

**НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТРУКТУРЕ И ГЕОХИМИИ ДУКУКСКОГО
ГАББРО-НОРИТ-КОРТЛАНДИТОВОГО МАССИВА КАМЧАТКИ**

Э.Г. Конников¹, В.М. Чубаров², В.А. Полетаев³, П.Г. Бухтияров¹

¹Институт экспериментальной минералогии РАН, ул. Институтская 4, г. Черноголовка, Московская обл., 142432, e-mail: konn@iem.ac.ru

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, бульв. Пийна 9, г. Петропавловск-Камчатский, 683006, e-mail: zond@kscnet.ru

³Комитет природных ресурсов Камчатки, ул. Зеркальная 49, г. Петропавловск-Камчатский, 683024, e-mail: polet@mail.iks.ru

Поступила в редакцию 11 ноября 2008 г.

Дукукский интрузивный массив считается петротипическим для габбро-норит-кортландитового никеленосного комплекса Камчатки. В статье излагаются новые представления о строении Дукукского массива, о соотношении габброидных и ультраосновных пород в нем, а также результаты изучения распределения в массиве примесных элементов, проливающих свет на происхождение исходного расплава норит-кортландитового комплекса и на перспективы обнаружения сульфидной минерализации промышленного типа. Кроме того, приводятся новые данные U-Pb определений возраста Дукукской интрузии, позволяющие конкретизировать время формирования как ее, так и комплекса в целом.

Ключевые слова: *расслоенные интрузии, геохимия, никеленосность, абсолютный возраст, Камчатка.*

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на то, что Дукукский массив рассматривается в качестве наиболее характерного представителя габбро-норит-кортландитового никеленосного комплекса Камчатки, сведения об особенностях его строения и рудоносности в печати достаточно отрывочны, хотя изучался он на протяжении более чем сорока лет сотрудниками Дальневосточного геологического института [13, 15, 16], ГЕОХИ [9], ВЗПИ [4, 5] и собственно камчатскими геологами и сотрудниками Института вулканологии [1, 10, 14]. Сведения о возрасте массива противоречивы. В то время как наиболее “рудоносный” представитель этого комплекса Шанучский массив и наиболее крупный Кувалорогский интрузив имеют надежный эоценовый (49–53 млн лет) возраст [6, 19], Дукукский интрузив Sm-Nd и Rb-Sr (68 млн лет [8]) и ⁴⁰Ar/³⁹Ar (84.3 млн лет [19]) методами датируется поздним мелом, а K-Ar определения возраста по данным геолого-съёмочных работ колеблется в диапазоне 60–157 млн лет. На этом основании может возникнуть представление об образовании в Срединной метал-

логической зоне Камчатки двух разновозрастных никеленосных комплексов. Выполненные в 2005 г. полевые исследования Дукукского массива объединенным отрядом московских и камчатских геологов позволяют получить некоторую дополнительную информацию по затронутым вопросам.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Комплекс работ по изучению Дукукского никеленосного массива состоял в картировании интрузива и вмещающих его пород, отбора образцов пород и проб для геохимических, минералогических и петрографических исследований. Аналитические работы выполнялись в лабораториях ВИМС (г. Москва). Химические анализы пород массива проводились традиционными методами, 26 примесных элементов определялись ICP MS. Внешний контроль анализов осуществлялся повторным исследованием тем же методом 10 % дубликатов проб в ИПТМ РАН (г. Черноголовка) в лаборатории В.К. Карандашева. Минералы изучались на сканирующем электронном микроскопе (TESCAN Vega M 2300) в ИЭМ РАН (Черноголовка), аналитик А.Н. Некрасов. Рентгено-спект-

ральный анализ проводился при усиливающем напряжении 20 kV и силе тока 516 nA на Co-стандарте. Размер электронного пучка на образце был 157 nm, время счета – 70 с. Результаты анализов обрабатывались по INCA-программе Energy-200 и пересчитывались с использованием пакета компьютерных программ, разработанных в ИЭМ РАН.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И СТРОЕНИЕ ДУКУКСКОГО ПЛУТОНА

Дукукский массив расположен в верховье р. Левый Дукук, которая глубоко врезана в висячие ледниковые долины составляющих ее ручьев, благодаря чему интрузивное тело вскрыто по вертикали почти на 900 м и хорошо обнажено. Руслом реки массив разделен на две половины, левую и правую (рис. 1). Согласно ранее высказанным представлениям [10], Дукукский массив представляет собой лополит, подошва которого залегает на глубине 400–700 м от поверхности. Максимальная глубина 700 м предполагается под долиной реки Левый Дукук.

Однако, по данным наших наблюдений, массив не имеет нормальных интрузивных контактов с породами рамы. С юго-запада он надвинут на гнейсограниты колпаковской свиты, судя по тому, что и габброиды, и гнейсы в области их контакта превращены в милониты, это можно наблюдать в обнажениях по кл. Гнейсовому и кл. Московскому. Кристаллизационная сланцеватость в гнейсах колпаковской свиты полого ($\angle 30^\circ$) падает под массив. Крутой тектонический северо-восточный контакт массива с породами камчатской свиты хорошо виден в стенке кара в верховьях руч. Глыбового (рис. 2а). Здесь же можно наблюдать структуры расслоенности в габброидах массива, которые тоже полого, под углом $25\text{--}30^\circ$ падают на северо-восток. Согласно с пологим падением расслоенности к СВ залегает единственный среди габброидов горизонт кортландитов (рис. 2б). Здесь отчетливо виден резкий контакт кортландитов с роговообманковыми такситовыми габбро. В габбро от подошвы кортландитов под острым углом отходит небольшой апофиз, что можно интерпретировать как

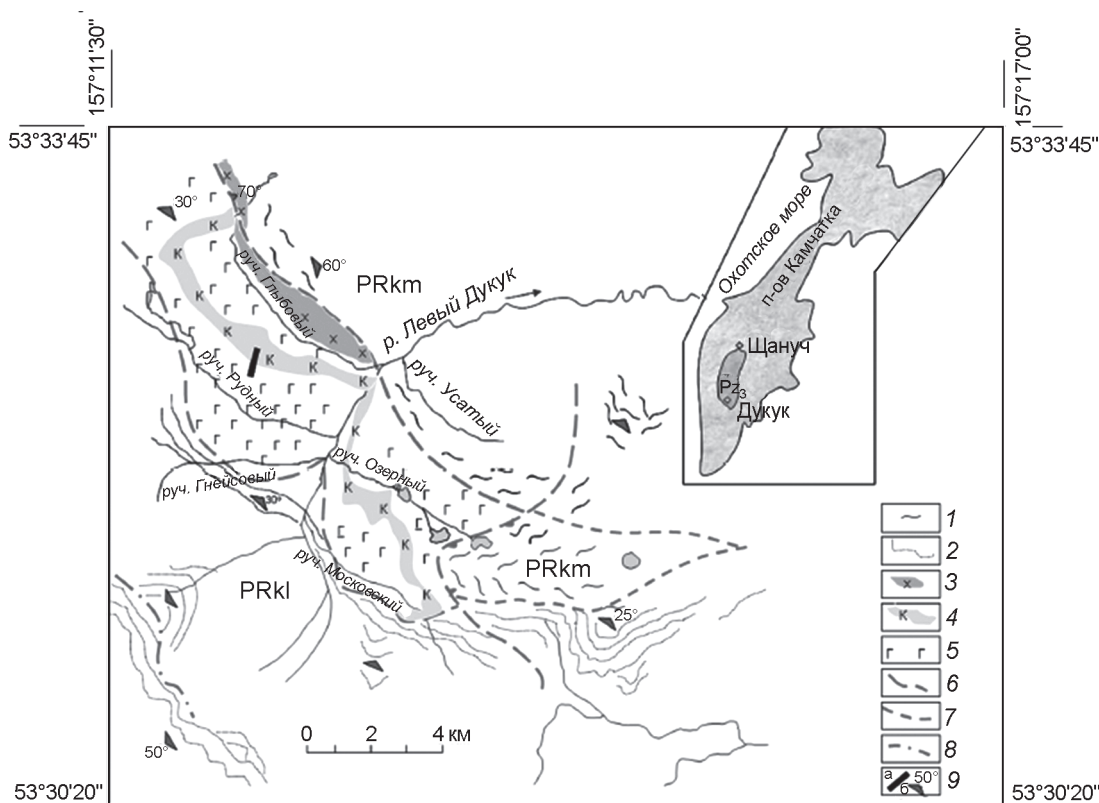


Рис. 1. Геологическое строение Дукукского габбро-норит-кортландитового массива по результатам маршрутных исследований и дешифрирования аэрофотоснимков.

1 – кристаллические сланцы камчатской свиты (PRkm), 2 – то же, колпаковской свиты (PRkl), 3 – граниты, 4 – кортландиты, 5 – роговообманковые габбро и габбродиориты, 6–8 – тектонические нарушения достоверные (6), предполагаемые (7) и по данным дешифрирования (8), 9 – каналы (а) и элементы залегания сланцеватости (б).

инъекцию кортландитового расплава в нижележащие габбро. Но кортландиты не оказывают видимого контактового воздействия на габбро. Вверх по разрезу кортландиты постепенно переходят в оливиновые ортопироксениты, оливиновые нориты, оливиновые габбронориты. Выше кортландитового слоя залегают роговообманковые габбро, петрографически аналогичные тем, которые инъецированы кортландитами в их подошвенной зоне (рис. 2б), но непосредственных контактов их с кортландитами нами не наблюдалось. Судя по соотношениям в подошве, кортландиты либо являются продуктом более поздней инъекции ультраосновного расплава в габброиды, либо представляют собой начало нового ритма расслоенности, как это наблюдается в Кувалорогском массиве

[12]. Столь же неопределенное впечатление о соотношениях кортландитов и габброидов сложилось и у наших предшественников, которые отмечают, что “наряду с постепенными переходами между всеми разновидностями пород (Дукукского) массива наблюдается и прорывание габброидов кортландитами” [2]. Опираясь на приведенные выше наблюдения, мы предполагаем, что Дукукский массив является фрагментом более крупного расслоенного интрузива, зажатого между двумя надвигами на границе блоков кристаллического фундамента, сложенного породами колпаковской и камчатской свит. Расслоенность в массиве имеет пологое падение к северо-востоку. Преобладающая разновидность интрузивных пород в массиве – роговообманковые габбро и габ-

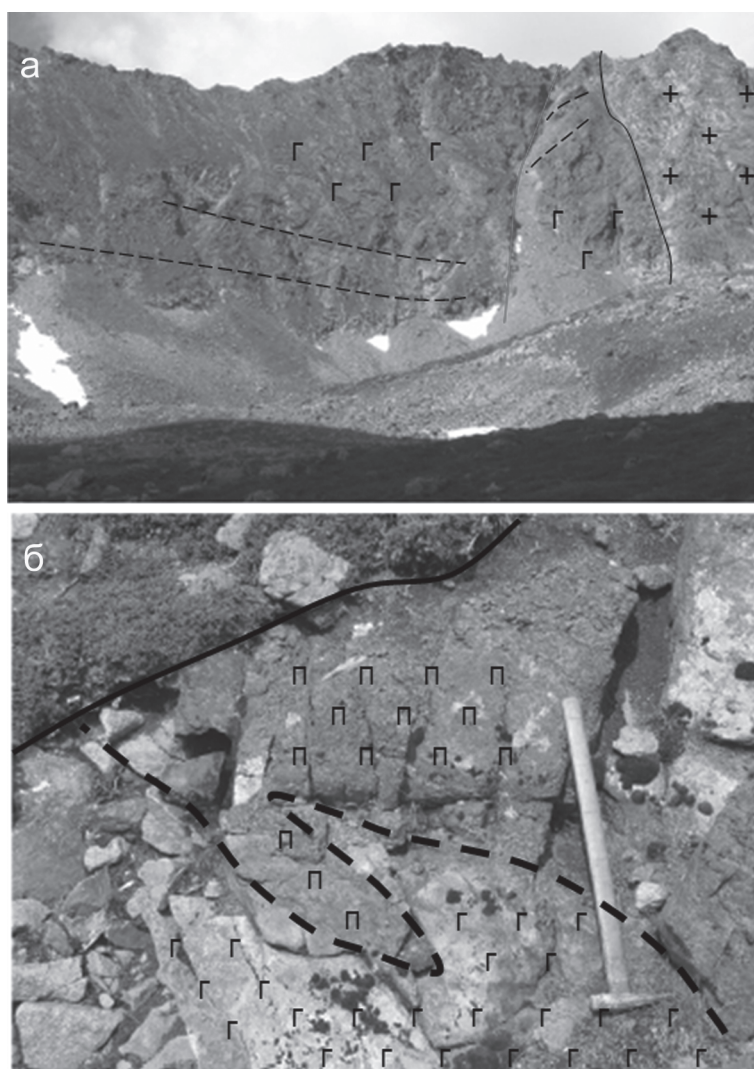


Рис. 2. Вверху – разрез Дукукского массива в юго-восточной стенке ледникового кара, верховья кл. Глыбового. Отчетливо видна расслоенность (штриховые линии) в габброидах (г), разлом (серая линия) и гранитная интрузия (+) в северо-восточном контакте интрузива; внизу – нижний контакт кортландитов (п) и габброидоритов (г) в северо-западной стенке канавы в борту кл. Рудного.

бродиориты, в которых наблюдаются многочисленные останцы углеродистых сланцев, сходных с породами хейванской свиты, и не встречено ни одного останца гнейсов, похожих на окружающие массив протерозойские метаморфические породы. На этом основании можно предположить, что Дукукская интрузия внедрялась в перекрывающие кристаллический фундамент K_{1-2} отложения хейванской свиты, как и расположенная южнее Кувалорогская интрузия. Это подтверждается присутствием в габброидах обоих массивов большого количества графита. Тектоническую структуру, в которой залегает Дукукский массив, можно рассматривать как грабен. Не исключено, что Дукукский массив может оказаться тектоническим отторженцем Кувалорогского плутона.

Петрографо-минералогическая характеристика интрузивных пород. Преобладающая разновидность интрузивных пород Дукукского массива – светло-серые такситовые роговообманковые габбро и габбродиориты, местами постепенно переходящие в темно-серые до черных плагиоклазсодержащие горнблендиты. Среди них согласно с расслоенностью залегает меланократовый горизонт мощностью порядка 150–200 м, состоящий из кортландитов, оливковых пироксенитов, оливковых и роговообманковых норитов и габброноритов (табл. 1).

Кортландиты, оливковые и роговообманковые пироксениты слагают нижнюю часть кортландитового горизонта, а его верхи представлены норитами и габброноритами, которые, по-видимому, являются дифференциатами кортландитового расплава. Кортландиты состоят из кумулусных Ol* (15–20 %; 72–77 % Fo), примерно равных (25–30 %) количеств Орх (Mg# = 74–79 %) и Срх (Mg# = 83 %) и интерстициальных бурой оНб или Prg (Mg# = 77–82 %), Phg (Mg# = 74–87 %) и Pl (59–86 % An), доля которых в породе варьирует от 0 до 15 %. Акцессорные минералы – герцининовая шпинель, ильменит и сульфиды. Пироксениты от кортландитов отличаются малым количеством (~10 %) оливина. Иногда кортландиты переходят в меланотроктолиты, в которых содержится до 30 % плагиоклаза и только единичные зерна пироксенов. В троктолитах характерны келифитовые каймы голубоватого амфибола на границах оливина с плагиоклазом. Следует заметить, что в кортландитах Дукукского массива гораздо чаще

встречается клинопироксен, чем в аналогичных интрузивных породах Кувалорогского массива.

Габбронориты и нориты имеют тот же минеральный состав, что и кортландиты (табл. 1), но в них существенно выше доля плагиоклаза (35–40 %) по отношению к цветным минералам и ниже содержание анортитового компонента (57–61 %) в плагиоклазе. Магнезиальность оливина (66% Fo), пироксенов (Орх – 71 %, Di – 81 %), амфиболов (72–77 %) и слюды (74–78 %) также снижается, но не существенно. Интересно, что как в кортландитах, так и в габброноритах магнезиальность цветных минералов повышается от ранних к более поздним по времени выделения из расплава. Вероятно, это связано с тем, что фракционирование кортландитовой магмы происходило в “закрытой системе”, когда ранее кристаллизующиеся фазы уменьшают в ней “запасы” железа. По сравнению с кортландитами плагиоклаз в габброноритах и норитах является минералом кумулуса. Он образует эвгдральной формы кристаллы, иногда вкрапленники и часто зонален. Роговая обманка также имеет зональную окраску, буровато-коричневую в центре зерен до бледнозеленой по краям. Она образует крупные (1–2 см) ойкокristы, часто в сростаниях с флогопитом, включающие хадакristы плагиоклаза и призмы пироксенов.

Роговообманковые габбро и габбродиориты имеют лейкократовый облик благодаря преобладанию в их составе плагиоклаза, содержащего 42–58 % An. Вторым по распространенности минералом является обыкновенная роговая обманка с Mg# = 62–71 %. Кроме нее в габбро часто присутствует куммингтонит, развивающийся по ортопироксену. Структура пород габбровая с реликтами пойкилитовой за счет крупных выделений роговой обманки. Акцессорные минералы – сфен, апатит, рутил, хромшпинель. Габбродиориты отличаются от габбро присутствием кварца и Ва-содержащего (0.37 % ВаО) калишпата в интерстициях между лейстами плагиоклаза, как правило, более кислого (андезин), чем в габбро. Для этой группы пород также характерны такситовые текстуры, образуемые вследствие неравномерного распределения в породе роговой обманки. Она иногда образует почти мономинеральные скопления в габброидах и жилы с нечеткими контурами, в пределах которых порода соответствует **горнблендитам**. Кроме того, в габбро и габбродиоритах обычно присутствует много линзовидных останцов роговиков (беербахитов) Pl-Amp, Pl-Amp-Px, Gr-Amp-Bi состава, имеющих мелкозернистую нематогранобластовую структуру. Габбродиориты в эндоконтактах с останцами этих роговиков часто содержат пироп-аль-

*Ol – оливин, Орх – ортопироксен, Срх – клинопироксен, оНб – обыкновенная роговая обманка, Prg – паргасит, Phg – флогопит, Pl – плагиоклаз, Di – диопсид, Hz – герцинит, Sp – шпинель, Cr-Sp – хромшпинель, KF – калишпат, Gr – гранат, Amp – амфибол, Ilm – ильменит, Bi – биотит.

Таблица 1. Минеральный состав пород Дукского массива.

Оксиды, мас. %	Проба D26 – Hb – норит				D3/1 – коргандит				D13a – коргандит								
	oPx	Pl**	oHb (Prg)	Phg	Ol	oPx	Pl	oHb	Phg	Ol	oPx	cPx	Pl	oHb (Prg)	Phg	Hz- Sp	Ilm
SiO ₂	53.16	53.78	47.51	40.47	37.97	52.59	50.92	49.61	40.28	38.85	54.98	51.94	46.4	43.52	40.93	0.42	-
TiO ₂	0.33	-	2.18	4.84	-	-	-	0.25	0.36	-	0.24	0.52	-	3.46	1.09	-	54.85
Al ₂ O ₃	2.15	29.16	10.4	15.3	0.24	4.71	30.77	10.37	18.76	-	2.69	3.04	34.1	12.13	16.87	62.88	-
FeO*	17.71	-	8.37	11.36	24.94	16.43	0.3	7.82	8.71	21.93	13.26	5.29	-	6.41	6.53	23.05	45.13
MnO	0.41	-	-	-	-	0.31	-	-	-	0.33	0.37	-	-	-	-	0.17	0.72
MgO	24.24	-	15.79	17.73	36.34	25.62	-	18.03	23.21	39.28	28.28	15.54	-	15.87	24.59	13.02	2.54
CaO	1.53	12.2	12.27	-	-	0.63	14.16	11.45	0.18	-	1.29	22.15	17.97	12.04	-	0.16	0.20
Na ₂ O	-	4.74	1.69	0.7	-	-	3.55	2.1	1.04	-	-	0.56	1.64	1.99	1.55	-	-
K ₂ O	-	-	0.53	8.66	-	-	-	-	7.03	-	-	-	-	0.85	7.98	-	-
Cr ₂ O ₃	-	-	0.44	0.34	-	-	-	-	-	-	0.23	0.48	-	0.82	0.26	-	-
V ₂ O ₅	-	-	0.51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NiO	-	-	-	-	0.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.11	-	-
Сумма	99.53	99.88	99.69	99.4	99.76	100.29	99.7	99.63	99.57	100.39	101.34	99.52	100.11	97.09	99.91	99.7	103.44
En	66.6	-	-	-	-	69.2	-	-	-	-	74.5	40.6	-	-	-	-	-
Fs	27.3	-	-	-	-	24.9	-	-	-	-	19.6	8.4	-	-	-	-	-
Wo	3.0	-	-	-	-	1.3	-	-	-	-	2.4	45.2	-	-	-	-	-
Ch	1.9	-	-	-	-	4.1	-	-	-	-	2.3	2.2	-	-	-	-	-
Eg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.1	-	-	-	-	-
Mg#	71	-	77	74	72	74	-	80	83	76	79	83	-	82	87	50	9
An,%	-	59	-	-	-	-	69	-	-	-	-	-	86	-	-	-	-

Примечание. * – все железо в виде закисного; ** – поскольку в минералах есть ростовая зональность, в таблице приведены только наиболее основные и наиболее магнетитовые разновидности.

Таблица 1. (Продолжение).

Оксиды, мас. %	D14 – OI- пироксенит		D76 – OI-габронорит							DK1 – габронорит				D66 – Hb-габбро			
	OI	oPx	OI	oPx	PI	Prg	Phg	Cr-Sp	PI	oPx	Di	oHb	PI	oHb	KFs***		
SiO ₂	38.27	55.01	36.94	53.56	52.94	41.90	36.88	0.26	53.52	53.44	52.85	51.8	53.45	48.09	64.17		
TiO ₂	-	-	-	0.38	-	-	0.36	0.33	-	0.37	-	0.73	-	1.4	-		
Al ₂ O ₃	-	1.38	-	1.56	29.13	17.77	17.68	30.63	28.67	0.99	1.01	6.95	29.43	10.86	18.23		
FeO*	21.29	12.98	30.29	18.02	-	9.90	9.04	35.53	-	18.45	6.48	9.02	-	10.14	0.30		
MnO	0.36	-	0.25	0.34	-	-	-	-	-	0.33	-	-	-	-	-		
MgO	39.96	29.49	32.71	25.03	-	14.59	18.53	4.68	-	24.98	15.4	17.0	-	15.42	-		
CaO	-	0.76	-	1.20	12.80	11.01	-	-	12.30	1.03	23.05	12.38	11.94	11.89	-		
Na ₂ O	-	-	-	-	4.61	2.98	1.43	-	5.03	-	-	0.85	4.77	1.25	0.47		
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	7.18	-	-	-	-	0.58	-	0.46	15.77		
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	26.78	-	-	-	0.41	-	-	-		
V ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	0.44	-	-	-	-	-	0.36	-		
NiO	-	-	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
ZnO	-	-	-	-	-	-	-	1.56	-	-	-	-	-	-	-		
Сумма	99.88	99.62	100.39	100.09	99.48	98.15	91.11	100.21	99.52	99.59	98.79	99.72	99.59	99.87	98.94		
En	-	78.3	-	68.3	-	-	-	-	-	68.6	43.6	-	-	-	-		
Fs	-	19.3	-	27.5	-	-	-	-	-	29.4	10.3	-	-	-	-		
Wo	-	1.5	-	2.4	-	-	-	-	-	2.0	46.7	-	-	-	-		
Ch	-	0.9	-	0.8	-	-	-	-	-	0.5	-	-	-	-	-		
Eg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Mg#	77	80	66	71	-	72	78	19	-	71	81	77	-	73	-		
An ₃ %	-	-	-	-	61	-	-	-	57	-	-	-	58	-	-		

Примечание. *** – калишпат содержит до 0.37 мас.% BaO.

мандиновый гранат, как в габброидах Кувалорогского массива [7].

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАССИВА

Химический состав и содержание примесных элементов в различных разновидностях пород Дукукского массива приведены в табл. 2 и на рис. 3–6. На бинарных диаграммах, показывающих зависимость концентраций главных породообразующих оксидов от MgO (рис. 3), ареалы фигуративных точек кортландитов и оливиновых габброноритов обычно совпадают (кроме SiO_2 –MgO) с таковыми оливиновых пироксенитов, норитов и роговообманковых норитов, тогда как ареалы роговообманковых габбро и диоритов от них на всех диаграммах существенно дистанцированы. Это хорошо коррелируется с описанными выше соотношениями этих пород в массиве. Разрыв между кортландитами и ОI-пироксенитами по содержанию SiO_2 , вероятно, связан с инконгруэнтным переходом ОI в Орх в пироксенитах, что устанавливается петрографически по корродированным реликтам первого во втором. Обособленность кортландитов от габброидов Дукукского массива также наблюдается на диаграмме Ti–V (рис. 4). Кортландиты попадают в поле континентальных платобазальтов и ВAB, а габброиды – в поле ОIВ. Вместе с тем, обе группы пород располагаются на нормальном боунэновском тренде дифференциации базитовых расплавов, в которых в процессе фракционирования растут концентрации SiO_2 , Al_2O_3 и щелочных оксидов, а содержание железа уменьшается. Возможно, что разрыв в содержаниях MgO между кортландитами и габбро, диоритами связан с ассимиляцией базитовым расплавом терригенных пород рамы, непереработанные останцы которых особенно многочисленны в габбро и диоритах этого массива.

Содержание примесных элементов в породах Дукукского массива превышает их содержание в примитивной мантии примерно на порядок (рис. 5, б). Судя по высоким концентрациям в них Rb, Ba, Pb, Sr, Li и низким Nb, Ta, Hf, Ti, а в габброидах Zr, выплавление родоначального расплава этого интрузивного комплекса было связано с субдукцией континентальной коры в мантийный субстрат. По характеру распределения элементов лантаноидной группы (рис. 6а), магма Дукукской интрузии близка к расплавам, формирующимся в рифтогенных структурах. Это подтверждается сходством мультикомпонентных кривых распределения примесных элементов в рассматриваемом комплексе и в лавах надеждинской свиты из Норильского района (рис. 6б). В особенности это касается глубокого минимума в нормированном распределении Ni, который характерен как для

Дукукской интрузии, так и для надеждинской свиты. Поскольку считается [20], что дефицит никеля в надеждинской свите связан с его переходом в сосуществующую сульфидную жидкость, предполагается, что и Дукукская интрузия сопровождалась образованием несмесимого с ней сульфидного расплава, в который перешло большое количество Ni из силикатного расплава в силу высокого коэффициента его распределения в системе “сульфид–силикат”. По соотношениям в породах этой интрузии Th/Yb (0.2–0.75) и Ta/Yb (0.12–0.15), она примыкает к продуктам плавления деплетированной мантии и магмам ОIВ (рис. 7), в которых доля ассимиляции корового источника не превышала 15–20 % [23].

Обращает на себя внимание большое сходство в последовательности формирования и в петрогеохимических характеристиках интрузий дукукского комплекса с пермскими никеленосными интрузиями Гоби-Тяньшаньского пояса (ГТП), которые считаются производными плюмового магматизма [11]. Во-первых, для пермских интрузий ГТП, как похоже и для Дукукского массива, характерен **антидромный** характер внедрения, когда основность более поздних интрузий растет по отношению к ранним. Во-вторых, на автономность становления кортландитов по отношению к габброидам в Дукукском интрузиве указывает дискретность положения фигуративных точек тех и других на петрохимических диаграммах (рис. 3 и 4). Эта же особенность свойственна интрузивным комплексам ГТП. В-третьих, для Дукука, как для интрузий ГТП, свойственна обогащенность SiO_2 и MgO, чем объясняется преобладание ортопироксена над клинопироксеном в составе обоих комплексов.

ВОЗРАСТ МАССИВА

С целью уточнения возраста Дукукского интрузива из его пород были выделены цирконы, которые были датированы на ионном микрозонде SHRIMP-II в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (С.-Петербург) Н.В. Родионовым.

Отобранные вручную зерна цирконов были имплантированы в эпоксидную смолу вместе с зернами цирконовых стандартов TEMORA и 91500. Затем зерна цирконов были сошлифованы и приполированы примерно на половину их толщины. Для выбора точек датирования на поверхности цирконов использовались оптические и катодо-люминисцентные их изображения, отражающие внутреннюю структуру и зональность цирконов (рис. 8). Измерения U-Pb изотопных отношений на SHRIMP-II проводились по методике, описанной в [25]. Интенсивность первичного пучка молекулярных отрицательно заряженных ионов кислорода составляла 9 нА, диаметр кратера

Таблица 2. Химический состав главных разновидностей пород.

%	Кортландиты			Оп-пирок.	нориты	Оп-габбронор.	Нб-норит	Нб-габбро		диорит
	DK13a	DK3/1	n=2	n=2	n=7	DK7b	DK26	DK6	n=16	n=5
SiO ₂	43.10	43	43.69	53.39	49.9	44.6	52.1	50.6	51.02	54.4
TiO ₂	0.57	0.52	0.6	0.58	0.7	1.15	0.65	0.47	1.49	1.57
Al ₂ O ₃	7.84	9.2	11.83	4.94	8.37	11.5	8.88	18.7	13.26	17.89
Fe ₂ O ₃	1.39	3.41	6.17	4.63	4.64	1.46	0.87	0.83	2.86	1.87
FeO	6.93	9.49	8.23	9	8.46	8.64	8.08	4.49	7.91	6.72
MnO	0.07	0.06	0.21	0.19	0.18	0.06	0.03	0.02	0.14	0.11
MgO	23.40	21.1	16.03	20.56	17.84	18.4	17.3	8.56	10.6	5.13
CaO	9.32	4.54	7.08	2.19	5.19	7.14	4.68	9.57	7.16	6.07
Na ₂ O	0.95	1.15	1.38	0.77	1.07	2.1	1.6	2	2.13	3.09
K ₂ O	0.39	0.28	0.39	0.56	0.38	0.42	0.46	0.5	0.77	1.25
P ₂ O ₅	н. опр.	н. опр.	0.05	0.11	0.06	н. опр.	н. опр.	н. опр.	0.24	0.39
SO ₃	1.70	4.98	0.4	0.42	0.43	0.65	0.58	0.48	0.27	0.09
CO ₂	0.64	0.12	0.13	н. опр.	0.06	0.06	<0.05	0.12	0.1	0.03
H ₂ O-	0.24	0.19	0.3	0.28	0.3	<0.1	0.23	1.23	0.28	0.18
H ₂ O+	н. опр.	н. опр.	2.03	1.99	1.54	3.02	1.83	н. опр.	1.6	1.23
П.п.п.	2.68	2.53	1.43	н. опр.	н. опр.	0.44	1.79	1.61	н. опр.	н. опр.
Σ	99.22	100.57	99.95	99.61	99.12	99.64	99.08	99.18	99.83	100.02
ppm										
Cr	1700	280	-	-	-	900	740	61	-	-
Ni	260	2800	-	3885	-	390	200	13	-	-
Co	120	280	-	-	-	120	69	33	-	-
Cu	88	1400	-	1305	-	110	43	12	-	-
Zn	86	130	-	84	-	120	130	83	-	-
Ga	10	12	-	-	-	19	15	24	-	-
As	<3	28	-	-	-	<3	<3	<3	-	-
Li	3.7	11	-	-	-	7.1	9.2	8.7	-	-
Be	0.28	0.23	-	-	-	0.5	0.4	0.58	-	-
Cs	0.18	0.5	-	-	-	0.89	0.37	0.27	-	-
Rb	6.6	7.8	-	6	-	14	18	14	-	-
Ba	110	71	-	52	-	98	190	150	-	-
Th	0.9	0.66	-	-	-	0.95	0.36	0.81	-	-
U	0.27	0.19	-	-	-	0.23	0.11	0.19	-	-
Nb	2.9	3.1	-	3	-	5.3	1.9	4	-	-
Ta	0.18	0.17	-	-	-	0.29	0.07	0.18	-	-
La	5.8	4.5	-	-	-	6.8	6.9	8.6	-	-
Ce	13	8.9	-	-	-	15	15	20	-	-
Pb	2.6	5.2	-	27	-	1.7	3.4	5	-	-
Pr	2	1.3	-	-	-	2.3	2	3.2	-	-
Sr	190	180	-	49	-	290	230	740	-	-
Nd	9.1	5.8	-	-	-	11	8.9	15	-	-
Zr	130	82	-	43	-	210	31	53	-	-
Hf	1.4	0.97	-	-	-	2	0.5	0.9	-	-
Sm	3.1	1.8	-	-	-	3.1	2.4	3.9	-	-
Eu	0.71	0.6	-	-	-	1.1	1.1	1.3	-	-
Gd	2.5	2	-	-	-	3.4	2.6	3.5	-	-
Tb	0.41	0.38	-	-	-	0.57	0.43	0.53	-	-
Dy	2.4	2.4	-	-	-	3.5	2.7	3	-	-
Ho	0.51	0.52	-	-	-	0.73	0.59	0.64	-	-
Y	16	15	-	15	-	24	11	20	-	-
Er	<3	<3	-	-	-	<3	<3	<3	-	-
Tm	0.18	0.18	-	-	-	0.28	0.26	0.24	-	-
Yb	1.2	1.2	-	-	-	1.9	1.8	1.5	-	-
Lu	0.18	0.17	-	-	-	0.28	0.3	0.25	-	-

Примечание. -- нет данных, n.d. – не определялось.

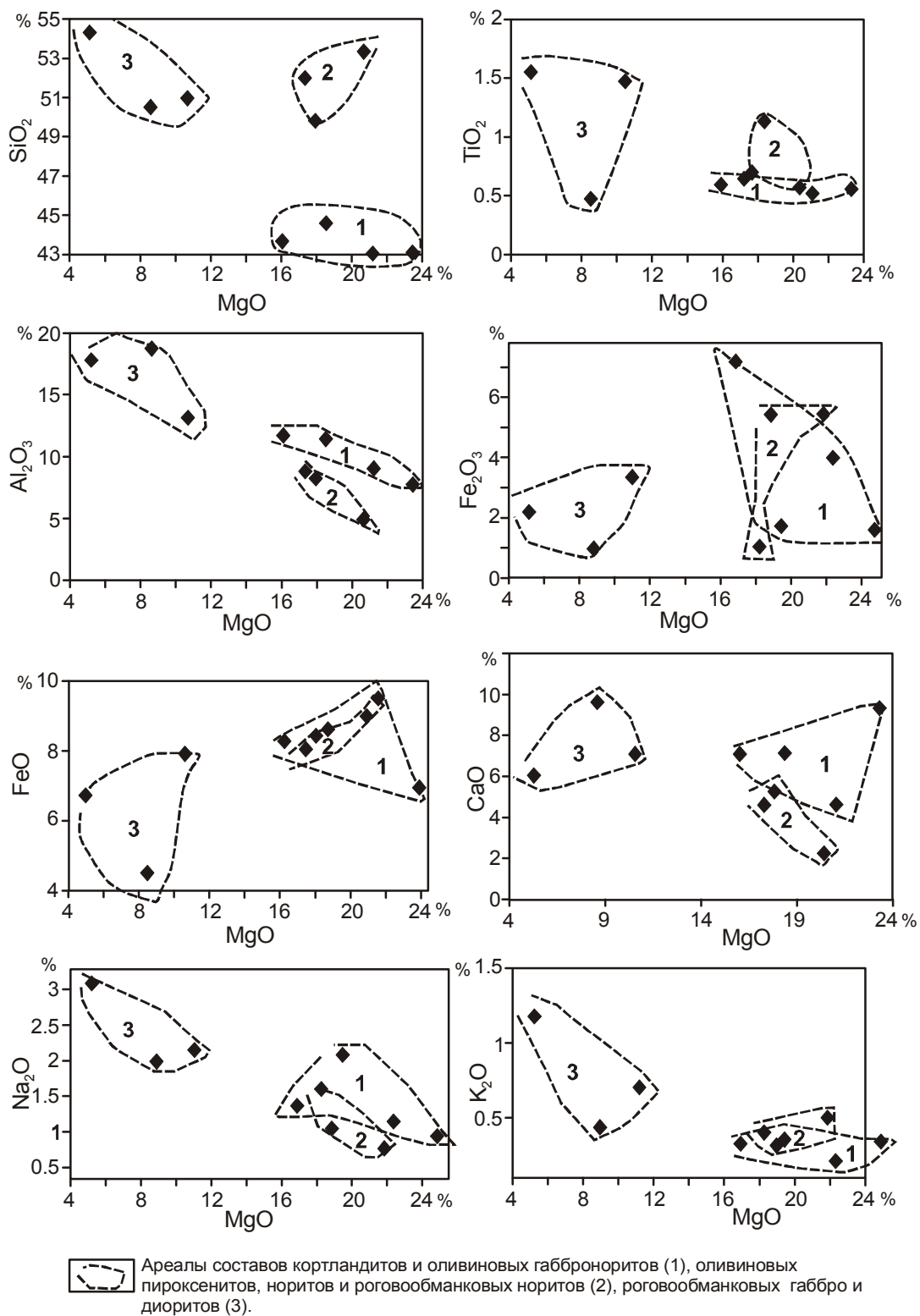


Рис. 3. Бинарные диаграммы химического состава интрузивных пород Дукукского массива.

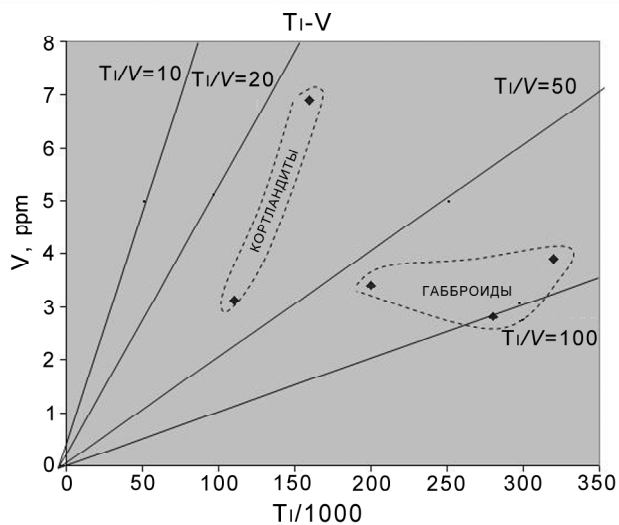


Рис. 4. Положение составов кортландитов и габброидов Дукукского массива на диаграмме Ti-V.

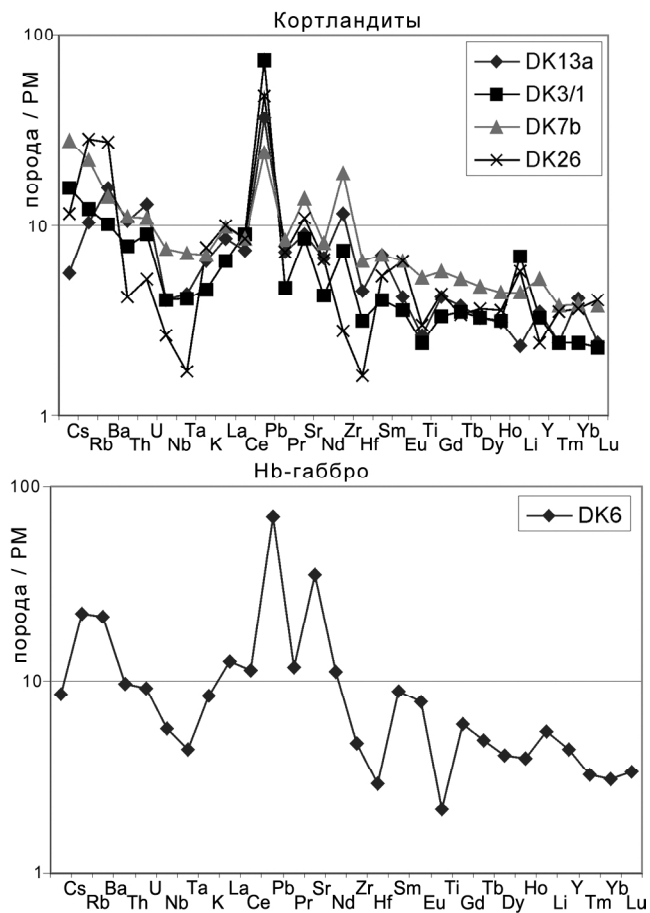


Рис. 5. Мультикомпонентные диаграммы распределения примесных элементов в породах Дукукского массива.

DK13a, DK3/1 – кортландиты, DK7b – оливиновый габбро-норит, DK26 – роговообманковый норит, DK6 – роговообманковое габбро.

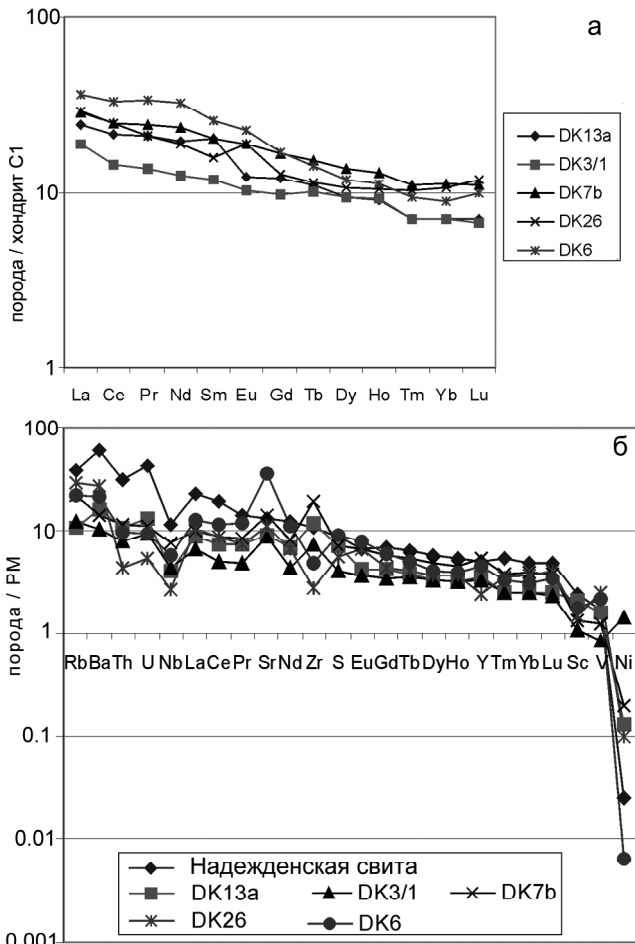


Рис. 6. а – распределение РЗЭ в породах Дукукского массива, б – сравнение распределения примесных элементов в надеждинской свите Норильского района и породах Дукукского интрузива.

(Условные обозначения аналогичны рис. 5).



Рис. 7. Бинарная диаграмма Th/Y – Ta/Y, по [14], и положение на ней составов пород Дукукского массива.

составлял 25 мкм. Обработка полученных данных осуществлялась по программе SQUID [22]. Уран-свинцовые отношения нормализовались на значение 0.0668, приписанное стандартному циркону TEMORA, что соответствует возрасту этого циркона 416.75 млн лет [18]. Погрешности единичных анализов (отношений и возрастов) приводятся на уровне 1 σ, погрешности вычисленных конкордантных возрастов – на уровне 2σ. Построение графиков с конкордией проводилось с использованием программы ISOPLOT/EX [21]. Для получения значений возраста из измеренных величин отношений $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$, $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ использовался метод, описанный в [17]. Исходя из предположения об однородности цирконов, строилась линия смешения между радиогенной и обыкновенной компонентами в координатах Тера-Вассер-

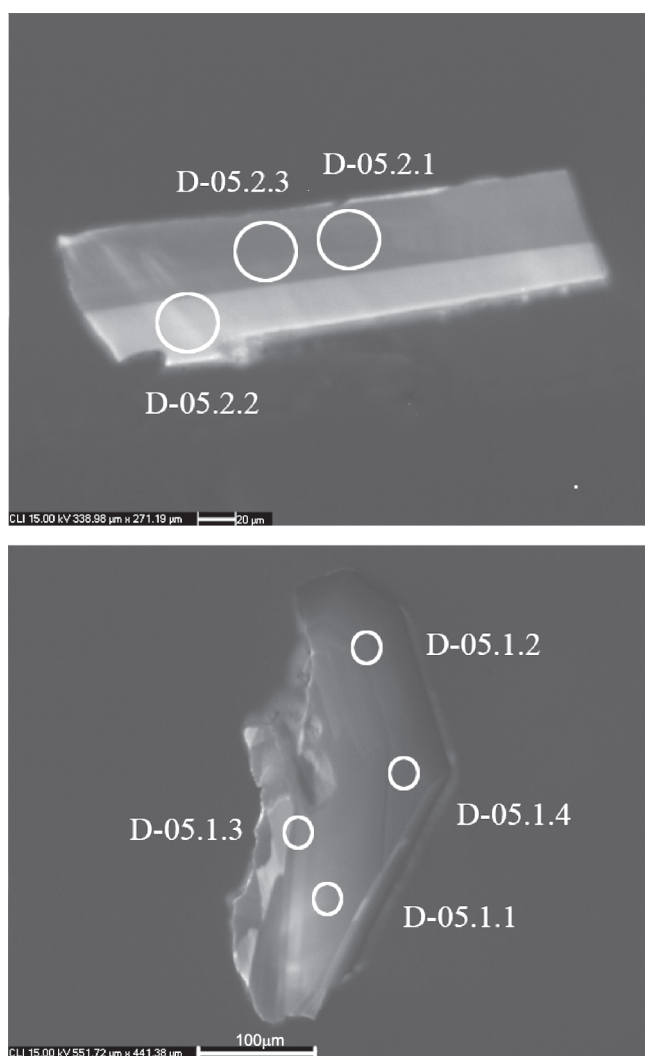


Рис. 8. Снимки зональных цирконов из габброидов Дукукского массива в лучах катодо-люминесценции и положение пунктов масс-спектрометрического изучения; номера соответствуют номерам точек анализов в табл. 3.

Таблица 3. Результаты геохронологического изучения цирконов из пород Дукукского массива на SHRIMP-II.

№	Точки анализа	$^{206}\text{Pb}_c, \%$	U, ppm	Th, ppm	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}_R$	(1) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	(2) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	(3) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	Total			
										$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm\%$
1	D-05.1.1	1.69	529	254	0.50	3.81	52.9 ± 1.2	52.7 ± 1.1	52.7 ± 1.2	119.3	2.0	0.0627	5.0
2	D-05.2.1	0.92	590	326	0.57	4.48	56.3 ± 1.3	55.9 ± 1.2	56.0 ± 1.3	113	2.1	0.0602	5.6
3	D-05.2.2	6.01	145	56	0.40	1.22	59.1 ± 3.1	55.1 ± 2.1	57.4 ± 2.8	102	3.3	0.146	8.4
4	D-05.1.2	0.37	1518	434	0.30	10.8	53.0 ± 0.9	52.9 ± 0.9	53.1 ± 0.9	120.6	1.6	0.0523	3.3
5	D-05.1.3	3.16	466	200	0.44	3.26	50.6 ± 1.4	50.5 ± 1.2	51.3 ± 1.4	122.8	2.3	0.0735	5.1
6	D-05.2.3	1.75	602	352	0.60	4.81	58.6 ± 1.5	58.0 ± 1.5	57.6 ± 1.6	107.6	2.4	0.0691	8.6
7	D-05.1.4	0.17	1580	589	0.39	11.3	53.1 ± 0.8	52.9 ± 0.8	53.1 ± 0.8	120.6	1.5	0.0513	2.3

Примечание. ошибка – 1σ Pb_c, Pb_R – общий и радиогенный свинец, соответственно; ошибка стандартной калибровки – 0.63 %; (1) – возраст, скорректированный на ^{204}Pb , (2) – то же, по $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ – $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ возрастная конкордия, (3) – то же, по $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ – $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{U}$ возрастная конкордия.

бурга [24]. Пересечение линии смещения с осью ординат задавалось значением $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}=0.83$.

Результаты выполненных геохронологических исследований цирконов Дукукского массива приведены в табл. 3, а конкордия, построенная по этим данным – на рис. 9. Согласно полученным результатам, Дукукский интрузив сформировался 53.6 ± 2 млн лет назад, т.е. в раннем эоцене. Это хорошо согласуется с результатами геохронологического изучения других интрузивных массивов габбро-норит-кортландитового комплекса Камчатки, в частности, Шанучского [19] и Кувалорогского [6]. Учитывая полученные геохронологические данные, нет оснований для выделения в регионе двух возрастных рубежей проявления никеленосных мафит-ультрамафитовых интрузий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, проведенные исследования Дукукского габбро-норит-кортландитового массива позволяют сделать следующие выводы.

1. Дукукский массив является тектоническим фрагментом более крупного расслоенного плутона, состоящего из роговообманковых габбро и диоритов, чередующихся с прослоями кортландитов, оливинных пироксенитов, габброноритов и норитов. Этот фрагмент залегает в грабенообразной структуре среди пород кристаллического основания Камчатской островной дуги. Судя по наблюдаемым соотношениям и контрастности составов, кортландиты внедря-

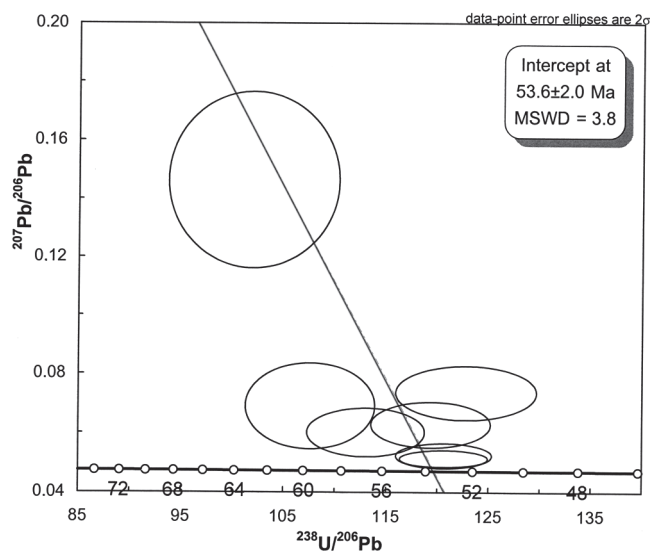


Рис. 9. U-Pb диаграмма с возрастной конкордией по результатам масс-спектрометрического изучения цирконов из габброидов Дукукского массива.

лись позже преобладающих в массиве амфиболовых габбро и диоритов.

2. Геохимические особенности Дукукской интрузии позволяют сделать вывод о ее формировании в процессе рифтогенеза в задуговой области из исходной магмы, сходной с плато базальтами и ОИВ. Деплетированность этой интрузии никелем по сравнению с примитивной мантией позволяет надеяться на ее высокую продуктивность в отношении промышленного сульфидного оруденения.

3. Результаты геохронологических исследований цирконов на микрозонде SHRIMP-II позволяют утверждать, что Дукукская интрузия образовалась в раннем эоцене, как и все наиболее значительные интрузивные массивы габбро-норит-кортландитовой формации в Камчатском регионе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байков А.И., Кутыев Ф.Ш. Медно-никелевое сульфидное оруденение Камчатки // Никеленосные базит-гипербазитовые комплексы Украины, Урала, Сибири и Дальнего Востока. Апатиты, 1988. С. 59–61.
2. Госгеолкарта РФ. 500 000. Лист N-57. Петропавловск-Камчатский: Объясн. зап. СПб: Изд-во СПб картфабрика ВСЕГЕИ, 1999. 206 с.
3. Евстигнеева Т.Л., Минеев С.Д., Чубаров В.М. и др. Некоторые вопросы минералогии и генезиса сульфидных никелевых руд Центральной Камчатки // Никеленосность базит-гипербазитовых комплексов Украины, Урала, Сибири и Дальнего Востока. Апатиты: Изд-во ГИ КФ АН СССР, 1988. С. 63–69.
4. Жегалова Г.В. Меланж в массивах габбро-норит-кортландитового комплекса Срединного хребта Центральной Камчатки // Геотектоника. 1981. № 3. С. 105–111.
5. Жегалова Г.В. Структурный контроль медного и медно-никелевого оруденения Центральной Камчатки // Геология и геофизика. 1981. № 6. С. 43–50.
6. Конников Э.Г., Чубаров В.М., Травин А.В. и др. Время проявления никеленосной норит-кортландитовой формации на востоке Азиатского континента // Геохимия. 2006. № 5. С. 564–570.
7. Конников Э.Г., Некрасов А.Н., Орсов Д.А. и др. Гранатосодержащие габброиды никеленосной Кувалорогской интрузии Камчатки // Геология и геофизика (в печати).
8. Ланда Э.А., Марковский Б.А., Беляцкий Б.В. и др. Возраст и изотопные особенности альпинотипных, зональных и расслоенных мафит-ультрамафитовых комплексов Камчатки // Докл. РАН. 2002. Т. 385, № 6. С. 812–815.
9. Минеев С.Д. Закономерности распределения изотопов серы в породах зоны сочленения океан-континент: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. Москва, 1991. 25 с.
10. Полетаев В.А. Камчатская платиноидно-никеленосная зона – геология и рудоносность: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. Москва, 2004. 22 с.
11. Поляков Г.В., Изох А.Э., Борисенко А.С. Пермский ультрабазит-базитовый магматизм и сопутствующее Cu-Ni оруденение Гоби-Тяньшаньского пояса как результат Та-

- римского плюма // Геология и геофизика. 2008. Т. 49, № 7. С. 605–620.
12. Селянгин О.Б. Новые данные о строении и эволюции никеленосного интрузива Кувалорог, Южная Камчатка // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. Вып. 9. № 1. С. 111–126.
 13. Старков Г.Н. Петрография и рудоносность кортландитовых комплексов Южной Камчатки: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. Владивосток, 1971. 22 с.
 14. Чубаров В.М. Минералого-геохимическая зональность рудоносных комплексов Центральной Камчатки // Никеленосные базит-гипербазитовые комплексы Украины, Урала, Сибири и Дальнего Востока. Апатиты. 1988. С. 69–72.
 15. Щека С.А., Старков Г.Н. О сопряженности состава интрузивов и литолого-фациального состава вмещающих толщ на примере базитов и гипербазитов Камчатки // Докл. АН СССР. 1968. Т. 181, № 3. С. 710–713.
 16. Щека С.А., Чубаров В.М. Никеленосные кортландиты Камчатки // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1987. № 12. С. 50–61.
 17. Baldwin S.L., Ireland T.R. // *Geology*. 1995. V. 23. P. 1023–1026.
 18. Black L.P., Kamo S.L. TEMORA 1: a new zircon standard for U-Pb geochronology // *Chemical Geology*. 2003. V. 200. P. 155–170.
 19. Bundtzen T.K., Sidorov E.G., Layer P.W. et al. *Geology, geochemistry and new isotopic ages of selected PGE-Cr and PGE-Ni-Cu bearing mafic-ultramafic complexes in the Farewell and Godnews Bay terranes, Alaska and Sredinny terrane, Kamchatka peninsula region, Russia Far East // Tectonics, magmatism and metallogeny*. Vladivostok: Dalnauka, 2004. P. 83–85.
 20. Lightfoot P.C., Hawkesworth C.J., Hergt J. et al. Remobilisation of continental lithosphere by a mantle plume: major-, trace-element, and Sr-, Nd-, and Pb-isotope evidence from picritic and tholeiitic lavas of the Noril'sk District, Siberian Trap, Russia // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1993. V. 114. P. 171–188.
 21. Ludwig K.R. User's manual for Isoplot/Ex, Version 2.10. A geochronological toolkit for Microsoft Excel // Berkeley Geochronological Center Special Publication. No1a, 2455 Ridge Road, 1999. Berkeley CA 94709, USA.
 22. Ludwig K.R. SQUID 1.00, A User's Manual; Berkeley Geochronological Center Special Publication. N 2. 2455 Ridge Road, 2000. Berkeley CA 94709, USA.
 23. Maier W.D., Barnes S.J., Chinyepi G et al. The composition of magmatic Ni-Cu PGE sulfide deposits in the Tati and Selebi-Phikwe belts of eastern Botswana // *Min. Dep.* 2008. V. 43, N 1. P. 37–60.
 24. Tera F., Wasserburg G.I. // *Earth and Planet. Sci.Lett.* 1972. V. 17. P.36–51.
 25. Williams I.S. U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe // McKibben, M.A.Shanks III, W.C.and Ridley W.I. (eds). *Application of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes // Reviews in Economic Geology*. 1998. V. 7. P. 1–35.

Рекомендована к печати А.В. Колосковым

E.G. Konnikov, V.M. Chubarov, V.A. Poletaev, P.G. Bukhtiyarov

New data on the structure and geochemistry of the Dukuk gabbro-norite-cortlandite massif of Kamchatka

The Dukuk intrusive massif is considered petrotypical for the gabbro-norite-cortlandite complex of Kamchatka. This paper offers new ideas concerning the Dukuk massif's inner structure and relations between mafic and ultramafic rocks within it, and also the results of investigation of trace element distribution in the massif shedding light on the origin of the initial melt of the norite-cortlandite complex and on the prospects of detection of commercial sulfide mineralization in it. Besides, new evidence of U-Pb age determination of the Dukut intrusion is presented allowing us to specify the time of formation of both the intrusion and the complex as a whole.

***Key words:* layered intrusions, geochemistry, nickel content, absolute age, Kamchatka.**