

**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

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

Колыванова Ольга Сергеевна

студент

Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет

Бийск

Kolyvanova Olga Sergeevna

Shukshin Altai State Humanities Pedagogical University

**ПЕТРОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ ЦЕЛИННОГО МАССИВА УСТЬ-**

**БЕЛОВСКОГО КОМПЛЕКСА ЗАПАДНОГО АЛТАЯ**

**PETROLOGY AND GEOCHEMISTRY OF ZELINNY MASSIF UST-**

**BELOV COMPLEX OF WEST ALTAY**

Аннотация. В статье приведены петро-геохимические данные породных типов Целинного массива усть-беловского комплекса Западного Алтая. Выделены 3 фазы внедрения: тоналиты, гранодиориты, меланограниты. В породах проявлены М – и W- типы тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ. Перспективные на золото меланограниты характеризовались активностью аква-углекислотных комплексов во флюидах.

Abstract. Petrological and geochemical data about rock types of Zelinnyy massif ust-belov complex of West Altay lead in paper. 3 phases of intrusion detached: tonalities, granodiorites, melanogranites. M- and W-types of tetrad effect of fractionation REE

manifestation in rocks. Melanogranites, perspective on gold characterized active aqua-carbonated complex in fluids.

Ключевые слова: тоналиты, гранодиориты, меланограниты, аква-углекислотные комплексы, золото.

Key words: tonalities, granodiorites, melanogranites, aqua-carbonated complexes in fluids, gold.

Целинный массив локализуется в пределах Чарышского блока Чарышско-Чуйской структурно-формационной зоны, слагая удлиненный в субмеридиональном направлении небольшой ( $5 \times 14$  км) интрузив. Сложен он 3 фазами внедрения: 1- тоналитами, 2- гранодиоритами и 3 - меланогранитами. Тоналиты редки и встречаются локально в периферической части массива. в виде небольших тел размерами от  $10 \times 30$  до  $50 \times 70$  м. Это серые среднекристаллические, порфировидные, мезократовые породы с варьирующим составом (%): плагиоклаз – 51-54, калиевый полевой шпат – 10-11, роговая обманка – 20-26, клинопироксен – 1-4, биотит – 1-3, кварц- 4-10. Спектр аксессуариев охватывает апатит, сфен, магнетит, циркон. Характерны многочисленные призматические и игольчатые выделения апатита. Структура породы гипидиоморфнозернистая. Плагиоклаз преимущественно не сдвойникован и диагностируется андезином-лабрадором ( $An_{34-51}$ ). Замещается пелитом и серицитом. Преобладающая среди темноцветных минералов роговая обманка имеет умерено железистый и глинозёмистый состав ( $f=54.2$ ;  $l=24.3$ ). Клинопироксен диагностируется авгитом ( $f=31.2$ ;  $l=1.9$ ). Микроклин-пертит редко сдвойникован. Он иногда образует крупные индивиды размером до 0,4 см. Кварц ксеноморфен и характеризуется резко волнистым погасанием.

Наиболее распространенные и изученные гранодиориты и меланограниты второй и третьей фазы внедрения. Они представляют собой серые и зеленовато-серые массивные породы среднезернистой и порфировидной, нередко пойкилобластовой структуры с нередко количественно доминирующим и обычно более крупным плагиоклазом (30–

45%, в кварцевых диоритах до 50–60%), представленным зональным андезином и андезин-олигоклазом, и подчиненными количествами ксеноморфного калиевого полевого шпата (в гранодиоритах – 20–30%, в кварцевых диоритах – 10–20%), иногда образующего каемки вокруг крупных зерен плагиоклаза, и кварца. Темноцветные минералы представлены обычно преобладающей и нередко присутствующей в крупных зернах роговой обманкой (до 10–15%) и более мелкими зернами хлоритизированного биотита (до 5–10%). Характерны акцессорные зерна сфена, частая вкрапленность магнетита и пирита.

Химический состав пород усть-беловского комплекса на рассматриваемой площади изучен недостаточно. Нашими исследованиями этот пробел значительно заполнен. Гранодиориты, меланограниы и тоналиты Целинного массива характеризуются варьирующей от низкой до повышенной глиноземистостью (индекс Шенда = 0,91–1,05 в гранодиоритах и 0,87 в тоналитах), очень высокой известковистостью ( $\text{Ca}/\text{Na}+\text{K}$  = 0,44–0,55 в гранодиоритах и до 0,92 в тоналитах), очень низкой алкаитностью ( $\text{Na}+\text{K}/\text{Al}$  = 0,51–0,53 в гранодиоритах и 0,40 в тоналитах) и нормальной низкой щелочностью при примерно равных содержаниях натрия и калия с незначительным преобладанием калия над натрием в гранодиоритах и меланогранитах и преобладанием натрия над калием в тоналитах.

Микроэлементный состав гранодиоритов и тоналитов усть-беловского комплекса типичен для активно-окраинно-континентальных пород и характеризуется пониженными содержаниями большинства центробежных элементов, в том числе Rb (49–230 г/т), Y (14,8–33 г/т), Nb (7,4–26 г/т), Zr (62–263 г/т), Yb (0,3–3,3 г/т), Ta (0,63–3,0 г/т), Ga (16,0–19,4 г/т), но повышенными концентрациями Sr (180–440 г/т) и низкими значениями отношения Rb/Sr (0,15–0,38). По целому ряду признаков, в том числе по доминирующему развитию гранодиоритов и калиевому типу щелочности, локализации массивов в виде гнездовых ареалов породную ассоциацию усть-беловского комплекса можно отнести к типичным проявлениям диорит-гранодиоритовой формации вулканоплутонических поясов активных континентальных окраин.

Нашими исследованиями Целинный массив изучен более детально, а анализы породных типов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав пород Целинного массива (оксиды в %, элементы в г/т, золото- в мг/т)

| Компоненты                     | Номера проб |      |       |      |      |      |       |      |
|--------------------------------|-------------|------|-------|------|------|------|-------|------|
|                                | 1           | 2    | 3     | 4    | 5    | 6    | 7     | 8    |
| SiO <sub>2</sub>               | 57,2        | 65,5 | 66,8  | 67,1 | 66,7 | 68,2 | 68,7  | 68,0 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,9         | 0,51 | 0,8   | 0,75 | 0,8  | 0,76 | 0,47  | 0,5  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 17,3        | 16,1 | 14,26 | 14,3 | 14,6 | 14,3 | 14,96 | 15,0 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,90        | 3,0  | 2,44  | 2,4  | 2,2  | 1,57 | 0,9   | 0,96 |
| FeO                            | 4,53        | 2,45 | 2,47  | 2,45 | 3,1  | 3,32 | 3,0   | 2,8  |
| MnO                            | 0,17        | 0,12 | 0,09  | 0,1  | 0,12 | 0,1  | 0,08  | 0,06 |
| MgO                            | 3,9         | 2,1  | 1,29  | 1,3  | 1,8  | 1,72 | 1,36  | 1,26 |
| CaO                            | 7,1         | 4,7  | 2,92  | 2,9  | 2,56 | 2,75 | 2,81  | 2,7  |
| Na <sub>2</sub> O              | 3,1         | 3,15 | 2,21  | 2,2  | 2,7  | 2,5  | 2,74  | 2,9  |
| K <sub>2</sub> O               | 1,45        | 1,85 | 3,85  | 3,9  | 3,8  | 3,77 | 3,72  | 3,94 |
| Rb                             | 49          | 67   | 114   | 129  | 132  | 114  | 225   | 230  |
| Sr                             | 315         | 440  | 245   | 211  | 214  | 204  | 180   | 198  |
| Y                              | 26,8        | 14,8 | 30    | 23   | 26   | 21   | 33    | 31   |
| Zr                             | 62          | 115  | 263   | 253  | 185  | 201  | 183   | 196  |
| Nb                             | 7,4         | 8,3  | 11    | 9,8  | 9,0  | 9,3  | 26    | 24   |
| Ba                             | 22,1        | 29,1 | 614   | 514  | 487  | 540  | 437   | 465  |
| La                             | 31,1        | 32,3 | 41    | 25   | 23,6 | 17,9 | 64    | 70   |
| Ce                             | 4,4         | 4,0  | 91    | 68   | 70,1 | 64   | 110   | 98   |
| Pr                             | 13,6        | 13,1 | 9,1   | 5,7  | 5,8  | 4,2  | 13,3  | 14,1 |
| Nd                             | 4,4         | 3,5  | 34    | 21   | 23   | 16,3 | 49    | 54   |
| Sm                             | 1,1         | 0,95 | 6,4   | 4,1  | 4,7  | 3,4  | 8,6   | 9,3  |
| Eu                             | 2,4         | 2,3  | 1,52  | 1,36 | 1,4  | 1,22 | 1,34  | 1,26 |
| Gd                             | 0,75        | 0,49 | 6,1   | 4,6  | 5,0  | 3,4  | 7,3   | 8,1  |

|                      |       |       |        |       |        |       |        |        |
|----------------------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|
| Tb                   | 2,95  | 2,6   | 0,94   | 0,71  | 0,65   | 0,65  | 1,13   | 1,2    |
| Dy                   | 0,97  | 0,94  | 5,3    | 4,3   | 4,2    | 4     | 5,6    | 6,1    |
| Ho                   | 2,4   | 2,1   | 1,03   | 0,88  | 0,81   | 0,85  | 1,08   | 0,96   |
| Er                   | 0,62  | 0,38  | 3,1    | 2,6   | 2,8    | 2,3   | 3      | 3,1    |
| Tm                   | 2,55  | 1,4   | 0,49   | 0,38  | 0,5    | 0,34  | 0,43   | 0,43   |
| Yb                   | 0,5   | 0,3   | 3,3    | 2,5   | 2,6    | 2,2   | 2,6    | 2,8    |
| Lu                   | 2,3   | 3,2   | 0,49   | 0,37  | 0,4    | 0,34  | 0,4    | 0,44   |
| Hf                   | 0,43  | 0,49  | 6,9    | 6,8   | 6,5    | 5,3   | 5,7    | 5,4    |
| Ta                   | 1,5   | 1,8   | 0,86   | 0,65  | 0,63   | 0,66  | 2,8    | 3,0    |
| Au                   | 22    | 20    | 56     | 54    | 60     | 110   | 175    | 140    |
| $\Sigma$ REE         | 96,86 | 82,36 | 233,77 | 164,5 | 171,56 | 142,1 | 300,78 | 300,79 |
| (La/Yb) <sub>N</sub> | 42,3  | 75,6  | 8,47   | 6,8   | 6,1    | 5,5   | 16,7   | 17,0   |
| Eu/Eu*               | 7,6   | 9,2   | 0,7    | 0,9   | 0,8    | 1,0   | 0,5    | 0,4    |
| TE <sub>1.3</sub>    | 1,16  | 1,33  | 1,03   | 1,08  | 1,06   | 1,19  | 0,84   | 0,95   |

Примечание. Значения РЗЭ нормированы (N) по хондриту по [4]. Eu\* = (Sm<sub>N</sub>+Gd<sub>N</sub>)/2. TE<sub>1.3</sub> – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ по [3], как среднее между первой и третьей тетрадами. Породы Целинного массива: 1-2 – тоналиты, 3- 5 - гранодиориты, 6-8- меланограниты

Сумма редких земель в породных типах варьирует от 83,36 до 300,79 г/т. Отношения (La/Yb)<sub>N</sub> весьма высоки, варьируя от 5,5 до 75,6, что свидетельствует о высокой дифференциации лёгких и тяжёлых РЗЭ. Отношения Eu/Eu\* в большинстве пород показывают значения ниже хондритовых, а в тоналитах – выше хондритовых значений (7,6 – 9,2). В породах проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ М- типа (граничные значения выше 1,1) и W- типа (граничные значения ниже 0,9), что указывает на менявшиеся составы летучих компонентов в магматогенных флюидах. На диаграмме ТАС фигуративные точки составов пород локализируются в области известково-щелочной серии (рис. 1).

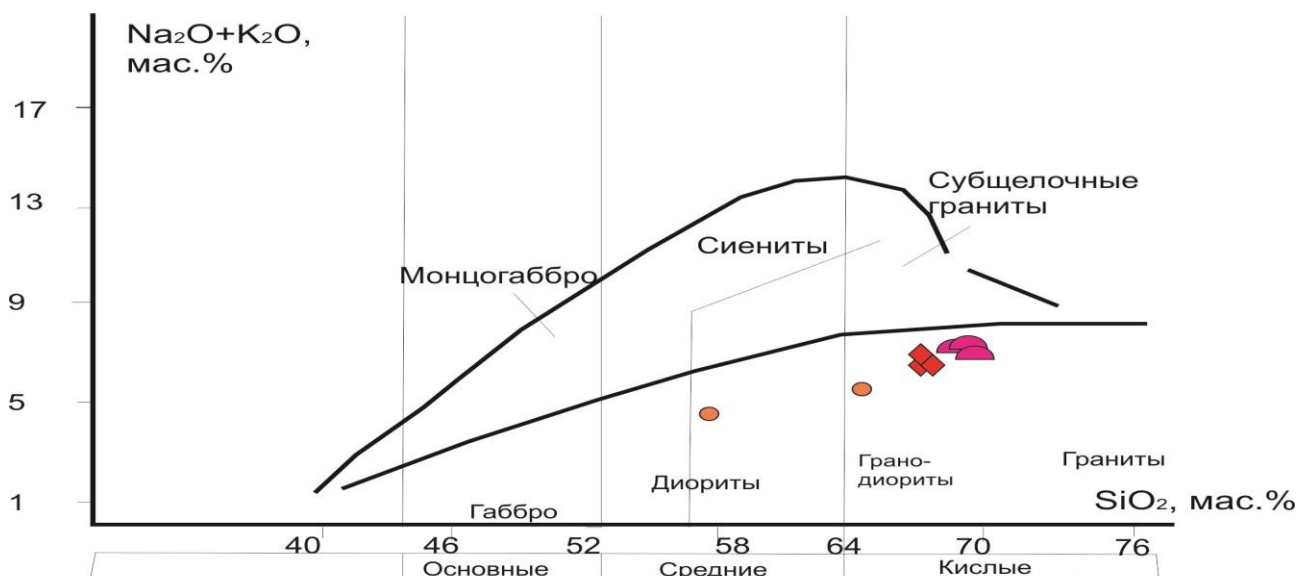


Рис. 1. Диаграмма  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$  для пород Целинного массива

1- Тоналиты, 2- гранодиориты, 3- меланограниты.

Известно, что с гранитоидами усть-беловского комплекса связано золотое оруденение [2]. По результатам наших анализов наибольшие концентрации золота определены в меланогранитах, а в остальных породах его содержания значительно меньше. Это учтено нами при составлении диаграммы  $\text{Au} - \text{TE}_{1,3}$ , на которой видно, что увеличение концентраций золота в меланогранитах происходит с уменьшением величины ТЭФ РЗЭ W- типа, а последний обусловлен активностью в магматогенных флюидах аква-комплексов и углекислотных комплексов.

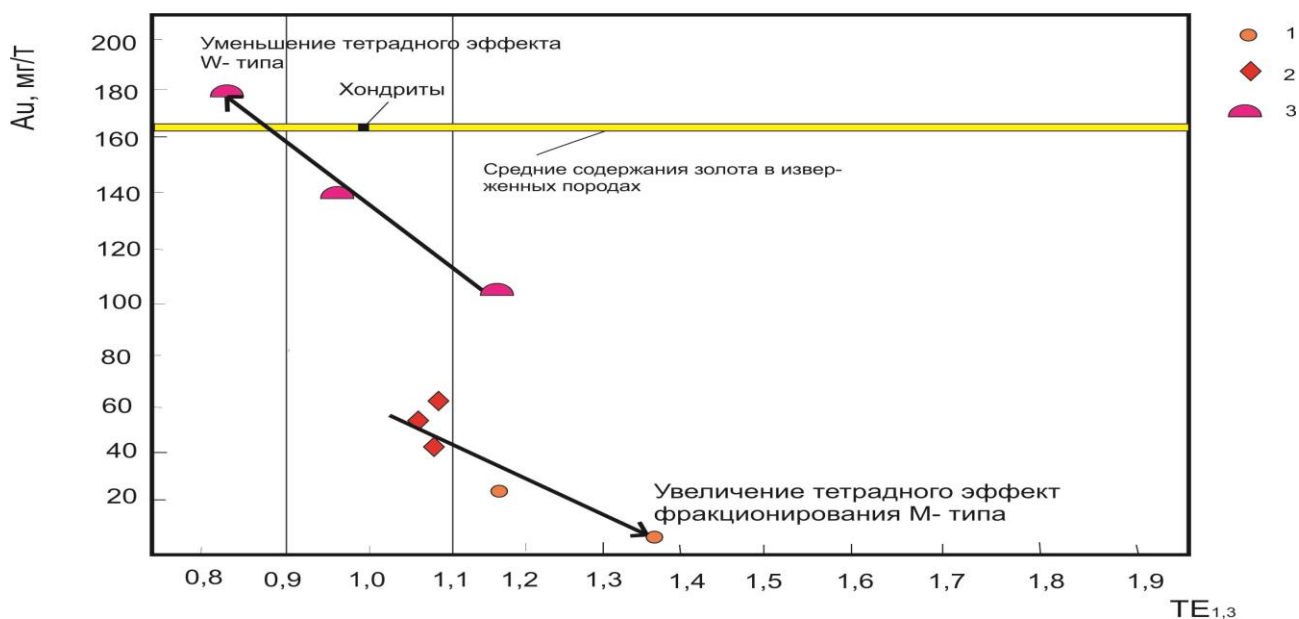


Рис. 2. Диаграмма  $\text{Au} - \text{TE}_{1,3}$  для интрузивных пород Целинного массива

Желтое поле показывает концентрации золота в магматических породах по [1]; содержания золота в хондритах по [5]. Условные – на рис. 1.

Таким образом, Целинный массив усть-беловского комплекса развивался в гомодромной последовательности от тоналитов до меланогранитов, относящихся к известково-щелочной серии пород. Перспективы на золото связаны с дифференциацией глубинного очага в сторону образования меланогранитов, в которых магматогенные флюиды характеризовались активностью таких летучих компонентов, как аква-комплексы и углекислотные.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в горных породах // Геохимия, 1962. - № 7. - С. 555–571.
2. Гусев А.И., Гусев Н.И. Новые данные по абсолютному возрасту, петрологии и потенциальной рудоносности Мурзинского интрузивного массива (северо-западный Алтай) // Отечественная геология, 2020. - № 6. – 30-41.
3. 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. *GeochimCosmochimActa*. 1999. -V.63. -No 3/4. - P. 489-508.
4. McDonough W.F., Sun S. The composition of the Earth. *Chem. Geol.* 1995. - V.120,. №.(3-4). - P.223-253.
5. Wasson J.T., Kallemeyn G.W. et al. Compositions of chondrites // *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical & Engineering Sciences*, 1988. - V. 325. -№ 1587. - P. 535–544.