УДК 552.3:550.4:550.42:550.93

# ПЕТРОЛОГИЯ ЛАМПРОФИРОВЫХ ДАЕК ЧОЙСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ ГОРНОГО АЛТАЯ

**Гусев А.И., Гусев Н.И.**

*Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина, Бийск, e-mail: anzerg@mail.ru*

Приведены данные по петро-геохимии лампрофиров Чойского рудного поля Горного Алтая. Породные типы лампрофиров (спессартиты, керсантиты, минетты, одиниты) проявляют близость к адакитовому магматизму. Генерация их проходила в восстановительных условиях и обильной насыщенности летучими компонентами (водой, углекислотой, плавиковой и соляной кислотами). Тетрадный эффект фракционирования РЗЭ указывает на возможность образования сложных фтор-комплексов, принимавших участие в переносе золота магматогенными флюидами.

**Ключевые слова: лампрофиры, керсантиты, спессартиты, одиниты, минетты, адакитовый магматизм, тетрадный эффект фракционирования РЗЭ**

# PETROLOGY OF LAMPROPHYRES DIKES CHOISKOE ORE DISTRICT OF MOUNTAIN ALTAI

**Gusev A.I., Gusev N.I.**

*The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru*

Data on petro-geochemistry of dikes lamprophyres Choiskoe ore district of Mountain Altai lead in paper. The rock types of lamprophyres (spessartites, kersantites, minettes, odinites) show nearness to adakite magmatism. Generation of its passed in reduce conditions and abundant of saturation volatile components (water, carbonate acid, fluoric acid, hyrochloric acid). Tetrad effect fractionation of REE point out on possibility formation fluor-complexes that it part in transfer of gold by magmatic fluids.

**Keywords: lamprophyres, spessartites, kersantites, minettes, odinite, adakitic magmatism, tetrad effect fractionation of REE**

Лампрофиры шошонитового типа, представленные спессартитами, керсантитами, одиннитами и минеттами, нередко встречаются в золоторудных полях и месторождениях [1, 2, 6]. В Горном Алтае лампрофиры обнаруживаются во многих районах, и с ними пространственно ассоциируют проявления и месторождения свинца, цинка, золота, ртути и других металлов [6]. Непосредственно с лампрофирами различного состава (в контактах даек) в Чойском рудном поле связано золото-теллуридно-скарновое оруденение. Цель исследования – определить петрологические особенности лампрофиров Чойского золоторудного поля.

**Результаты исследований**. В пределах Чойского рудного поля широким распространением пользуются лампрофировые дайки, представленные спессартитами, одинитами, керсантитами, минеттами, тесно ассоциирующие с долеритами, относящимися предположительно к чуйскому комплексу [6]. Лампрофиры чуйского комплекса образуют компактный рой даек меридиональной ориентировки. На поверхности известны лишь единичные выходы спессартитов и керсантитов. Значительная часть лампрофиров распространена на глубине (70-170 м) и вскрыта серией поисковых скважин.

Спессартиты имеют лампрофировую структуру и варьирующий состав (%): плагиоклаз (андезин-лабрадор) – 50-55, роговая обманка – 35-40, клинопироксен – 5-10. Основная масса породы призматическизернистая и состоит из плагиоклаза и роговой обманки. Интрателлурические вкрапленники представлены роговой обманкой и диопсидом. Акцессорные минералы – ильменит, сульфиды, сфен.

Одиниты близки к спессартитам по структуре и составу, но отличаются более основным уклоном в химизме. Основная масса породы аллотриоморфнозернистая, сложенная (%): призмочками плагиоклаза (50-55), зернами роговой обманки (40) и клинопироксена (10-15). Порфировые выделения – клинопироксен (авгит), роговая обманка. Акцессорные минералы: ильменит, апатит, сфен, сульфиды.

Керсантиты резко порфировидные породы с аллотриоморфнозернистой основной массой, сложенной плагиоклазом (55%) и листочками биотита (35%), ксеноморфными зёрнами калиевого полевого шпата (10). Интрателлурическая фаза представлена плагиоклазом (андезин-лабрадор), биотитом, редко клинопироксеном.

Минетты представлены калиевой разностью – проверситом. Микроструктура основной массы породы аллотриоморфнозернистая, состоящая из листочков флогопита (35-40%), калиевого полевого шпата (55%), альбит-олигоклаза (10-15%). Во вкраплен-

никах присутствуют флогопит, клинопироксен. Акцессорные минералы – ильменит, апатит, циркон, сфен, сульфиды.

Определения абсолютного возраста долеритов и лампрофиров чуйского комплекса по K-Ar методу в Чуйском ареале дают цифры 185-195 млн. лет. Новая датировка (245-250 млн. лет) получена по Ar-Ar методу (устное сообщение А.С. Борисенко).

Химические составы лампрофиров дайковых образований Чойского рудного поля приведены в табл. 1

**Таблица 1**

Представительные анализы даек лампрофиров Чойского рудного поля (оксиды – масс. %, элементы – г/т.)

| Компоненты | 55-72 | 55-68 | 55-101 | 55-68 | 44-76 | 55-162 | 55-68 | 55-172 | 55-76 | 44-85 | 44-53 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 48,6 | 48,05 | 46,8 | 50,35 | 45,63 | 51,36 | 49,76 | 50,78 | 45,52 | 46,7 | 54,13 |
| $TiO_2$ | 0,72 | 0,69 | 1,31 | 0,7 | 1,27 | 0,79 | 0,72 | 0,76 | 0,63 | 0,62 | 0,78 |
| $Al_2O_3$ | 10,63 | 10,15 | 8,95 | 9,43 | 8,7 | 12,54 | 11,3 | 12,08 | 10,16 | 11,28 | 12,95 |
| $Fe_2O_3$ | 2,08 | 2,12 | 2,18 | 2,15 | 2,10 | 2,34 | 2,73 | 3,55 | 3,2 | 3,18 | 3,84 |
| FeO | 6,7 | 6,5 | 4,6 | 6,63 | 5,01 | 5,81 | 5,61 | 5,72 | 7,9 | 7,78 | 4,98 |
| MnO | 0,15 | 0,16 | 0,2 | 0,15 | 0,25 | 0,14 | 0,15 | 0,15 | 0,18 | 0,17 | 0,17 |
| MgO | 10,67 | 11,77 | 12,35 | 10,22 | 12,15 | 9,2 | 10,41 | 9,88 | 16,22 | 16,08 | 9,12 |
| CaO | 8,36 | 8,35 | 5,42 | 10,32 | 6,1 | 7,61 | 7,93 | 7,82 | 10,1 | 9,26 | 8,25 |
| $Na_2O$ | 1,03 | 1,01 | 1,02 | 0,75 | 0,95 | 1,0 | 1,52 | 1,61 | 0,82 | 0,97 | 1,11 |
| $K_2O$ | 5,3 | 4,22 | 6,7 | 5,75 | 5,84 | 3,9 | 3,82 | 3,95 | 1,1 | 1,22 | 1,32 |
| $P_2O_5$ | 0,47 | 0,44 | 0,98 | 0,44 | 0,9 | 0,42 | 0,43 | 0,41 | 0,25 | 0,23 | 0,12 |
| Mg# | 54,8 | 57,7 | 64,5 | 53,8 | 63,7 | 52,8 | 55,5 | 54,4 | 59,3 | 59,5 | 65,0 |
| Cr | 132 | 147 | 149 | 145 | 144 | 150 | 165 | 155 | 175 | 148 | 19 |
| Co | 55 | 53 | 52 | 51 | 54 | 55 | 62 | 61 | 60 | 57 | 26,7 |
| Ni | 15,0 | 15,1 | 14,7 | 14,6 | 15,3 | 15,2 | 20,5 | 16,7 | 15,8 | 14,2 | 13,8 |
| Cu | 42 | 44 | 41 | 47 | 51 | 55 | 51 | 52 | 48 | 47 | 20,4 |
| Zn | 87,5 | 101 | 105 | 100,0 | 87,8 | 99,4 | 98,5 | 97,4 | 88,2 | 87,4 | 98,7 |
| Rb | 152 | 156 | 148 | 149 | 151 | 144 | 126 | 131 | 121 | 118 | 35,6 |
| Sr | 501 | 480 | 630 | 628 | 645 | 499 | 459 | 488 | 575 | 584 | 506 |
| Y | 13 | 12 | 12 | 12 | 11 | 9 | 13 | 13 | 10 | 11 | 10,8 |
| Nb | 12,1 | 13,2 | 7,7 | 8,4 | 9,5 | 12,1 | 11,3 | 10,4 | 7,5 | 8,1 | 7,56 |
| Ba | 347 | 294 | 445 | 374 | 454 | 476 | 479 | 477 | 426 | 432 | 327 |
| La | 54,5 | 53,7 | 55,8 | 53,2 | 54,4 | 53,3 | 53,8 | 54,2 | 52,7 | 52,4 | 10,9 |
| Ce | 102 | 103 | 104 | 102 | 101 | 105 | 111 | 107 | 98 | 97 | 24,6 |
| Pr | 10,5 | 10,4 | 10,6 | 10,7 | 10,4 | 10,5 | 10,8 | 10,9 | 10,3 | 10,2 | 3,33 |
| Nd | 41 | 40 | 38 | 37 | 42 | 43 | 42 | 41 | 44 | 43 | 17,4 |
| Sm | 3,2 | 3,1 | 2,9 | 3,3 | 3,1 | 4,1 | 4,2 | 4,1 | 4,0 | 4,1 | 3,19 |
| Eu | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 1,1 | 1,2 | 1,1 | 1,3 | 1,4 | 0,97 |
| Gd | 2,2 | 2,1 | 2,0 | 2,3 | 2,2 | 2,4 | 2,5 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 3,91 |
| Tb | 0,5 | 0,6 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 0,9 | 0,7 | 0,7 |
| Dy | 2,0 | 3,0 | 1,5 | 1,8 | 2,0 | 3,0 | 3,5 | 3,2 | 3,3 | 3,5 | 4,51 |
| Ho | 0,52 | 0,45 | 0,34 | 0,37 | 0,39 | 0,44 | 0,43 | 0,42 | 0,43 | 0,46 | 0,89 |
| Er | 1,9 | 1,8 | 1,7 | 1,9 | 2,0 | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 1,9 | 2,0 | 2,44 |
| Yb | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,0 | 1,1 | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 1,4 | 1,2 | 1,45 |
| Lu | 0,2 | 0,21 | 0,22 | 0,22 | 0,23 | 0,24 | 0,23 | 0,23 | 0,26 | 0,25 | 0,41 |
| Th | 10 | 12 | 11 | 10 | 8 | 9 | 10 | 9 | 7 | 8 | 7,8 |
| U | 8 | 10 | 9 | 7 | 5 | 7 | 7 | 6 | 6 | 5 | 6,54 |
| Sr/Y | 38,5 | 40 | 52,5 | 52,3 | 58,6 | 50,4 | 57,3 | 43,4 | 57,5 | 53,7 | 46,8 |
| $La/Sm_N$ | 10,7 | 10,9 | 12,1 | 7,7 | 11,1 | 8,2 | 8,1 | 8,3 | 8,3 | 8,0 | 2,1 |
| $La/Yb_N$ | 3,7 | 3,3 | 3,1 | 3,6 | 3,3 | 2,8 | 3,0 | 3,7 | 2,5 | 2,9 | 4,96 |
| U/Th | 0,8 | 0,83 | 0,82 | 0,7 | 0,63 | 0,78 | 0,7 | 0,67 | 0,86 | 0,63 | 0,84 |

Примечание. Анализы выполнены в Лаборатории Западно-Сибирского Испытательного Центра (г. Новокузнецк). Mg# – молекулярные отношения $Mg/(Mg+Fe^2)$. Значения РЗЭ нормированы по хондриту по [7]. Пробы отобраны в скважинах 55 и 44: 55-72, 55-68, 55-101, 55-68, 44-76 – минетты; 55-162, 55-68, 55-172 – керсантиты; 55-76, 44-85 – одиниты; 44-53 – спессартит.

В целом лампрофиры Чойского рудного поля характеризуются восстановленным типом, что определяется присутствием ильменита среди акцессориев. Такие породы относятся к ильменитовой серии магматитов по [9]. В лампрофирах наблюдается высокий уровень индекса Mg#, варьирующего от 52,8 до 65. Высокие отношения Sr/Y и La/SmN, La/Yb и низкие содержания тяжёлых РЗЭ (HREE) (Yb<1,8, Y< 18 г/т) в породах являются типичными для адакитовых магм.

В поле адакитов фигуративные точки составов лампрофиров попадают и на диаграмме Sr/Y – Y (рис. 1).

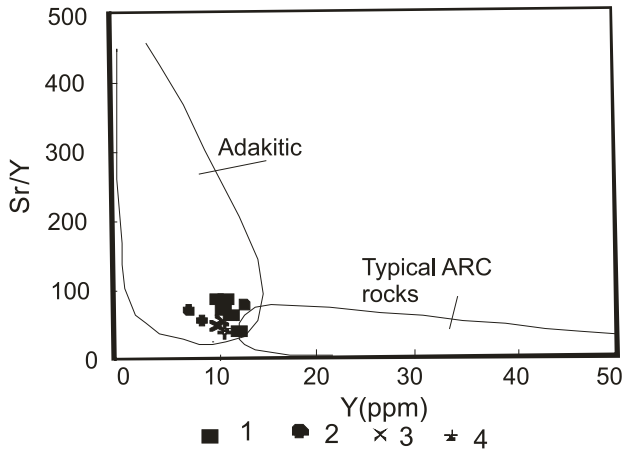


*Рис. 1. Диаграмма Sr/Y – Y по [8] для лампрофиров Чойского рудного поля. Поля на диаграмме по [8]: Adakitic – Адакиты, Typical ARC rocks – породы типичных андезитов, риолитов, дацитов вулканических дуг. Лампрофиры Чойского рудного поля: 1 – минетты, 2 – керсантиты, 3 – одиниты, 4 – спессартит*

Высокие (La/Nb) отношения (1.44 – 7,2), Ba/Nb (22,3 – 57,8) близки к таковым в изверженных породах островных дуг. Это подтверждается и положением фигуративных точек состава лампрофиров Чойского рудного поля в область вулканических дуг на диаграмме Ba/Nb – La/Nb (рис. 2).

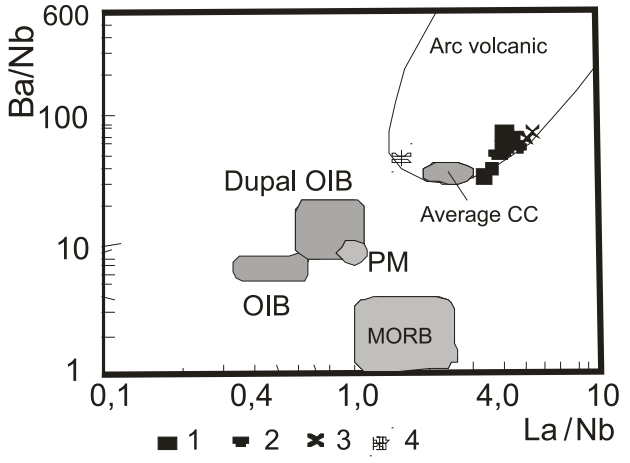


*Рис. 2. Диаграмма Ba/Nb – La/Nb для лампрофиров Чойского рудного поля*

Данные по примитивной мантии (PM) по [13]; средней континентальной коры (CC) по [14]; данные по OIB, MORB по [12]; данные по составам вулканических дуг по [11]. Остальные условные обозначения те же, что на рис. 1.

В лампрофирах проявлен тетрадный эффект фракционирования (ТЭФ) редкоземельных элементов (РЗЭ), величина которого варьирует от 0,99 до 1,4 (табл. 2). Обычно ТЭФ РЗЭ проявляется в высоко эволюционированных лейкогранитах. Проявление

ТЭФ в лампрофирах не совсем обычное явление. В большинстве проб лампрофиров Чойского рудного поля тетрадный эффект превышает пограничное значение 1,1 (табл. 2), что свойственно М-типу тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ.

**Таблица 2**

Отношения элементов и значения тетрадного эффекта фракционирования (ТЭФ) РЗЭ

| Отношения элементов и значения ТЭФ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| La/Nb | 4,5 | 4,06 | 7,2 | 6,3 | 5,7 | 4,4 | 4,8 | 5,2 | 7,0 | 6,5 | 1,44 | 16,5 |
| Y/Ho | 108 | 26,7 | 35,3 | 32,4 | 28,2 | 20,4 | 18,6 | 30,9 | 23,2 | 23,9 | 12,1 | 29,0 |
| Sr/Eu | 557 | 533 | 630 | 698 | 806 | 454 | 383 | 444 | 442 | 417 | 522 | 100,5 |
| Eu/Eu* | 0,99 | 1,02 | 1,21 | 0,95 | 0,89 | 0,99 | 0,74 | 1,0 | 1,19 | 1,24 | 0,85 | 0,32 |
| $TE_{1,3}$ | 0,99 | 1,25 | 1,03 | 1,08 | 1,12 | 1,26 | 1,4 | 1,33 | 1,37 | 1,25 | 0,99 | |

Примечание. $Eu^* = (Sm_N+Gd_N)/2$. Нормализация значений проведена по [7]. $TE_{1,3}$ – тетрадный эффект фракционирования, как среднее между первой и третьей тетрадами по [10]. Лампрофиры Чойского рудного поля: 1-5 – минетты; 6-8 – керсантиты; 9-10 – одиниты; 11 – спессартит. 12 – отношения элементов в хондритах

Соотношения некоторых элементов и ТЭФ РЗЭ весьма показательны. Так на диаграмме Y/Ho – $TE_{1,3}$ увеличение величины тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ коррелируется с уменьшением отношений Y/Ho (рис. 3). Тренд увеличения величины ТЭФ пересекает область варьирования составов магматических пород от высоких значений к низким. При этом, отношения Y/Ho дают большой разброс значений относительно хондритового значения, как в высшую, так и в меньшую сторону (табл. 2).

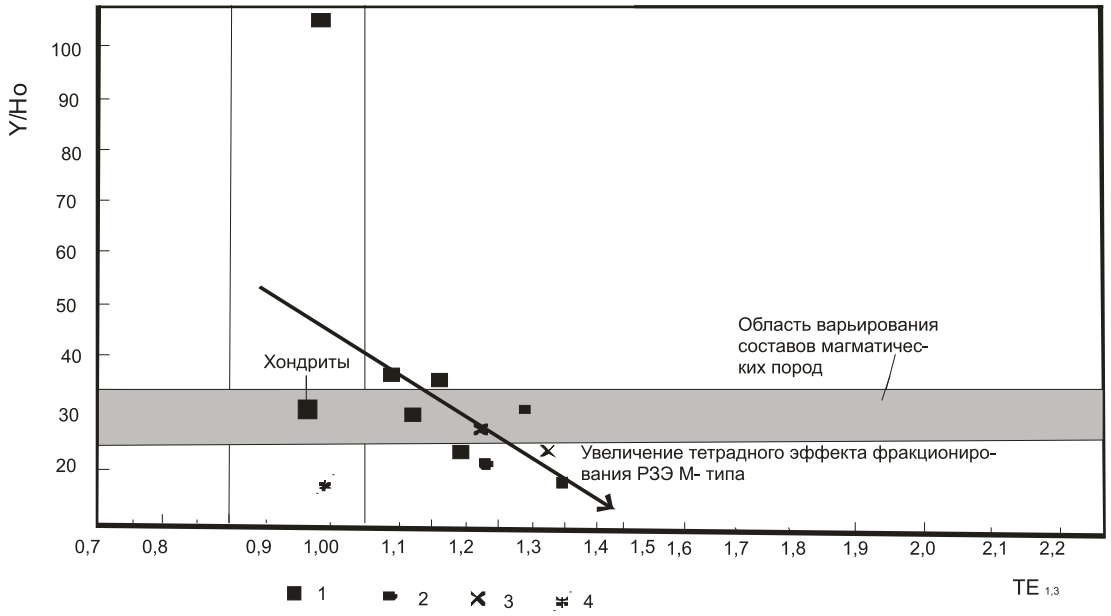


*Рис. 3. Диаграмма соотношений Y/Ho – $TE_{1,3}$ для лампрофиров Чойского рудного поля Условные обозначения те же, что на рис. 1*

**Интерпретация результатов.** Лампрофиры Чойского рудного поля показывают близость к адакитовому магматизму и генерацию в обстановке вулканической дуги в восстановительных условиях. Ранее нами показано, что проявление тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ связано с высоководными, обогащенными летучими компонентами флюидами, и, в первую очередь, фтором, бором, углекислотой, фосфором, хлором [5, 6]. Такие летучие компоненты имеют значительное влияние на эволюцию магматизма, температур солидуса и ликвидуса магм, вязкости силикатного расплава, кристаллизационной последовательности минералов из расплавов, а также на поведение рассеянных элементов и их разделение между флюидом и расплавом. Фракционирование РЗЭ при проявленном тетрад-эффекте происходит при участии сложных комплексных соединений фтор-комплексов [5]. При этом намечается корреляция величины тетрадного эффекта и степени обогащённости системы фтором. Выявление тетрадного эффекта в различных геологических образованиях важно потому, что он сопровождается характерными аномальными параметрами флюидного режима в магматических, метасоматических, пневматолито-гидротермальных и гидротермальных процессах, определяющих их потенциальную рудогенерирующую способность. Кроме того фторкомплексы являются сами по себе важными переносчиками ряда рудообразующих элементов при формировании рудных гидротермальных месторождений – олова, вольфрама, молибдена, бериллия, тантала, ниобия, золота, лития, редких земель. И действительно, керсантиты Чойского рудного поля характеризуются аномальными параметрами флюидного режима: они имеют резко восстановительную обстановку, высокие парциальные давления воды, углекислоты и концентрации фтора и хлора во флюидах [3, 6]. На диаграмме Ce/Y – La/Nb лампрофиры показывают наличие мантийного источника и смешение с коровым материалом, проявляя мантийно-коровое взаимодействие [3, 4, 6].

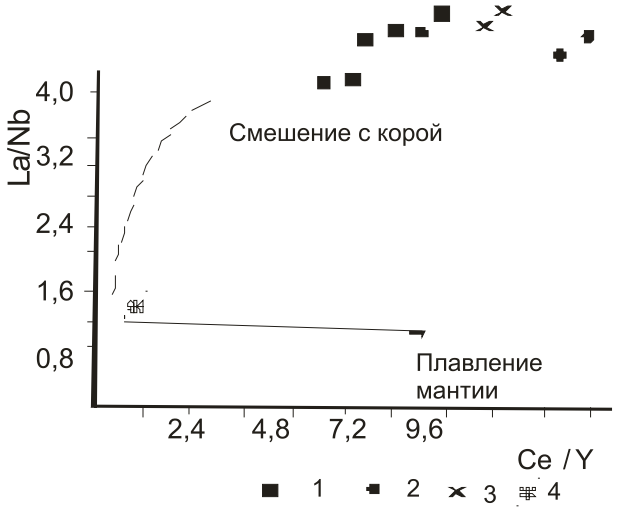


*Рис. 4. Диаграмма соотношений Ce/Y – La/Nb для лампрофиров Чойского рудного поля. Условные обозначения те же, что на рис. 1*

**Заключение**

Лампрофиры Чойского рудного поля по петро-геохимичеким данным близки к адакитовому типу магматизма, генерация которого происходила в восстановительных условиях и обильной насыщенности флюидной фазой, что приводило к проявлению тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ и создавало условия для переноса золота в комплексных соединениях (фторкомплексах). Генерация лампрофиров происходила в результате мантийно-корового взаимодействия и связана с Сибирским суперплюмом.

## Список литературы

1. Гусев А.И. Золото-генерирующие рудно-магматические системы Горного Алтая // Руды и металлы, 1998. № 2. С.67-78

2. Гусев А.И., Гусев Н.И. Геологическое строение Чойского рудного поля Горного Алтая // Руды и металлы, 1998. № 2.– С.90-100.

3. Гусев А.И., Гусев Н.И. Магмо-флюидодинамическая концепция эндогенного рудообразования на примере Горного Алтая и других регионов // Региональная геология и металлогения, Санкт-Петербург, 2005. № 23. С. 119-129.

4. Гусев А.И., Коробейников А.Ф. Мантийно-коровое взаимодействие в генерации различных типов оруденения: геофизический и петрологический аспекты // Известия Томского политехнического университета, 2009. Т 315. – № 1. С. 18-25.

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.

5. Гусев А.И, Гусев Н.И., Красова А.С. Восстановленная интрузивно-связанная Чойская магмо-рудно-метасоматическая W-Au-Te система Горного Алтая // Современные наукоёмкие технологии, 2012. № 3. С. 23-27.

6. Гусев А.И. Петрология золотогенерирующего магматизма. – М.: Изд-во РАЕ, 2012. – 148 с.

7. Anders E., Greevesse N. Abundences of the elements: meteoric and solar // Geochim. Cosmochim. Acta., 1989. – V.53. – Pp. 197-214.

8. Defant M.J., Drummond M.S. Mount St. Helens: potential example of the partial melting of the subducted lithosphere in a volcanic arc. // Geology, 1993. – V. 21. – Pp. 547-550.

9. Ishihara S. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks // Min. Geol. – Tokyo. – 1977. -V.27. – P.293-305.

10. 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. – Pp. 489-508

11. Jahn, B.M. Archean granulite gneisses from eastern Hebei province, China: rare earth geochemistry and tectonic implication // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1984. – V. 85. – Pp. 224 – 243.

12. Le Roux, A.P. Geochemical correlation between Southern African kimberlites and South Atlantic hot spot // Nature. – 1986. – V. 324. – Pp. 243-245.

13. Sun, S.S. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implication and processes / Magmatism in the Ocean Basins // Geollogical Society of London. Special Publication. – 1989. – № 42. – Pp. 313-345.

14. Taylor, S.R. The continental crust: composition and evolution. – Boston: Blackwell Scientific Publications., 1985. – Pp. 209-230.