

ГЛИНОЗЕМИСТЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ РУДНЫХ РАЙОНОВ УРАЛА

Е. И. Сорока

Глиноземистые ассоциации таких минералов как диаспор, кианит (дистен), пирофиллит и др. достаточно часто встречаются в рудных районах Урала. Породы, в которых они развиты, принадлежат к рудовмещающим толщам. Встречаются как массивными, так и сланцеватыми разности. Рудные представлены гематитом, магнетитом, сульфидами и др. Акцессорные минералы – цирконом, рутилом, турмалином, апатитом и др.

Пирофиллит – один из наиболее распространенных минералов глинозема в минеральных ассоциациях рудных районов Урала. В изучавшихся нами породах на площади Au-Pd-проявлений Чудное и Нестеровское (хр. Малдынырд, западный склон Приполярного Урала), которые локализованы в толще измененных фукситизированных кислых вулканитов и терригенных пород ордовика [6], содержание пирофиллита составляет от 5 до 90 об. %. Обычно здесь пирофиллит встречается в виде мелкочешуйчатых и скрытокристаллических разностей, окрашенных в белый, серый, желтоватый, желтовато-розоватый цвет. Размер частиц пирофиллита до 0.05–0.2 мм. Судя по приведенным в табл. 2 данным, он заметно обогащен глиноземом по отношению к кремнезему. Полагают, что пирофиллит, обогащенный глиноземом, мог образоваться при воздействии кислых растворов, не насыщенных SiO_2 , либо при температурах выше обычной стабильности пирофиллита [9]. Встречаются и прожилки мощностью до 0.5 см (залеченные трещины) белого пирофиллита, часто в ассоциации с диаспором [11].

Диаспор в этих породах также встречается в виде мелкочешуйчатых и скрытокристаллических разностей. В прожилках пирофиллит и диаспор часто представлены пластинами (размер частиц до 0.2 мм), иногда радиально-лучистыми кристаллами. По данным [10], здесь выделяется 4 генерации диаспора. Некоторые разности пород с диаспором в районе хр. Малдынырд содержат до 43 мас. % Al_2O_3 (табл. 1). Кроме того, в них рентгенофазовым анализом (оператор Т.Я. Гуляева, ИГГ УрО РАН) был определен бёмит. В этих породах также встречаются образования, напоминающие хорошо окатанные гальки размером до 10 см, которые состоят из пирофиллита, диаспора, кварца, хлоритоида и гематита. По ряду признаков, мы предполагаем, что галькоподобные образования имеют тектоническое происхождение [20].

Высокоглиноземистые породы хр. Малдынырд встречаются преимущественно в зонах разломов. В них в ассоциации с пирофиллитом и диаспором присутствуют кианит и хлоритоид. Кианит (дистен) выделяется в породе в виде тонких полупрозрачных кристаллов и пучковидных агрегатов размером до 15 мм. Цвет светло-серый. Хлоритоид – в виде призматических идиоморфных темно-зеленых кристаллов, часто в виде звездчатых и сноповидных агрегатов. Гематит встречается в виде тонкокристаллических разностей и включений, в частности, в диаспоре.

Обычно высокоглиноземистые породы хр. Малдынырд имеют розоватый, часто буро-красный цвет из-за присутствия тонкодисперсного гематита. За счет него диаспор в некоторых разностях пород приобретает красновато-буроватый оттенок. Содержание железа в некоторых глиноземистых породах изучаемого района достаточно высокое и иногда достигает 15 мас. % и более (табл. 1).

Среди высокоглиноземистых встречаются и осветленные породы, состоящие из кварца, серицита и пирофиллита (хлоритоида), содержание железа в которых находится на уровне первых масс% (табл. 1). По предположению [14], осветление произошло под воздействием метасоматических растворов, когда Fe_2O_3 восстанавливался до FeO и фиксировался в слюдяных минералах, отличающихся высоким содержанием катиона Fe^{2+} .

В тектонических зонах хр. Малдынырд встречаются глиноземистые породы серого и темно-серого цвета, содержащие преимущественно хлоритоид. Он часто выделяется в виде достаточно крупных призматических кристаллов и агрегатов (до 5 мм). В этом случае в ассоциации с ним встречаются кварц, серицит, альбит, хлорит, а иногда эпидот и турмалин. Химический состав такого хлоритоида приведен в табл. 3 (ан. 5). Из рудных минералов распространены магнетит и титаномагнетит, а также в незначительном количестве сульфиды, в частности, пирит, халькопирит, а иногда, борнит, халькозин. Магнетит, титаномагнетит, гематит, турмалин присутствуют и как включения в хлоритоиде. Содержание Al_2O_3 в таких породах не превышает 21 мас. % (табл. 1, ан. 5).

Таким образом, в рудовмещающем комплексе хр. Малдынырд встречаются высокоглиноземистые образования различного происхождения и, соответственно, несколько глиноземистых мине-

Таблица 1. Химический состав глиноземистых пород

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	73.38	44.12	42.20	35.16	50.20	77.42	59.27	41.18	81.73	81.50	42.53	37.70
TiO ₂	0.50	0.68	0.68	3.500	3.00	0.54	1.09	1.83	0.23	0.21	1.08	0.05
Al ₂ O ₃	15.94	40.66	43.36	30.25	21.39	17.25	31.11	45.29	12.26	10.81	47.11	28.33
Fe ₂ O ₃	2.65	5.54	4.9	15.19	10.37				0.26		0.10	2.07
FeO	0.50	0.43	0.29	2.25	7.54	0.56	0.13	0.58	0.57	1.09	0.14	0.12
MnO	0.05	0.04	0.04	0.20	0.38	–	0.05	0.05	0.01	0.05	0.05	<0.10
MgO	–	0.10	–	0.10	0.84	0.05	0.05	0.05	0.52	1.04	0.10	0.12
CaO	0.28	Не об.	0.14	0.47	0.40	0.13	0.14	0.15	0.05	0.18	0.10	0.35
K ₂ O	3.70	0.46	0.09	7.01	1.19	0.23	2.22	0.45	0.52	2.61	0.31	4.06
Na ₂ O	0.27	0.11	0.07	0.72	1.59	0.10	0.42	0.17	0.18	0.52	0.21	0.19
P ₂ O ₅	–	–	–	0.56	0.12	0.08	0.11	0.15	0.06	0.02	0.04	0.17
сумма	99.25	98.98	99.32	99.57	100.05				100.08	99.88	100.70	92.45
H ₂ O	–	–	–	0.45	–							0.36
CO ₂	–	–	–	–	<0.10							<0.10
П.п.п.	1.98	6.84	7.55	4.66	2.90	3.44	5.28	8.40	2.51	1.75	8.03	17.37

Примечание. 1–5 – глиноземистые породы хр. Малдынырд, Приполярный Урал (1 – серицит-пирофиллит-кварцевая порода; 2–3 – пирофиллитовая порода с диапором, кианитом, хлоритоидом, руч. Алькесвож; 4 – кварц-пирофиллит-серицитовая с хлоритоидом порода, кар. Грубепендиты; 5 – кварц-хлорит-серицит-хлоритоидная порода, обр. 48/96, руч. Каньонный); 6–8 (6 – кварц-пирофиллитовая порода; 7 – серицит-пирофиллитовая порода; 8 – диаспор-пирофиллитовая порода) – глиноземистые породы Гайского медноколчеданного месторождения, Южный Урал, по данным [24]; 9–11 (9 – кварц-пирофиллитовые сланцы, линия 2013; 10 – пирофиллитовые кварциты, линия 2014; 11 – диаспор-пирофиллитовая порода, линия 2064) – глиноземистые породы серно-колчеданного месторождения Куль-Юрт-Тау, Южный Урал, по данным [8]; 12 – кварц-алунит-серицит-каолининовая порода, Сафьяновское медноколчеданное месторождение, Средний Урал. Анализы 1–4 выполнены в ИГГ УрО РАН, 5–12 – в ИМин УрО РАН.

ральных ассоциаций. Диаспорсодержащие разновидности пород, в которых обычно присутствуют также пирофиллит, бемит, гематит, по нашим предположениям, имеют первоначально гидротермально-осадочный генезис [21]. В некоторых из этих породах было обнаружено рассеянное органическое вещество [21]. Минеральные ассоциации кварц-диаспор-пирофиллит-хлоритоид и серицит-хлорит-хлоритоид в данном случае являются более поздними наложенными. В зонах разломов также присутствует ассоциация: диаспор-кианит-пирофиллит-хлоритоид, кварц-серицит-хлорит-хлоритоид. Они могли образоваться как по первично глиноземисто-

му субстрату, так и по вулканитам кислого-среднего состава, широко представленным в изучаемом районе [17]. Как предполагают некоторые исследователи [14], осветление пород на золтопроявлениях Чудное и Нестеровское происходило ранее формирования кварцевых и фукситовых прожилков. Оно условно сопоставляется с метаморфическим событием около 400 млн. лет, зафиксированным Rb-Sr и K-Ag изотопными системами. По нашим данным, возраст метаморфизма пород района предположительно 332 ± 7 млн. лет (определен K-Ag методом по серицитам из пород зон разломов, оператор Б.А. Калеганов, ИГГ УрО РАН) [22]. Сурен-

Таблица 2. Химический состав пирофиллита высокоглиноземистых пород

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	64.10	63.80	64.48	67.14	63.70	65.23	69.59	66.10	62.20
TiO ₂	0.00	0.00	–	0.23	0.42	0.95	0.96	0.20	0.50
Cr ₂ O ₃	–	–	0.07	Неоп.	Неоп.	Неоп.	Неоп.	Неоп.	Неоп.
Al ₂ O ₃	29.25	29.65	28.17	27.61	29.63	27.79	23.01	26.80	32.00
FeO	0.27	0.37	0.37	–	–	0.16	0.34	0.50	0.00
MgO	0.00	0.00	0.05	–	–	0.10	0.10	0.10	0.00
MnO	0.00	0.00	0.00	–	–	–	–	0.00	0.00
CaO	0.07	0.19	0.14	–	–	0.10	0.17	0.50	0.20
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.20	0.53	0.20	0.21	0.70	0.00
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.27	0.60	0.20	0.25	0.50	2.20
H ⁺	5.00	5.00	5.00						
O	53.75	53.51	53.97						
сумма	98.70	99.02	96.29	99.79	99.66	99.87	99.95	95.00	95.00

Примечание. 1–2 – пирофиллитовая сланец с хлоритоидом и кианитом, руч. Алькес-Вож, хр. Малдынырд (Приполярный Урал); 3 – пирофиллит-серицитовый сланец с хлоритоидом, кар. Грубепендиты, хр. Малдынырд (Приполярный Урал); 4–5 – пирофиллитовые породы, серно-колчеданное месторождение Куль-Юрт-Тау, Южный Урал [16]; 6–7 – пирофиллитовые породы, Гайское медно-цинково-колчеданное месторождение, Южный Урал [24]; 8–9 – тыловая часть экспериментальных колонок кислотного метасоматоза [9]. Для анализов 1–3 приведены данные микрорзондового анализа (оператор Л.К. Воронина, ИГГ УрО РАН).

Таблица 3. Химический состав хлоритоида

№	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	23.72	23.57	23.55	24.25	20.45	26.72	23.78
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	–	0.005	0.92	0.10
Cr ₂ O ₃	–	–	–	0.05	0.060	–	–
Al ₂ O ₃	38.23	38.71	37.71	32.33	37.62	36.61	39.40
FeO	26.55	25.79	27.56	23.74	26.013	26.78	25.83
MgO	1.44	0.82	0.56	1.12	1.529	0.44	2.95
MnO	0.19	0.32	0.93	2.39	0.533	0.10	0.15
CaO	0.26	0.14	0.04	0.00	0.00	–	0.11
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.013	1.34	0.06
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	–	0.00
H ⁺	7.95	7.95	7.95	7.95	–	6.87	–
O	45.96	46.71	45.96	45.55	–	45.55	–
Сумма	98.35	97.30	98.35	99.33	85.44	100.05	99.35

Примечание. 1–5 – хлоритоид из пород хр. Малдынырд (1 – пиррофиллитовая порода с хлоритоидом и кианитом; 2 – пиррофиллитовая порода с диаспором; 3 – пиррофиллит-хлоритоидная порода, руч. Алькесвож; 4 – пиррофиллит-серицитовый сланец с хлоритоидом, кар Грубенденты; 5 – кварц-серицит-хлоритовая порода с хлоритоидом, водораздельная часть хр. Малдынырд); 6 – хлоритоид из прожилка в рудах Зюзельковского колчеданного месторождения, Южный Урал, по данным [3]; 7 – серицит-хлоритовый сланец Гайского колчеданного месторождения, по данным [2]. Анализы 1–4 выполнены в ИГГ УрО РАН, анализ 5 выполнен в ИМин УрО РАН.

Кристаллохимические формулы:

- 1 – Ca_{0,01}(Fe²⁺_{1,82}Mg_{0,2}Mn_{0,02})₂(Al_{1,87}Fe³⁺_{0,13})₂[Si₂Al₂]O_{10,60}(OH)_{3,40}
 3 – (Fe²⁺_{1,90}Mg_{0,02}Mn_{0,03})₂(Al_{1,90}Fe³⁺_{0,10})₂[Si₂Al₂]O₁₀(OH)₄
 4 – (Fe²⁺_{1,66}Mn_{0,21}Mg_{0,14})₂(Al_{1,98}Fe³⁺_{0,02})₂[Si₂Al₂]O₁₀(OH)₄
 6 – Na_{0,22}(Fe²⁺_{1,73}Mg_{0,06})₂(Al_{1,88}Fe³⁺_{0,12})₂(OH)_{3,87}F_{0,06}[Al_{1,75}Si_{2,25}O₁₀]
 7 – Ca_{0,01}(Fe²⁺_{1,09}Fe³⁺_{0,53}Mg_{0,37}Mn_{0,01})₂(Al_{1,87}Fe³⁺_{0,13})₂[Si₂Al₂]O_{10,55}(OH)_{3,45}

ков [23] Sm-Nd-методом фиксирует локальное гидротермальное событие около 370 млн. лет. Данное событие может быть связано с тектонической активностью, проявленной в изучаемом районе на рубеже герцинской активизации. И, наконец, по данным [23], прожилки кварца с гематитом и хлоритоидом, фукситовые и кварц-альбитовые прожилки с ортитом на золотопоявлении Чудное имеют датировку 250–255 ± 10 млн. лет (Rb-Sr и K-Ar методы). Ассоциации кварц-пиррофиллит, кварц-серицит, кварц-серицит-пиррофиллит (хлорит) могли образоваться при метасоматозе пород рудовмещающей толщи, вулканитов и терригенных пород ордовика. Их образование было связано с формированием в районе метасоматитов кварц-серицитовой формации, возраст которой предположительно 247 ± 6 млн. лет [22] и по времени может совпадать с Au-Pd минерализацией в районе [14].

Высокоглиноземистые минеральные ассоциации с пиррофиллитом, диаспором и каолинитом известны также и на колчеданных месторождениях Среднего и Южного Урала, в частности, на Гайском и Куль-Юрт-Тау [8, 16, 24]. Рудовмещающие отложения на Гайском медно-колчеданном месторождении (Южный Урал) относятся к риолит-базальтовой формации эйфельского возраста. Они повсеместно рассланцованы и деформированы. Северная часть месторождения представлена серно-колчеданными рудами. К метасоматитам этой части месторождения приурочены, в основном, и высокоглиноземистые образования. На Гайском месторождении количество пиррофиллита в породах составляет от не-

скольких до 60% объема. Породы обычно белого или серовато-белого цвета. Суммарное содержание железа в породах не выше 1 мас. % [24].

Кварц-пиррофиллитовые разности пород содержат чешуйки пиррофиллита размером 0.01–0.02 мм. Встречаются обособления табличатой формы, которые предположительно являются реликтами вкрапленников плагиоклаза, замещенные мелкочешуйчатым пиррофиллитом. Зерна кварца изометричной формы часто с волнистым погасанием. Повсеместно отмечается рутил в виде зерен 0.03–0.2 мм. Серицит-пиррофиллитовые разности секутся прожилками пиррофиллита светло-серого цвета мощностью от первых миллиметров до 5–7 см. Прожилки крайние не выдержаны по мощности и простиранию.

В диаспорсодержащих разностях пород, по данным [24], диаспор выделяется в виде призматических зерен (размер 0.02–0.1 мм) и агрегатов скрытокристаллического диаспора. Диаспор замещается розетковидными агрегатами пиррофиллита и крупночешуйчатым серицитом. В массивных разностях выделения скрытокристаллического и тонкозернистого диаспора имеют сложную форму в пиррофиллитовой матрице. Диаспоровые сланцеватые разности обычно содержат участки и будины массивных серицитовых и пиррофиллитовых кварцитов, которые характеризуются низкими содержаниями Si и повышенными содержаниями Al и Ti. Скопления рутила часто отмечаются на контакте диаспора и пиррофиллитового матрикса. Содержание Al₂O₃ в таких породах может достигать 50% (табл. 1). Подоб-

ные породы предполагается использовать здесь как сырье по производству керамической плитки [7].

На Гайском месторождении также встречается пирофиллит, представленный агрегатами серебристо-белого цвета в виде присыпки на плоскостях подвижек по тектоническим трещинам, в виде тонких пленок, в открытых трещинах, мелких пустотах выщелачивания. По мнению [24], он является более поздним продуктом переотложения пирофиллита в условиях выветривания.

Каолинит в породах Гайского месторождения встречается в ассоциации пирофиллит-серицит-кварц в тектоническом блоке зоны обрушения над серно-колчеданной залежью. Породы сильно лимонитизированы. В породах зоны обнаружены гипс и ярозит.

Высокоглиноземистые минеральные ассоциации с диаспором известны в рудовмещающей толще колчеданного месторождения Куль-Юрт-Тау в Баймакском рудном районе Башкирии [8, 16]. Ру-

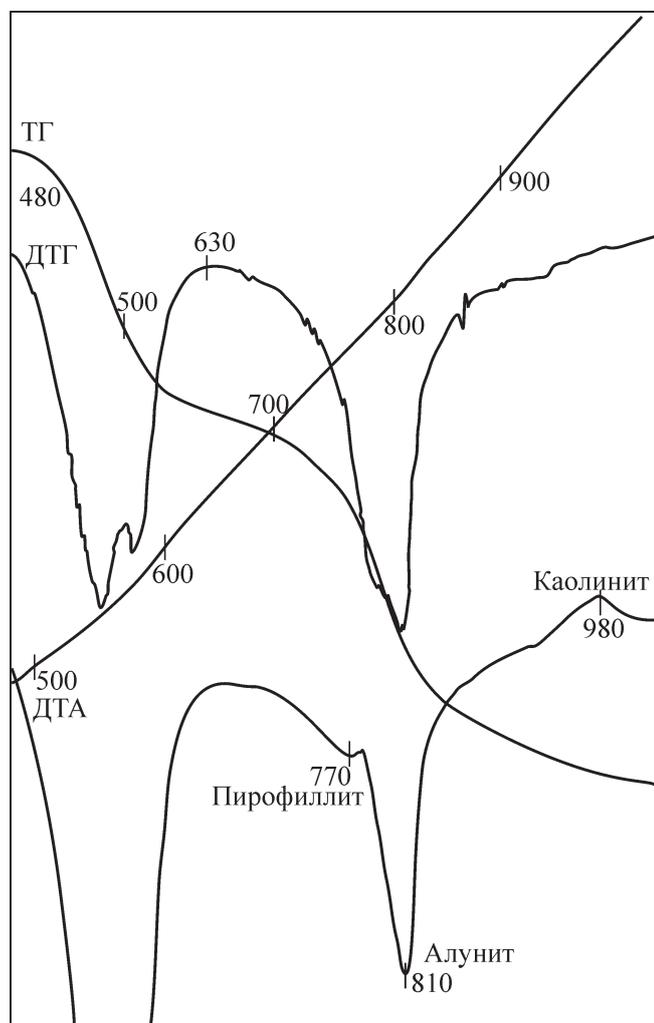


Рис. 1. Термограмма образца (Саф 19-05) освещенной породы на контакте с рудным телом, горизонт 130, карьер Сафьяновского медноколчеданного месторождения (Средний Урал).

довмещающие породы здесь представлены вулканитами дацитового, риолитового и андезитобазальтового состава баймак-бурибайского комплекса эйфельского возраста. Породы сильно дислоцированы, т.к. находятся в зоне влияния крупного Западно-Ирендыкского разлома субмеридионального простирания. В кровле серно-колчеданного тела развиты пирофиллитовые сланцы с будинами пирофиллит-кварцевых с диаспором пород.

Пирофиллит-кварцевые сланцы Куль-Юрт-Тау обычно белого, светло-серого и желтоватого цветов. Сложены, в основном, кварцем, пирофиллитом, диаспором, серицитом, иллитом, плагиоклазом, каолинитом. Акцессорные и рудные минералы: рутил, апатит, молибденит, пирит [8]. Размер зерен и чешуек пирофиллита от 0.01 до 0.5 мм.

Пирофиллитовые кварциты белого и светло-серого цвета имеют очковую и брекчиевую текстуры. Количество пирофиллита в породе – 11–14%. По трещинам развивается серицит. Пирофиллитовые кварциты разбиты на линзообразные блоки, которые разделяются плитчатыми и рассланцованными пирофиллитовыми породами светло-серого и светло-желтого цвета. Размер зерен <0.01 мм. В них содержатся также иллит, диаспор, хлорит.

Диаспорсодержащие породы образуют гнезда и линзы мощностью 0.5–2 м среди пирофиллит-кварцевых сланцев. Породы серого цвета сложены микропластинчато-чешуйчатым агрегатом. Кроме диаспора, в них также присутствуют пирофиллит (до 50%) и, в незначительных количествах, серицит и каолинит. Содержание Al_2O_3 в таких породах может достигать 47% (табл. 1).

Ассоциация хлоритоид-пирофиллит-диаспор не характерна для колчеданных месторождений Южного Урала, хотя на некоторых из них хлоритоид встречается в породах и рудах, например, на Гайском месторождении. Здесь хлоритоид находится в серицит-хлоритовых сланцах тектонической зоны. Он слагает серию тонких прожилков согласно с мелкими крутопадающими тектоническими трещинами [2]. На Зюзельском колчеданном месторождении (Южный Урал) хлоритоид встречается непосредственно в рудном теле, где выполняет промежутки между зернами пирита или образует тонкие прожилки. В ассоциации с хлоритоидом здесь находятся кварц, хлорит, пирит, халькопирит, марказит, мельниковит, рутил и серицит. Предполагается, что хлорит и хлоритоид являются сингенетичными [3]. В хлоритоиде из Зюзельского месторождения отмечается значительное количество щелочей (табл. 3, ан. 6).

На Сафьяновском медноколчеданном месторождении (Средний Урал) минеральная глиноземистая ассоциация кварц-алуниит-каолинит-серицит(пирофиллит)-хлорит встречается в освещенных породах приконтактной зоны рудных тел [13]. Содержание глинозема в некоторых при-

контактовых метасоматитах достигает 28 мас. % (табл. 1). По данным рентгенофазового анализа (оператор Т.Я. Гуляева, ИГГ УрО РАН), состав пород осветленной зоны преимущественно каолинит-кварцевый с незначительным количеством хлорита. Непосредственно на контакте с рудной зоной, представленной медным колчеданом, порода состоит из кварца, гидрослюд, каолинита и пирита с более светлыми, практически белыми, прожилками алуни-та и серицита (пирофиллита). Алунит в породах образует чешуйчатые и волокнистые агрегаты, слагает прожилки и межзерновое пространство и находится в тонких сростках серицитом и каолинитом. Термовесовой анализ проб, проведенный на дериватографе "Q-1500D" (аналитик В.Г. Петрищева) подтвердил наличие каолинита и алуни-та. Для каолинита характерен пик дегидратации при температуре 572°C и экзотермический пик при 985°C. Для алуни-та выделяется два эндотермических максимума: первый (на 560°C) связан с потерей конституционной воды, второй (на 820°C) обусловлен диссоциацией безводных квасцов (рис. 1). На термограмме кривой нагревания пирофиллита минимум эндоэффекта проявлен на 770°C (рис. 1).

Все изучаемые породы изменены на уровне зеленосланцевой фации метаморфизма. В некоторых высокоглиноземистых породах условия метаморфизма, судя по минеральным ассоциациям, соответствуют верхам зеленосланцевой фации эпидот-хлоритовой субфации. В породах хр. Малдынырд практически везде присутствуют гематит и магнетит, что может свидетельствовать о не слишком резких изменениях окислительно-восстановительных условий в процессе метаморфизма. В глиноземистых породах колчеданных месторождений Южного Урала гематит и магнетит почти не встречаются, либо встречаются в виде лимонита, но повсеместно присутствуют сульфиды. Возможно, здесь железо ушло из пород в процессе гидротермально-метаморфических преобразований.

Изучение условий образования минеральных парагенезисов и ассоциаций затруднено тем, что процесс носил длительный характер и эволюционировал во времени вместе с системой и, возможно, происходило наложение парагенезисов друг на друга.

В вышеописанных глиноземистых породах наиболее часто встречается ассоциация кварц-серицит-пирофиллит. По результатам эксперимен-

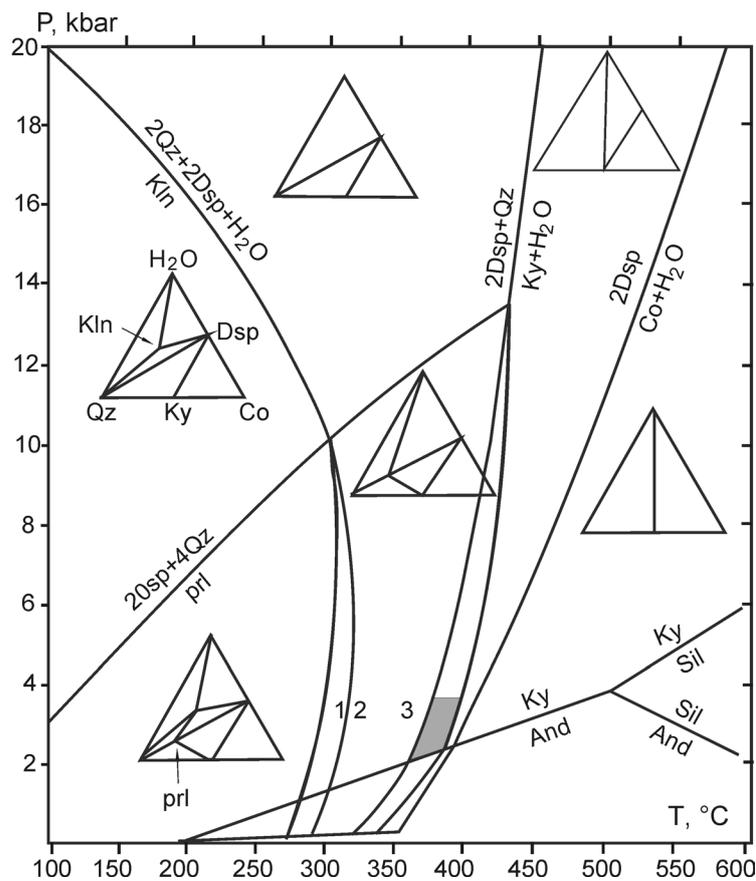


Рис. 2. Фазовая диаграмма в системе Al₂O₃-SiO₂-H₂O по [25].

Условные обозначения: со – корунд, dsp – диаспор, kln – каолинит, ky – кyanит, qz – кварц, prl – пирофиллит; линии равновесия: 1 – kln + 2qz = prl + H₂O, 2 – 2kln = prl + 2dsp + 2H₂O, 3 – prl + 6dsp = 4ky + 4H₂O; заштрихованная область соответствует P-T-условиям образования пирофиллита, диаспора, кyanита в высокоглиноземистых породах хр. Малдынырд.

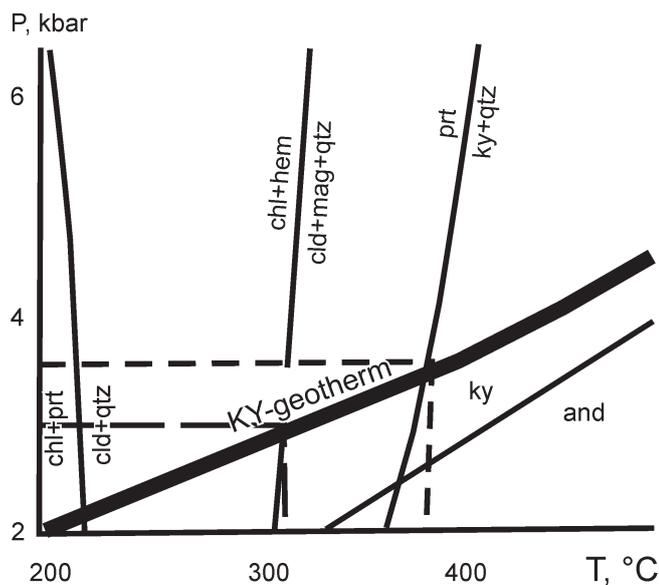


Рис. 3. Фазовая диаграмма на основе Винклера-Бушера (1995).

Условные обозначения: prt – пиррофиллит, and – андалузит, cld – хлоритоид, chl – хлорит, hem – гематит, ky – кианит, qtz – кварц, mag – магнетит; пунктирными линиями показаны РТ-условия образования ассоциации пиррофиллит-кианит-хлоритоид-хлорит в высокоглиноземистых породах хр. Малдынырд.

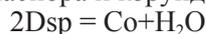
тальных работ установлено [9], что пиррофиллит в ассоциации с кварцем, мусковитом, плагиоклазом, хлоритом появлялся в тыловых зонах колонок в опытах с высокой кислотностью растворов при $T = 400\text{--}350^\circ\text{C}$, $P = 1$ кбар. По нашим данным [19], серицит из кварц-серицитовых и кварц-серицит-пиррофиллитовых пород хр. Малдынырд мог образоваться при $T \sim 250\text{--}370^\circ\text{C}$ и P от 0.5 до 1.5 кбар, а фуксит из фукситизированных золотоносных пород золотопроявления Чудное – $T \sim 370\text{--}390^\circ\text{C}$ и P около 1.5 кбар [19].

Чтобы оценить условия метаморфизма высокоглиноземистых пород, содержащих также диаспор и дистен (кианит), можно использовать диаграмму Эванса для глиноземистых образований (рис. 2). Судя по диаграмме, реакция

пиррофиллит + 6 диаспор = 4 кианит + 4 H_2O возможна при $T = 350\text{--}370^\circ\text{C}$ и $P = 2\text{--}2.2$ кбар. В высокоглиноземистых породах с хлоритоидом условия образования хлоритоида можно определить при помощи диаграммы равновесия Винклера-Бушера (рис. 3) [4]. Реакция образования хлоритоида при гематит-магнетитовом буфере начинается при $T=320^\circ\text{C}$ и P около 2 кбар. На этой же диаграмме изотерма реакции

пиррофиллит = кианит + кварц ($\text{prt} = \text{ky} + \text{qtz}$) составляет 370°C , а давление – около 3.7 кбар. Таким образом, в высокоглиноземистых породах образование дистена (кианита) и диаспора могло происходить при $T = 370^\circ\text{C}$ и $P = 2.2$ кбар. Судя по ди-

аграмме равновесий (рис. 2), реакция образования диаспора и корунда



начинается при $T = 400^\circ\text{C}$ и $P = 2.2$ кбар. В тектонических зонах, при повышении $P > 2$ кбар и температуры до 400°C мог образоваться кианит (дистен). Но, по мнению [5], существенно пиррофиллитовые сланцы на Гайском колчеданном месторождении могли образоваться также в стрессовых условиях в результате уменьшения геометрического объема за счет растворения кварца.

Можно сделать вывод, что образование пиррофиллита, диаспора, серицита и хлорита могло происходить в условиях снижения температуры от 400 до 250°C и давления – от 2.2 до 1–0.5 кбар. Присутствие воды способствовало образованию кварц-серицитовых пород с пиррофиллитом. Условия образования их могли быть следующие: $T \sim 350\text{--}250^\circ\text{C}$, $P \sim 0.5\text{--}1.5$ кбар. Предполагаемые РТ-параметры в общих чертах отвечают условиям образования метасоматитов кварц-серицитовой формации [15]. Можно выделить следующие метасоматические фации в зависимости от кислотности флюида ($\text{pH} \sim 4.5$ до 6–7): кварц-серицит-пиррофиллитовую, кварц-пиррофиллит-серицитовую и кварц-хлорит-серицитовую.

Глиноземистая ассоциация Сафьяновского медноколчеданного месторождения с алунитом развита на контакте с рудной зоной. Можно предположить ее близко-одновременное происхождение с рудными минералами. Ранее алунит был описан лишь в зонах окисления колчеданных месторождений [1]. Руды Сафьяновского месторождения относятся к халькопиритовой фации метаморфизма. Кроме того, на месторождении встречается энаргит, что позволило исследователям выделить здесь энаргитовую субфацию [12]. Энаргит предположительно образовался при участии газообразных соединений мышьяка в виде AsS , при достаточно высоком значении давления паров серы ($-\log f_{\text{S}_2} = 10\text{--}12$), температура образования энаргитовой субфации $180\text{--}300^\circ\text{C}$ [12]. Таким образом, образование глиноземистой ассоциации алунита, пиррофиллита, каолинита, серицита одновременно с энаргитом возможно при достаточно высокой активности кислорода ($-\log f_{\text{O}_2} = 38$) в области значений pH от 2.8–5.2, а при pH выше 4.5 происходит образование только каолинита и серицита [20]. Кроме того, в измененных породах повсеместно встречаются барит и гипс.

Что касается образования хлоритоида, то он присутствует в глиноземистых породах и как метаморфический минерал, и как гидротермальный, например, в рудах колчеданных месторождений [3]. Некоторые исследователи полагают, что одним из решающих условий образования хлоритоида гидротермальным путем является отношение Fe/Mg во флюиде [26], изменение которого может быть связано с эволюцией раствора и РТ-условий. Нужно

отметить, что в ассоциации с хлоритоидом почти всегда присутствует хлорит. Можно предположить, что величина отношения, при котором начинается образование хлоритоида, в процессе эволюции раствора регулируется образованием железисто-магнезиального хлорита, при этом рН раствора могла меняться от 4.5 до 6–7 [18].

Обычно кварц-пиррофиллитовые метасоматиты на колчеданных месторождениях Южного Урала рассматриваются как крайние члены ряда кислотного выщелачивания по кислым магматическим породам, образованные в процессе гидротермальной поствулканической деятельности [7]. По данным проведенных нами исследований с применением метода ЭПР [21], в некоторых разностях высокоглиноземистых пород этих месторождений было установлено присутствие захороненного органического вещества. Кроме того, в некоторых разностях с диаспором рентгенофазовым методом было установлено и присутствие бёмита (оператор Т.Я. Гуляева, ИГГ УрО РАН), что может косвенно свидетельствовать об их первоначально гидротермально-осадочном происхождении.

Мы предполагаем, что на колчеданных месторождениях Гайском и Куль-Юрт-Тау, так же, как и в районе хр. Малдындырд, возможно присутствие различных по происхождению глиноземистых образований и связанных с ними минеральных ассоциаций. Скорее всего, ассоциация пиррофиллит-диаспор (бёмит) является наиболее ранней, метаморфогенной, наложенной на изначально глиноземистые, возможно, осадочные образования. Гидротермально-метаморфогенным преобразованиям могли подвергаться как первично глиноземистые породы, так и вулканиты. По вулканитам, скорее всего, могла развиваться ассоциация кварц-серицит-пиррофиллит-хлорит (хлоритоид), а в тектонических зонах – ассоциация пиррофиллит-диаспор-кианит (хлоритоид). Более поздними являются ассоциации кварц-пиррофиллит-серицит, кварц-серицит-каолинит. Отмечено, что на Гайском месторождении пиррофиллит замещает агрегаты диаспора [24]. Кроме того, более поздний пиррофиллит и каолинит развивается здесь по тектоническим трещинам. Для пород хр. Малдындырд возможна также более поздняя ассоциация кварц-пиррофиллит-диаспор, которая развивается в жилах и прожилках. Ассоциация хлоритоид-хлорит-кварц-пирит встречается в рудах и, скорее всего, является гидротермальной.

В породах, подвергшихся кислотному выщелачиванию, присутствуют метасоматические ассоциации кварц-пиррофиллит, кварц-пиррофиллит-серицит, кварц-пиррофиллит-серицит-каолинит, кварц-алунит-пиррофиллит-серицит-каолинит. Такие ассоциации могут образоваться как по вулканическим породам, так и быть наложены на первично глиноземистые образования. В зонах высокой активности кислорода и в приповерхностных условиях воз-

можно образование низкотемпературных глиноземистых минеральных ассоциаций с алунитом, каолинитом.

Исследования выполнены при финансовой поддержке интеграционного проекта “Развитие минерально-сырьевой базы России: освоение новых источников высокоглиноземистого сырья”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белозуб Е.В., Нововселов К.А., Яковлева В.А. Зона окисления Западно-Озерного цинково-медно-колчеданного месторождения (Южный Урал). Мисс: НИСО УрО РАН, 2006. 181 с.
2. Буслаев Ф.П., Образцов О.М. О хлоритоиде из Гайского месторождения (Южный Урал) // Минералы месторождений полезных ископаемых Урала. Свердловск: УФАН СССР, 1968. С. 17–21.
3. Буслаев Ф.П., Ярош П.Я. Хлоритоид из Зюзельского колчеданного месторождения // Минералы изверженных горных пород Урала. Л.: Наука, 1967. С. 106–112.
4. Винклер Г. Генезис метаморфических пород. М.: Недра, 1979. 327 с.
5. Грабежьев А.И. Подрудные метасоматиты цинк-медно-колчеданных месторождений Урала (на примере Гайского и Сафьяновского месторождений) // Литосфера. 2004. № 4. С. 76–88.
6. Ефанова Л.И., Повонская Н.В., Швецова И.В. Золотоносность и типоморфные особенности минералов алькесвожской толщи на участке Нестеровском // Геология Европейского Севера России. Сб. 4. Тр. Института геологии. Вып. 103. Сыктывкар, 1999. С. 102–126.
7. Зайков В.В., Кораблев Г.Г., Удачин В.Н. Пиррофиллитовое сырье палеовулканических областей. М.: Наука, 1989. 127 с.
8. Зайков В.В., Синяковская И.В., Санько Л.А. Пирит-пиррофиллитовое месторождение Куль-Юрт-Тау (Башкирия) // Геол. руд. местор. 1987. № 4. С. 58–68.
9. Зарайский Г.П. Зональность и условия образования метасоматических пород. М.: Наука, 1989. 341 с.
10. Козырева И.В., Юдович Я.Э., Швецова И.В., Кетрис М.П., Ефанова Л.И. Глиноземистые и железистые породы Приполярного Урала. Екатеринбург: УрО РАН. 2003. 102 с.
11. Малюгин А.А., Сорока Е.И. Пиррофиллитовые породы Приполярного Урала // Геология, минералогия и технология пиррофиллитового сырья. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. С. 69–80.
12. Молошаг В.П., Грабежьев А.И., Викентьев И.В., Гуляева Т.Я. Фации рудообразования колчеданных месторождений и сульфидный руд медно-золото-порфировых месторождений Урала // Литосфера. 2004. № 2. С. 30–51.
13. Молошаг В.П., Сорока Е.И., Гуляева Т.Я., Петрищева В.Г., Иванов А.С. Глиноземистые породы Сафьяновского колчеданного месторождения (Средний Урал) // Ежегодник-2005. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. С. 373–375.
14. Моралев Г.В., Борисов А.В., Суренков С.В., Нагаева С.П., Тарбаев М.Б., Кузнецов С.К. Первые $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ датировки слюд Au-Pd-P3Э проявление

- Чудное (Приполярный Урал) // Докл. АН. 2005. Т. 400. № 1. С. 109–112.
15. Сазонов В.Н., Мурзин В.В., Григорьев Н.А., Гладковский Б.А. Эндогенное оруденение девонского андезитовидного вулканоплутонического комплекса (Урал). Свердловск: УрО АН СССР, 1991. С. 112.
 16. Синяковская И.В. Петрографические особенности пиррофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау // Геология, минералогия и технология пиррофиллитового сырья. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. С. 80–86.
 17. Соболева А.А. Вулканиды и ассоциирующие с ними гранитоиды Приполярного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 146 с.
 18. Сорока Е.И. Физико-химические условия образования хлоритовидных метасоматитов хребта Малдынырд (Приполярный Урал) // Ежегодник-1999. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2000. С. 238–242.
 19. Сорока Е.И., Демчук И.Г., Малюгин А.А. Мусковит из метаморфических пород Приполярного Урала // Ежегодник-1990. Свердловск: УрО РАН, 1991. С. 97–98.
 20. Сорока Е.И., Леонова Л.В. Происхождение галькоподобных образований в высокоглиноземистых породах хребта Малдынырд (Приполярный Урал) // Георесурсы. 2008. № 3(26). С. 6–10.
 21. Сорока Е.И., Леонова Л.В., Галеев А.А., Гуляева Т.Я. Эпр-свойства органической составляющей некоторых высокоглиноземистых Урала // Литосфера. 2007. № 4. С. 127–129.
 22. Сорока Е.И., Рябинин В.Ф., Сазонов В.Н., Червяковский С.Г. Трансформация пород малдинского липаритового комплекса под воздействием многоэтапной коллизии // Ежегодник-1994. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1995. С. 97–100.
 23. Суренков С.В. Условия образования и источники рудного вещества Au-PGE-REE рудопроявлений Алькесвожской площади (Приполярный Урал): Автореф. дис. ... к.г.-м.н. М., 2003. 23 с.
 24. Удачин В.Н. Пиррофиллитсодержащие метасоматиты Гайского медно-колчеданного месторождения (геология, минералогия, технология). Препринт. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. 59 с.
 25. Evans B.W., Guggenheim S. Talc, pyrophyllite and related minerals // Reviews in Mineralogy. 1988. V. 19. P. 225–280.
 26. Phillips G.N. Widespread fluid infiltration metamorphism of the Witwatersrand goldfields: generation of chloritoid and pyrophyllite // Metamorphic Geol. 1988. V. 6. № 3. P. 311–332.