

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В ГАББРО-ДОЛЕРИТАХ ПАЙ-ХОЯ (ЮГОРСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

© 2010 г. Р. И. Шайбеков

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН
167892, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 54
E-mail: shaybekov@geo.komisc.ru

Поступила в редакцию 26.04. 2010 г.

В статье приводятся результаты исследований габбро-долеритов Пай-Хоя и их сравнение с рудами известных месторождений мира. Новые методики исследования позволили более широко рассмотреть вопросы по таким аспектам как распределение редких земель и элементов платиновой группы, которые ранее для данного района были практически не раскрыты.

Ключевые слова: *редкоземельные элементы, элементы платиновой группы, основной магматизм, Пай-Хой.*

ВВЕДЕНИЕ

Габбродолеритовый гипабиссальный хенгурский комплекс ($v\beta D_3h$) выделен О.В. Забориным [4] по р. Хенгурью, правому притоку р. Сопчаю. В составе комплекса картируются многочисленные силлы, реже дайки долеритов и габбродолеритов, образующие широкую (до 20 км) полосу развития в пределах центрального и северо-западного Пай-Хоя (рис. 1). Изолированные группы силлов известны также на юго-восточном Пай-Хое и в пределах центрального выступа Карской астроблемы. Мощность тел варьирует от 1–3 м до 150–200 м. Протяженность наиболее крупных силлов достигает 15–17 км. В эндоконтактах интрузий нередки ксенолиты вмещающих пород. Контакты силлов четкие, резкие, согласные, редко косо секущие. В опубликованных работах магматиты, широко развитые среди отложений Лемвинской зоны Пай-Хоя, известны также под названием центрально-пайхойского базальтоидного комплекса [11, 21].

Выделяются две группы интрузий: недифференцированные (или слабо дифференцированные) и дифференцированные.

Тела первой группы наиболее распространены, имеют однородное или симметрично-зональное (реже асимметрично-зональное) строение. Наблюдается закономерная смена пород от периферии к центру тел: эндоконтактовые микродолериты и долеритовые порфиры → мелкозернистые кварцсодержащие гломеропорфировые долериты → среднезернистые кварцсодержащие порфировидные и эвпорфировидные долериты → крупнозернистые и пегматоидные кварцевые долериты и габбродолериты.

Дифференцированные межпластовые интрузии распространены ограниченно в нижних горизонтах ордовика и обнажаются, как правило, в ядрах крупных антиклинальных структур, имеют наибольшие

размеры. Слагающие их разновидности образуют вертикальную последовательность: габбро биотит-оливиновые → долериты оливинсодержащие порфировидные → долериты кварцсодержащие крупнозернистые пегматоидные → такситовый горизонт (ассоциация пород резко различных по составу и структуре: долериты, габбродолериты, гранофировые лейкодолериты, плагиоклазиты, гранофиры и т. д.) → долериты мелкозернистые → микродолериты эндоконтактовые. С дифференцированными интрузиями генетически связано сульфидное медно-никелевое оруденение. В зонах дробления в долеритах и роговиках встречаются редкие гнезда аксинита (0.3–1.0 м) и кварц-аксинитовые жилы длиной первые метры с содержанием аксинита до 40%.

Все породы относятся к нормальному ряду и являются производными толеит-базальтовой магмы. Петрографические типы и петрохимические особенности гипабиссальных нормально-щелочных магматических пород толеит-базальтовой серии, характеристика оруденения и зон ороговикования детально изложены в материалах исследований О.В. Заборина [5], М.А. Маслова и др. [8], Б.А. Осташенко [11].

Согласно существующим схемам [2], возраст центральнопайхойского комплекса считался позднедевонско-раннекаменноугольным. Проведенное, в рамках геологической съемки 1 : 1 000 000 масштаба третьего поколения и исследований Института геологии Коми НЦ УрО РАН, абсолютное датирование по единичным цирконам (U/Pb, Shrimp-II) дифференцированных и недифференцированных тел, локализованных в отложениях нижнего-среднего ордовика, позволило существенно уточнить возраст комплекса. Получено несколько конкордантных дат: 370 ± 2.0 млн. лет [16], 374.6 млн. лет и 381.4 ± 2.0 млн. лет, попадающие в интервал франского яруса. Таким образом, время внедрения сил-

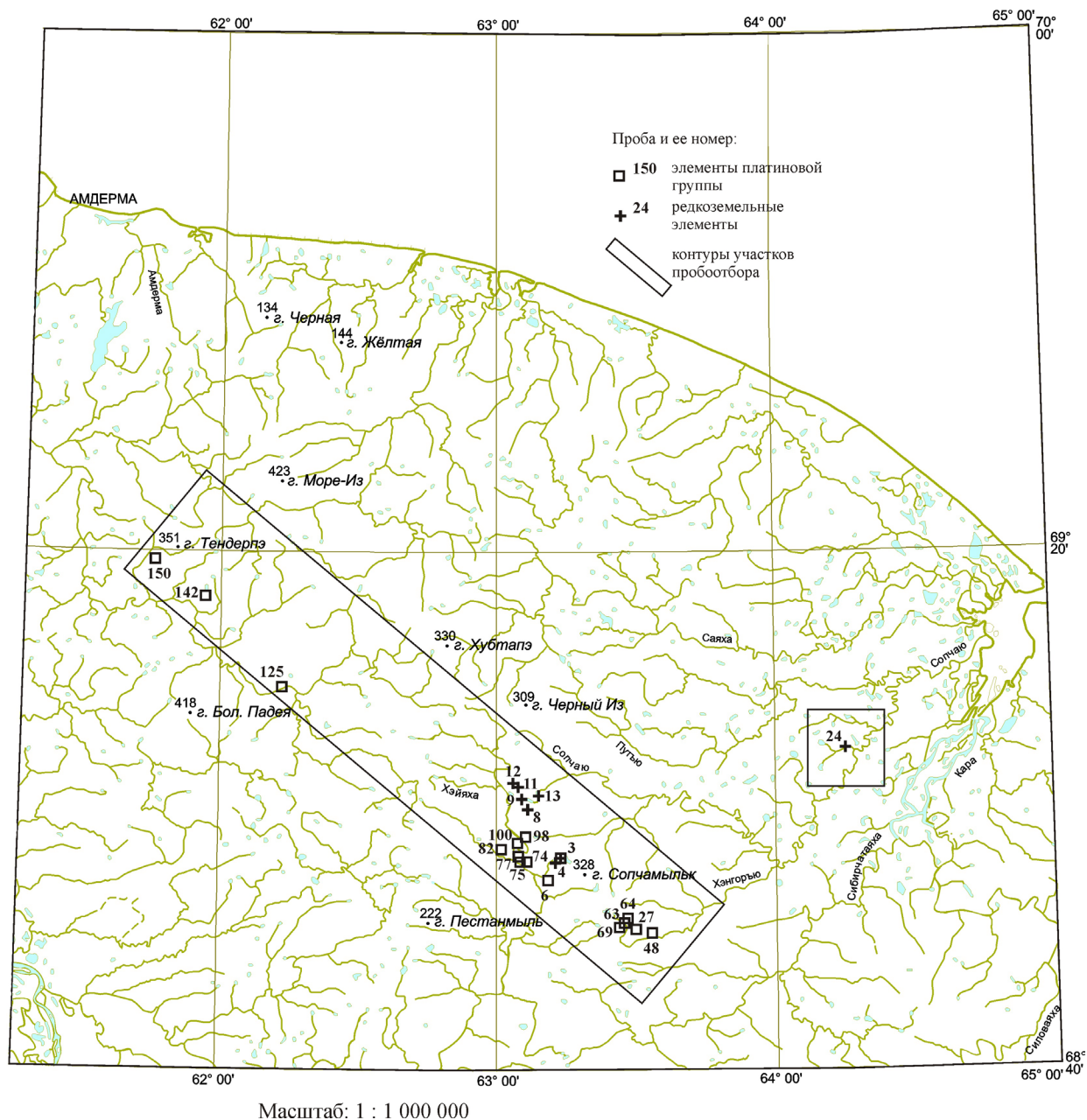


Рис. 1. Карта отбора проб на РЗЭ и ЭПГ из габбро-долеритов Пайхойского анликлитория (Югорский п-ов, Ненецкий автономный округ).

лов хорошо коррелируется с эпохой излияния оливиновых базальтов на о. Новая Земля (рейская свита нижнего франа) и верхнедевонским костиншарским габбродолеритовым комплексом. На этом основании возраст центральнопайхойского комплекса принят верхнедевонским (франским) [19]. Рядом авторов [11 и др.] предполагается гетерогенный состав центральнопайхойского комплекса с вероятностью его разделения на разновозрастные комплексы. Нашими исследованиями подтверждается наличие на окраине комплекса магматических тел габбро-долеритов пермского возраста [18].

ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД

В результате петрографического исследования пород в шлифах в пределах центральнопайхойского комплекса нами были выделены следующие разновидности:

Долерит мелко-, средне- и крупнокристаллический, кварцосодержащий макроскопически представляет собой светлую зеленовато-серую однородную породу с массивной, иногда миндалекаменной текстурой. Минеральный состав варьирует в

пределах (в об. %) – клинопироксен (авгит, ферроавгит, частично амфиболитизированный) – 20–35, плагиоклаз (альбитизированный) – 40–60, кварц – 0–7, рудные минералы – 3–8. Структура – гломеропорфировидная с офитовой основной массой. Плагиоклаз (андезин) практически полностью замещен вторичными минералами – соссюритом, серицитом, реже альбитом. Между зернами плагиоклаза отмечается кварц. Рудные минералы (магнетит, ильменит) равномерно распределены по породе в виде тонкой сыпи.

Кварцевый долерит лейкократовый (конгидиабаз), в составе которого устанавливается нацело альбитизированный, реже хлоритизированный плагиоклаз (50–60%) и микропегматит (20–25%). Последний выполняет промежутки между беспорядочно расположенными призматическими зернами плагиоклаза и представляет собой закономерные срастания кварца и альбита. В некоторых случаях микропегматит образует вокруг плагиоклаза сферолитоподобные венчики или развивается по одному из его индивидов в простом двойнике. Авгит редок (0–10%) и, как правило, слабо амфиболитизирован. В переменных количествах присутствуют рудные минералы (ильменит и сульфиды) – 3–15%.

Порфирит мелкокристаллический плагиоклаз-пироксеновый макроскопически представляет собой светло-серую массивную породу гломеропорфировидной структуры с тонкозернистой основной массой. Основная масса (85% породы) представлена мельчайшими кристаллами клинопироксена – 50%, тремолита – 15%, актинолита – 10%, хлорита – 15%, цоизита – 10%. Отмечаются округлые образования выполненные хлоритом с включениями рудных (магнетит, ильменит) минералов.

Пироксениты средне- мелкокристаллические. Минеральный состав (в об. %): клинопироксен – 75, ортопироксен – 23, биотит – 2, рудные минералы – ед. знаки. Первичные минералы, как правило, полностью замещены вторичным тремолит-хлоритовым минеральным парагенезисом, структура обычно гипидиоморфнозернистая. Клинопироксены в виде призматических кристаллов интенсивно замещаются тремолитом. Ортопироксен образует широкотаблитчатые кристаллы, полностью замещенные хлоритом и тремолитом. Биотит в виде неправильных чешуек бурых и бледно-бурых, обычно в ассоциации с мелкими выделениями рудного минерала (магнетита), как бы обрастает клинопироксен.

Породы такситовой серии представлены:

Габбродолерит мелко-, средне-, крупнокристаллический (размеры зерен достигают 3 мм) кварцевый и кварцсодержащий, порфировидный, метаморфизованный, мезо- до лейкократового, пегматоидный неравномернокристаллический светло-серый с зеленоватым оттенком. Макроскопически порода мезократовая, структура порфировидная и гломеропорфировидная с мелкозернистой офито-

вой и пойкилофитовой основной массой (с гранофиром). Минеральный состав (в об. %): клинопироксен (авгит) – 25–65, ортопироксен – 0–10, плагиоклаз (почти полностью разложившийся агрегат хлорит-серицит-альбита, изредка встречается цоизит) – 10–60, кварц (с микропегматитом) – 2–15, амфибол, развивающийся по клинопироксену – 20–25 биотит – ед. зерна, рудные минералы – 2–7. Основная масса представлена мелкозернистыми пелитизированными и серицитизированными лейстами плагиоклаза, в интерстициях которых отмечается кварц и цоизит. Плагиоклаз двух генераций: 1. Тонкие удлиненные лейсты в массе клинопироксена. 2. призматические зерна 0.5×1.5 мм. Ортопироксен представлен полностью хлоритизированными, тремолитизированными, реже отальковаными кристаллами. В единичных зернах присутствует роговая обманка и титанит. Кварц в породе – в виде неправильных зерен с волнистым погасанием. Рудные минералы представлены ксеноморфными зернами ильменита и магнетита (образуют мирмекитовые срастания, выделяясь обычно по спайности и периферии пироксенов), сульфидов, которые заполняют пространство между зернами пироксена. В ассоциации с рудными минералами (магнетит, ильменит, пирит) встречается светло-бурый биотит.

Габбро крупнокристаллическое, мезо-, реже лейкократовое, кварцсодержащее темно-зеленого до серого цвета, структура гипидиоморфнозернистая, часто кварц находится в срастании с плагиоклазом, образуя элементы пегматоидной структуры. Минеральный состав (в об. %): клинопироксен – 35–40, плагиоклаз – 35–45, кварц с микропегматитом – 10–15, рудные минералы – 5–10. Клинопироксен представлен бурыми, непрозрачными, трещиноватыми зернами. Часто вдоль поперечных трещин и периферии зерен развивается бледно-зеленый амфибол тремолит-актинолитового ряда. Отмечается зональное строение вследствие сильных вторичных изменений. Плагиоклаз полностью замещен серицитом, иногда встречается цоизит, имеющий призматический облик, реже таблитчатый, часто из-за сильных изменений форма зерен не сохраняется. Нередко плагиоклаз находится в виде графических срастаний с кварцем. Рудный минерал (ильменит) представлен мирмекитоподобными образованиями, которые выделяются в пределах части кристалла клинопироксена или даже полностью его замещают. Иногда ассоциирует с мелкими чешуйками бурого биотита.

Габбронориты мелко- и среднекристаллические мезократовые кварцсодержащие, оливиновые – темно-серые до черных с характерным зеленоватым оттенком породы. Макроскопически габбронориты представляют собой меланократовые, нередко свежего облика, гетерозернистые породы, структура их гипидиоморфнозернистая габброофитовая с

элементами пойкилитовой, обусловленной нахождением оливина в качестве вростков в других минералах: плагиоклазах, клино- и ортопироксенах, буром амфиболе. Минеральный состав (в об. %): клинопироксен (авгит, ферроавгит) – 25–45, плагиоклаз (лабрадор) – 20–55, ортопироксен – 4–25, оливин – 15–30, биотит – 0–5, кварц – 1–5, амфибол – ед. зерна – 7, рудные минералы – 1–4. Редко пятнами развита интенсивная пелитизация, по трещинкам – часто серецитизация, кроме того, отмечается хлоритизация – хлорит мелкочешуйчатый, бесцветный, в скрещенных николях – темно-серый. Рудные минералы (магнетит, ильменит, пирит, халькопирит) представлены точечными выделениями по трещинкам и периферии в оливинах, в оталькованом ортопироксене, иногда в ассоциации с биотитом, а также в виде мирмекитоподобных сростаний. В основном габбронориты полностью переработаны вторичными процессами и превращены в меланократовые клинопироксен-тремолит-хлоритовые (с бурым амфиболом и биотитом) породы, в которых заметно различается реликтовая гипидиоморфнозернистая с элементами пойкилитовой структура. Пелитизированный и серецитизированный плагиоклаз (габитус кристаллов часто сохраняется, причем преобладает призматический) включает в себя зерна оливина, замещенного минералами группы серпентина с выделением по периферии рудного минерала, и цоизита. Ортопироксен оталькован по системе трещин, а также спайности и замещен вторичными хлоритом и тремолитом.

КРАТКАЯ ПЕТРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД

По петрохимической характеристике (табл. 1) состав исходной магмы пайхойского долеритового комплекса отвечал умеренномагнезиальному ($MgO \sim 8\%$), низкощелочному ($Na_2O + K_2O < 3\%$, $Na_2O > K_2O$) толеитовому базальту, с немного повышенными содержаниями кремнезема ($\sim 51\%$) и CaO ($\sim 12\%$). В результате внутрикамерной дифференциации сформировался целый ряд пород от магнезиальных ($MgO \geq 20\%$, $SiO_2 < 48\%$) до лейкократовых ($MgO \sim 1.5\%$, $SiO_2 > 60\%$); с широкими вариациями по щелочности (от калиевых до натриевых), железистости (от умеренно- до высокожелезистых). Анализ треугольной диаграммы AFM показывает приуроченность пород к области толеитовой серии. По содержанию SiO_2 , Al_2O_3 , CaO породы Пай-Хоя близки к безрудным траппам Сибирской платформы, но отличаются по содержанию TiO_2 , FeO , MgO . От рудных траппов норильского типа их отличает содержание SiO_2 , Al_2O_3 , сумма FeO , Cr_2O_3 , MgO . При этом они характеризуются большей степенью дифференцированности пород, что позволяет отнести образования пайхойского долеритового комплекса к интрузиям миогеосинклинальной габбродолеритовой формации.

Для реконструкции геодинамических обстановок формирования магматитов, используя расчеты химических составов пород Пай-Хоя, была построена факторная диаграмма Дж. Пирса [26] (рис. 2).

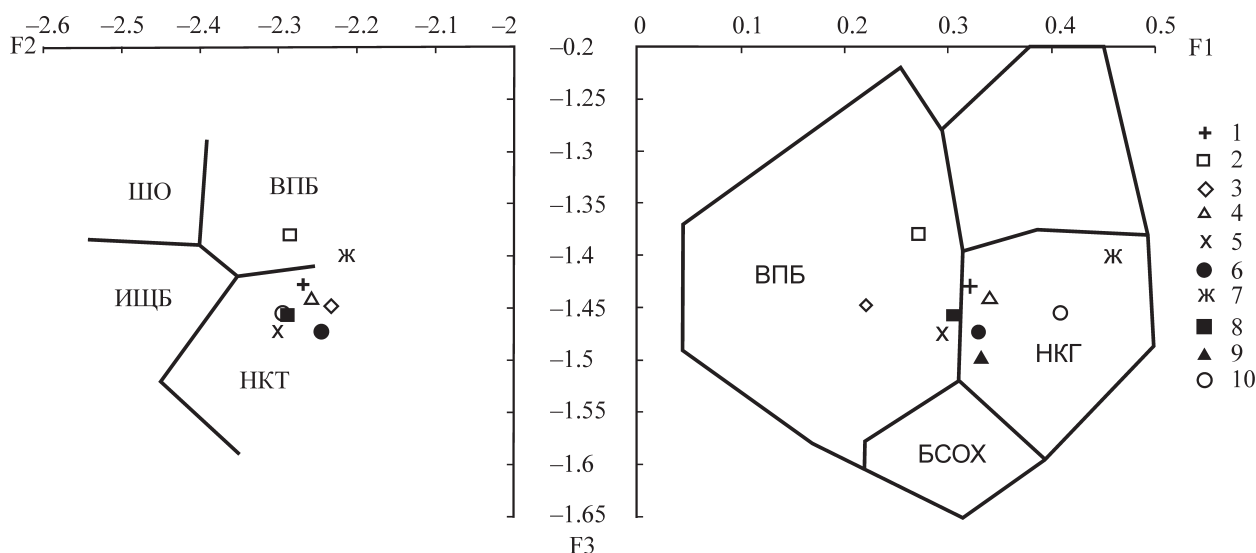


Рис. 2. Магматиты Пай-Хоя на классификационных диаграммах Дж. Пирса [26].

ВПБ – внутриплитные базальты (континентальные базальты и базальты океанических островов), БСОХ – базальты срединно-океанических хребтов, ИЩБ – известково-щелочные базальты островных дуг, НКТ – низкокальциевые базальты островных дуг, ШО – шошониты. Знаками обозначены: 1 – кварцсодержащие м/к¹ долериты, 2 – оливиновые кварцсодержащие с/к габбронориты, 3 – пегматоидные кварцсодержащие с/к габбродолериты, 4 – кварцсодержащие к/к долериты, 5 – порфировидные кварцсодержащие с/к габбродолериты, 6 – кварцсодержащие с/к габбродолериты, 7 – кварцевые с/к габбродолериты, 8 – кварсодержащие с/к долериты, 9 – оливиновые кварцсодержащие м/к габбронориты, 10 – пироксениты.

¹ Здесь и далее: м/к – мелкокристаллический, с/к – среднекристаллический, к/к – крупнокристаллический

Таблица 1. Химические составы габбродолеритов пайхойского комплекса (мас. %)

Номер обр.	Название породы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	п.п.п.	сумма	Na ₂ O+K ₂ O	Na ₂ O/K ₂ O	al ⁺
1P-04-91	габбродолерит м/к кварцсодержащий	46.1	1.03	14.95	4.72	7.71	0.3	8.15	6.59	3.46	0.03	0.06	6.91	100	3.49	115.33	0.73
1P-04-94	долерит с/к кварцсодержащий	45	1.51	13.9	6	8.16	0.13	7.75	8.52	4.17	0.02	0.03	4.79	100	4.19	208.5	0.63
3P-04-91	габбродолерит с/к пегматоидный кварцсодержащий	47.6	2.98	12.36	7.52	9.36	0.25	4.35	8.57	2.55	0.43	0.03	3.65	99.64	2.98	5.93	0.58
3P-04-92	долерит к/к кварсодержащий	50.2	0.93	13	1.49	7.12	0.15	8.59	11.6	2.17	1.02	0.03	3.91	100.27	3.19	2.13	0.76
3P-04-93	габбронорит м/к оливиновый кварцсодержащий	50.7	1.08	13.15	1.03	7.95	0.16	7.54	11.3	2.73	0.65	0.03	3.69	100.01	3.38	4.2	0.80
3P-04-94	габбродолерит м/к кварцсодержащий	47.6	0.83	12.17	2.07	5.9	0.19	10.9	16	0.99	0.16		3.13	100	1.15	6.19	0.64
3P-04-96	габбродолерит с/к порфиroidный кварцсодержащий	45.5	1.33	10.93	1.44	9.87	0.14	12.4	13.3	0.62	0.03	0.07	4.36	100.01	0.65	20.67	0.46
3P-04-97	габбродолерит м/к кварсодержащий	49	1.26	11.59	2.22	5.78	0.14	6.51	19.5	0.47	0.04		3.54	100.01	0.51	11.75	0.80
3P-04-98	долерит к/к кварсодержащий	56.2	2.27	10.67	4.7	8.28	0.21	2.62	9.33	2.91	0.57	0.15	2.1	100	3.48	5.11	0.68
3P-04-99	долерит к/к кварсодержащий	47.1	2.5	11.98	5.27	11.9	0.27	4.68	9.6	2.06	0.72	0.06	3.95	100	2.78	2.86	0.55
3P-04-910	долерит к/к кварсодержащий	60	1.32	12.13	1.66	11.2	0.14	2.21	3.89	3.83	0.26	0.27	3.09	99.99	4.09	14.73	0.80
3P-04-911	габбродолерит с/к пегматоидный кварцсодержащий	48.2	0.9	10.92	2.73	6.34	0.18	9.9	17	0.9	0.21	0.01	2.74	100	1.11	4.29	0.58
3P-04-913	габбронорит с/к оливиновый кварцсодержащий	43.7	0.96	10.69	3.86	7.45	0.22	16.3	10.4	0.86	0.08	0.05	5.58	100.12	0.94	10.75	0.39
3P-04-914	габбронорит с/к оливиновый кварцсодержащий	48.4	1.11	13.34	1.85	6.56	0.17	9.06	13.1	2.34	0.81	0.1	3.23	100	3.15	2.89	0.76
4P-04-93	габбродолерит м/к кварсодержащий	51	1.03	13.44	1.84	7.84	0.16	7.34	11.9	1.49	1.06	0.05	2.8	99.94	2.55	1.4	0.79
4P-04-95	долерит к/к кварсодержащий	53.6	1.16	12.87	2.28	5.42	0.18	4.1	15.5	2.42	0.05	0.03	2.4	100.02	2.47	48.4	1.09
6P-04-91	габбродолерит м/к кварсодержащий	50.1	0.9	13.47	6.36	3.32	0.18	8.04	12	1.76	0.79	0.02	3.02	99.99	2.55	2.28	0.76
6P-04-94	габбродолерит м/к кварсодержащий	49.1	1.83	12.25	3.96	8.38	0.2	6.26	12.2	2.26	0.47	0.04	3.12	100.01	2.73	4.81	0.66
8P-04-94	габбродолерит с/к порфиroidный кварцсодержащий	47.5	0.89	14.24	3.69	6.18	0.17	8.56	13.6	1.39	0.43		3.43	100	1.82	3.23	0.77
9P-04-92	долерит к/к кварсодержащий	47.4	1.28	15.67	4.15	7.54	0.21	8.28	12.4	1.71	0.81	0.03	3.18	102.6	2.51	2.11	0.78
11P-04-91	габбродолерит м/к кварсодержащий	48.4	1.01	12.53	2.51	6.98	0.17	9.25	12.5	2.11	0.62	0.01	3.93	99.99	2.73	3.4	0.67
12P-04-91	долерит к/к кварсодержащий	45.2	2.74	11.72	7.24	14	0.23	6.66	6.77	0.3	0.03	0.01	5.12	100.01	0.33	10	0.42
13P-04-93	долерит с/к кварсодержащий	49.4	0.72	13.89	1.84	6.82	0.15	9.73	11.9	1.49	0.9	0.05	3.66	100.51	2.39	1.66	0.76
21P-04-91	габбродолерит м/к кварсодержащий	53	1.55	13.03	3.14	1.55	0.2	6.4	5.19	2.34	1.06	0.06	4.95	92.46	3.4	2.21	1.17
24P-04-91	габбродолерит с/к кварцевый	52.9	1.32	11.64	2.33	6.65	0.14	6.92	13	0.48	0.04	0.05	4.54	100.01	0.52	12	0.73
24P-04-92	габбронорит с/к оливиновый кварцсодержащий	47.1	1.08	14.78	2.9	6.99	0.18	6.21	12.9	1.75	1.97	0.11	4.03	100.01	3.72	0.89	0.92
24P-04-94	габбродолерит с/к порфиroidный кварцсодержащий	49.4	2.44	12.59	4.46	13.2	0.27	4.28	5.26	2.73	0.66	0.13	4.1	99.52	3.39	4.14	0.57
24P-04-95	габбродолерит с/к кварцсодержащий	48.2	0.96	15.1	3.58	8.61	0.25	5.6	10.4	1.87	1.19	0.02	4.3	100	3.06	1.57	0.85
25P-04-91	габбродолерит с/к кварцсодержащий	45.4	0.62	9.3	1.46	6.83	0.2	18	10.9	1.18	0.32	0.06	5.54	99.77	1.5	3.69	0.35
27P-05-93	долерит к/к кварсодержащий	50.4	1.99	14.21	2.49	9.7	0.21	4.5	9.29	3.04	0.36	0.06	3.74	100.02	3.4	8.45	0.85

Таблица 1. Продолжение

Номер	Название	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	п.п.п	сумма	Na ₂ O+K ₂ O	Na ₂ O/K ₂ O	al'
48P-05-92	пироксенит м/к	52.4	1.27	14.82	3.26	9.84	0.19	2.91	6.99	4.21	0.25	0.07	3.81	100.01	4.46	16.84	0.93
62P-05-91	долерит к/к кварсодержащий	49.4	2.11	12.77	3.44	11.5	0.22	4.63	8.51	2.34	0.88	0.06	4.18	100	3.22	2.66	0.65
63P-05-92	долерит к/к кварсодержащий	44.7	1.45	14.84	3.45	8.15	0.16	8.04	11.8	1.39	1.44	0.06	4.52	100.01	2.83	0.97	0.76
64P-05-96	габродолерит с/к порфировидный кварсодержащий	47.5	0.75	15.9	2.61	5.11	0.15	8.86	14.3	1.22	0.49	0.05	3.08	99.99	1.71	2.49	0.96
69P-05-92	долерит к/к кварсодержащий	48.1	1.12	15.78	2.75	12.7	0.2	4.33	7.58	3.14	0.2	0.23	3.91	100.01	3.34	15.7	0.80
74P-05-92	долерит к/к кварсодержащий	47.1	1.96	13.2	5.98	10.4	0.2	5.61	8.85	2.19	0.17	0.2	4.19	100.02	2.36	12.88	0.60
74P-05-93	долерит к/к кварсодержащий	47.4	1.71	13.45	1.96	10.1	0.13	6.84	10.3	3.48	0.3	0.1	4.3	100.08	3.78	11.6	0.71
75P-05-92	долерит к/к кварсодержащий	47.6	1.27	16.08	3.39	12.8	0.2	3.99	6.79	3.12	0.44	0.1	4.38	100.11	3.56	7.09	0.80
77P-05-93	долерит к/к кварсодержащий	46.2	0.98	16.64	3.78	9.23	0.17	6.35	9.18	2.56	0.43	0.1	4.49	100.11	2.99	5.95	0.86
85P-05-92	долерит с/к кварсодержащий	51.4	2.99	13.85	3.78	11.3	0.2	1.7	6.57	3.4	1.36	0.06	3.41	100.02	4.76	2.5	0.83
98P-05-93	долерит к/к кварсодержащий	47.9	1.12	14.03	2.53	7.66	0.18	9.01	11.3	2	0.73	0.1	3.55	100.1	2.73	2.74	0.73
100P-05-93	долерит к/к кварсодержащий	49.7	1.44	14.61	3.04	13.5	0.24	2.72	8.18	2.76	0.23	0.15	3.42	100.01	2.99	12	0.76
125P-05-91	габронорит с/к оливинный кварцевый	44.1	1.17	17.22	5.65	4.1	0.19	3.47	17.7	0.69	0.02	0.34	0.1	5.73	100.11	0.69	1.30
142P-05-91	габродолерит м/к кварсодержащий	48.3	1.29	15.16	4.86	11.8	0.21	4.29	7.19	2.2	0.02	0.34	4.31	99.99	2.22	11	0.72
150P-05-92	габродолерит м/к кварсодержащий	48.6	0.89	16.45	2.85	10.3	0.22	5.62	8.52	2.29	0.5	0.34	4.31	100.88	2.79	4.58	0.88

Примечание: Химические составы пород получены с помощью метода мокрой химии и рентгенофлуоресцентного анализа в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН. Рентгенофлуоресцентный метод выполнялся на приборе MESA-9 500W.

В результате фигуративные точки большинства проанализированных пород расположились в поле низкокальциевых толеитов и внутриплитных базальтов. Расположение точек за пределами данных полей говорит о наложенных процессах (метаморфизм, метасоматоз), а также о большом количестве железосодержащих рудных минералов, в результате чего их положение оказалось смещено.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение редкоземельных элементов выполнено инструментальным нейтронно-активационным (ИННА) и рентгенорадиометрическим методами (прогрешности определения редкоземельных элементов: ИННА: La, Sm, Eu, Na, Sc, Co, As, Sb – 3–5%; Ce, Nd, Tb, Yb, Lu, Rb, Cs, Cr, Fe, Zn, Se, U, Th, Hf, Ta – 5–10%; другие элементы – 10–20%); элементов платиновой группы – нейтронно-активационным методом (НАА) и методом микропробного концентрирования (МП) в центральной лаборатории анализа вещества ГЕОХИ РАН (г. Москва) (заведующий лабораторией Г.М. Колесов). Ошибка при определении методом МП + НАА складывалась из двух операций: микропробного выделения благородных металлов (порядка 5–10%) и НАА-определение (порядка 10–15%) (погрешности при определении золота, серебра, осмия, иридия – порядка 10–20%, рутения – 20–30%, платины – 30% и более. Определение палладия производилось дуговым атомно-эмиссионным методом с ПЗС-системой. Средняя ошибка определения БМ приблизительно 15–20%).

ХАРАКТЕРИСТИКА РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (РЗЭ)

Одной из важнейших общих закономерностей размещения рудных месторождений в земной коре, которая приобретает роль геологического закона, является устанавливаемая в различных масштабах связь определенных групп месторождений с определенными типами структур, а также со слагающими их геологическими формациями [13, 20 и др.]. И то и другое, в свою очередь, зависит от геодинамических условий. В последнее время закономерности размещения и состав месторождений анализируются с позиций тектоники литосферных плит [6, 10 и др.]. При этом выясняется металлогеническая конвергентность различных геодинамических режимов. К таким рудоносным магматическим комплексам относятся и Пай-Хой.

В целях получения информации относительно петрогенезиса и формационной принадлежности магматитов Пай-Хоя было исследовано поведение редких земель в 28 пробах комплекса (табл. 2). Наряду с РЗЭ определялись Na, Rb, Cs, Ca, Sr, Ba, Sc, Cr, Fe, Co, Ni, Zn, Se, As, Sb, Th, U, B, Hf, Ta, Zr, Au.

Интерпретация спайдердиаграммы РЗЭ (рис. 3) позволила выделить две группы. Первая группа характеризуется отрицательной европиевой аномалией при схожих кривых распределения редких земель (незначительно варьируют только их содержания), вторая, представленная наиболее раскристаллизованной разностью (к/к долеритом), характеризуется неравномерным их обогащением, на что указывает скачкообразное поведение кривых.

Во всех породах отмечается обогащение легкими редкими землями $LREE/HREE^* = 1.06\text{--}5.25$, при нефракционированном профиле тяжелых $Gd/Yb = 1.45\text{--}5.13$. Наименьшими концентрациями РЗЭ характеризуются оливиновые и меланократовые долериты, пироксениты и порфириовидные габбродолериты, а максимальными – крупнокристаллический долерит. Сумма редких земель от первых к последним возрастает с 28.48 до 157.19 г/т. Высокие содержания Sr в сочетании с низкими Eu, Sm, Gd свидетельствует о кристаллизационной дифференциации исходного расплава с участием плагиоклаза.

С некоторой долей погрешности, по табличным данным, можно сказать о том, что в породах присутствуют рудные и нерудные минеральные ассоциации: Se, As, Sb, Ni, Au, Ca, Ba, наличие которых

нами подтверждается микроскопическими и микрозондовым исследованиями. Также фиксируется зависимость отношения легких РЗЭ к тяжелым от степени раскристаллизованности пород.

ХАРАКТЕРИСТИКА БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

В целях выяснения потенциальной платино-, золото- и сереброносности долеритов комплекса были определены концентрации элементов платиновой группы (ЭПГ) в 25 пробах пород комплекса (рис. 1), обогащенных сульфидами. Проведенный анализ показывает, что содержания ЭПГ (табл. 3) во всех проанализированных образцах варьирует от низких до высоких и их сумма ограничивается пределами 0.14–2.29 г/т, концентрации Pt и Pd в сумме не превышают 0.47 г/т (0.11–0.47), золота – 0.0001–0.24 г/т, серебра – 0.011–1.85 г/т. Содержания Os и Ir в большинстве существенно ниже кларковых и равны соответственно 0.00001–0.001 и 0.000004–0.02 г/т (рис. 4). Повышенные концентрации платиноидов приурочены к наиболее дифференцированным разностям – крупнокристаллическим долеритам. Практически во всех без исключения проанализированных образцах отношение $Pt/Pd < 1$, при

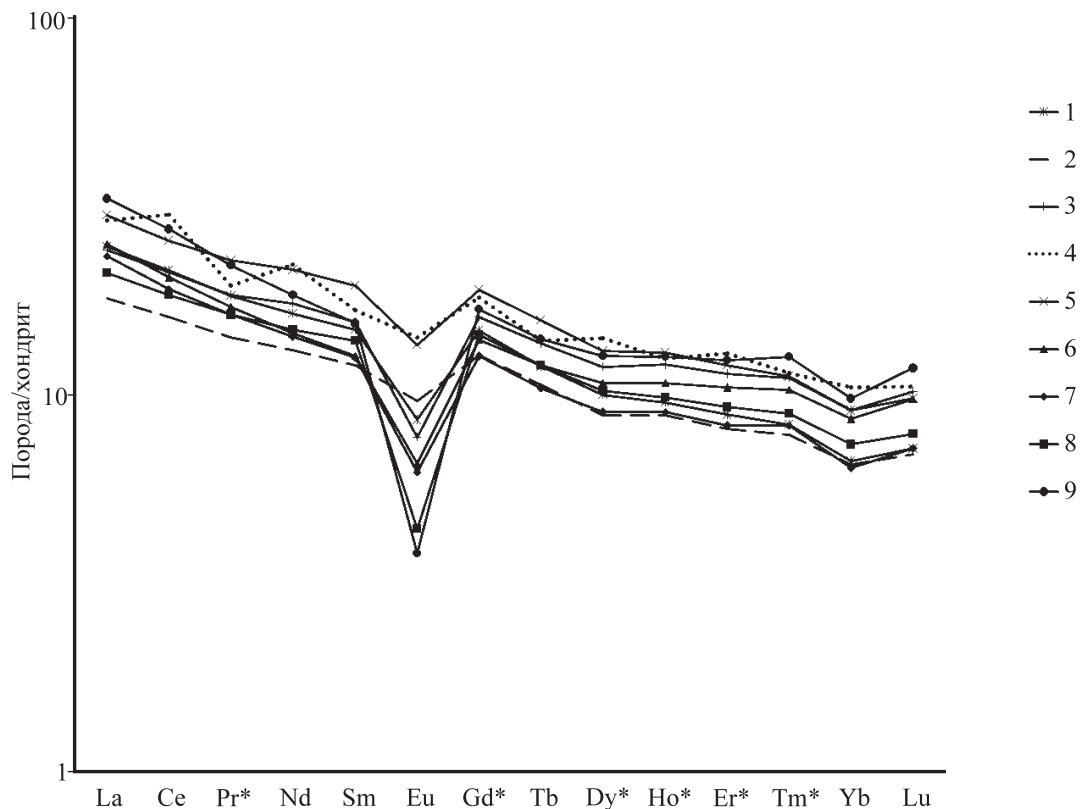


Рис. 3. График распределения редких земель, нормированных к составу хондрита C1 [22].

1 – кварцсодержащие м/к долериты, 2 – оливиновые кварцсодержащие с/к габбронориты, 3 – пегматоидные кварцсодержащие с/к габбродолериты, 4 – кварцсодержащие к/к долериты, 5 – порфириовидные кварцсодержащие с/к габбродолериты, 6 – кварцсодержащие с/к габбродолериты, 7 – кварцевые с/к габбродолериты, 8 – кварсодержащие с/к долериты, 9 – оливиновые кварцсодержащие м/к габбронориты.

Таблица 2. Содержания редких и редкоземельных элементов в долеритах пайхойского комплекса (г/т)

№	Образец	La	Ce	Pr*	Nd	Sm	Eu	Gd*	Tb	Dy*	Ho*	Er*	Tm*	Yb	Lu	Sr	Rb	Ba	Th	Zr	Hf	Cs	Sc	Cr
1	1p-04-01	10.1	22.1	2.8	11.6	3.25	0.8	4.12	0.59	3.1	0.66	1.7	0.23	1.2	0.18	240		150	0.98	16	0.04	2.58	37.9	94.0
2	1p-04-04	7.18	16.7	2.3	10.4	3.22	0.38	4.38	0.64	3.7	0.78	2.1	0.31	1.6	0.26	40		130	0.34		2.34	5.38	42.2	144.8
3	3p-04-1	12.4	27.4	3.5	15.9	4.34	0.86	5.62	0.86	4.9	1.09	2.91	0.43	2.1	0.36	315		515	3.26		2.62	5.97	43.8	13.4
4	3p-04-2	6.22	15	2	9.16	2.81	0.45	3.32	0.67	4.18	0.94	2.73	0.43	2.29	0.41	1055	42.5	415	0.84	28	2.49		45.6	252.1
5	3p-04-3	10.3	22.3	2.7	11.1	3.03	0.28	4.38	0.67	4.1	0.91	2.6	0.41	2.05	0.38	53		710	1.28	15	2.75	0.96	39.4	107.1
6	3p-04-4	4.41	10.3	1.4	6.23	1.88	0.15	2.97	0.49	3	0.7	2.08	0.34	1.78	0.34	605	67.9	425	0.59	170	0.29	3.09	57.0	134.9
7	3p-04-6	12.5	26.3	3.3	13.9	3.94	0.67	5.5	0.88	5.12	1.21	3.46	0.51	2.9	0.49	470	62.1	575	1.2	17	1.54	1	39.8	301.1
8	3p-04-7	9.89	21.8	2.8	12	3.47	0.44	4.6	0.69	4.13	0.9	2.49	0.37	1.82	0.33	650	8.16	350	0.4	12	3.34	0.46	39.4	469.9
9	3p-04-8	23	50	6.5	29.6	8.28	3.12	10.9	1.71	9.7	2.12	5.98	0.86	4.66	0.74	820	19.8	270	3.14	75	6.36	0.28	34.0	14.6
10	3p-04-9	7.99	19	2.8	13.2	4.3	1.22	6.11	0.98	5.97	1.32	3.88	0.56	3.11	0.52	380	15.1	1170	1.47	105	1.82	2.19	45.6	2.3
11	3p-04-10	19.9	42.3	5.5	24.6	7	2.39	9.6	1.5	8.97	1.98	5.53	0.82	4.53	0.74	320		1645	5.5	120	7.46		21.4	1.8
12	3p-04-11	2.62	6.92	1	5.12	1.77	0.28	2.74	0.44	2.75	0.64	1.87	0.29	1.72	0.30	125		1080	0.76	155	2.94	1.69	49.8	176.7
13	3p-04-13	4.23	10.3	1.4	6.8	2.02	0.45	2.83	0.45	2.6	0.58	1.58	0.24	1.3	0.22	315	15.7		1.12	55	0.95	0.43	33.0	777.3
14	3p-04-14	7	15.8	2.1	9.03	2.66	0.97	3.78	0.56	3.11	0.69	1.85	0.27	1.44	0.23	285		655	0.48	10	2.06	1.65	45.4	350.8
15	4p-04-3	6.72	15.9	2.2	9.99	3.09	0.33	4.32	0.64	3.72	0.79	2.14	0.32	1.68	0.27	725	66.2		4.27		1.56	0.56	47.5	433.3
16	4p-04-5	12.2	25.1	3.1	13	3.66	1.95	4.78	0.7	4.13	0.89	2.46	0.36	1.77	0.30	915	5.09	1030	0.93	54	2.1	2.95	43.0	124.9
17	6p-04-1	5.77	13.1	1.7	7.76	2.34	0.72	3.22	0.51	2.92	0.64	1.8	0.26	1.43	0.23	355	18.1	220	0.75	140	0.78	5.1	44.3	130.5
18	6p-04-4	11.4	24.9	3.2	13.9	4.06	1.35	4.97	0.69	3.97	0.78	2	0.27	1.33	0.20		19.5	295		45	3.11	2.69	40.6	54.3
19	8p-04-4	3.02	8.22	1.3	6.9	2.32	0.95	3.03	0.46	2.54	0.52	1.4	0.2	1.05	0.17	905	15.3	1430	0.63	30	1.16	2.64	44.8	239.2
20	9p-04-2	6.58	15.3	2.1	9.29	2.84	1.09	4.23	0.64	3.98	0.87	2.48	0.38	1.96	0.35	310		510	0.91	14	0.26	2.4	39.4	227.7
21	11p-04-01	5.62	13	1.7	7.72	2.3	0.64	2.72	0.35	1.79	0.35	0.85	0.11	0.53	0.08	240	16.1	855	1.6	175	1.32	4.39		404.9
22	12p-04-1	7.32	16.6	2.2	10	3.02	0.43	4.49	0.69	4.35	1	2.78	0.44	2.5	0.43	655		540	1.57		1.66		50.8	19.0
23	13p-04-3	5.93	13.2	1.7	7.52	2.23	0.27	3.1	0.5	2.92	0.64	1.81	0.27	1.5	0.25			455	0.99		1.25	1.1	45.7	346.5
24	24p-04-1	10.9	22.8	3	12.7	3.67	0.73	4.99	0.76	4.51	1.02	2.76	0.43	2.14	0.38	470	50.2	400	0.83	80	2.94	2.22	34.2	127.5
25	24p-04-4	12.4	27.9	3.8	17.9	5.19	1.38	6.27	0.91	4.99	1.07	2.72	0.38	1.77	0.29	420	65	76	1.31		4.87	2.39	44.8	10.8
26	24p-04-5	7.64	16.8	2.2	9.83	2.9	0.4	4.28	0.65	4	0.88	2.5	0.38	1.93	0.35	59	16.6	260	2.3		0.87		37.5	50.6
27	25p-04-1	8	16.4	2	7.73	2.06	0.57	3	0.49	2.94	0.67	1.9	0.29	1.69	0.28	875		180	1.07	135	0.28	5.08	43.5	1446.4

Таблица 2. Продолжение

№	Образец	Co	Ni	Zn	Se	As	Sb	U	Br	Ta	Au	Na %	Ca %	Fe %	Ce/Yb	Gd/Yb	La/Lu	La/Yb	Sm/Nd	Eu/Eu*	LREE/ HREE*	Ce/Ce*	ΣREE
1	1p-04-01	55.10			7.32	25.00	3.61	0.33	0.003		0.022	3.04	0.22	7.82	18.42	3.43	56.11	8.42	0.28	0.67	4.02	1.05	62.38
2	1p-04-04	36.90	150		5.92	5.10	0.62	0.61	0.005			3.42	9.15	7.63	10.44	2.74	27.62	4.49	0.31	0.31	2.43	1.02	53.93
3	3p-04-1	41.80	190		7.64	3.97	0.60	4.69	0.003	0.42		1.44	4.83	12	13.05	2.68	34.44	5.90	0.27	0.53	2.81	1.02	82.65
4	3p-04-2	40.80	200		0.57	1.71	0.51	5.79	0.005	0.82	0.019	1.26	10.80	6.84	6.55	1.45	15.17	2.72	0.31	0.45	1.51	1.05	50.63
5	3p-04-3	41.80	420		2.90	5.36	1.05	0.34	0.006	0.42		1.67	6.96	7.25	10.88	2.14	27.11	5.02	0.27	0.23	2.26	1.07	65.21
6	3p-04-4	46.60	190		9.83	4.79	1.80	0.41	0.054		0.009	0.71	9.12	5.68	5.79	1.67	12.97	2.48	0.30	0.19	1.30	1.04	36.02
7	3p-04-6	87.60	710		7.16	58.20	0.96	1.04	0.006			0.35	10.40	8.68	9.07	1.90	25.51	4.31	0.28	0.44	2.10	1.03	80.66
8	3p-04-7	36.30	370	180	4.73		0.84	3.36	0.028		0.015	0.34	15.50	6.33	11.98	2.53	29.97	5.43	0.29	0.34	2.53	1.04	65.7
9	3p-04-8	29.50			4.69	5.89	0.49	4.03	0.055	0.34		1.97	10.40	9.14	10.73	2.34	31.08	4.94	0.28	1.00	2.53	1.00	157.2
10	3p-04-9	45.40			3.25	4.74		0.72	0.006		0.016	1.13	6.09	12.4	6.11	1.96	15.37	2.57	0.33	0.73	1.54	0.98	70.92
11	3p-04-10	67.50	260	80	1.59	4.12	0.59	4.56	0.007			2.77	0.78	11.4	9.34	2.12	26.89	4.39	0.28	0.89	2.23	1.00	135.4
12	3p-04-11	35.70	500		5.63	11.80	2.04	0.57	0.010	0.73		0.64	10.10	5.25	4.02	1.59	8.73	1.52	0.35	0.39	1.06	1.01	28.48
13	3p-04-13	72.40	150	30	0.34	9.43	0.71	2.81	0.012			0.59	8.80	8.24	7.92	2.18	19.23	3.25	0.30	0.57	1.89	1.02	35
14	3p-04-14	35.50			1.88	7.12	0.35	2.65	0.025		0.017	1.43	8.93	5.72	10.97	2.63	30.43	4.86	0.29	0.93	2.53	1.04	49.46
15	4p-04-3	46.80	210		0.70	23.50	0.97	5.63	0.013	1.49	0.013	1.30	8.71	7.31	9.46	2.57	24.89	4.00	0.31	0.28	2.22	1.03	52.06
16	4p-04-5	30.80	560		0.49	0.74	0.47	7.95	0.028	0.90		2.15	11.70	5.36	14.18	2.70	40.67	6.89	0.28	1.42	3.01	1.02	74.38
17	6p-04-1	45.20	320		2.13		1.54	2.56	0.022	1.34	0.019	1.28	6.39	7.24	9.16	2.25	25.09	4.03	0.30	0.80	2.15	1.03	42.42
18	6p-04-4	43.10			0.74		0.66	2.30	0.032	2.70	0.024	1.62	9.15	8.48	18.72	3.74	57.00	8.57	0.29	0.92	4.08	1.03	73.04
19	8p-04-4	44.50			2.79	4.42	0.53	1.75	0.013			0.96	14.10	6.05	7.83	2.89	17.76	2.88	0.34	1.09	2.03	0.96	32.07
20	9p-04-2	40.30	1060		1.20	17.50	3.05	4.89	0.003			1.39	8.44	7.82	7.81	2.16	18.80	3.36	0.31	0.96	1.78	1.03	52.06
21	11p-04-01	47.40	270		2.01	3.68		2.62	0.018		0.023	1.21	8.40	7.88	24.53	5.13	72.05	10.60	0.30	0.78	5.25	1.04	37.77
22	12p-04-1	72.80	450		6.20	4.93	1.21	2.74	0.007	0.88	0.020	0.09	9.44	13.1	6.64	1.80	17.02	2.93	0.30	0.36	1.62	1.02	56.26
23	13p-04-3	41.80			7.00	2.30	3.09	2.25	0.023			1.23	11.50	6.41	8.80	2.07	23.72	3.95	0.30	0.31	2.06	1.03	41.85
24	24p-04-1	47.10	200	20	6.22	4.71	0.32	0.66	0.003			0.27	6.91	6.51	10.65	2.33	28.68	5.09	0.29	0.52	2.38	1.00	70.76
25	24p-04-4	50.20	360		6.28	6.78	0.41	3.70	0.017			2.42	3.31	12.8	15.76	3.54	42.76	7.01	0.29	0.74	3.44	0.99	86.94
26	24p-04-5	47.40			1.79	2.10	0.95	3.97			0.013	1.51	7.22	8.86	8.70	2.22	21.83	3.96	0.30	0.35	1.94	1.01	54.75
27	25p-04-1	57.20			9.31	5.35	7.09	3.01	0.002		0.018	1.04	2.25	5.92	9.70	1.78	28.57	4.73	0.27	0.70	2.25	1.05	48

Примечание: Определение редкоземельных элементов выполнено инструментальным нейтронно-активационным (ИННА) и рентгенорадиометрическим методами (прогрессирующей) определения редкоземельных элементов ИННА: La, Sm, Eu, Na, Sc, Co, As, Sb – 3–5%; Ce, Nd, Tb, Yb, Lu, Rb, Cs, Cr, Fe, Zn, Se, U, Th, Hf, Ta – 5–10%; другие элементы – 10–20%.

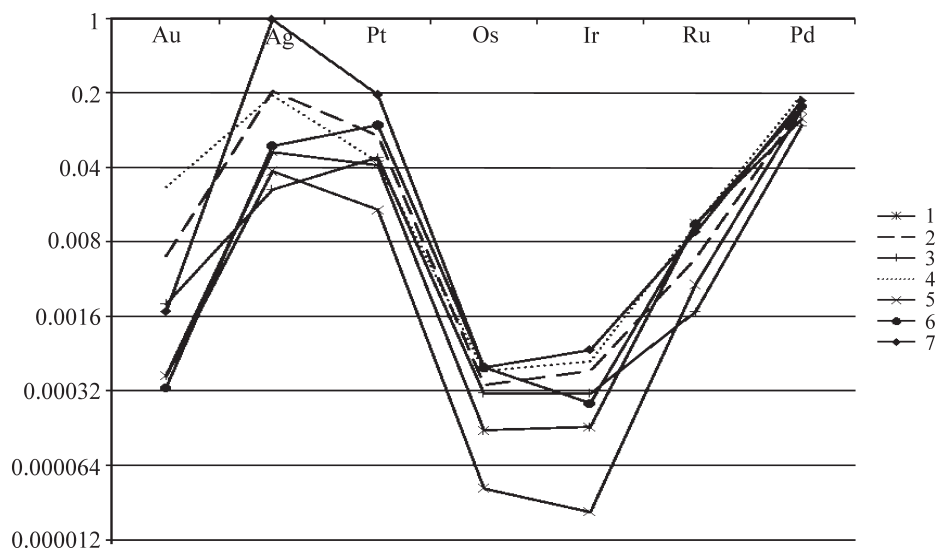


Рис. 4. График содержаний элементов платиновой группы в магматитах Пай-Хоя.

1–5 – как на рис.3, 6 – кварцсодержащие с/к габбродолериты, 7 – пироксениты.

колебаниях этого значения от 0.05 до 0.95, за исключением пробы 48P-05-2 (1.1–1.2) и 62P-05-2 (1.74). Примечательно, что величина Pt/Pd в породах недифференцированных и дифференцированных силлов мало чем отличается. Эти значения, по нашим наблюдениям, увеличиваются или уменьшаются в зависимости от содержания сульфидов (арсенидов меди, кобальта, никеля и теллуридов платины, палладия, золота). Изучение рудных минералов, с использованием микросондового метода показало, что платиноиды (Pt, Pd) находятся в виде мельчайших каемок в сульфидах, в сростании с арсенопиритом и в виде микроразмерных фаз в кобальтине (Au, Ag) или микровключений в галените (Pt, Pd) [18].

Сравнительный анализ элементов платиновой группы Пай-Хоя с таковыми в известных платинометаллических месторождениях России и мира (рис. 5) показал, что их тренды распределения схожи, но существенно различаются содержаниями благородных металлов, особенно тяжелых платиноидов (Ir, Os), а содержания платины и палладия разнятся в десятки раз. Для центральнопайхойского комплекса отмечена закономерность: чем выше содержания платины, тем выше содержания палладия и рутения и ниже осмия и иридия. На графике Pt/Pd–Pd/Ir (рис. 6), хорошо видно, что наши объекты можно отнести к отдельному пайхойскому типу малосульфидных платинометаллических рудопоявлений (необходимо учитывать низкие содержания иридия), при этом известные проявления Норильска и Дулута выделяются в уже ранее выделенный собственный тип. Исходя из полученных аналитических данных, можно было бы сделать определенный вывод о схожести содержаний платиноидов Пай-Хоя (при условии более высоких содержаний иридия), Мончегорска и Ипока. С целью выяснения формы нахождения платиноидов в породах комплекса бы-

ло проведено сравнение содержаний ЭПГ с Ni, Co и Cu, которое показало взаимосвязь содержаний Pt и Pd и меньшую степень их относительной зависимости от Ni, Co и Cu. Это, с одной стороны, свидетельствует о том, что даже в случае значительного скопления сульфидов в породах комплекса, не следует ожидать промышленных концентраций платиноидов, а с другой стороны, – что ЭПГ присутствуют в основных магматитах в двух формах: как интерметаллические соединения Pt и Pd с Ni, Co и Cu (в наименьшей мере) и в виде самостоятельных минеральных фаз в кобальтине, теллуридах, халькопирите, пирротине и галените.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пределах Пай-Хоя широко развиты различные по внутреннему строению, степени дифференциации, интрузивные тела габбро-долеритового комплекса с которым ассоциирована сульфидная медно-никелевая минерализация. Следует отметить, что при несомненной пространственно-генетической связи сульфидной минерализации прежде всего с наиболее дифференцированными габбродолеритовыми телами [3, 12, 21 и др.], распределение в них сульфидов не обнаруживает столь характерную для большинства сульфидно-никелевых рудно-магматических систем закономерность – ассоциацию их с интрузивами повышенной магнезиальности, а в их пределах исключительную приуроченность к наиболее обогащенным оливином членам сингенетически родственного ряда пород [1, 9, 14, 15 и др.]. Эта особенность в той или иной степени прослеживается во всех известных габбро-долеритовых телах центральнопайхойского комплекса, в которых разномасштабная сульфидная медно-никелевая минерализация ассоциируется с различными по соста-

Таблица 3. Средние содержания (г/т) элементов платиновой группы в породах и рудах Пай-Хоя и платинометаллических месторождениях России и мира

№	Объект	Характеристика породы	Au	Ag	Pt	Os	Ir	Ru	Pd	Pt/Pd	Pd/Ir	Pt+Pd
1	Зр-04-05	габбро-дolerит с/к порфировидный кварцосодержащий	0.0016	0.011	0.02	0.0001	0.0001	0.0029	0.1	0.2	1000	0.12
2	Зр-04-08	дolerит к/к кварцосодержащий	0.0019	0.041	0.057	0.0002	0.00014	0.00782	0.14	0.407	1000	0.197
3	Зр-04-11	габбро-дolerит с/к пегматоидный кварцосодержащий	0.0021	0.025	0.05	0.0003	0.0003	0.00175	0.1	0.5	333.3	0.15
4	Зр-04-13	габбронорит с/к оливинный кварцосодержащий	0.0047	0.02	0.079	0.00052	0.00081	0.00327	0.2	0.395	246.9	0.279
5	27р-05-3	дolerит к/к кварцосодержащий	0.001	0.025	0.013	0.00039	0.001	0.0115	0.26	0.05	464.3	0.273
6	48р-05-2	пироксенит м/к	0.0004	0.13	0.17	0.00022	0.00014	0.00865	0.14	1.214	1000	0.31
7	62р-05-1	дolerит к/к кварцосодержащий	0.0005	0.13	0.06	0.00054	0.00033	0.00496	0.15	0.4	454.55	0.21
8	62р-05-2	дolerит к/к кварцосодержащий	0.0001	0.034	0.174	0.00035	0.00024	0.0134	0.1	1.74	416.67	0.274
9	62р-05-3	роговик	0.00046	0.018	0.072	0.0002	0.00018	0.0105	0.15	0.48	833.3	0.222
10	63р-05-1	дolerит к/к кварцосодержащий	0.00019	0.042	0.085	0.00017	0.00017	0.0118	0.1	0.85	588.24	0.185
11	63р-05-2	дolerит к/к кварцосодержащий	0.00019	0.065	0.083	0.00025	0.0003	0.0139	0.1	0.83	333.33	0.183
12	64р-05-6	габбро-дolerит с/к порфировидный кварцосодержащий	0.00044	0.037	0.016	0.00004	0.00002	0.00317	0.14	0.114	6086.96	0.156
13	69р-05-2	дolerит к/к кварцосодержащий	0.0188	0.033	0.027	0.00028	0.00022	0.0035	0.2	0.135	909.1	0.227
14	74р-05-2	дolerит к/к кварцосодержащий	0.0053	0.056	0.0027	0.00041	0.00062	0.0182	0.2	0.014	322.58	0.2027
15	74р-05-3	дolerит к/к кварцосодержащий	0.00017	0.041	0.089	0.00038	0.0006	0.0136	0.1	0.89	166.67	0.189
16	75р-05-2	дolerит к/к кварцосодержащий	0.239	0.17	0.022	0.0008	0.00106	0.0158	0.2	0.11	188.68	0.222
17	77р-05-3	дolerит к/к кварцосодержащий	0.0018	0.11	0.07	0.0003	0.00191	0.0155	0.4	0.175	209.42	0.47
18	85р-05-2	дolerит с/к кварцосодержащий	0.00043	0.1	0.19	0.00105	0.00048	0.0198	0.2	0.95	416.67	0.39
19	98р-05-3	дolerит к/к кварцосодержащий	0.0166	1.14	0.074	0.00055	0.0003	0.0125	0.1	0.74	333.33	0.174
20	100р-05-3	дolerит к/к кварцосодержащий	0.0014	0.31	0.0051	0.00123	0.00049	0.0085	0.3	0.017	612.25	0.3051
21	142р-05-1	дolerит м/к кварцосодержащий	0.00032	0.055	0.021	0.00015	0.00012	0.00537	0.1	0.21	833.33	0.121
22	150р-05-2	дolerит м/к кварцосодержащий	0.00056	0.058	0.064	0.00012	0.00017	0.0185	0.13	0.492	764.71	0.194
23	125р-05-1	габбронорит с/к кварцевый	0.007	0.4	0.08	0.0002	0.00017	0.00795	0.1	0.8	588.24	0.18
24	48р-05-2к	пироксенит м/к	0.0031	1.85	0.22	0.00084	0.0014	0.0111	0.2	1.1	142.86	0.42
25	Кларки		0.0035	0.1	0.01	0.00005	0.000026	0.1	0.02	0.5	769.23	0.03
26	Дулут	троктолиты и габброиды								3.43	217.34	
27	Норильск	пикриты, габбро и долериты								2.4	18.12	
28	Инсизва	габброиды	0.03–6.69	1.03–257.1	0.024–90.7	0–0.79	0–1.7	0.01–0.97	0.4–10.5	0.41	18.85	0.5–22.4
29	Мончегорск	габбро-норит-пироксенит перидотитовая формация	1.15	45.52	2.35–5.32	0.02–0.12	0.06–0.25	0.094–0.59	1.1–15.81	2.24	18.56	0.35–380
30	Риф Меренского	пироксениты, нориты, анортозиты				0.068	0.09	0.45	1.67–14.89	0.29		5.4–19.1
31	Риф J-M	анортозит троктолитовые породы	0.01–3.94	10	0.15–11.98	0.02–0.95	0.01–0.23	0.02–0.72	0.18–12.48	1.33	9.74	0.33–24.5
32	Печена	ультраосновные породы	0.7	10	0.6	0.18	0.11	0.045	0.5	2.84	38.06	1.1
33	Рэлэн	перидотиты			0.005–59.15					1	14.37	0.005–59.15
34	Джиньчуань	дуниты	0.66–12.85		1.66–4.88	0.23–1.67	0.25–0.66	0.28–2.82	1.38–6.99	1.39	8.87	3.1–11.9
35	Камбада	оливиновые перидотиты ультрамафитовой толщи	3.75		2.86	1.01	0.48	1.95	4.2	1.88	5.88	7.1
36	Лангмор	перидотиты и пироксениты	0.13–6.35		0.13–17	0.04–2.2	0.03–2	0.06–4.2	3.3–47.7	4.46	13.4	3.4–65
37	Томпсон	пелитовые сланцы								2.26	2.15	
38	Пийп-2	перидотиты и пироксениты								0.49	0.95	
39	Маунткейт	перидотиты и дуниты	13–868		1.14–33.7	2–46	0.002–1.44	0.03–2.47	0.4–59.48	1.26	30.65	1.5–93.2
40	Садбери	ультраосновные породы	0.22–421.6		0.25–12.35	0.01–29	0.005–0.76	0.004–1.35	0.25–14.59	1.29	59.98	0.5–3.9
41	Войсис Бэй	габбро, троктолиты и брекчи	0.53		0.62	0.035	0.019	0.11	0.93	1.29	59.98	1.55

Примечание. Использованы литературные данные [7, 9, 22–25]. В №№ 26–41 даны усредненные значения Pt/Pd и Pt/Ir.

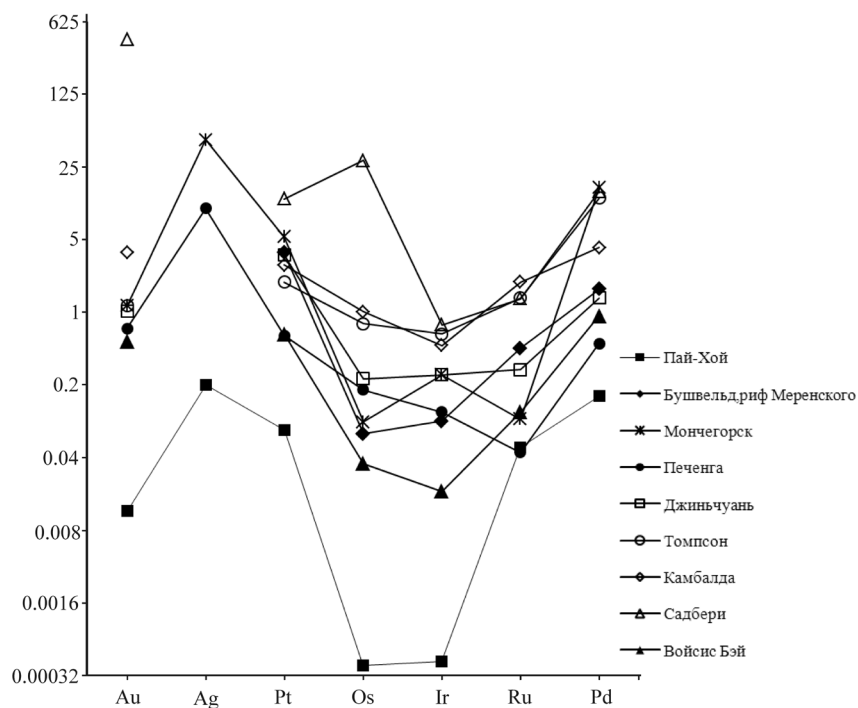


Рис. 5. График средних содержаний элементов платиновой группы в магматитах Пай-Хоя и породах и рудах платинометалльных месторождений России и мира.

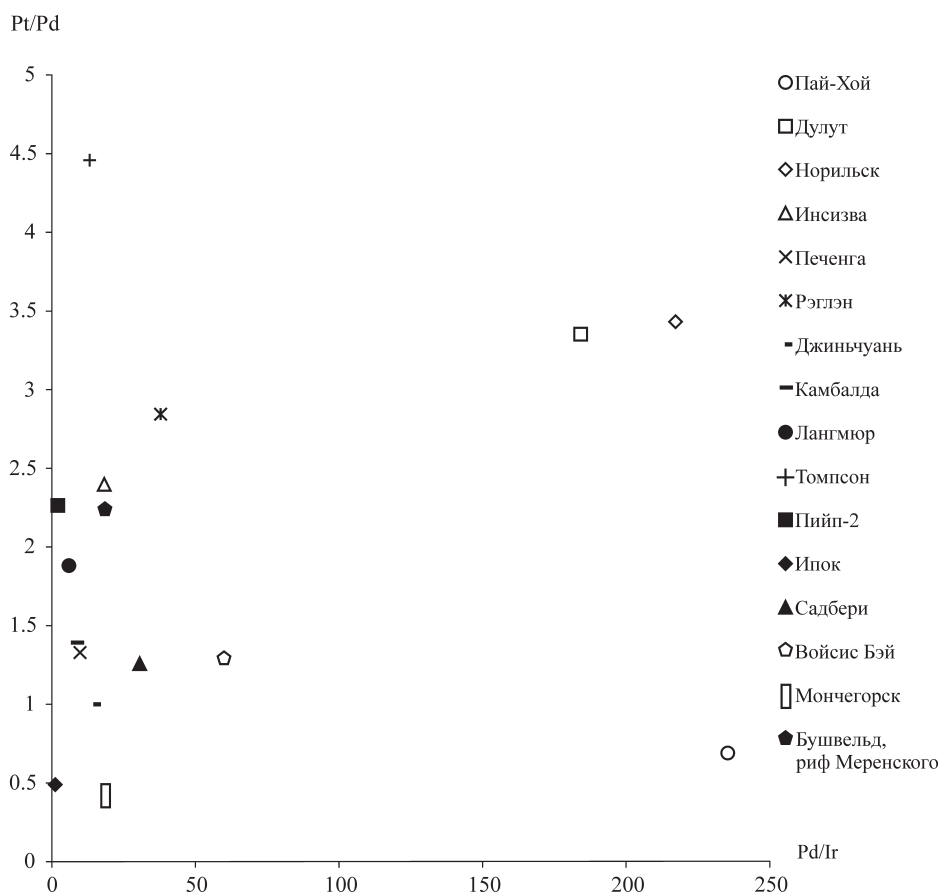


Рис. 6. График Pt/Pd–Pd/Ir в породах и рудах Пай-Хоя, России и мира.

ву и положению в структуре массивов членами сингенетически родственного ряда пород.

Результаты петрогеохимических исследований основных магматитов центральнопайхойского комплекса указывают на то, что находящиеся в нем породы сформировались в одной геодинамической обстановке и также могут свидетельствовать о проявлении на пассивной окраине в средне-позднедевонском возрасте наложенного рифтогенеза. Отметим, что петрохимический анализ основных магматитов, без использования дополнительных геохимических методов, оказался слабоинформативным (в результате метаморфических и метасоматических изменений) и не давал полной картины геодинамической обстановки, так как, по сравнению с относительно инертными индикаторными редкими и редкоземельными элементами, петрогенные компоненты более подвижны при процессах метаморфизма. Интерпретация кривых редкоземельных элементов показала, что породы могут принадлежать к единой магматической серии и возникли из единой массы расплава в результате магматической дифференциации, на что указывает сходное поведение редкоземельных элементов. Отрицательная европиевая аномалия вероятнее всего свидетельствует о том, что расплавы, формировавшие интрузии, уже были фракционированы относительно плагиоклаза, концентрирующего европий, то есть породы тел являются дифференциатами раннего, более магнезиального и менее лейкократового исходного расплава. Эти данные дают нам возможность говорить о том, что основные магматиты Пай-Хоя, вероятнее всего, относятся не к трапповой формации (хотя есть определенная их схожесть с трапповыми формациями Сибири), а скорее к формациям орогенного типа.

Породы Пай-Хоя характеризуются низкими содержаниями элементов платиновой группы. Платиноиды, в большинстве случаев, встречаются не в виде интерметаллических соединений, как считали прежние исследователи [15 и др.], а в виде микро-размерных самостоятельных выделений и включений в сульфиды и пороодообразующих минералах, что подтверждается результатами минералогических и микронзондовых исследований [17]. Выделяется характерный тренд возрастания содержаний элементов платиновой группы: $Pt > Pd > Ru > Os > Ir$. Сравнение отношений Pt/Pd – Pd/Ir пород Пай-Хоя с известными сульфидными медно-никелевыми месторождениями показывает, что породы Пай-Хоя по элементам платиновой группы можно выделить в отдельный пайхойский тип малосульфидных платинометаллических рудопроявлений.

Автор выражает благодарность научному руководителю академику Н.П. Юшкину, а также А.А. Соболевой, Т.П. Майоровой, Л.В. Махлаеву, О.В. Удорагиной и С.К. Кузнецову за помощь в подготовке данного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Годлевский М.Н., Лихачев А.П.* Условия зарождения и кристаллизации рудоносных магм, формирующих медно-никелевые месторождения // Основные параметры природных процессов эндогенного рудообразования. Т. 1. Новосибирск: Наука, 1979. С. 7–83.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Лист R-(40)-42 – о. Вайгач–п-ов Ямал. Объяснительная записка / Под ред. Л.Л. Подсосовой. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 357с.
3. *Жуков Ю.В., Заборин О.В.* Сульфидное медно-никелевое оруденение на Пай-Хое // Геология и полезные ископаемые северо-востока Европейской части СССР и севера Урала: тр. VII геол. конф. Коми АССР. Т. 2. Сыктывкар: Коми ФАН СССР, 1973. С. 438–440.
4. *Заборин О.В.* Диабазовая формация Пай-Хоя // Магматизм, метаморфизм и металлогения Севера Урала и Пай-Хоя. Сыктывкар: ИГ Коми ФАН СССР, 1972. С. 41–42.
5. *Заборин О.В.* Основные магматические породы Центрального Пай-Хоя (Югорский п-ов). Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Л.: ЛГИ, 1975. 148 с.
6. *Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Моралев В.М.* Глобальная тектоника, магматизм и металлогения, М.: Недра, 1976. 232 с.
7. *Лихачев А.П.* Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. М.: Эслан, 2006, 496 с.
8. *Маслов М.А., Костюкова Л.А.* Магматические формации Севера Урала и Пай-Хоя. Воркута : ВО КРГФ, 1977. 548 с.
9. *Налдрет А.Дж.* Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометаллических руд. СПб.: СПбГУ, 2003. 487 с.
10. Основы металлогенического анализа при геологическом картировании. Металлогения геодинамических обстановок / Гл. ред. Н.В. Межеловский. М.: Комитет Российской Федерации по геологии и использованию недр, 1995. 468 с.
11. *Осташенко Б.А.* Петрология и оруденение центральнопайхойского базальтоидного комплекса. Л.: Наука, 1979. 113 с.
12. *Осташенко Б.А., Баронихин В.А.* Новые данные по минералогии сульфидных руд Центрального Пай-Хоя // Тр. ИГ Коми филиала АН СССР. Ежегодник-1970. Сыктывкар: Коми ФАН СССР, 1973. С. 136–137.
13. *Филатов Е.И., Ширай Е.П.* Формационный анализ рудных месторождений. М.: Недра, 1988. 144 с.
14. *Чернышов Н.М.* Сульфидные медно-никелевые месторождения юго-востока Воронежского кристаллического массива: Породы, руды, генетические особенности. Воронеж: ВГУ, 1971. 312 с.
15. *Чернышев Н.М., Переславцев А.В., Кузнецов А.Н. и др.* Формационные типы ультрамафит-мафитовых интрузий Пайхойской провинции и перспективы их никеленосности. Воронеж: ВГУ, 1990. 227 с.
16. *Шайбеков Р.И.* Долеритовое тело (Сопча) Центрального Пай-Хоя и его датирование с использованием U-Pb метода (SHRIMP II) // Мат-лы третьей Сибирской междунар. конф. молодых ученых по наукам о Земле. Новосибирск: ОИГТМ СО РАН, 2006. С. 246–248.

17. Шайбеков Р.И. Новые данные о сульфидной минерализации участка "Первого" (Центральный Пай-Хой) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2009. № 3 (171). С. 2–5.
18. Шайбеков Р.И. U-Pb возраст цирконов из долеритового тела юго-восточной окраины Пай-Хоя // Матлы I Междунар. научно-практ. конф. молодых ученых и специалистов, посвященная памяти академика А.П. Карпинского. СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. С. 528–530.
19. Шкарубо С.И., Шишкин М.А., Маркина Н.В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Южно-Карская. Лист R-41 – Амдерма. Объяснительная записка / Гл. редактор Б.Г. Лопатин. СПб.: ВСЕГЕИ, 2008. 415 с.
20. Щеглов А.Д., Щерба Г.Н., Добрецов Н.Л. и др. Основные проблемы рудообразования и металлогении. 1990. 284 с.
21. Юшкин Н.П., Давыдов В.И., Остащенко Б.А. Магматические образования Центрального Пай-Хоя и их металлогенические особенности // Вопросы петрографии севера Урала и Тимана. Тр. Института геологии Коми филиала АН СССР. Вып. 17. Сыктывкар, 1972. С. 3–34.
22. Boynton W.V. Geochemistry of Rare Earth Elements Meteorite Studies // Rare Earth Element Geochemistry. Amsterdam, 1984. P. 11–30.
23. Cawthorn R.G., Merkle R.K., Viljoen M.J. Platinum-group element deposits in the Bushveld Complex, South Africa // The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements. Ed. L.J. Cabri. Otawwa, Ontario. Canad. Inst. Min. Metal. 2002. Spec. V. 54. P. 389–429.
24. Chai G., Naldrett A.J. Petrology and geochemistry of the Jinchuan ultramafic intrusion: cumulate of a high-Mg basaltic magma // J. Petrol. 1992. V. 33. P. 1–27.
25. Naldrett A.J. Mineralogy and composition of the Sudbury ores // The geology and ore deposits of the Sudbury structure. Ontario Geological Survey. Spec. V. 1. 1984. P. 309–325.
26. Pearce J.A. Statistical analysis of major element in basalts // J. Petrol. 1976. V. 17, № 1. P. 15–45.

Рецензент С.В. Прибавкин

Rare-earth elements and elements of platinum group from Pai-Khoi basic magmatites (Yugorskii peninsula)

R. I. Shaybekov

Institute of Geology, Komi Science Centre of Urals Branch of RAS

The study results of Pai-Khoi basic magmatites and their comparative characteristics with the ores deposits known in the world are presented in the article. New research techniques allowed considering the different sides of rare earth and platinum group element distribution. Earlier it had been practically impossible to answer these questions.

Key words: *rare-earth elements (REE), elements of platinum group (EPG), the basic magmatic rock (magmatite), the Pai-Khoi.*