 | 19,3  | 10,12 | 15,8 | 23,0  | 19,3  | 21,0  | 32,3 |
| <b>Ce</b>                          | 39,2 | 41    | 20    | 30,1 | 46,0  | 41,0  | 45,0  | 4,0  |
| <b>Pr</b>                          | 5,1  | 5,2   | 2,6   | 4,8  | 5,7   | 4,9   | 5,5   | 13,1 |
| <b>Nd</b>                          | 20,7 | 22    | 9,9   | 19,7 | 19,4  | 20,0  | 24,0  | 3,5  |
| <b>Sm</b>                          | 4,6  | 4,3   | 2,2   | 3,9  | 3,9   | 4,2   | 5,4   | 0,95 |
| <b>Eu</b>                          | 1,45 | 1,4   | 0,57  | 0,9  | 0,92  | 1,12  | 1,05  | 2,3  |
| <b>Gd</b>                          | 5,6  | 4,8   | 2,2   | 5,6  | 3,8   | 4,5   | 5,8   | 0,49 |
| <b>Tb</b>                          | 0,7  | 0,8   | 0,36  | 0,7  | 0,69  | 0,74  | 1,0   | 2,6  |

|                      |       |       |      |       |       |       |       |       |
|----------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Dy</b>            | 5,9   | 4,6   | 2,3  | 5,7   | 4,1   | 4,4   | 6,2   | 0,94  |
| <b>Ho</b>            | 0,8   | 0,97  | 0,51 | 0,78  | 0,84  | 0,94  | 1,3   | 2,1   |
| <b>Er</b>            | 2,8   | 2,7   | 1,57 | 2,9   | 2,6   | 2,8   | 3,7   | 0,38  |
| <b>Tm</b>            | 0,38  | 0,41  | 0,24 | 0,54  | 0,4   | 0,43  | 0,57  | 1,4   |
| <b>Yb</b>            | 1,9   | 2,6   | 1,6  | 2,8   | 2,5   | 2,8   | 3,6   | 0,3   |
| <b>Lu</b>            | 0,33  | 0,4   | 0,25 | 0,43  | 0,4   | 0,41  | 0,54  | 3,2   |
| <b>Hf</b>            | 2,2   | 3,8   | 1,78 | 2,4   | 4,3   | 3,7   | 4,6   | 0,48  |
| <b>Ta</b>            | 0,5   | 0,49  | 0,24 | 0,45  | 0,75  | 0,63  | 0,77  | 1,8   |
| <b>Th</b>            | 4,8   | 5,4   | 2,9  | 4,9   | 9,0   | 6,4   | 7,9   | 5,8   |
| <b>U</b>             | 0,8   | 1,14  | 0,7  | 1,2   | 1,62  | 1,79  | 1,74  | 1,7   |
| <b>Au</b>            | 32    | 30    | 31   | 27    | 70    | 32    | 30    | 205   |
| $\Sigma$ REE         | 140,0 | 135,5 | 70,2 | 108,3 | 139,2 | 133,5 | 158,7 | 82,36 |
| (La/Yb) <sub>N</sub> | 7,3   | 5,0   | 4,3  | 3,8   | 6,2   | 4,7   | 3,9   | 75,6  |
| Nb/Ta                | 16,4  | 14,4  | 16,2 | 12,8  | 11,8  | 14,6  | 20,0  | 4,6   |
| Eu/Eu*               | 0,87  | 0,93  | 0,78 | 0,58  | 0,75  | 0,77  | 0,56  | 9,2   |
| Th/U                 | 6,0   | 4,7   | 4,1  | 4,0   | 5,5   | 3,5   | 4,5   | 3,4   |
| TE <sub>1,3</sub>    | 1,0   | 0,98  | 0,94 | 1,0   | 1,05  | 0,99  | 0,98  | 1,33  |
| (La/Sm) <sub>N</sub> | 2,4   | 2,8   | 2,8  | 2,5   | 3,6   | 2,8   | 2,4   | 21,2  |
| (Gd/Yb) <sub>N</sub> | 2,3   | 1,4   | 1,1  | 1,6   | 1,2   | 1,3   | 1,3   | 1,3   |

Примечание. Значения РЗЭ нормированы (N) по хондриту по [3]. Eu\* = (Sm<sub>N</sub> + Gd<sub>N</sub>)/2. TE<sub>1,3</sub> – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ по [2], как среднее между первой и третьей тетрадами. Породы масмива: 1- Габбро-долерит, 2-4 – габбро-диориты, 5-7 – кварцевые диориты, 8- тоналит.

В тоналитах заключительной фазы внедрения проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ М- типа, обусловленный активностью хлор- и фтор-комплексов в магматогенных флюидах.

На диаграмме Au – TE<sub>1,3</sub> проявлен тренд увеличения ТЭФ РЗЭ М- типа с увеличением концентраций золота в породах (рис. 1).

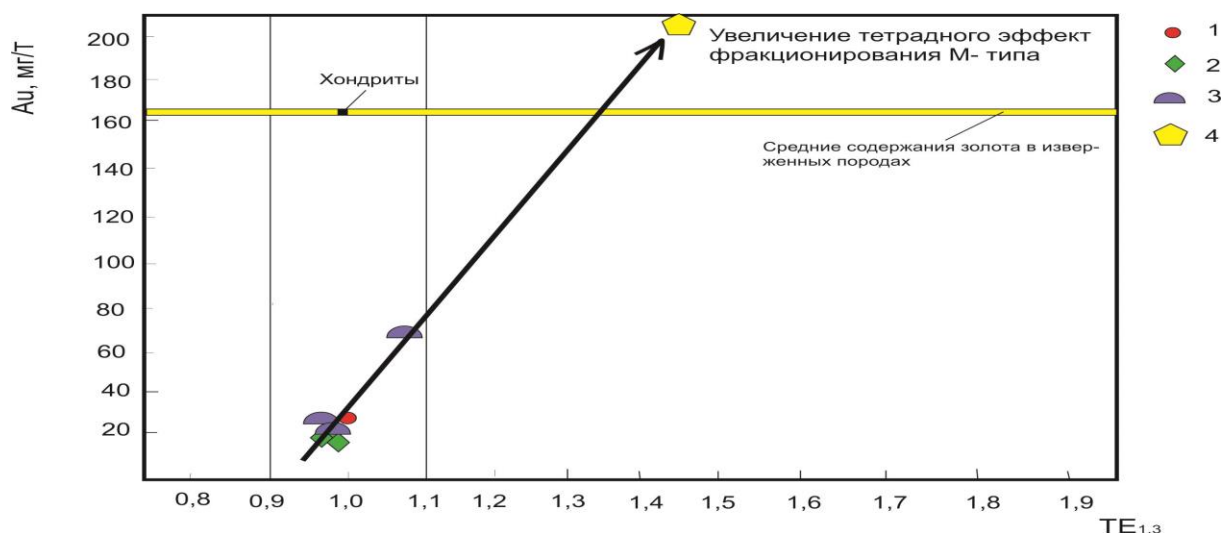


Рис. 1. Диаграмма Au – TE<sub>1,3</sub> для интрузивных пород Маралихинского массива

Желтое поле показывает концентрации золота в магматических породах по [1].

Таким образом, в глубинном магматическом очаге, формировавшем породы Маралихинского массива, происходила дифференциация расплава от габброидов в сторону тоналитов, которые были обогащены активными хлор- и фтор-комплексами, переносившими золото в магматогенных флюидах.

### Список литературы

1. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в горных породах // Геохимия, 1962. - № 7. - С. 555–571.
2. Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu\*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // Geochim Comochim Acta. 1999. V. 63. №3/4. P. 489-508.
3. *Mc Donough W.F., Sun S.* The composition of the Earth // Chem. Geol. 1995. Vol. 120. P. 223-253.
4. Vigneressse J.L. The role of discontinuous magma inputs in felsic magma and ore generation // Ore geology Reviews.- 2007. – V. 30. – P. 181-216.