

УДК 552.11:552.13

**ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ РУДОНОСНОСТЬ  
МАГМАТИТОВ ЗАЛЕСОВСКОГО МАССИВА САЛАИРА****Гусев А.И.***Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В.М. Шукшина,  
Бийск, e-mail: anzerg@mail.ru*

В статье приведены данные по минерало-петрографическому и геохимическому составам пород Залесовского интрузивного массива Салаира. Массив сложен кварцевыми диоритами, гранодиоритами, кварцевыми сиенитами, умеренно-щелочными гранитами шшонитовой серии с зональным распределением дифференциатов. По периферии распространены ранние фазы, а эволюционированные поздние умеренно-щелочные граниты – в центре массива. В породах проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ W- типа, увеличение которого происходило с повышением щелочности среды. Геохимическая обстановка характеризовалась условиями не подчинения заряд-радиус-контролируемого поведения химических элементов.

**Ключевые слова:** петрология, геохимия, кварцевые диориты, гранодиориты, кварцевые сиениты, умеренно-щелочные граниты, тетрадный эффект фракционирования РЗЭ W- типа

**PETROLOGY, GEOCHEMISTRY AND POTENCIAL ORE MINERALIZATION  
OF MAGMATIC ZALRSOVSKII MASSIF OF SALAIR****Gusev A.I.***The Shukshin Altai State Humane-Pedagogical University, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru*

Data on mineral-petrography and geochemical compositions of rocks Zalesovskii intrusive massif of Salair lead in paper. Massif composed quartz diorites, granodiorites, quartz sienites, moderate-alkaline granite of shoshonites series with zoning distribution differenciates. An early phases spread on periphery, but evolutionary last moderate-alkaline granites – in core of massif. Tetradic effect fractionation of REE W- type display in rocks, increasing of it happen with rise of alkaline of environment. The geochemical setting characterized by conditions of non charge-radius-control behavior of chemical elements.

**Keywords:** petrology, geochemistry, quartz diorites, granodiorites, quartz sienites, moderate-alkaline granites, tetradic effect fractionation of REE W-type

Петрологические и геохимические данные интрузивных пород имеют важное значение в понимании генезиса [2] и их потенциальной рудоносности [1]. Это особенно важно для районов, где обнажённость территории не высока, как это имеет место в Салаире. Залесовский массив имеет близкий состав и возраст к массивам жерновского комплекса, с которыми связано оруденение олова, вольфрама, молибдена, лития и других металлов [7]. Следовательно, актуальность изучения петролого-геохимических особенностей магматитов Залесовского массива не вызывает сомнений. *Цель исследований* – осветить петрологию и геохимические особенности гранитоидов Залесовского массива и определить возможные перспективы их на эндогенное оруденение.

**Результаты исследования  
и их обсуждение**

На территории Салаира Залесовский массив относится к позднепермско-ранне-триасовому приобскому комплексу. В этом комплексе также рассматриваются Обской и Новосибирский массивы. Залесовский массив имеет площадь 220 км<sup>2</sup> и имеет слегка вытянутую форму в меридиональ-

ном направлении. В строении Залесовского массива усматривается прямая зональность, в которой более эволюционированные фазы (граниты) локализируются в центре массивов, а по периферии – менее эволюционированные – породы первых фаз внедрения (кварцевые диориты, гранодиориты); контакты между фазами постепенные с конкордантными или слабо конкордантными текстурами и переходами. Такая зональность рассматривается как прямая. Характер зональности плутонов интерпретируется как результат химической дифференциации и скорости поступления последовательных фаз. В случае быстрого поступления фаз и отдельных пульсаций предыдущие поступления не успевают закристаллизоваться и более поздние фазы их легко прорывают и располагаются в центре плутонов с формированием нормальной зональности [14]. Фактические данные по массивам приобского комплекса показывают, что близкую картину к прямой зональности имеют Белоурихинский, Айский и Теранджикский массивы в Горном Алтае [4–6].

Главная фаза комплекса представлена биотит-роговообманковыми и биотитовыми гранодиоритами. В составе массива

также имеются граносиениты, умеренно-щелочные меланограниты, реже граниты. Гранодиориты и граносиениты тяготеют к краевым частям массивов и содержат многочисленные ксенолиты монцодиоритов, являющихся, видимо, наиболее ранними образованиями. Присутствуют своеобразные порфирировидные кварцевые сиениты, фенокристы калинагратового по-

левого шпата в которых достигают 3–4 см в поперечнике. Характерны четко проявленные гнейсовидные текстуры пород главной фазы.

В составе дайковой фазы установлено присутствие гранатсодержащих аплитов, нередко отмечаются аплиты и пегматиты с рассеянной вкрапленностью крупночешуйчатого молибденита.

Таблица 1

Химический состав породных типов Залесовского массива приобского комплекса (оксиды – в мас. %, элементы – в г/т)

	Кварцевый диорит	Гранодиорит	Гранодиорит	Кварцевый сиенит	Кварцевый сиенит	Гранит умер. щелочной
SiO <sub>2</sub>	61,6	64,54	66,28	61,7	61,2	70,8
TiO <sub>2</sub>	0,57	1,06	0,82	0,69	0,7	0,34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,69	15,6	13,95	16,5	14,2	15,7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,25	2,6	1,9	0,6	1,5	0,6
FeO	3,95	2,7	2,71	3,3	3,6	1,15
MnO	0,23	0,06	0,06	0,08	0,14	0,02
MgO	2,95	1,76	1,33	2,55	2,9	0,55
CaO	3,76	3,15	2,9	4,1	4,4	1,92
Na <sub>2</sub> O	4,22	4,7	4,6	4,4	4,4	4,64
K <sub>2</sub> O	2,6	2,8	2,2	4,1	4,1	3,5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,37	0,45	0,15	0,37	0,34	0,16
Rb	33,5	55,2	56,4	67,8	71,7	66,5
Ba	495	500	505	583	580	520
Th	6,5	6,0	6,3	7,9	8,0	9,6
U	1,5	1,4	1,6	1,9	2,1	2,5
Ta	0,4	0,6	0,5	0,4	0,5	0,7
Nb	11,6	11,8	12,0	12,3	12,6	13,9
Hf	3,5	3,8	4,0	4,3	4,4	5,3
Zr	212	225	229	240	245	260
Y	52,2	45,6	48,4	39,7	39,2	40,2
Sr	/1500	1790	1740	1405	1420	1350
La	36,5	37,5	33,0	34,4	41,0	39,6
Ce	95,7	100,2	98,7	101,4	121,6	123,6
Pr	10,8	9,6	9,5	11,6	12,3	8,8
Nd	75	71,8	72,4	66,3	65,5	59,7
Sm	14,5	13,7	13,4	12,4	12,6	12,8
Eu	3,1	2,7	2,6	2,5	2,6	2,1
Gd	8,5	8,1	8,0	7,5	7,8	6,9
Tb	1,2	0,86	0,9	0,75	0,77	0,9
Dy	6,0	5,9	5,5	4,9	4,8	5,3
Ho	0,96	0,86	0,9	0,8	0,85	0,9
Er	2,1	1,9	1,8	1,7	1,5	1,9
Tm	1,1	0,9	0,86	0,88	0,9	0,95
Yb	2,5	1,8	1,7	0,98	0,99	1,2
Lu	0,5	0,45	0,43	0,39	0,38	0,4
U/Th	0,23	0,23	0,25	0,24	0,26	0,26
(La/Yb) <sub>N</sub>	9,64	13,76	12,82	23,19	27,34	25,78

Примечание. Содержания элементов нормализованы по хондриту [9]. Отношения U/Th во всех породах менее 1, что указывает на свежий облик пород без значительных наложенных процессов.

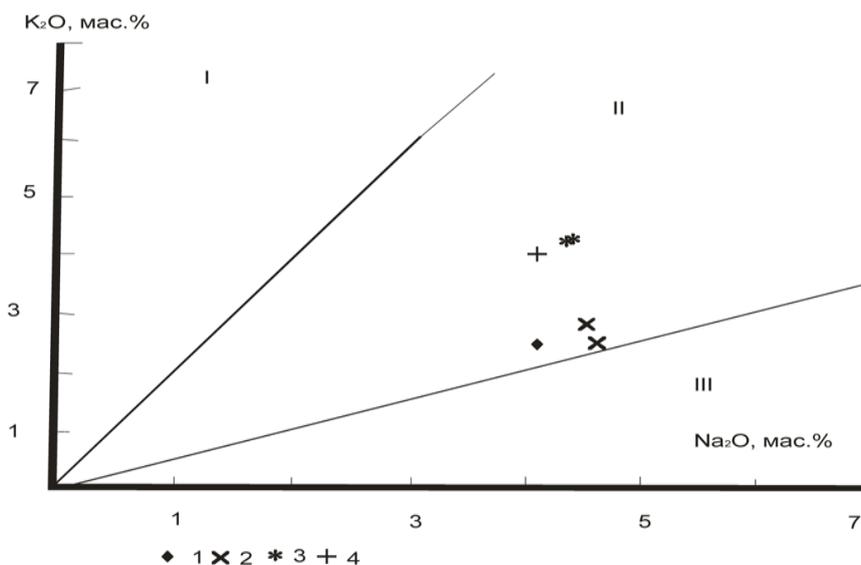


Рис. 1. Диаграмма  $K_2O - Na_2O$  по [13] для пород Залесовского массива. Поля пород: I – ультракалийевые, II – шошониты, III – известково-щелочные [13]. Породы Залесовского массива: 1 – кварцевый диорит, 2 – гранодиориты, 3 – кварцевые сиениты, 4 – гранит умеренно-щелочной

Гранитоиды содержат много глубоко переработанных ксенолитов боковых пород. Экзоконтактовые породы представлены роговиками (с пиритовой вкрапленностью) и слюдяными сланцами, реже установлены скарны и скарнированные роговики с пиротиновой минерализацией. В Новосибирском массиве (участок карьера «Борок») широко проявлена слабая молибденовая минерализация, иногда с шеелитом и вольфрамитом.

Г.С. Федосеевым и др. Rb-Sr изохронным датированием (по биотиту) гранитоидов Новосибирского массива установлен их возраст, равный  $245,5 \pm 3,1$  млн лет, Ag-Ag датировки по полевоому шпату и биотиту из гранитоидов Обского и Новосибирского массивов показали возраст  $249,1 - 251,5$  млн лет, по амфиболу из порфириовидных гранитов –  $243,7 \pm 2,1$  млн лет. Химический состав пород Залесовского массива представлен в табл. 1.

Нормированные отношения  $(La/Yb)_N$  к хондриту варьируют от 9,64 до 27,34, свидетельствуя о умеренном и сильно дифференцированном типе распределения РЗЭ. Породы Залесовского массива характеризуются повышенными концентрациями Nb (от 11,6 до 13,9 г/т) (Nb-обогащённые), Zr (от 212 до 260 г/т), Y (от 39,2 до 52,2), Sr (от 1350 до 1790 г/т).

По соотношению  $K_2O - Na_2O$  фигуративные точки составов пород локализируются в поле шошонитов (рис. 1).

Обычно шошонитовые гранитоиды вне зависимости от их региональной принадлежности характеризуются аномальными особенностями флюидного режима [3–6]. Эти особенности создают в расплавах трансформированные взаимодействия и взаимоотношения между многими химическими элементами, а также не заряд-радиус-контролируемое поведение элементов. Действительно в породах Залесовского массива очень высокие отношения Y/Ho и Zr/Hf, что наглядно видно на диаграмме (рис. 2).

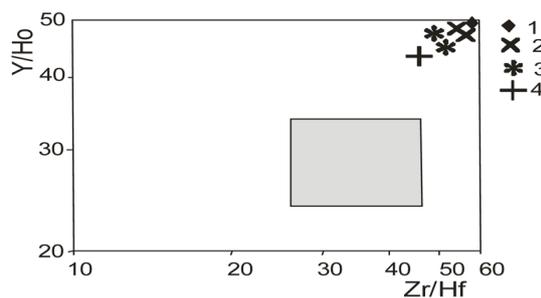


Рис. 2. Диаграмма  $Y/Ho - Zr/Hf$  по [9] для породных типов Залесовского массива. Серым показано поле CHARAC (заряд-радиус-контролируемое поведение элементов). Породы Залесовского массива: 1 – кварцевый диорит, 2 – гранодиориты, 3 – кварцевые сиениты, 4 – гранит умеренно-щелочной

Фигуративные точки указанных соотношений образуют локальное поле в пра-

вом верхнем углу диаграммы и ни один анализ не попадает в поле CHARAC. Следовательно, представленные анализы по Залесовскому массиву показывают «не заряд-радиус-контролируемое поведение» (NON-CHARAC behavior). Другие характерные соотношения элементов и величины тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ приведены в табл. 2.

**Таблица 2**  
Тетрадный эффект фракционирования РЗЭ и соотношения элементов в породах Залесовского массива

	1	2	3	4	5	6	7
Zr/Hf	60,6	59,2	57,2	55,8	55,7	49,0	36,0
Y/Ho	54,4	53,0	53,8	49,6	46,1	44,7	29,0
La/Nb	3,1	3,2	2,8	2,8	3,3	2,8	17,2
La/Ta	91,3	62,5	66,0	86,0	82,0	56,6	16,8
Sr/Eu	484	663	669	562	546	643	100,5
Eu/Eu*	0,79	0,73	0,72	0,74	0,75	0,62	1,0
TE <sub>1,3</sub>	0,94	0,88	0,89	0,94	0,94	0,96	

**Примечание.** 1 – кварцевые диориты, 2, 3 – гранодиориты, 4–5 – кварцевы сиениты, 6 – умеренно-щелочной гранит; 7- отношения в хондритах по [12]. TE<sub>1,3</sub> – тетрадный эффект по В. Ирбер [11]. Eu\* = (Sm<sub>N</sub> + Gd<sub>N</sub>)/2.

Характерны различные уровни соотношений элементов относительно хондрита. Часть отношений выше значений в хондритах (Zr/Hf, Y/Ho, La/Ta, Sr/Eu), другая часть показывает отношения ниже, чем в хондритах (La/Nb, Eu/Eu\*). Различные уровни соотношений La/Nb и La/Ta относительно хондриовых величин объясняются тем, что тантал и ниобий изоморфно замещают друг друга в некоторых минералах и поэтому показывают различные соотношения относительно хондрита. Следовательно, концентрации многих элементов в породах Залесовского массива трансформированы в значительной степени относительно хондритовых значений. Это обусловлено, скорее всего, высокой обводнёностью расплавов в момент их кристаллизации. Об обводнённости магм в процессе становления массива свидетельствует слабо проявленный тетрадный эффект фракционирования РЗЭ W – типа (величины ТЭФ менее 0,9).

На диаграмме соотношений Zr/Hf – TE<sub>1,3</sub> фигуративные точки составов Залесовского массива образуют тренд, устанавливающий слабое увеличение отношений Zr/Hf с уменьшением величин ТЭФ РЗЭ W- типа (рис. 3).



Рис. 3. Диаграмма Zr/Hf – TE<sub>1,3</sub> для пород Залесовского массива. Остальные условные на рис. 2

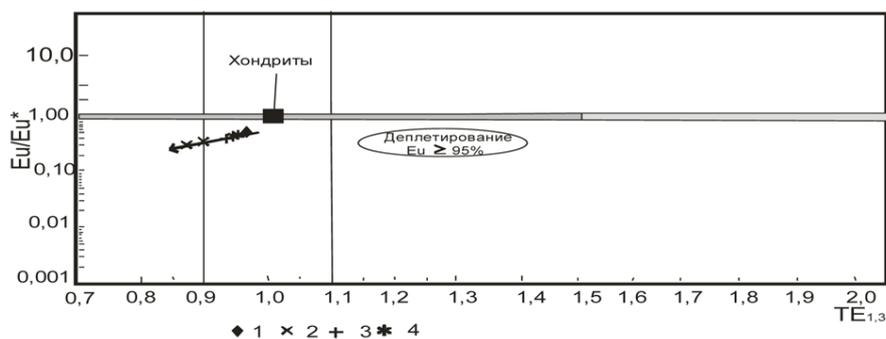


Рис. 4. Диаграмма соотношений Y/Ho – TE<sub>1,3</sub> для пород Залесовского массива. Остальные условные на рис. 2

На диаграмме соотношений Y/No –  $TE_{1,3}$  зависимость и положение тренда противоположное нежелезу для предыдущего соотношения (рис. 4).

Тренд в этом случае отвечает слабому увеличению соотношений Y/No с уменьшением величин  $TE_{1,3}$  (рис. 4). Известно, что чем выше отношение Eu/Eu\*, тем выше кислотность среды, согласно рядам кислотности-щёлочности А.А. Маракушева [8] для ряда элементов Sm, Gd, Eu в водно-сероводородных и сероводородных растворах при стандартных условиях. В нашем случае высокие величины ТЭФ РЗЭ W- типа должны отвечать увеличению щёлочности среды, а устойчивость в растворах комплексов, переносящих редкие металлы, в том числе и цирконий, выше в кислой среде. Следовательно, проявление ТЭФ РЗЭ W- типа обусловлено не только высокой обводнённостью расплавов, но изменениями физико-химической обстановки [5]. Наиболее высокие концентрации циркония отмечены в умеренно-щелочных гранитах (260 г/т, табл. 1), что в 1,4 выше средних содержаний Zr в гранитах, указывая на геохимическую специализацию залесовских гранитов на этот элемент. Возможно в пространственной связи с Залесовским массивом и присутствуют проявления редких элементов, в том числе и циркония.

### Заключение

Геологические данные указывают, что в строении Залесовского массива проявлена прямая зональность с обособлением более эволюционированных поздних фаз гранитов в центре, а ранних фаз – по периферии. Это указывает на то, что при становлении массива происходило быстрое поступление фаз и отдельных пульсаций, в результате чего предыдущие поступления не успевали закристаллизоваться и более поздние фазы их легко прорывали и располагались в центре Залесовского массива с формированием нормальной зональности. По химизму гранитоиды относятся к шошонитовой серии. В них проявлен ТЭФ РЗЭ W- типа, а увеличение его значений происходило при повышении щёлочности среды и созданию

условий для генерации редкометалльного оруденения, и в первую очередь – циркония. Аномальная обстановка по флюидному режиму и значительной обводнённости в ранних и поздних фазах внедрения происходила в условиях не подчинения заряд-радиус-контролируемого поведения химических элементов.

### Список литературы

1. Алексеенко В.А., Войткевич Г.И. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1979. – 311 с.
2. Браун Дж.М., Реддер Э., Пресналл Д.К., Муан А., Осборн Е.Ф. и др. Эволюция изверженных пород. – М.: Мир, 1983. – 528 с.
3. Гусев А.И., Гусев Н.И., Табакаева Е.М. Петрология и рудоносность Белокурихинского комплекса Алтая. – Бийск, 2008. – 193 с.
4. Гусев А.И., Гусев А.А. Шошонитовые гранитоиды: петрология, геохимия, флюидный режим и оруденение. – М.: Изд-во РАН, 2011. – 128 с.
5. Гусев А.И., Гусев А.А. Тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов и его использование в решении проблем петрологии гранитоидов // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 5. – С. 45–49.
6. Гусев А.И. Постколлизийные гранитоиды: петрология, геохимия, флюидный режим и оруденение. – Gamburg: Palmarium Academic Publishing, 2012. – 217 с.
7. Гусев А.И. Петрология и рудоносность гранитоидов жерновского интрузивного комплекса Салаира // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 12. – С. 101–106.
8. Маракушев А.А. Термодинамические факторы образования рудной зональности скрытого оруденения на основе зональности гидротермальных месторождений. – М.: Наука, – 1976. – С. 36–51.
9. Anders E., Greevesse N. Abundances of the elements: meteoric and solar // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1989. – V. 53. – P. 197–214.
10. Bau M., Dulski P. Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: evidence from Y/No, Zr/Hf, and lanthanide tetrad effect // Contrib. Miner. Petrol. – 1996. – V. 123. – P. 323–333.
11. Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu\*, Sr/Eu, Y/No, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // Geochim Cosmochim Acta. – 1999. – V. 63. – № 3/4. – P. 489–508.
12. Taylor H.P. McLennan S.M. The continental Crust: Its Composition and Evolution. – Blackwell, 1985. – 312 p.
13. Turner S., Arnard N., Lin J., Rogers N., Hawkesworth C., Harris N., Kelley S., Van Kalstern P., Deng W. Post-collision shoshonitic volcanism of the Tibetan Plateau: implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts // J. Petrol. 2001. – V. 37. – P. 45–71.
14. Vigneresse, J.L. The role of discontinuous magma inputs in felsic magma and ore generation // Ore geology Reviews. – 2007. – V. 30. – P. 181–216. – Refer.: P. 214–216.