

УДК 552.11:553.3/4:550.4:551.2

## МАГМАТИЗМ И ОРУДЕНЕНИЕ МУРЗИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО ПОЛЯ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

Гусев Анатолий Иванович<sup>1</sup>,  
anzerg@mail.ru

Табакаева Евгения Михайловна<sup>1</sup>,  
tabakaeva16@mail.ru

<sup>1</sup> Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В.М. Шукшина, Россия, 659333, г. Бийск, ул. Владимира Короленко, 53.

**Актуальность** исследования определяется необходимостью освещения новых данных по петрологии, геохимии и оруденению гранитоидов Мурзинского рудного поля Горного Алтая. С гранитоидами Мурзинского штока пространственно и парагенетически связаны различные типы оруденения меди и золота раннего этапа. С дайками пикродолеритов и долеритов связано позднее золото-ртутное оруденение.

**Цель исследования:** изучить петрологические, геохимические особенности пород и оруденения Мурзинского штока с использованием экспериментальных диаграмм, позволяющих выявлять генетические проблемы и физико-химические особенности петрогенезиса.

**Методы** исследования включали изучение состава горных пород с применением лазерно-абляционного анализа методом индуктивно-связанной плазмы на спектрометре «ОПТИМА&4300» с высокой чувствительностью определения элементов в лабораториях Всероссийского научно-исследовательского геологического института (г. Санкт-Петербург) и Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (г. Москва).

**Результаты.** Главными рудогенерирующими объектами в рудном поле являются гранитоиды Мурзинского штока позднего девона и редкие дайки долеритов терехтинского комплекса поздней перми – раннего триаса. Гранитоиды Мурзинского массива отнесены к андезит-дацит-риолитовой серии, источником которой было плавление амфиболитов и граувакк нижней коры при относительно невысоком давлении (3...5 кбар). Проявление тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ М-типа в гранитоидах коррелировалось с концентрациями меди и золота. Образование ранних золото-медно-скарновых руд связано парагенетически с гранитоидами Мурзинского массива. Дайки пикродолеритов и долеритов формировались за счёт низкой степени частичного плавления шпинелевых лерцолитов и интерпретируются дериватами базальтов океанических островов. Оторванное по времени золото-ртутное оруденение связано с глубинным очагом, генерировавшим дайки пикродолеритов и долеритов. Интрузивно-связанные золото-медно-скарновые месторождения Мурзинского рудного поля следует относить к комплексным объектам («бипродуктам»), сформировавшимся в менявшихся условиях флюидного режима. Ранние этапы проходили с участием ювенильных магматогенных флюидов, а на заключительной стадии рудогенез протекал в условиях смешения ювенильных и разбавленных холодных растворов.

### Ключевые слова:

Геохимия, петрология, гранитоиды, дайки пикродолеритов, долеритов, частичное плавление, тетрадный эффект фракционирования РЗЭ, скарны, жилы, медь, золото, ртуть.

### Введение

Специфика Горного Алтая заключается в том, что на его территории широко распространены интрузивно связанные скарновые месторождения самого различного состава: Cu, Au, W, Mo, Fe. Наиболее востребованы в настоящее время скарновые объекты с золотом, к числу которых относятся известные Синюхинское и Ульменское золото-медно-скарновые, Чойское золото-теллуридно-скарновое месторождения. В них помимо скарнов присутствуют руды и других геолого-промышленных типов оруденения [1]. В настоящее время уделяется пристальное внимание изучению комплексных объектов, включающих в себя различные геолого-промышленные типы оруденения, так как такое совмещение разных типов оруденения приводит к формированию крупных месторождений. Так, в золоторудном месторождении Пэйтинг провинции Гуижоу (Китай) присутствуют руды типа Карлин и орогенного жильного [2]. На золото-урановом месторождении Ромпас (Северная Финляндия) совмещены уранинит-пиробитумное и самородное золото с галенитом, алтаитом, хунчитом, никели-

ном, кобальтином, мальдонитом, пиритом, пирро-тином, халькопиритом, молибденитом [3].

В северной части Горного Алтая давно известен один из интереснейших золото-медно-скарновых объектов – Мурзинское рудное поле, в пределах которого разрабатываются и эндогенные, и гипергенные руды золота, а также характерно совмещение разных типов оруденения. *Цель исследования* – систематизировать сведения по магматизму, метасоматитам, геохимии и золотоносности Мурзинского рудного поля с использованием новых данных.

### Геологические особенности Мурзинского рудного поля

*Мурзинское рудное поле* площадью около 50 км<sup>2</sup> расположено в северной части Горного Алтая и включает известные золоторудные месторождения Мурзинское I, Мурзинское II, Мурзинское III, мелкие делювиально-элювиальные россыпи золота, а также оруденение золота в коре выветривания. Мурзинское рудное поле структурно приурочено к восточной области замыкания Ку-

руинско-Акимовской синклинали, срезанной и осложненной Акимовским взбросо-надвигом субмеридионального простирания. В строении рудного поля принимают участие терригенно-карбонатные отложения нижедевонской барагашской свиты, залегающие с базальными конгломератами на пестроцветных терригенных образованиях позднего силура (черноануйская свита). Тектонический блок к северу от дер. Мурзинка, а также северная надвиговая пластина Акимовского дизъюнктива сложены терригенными, нередко грубообломочными породами, отнесенными к нижеануйской серии раннего-среднего ордовика. К северо-западу от г. Мурзинка к одной из надвиговых пластин приурочена дайкообразная Мурзинская интрузия гранодиоритов усть-беловского комплекса. Наиболее поздними образованиями рудного поля являются дайки долеритов и базальтов, трассирующие разломы субширотной и северо-восточной ориентировки.

Породы висячего бока Акимовского надвига, расположенные к юго-востоку от Надеждинского разлома, отнесены к барагашской свите условно. Непосредственный контакт между образованиями лежащего и висячего боков Акимовского взбросо-надвига закрыт, но при переходе от первых ко вторым наблюдается резкая (скачкообразная) смена термальных изменений – эпидотизация и окварцевание, появление скарнов. Кроме того, породы фронтальной части лежащего бока интенсивно брекчированы, перемяты.

Мурзинский массив (площадью 0,9 км<sup>2</sup>) – типичная трещинная интрузия с неровными заливообразной формы контактами, имеет северо-восточную ориентировку и, предположительно, юго-восточное падение. Северо-западный его контакт подсорван. В составе массива выделены 3 фазы внедрения: кварцевые диориты, гранодиориты и меланограниты. Гранодиориты главной фазы здесь подвергнуты неравномерной эпидотизации. Темноцветные минералы (роговая обманка и пироксен) почти полностью замещены актинолитом, эпидотом и сфеном. Эпидот образует гнезда, пятна неправильной формы (до 10...15 % объема породы) размером от долей миллиметра до 6...8 мм, иногда в породах отмечается гранат. Эти породы могут быть отнесены к эндоскарнам. В юго-восточном экзо- и эндоконтакте интрузии наблюдается интенсивная турмалинизация в виде турмалин-кварцевых прожилков и равномерной тонкой вкрапленности (размер кристаллов ~ 1 мм). Но наблюдаются и участки, где гранодиориты преобразованы в черные кварц-турмалиновые (шерл) породы, образующие тела (при ширине выходов – до первых метров и протяженностью в первые десятки метров) вытянутой формы северо-восточного направления; реже это овальные в плане тела размером от 30...40 см до 4...6 м в поперечнике. Наиболее широкие поля скарнов, скарнированных пород и эпидозитов (до 0,3 км<sup>2</sup>) отмечаются в зоне интрузий гранодиоритов, полого погружающихся к юго-вос-

току, и срезаются главной ветвью Акимовского дизъюнктива. Маломощные тела скарнов прослеживаются и в северо-западном экзоконтакте массива. Состав скарнов: гранатовый, гранат-эпидотовый, пироксеновый и гранат-пироксеновый. Преобладают две первые разности, а также широко развиты эпидозиты.

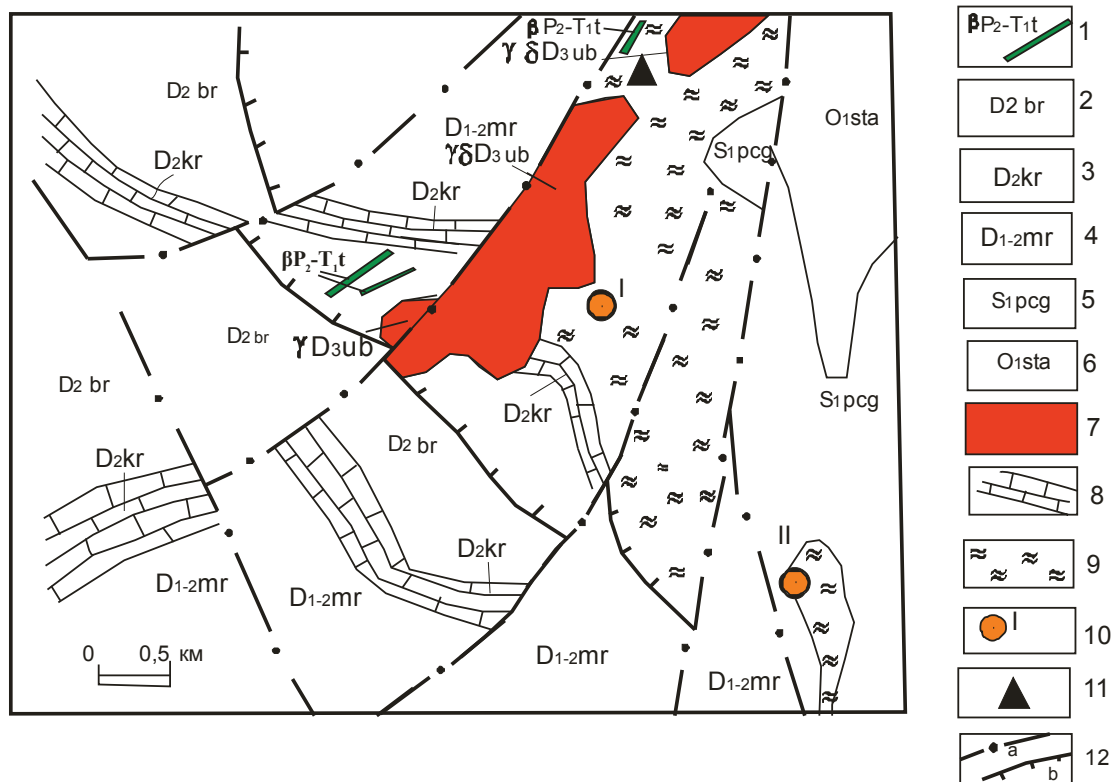
Шовная (главная) зона Акимовского дизъюнктива в пределах рудного поля имеет сложное внутреннее строение, субмеридионального простирания, а далее на север оно изменяется на север-северо-восточное. Здесь отмечается целый ряд параллельных разломов, которые в свою очередь осложнены большим количеством оперяющих разрывов преимущественно северо-восточной ориентировки. Ширина зоны на поверхности – первые сотни метров. В стенках карьера месторождения Мурзинское № 1, вскрывающего зону главного разлома, отчетливо наблюдается минерализация катаклазитов, тектонических брекчий с блоками скарнов и эпидозитов. Тектонические брекчии развиты по различным скарнам, эпидозитам, эпидотизированным породам, роговикам и ороговикованным сланцам. Цементом служит кварц и эпидот. Если с поверхности плоскость главного Акимовского разлома погружается на восток под углом 45...50°, то с глубиной (по данным бурения ООО «Поиск») крутизна его увеличивается до 60...70°. Уменьшается и мощность зоны брекчирования (первые десятки метров). С главной зоной Акимовского разлома и оперяющими его нарушениями связаны наиболее мощные, но не выдержанные по мощности и простиранию, золотоносные кварцевые жилы с сульфидами.

В рудном поле имеется оруденение, сформированное в плутоногенно-гидротермальную стадию, наложившуюся на дорудные метасоматические образования. Последние на месторождении Мурзинское I и проявлении Мурзинское II представлены гранат-диопсидовыми, гранатовыми и гранат-эпидотовыми скарнами и скарнированными породами, развитыми вдоль зоны главного Акимовского разлома, в экзоконтакте небольшого Мурзинского гранитоидного массива (рис. 1).

#### Интрузивные образования

В пределах Мурзинского рудного поля обнажены гранитоиды Мурзинского штока и редкие дайки долеритов терехтинского комплекса.

*Кварцевые диориты* Мурзинского штока составляют около 10 % от объема всех пород. Чаще всего они представляют собой светло-серые и серые среднезернистые породы массивной и шпирово-такситовой текстуры. Под микроскопом обнаруживают гипидиоморфнозернистую структуру с элементами и вариациями до пойкилофитовой и монзонитовой в связи с развитием крупных силовидных пойкилобластов калиевого полевого шпата, изредка кварца. Для петрографического состава данных пород характерно развитие зеленой обыкновенной роговой обманки (до 15...20 %) и, в



**Рис. 1.** Схематическая геологическая карта Мурзинского рудного поля (составлена авторами с учётом данных Б.В. Сорокина): 1 – дайки долеритов терехтинского комплекса; 2 – барагашская свита – желтовато-серые песчаники, алевролиты, аргиллиты; 3 – курьинская свита – известняки, желтовато-серые алевролиты, песчаники; 4 – мурзинская свита – конгломераты, известняки, песчаники, алевролиты, аргиллиты; 5 – известково-глинистые сланцы, песчаники, алевролиты, конгломераты подчагырской свиты; 6 – зеленовато-серые, серые, лиловые песчаники, конгломераты, глинистые сланцы суеткинской свиты; 7 – гранодиориты, кварцевые диориты, меланограниты усть-беловского комплекса; 8 – известняки курьинской свиты; 9 – скарны гранатовые, гранат-пироксеновые; 10 – Мурзинские месторождения (Мурзинское I, Мурзинское II); 11 – Надеждинское проявление железа; 12 – разломы: а – сбросы, сбросо-сдвиги; б – надвиги

**Fig. 1.** Schematic geological map of Murzinsky ore field (composed by the authors with the discount data of B.V. Sorokin): 1 – dikes of dolerites of Terekhtinsky complex; 2 – Baragash suite – yellow-gray sandstones, aleurolites, argillites; 3 – Kurinskaya suite – limestones, yellow-gray aleurolites, sandstones; 4 – Murzinskaya suite – conglomerates, limestones, sandstones, aleurolites, argillites; 5 – limestone-clay schists, sandstones, aleurolites, conglomerates of Podchagirsky suite; 6 – green-gray, gray, lilac sandstones, conglomerates, clay schists of Suetkinskaya suite; 7 – granodiorites, quartz diorites, melanogranites of Ust-Belovsky complex; 8 – limestones of Kurinskaya suite; 9 – skarns garnet, garnet-pyroxene; 10 – Murzinsky deposits (Murzinskoe I, Murzinskoe II); 11 – Nadezhkhinskoe iron manifestation; 12 – faults: a – normal faults, normal faults-strike-slip faults; b – thrust faults

меньших и переменных количествах, биотита (до 5...10 %). Иногда в реликтовых зернах присутствует клинопироксен и ортопироксен (гиперстен). Плагиоклаз обычно наиболее идиоморфен и представлен нередко слабозональным андезином, в порфириовидных и порфириовых разностях образует фенокристаллы размером до 1 см. Также и интра-теллурические вкрапления корродируются кварцем, калиевым полевым шпатом и имеют прямую зональность: в ядре они представлены андезином № 45–47, а по периферии андезином № 32–34.

Постоянно присутствует слабоупорядоченный калиевый полевой шпат (10...20 %) – ксеноморфный или, при больших количествах, в виде крупных ситовидных пойкилобластов с образованием монцититовой микроструктуры.

Гранодиориты являются наиболее распространенной петрогеохимической разновидностью пород второй фазы (более 75 %), имеют подобный кварцевым диоритам состав и основные структурно-текстурные особенности, но уже с количественным преобладанием биотита над актинолитизированной роговой обманкой, в целом несколько меньшим количеством темноцветных минералов (15...20 %) и большим количеством кварца (до 20 %) при практически подобном, слабо варьирующем содержании калиевого полевого шпата. Среди акцессорных минералов кварцевых диоритов и гранодиоритов доминирует магнетит (в отдельных пробах до 1209 г/т), менее развит ильменит (до 40 г/т). Иногда в значительных количествах присутствует циркон (до 7...8 г/т) и сфен, характерны рутил, апатит, монацит, гранат, ортит, пирит.

**Таблица 1.** Химический состав гранитоидов Мурзинского массива (золото – мг/т)

**Table 1.** Chemical composition of granitoids of Murzinsky massif (gold – mg/t)

Компоненты Components	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO <sub>2</sub>	62,9	61,21	63,21	63,2	64,8	64,7	65,2	64,64	69,1	69,44
TiO <sub>2</sub>	0,61	0,65	0,65	0,8	0,5	0,52	0,61	0,63	0,55	0,53
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,1	15,57	15,51	15,32	16,24	16,21	15,2	14,83	14,7	14,64
FeO*	6,2	6,95	6,62	7,1	5,15	5,2	5,4	5,89	4,5	4,4
MnO	0,11	0,13	0,12	0,14	0,11	0,12	0,10	0,11	0,1	0,09
MgO	3,01	2,94	2,65	1,8	1,97	1,95	2,08	2,3	1,5	1,44
CaO	5,1	5,54	3,58	4,2	4,6	4,53	4,77	4,38	3,4	3,36
Na <sub>2</sub> O	2,2	2,24	2,25	3,3	3,7	3,8	2,61	2,45	3,2	3,11
K <sub>2</sub> O	2,8	2,7	3,4	2,7	2,04	2,1	3,05	3,15	2,6	2,56
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,11	0,13	0,17	0,21	0,15	0,16	0,12	0,15	0,14	0,13
Be	1,6	1,42	1,92	1,77	1,09	1,2	1,02	1,51	1,5	1,44
Sc	21,4	21,31	19,8	28,2	23,9	24,2	13,7	18,23	12,1	11,4
V	135,8	140,5	144,7	104,8	99,7	100,5	100,4	112,67	76,2	75,4
Cr	83,8	86,63	54,6	36,5	41,8	42,6	44,8	66,56	25,2	22,5
Co	18,9	18,07	21,7	12,1	12,7	13,1	12,9	14,67	12,3	10,7
Ni	22,7	31,41	13,5	14,2	16,9	17,3	17,1	24,07	15,1	14,7
Ga	16,1	16,2	15,6	19,2	15,1	15,6	15,8	15,54	16,1	16,2
Rb	83,8	76,7	95,8	103,9	79,7	81,3	103,7	95,33	93,1	92,8
Sr	217,6	239,7	370,6	202,5	252,6	262,2	233,6	226,67	160,3	159,9
Y	25,8	25,2	25,1	74,2	17,5	16,1	25,5	30,16	29,2	15,5
Zr	154,7	143,9	172,6	243,5	194,9	195,3	171,4	184,67	181,2	178,4
Nb	9,8	9,4	9,8	14,4	9,8	9,9	9,9	10,24	10,1	8,9
Cs	1,99	3,2	3,4	4,4	2,6	2,9	6,5	3,76	4,5	4,2
Ba	383,8	377,6	581,3	461,5	361,3	365	413,1	448,67	335,1	332,5
La	23,8	20,4	16,8	21,2	29,8	30,1	31,8	21,91	20,1	42,1
Ce	47,1	42,4	48,1	51,4	21,0	21,2	61,1	48,44	42,2	39,2
Pr	5,3	4,97	5,1	7,1	3,2	3,3	7,02	5,80	4,6	4,6
Nd	21,2	19,8	22,2	33,2	10,1	10,3	24,2	22,51	20,2	19,0
Sm	4,4	4,1	4,6	9,6	2,4	2,5	4,4	4,78	4,3	3,7
Eu	0,91	0,95	1,2	1,6	0,49	0,5	0,93	1,05	1,02	0,86
Gd	4,5	4,2	5,2	10,8	0,33	0,4	3,6	4,86	4,5	0,93
Tb	0,71	0,72	0,81	2,13	2,6	2,7	0,69	0,86	0,7	2,45
Dy	4,42	4,34	4,5	12,6	2,47	2,5	3,9	5,07	4,7	2,4
Ho	0,91	0,9	0,88	2,7	0,9	0,93	0,78	1,07	0,99	0,87
Er	2,5	2,64	2,7	8,1	2,2	2,3	2,4	3,16	3,1	2,3
Tm	0,41	0,42	0,4	1,2	0,3	0,35	0,36	0,48	0,5	0,32
Yb	2,7	2,69	2,7	7,5	1,5	1,6	2,4	3,10	3,2	1,4
Lu	0,4	0,4	0,41	1,5	0,25	0,26	0,38	5,20	0,48	0,24
Hf	4,5	4,13	4,83	6,6	5,1	5,3	4,6	5,11	5,5	5,3
Ta	0,65	0,65	0,66	1,14	0,72	0,8	0,72	0,78	0,98	0,96
W	1,59	0,95	0,36	0,36	0,81	0,9	3,1	1,2	0,22	0,2
Th	9,2	7,6	7,3	6,5	10,6	11,2	10,8	9,36	11,2	10,1
U	1,44	1,55	1,26	1,51	3,1	3,2	3,2	2,01	3,1	2,8
Cu	10,7	12,7	15,9	14,9	98,8	101	16,2	15,7	8,9	87,1
Pb	34,5	43,5	32,9	21,8	54,8	55,1	34,1	23,5	25,9	43,7
Zn	15,8	16,8	17,1	14,1	20,1	20,6	16,8	18,3	17,4	19,2
Ag	3,3	4,6	3,7	2,1	8,7	9,1	3,4	2,7	4,1	7,7
Au	2,6	3,1	4,0	3,7	149	150	3,3	2,8	1,9	170
ΣREE	145	134	141	245	95	95	207	158	140	136
(La/Yb) <sub>N</sub>	5,8	5,0	3,9	1,9	5,7	12,4	8,8	4,7	4,1	4,2
Eu/Eu*	0,63	0,7	0,75	0,49	0,66	0,95	0,7	0,66	0,71	0,75
U/Th	0,16	0,2	0,17	0,23	0,29	0,28	0,3	0,21	0,27	0,28
Nb/Ta	15,1	14,5	14,8	12,6	13,6	12,4	13,7	13,1	10,3	9,3
TE <sub>1,3</sub>	0,98	1,0	1,06	1,03	1,8	1,6	1,03	0,96	0,98	1,7

Очень часто, и это очень характерно для пород массива, гранодиориты содержат мелкие (от первых сантиметров до первых десятков сантиметров) ксенолиты габброидов и габбродиоритов. Химический состав гранодиоритов характеризует их как высокоизвестковистые (коэффициент известковистости – 0,51), низкощелочные (коэффициент агаптитности – 0,48) и в целом низкокалиевые умеренноглиноземистые породы (индекс Шенда = 1,02).

**Меланограниты** (около 15 % от объема массива) чаще всего представляют собой самостоятельную фазу внедрения и имеют секущее положение относительно гранодиоритов. От последних отличаются более высоким (до 23...28 %) содержанием кварца и резким количественным преобладанием биотита (до 10...15 %) над роговой обманкой, всегда присутствующей хотя бы в отдельных единичных зернах, при практически том же уровне щелочности и калиевости. Для химического состава меланогранитов характерна повышенная глиноземистость (индекс Шенда = 1,06), известковистость (0,38) и низкая агаптитность (0,54).

Определение абсолютного возраста из гранодиоритов соседнего петротипического Усть-Беловского массива U-Pb методом по циркону составляет 364±8 млн лет [4], соответствующее позднему девону.

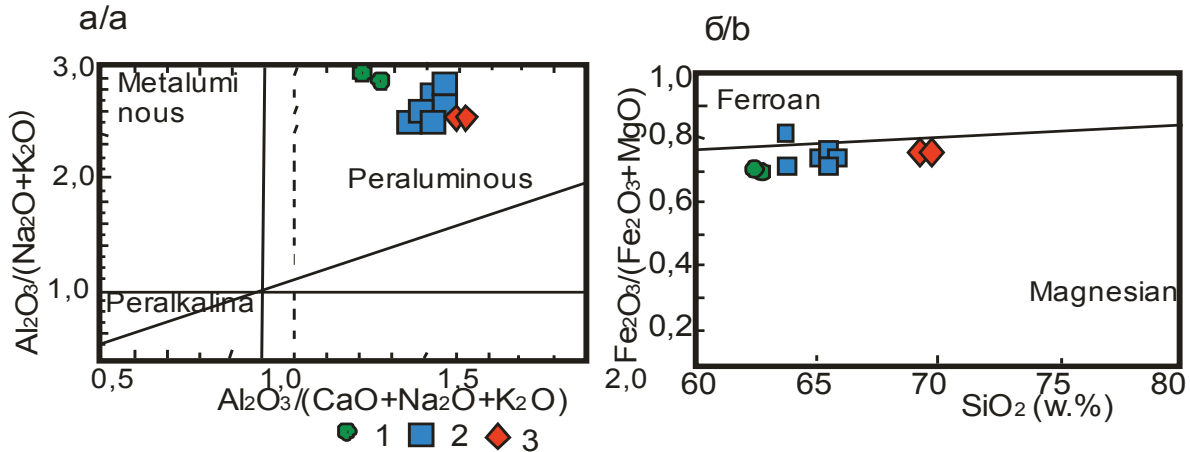
Представительные анализы пород штока приведены в табл. 1.

В целом породы относятся к низкощелочным разностям с суммой (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) от 4,94 до 6 с переменными соотношениями натрия и калия. Породы Мурзинского массива характеризуются относительно повышенными концентрациями V, Cr, Co, Ni, Nb. С другой стороны в них пониженные содержания Y, Yb, а в некоторых разностях весьма низкие, характерные для адакитовых гранитоидов. Отношения U/Th, указывающие на отсутствие значительных наложенных на них процессов, в породах <1. Отношение Eu/Eu\* также менее 1 и свидетельствует о меньших их величинах, чем в хондритах. Варьирование отношений (La/Yb)<sub>N</sub> в значительном диапазоне от 1,9 до 12,4 указывает на различную степень фракционирования редкоземельных элементов.

По соотношениям некоторых петрогенных компонентов породы массива относятся к пералюминиевому типу (рис. 2, а). Магнезиально-железистые показатели указывают на принадлежность

*Примечание.* FeO\* – суммарное железо. Eu\* = (Sm<sub>N</sub>\*Gd<sub>N</sub>)/2. Элементы нормированы по хондриту [5]. TE<sub>1,3</sub> – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ, как среднее между первой и третьей тетрадами по [6]. 1, 2 – кварцевые диориты, 3–8 – гранодиориты, 9, 10 – меланограниты.

*Note.* FeO\* is the sum Fe. Eu\* = (Sm<sub>N</sub>\*Gd<sub>N</sub>)/2. Elements are chondrite normalized [5]. TE<sub>1,3</sub> is the tetrad effect of REE fractionation, as the average between the first and the third tetrads by [6]. 1, 2 are the quart diorites, 3–8 are the granodiorites, 9, 10 are the melanogranites.



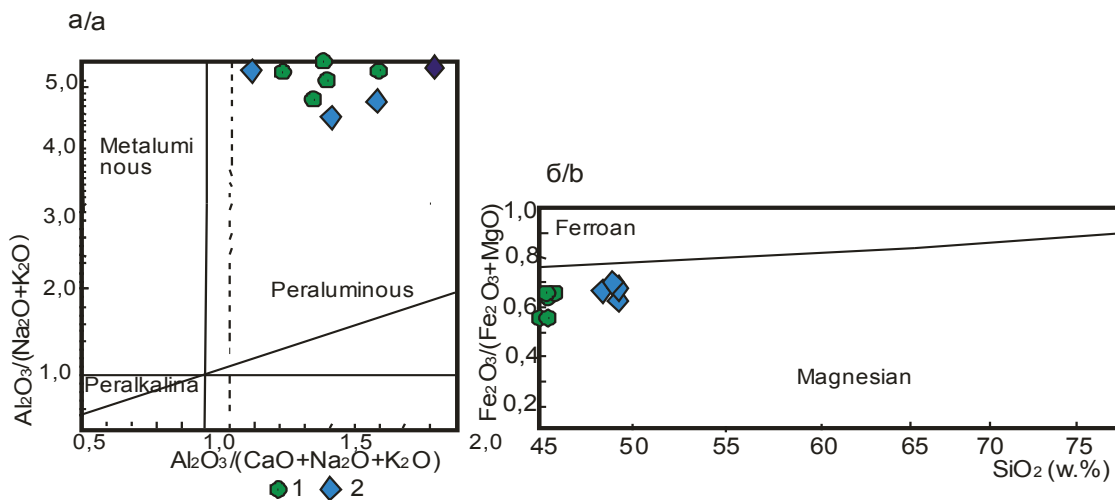
**Рис. 2.** Диаграммы  $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)-Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$  (а) по [7] и  $Fe_2O_3/(Fe_2O_3+MgO)-SiO_2$  (б) по [8] для пород Мурзинского массива. 1 – кварцевые диориты, 2 – гранодиориты, 3 – меланограниты

**Fig. 2.** Classification plots a)  $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)-Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$  after [7]; b)  $Fe_2O_3/(Fe_2O_3+MgO)-SiO_2$  after [8] for rocks of Murzinsky massif. 1 are the quartz diorites, 2 are the granodiorites, 3 are the melanogranites

пород преимущественно к магнезиальному типу и в единичных случаях – к железистому (рис. 2, б).

Дайки долеритов и габродолеритов терехтинского комплекса (P<sub>2</sub>-T<sub>1</sub>) представляют собой темно-зеленые микро-мелкозернистые массивные породы офитовой или пойкилоофитовой структуры и состоят из сосюритизированного и в различной степени альбитизированного лабрадора и зонального лабрадор-битовнита (45...55 %), интерстициального авгита и титан-авгита (0...40 %), в различной степени псевдоморфно замещенного магнезиальной роговой обманкой (до 40 %), кварца (до 10 %), биотита (2...6 %), титаномagnetита (4...6 %), вторичных хлорита, актинолита, эпидота, лейкоксена, акцессорных сфена и апатита. Долериты характеризуются присутствием низкожелезистого биотита и бурого титансодержащего амфибола, по результатам

микрондового анализа, относящегося к ряду керсутитов, а также наличием псевдоморфоз оливина и миндалинов, выполненных хлоритом (или хлоритосерпентином) и карбонатом, по минералогическому составу уклоняясь к пикродолеритам и долеритам. Электронно-микроскопическими исследованиями в данных долеритах, наряду с большим количеством титаномagnetита и рутила, определено присутствие ульвошпинели, апатита, барита, пентландита, халькопирита и цинксодержащего теннантита – зандбергита. Породы обнаруживают весьма высокую титанистость ( $TiO_2=3,2...3,8\%$ ). В целом терехтинские долериты характеризуются низкой глиноземистостью ( $al'=0,70$ ) и весьма низкой (даже при пересчете анализов на сухое вещество) кремнекислотностью ( $SiO_2=45,69\%$ ). Химический состав пород приведен в табл. 2.



**Рис. 3.** Диаграммы  $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)-Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$  (а) по [7] и  $Fe_2O_3/(Fe_2O_3+MgO)-SiO_2$  (б) по [8] для даек пикродолеритов и долеритов терехтинского комплекса. 1 – пикродолериты, 2 – долериты

**Fig. 3.** Classification plots a)  $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)-Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$  after [7]; b)  $Fe_2O_3/(Fe_2O_3+MgO)-SiO_2$  after [8] for dikes of picrodolerites and dolerites of terekhtinsky complex. 1 are the picrodolerites, 2 are the dolerites

**Таблица 2.** Химический состав даек пикродолеритов и долеритов терехтинского комплекса

**Table 2.** Chemical composition of picrodolerites and dolerites of Terekhtinsky complex

Компоненты Components	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	44,21	44,61	44,21	47,2	44,1	47,9	47,3	44,7	47,1
TiO <sub>2</sub>	2,95	3,01	2,49	3,55	3,55	3,4	3,7	3,2	3,62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,95	13,9	12,7	15,03	15,1	14,3	15,5	14,2	15,5
FeO*	13,71	13,83	12,8	13,2	13,9	12,65	14,1	13,5	14,2
MnO	0,21	0,18	0,18	0,15	0,18	0,16	0,15	0,17	0,15
MgO	9,65	8,65	9,95	5,9	7,0	6,1	5,98	7,62	5,9
CaO	7,8	5,3	6,95	6,55	6,95	9,1	5,1	6,8	5,1
Na <sub>2</sub> O	2,15	2,5	1,52	3,21	3,15	2,6	3,4	2,63	2,63
K <sub>2</sub> O	0,21	0,14	0,11	0,2	0,15	0,13	0,13	0,15	0,14
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,38	0,45	0,35	0,45	0,47	0,46	0,42	0,44	0,4
Be	1,11	1,12	1,1	1,2	1,31	0,96	1,7	1,12	1,1
Sc	24,6	24,7	29,8	21,9	29,8	21	25,8	24,7	26
V	287,7	243,4	258,4	304	301	291	280	282,7	290
Cr	437,8	321,3	615,5	68,9	172	120	56,9	255,3	58
Co	62,7	48,9	61,7	41,6	51	43	50,7	50,7	53
Ni	229	144	262,4	33	68,9	58	75	123,3	77
Ga	18,3	21,1	21	20,1	24,1	22	24	21,5	22
Rb	3,8	5,2	3,9	5,2	3,8	2,4	3,5	3,8	3,8
Sr	610	344,6	225	560	510	296	355	416	362
Y	26,9	28,5	24,7	27,6	29,2	28	27,5	27,1	28
Zr	224	248	200	265,1	253	258	263	248,1	255
Nb	23,8	25,3	21,7	28,4	29,2	27	28,4	25,8	27
Cs	1,3	0,76	0,29	0,69	0,54	0,29	0,36	0,6	0,35
Ba	118	251,2	58,8	103	120	67	75,9	114,4	80
La	19,4	24,5	21,2	22,2	25,5	23	25,1	22,8	25,5
Ce	45,1	56,6	45,1	51,3	57,1	52	55	51,7	57,1
Pr	6,9	7,7	5,91	7,71	8,2	7,9	7,8	7,40	7,7
Nd	28,8	34,3	26,8	32,2	35,9	32	34	31,54	33,9
Sm	6,4	7,7	6,4	6,90	8,4	6,8	7,7	7,2	7,6
Eu	2,0	2,5	2,1	2,21	2,6	2,2	2,8	2,40	2,7
Gd	6,3	7,7	6,3	7,1	8,4	6,9	7,8	7,1	7,9
Tb	0,95	1,15	0,95	1,1	1,2	1,08	1,11	1,1	1,2
Dy	5,2	5,92	5,2	5,5	6,4	5,6	5,6	5,62	5,62
Ho	0,9	1,1	0,9	1,1	1,03	0,99	1,03	0,98	1,1
Er	2,2	2,6	2,3	2,42	2,9	2,5	2,6	2,5	2,63
Tm	0,3	0,39	0,33	0,34	0,35	0,35	0,34	0,34	0,35
Yb	1,86	2,33	1,96	1,8	2,35	1,99	2,1	2,03	2,2
Lu	0,25	0,33	0,28	0,23	0,32	0,3	0,3	0,29	0,32
Hf	5,7	6,61	5,4	6,4	6,5	6	6,8	6,20	6,3
Ta	1,35	1,75	1,3	1,63	1,8	1,66	1,85	1,63	1,9
W	0,49	8,72	1,48	0,52	0,99	0,68	1,4	2,03	1,5
Th	1,8	2,33	1,96	2,21	2,3	2,1	2,2	2,13	2,3
U	0,55	0,95	0,63	0,71	0,95	0,6	0,71	0,73	0,72
Cu	22,7	32,7	25,2	34,5	78,9	98,7	56,2	55,7	48,9
Pb	14,1	13,5	12,1	11,4	14,8	15,2	14,3	13,5	15,0
Zn	65,9	76,8	77,1	84,1	90,1	90,6	86,8	88,3	97,4
Ag	13,1	14,6	15,7	12,1	18,7	19,1	13,4	12,7	14,1
Au	12,6	13,1	24,0	23,7	149,8	150,7	23,3	12,8	170,9
ΣREE	153,5	183,3	150,4	169,7	189,8	171,6	180,8	170,1	183,8
(La/Yb)N	6,9	6,9	7,2	8,2	7,2	7,7	7,9	7,5	7,6
Eu/Eu*	0,96	0,99	1,01	0,97	0,95	0,99	1,1	1,03	1,01
U/Th	0,31	0,41	0,32	0,32	0,41	0,29	0,32	0,34	0,31
Nb/Ta	17,6	14,4	16,7	17,4	16,2	16,3	15,3	15,8	14,2

Примечание. Пикродолериты: 1–3, 5, 8; долериты: 4, 6, 7, 9.

Notes. Picrodolerites: 1–3, 5, 8. Dolerites: 4, 6, 7, 9.

Все разновидности пород относятся к высокотитанистым образованиям, характеризующимся повышенными концентрациями Sc, V, Cr, Ni, Co. В некоторых разностях фиксируется повышенное содержание золота. Отношение Eu/Eu\* варьирует незначительно, слабо отклоняясь от такого же показателя в хондритах.

На канонических диаграммах фигуративные точки составов пикродолеритов и долеритов попадают в поля пералюминиевых и магнезиальных типов (рис. 3).

#### Оруденение Мурзинского рудного поля

На месторождении Мурзинское I известно золотое оруденение разных типов: золото-скарновое, золото-сульфидно-кварцевое, золотоносных метасоматитов и золотоносных кор выветривания. Общее количество добытого на месторождении золота не превышает 1000 кг. Средний процент извлечения его из руды около 45 %. Помимо золота ранее добывалась медь (из скарнового тела).

Золото-скарновый и золото-ртутный типы представлены линейными минерализованными зонами дробления с золотосодержащей медной минерализацией, наложенной на скарны. Последние в пределах таких зон хлоритизированы и окварцованы, содержат прожилки, вкрапленность и массивные выделения сульфидов: халькопирит, пирит, борнит, галенит, сфалерит, пирротин, арсенопирит. В таких образованиях содержания золота 0,1...60 г/т. Золото относительно крупное до 1...2 мм. А.С. Борисенко утверждает, что к золото-скарновому типу можно отнести только часть руд, в виде слабо проявленной постскарновой высокотемпературной сульфидной минерализации (халькопирит, пирит). Основные руды месторождения связаны с минерализованными зонами дробления и сопровождающими их метасоматитами. Они являются низкотемпературными и проявлены не только в скарнах, но и в сланцах, алевролитах и известняках. Здесь золото ассоциирует с киноварью, баритом, шеелитом, адуляром и другими низкотемпературными минералами. Все это позволяет отнести золотое оруденение Мурзинского месторождения к комплексному золото-скарновому и золото-ртутному типам.

Золото-сульфидно-кварцевый тип представлен жилами и жильными зонами среди роговиков и скарнов, наиболее интенсивно проявлен на уч. Лога Рудного. В вершине лога вскрыта мощная, более 30 м, кварцево-жильная зона, представленная несколькими кварцевыми жилами мощностью до 1,5 м и сопровождающим их кварцевым штокверком. Рудная минерализация представлена крупнозернистым пиритом, халькопиритом и галенитом. Содержание золота колеблется в значительных пределах от 0,1 г/т до ураганных (1500 г/т). На юг от этого участка прослежено шесть золоторудных кварцевых жил меридионального простирания. Протяженность жил до 800 м, падение СВ-В под углом 45...80°, мощность колеблется в широких

пределах 0,2...3,0 м. В окисленных кварцево-жильных рудах участка Южного, по архивным данным, отмечались содержания: золота до 1,5 кг/т, серебра – 5,2 кг/т и меди до 15 %. По материалам разных лет в рудных телах присутствует медь в количестве до 1,8 %, серебро – до 31 г/т, цинк – до 0,16 %, свинец – до 0,1 %. Средние содержания золота при подсчете запасов принимались: 1) по кварцевым жилам – 3,9...4,9 г/т; 2) по скарновым телам – 3,6...3,8 г/т. Пробность золота 850...905 ‰.

*Золотоносные коры выветривания* развиты по минерализованной зоне на глубину до 100 м. Представлены пористыми, рыхлыми золотоносными корами выветривания каолинит-гидрослюдистого типа. Из первичных минералов отмечаются золото, киноварь, барит, шеелит и гематит. Золото в корках выветривания тонкое – 80 % класса – 0,1 мм. Содержание золота в коре выветривания от следов до 8...10 г/т, среднее 2...3 г/т. Рудные тела участка Лога Рудного представляют собой крупные рудные тела мощностью до 50 м, протяженностью более 400 м и прослеженные на глубину до 100...150 м, а по отдельным пересечениям до 250 м.

В 1998 г. старательской артелью ООО «Поиск» представлен на рассмотрение территориальной комиссии по запасам (ТКЗ) оперативный подсчет запасов золота и серебра центрального участка Лога Рудный Мурзинского I месторождения. Подсчет запасов выполнен на материалах геологоразведочных работ, проведенных силами Рудно-Алтайской, Северо-Алтайской и Алтайской геофизической экспедиций. В результате этих работ была выявлена протяженная (более 1 200 м) линейная зона золоторудной коры выветривания – Лога Рудный. Авторами подсчета запасов (Н.И. Гончаров, А.В. Валуев и др.) на участке Лога Рудный выделен низкотемпературный золото-ртутный формационный тип оруденения (тип Карлин).

Разведанное оруденение, по которому произведен подсчет запасов, представлено золотоносной корой выветривания линейного типа, где основным полезным ископаемым является золото (с содержанием 0,2...7,8 г/т), с сопутствующим серебром (от 2,0 до 6,4 г/т).

Подсчет запасов произведен до глубины 22 м в двух вариантах – с бортовым содержанием условного золота 1 г/т (коэффициент перевода серебра в условное золото – 0,044) и с бортовым содержанием золота 0,5 г/т.

ТКЗ приняла оперативный подсчет запасов по категории С<sub>2</sub> золота 934,3 кг и серебра 1 597,1 кг, подсчитанных по второму варианту для отработки месторождения методом кучного выщелачивания (протокол ТКЗ от 11 июня 1998 г., № 725).

Прогнозные ресурсы золота категории Р<sub>1</sub> составляют 10 т.

*Месторождение Мурзинское II* расположено на западном склоне горы Мурзинки в 300 м от вершины. В зоне разлома широтного простирания лока-

лизованы кварцевые жилы мощностью 0,5 м, пересекающие скарны и эпидозиты. Жилы сложены серым кварцем с вкрапленностью сульфидов – пирита, халькопирита, галенита и сфалерита. Кроме того, имеются скарновые руды, обычно раздробленные и содержащие прожилки, вкрапленники малахита, азурита, халькопирита, железной слюдки, лимонита и золота. По результатам работ разных лет в рудах содержится от «следов» до 232 г/т золота, 4,34...39,2 г/т серебра, 1,84...2,8 % меди, 0,07...0,42 % цинка и 0,01...0,06 % свинца. В протяженных зонах кварц-турмалиновых метасоматитов содержания золота достигают 1...2 г/т. Пробность эндогенного золота из оруденелых скарнов и кварцево-жильных зон варьирует в пределах 634...959 ‰. Данные о запасах и количестве добытой руды и металла отсутствуют. Прогнозные ресурсы золота категории Р<sub>1</sub> – 15,0 т.

*Месторождение Мурзинское III* находится севернее дер. Мурзинка в районе г. Сурчихи. Собственно месторождением, представляющим промышленный интерес, является «железная шляпа» сульфидного оруденения с убогим содержанием полиметаллов, расположенная среди отложений нижнеануйской серии нижнего-среднего ордовика. Первичные сульфидные руды встречены в одной из скважин на глубине 93,7...96,9 м и залегают среди вторичных кварцитов и песчаников. Руды сложены пиритом с редкими включениями халькопирита, халькозина, галенита и сфалерита. Граница оруденения с вмещающими породами нечеткая, переход постепенный. «Железная шляпа» имеет площадь 0,1 км<sup>2</sup>. Выделено 7 рудных тел линзообразной формы, залегающих согласно с вмещающими породами. Контуры рудных тел нечеткие. Мощность – 2...3 м, реже – 60 м. Длина по простиранию не превышает 160...200 м. Окисленные руды сложены бурым железняком, гематитом, смитсонитом, ярозитом, купритом. Из нерудных присутствуют опал, халцедон, хлорит и серицит, эпидот, кальцит. В «сыпучке» и буром железняке содержится до 0,17 % меди, до 3,36 % свинца, до 0,58 % цинка.

Содержания золота в окисленных рудах составляют 1,6...10,5 г/т, серебра до 56 г/т, свинца 0,1...0,24 %, цинка 0,5...1,59 %. При отработке отмечались высокие содержания золота – до 289,6 г/т. Наблюдается приуроченность обогащенной золотом «сыпучки» к границе с отбеленными породами. Золото очень мелкое и извлекалось только с применением амальгамации. Причем, извлечение его было довольно низким – 50...54,7 %. Добыто к 1944 г. 127 кг золота. Месторождение не изучено на глубину.

*Мурзинское рудное поле* фиксируется аномальной структурой геохимического поля (АСГП) площадью 54 км<sup>2</sup>, характеризующейся контрастными вторичными ореолами и потоками рассеяния золота интенсивностью 0,005...0,5 г/т, мышьяка 50...1500 г/т, серебра 0,01...1 г/т, сурьмы 50 г/т, меди 60...500 г/т, свинца 60...80 г/т, цинка

200...800 г/т, молибдена 3...5 г/т, висмута 1...5 г/т, марганца 1000...10000 г/т. Ранжированный ряд химических элементов группы накопления АСПИ имеет следующий вид:  $Au_9^{478}As_9^{351}Bi_3^{89}Cu_2^{94}$ . Средний коэффициент вариации 253 %, рудный объект является дифференцированным, следовательно, перспективным. Интенсивность АСПИ средняя. Для АСПИ характерны значимые коэффициенты корреляции золота с медью (0,87), серебром (0,83), свинцом, цинком (0,80), висмутом (0,74), марганцем (0,63), кобальтом (0,52), молибденом (0,46), титаном (0,33). Здесь прогнозируется золото-сульфидно-кварцевый и золото-скарновый типы оруденения. Прогнозные ресурсы золота категории  $P_3$ , оцененные по параметрам его вторичных ореолов рассеяния, составляют 43 т.

Кроме указанного геолого-промышленного типа золотого оруденения в пределах рудного поля возможно выявление руд золото-серебряной формации в среднедевонских вулканитах. В частности, в Ракитинской и Левоталицкой экстрюзиях

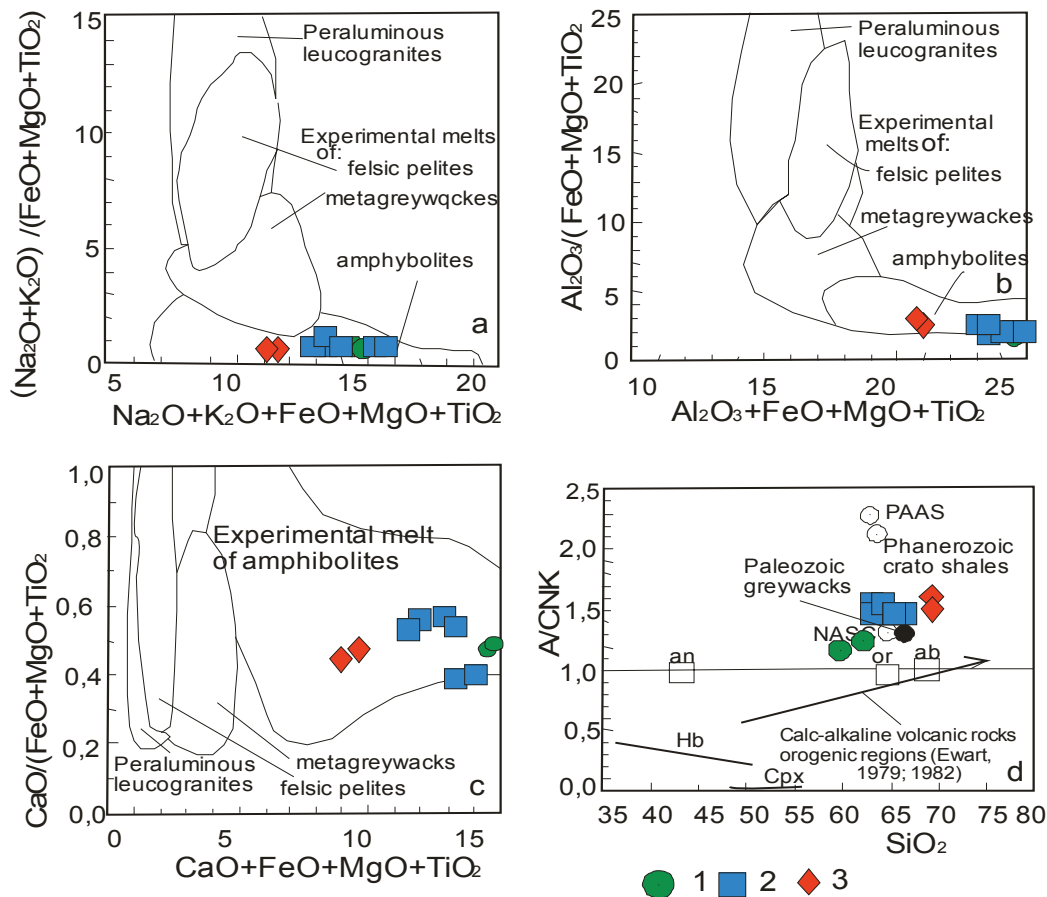
отмечается площадная березитизация и кремнеземность, где содержание пирита составляет 15 %. По данным бурения, кора выветривания по таким породам прослеживается до глубины 150...200 м.

Общая оценка запасов и прогнозных ресурсов рудного золота по Мурзинскому рудному полю составляет: запасы категорий  $C_1+C_2$  – 914 кг; ресурсы категории  $P_1$  – 10 т, категории  $P_2$  – 50 т.

#### Интерпретация результатов

Большое значение в понимании генезиса пород имеет источник плавления, за счёт которого образуются конкретные породные типы. На экспериментальных диаграммах, базирующихся на данных плавления различных источников, породы Мурзинского массива попадают в поле плавления амфиболитов (рис. 4, а, б, с).

Соотношение  $A/CNK-SiO_2$  в породах массива отвечает также плавлению и палеозойских граувакк (рис. 4, d). Следовательно, имело место сме-



**Рис. 4.** Экспериментальные диаграммы: (а), (б), (с) – диаграммы композиционных экспериментальных расплавов из плавления фельзических пелитов (мусковитовых сланцев, метаграувакк и амфиболитов) для пород Мурзинского массива; (d) – диаграмма  $SiO_2-A/CNK$  для пород Мурзинского массива. Тренд известково-щелочного фракционирования вулканических пород орогенных регионов, по [9, 10]. А –  $Al_2O_3$ , CNK – сумма CaO,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ . Остальные условные обозначения – на рис. 2

**Fig. 4.** Experimental diagrams: (a), (b), (c) are the diagrams of composite experimental melts from melting of felsic pelites (muscovities schists, metagraywackes, and amphibolites) for rocks of Murzinsky massif; (d) is the diagram  $SiO_2-A/CNK$  for rocks of Murzinsky massif. Trend of calc-alkalic fractionation volcanic rocks orogenic regions, after [9, 10]. A –  $Al_2O_3$ , CNK – sum CaO,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ . Legend is in Fig. 2



шение расплавов разного состава с образованием гибридных пород. На экспериментальной диаграмме, позволяющей выявлять давление при плавлении родоначального субстрата и моделирующей составы расплавов, генерированные гибридизацией высоко-алюминиевых оливиновых толеитов с метаграувакками, фигуративные точки составов пород Мурзинского массива тяготеют к тренду низкого давления (рис. 5). Согласно экспериментальным данным, это давление составляло 3...5 кбар [11].

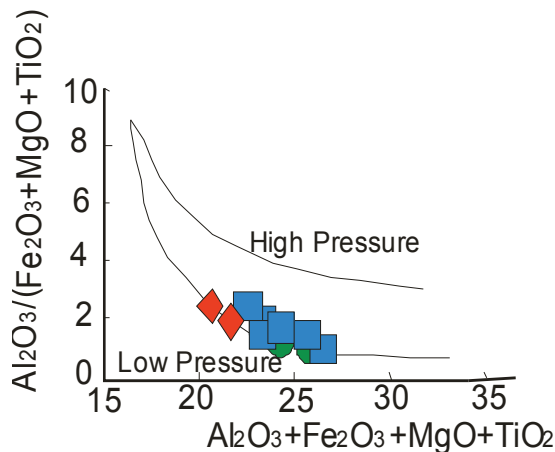


Рис. 5. Экспериментальная диаграмма соотношений  $Al_2O_3/(Fe_2O_3+MgO+TiO_2)-Al_2O_3+Fe_2O_3+MgO+TiO_2$  по [11] для пород Мурзинского массива. Условные обозначения – на рис. 2

Fig. 5. Experimental diagrams of ratio  $Al_2O_3/(Fe_2O_3+MgO+TiO_2)-Al_2O_3+Fe_2O_3+MgO+TiO_2$  after [11] for rocks of Murzinsky massif. Legend is in Fig. 2

Приоритетное значение придаётся в последнее время отношению Nb/Ta в островодужных магмах в процессе их генерации с участием процессов фракционирования минералов при различных температурах, фугитивности кислорода и насыщенности расплавов водой [12]. Считается, что плавление источника пород, содержащего Ti-обогащённые фазы (рутила, ильменита), будет генерировать расплавы с высоким отношением Nb/Ta (>25), в то время как плавление источника с амфиболом приводит к формированию расплавов с более низким отношением Nb/Ta (<25) [13, 14]. В породных типах Мурзинского массива отношения Nb/Ta варьируют от 9,3 до 15,1 и отвечают плавлению амфибол-содержащего источника.

На диаграммах Sr/Y–Y и La/Yb–Yb все породы попадают в поле нормальных андезитов-дацитов-риолитов, а фигуративные точки составов выстраиваются почти параллельно тренду кристаллизационного фракционирования (рис. 6, а, б).

Следовательно, формирование гранитоидов Мурзинского массива происходило по сложному сценарию. Источником плавления служили амфиболиты и граувакки при низком давлении (3...5 кбар), а дериваты глубинного очага от кварцевых диоритов до меланогранитов образовались в результате кристаллизационной дифференциации

расплавов.

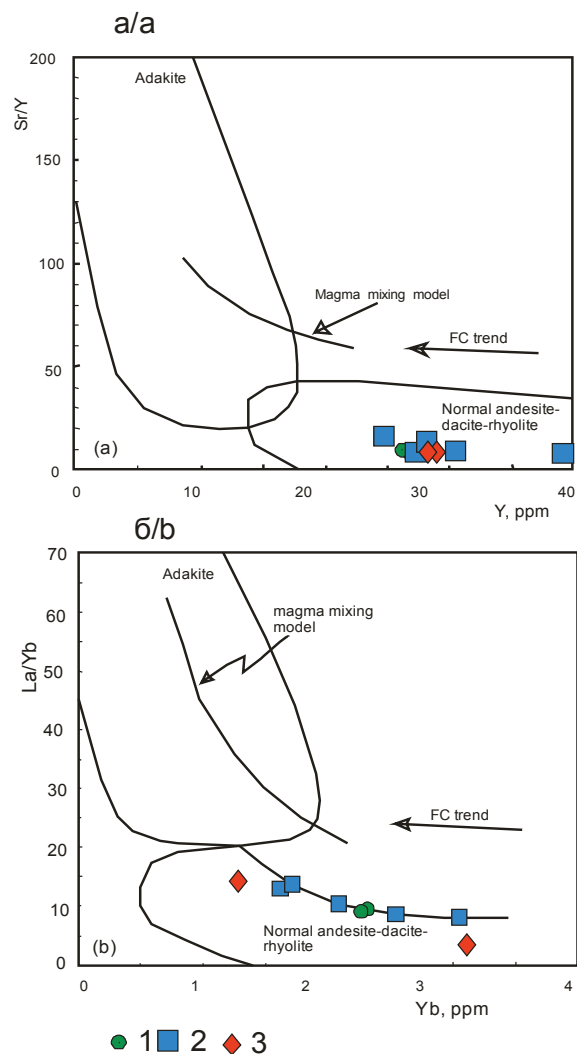


Рис. 6. Диаграммы: а) Sr/Y–Y; б) La/Yb–Yb по [15] для пород Тоцкого ареала. Поля пород: Adakite – адакитов, Normal andesite-dacite-rhyolite – нормальных андезитов-дацитов-риолитов. FC trend – тренд фракционной кристаллизации; модель магматического смешения по [16]. Остальные условные обозначения – на рис. 2

Fig. 6. Plots of: а) Sr/Y–Y; б) La/Yb–Yb after [15] for rocks of Tochilny areal. Fractional crystallization (FC) trend. Magma mixing modeling follows [16]. Legend is in Fig. 2

Проявление значимых величин тетрадного эффекта фракционирования (ТЭФ) РЗЭ М-типа в некоторых разностях пород Мурзинского массива свидетельствует о значительной роли флюидного режима и в особенности таких летучих компонентов, как F, Cl, H<sub>2</sub>O и других. Указанные летучие компоненты обеспечивали селекционирование металлов из расплавов и перенос их к местам рудоотложения. Для основных рудообразующих металлов – Cu и Au, построены диаграммы зависимостей концентраций золота и меди в породах от величин ТЭФ РЗЭ. Для обоих металлов наблюдаются тренды увеличения их концентраций с повышением величин ТЭФ РЗЭ (рис. 7, 8).

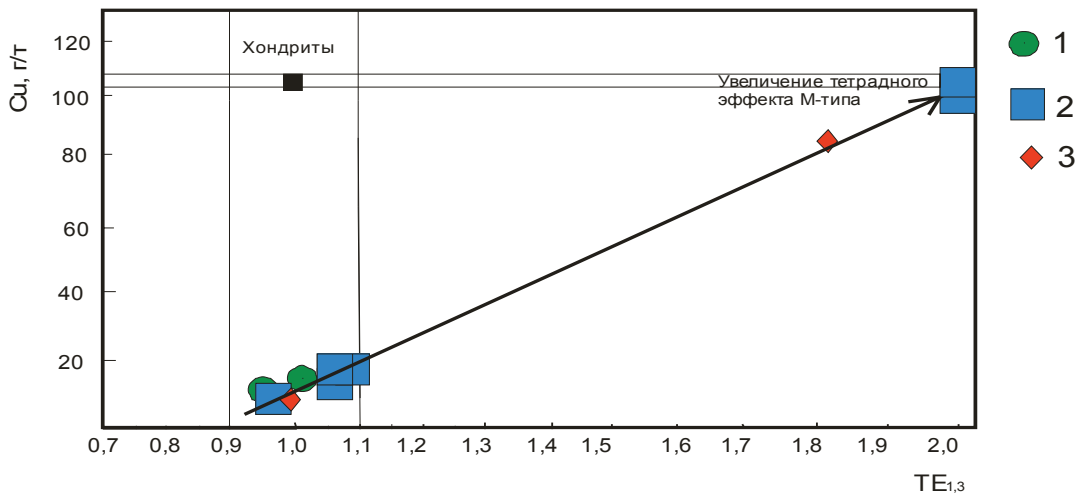


Рис. 7. Диаграмма  $Cu-TE_{1,3}$  по [17] для пород Мурзинского массива. Концентрации меди в хондритах по [18]. Условные обозначения – как на рис. 2

Fig. 7. Diagram  $Cu-TE_{1,3}$  after [17] for rocks of Murzinsky massif. Concentration of copper in chondrites is after [18]. Legend is in Fig. 2

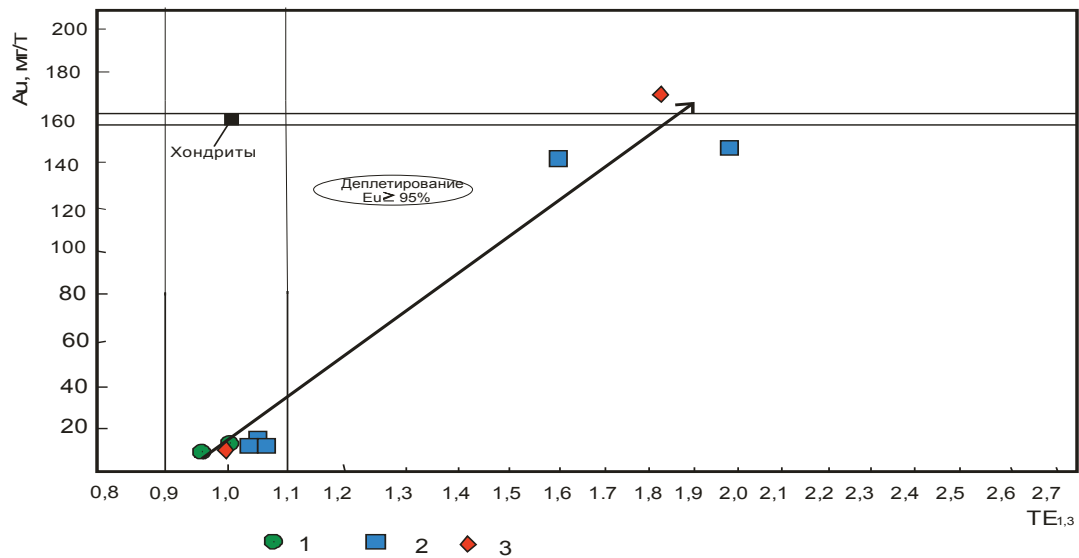


Рис. 8. Диаграмма  $Au-TE_{1,3}$  для пород Мурзинского массива. Концентрации золота в хондритах по [18]. Условные обозначения – как на рис. 2

Fig. 8. Diagram  $Au-TE_{1,3}$  for rocks of Murzinsky massif. Concentration of gold in chondrites is after [18]. Legend is in Fig. 2

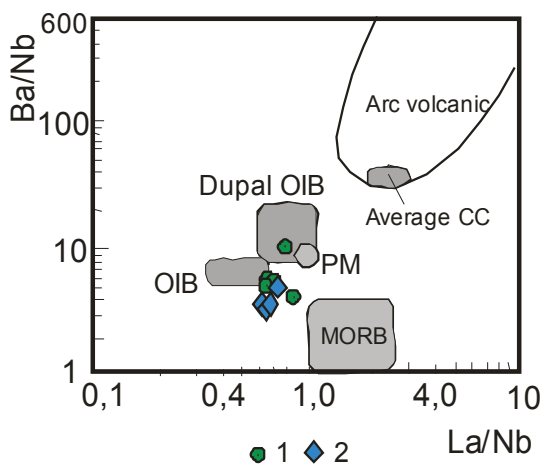
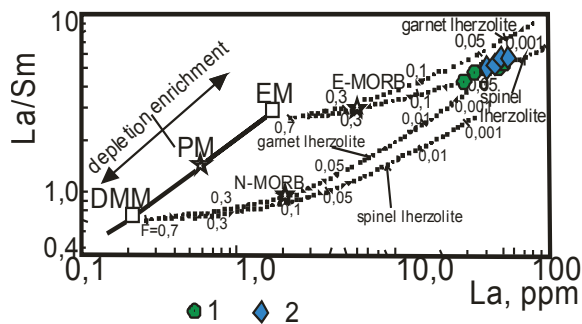


Рис. 9. Диаграмма  $Ba/Nb-La/Nb$  по [19] для даек пикродолеритов и долеритов терехтинского комплекса. Поля базальтоидов: Arc volcanic – вулканических дуг; Average CC – среднее для базальтов континентальной коры; Dupal OIB – базальтов океанических островов аномалии Dupal; PM – примитивной мантии; OIB – базальтов океанических островов; MORB – базальтов срединно-океанических хребтов. 1 – пикродолериты, 2 – долериты

Fig. 9. Diagram  $Ba/Nb-La/Nb$  after [19] for dikes of picrodolerites and dolerites of Terekhtinsky complex. Field of basalts: Arc volcanic; Average CC – Average for basalts of continental crust; Dupal OIB – basalts of oceanic islands of anomaly Dupal; PM – primitive mantle; OIB – basalts of oceanic island; MORB – basalts of middle-oceanic ridge. 1 – picrodolerites, 2 – dolerites

Дайки пикродолеритов и долеритов терехтинского комплекса по отношениям Ва/Nb – La/Nb тяготеют к полям базальтов океанических островов (ОИВ) и Дюпаль аномалии базальтов океанических островов (рис. 9).

Соотношение La/Sm – La позволяет рассматривать их производными обогащённой мантии. Фигуративные точки составов попадают на кривую плавления шпинелевых лерцолитов с низкой степенью частичного плавления 0,001...0,01 (рис. 10).



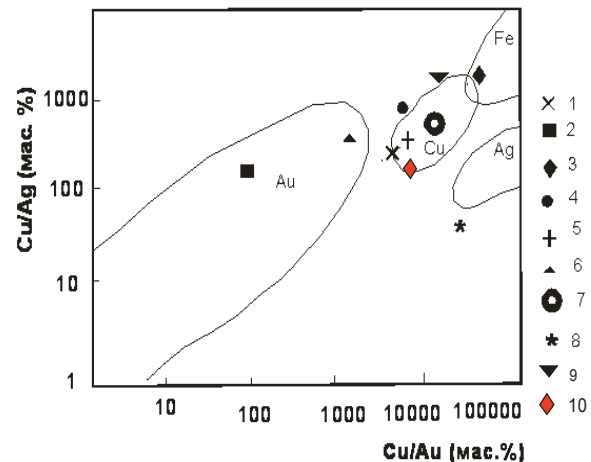
**Рис. 10.** Диаграмма La/Sm–La по [20] для пород даек терехтинского комплекса. DMM – деплетированный мантийный источник MORB; PM – примитивная мантия; EM – обогащённый мантийный источник; E-MORB и N-MORB – составы обогащённых (E) и нормальных (N) базальтов срединно-океанических хребтов; точечные линии – тренды плавления источников DMM и EM, засечки с цифрами на точечных линиях – степень частичного плавления для соответствующих мантийных источников. Остальные условные обозначения – на рис. 9

**Fig. 10.** Diagram La/Sm–La after [20] for rocks of dikes of Terektinsky complex. DMM is the depleted mantle source MORB; PM is the primitive mantle; EM is the enriched mantle source; E-MORB and N-MORB are the compositions of enriched (E) and normal (N) basalts of middle-oceanic ridges; point lines are the trends of melting sources DMM and EM, serifs with figures on the point lines are the degrees of partial melting for corresponding mantle sources. Legend is in Fig. 9

Изучение особенностей формирования рудных агрегатов на месторождении показало, что солёность включений в минералах уменьшается от скарнов к гидротермальному продуктивному этапу. Она менялась от весьма высокой (36...40 вес. % NaCl) в скарнах до низкой в пневмолито-гидротермальных скарновых изменениях (4,6...5,9 вес. % NaCl) и весьма низкой в продуктивной минерализации гидротермального этапа (0,5...4,8 вес. % NaCl). Такая картина снижения температур гомогенизации газовой-жидких включений и их солёности указывает на участие ювенильных флюидов магматогенного происхождения на первом этапе и смешение ювенильного и холодного, разбавленного раствора на заключительных этапах.

Единичные определения соотношений изотопов серы в сульфидах Мурзинского рудного поля дают незначительные отклонения от метеоритного стандарта. Для золото-медно-скарнового оруденения обоих месторождений в пирите II генерации  $\delta^{34}\text{S}$  (‰) составляет +3,2, в борните от +2,1 до +5,2.

На диаграмме соотношений Cu/Ag – Cu/Au Мурзинское I месторождение располагается вблизи Синюхинского (рис. 11) и должно относиться к комплексным объектам («бипродукты») [21].



**Рис. 11.** Диаграмма соотношений в рудах Cu/Ag–Cu/Au для скарновых месторождений Горного Алтая. Поля золотосодержащих скарнов по [21]: Au – золоторудные, Cu – меднорудные, Fe – железорудные, Ag – серебряные. Золотосодержащие скарновые месторождения Горного Алтая: 1 – Синюхинское, 2 – Чойское, 3 – Майское, 4 – Ульменское, 5 – Оюкское, 6 – Баянхинское, 7 – Лысухинское, 8 – Восточный Карагу, 9 – Кутерьбушинское, 10 – Мурзинское I

**Fig. 11.** Diagram of ratio in ores Cu/Ag–Cu/Au for skarn deposits of Gorny Altai. Fields of gold-bearing skarns after [21]: Au – gold ore deposits, Cu – copper ore deposits, Ag – silver ore deposits. Gold-bearing skarns deposits of Gorny Altai: 1 – Sinyukhinskoe, 2 – Choyskoe, 3 – Mayskoe, 4 – Ulmenskoe, 5 – Oyukskoe, 6 – Bayanikhinskoe, 7 – Lysukhinskoe, 8 – Vostochny Karagu, 9 – Kuterbushinskoe, 10 – Murzinskoe I

Самое позднее золото-ртутное оруденение парагенетически и пространственно связано с дайками пикродолеритов и долеритов терехтинского комплекса. На это указывают повышенные концентрации золота и серебра в некоторых разностях даек.

#### Заключение

Магматизм Мурзинского рудного поля включает гранитоиды массива и дайки пикродолеритов и долеритов. Гранитоиды Мурзинского массива относятся к нормальной андезит-дацит-риолитовой серии, формировавшейся за счёт плавления амфиболитов и граувакк нижней коры при относительно невысоком давлении (3...5 кбар). В породах проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ М-типа, с повышением величины которого происходит увеличение концентраций меди и золота. Образование ранних золото-медно-скарновых руд связано парагенетически с гранитоидами Мурзинского массива. Дайки пикродолеритов и долеритов близки к базальтоидам океанических островов, формировавшихся за счёт низкой степени частичного плавления шпинелевых лерцолитов.

Таким образом, золото-медно-скарновые месторождения Мурзинского рудного поля следует отно-

силь к комплексным объектам («бипродукты»), формирующимся в меняющихся условиях флюидного режима: на ранних этапах с участием ювенильных магматогенных флюидов, а на заключительном этапе – при смешении ювенильных и разбавленных холдных растворов. Оторванное по времени золоторудное оруденение связано с глубинным очагом, генерировавшим дайки пикродолеритов и долеритов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев А.И. Металлогения золота Горного Алтая и южной части Горной Шории. – Томск: Изд-во STT, 2003. – 308 с. DOI: 10.12731/nkras.ru/MZGA.2015.196.
2. Comparison of the native antimony-bearing Paiting gold deposit, Guizhou Province, China, with Carlin-type gold deposits, Nevada, USA / Z.-J. Xie, Y. Xia, J.S. Cline, B.-W. Yan, Z.-P. Wang, D.-T. Wei // Mineralium Deposita. – 2017. – V. 52. – № 1. – P. 69–84. DOI: 10.1007/s00126-016-0647-y.
3. Association of gold with uraninite and pyrobitumen in the meta-volcanic rock hosted hydrothermal Au-U mineralisation at Rompas, Peräpohja Schist Belt, northern Finland / F. Molnár, H. Oduro, N. D. J. Cook, E. Pohjolainen, Á. Takács, H. O'Brien, L. Pakkanen, B. Johanson, R. Wirth // Mineralium Deposita. – 2016. – V. 51. – № 5. – P. 681–702. DOI: 10.1007/s00126-015-0636-6.
4. Основные возрастные рубежи интрузивного магматизма Кузнецкого Алатау и Калбы (по данным U-Pb изотопного датирования) / А.Г. Владимиров, М.С. Козлов, С.П. Шокальский, В.А. Халилов, С.Н. Руднев, Н.Н. Крук, С.А. Выставной, С.М. Борисов, Ю.К. Березиков, А.Н. Мещер, Г.А. Бабин, А.Н. Мамлин, О.М. Мурзин, Г.В. Назаров, В.А. Макаров // Геология и геофизика. – 2001. – № 8. – С. 1157–1178.
5. Anders E., Grevesse N. Abundances of the elements: meteoritic and solar // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1989. – V. 53. – № 1. – P. 197–214. DOI: 10.1016/0016-7037(89)90286-X.
6. 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 // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1999. – V. 63. – № 3–4. – P. 489–508. DOI: 10.1016/S0016-7037(99)00027-7.
7. Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids // Geological Society of America Bulletin. – 1989. – V. 101. – № 5. – P. 635–643. DOI: 10.1130/0016-7606(1989)101<0635:TD0G>2.3.CO;2.
8. Villaseca C., Barbero L., Herreros V. A re-examination of the tectonics of peraluminous granite types in intracontinental orogenic belts // Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences. – 1998. – V. 89. – № 2. – P. 113–119. DOI: 10.1017/S0263593300007045.
9. Ewart A. A review of the mineralogy and chemistry of Tertiary-Recent dacitic, latitic, rhyolitic, and related salic volcanic rocks // Developments in petrology. V. 6 «Trondhjemites, Dacites, and Related Rocks». – Amsterdam, 1979. – P. 13–121. DOI: 10.1016/B978-0-444-41765-7.50007-1.
10. Ewart A. The mineralogy and petrology of Tertiary-Recent orogenic volcanic rocks: with a special reference to the andesitic-basaltic compositional range // Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks. – Chichester: Wiley, 1982. – P. 25–95. DOI: 10.1002/esp.3290080112.

#### Информация об авторах

**Гусев А.И.**, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры естественно-научных дисциплин, безопасности жизнедеятельности и туризма Алтайского государственного гуманитарно-педагогического университета им. В.М. Шукшина.

**Табакаева Е.М.**, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник управления научно-исследовательской деятельности Алтайского государственного гуманитарно-педагогического университета им. В.М. Шукшина.

Значительный объём золота на Мурзинских месторождениях приходится и на гипергенный тип (коры выветривания).

*Работа выполнена при поддержке регионального гранта РФФИ «Петрология магматизма и генезис оруденения Мурзинского месторождения Алтайского края» (номер проекта: 17-45-220052, код и название и конкурса: р. а, региональный конкурс проектов фундаментальных научных исследований).*

11. Patiño Douce A.E., Beard J.S. Dehydration-melting of biotite gneiss and quartz amphibolite from 3 to 15 kbar // Journal of Petrology. – 1995. – V. 36. – № 3. – P. 707–738. DOI: 10.1093/petrology/36.3.707.
12. Li L., Xiong X.L., Liu X.C. Nb/Ta Fractionation by Amphibole in Hydrous Basaltic Systems: Implications for Arc Magma Evolution and Continental Crust Formation // Journal of Petrology. – 2017. – V. 58. – № 1. – P. 3–28. DOI: 10.1093/petrology/egw070.
13. Foley S., Tiepolo M., Vannucci R. Growth of early continental crust controlled by melting of amphibolite in subduction zones // Nature. – 2002. – V. 417. – № 6891. – P. 837–840. DOI: 10.1038/nature00799.
14. Mechanisms of Archean crust formation inferred from high-precision HFSE systematics in TTGs / J.E. Hoffmann, C. Münker, T. Næraa, M.T. Rosing, D. Herwartz, D. Garbe-Schönberg, H. Svahnberg // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2011. – V. 75. – № 15. – P. 4157–4178. DOI: 10.1016/j.gca.2011.04.027.
15. Richards J.P., Kerrich R. Adakite-like rocks: their diverse origins and questionable role in metallogenesis // Economic Geology. – 2007. – V. 102. – № 4. – P. 537–576. DOI: 10.2113/gsecongeo.102.4.537.
16. The generation of high Sr/Y plutons following Late Jurassic arc-arc collision, Blue Mountains province, NE Oregon / J.J. Schwartz, K. Johnson, E.A. Miranda, J.L. Wooden // Lithos. – 2011. – V. 126. – № 1–2. – P. 22–41. DOI: 10.1016/j.lithos.2011.05.005.
17. Гусев А.И. Кузнецовская магмо-рудно-метасоматическая система Западного Алтая // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2016. – № 1. – С. 104–114.
18. Wasson J.T., Kallemeyn G.W. The Solar System: chemistry as a key to its origin – Compositions of chondrites // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical & Engineering Sciences. – 1988. – V. 325. – № 1587. – P. 535–544. DOI: 10.1098/rsta.1988.0066.
19. Erratum to «Flood basalt-related Fe-Ti oxide deposits in the Emeishan large igneous province, SW China» [Lithos 119 (2010) 123–136] / K.-N. Pang, M.-F. Zhou, L. Qi, G. Shellnutt, C.Y. Wang, D. Zhao // Lithos. – 2013. – V. 162–163. – P. 331. DOI: 10.1016/j.lithos.2012.12.009.
20. Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey / E. Aldanmaz, J.A. Pearce, M.F. Thirlwall, J.G. Mitchell // Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 2000. – V. 102. – № 1–2. – P. 67–95. DOI: 10.1016/S0377-0273(00)00182-7.
21. Gold-bearing skarns / T.G. Theodore, G.J. Orris, J.M. Hammarstrom, J.D. Bliss // US Geological Survey Bulletin. – 1991. – № 1930. – P. 1–61.

Поступила 28.08.2017 г.

UDC 552.3:550.4:550.42:550.93

**MAGMATISM AND ORE DEPOSITS OF MURZINSKOE GOLD ORE FIELD (GORNYY ALTAI)**Anatoliy I. Gusev<sup>1</sup>,  
anzerg@mail.ruEvgeniya M. Tabakaeva<sup>1</sup>,  
tabakaeva16@mail.ru<sup>1</sup> Shukshin Altai State Humanities Pedagogical University,  
53, Vladimir Korolenko street, Biysk, 659333, Russia.

**The relevance** of the discussed issue is caused by the need of researching petrology, geochemistry and ore mineralization of Murzinskoe ore field of Gornyy Altai. Different types of copper and gold mineralization at early stage are related in space and paragenetically to granitoids of Murzinsky stock. The late gold-mercury mineralization is related to dikes of picrodolerites and dolerites.

**The main aim** of the research is to study petrology, geochemical features of rocks and ore mineralization of Murzinsky stock using the experimental diagrams, which allow determining the genetic problems and the physico-chemical features of petrogenesis.

**The methods used in the study.** Rare and scattered elements were determined in rocks by inductively coupled plasma method on the mass spectrometer «OPTIMA-4300», the rest elements, including REE, were determined by La-ISP-MS methods in the Laboratory VSEGEI (Saint-Petersburg) and OIGaG SO RAN (Novosibirsk). The absolute age of forming rocks was determined by U-Pb SIMS (ion microprobe SHRIMP-II) method on zircon in the Laboratory VSEGEI (Saint-Petersburg) and IMGRE (Moscow).

**Results.** The paper introduces the data on geochemistry and petrology of granitoids of Murzinsky stock of Late Devonian and rare dikes of dolerites of Terekhtinsky complex of Late Permian-Early Triassic. Granitoids of Murzinsky massif refer to andesite-dacite-rhyolites of suite. The source of the granitoids is melting of amphibolites and graywackes of lower crust at considerably low pressure (3–5 kbar). Manifestation of tetrad effect fractionation of REE M-type in granites was correlated with concentration of copper and gold. Forming of early gold-copper-skarn ores is paragenetically related to granitoids of Murzinsky massif. Dikes of picrodolerites and dolerites were formed due to the low degree of partial melting of spinel lherzolites. These dikes are interpreted by oceanic island basalt derivatives. Time isolated gold-mercury ore mineralization is related to the deep spot generating dikes of picrodolerites and dolerites. Intrusive-connected gold-copper-skarn deposits of Murzinskoe ore field should be referred to the complex objects («biproductions»), formed in changing conditions of fluid regime. In early stages the juvenile magmatic fluids participated, but on the end stage ore-genesis took place under conditions of mixing juvenile and diluted cool solutions.

**Key words:**

Geochemistry, petrology, granitoids, dikes of picrodolerites, dolerites, partial melting, tetrad effect of REE fractionation, skarns, lodes, copper, gold, mercury.

The research was supported by the regional grant of RFBR «Petrology of magmatism and genesis of mineralization of Murzinskoe deposit in Altai Territory» (no. 17-45-220052, code and title of the competition: p\_a, regional competition of projects in fundamental scientific researches).

**REFERENCES**

- Gusev A.I. *Metallogeniya zolota Gornogo Altaya i yuzhnoy chasti Gornoy Shorii* [Metallogeny of gold in the Altai Mountains and the southern part of the Mountain Shoria]. Tomsk, STT Press, 2003. 308 p. DOI: 10.12731/nkras.ru/MZGA.2015.196.
- Xie Z.-J., Xia Y., Cline J.S., Yan B.-W., Wang Z.-P., Wei D.-T. Comparison of the native antimony-bearing Paiting gold deposit, Guizhou Province, China, with Carlin-type gold deposits, Nevada, USA. *Mineralium Deposita*, 2017, vol. 52, no. 1, pp. 69–84. DOI: 10.1007/s00126-016-0647-y.
- Molnár F., Oduro H., Cook N.D.J., Pohjola E., Takács Á., O'Brien H., Pakkanen L., Johanson B., Wirth R. Association of gold with uraninite and pyrobitumen in the metavolcanic rock hosted hydrothermal Au-U mineralisation at Rompas, Peräpohja Schist Belt, northern Finland. *Mineralium Deposita*, 2016, vol. 51, no. 5, pp. 681–702. DOI: 10.1007/s00126-015-0636-6.
- Vladimirov A.G., Kozlov M.S., Shokalskiy S.P., Khalilov V.A., Rudnev S.N., Kruk N.N., Vystavnoy S.A., Borisov S.M., Berezhkov Yu.K., Metsner A.N., Babin G.A., Mamlin A.N., Murzin O.M., Nazarov G.V., Makarov V.A. Osnovnye vozrastnye rubezhi intruzivnogo magmatizma Kuznetskogo Alatau i Kalby (po dannym U-Pb izotopnogo datirovaniya) [The main age boundaries of the intrusive magmatism of the Kuznetsk Alatau and Kalba (according to U-Pb isotope dating data)]. *Russian Geology and Geophysics*, 2001, no. 8, pp. 1157–1178.
- Anders E., Grevesse N. Abundances of the elements: meteoritic and solar. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1989, vol. 53, no. 1, pp. 197–214. DOI: 10.1016/0016-7037(89)90286-X.
- 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. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1999, vol. 63, no. 3–4, pp. 489–508. DOI: 10.1016/S0016-7037(99)00027-7.
- Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, 1989, vol. 101, no. 5, pp. 635–643. DOI: 10.1130/0016-7606(1989)101<0635:TDOG>2.3.CO;2.
- Villaseca C., Barbero L., Herreros V. A re-examination of the tectonics of peraluminous granite types in intracontinental orogenic belts. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 1998, vol. 89, no. 2, pp. 113–119. DOI: 10.1017/S0263593300007045.
- Ewart A. A review of the mineralogy and chemistry of Tertiary-Recent dacitic, latitic, rhyolitic, and related salic volcanic rocks. In: *Developments in petrology*, V. 6: Trondhjemites, Dacites, and Related Rocks. Amsterdam, 1979. Ed. by F. Barker. pp. 13–121. DOI: 10.1016/B978-0-444-41765-7.50007-1.
- Ewart A. The mineralogy and petrology of Tertiary-Recent orogenic volcanic rocks: with a special reference to the andesitic-basaltic compositional range. In: *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*. Chichester, Wiley, 1982. Ed. by R.S. Thorpe. pp. 25–95. DOI: 10.1002/esp.3290080112.

11. Patiño Douce A.E., Beard J.S. Dehydration-melting of biotite gneiss and quartz amphibolite from 3 to 15 kbar. *Journal of Petrology*, 1995, vol. 36, no. 3, pp. 707–738. DOI: 10.1093/ptrology/36.3.707.
12. Li L., Xiong X.L., Liu X.C. Nb/Ta Fractionation by Amphibole in Hydrous Basaltic Systems: Implications for Arc Magma Evolution and Continental Crust Formation. *Journal of Petrology*, 2017, vol. 58, no. 1, pp. 3–28. DOI: 10.1093/ptrology/egw070.
13. Foley S., Tiepolo M., Vannucci R. Growth of early continental crust controlled by melting of amphibolite in subduction zones. *Nature*, 2002, vol. 417, no. 6891, pp. 837–840. DOI: 10.1038/nature00799.
14. Hoffmann J.E., Münker C., Næraa T., Rosing M.T., Herwartz D., Garbe-Schönberg D., Svahnberg H. Mechanisms of Archean crust formation inferred from high-precision HFSE systematics in TTGs. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2011, vol. 75, no. 15, pp. 4157–4178. DOI: 10.1016/j.gca.2011.04.027.
15. Richards J.P., Kerrich R. Adakite-like rocks: their diverse origins and questionable role in metallogenesis. *Economic Geology*, 2007, vol. 102, no. 4, pp. 537–576. DOI: 10.2113/gsecongeo.102.4.537.
16. Schwartz J.J., Johnson K., Miranda E.A., Wooden J.L. The generation of high Sr/Y plutons following Late Jurassic arc–arc collision, Blue Mountains province, NE Oregon. *Lithos*, 2011, vol. 126, no. 1–2, pp. 22–41. DOI: 10.1016/j.lithos.2011.05.005.
17. Gusev A.I. Kuznetsovskaya magmo-rudno-metasomaticheskaya sistema Zapadnogo Altaya [The Kuznetsovskaya magma-metasomatic ore-bearing system in the western Altai Mountains]. *Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2016, no. 1, pp. 104–114.
18. Wasson J.T., Kallemeyn G.W. The Solar System: chemistry as a key to its origin – Compositions of chondrites. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical & Engineering Sciences*, 1988, vol. 325, no. 1587, pp. 535–544. DOI: 10.1098/rsta.1988.0066.
19. Pang K.-N., Zhou M.-F., Qi L., Shellnutt G., Wang C.Y., Zhao D. Erratum to «Flood basalt-related Fe-Ti oxide deposits in the Emeishan large igneous province, SW China» [Lithos 119 (2010) 123–136]. *Lithos*, 2013, vol. 162–163, p. 331. DOI: 10.1016/j.lithos.2012.12.009.
20. Aldanmaz E., Pearce J.A., Thirlwall M.F., Mitchell J.G. Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2000, vol. 102, no. 1–2, pp. 67–95. DOI: 10.1016/S0377-0273(00)00182-7.
21. Theodore T.G., Orris G.J., Hammarstrom J.M., Bliss J.D. Gold-bearing skarns. *US Geological Survey Bulletin*, 1991, no. 1930, pp. 1–61.

Received: 28 August 2017.

#### Information about the authors

**Anatoliy I. Gusev**, Dr. Sc., professor, Shukshin Altai State Humanities Pedagogical University.

**Evgeniya M. Tabakaeva**, Cand. Sc., researcher, Shukshin Altai State Humanities Pedagogical University.