

СУЛЬФИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ УЛЬТРАБАЗИТ-БАЗИТОВ СТАНОВОГО МЕГАБЛОКА

И.В. Бучко, А.Э. Изох**, М.Ю. Носырев****

**Отделение региональной геологии и гидрогеологии АНЦ ДВО РАН, г. Благовещенск*

***Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии СО РАН, г. Новосибирск*

****ФГУП «Амургеология», г. Благовещенск*

В настоящей работе на основе всестороннего анализа геологических данных и результатов изучения минералогического и химического состава сульфидных минералов предпринята попытка оценить перспективы ряда докембрийских ультрабазит-базитовых интрузивных комплексов Станового мегаблока южного обрамления Северо-Азиатского кратона в отношении медно-никелевого оруденения. В результате высказано предположение, что наибольший интерес представляют массивы раннепротерозойского (?) Ильдеусского габбро-верлитового интрузивного комплекса.

Ключевые слова: ультрабазит-базиты, сульфиды, медно-никелевое оруденение, докембрий, Становой хребет.

ВВЕДЕНИЕ

В пределах южной окраины Северо-Азиатского кратона, так же как и в других структурах докембрийской консолидации, широко развиты ультрабазит-базитовые массивы (рис. 1). Они относятся к дунит-троктолит-пироксенит-габбровой, габбро-анортозитовой и габбро-верлитовой формациям. Их формирование произошло в три основных этапа: раннеархейский (хорогочинский, майско-джанинский, сергачинский интрузивные комплексы (ИК)), позднеархейский (лучинский и веселкинский ИК) и раннепротерозойский (лукиндинский и ильдеусский ИК).

На основе оригинальных материалов авторами статьи изучен изотопный, минеральный и химический состав сульфидной медно-никелевой минерализации в массивах позднеархейского и раннепротерозойского этапов ультраосновного-основного магматизма. Для массивов веселкинского, лучинского и ильдеусского ИК это выполнено впервые.

Позднеархейский этап ультрабазит-базитового магматизма

Основу строения Станового мегаблока южной окраины Северо-Азиатского кратона составляют гранито-гнейсовые купола, окаймленные узкими зеленокаменными поясами ранне-позднеархейского возраста [1, 2]. Интрузивы лучинского и веселкинского ИК образуют единые вулканоплутонические ассоциации с гнейсами и кристаллическими сланцами, по химизму соответствующими толеитовым ба-

зальтам, расположенным в основании разрезов зеленокаменных поясов.

Лучинский ИК расположен (рис. 1) в Брянтинском блоке Станового мегаблока [2]. Это структура раннеархейского возраста, исключительно сильно деформированная в результате тектонических, магматических и метаморфических процессов [3]. Петротипом рассматриваемого интрузивного комплекса является одноименный дунит-троктолит-габбровый массив г. Луча (бассейн р. Брянты). По форме он близок к овалу, вытянутому в СВ направлении (21×12 км) вкрест простирания вмещающих метаморфитов. На северо-востоке, северо-западе и севере массив контактирует с мезозойскими гранитами; на юго-востоке – с раннеархейскими метагаббро майско-джанинского ИК или сланцами основного состава (спилиты, туфы). Имеющиеся К-Аг определения абсолютного возраста – 983±0.98 и 520±0.52 млн лет [11] искажены и, вероятно, отражают этап тектоно-магматических процессов.

Формы проявления и типы сульфидной минерализации

Сульфидная минерализация в породах Лучинского интрузива распространена незначительно. Она имеет первично магматическую (ликвационную), гидротермальную и метаморфическую природу. К ликвационным относятся пирротин, пентландит и халькопирит. Образование пирита связано либо с гидротермальными, либо с метаморфическими пре-

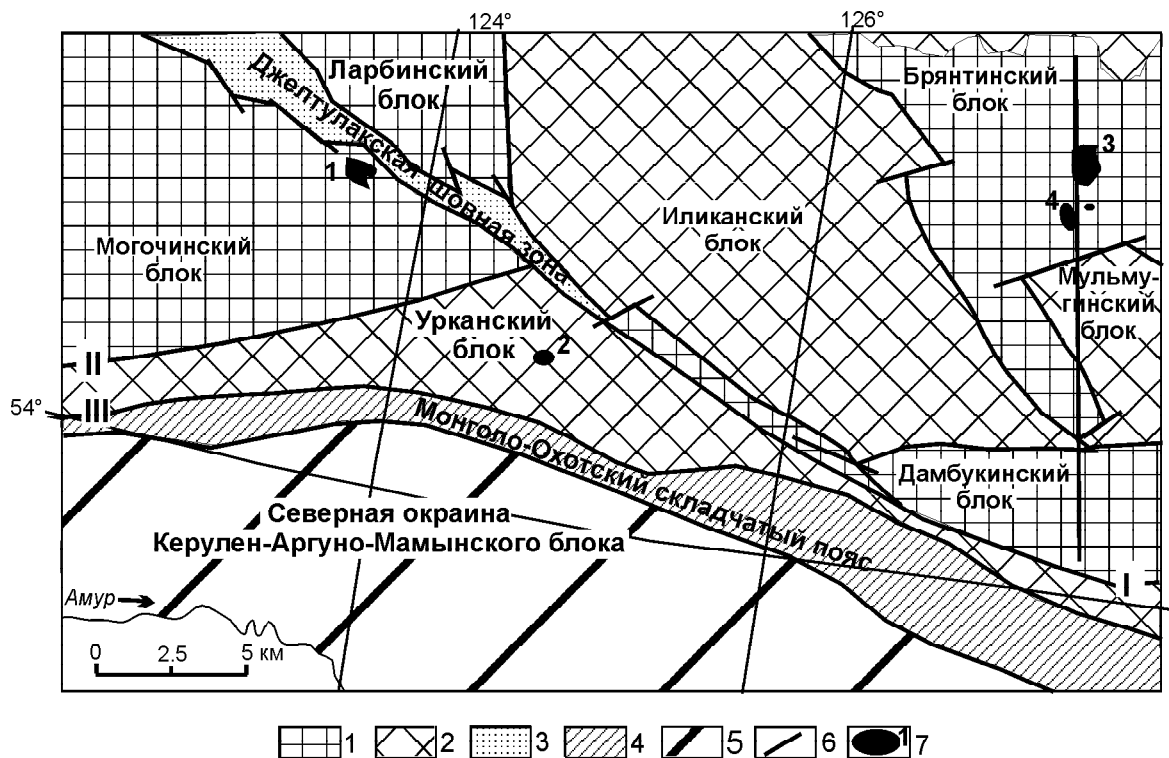


Рис. 1. Схема размещения ультрабазит-базитовых интрузивных комплексов в пределах Станового мегаблока (юго-восточная окраина Северо-Азиатского кратона). Составлен И.В. Бучко, по материалам [2].

1–2 – блоки южной окраины Северо-Азиатского кратона: раннего (1) и позднего (2) архея; 3 – раннепротерозойская шовная зона; 4 – палеозойские и мезозойские образования Монголо-Охотского складчатого пояса; 5 – фундамент и наложенные структуры Керулен-Аргуно-Мамынского блока; 6 – тектонические нарушения; 7 – ультрабазит-базитовые интрузивные комплексы: 1 – лукиндинский, 2 – веселкинский, 3 – лучинский, 4 – ильдеусский. Римскими цифрами обозначены разломы: I – Южно-Джелтулакский; II – Сергачинский; III – Северо-Тукурингский.

образованиями пород. Сульфидную минерализацию массива можно подразделить на три типа: 1) сингенетическую в дунитах, пироксенитах, оливиновых габбро и меланогаббро; 2) гнездово-прожилковую и шлировую в габброноритах; 3) гидротермальную прожилковую в габброидах и вмещающих породах.

Сингенетическая вкрапленность (I тип). Представлена пирротином, пентландитом, халькопиритом, пиритом. Сульфиды распределены в породах неравномерно, обычно их содержание составляет от 0.5 до 5%. Форма минералов подтверждает их первично магматическое (ликвационное) происхождение. Это близкие к идиоморфным образования, расположенные в интерстициях между породообразующими силикатами (оливином и пироксенами) без какой-либо связи с трещинами. Состав сульфидных выделений однофазный – пирротиновый или двухфазный – халькопирит-пирротиновый. Размеры рудных минералов варьируют большей частью от 0.01 до 0.4 мм. Пентландит встречается в виде зернистых агрегатов, концентрирующихся по периферии пир-

ротиновых выделений и значительно реже – на контакте пирротина и халькопирита. Пирит наблюдается в виде обособленных выделений практически во всех сульфидсодержащих породах.

Гнездово-прожилковая и шлировая минерализация (II тип). Представлена пирротином, пентландитом, халькопиритом и пиритом. Данный тип минерализации имеет незначительное распространение в породах массива, что, видимо, обусловлено слабой эродированностью или плохой обнаженностью интрузива. Сульфидные прожилки имеют мощность до 2–3 см и длину до 20 см. Азимут простирания их 80°, при практически вертикальном падении. Изотопный состав серы показал обогащение ^{32}S (табл. 1; обр 9/10, 9/14). Из этого можно сделать вывод, что образование данного типа минерализации происходило, согласно [10], при низких значениях фугитивности кислорода ($f\text{O}_2$) и температуры, на завершающих стадиях дифференциации интрузива или в более позднее время.

Таблица 1. Изотопный состав серы в сульфидизированных породах Лучинского и Ильдеусского массивов.

Номер пробы	Содержание серы	$\delta^{34}\text{S}, \text{‰}$
Лучинский массив		
9/10	13.86	-0.8
9/14	23.51	-3.7
i315	2.12	-3.5
i318	2.8	-2.6
i321	1.3	-1.5
447/4	2.7	-2.3
448	0.47	-1.7
Ильдеусский массив		
432/1	0.27	+4.7

Примечание. Анализы выполнены в лаборатории радиогенных и стабильных изотопов аналитического центра ОИГМ СО РАН, г.Новосибирск. Аналитик А.П. Перцева, н/о – не определен.

$$\delta^{34}\text{S} = \left[\frac{(^{34}\text{S}/^{32}\text{S})_{\text{обр}} - (^{34}\text{S}/^{32}\text{S})_{\text{ст}}}{(^{34}\text{S}/^{32}\text{S})_{\text{обр}}} \right] \times 10^3$$

В сульфидных прожилках установлены повышенные содержания Au (до 0.186 г/т) и Ag (до 6 г/т) (табл. 2), что связано, вероятно, с поздними процессами тектоно-магматической активизации региона и внедрением протерозойских гранитов и меловых вулканитов. Это косвенно подтверждает оторванность во времени этапов становления интрузива и образования сульфидной минерализации описываемого типа.

Гидротермальная прожилковая минерализация (III тип). Представлена пиритом и халькопиритом, которые образуют тонкие прожилки – просечки (мощностью менее 0.1 мм и длиной до 1.2 см) в раннеархейских образованиях и габброидах. Ее формирование происходило после возникновения интрузива в процессе поздней тектоно-магматической активизации региона. С данной минеральной ассоциацией связываются повышенные концентрации в гранитогнейсах золота (до 0.152 г/т) и серебра (до 1.594 г/т) (табл. 2).

Особенности химического состава сульфидных минералов Лучинского массива

Пирротин – наиболее распространенный сульфидный минерал в породах интрузива. Он относится к высокосернистой разновидности и характеризуется относительно высокими содержаниями Ni до 1.64% (табл. 3). По содержанию в нем серы определена по методу Шанка [10] температура его образования, составившая около 1200°C.

Пентландит характеризуется низкими значениями содержания Fe, высокими – Ni, Cu и S. Аналогичных по составу минералов в известных медно-никеле-

Таблица 2. Содержания благородных металлов в породах Лучинского массива, в г/т.

№ проб	Данные спектрального сцинтилляционного анализа			
	Au	Ag	Pt	Pd
Гнездово-прожилковая и шлировая минерализация				
9/10	0.01	5.0	<0.1	<0.005
9/13	0.172	2.11	н.о.	н.о.
9/14	0.02	5.0	<0.1	0.0215
9/14a	0.2	4.6	н.о.	н.о.
a5-2	0.01	0.272	<0.1	0.008
a5-4	0.13	0.254	н.о.	н.о.
a5-7	0.19	0.254	н.о.	н.о.
a5-10	0.174	1.64	н.о.	н.о.
a5-12	0.186	0.366	н.о.	н.о.
a5-18	0.02	0.332	н.о.	н.о.
447/4	0.036	5.0	0.008	0.0155
447/5	0.004	0.148	н.о.	н.о.
i-318	0.01	6.0	н.о.	н.о.
i-320	0.01	0.204	<0.1	0.036
i-321	0.01	0.32	<0.1	0.019
i-323	0.004	0.522	<0.1	0.0145
i-324	0.17	0.59	<0.1	0.101
i-325	0.01	0.048	<0.1	0.0105
Гидротермальная прожилковая минерализация				
a1-81	0.002	0.096	<0.1	<0.005
a1-83	0.01	0.152	н.о.	н.о.
a1-88	0.152	1.594	н.о.	н.о.
a1-100	0.012	0.106	н.о.	н.о.

Примечание. Анализы выполнены в Институте геохимии им. А.П. Виноградова, г. Иркутск, аналитик С.И. Прокопчук; н.о. – элемент не определен.

вых интрузивах не отмечается. Характерно очень высокое содержание кобальта (до 8.48%) (табл. 3). Пентландиты с содержаниями Co до 7.6 мас. % отмечались только в верхних метагаббро и габброноритах Мончетундровского интрузива.

Низкие концентрации железа и высокие – никеля свидетельствуют о незначительных температурах образования данного минерала, так как при их увеличении происходит соответствующее уменьшение содержания Ni и возрастание концентраций Fe [6]. Химический состав минерала (табл. 3) свидетельствует о принадлежности данного пентландита к верхним горизонтам дифференцированного плутона.

Халькопирит характеризуется высокими содержаниями железа и меди (табл. 3) и относительно низкими концентрациями серы, что также характерно для сульфидных минералов из верхних горизонтов дифференцированных интрузивов.

Пирит имеет двойственную природу. Часть его зерен образовалась по пирротину, возможно, в процессе метаморфизма. При этом температуры превышали 675°C. В данном случае пирит характеризуется

Таблица 3. Химический состав сульфидных минералов лучинского, ильдеусского и веселкинского ИК.

№ пробы	Fe	Ni	Ag	Cu	Co	S	Сумма
Ильдеусский ИК							
пирротин							
432/1*	59.472	0.438	0.000	0.013	0.033	39.587	99.540
432/1*	59.885	0.727	0.000	0.004	0.040	39.286	99.950
1075/2*	63.438	0.061	0.000	0.004	0.052	36.050	99.600
1075/2*	51.929	6.990	0.000	0.109	0.107	40.733	99.880
432/1*	60.320	0.668	0.000	0.128	0.027	39.970	101.110
432/1*	59.340	0.253	0.000	0.008	0.007	40.030	99.640
432/1*	59.310	0.464	0.000	0.001	0.039	39.460	99.270
i-350*	63.400	0.204	0.000	0.044	0.000	37.320	100.960
i-350*	63.250	0.154	0.000	0.085	0.000	37.120	100.610
1075/2*	63.320	0.099	0.000	0.015	0.037	36.820	100.300
1075/2*	62.790	0.088	0.000	0.015	0.041	37.240	100.170
1075/2*	64.540	0.012	0.000	0.004	0.033	36.450	101.050
1075/2*	64.160	0.081	0.000	0.043	0.033	37.230	101.550
1075/2*	64.120	0.034	0.000	0.000	0.043	37.050	101.250
1075/2*	63.320	0.120	0.000	0.047	0.038	37.000	100.530
халькопирит							
i-350*	29.700	0.128	0.000	33.950	0.000	34.830	98.610
i-350*	29.963	0.578	0.000	34.391	0.000	35.410	100.340
1075/2*	30.080	0.014	0.000	34.510	0.021	35.260	99.890
1075/2*	30.140	0.010	0.000	34.390	0.012	34.660	99.210
1075/2*	30.180	0.119	0.000	34.220	0.017	34.750	99.290
пентландит							
1075/2*	35.990	30.190	0.000	0.042	0.369	33.080	99.670
1075/2*	33.600	31.350	0.000	0.429	0.417	32.120	97.920
бравойт							
1/14***	9.960	45.340	0.000	0.160	0.930	43.480	99.870
1/14***	2.490	56.150	0.000	0.360	0.050	41.410	100.460
Лучинский ИК							
пирротин							
7/13***	60.910	1.150	0.100	0.000	0.000	38.700	100.860
И-321***	58.240	1.640	0.120	0.000	0.000	39.240	99.240
9/10***	59.570	0.730	0.000	0.170	0.130	39.620	100.220
9/10***	59.540	0.990	0.000	0.010	0.180	39.170	99.890
447*	59.633	1.139	0.000	0.147	0.000	38.955	99.870
447*	60.010	1.090	0.000	0.124	0.000	38.190	99.420
447*	59.220	2.340	0.000	0.164	0.009	38.870	100.590
447*	60.590	0.572	0.000	0.000	0.000	38.530	99.690
447*	59.260	0.898	0.000	0.009	0.000	39.270	99.440
447*	60.040	0.728	0.000	0.011	0.000	39.180	99.960
447/4*	59.850	0.523	0.000	0.028	0.058	39.780	100.230
447/4*	58.370	0.704	0.000	0.014	0.099	39.160	98.350
447/4*	59.670	0.642	0.000	0.007	0.088	39.500	99.910
448*	59.970	0.466	0.000	0.000	0.064	38.580	99.080
448*	59.560	0.271	0.000	0.002	0.055	39.100	98.980
448*	60.320	0.332	0.000	0.052	0.057	39.460	100.220

Таблица 3. (Продолжение).

№ пробы	Fe	Ni	Ag	Cu	Co	S	Сумма
Ильдеусский ИК							
пирротин							
432/1*	59.472	0.438	0.000	0.013	0.033	39.587	99.540
432/1*	59.885	0.727	0.000	0.004	0.040	39.286	99.950
1075/2*	63.438	0.061	0.000	0.004	0.052	36.050	99.600
1075/2*	51.929	6.990	0.000	0.109	0.107	40.733	99.880
432/1*	60.320	0.668	0.000	0.128	0.027	39.970	101.110
432/1*	59.340	0.253	0.000	0.008	0.007	40.030	99.640
432/1*	59.310	0.464	0.000	0.001	0.039	39.460	99.270
i-350*	63.400	0.204	0.000	0.044	0.000	37.320	100.960
i-350*	63.250	0.154	0.000	0.085	0.000	37.120	100.610
1075/2*	63.320	0.099	0.000	0.015	0.037	36.820	100.300
1075/2*	62.790	0.088	0.000	0.015	0.041	37.240	100.170
1075/2*	64.540	0.012	0.000	0.004	0.033	36.450	101.050
1075/2*	64.160	0.081	0.000	0.043	0.033	37.230	101.550
1075/2*	64.120	0.034	0.000	0.000	0.043	37.050	101.250
1075/2*	63.320	0.120	0.000	0.047	0.038	37.000	100.530
халькопирит							
i-350*	29.700	0.128	0.000	33.950	0.000	34.830	98.610
i-350*	29.963	0.578	0.000	34.391	0.000	35.410	100.340
1075/2*	30.080	0.014	0.000	34.510	0.021	35.260	99.890
1075/2*	30.140	0.010	0.000	34.390	0.012	34.660	99.210
1075/2*	30.180	0.119	0.000	34.220	0.017	34.750	99.290
пентландит							
1075/2*	35.990	30.190	0.000	0.042	0.369	33.080	99.670
1075/2*	33.600	31.350	0.000	0.429	0.417	32.120	97.920
бравонит							
1/14***	9.960	45.340	0.000	0.160	0.930	43.480	99.870
1/14***	2.490	56.150	0.000	0.360	0.050	41.410	100.460
Лучинский ИК							
пирротин							
7/13***	60.910	1.150	0.100	0.000	0.000	38.700	100.860
И-321***	58.240	1.640	0.120	0.000	0.000	39.240	99.240
9/10***	59.570	0.730	0.000	0.170	0.130	39.620	100.220
9/10***	59.540	0.990	0.000	0.010	0.180	39.170	99.890
447*	59.633	1.139	0.000	0.147	0.000	38.955	99.870
447*	60.010	1.090	0.000	0.124	0.000	38.190	99.420
447*	59.220	2.340	0.000	0.164	0.009	38.870	100.590
447*	60.590	0.572	0.000	0.000	0.000	38.530	99.690
447*	59.260	0.898	0.000	0.009	0.000	39.270	99.440
447*	60.040	0.728	0.000	0.011	0.000	39.180	99.960
447/4*	59.850	0.523	0.000	0.028	0.058	39.780	100.230
447/4*	58.370	0.704	0.000	0.014	0.099	39.160	98.350
447/4*	59.670	0.642	0.000	0.007	0.088	39.500	99.910
448*	59.970	0.466	0.000	0.000	0.064	38.580	99.080
448*	59.560	0.271	0.000	0.002	0.055	39.100	98.980
448*	60.320	0.332	0.000	0.052	0.057	39.460	100.220

Таблица 3. (Продолжение).

№ пробы	Fe	Ni	Ag	Cu	Co	S	Сумма
Пентландит							
13/17b**	39.31	26.61	н/о	0.23	0.74	34.73	101.62
13/17b**	35.97	25.68	н/о	1.76	0.88	36.50	100.79
13/17b**	38.64	25.90	н/о	0.12	0.71	35.15	100.52
1007/5**	37.16	26.46	н/о	0.26	2.61	34.13	100.62
1007/5**	37.91	26.82	н/о	0.02	2.94	33.84	101.53
1007/5**	37.63	26.58	н/о	0.10	2.81	34.65	101.80
Пирит							
1008/35**	45.22	0.06	н/о	0.01	2.25	53.64	101.22
1008/35**	44.59	0.17	н/о	0.09	1.22	53.65	99.77
Кубанит							
1007/5**	39.93	0.07	н/о	23.18	0.06	36.08	99.32

Примечание. Микронзондовые анализы выполнены (*) на микроанализаторе «Самебахмиго» в лаборатории спектрального анализа ОИГИГ г.Новосибирск, аналитики В.В. Егорова и Л.Н.Поспелова, (**, ***) на микроанализаторе JXA-5A ДВГИ, г. Владивосток, аналитики – (***) Р.А. Октябрьский и (***) В.И. Сапин, н/о – элемент не определен; обр. – аповерлитовый серпентинит (1/14), ортопироксен-хромитовый кумулат (13/17b), вебстериты (7/13, 1075/2, i-350, 1007/5), габбронориты (432/1, 447/4), габбро (i-318, i-321, 447, 448, 1008/35), сульфидный прожилок в габбронорите (9/10).

высокими содержаниями никеля (до 1.6%) и кобальта (до 0.11%), так как наследует эти элементы у замещаемого им пирротина. Напротив, гидротермальный пирит, обедненный никелем и кобальтом, образовался уже после становления интрузива в процессе тектономагматической активизации региона.

Веселкинский ИК. Интрузивы этого комплекса образуют мелкие тела, локализованные в Урканском блоке [4] позднего архея Станового мегаблока (рис. 1), и метаморфизованы совместно с вмещающими супракрустальными толщами. Возраст пород определяется тем, что они прорваны гранитами позднестанового ИК. Площади тел редко достигают 10–15 км². Петротипом веселкинского ИК является одноименный пироксенит-перидотит-габбровый массив, расположенный в бассейне правого притока р. Ср. Уркан (руч. Веселый).

Веселкинский массив представляет собой вытянутое в субширотном направлении тело размером 8×3 км. Вмещающими его являются позднеархейские амфибол-плагиоклазовые кристаллические сланцы и гнейсы гилуйского комплекса. Контакт с породами интрузива не сохранилось; выходы тех и других наблюдаются в виде эрозионных окон и ксенолитов среди позднеархейских плагиогранитов позднестанового ИК. Архейские образования прорваны интрузивами юрских гранитов и гранодиоритов, дайками пегматитов и биотитовых гранитов.

Формы проявления и типы сульфидной минерализации

Сульфидная минерализация в породах Веселкинского интрузива имеет двойственную генетическую природу – первично магматическую (ликваци-

онную) и гидротермальную. Она распределена в породах неравномерно, причем содержание сульфидов обычно не превышает 2%.

Сингенетическая (ликвационная) минерализация (I тип). Характерна для пород нижней части разреза интрузива (дуниты, пироксениты, оливиновые клинопироксениты). Сульфиды представлены пирротинитом, пентландитом, халькопиритом, кубанитом. Форма сульфидных минералов – шаровидные и каплевидные образования, занимающие интерстиции между породообразующими оливином и ортопироксеном. Состав сульфидных капель пирротинитовый или халькопирит-пирротинитовый и очень редко пентландит-пирротинитовый. Иногда в пирротинах присутствует небольшое количество миллерита, кубанита. Размеры рудных минералов большей частью составляют 0.01–0.2 мм. Пентландит встречается в виде зернистых агрегатов, концентрирующихся по периферии пирротинитовых выделений, и значительно реже – в форме пламенивидных включений распадается внутри пирротина.

Гидротермальная минерализация (II тип) свойственна для верхних горизонтов интрузива (габбро, габброанортозиты). К ней отнесены вкрапленники и тонкие прожилки пирита и миллерита, образование которых связано с более поздней гидротермальной переработкой массива.

Особенности химического состава сульфидных минералов Веселкинского массива (по табл. 3)

Пирротин – наиболее распространенный минерал из сульфидов железа. Он образует как самостоятельные выделения, по краям зерен которых разви-

ваются пламенеvidные включения пентландита, так и сростки с халькопиритом, и представлен двумя модификациями – моноклинной и гексагональной. По сернистости ($\Sigma\text{Me}/\text{S}$, где ΣMe – сумма металлов, входящих в состав минерала) он относится к высокосернистым разновидностям. В ранних дифференциатах пирротины содержат больше Fe, Ni, Co, Cu, но меньше S, что обусловлено повышением растворимости серы при увеличении железистости расплава [6]. Аналогично железу ведет себя и никель. Отношение Ni/Cu в минерале отражает скрытую расслоенность, выраженную в смене более никелистых (ранних) пирротинов минералами с большим отношением никеля к меди. Ликвидусная температура образования пирротинов, по методу Шанка [10], составляет 1150–1180°C.

Пентландит в породах массива наблюдается только в виде вростков в пирротине и обладает изменчивым составом. По отношению $\Sigma\text{Me}/\text{S}$ пентландиты массива относятся к низкосернистым разновидностям. В целом, состав минерала зависит от парагенезиса. Так, в ассоциации с пирротинном, в ранних дифференциатах сосуществует более железистый пентландит, с отношением Fe/Ni >1.42, содержащий больше S, Cu и значительно меньше – Co. Напротив, в более поздних парагенезисах присутствует менее железистый (Fe/Ni <1.42), но более насыщенный кобальтом пентландит, что может быть обусловлено повышенным содержанием Ni и Co в силикатных минералах, вмещающих сульфидное оруденение. Образование пентландита из твердого раствора происходило при 583–590°C. Установлена прямая зависимость содержания Ni в пентландитах от температуры его образования и фугитивности серы в магматической системе [6].

В целом, для сосуществующих пирротинов и пентландитов характерны следующие особенности поведения основных составляющих: железо аналогично сере, никель – кобальту и меди. При близких количествах Fe и S в пирротине в сосуществующем пентландите содержания этих элементов увеличиваются. При возрастании насыщенности пирротинов Ni, Cu и Co содержания этих компонентов в сосуществующих пентландитах также увеличиваются, что является важным показателем скрытой расслоенности сульфидного оруденения. Кроме этого, железистость сосуществующих пирротинов и пентландитов прямо коррелируется с железистостью силикатных пород, вмещающих сульфидное оруденение.

Халькопириты наблюдаются в сростках с пирротинном или пирритом. Изредка минерал наблюдается в виде обособленных зерен. В обоих случаях химический состав халькопиритов существенно различается. В сростках с пирротинном или пирритом отмечаются очень низкие содержания никеля

(0.11–0.25 мас. %), а в обособленных выделениях халькопирита количество Ni достигает 3.43 %.

Кубанит представлен единственным включением и приурочен к краевой части пирротинного зерна. По химическому составу он относится к высокосернистой разновидности.

Таким образом, среди сосуществующих ассоциаций сульфидов можно выделить следующие: а) пирротины (с высокими содержаниями Fe, S, Ni, Cu) – пентландиты (с высоким содержанием Fe, Cu, низким – S, Ni и еще меньшим – Co) – халькопириты (железистые, умеренно сернистые, с минимальной насыщенностью Cu); б) пирротины (с низкой железистостью, высокосернистые) – пентландиты (мало-железистые, с высокими содержаниями Ni, Co и S) – халькопириты (с меньшим содержанием Fe, Ni, но более высоким – Cu). Из приведенного выше сравнения можно сделать вывод, что только соотношение Fe и Cu в пирротинах наследуется сосуществующими с ними пентландитами, а остальные элементы перераспределяются между указанными минералами. Кроме этого, состав магматических сульфидов зависит от состава ассоциирующих окисных минералов.

Пирит относится к постмагматическим минералам. Он представлен кубическими кристаллами, иногда в сростках с халькопиритом, или овальными включениями в магнетите. В габброидах Веселкинского массива пирит относится к высокосернистой разновидности, свойственной обособленным выделениям, и низкосернистой, образующей включения в магнетите. Первая разновидность обладает высокой железистостью, повышенными содержаниями кобальта, а второй свойственны низкие количества железа и кобальта, но более высокие – никеля и меди, что может быть обусловлено перераспределением Fe, Ni, Co, Cu между пирритом и магнетитом. Температура образования пирита, определенная по методу Шанка [10], составляет 325°C.

Раннепротерозойский этап ультрабазит-базитового магматизма

Образование тел лукиндинского и ильдеусского ИК связано с заложением рифтогенных структур раннепротерозойского возраста. Часто они наблюдаются в виде реликтов среди гранитоидов, а также в виде пластин и клиньев в разломных зонах.

Лукиндинский ИК представлен разнообразными ультрабазит-базитовыми породами, приуроченными к Желтулакской шовной зоне (рис. 1). Возрастное положение ИК определено довольно строго – между вулканогенно-осадочной желтулакской серией и тукурингским комплексом гранитоидов в интервале 2.2–2.45 млрд лет [3].

Петротипом лукиндинского ИК является одноименный дунит-троктолит-габбровый массив, рас-

положенный в сложном тектоническом узле – на пересечении рифтогенной Джелтулакской системы с нарушениями широтной и меридиональной ориентировки. Интрузив имеет очертания вытянутого в широтном направлении эллипсоидального тела длиной 16 км при ширине до 3.0–5.5 км. По геофизическим данным, он представляет собой блок-пластину с нижней кромкой на глубине 4–5 км, его максимальная площадь в горизонтальном сечении составляет 70 км² [3]. Массив разбит на блоки многочисленными тектоническими нарушениями широтной, меридиональной и СВ ориентировки. Наиболее проявлена широтная система – серия субпараллельных разломов на расстоянии в сотни метров друг от друга. Сложное блоковое строение интрузива хорошо выражено в магнитном поле.

С юга Лукиндинский массив обрамляется диоритами и амфиболитами архейского возраста, на западе – граничит с древнестановыми гранитогнейсами. Северная часть интрузива прорвана алякитовыми гранитами, переходящими при приближении к троктолитам сначала в биотитовые, затем в роговообманково-биотит-олигоклазовые роговики с оксибиотитом. Контакты массива с вмещающими породами тектонические, в северной части – крутые, в южной – относительно пологие.

Формы проявления и типы сульфидной минерализации

Проведенными в разные годы поисковыми работами [8] в массиве установлены многочисленные проявления и точки сульфидной медно-никелевой минерализации. По времени образования сульфиды являются более поздними, чем окисная минерализация, и, в свою очередь, замещаются амфиболом [11].

В пределах массива выявлены проявления никеля различных типов: жильного, вкрапленного и гнездово-вкрапленного. Содержание Ni в них достигают 1%, Co – 0.08%.

Перспективы массива на сульфидное медно-никелевое оруденение связываются с жильной фацией лукиндинской интрузии. Она включает жилы и шпильеры габбро-пегматитов, дайки габброноритов и габбро, метасоматические (?) тела пироксенитов и анортозитов.

Подробно особенности минерального и химического состава сульфидных минералов Лукиндинского массива приведены в [5, 7], в данной работе они не освещаются. Изотопный состав серы из различных рудопоявлений этого массива [7] показал его близость к метеоритному ($-0.9 - +0.10 \delta^{34}\text{S}$), поэтому образование значительного по масштабам сульфидного оруденения маловероятно.

Ильдеусский ИК расположен в Брянтинском блоке [2] (рис. 1), в междуречье рр.Брянты и Ильдеу-

са и приурочен к зоне Ильдеусского глубинного разлома. Кроме этого по вещественному и геологоструктурному положению авторами к нему отнесены выходы ультраосновных пород бассейна руч. Троицкого. Интрузивам этого комплекса соответствуют минимальные аномальные значения электрического сопротивления пород. Это свидетельствует либо о наличии мощных зон проницаемости, либо о возможных сульфидных рудах на глубине. Все выходы интрузий ильдеусского и лучинского ИК контролируются глубинной долгоживущей меридиональной зоной тектонических нарушений, в южной части уходящей за пределы блока. Именно она, вероятно, контролирует выходы дайкового (габбро-пироксенитового комплекса) как Брянтинского, так и Дамбукинского блоков с их медно-никелевыми рудопоявлениями.

Первоначально интрузивы ильдеусского ИК были включены в состав лучинского ИК, но на основании материалов авторов статьи выделены в самостоятельный интрузивный комплекс. Они представляют собой линзо- и пластообразные тела, сложенные аповерлитовыми, апоперидотитовыми серпентинитами, прорванные более поздним дайковым комплексом плагиоперидотит-пироксенит-габброноритового состава. Вмещающими породами для интрузий раннепротерозойского ИК является позднеархейский вулканогенно-осадочный комплекс, претерпевший метаморфизм амфиболитовой фации. Его вулканические образования представлены крупнозернистыми биотит-роговообманковыми гнейсами с силлиманитом и кристаллическими сланцами, по химизму соответствующими щелочным метабазальтам, оливинным метабазальтам и т.д., а осадочные – мелкозернистыми роговообманково-биотитовыми гнейсами с карбонатом, что свидетельствует об океанических условиях их образования. Кроме этого, часть хлоритовых и тальк-хлоритовых сланцев при детальном изучении может оказаться метаморфизованными ультраосновными вулканитами. Описываемая ассоциация пород свидетельствует о наличии на данной территории в позднем архее палеоокеана и океанических островов (фрагмент зеленокаменного пояса). Практически во всех позднеархейских образованиях наблюдается вкрапленность пирита, содержания которого иногда достигают 10%.

Судя по элементам залегания вмещающих пород, массивы ильдеусского ИК занимают секущее положение в центральной (замковой) части синклинойной структуры. Углы падения северо-восточного крыла – 25–60°, южного – 10–45°. Ряд структурно-вещественных признаков указывают на принадлежность образований комплекса к формации дифференцированных габброноритовых интрузий ранних

этапов развития древних платформ. По составу они идентичны никеленосным породам Прибалтийской провинции [4].

Петротипом ильдеусского ИК является одноименный габбро-верлитовый массив, расположенный в междуречье рр. Бранты и Ильдеуса. Он приурочен к зоне Ильдеусского глубинного разлома. В составе массива преобладают ультрабазиты (верлиты, роговообманковые перидотиты и их плагиоклазовые разновидности). Интрузив имеет северо-западную ориентировку и площадь около 60 км². Непосредственные контакты между разновидностями пород постепенные. В коренных обнажениях наблюдалось ритмичное чередование прослоев плагиоверлитов с прослоями гарцбургитов и верлитов.

Авторами установлена изолированность тел ультрабазитов, реальная мощность которых не превышает 500–800 м. Эти образования прорваны плагиоперидотит-вебстерит-габброноритовым комплексом, имеющим мощность до 200 м, который приурочен к зонам тектонических нарушений и дайковым телам гранитных пегматитов.

Породы массива в значительной степени изменены. Серпентинизации подвержены все оливинсодержащие породы с образованием аповерлитовых и апоперидотитовых серпентинитов с нечетко выраженным рисунком первичной структуры. Наиболее интенсивные изменения перидотитов, пироксенитов и габброидов приводят к образованию серпентин-тремолит-хлоритовых, хлорит-талк-карбонат-антофиллитовых, хлорит-актинолитовых, антофиллит-талковых пород и талькитов. С процессами актинолитизации и хлоритизации оливинсодержащих пород связывается выщелачивание никеля из оливина и перевод его в сульфидную форму серой из вмещающих пород. Видимо поэтому именно к данной минеральной ассоциации приурочены выделения рудных минералов, включая сульфиды.

Формы проявления и типы сульфидной минерализации

Для пород описываемого ИК свойственны сингенетический и гидротермальный типы минерализации.

Сингенетический тип минерализации можно разделить на три подтипа:

Первый – широко распространен в позднеархейских образованиях. Это сингенетические выделения пирита, размером до 1 см, в плагиоклаз-амфиболовых гнейсах и кристаллосланцах, амфиболитах и их плагиоклазовых разновидностях. Содержания пирита не превышают 10%.

Второй – незначительно распространен в центральном теле аповерлитовых серпентинитов. Визуально минерализация представлена пирротинном,

пентландитом и халькопиритом. Сульфиды занимают интерстиции между силикатными минералами. Наблюдаются округлые зерна породообразующих силикатов, заключенные в сульфидные агрегаты. Размеры выделений пирротина – 2–4 мм. Общее количество сульфидов не превышает 2–3 %. К этому же типу можно отнести сингенетичную вкрапленность бравоита в серпентинитах, расположенных в 12 км севернее собственно Ильдеусского массива (бассейн руч. Троицкого – правого притока р.Бранты).

Третий – связан с дайковыми телами плагиоперидотит-пироксенит-габброноритового комплекса, наблюдающимися на территории проявления ультрабазитов ильдеусского ИК. С ним связана сульфидная минерализация, представленная пирротинном, пентландитом и халькопиритом. Сульфиды в породах распространены крайне неравномерно. Наибольшее их количество (до 5 %) отмечается в вебстеритах и габброноритах, значительно меньше (единичные знаки) – в плагиоперидотитах. Заметно увеличение количества сульфидных минералов в южной части Ильдеусского массива. В сульфидизированных вебстеритах (обр.432/1, табл. 1) определен изотопный состав серы, показавший ее обогащение ³⁴S. Этот факт свидетельствует либо о возможной сульфуризации пород, либо об образовании данной минерализации при высокой фугитивности кислорода (fO₂). В любом случае это положительный фактор для возможной локализации сульфидных руд.

Гидротермальный тип минерализации связан с более поздними наложенными процессами. Он характеризуется развитием кварц-карбонатных прожилков с пиритом и сульфидных прожилков (мощностью 0.2–1 мм) как во вмещающих позднеархейских (?) гнейсах и амфиболитах, так и в раннепротерозойских пироксенитах.

Особенности распространения и химического состава сульфидных минералов

Пирротин – наиболее распространенный сульфид железа. В единичных выделениях наблюдается в серпентинитах, верлитах и хлоритовых сланцах. Максимальные его количества (до 5 %) отмечаются в вебстеритах, плагиовербстеритах и габброноритах. Этот минерал чаще всего наблюдается в виде интерстициальных ксеноморфных выделений среди силикатных минералов размером до 1–2 мм, иногда в каплевидной форме. Для него характерны сростки с халькопиритом, значительно реже наблюдаются по его краям выделения пентландита.

В целом, пирротины характеризуются резкими колебаниями входящих в них компонентов. Особое внимание привлекает высокое содержание Ni (до 6.73%) в пирротинах из плагиовербстеритов южной части интрузива. Температура образования

минерала, по содержанию в нем серы, составляет более 1230 °С.

Пентландит – наименее распространенный сульфид железа и никеля. Наблюдается в серпентинитах, хлорит-актинолитовых сланцах и вебстеритах только в виде вростков по краям выделений пирротина. В отдельных случаях занимает центральную часть сульфидных выделений. Его размеры не превышают 0.5 мм. Относительно высокие содержания Fe и низкие – Ni (табл. 3) в пентландите свидетельствуют о более высокой температуре его образования [6], сравнительно с аналогичными минералами лучинского ИК.

Халькопирит – второй по распространенности сульфидный минерал медно-никелевой ассоциации. Наблюдается совместно с пирротинном, но в значительно меньших количествах. Чаще всего образует сростки с последним, хотя иногда встречается и в обособленных выделениях. Он характеризуется относительно низкими содержаниями Fe и Cu, но более высокими – Ni (табл. 3), что свидетельствует о принадлежности описываемой сульфидной ассоциации к относительно глубоким горизонтам массива.

Бравойт – относительно редкий сульфид Ni и Fe. Наблюдается в виде тонкой рассеянной вкрапленности в серпентинитах.

Пирит представлен идиоморфными выделениями (размером до 2 мм) в позднеархейских кристаллосланцах и гнейсах.

Исходя из химического состава пирротина Ильдеусского массива, можно предположить, что его образование происходило при низкой фугитивности серы, обусловившей формирование малоникелистых разностей (Ni=0.06–0.7%). В результате большая часть никеля должна была сконцентрироваться в остаточной жидкости, кристаллизация которой привела к образованию высокожелезистого пентландита (Fe/Ni=1.07–1.19). Для сравнения, в Лучинском массиве отношение Fe/Ni в аналогичном минерале большей частью меньше единицы. Следовательно, как и повышенная никелистость относительно Fe и Cu в халькопиритах, химизм пирротин-пентландитовой ассоциации также свидетельствует о его большей эродированности, по сравнению с Лучинским.

Наличие пентландита в более позднем дайковом комплексе и особенности химического состава (высокая железистость, относительно низкие концентрации Ni) свидетельствуют либо о контаминации исходного расплава магматической жидкостью, родственной наиболее ранней сульфидной минерализации в связи с габбро-верлитовым комплексом пород более глубоких горизонтов разреза, либо о собственной минерализации дайкового комплекса, но ранних, а следовательно более глубинных ее проявлений. Первое предположение может быть косвенно

подтверждено высокими содержаниями никеля в халькопирите, сосуществующем с пентландитом, что объясняется с позиции контаминации уже существующих никельсодержащих сульфидов.

Таким образом, для ильдеусского ИК установлены следующие критерии, позволяющие положительно оценить возможности проявления сульфидного медно-никелевого оруденения: приуроченность интрузива к центральной части синклинали структуры; залегание пород массива среди содержащих серу (пирит) и углерод (карбонат) позднеархейских кристаллических сланцев и гнейсов, первичная природа которых вулканогенно-осадочная (фрагмент зеленокаменного пояса); геофизические аномалии значений электрического сопротивления (минимум в бассейне руч.Троицкого); приуроченность массива к крупным региональным разломам – возможным концентраторам оруденения; наличие двух комплексов пород – габбро-верлитового с преобладанием ультрабазитов и плагиоперидотит-пироксенит-габброноритового; выявление никельсодержащей сульфидной фазы в ультрабазитах (аповерлитовых серпентинитах) и пироксенитах с содержаниями Ni до 0.5 и 0.4%, соответственно; обогащение изотопного состава сульфидной серы тяжелым изотопом ³⁴S, и, следовательно, возможная сульфуризация пород; значительная постмагматическая переработка интрузивных тел с образованием тальк-амфиболовых, тальк-карбонат-амфиболовых пород и талькитов. С процессами гидротермально-метасоматического преобразования пород (актинолитизацией, хлоритизацией, оталькованием и карбонатизацией) связывается повышение концентраций рудных минералов, в том числе и никельсодержащих, в измененных породах.

Важными петрологическими критериями перспектив изученных массивов в отношении никелевого оруденения служат особенности химического состава породообразующих минералов, в частности – концентрация Ni в оливине и изотопный состав серы. Так, в форстеритах Лукиндинского массива количества Ni не опускаются ниже 0.25 % (0.249–0.409%), а в гиалосидеритах и форстеритах Лучинского – на порядок меньше – 0.02–0.04 мас. %. Максимальные содержания никеля отмечены в оливиновых габброидах последнего (до 0.086%). Этот факт свидетельствует в пользу экстрагирования серой металлов из силикатных минералов на ранних стадиях становления данного плутона и, соответственно, об обогащении никелем образовавшегося сульфидного расплава. Таким образом, с большой вероятностью можно ожидать появление практически интересного сульфидного оруденения в Лучинском интрузиве, но только на глубоких горизонтах.

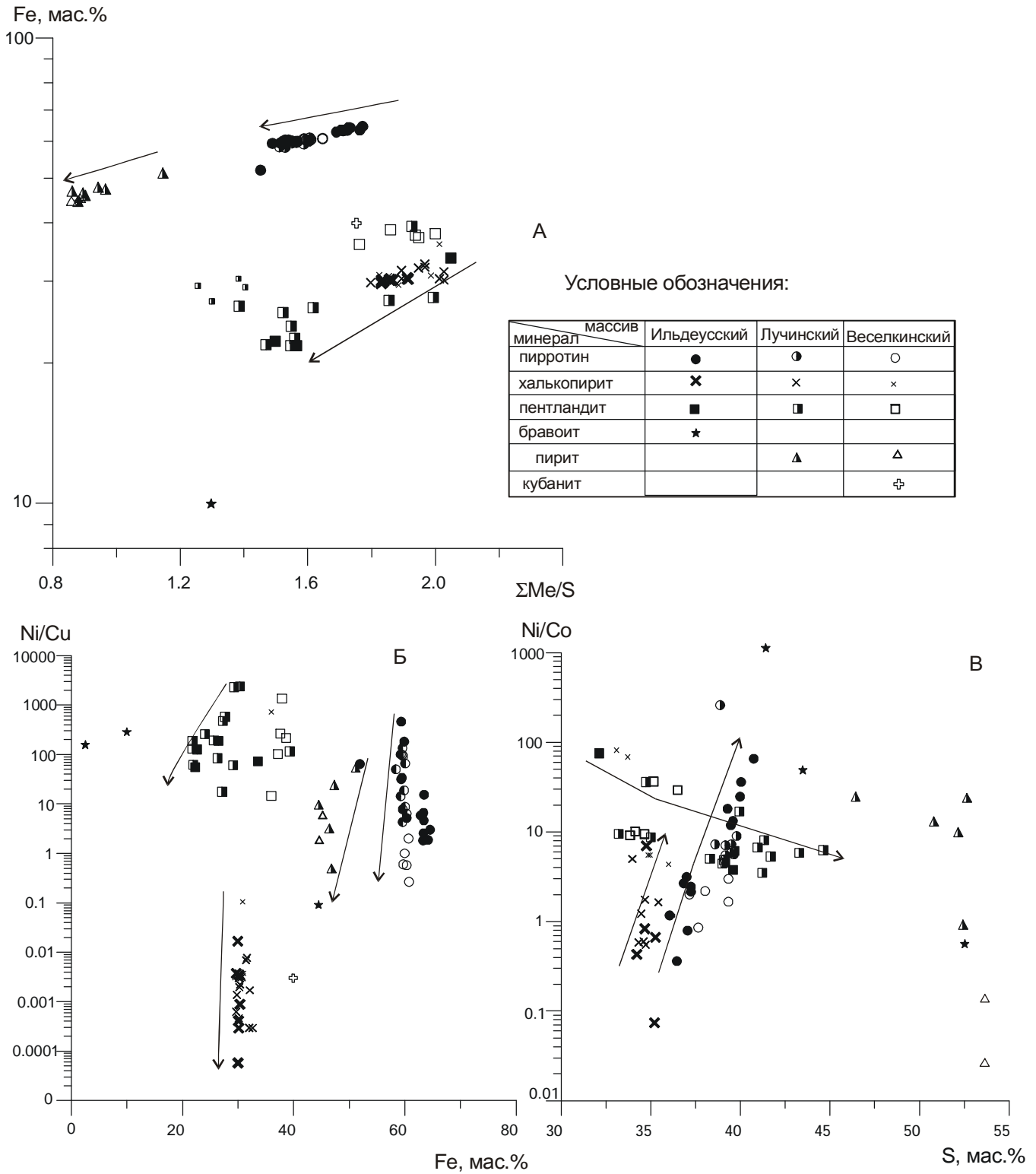


Рис. 2. Диаграммы закономерностей изменения содержаний в сульфидных минералах.

А – железа от сернистости; Б – железа от отношения никеля к меди; В – серы от отношения никеля к кобальту. Стрелками показано вероятное изменение составов минералов в процессе кристаллизации.

Изучение геолого-геофизических материалов по Брянтинскому блоку и анализ полученных авторами результатов составов сульфидных ассоциаций

лучинского ИК позволил предположить возможную связь выявленных медно-никелевого и золото-серебряно-платинометалльного оруденений с зоной

глубинного субмеридионального разлома. Авторы склонны считать возраст гнездово-прожилковой и шлировой минерализации лучинского ИК более молодым по отношению к вмещающим это оруденение интрузивам. Возможно, эта же меридиональная структура контролирует золоторудные и медно-никелевые объекты с платиноидами Дамбукинского блока, где в 2000 г. были выявлены обломки медно-никелевых руд. Судя по их химическому составу и минералогии сопутствующих металлов платиновой группы, установленная минерализация не соответствует минералогии элементов платиновой группы в россыпях блока и по степени сохранности должна иметь более молодой возраст, чем докембрий. Учитывая, что Дамбукинский блок имеет более высокий эрозионный срез относительно Брянтинского, в последнем наиболее вероятно выявление крупных объектов медно-никелевого с сопутствующим золото-серебряно-платинометалльным оруденений.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВОВ СУЛЬФИДНЫХ МИНЕРАЛОВ

Изучение химического состава сульфидных минералов ультрабазит-базитовых массивов Станового мегаблока позволило выявить основные закономерности их изменения. Анализ проводился только по сингенетичным минералам, занимающим интерстиции между породообразующими силикатами.

Пирротин. Наибольшей сернистостью ($\Sigma\text{Me}/\text{S}$) обладают минералы лучинского и ильдеусского ИК. Наблюдается прямая зависимость изменения сернистости от содержания железа (рис. 2а). При уменьшении содержания железа соответственно уменьшается отношение никеля к меди (рис. 2б), что характеризует скрытую расслоенность при кристаллизации ультрабазит-базитов. Увеличение содержания серы (рис. 2в) приводит к повышению значений отношения никеля к кобальту. Наибольшие количества железа свойственны пирротинам ильдеусского ИК, и они соответственно характеризуются меньшими содержаниями серы, что свидетельствует о более низкой фугитивности кислорода при их образовании, а следовательно более высоких температурах кристаллизации.

Пентландит. Высокой сернистостью характеризуются наиболее ранние пентландиты ильдеусского и веселкинского ИК (рис. 2а). В процессе кристаллизации сульфидного расплава в минералах она уменьшается, при параллельном уменьшении содержания железа (рис. 2а), при этом снижаются содержания Ni и соответственно уменьшается отношение Ni/Cu (рис. 2б). Несколько обособленно расположены на диаграмме пентландиты прожилкового и шлирового типа лучинского ИК (маленькие полужакрашенные квадраты на рис. 2а). Они обладают минимальной сернистостью (1.3–1.5) при относительно высоком

содержании железа. Поведение серы противоположно поведению железа, что обусловлено увеличением фугитивности серы в процессе кристаллизации. При этом в более поздних дифференциатах уменьшается отношение Ni/Co (рис. 2в). Более высокие температуры образования минералов свойственны пентландитам ильдеусского и веселкинского ИК.

Халькопирит. Изменение его химического состава в процессе кристаллизации аналогично таковому в пирротинах (рис. 2). От более ранних дифференциатов к поздним уменьшается сернистость при очень незначительном снижении содержания железа (рис. 2а). При этом уменьшаются содержания никеля и увеличиваются меди (рис. 2б), повышаются количества серы и отношение Ni/Co (рис. 2в).

Все выявленные изменения химического состава сульфидных минералов обусловлены основными закономерностями кристаллизации сульфидных расплавов, связанными с поведением составов вмещающих сульфидное оруденение силикатных пород в процессе становления интрузивов. От наиболее ранних дифференциатов к поздним уменьшаются содержания железа и увеличиваются серы, что характеризует уменьшение фугитивности кислорода и увеличение фугитивности серы в процессе кристаллизации. Кроме этого в сульфидных минералах увеличиваются содержания меди и соответственно уменьшаются количества никеля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный выше анализ перспективных на медно-никелевое оруденение докембрийских интрузивных комплексов Станового мегаблока южного обрамления Северо-Азиатского кратона и результаты геохимических исследований показывают, что наибольший интерес на сульфидное оруденение представляют массивы лучинского, веселкинского и ильдеусского ИК. Первые два интрузивных комплекса характеризуются слабой эродированностью и плохой обнаженностью. Анализ минерального и химического состава сульфидных минералов и закономерностей их изменения в процессе кристаллизации позволяет считать, что на поверхности в этих массивах мы наблюдаем только верхние горизонты сульфидного оруденения. Наибольшими же перспективами для выявления поверхностных и близповерхностных сульфидных тел обладают массивы ильдеусского ИК, сопоставимого по слагающим его породам, минеральным особенностям сульфидов и изотопному составу серы с медно-никеленосными интрузивами Балтийского щита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борукаев Ч.Б. Тектоника литосферных плит в архее. Новосибирск: НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1996. 59 с. (Тр. ОИГГМ СО РАН; Вып. 825).

2. Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. 1:2500000. Объясн. зап. СПб. – Благовещенск – Харбин, 1996. 135 с.
3. Лобов А.И. Комплексные прогнозно-минерагенические исследования территории Амурской области масштаба 1:500000. Отчет по объекту ГМК-500 за 1991-96 гг. Кн. 5. Закономерности размещения и прогнозные ресурсы меди, свинца, цинка, никеля, кобальта, ртути, флюорита, висмута. Хабаровск, 1996.
4. Медно-никелевые месторождения Балтийского щита. М.: Наука, 1985. 329 с.
5. Медь-никеленосные габброидные формации складчатых областей Сибири. Новосибирск: Наука, 1990. 237 с.
6. Петрология сульфидного магматического рудообразования. М.: Наука, 1988. 232 с.
7. Платиноносность ультрабазит-базитовых комплексов юга Сибири / Богнибов В.И., Кривенко А.П., Изох А.Э. и др. Новосибирск, 1995. 151 с.
8. Сушков П.А. Отчет о результатах поисково-разведочных работ на никель, хром, кобальт и другие полезные ископаемые на Амунактинском, Гетканском, Уркиминском и Верхне-Ларбинском массивах ультраосновных пород. Свободный, 1961.
9. Фор Г. Основы изотопной геологии. М.: Мир, 1989. 585 с.
10. Шанк Ф.А. Структуры двойных сплавов. М.: Металлургия, 1973. 760 с.
11. Щека С.А. Петрология и рудоносность никеленосных дунит-троктолитовых интрузий Станового хребта. М.: Наука, 1969. 133 с.

Поступила в редакцию 25 января 2001 г.

Рекомендована к печати Ю.И. Бакулиным

I.V. Buchko, A.E. Izokh, M.Yu. Nosyrev

Sulfide mineralization of ultrabasite-basites of the Stanovoy megablock in the southern framing of the North Asian craton

This paper is an attempt to assess the prospects of a number of the Precambrian ultrabasite-basite intrusive complexes from the Stanovoy megablock in the southern framing of the North Asian craton with regard to copper-nickel mineralization basing on a comprehensive analysis of geological data and the results of investigations of mineralogical and chemical composition of sulfide minerals. At present the massifs of the Early Proterozoic (?) Ildeusskiy gabbro-verlite intrusive complex are the most promising for this type of mineral raw materials.