

ЛОКАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 549.2 (571.5)

А. В. ОКРУГИН, д. чл. Б. В. ОЛЕЙНИКОВ, Н. В. ЗАЯКИНА,
д. чл. Н. В. ЛЕСКОВА

САМОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В ТРАППАХ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Изучение базальтового вещества, доставленного из различных районов Луны, которое в данное время можно принять не только за эталон детальности разнообразных минералогических исследований, но и за пример соблюдения необходимых мер предосторожности, максимально исключающих возможность техногенного загрязнения или засорения его земными продуктами, показало присутствие в нем акцессорных фаз, образованных в восстановительной обстановке. В их число входят минералы самородных элементов (Fe, тэнит, Cu, Sn, Ni, In, Al, графит), природные сплавы (α -латунь, Fe+Cr, сплав, включающий в себя Cu, Ni, Zn и Fe), карбиды (муассанит, когенит, оксикарид алюминия), фосфиды — шрейберзит (Фрондел, 1978; Ашихмина и др., 1979; Барсуков и др., 1979). Находки некоторых из перечисленных минералов в лунном веществе оказались настолько неожиданными, что даже несмотря на принятие строжайших мер предосторожности, исключающих техногенное загрязнение, на наличие сростков части таких экзотических фаз с породообразующими минералами лунных пород, некоторые исследователи высказывали те или иные сомнения в их природном происхождении.

В свете установленного факта наличия в лунном базитовом веществе большого разнообразия фаз восстановительного этапа минералообразования целесообразно проанализировать видовой состав минералов самородных элементов, обнаруженных в базитах Земли. Авторы в качестве объекта для такого исследования обратились к доминирующим на земной поверхности продуктам толейитового магматизма, представленных породами трапповой формации. Исследование акцессорных минералов траппов Сибирской платформы позволило показать постоянное присутствие среди них разнообразных металлических фаз. В их числе самородные металлы — Fe, Cu, Zn, Pb, Sn, Cd, Al, никелистая медь, а также графит, металлическое соединение — цинковая медь (α -латунь), интерметаллические соединения CuZn (β -латунь), SnSb (стистаит), Al_2CuMg (S-фаза) и силицид магния Mg_2Si . Если этот список дополнить нахождением в веществе трапповых интрузивов муассанита (Горяинов и др., 1976; Олейников и др., 1977, и др.), когенита (Баженов и др., 1949), карбида вольфрама (Маракушев, Генкин, 1972), наличием шрейберзита в базальтах о. Диско (Vaasjoki, 1965), то принципиальная тождественность видového состава минералообразования восстановительного этапа эволюции расплавов земных и лунных базитов станет очевидной.

МЕТОДИКИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ САМОРОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ИССЛЕДОВАНИЯ ИХ ФАЗОВОГО И ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА

Из перечисленных самородных фаз визуально в штуфах долеритов Сибирской платформы наблюдались лишь два минерала — теллурическое железо, самородная медь и ее никелистая разновидность. Все остальные

минералы извлечены из различных фракций искусственных шлихов проб весом в 1—5 кг, отобранных из пород разновозрастных интрузивных и эффузивных базитов Сибирской платформы. Дробление таких проб осуществлялось в лабораторных условиях с использованием обычной техники обогащения с максимально тщательной очисткой обогатительного и дробильного оборудования. Такой способ извлечения аксессуариев вызвал большое сомнение (Соболев, 1979) относительно природного происхождения ряда перечисленных минералов самородных элементов и их сплавов, особенно это касалось самородного алюминия. Ряд косвенных признаков природного генезиса самородного алюминия был рассмотрен авторами (Олейников и др., 1978). Частично повторяя эти положения и дополняя их, укажем, что первоначально самородный алюминий был обнаружен нами случайно в тяжелой неэлектромагнитной фракции искусственного шлиха анортзитовых габбро-долеритов Биллээхского интрузива в 1977 г. Не исключая варианта техногенного загрязнения, авторы, приняв все меры предосторожности, провели целенаправленные поиски подобных находок в других интрузивах и обнаружили самородный алюминий еще в четырех телах. В числе последних дайка ОБ-255, из пород которой авторы летом 1978 г. извлекли самородный алюминий из элювиально дезинтегрированной дресвы габбро-долерита, взятой из заготовки. Дресва промывалась непосредственно в поле на деревянном лотке, затем шлик был изучен под бинокляром, в нем найден самородный алюминий, и, кроме того, из того же шлиха был выделен муассанит. Указанное местонахождение, как и все остальные местонахождения самородного алюминия, располагается в отдаленной ненаселенной местности, что исключает возможность техногенного загрязнения проб на месте их взятия.

Лишь только после тщательной проверки авторы окончательно убедились в природном происхождении самородного алюминия и опубликовали материалы своих исследований (Олейников и др., 1978). После нашей публикации стало известно о находках самородного алюминия в породах дна Тихого океана (Штеренберг, Васильева, 1979), лунном грунте (Ашихмина и др., 1979) и кварцевых жилах Южного Урала (Новгородова, 1979). В последнем случае он образует визуально видимые индивиды в кварце и сростается с самородным свинцом. Все это окончательно должно положить конец сомнениям относительно возможности природного образования самородного алюминия.

Завершая рассмотрение вопроса о вероятности техногенного загрязнения фракций искусственных шлихов изученных нами траптовых пород, укажем, что в состав орудий обработки проб никогда не входили изделия, изготовленные на основе практически чистых металлов, таких как Cu, Cd, Fe, Zn, Al; а также сплавов переменного состава тройной системы Sn—Pb—Sb, минералы которых обнаружены в составе аксессуарных фаз. Наконец, никак нельзя считать случайным и объяснить техногенным загрязнением факт резкого (на порядок и более) возрастания содержания минералов восстановительной обстановки образования в породах траптовых тел с анортзитовой тенденцией дифференциации сформировавшей их магмы. Отмеченный геологический контроль пород с относительно высокими содержаниями самородных металлов, на наш взгляд, является важным убедительным и неоспоримым аргументом в пользу природного происхождения сделанных находок.

Аксессуарные минералы подвергались разностороннему минералогическому исследованию. Внутреннее строение и структура зерен изучены в полированных препаратах, смонтированных в шашки из эпоксидной смолы. Химический состав определен на рентгеновском микроанализаторе. Условия анализа: микросонд JXA-50A, ускоряющее напряжение 20 кВ, ток образца 50 нА; эталоны PbS, Sb₂S₃, чистые Fe, Cu, Zn, Sn, Cd, Al,

Mg, Sr и Si, а также хромистый пироп (обр. УД-92) при определении Ca, Ti и гранат (образец «ИГЕМ») при анализе Mn. Каждая фаза исследовалась также рентгенометрически.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ВОЗРАСТНЫХ И ПЕТРОХИМИЧЕСКИХ ТИПАХ ТРАПОВЫХ ТЕЛ

Акцессорные минералы изучались в породах самых разнообразных возрастных и петрохимических типов траптовых интрузивов междуречья Енисея и Лены. В восточной части Сибирской платформы, в зоне Тунгусской и Вилюйской синеклиз известны различные типы тел среднепалеозойской и позднепалеозойской—раннемезозойской траптовой формаций. Среднепалеозойские образования представлены недифференцированными или слабодифференцированными телами габбро-долеритов и долеритов, становление которых контролировалось Вилюйско-Мархинской магмоподводящей зоной. К этой возрастной группе тел принадлежат Цепочечный интрузив, Накынский силл и Эркютейская дайка, а также Усть-Ханьинский трещинный интрузив. Последнее тело — один из примеров траптовых интрузивов, магма которых претерпела аортозитовую тенденцию дифференциации в глубинном промежуточном очаге (Олейников, Томшиц, 1976). Среди тел позднепалеозойской—раннемезозойской траптовой формации на восточной окраине Тунгусской синеклизы доминируют недифференцированные и слабодифференцированные массивы габбро-долеритов, долеритов, оливинных долеритов, которые изучены на примере пластовых тел в бассейнах рек Большая Ботубобия, Холомолох и Ыгыатта. Реже встречаются дифференцированные залежи, состав пород которых изменяется от троктолитовых габбро-долеритов до разнообразных ферро-габбро и гранофилов (Эрбейэкский интрузив). Тела с горизонтом аортозитовых габбро-долеритов в этой возрастной группе распространены также весьма ограниченно и представлены Биллээхским и Чаллараттахским интрузивами в бассейне среднего течения р. Вилюй (Олейников и др., 1973). Исследован состав акцессорных минералов среднепалеозойских оливинофировых базальтов, обнаженных в бортах Ыгыаттинской впадины, расположенной в районе междуречья нижнего течения Мархи и Вилюя. Привлекается также материал по среднепалеозойским и позднепалеозойским траптовым интрузивам северо-востока Сибирской платформы, локализованным в пределах Куойкской магмоподводящей зоны, район нижнего течения р. Оленек. В бассейне среднего течения р. Нижняя Тунгуска исследованы породы Амовского интрузива, в составе которого присутствуют лейкократовые разновидности габбро-долеритов, фиксирующие проявление аортозитовой тенденции дифференциации исходной магмы в глубинном промежуточном очаге.

Все вышеперечисленные базитовые тела сформированы расплавом толейит-базальтового исходного состава. Джалтульский интрузив, расположенный в северо-западной части Сибирской платформы, — пример залежей, образованных в ходе кристаллизации повышенномагнезильной серии толейитового траптового расплава. Разнообразные самородные металлы обнаружены также в продуктах кристаллизации расплавов пикрит-базальтовой серии, которые в Норильском районе изучались на примере интрузивов Норильск II, Нижнефокинский и Черногорский. Таким образом, акцессорные минералы, рассматриваемые в данном сообщении, установлены в продуктах петрохимически различных групп интрузивов Сибирской платформы, производных как нормального толейитового расплава, его щелочной и магнезильной ветвей, так и образований пикрит-базальтовой серии. В каждой группе изучены интрузивы, расплавы которых характеризовались различной степенью дифференциации как во внутрикамерных условиях, так и в докамерной обстановке.

САМОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ БАЗИТОВ

1. Породообразующие элементы

Железо. Самородное железо в трапхах Сибирской платформы описывалось рядом исследователей (Баженов и др., 1959; Буторин, 1975; Горяинов и др., 1976; Горяинов, Архипова, 1978). Нами в магнитной фракции габбро-долеритов Усть-Ханьинского (ОБ-243),¹ Биллээхского (ОБ-54-4д), Черногорского интрузивов и оливинофирового базальта из района Бгыаттинской впадины установлены единичные выделения магнитных фаз, имеющих шаровидную форму. Размеры их колеблются от 0.1 до 0.5 мм в диаметре. Цвет черно-серый до черного, иногда с синеватой побежалостью. Поверхность ровная, реже шероховатая. На свежем изломе наблюдается смолистый блеск. В некоторых из этих образований центральная зона (ядро) выполнена самородным железом. Форма выделения железа — почти идеальные шары, расположенные как в центре, так и смещенные к краю шарика-хозяина. В одном случае наблюдались два шаровидных включения железа, находящиеся на периферии такого обособления. Размер выделений железа не превышает 0.2 мм. По составу минерал представляет собой практически почти чистое железо (99—100% Fe). Какие-либо примеси других элементов (Ni, Co, Cr, Cu, Mn, Mg, Ti, Al и Si) в пределах чувствительности рентгеноспектрального анализа в минерале не установлены. По составу оболочка, вмещающая самородное железо, отвечает кремнийсодержащему титано-марганцевому феррошпинелиду, детальному описанию которого будет посвящена специальная публикация.

Рентгенографическими исследованиями устанавливается обычно наличие в шариках трех фаз: минерала со структурой типа шпинели, иоцита и самородного железа (табл. 1). Исследование магнитных шариков после извлечения из них ядра самородного железа подтверждает, что окружающая их масса состоит из шпинелида и иоцита. Следует отметить, что рентгенограммы вещества самородного железа, извлеченного из магнитных шариков пород разных тел, при совпадении межплоскостных расстояний качественно различаются между собой. Линии α -Fe обр. ОБ-243 (Усть-Ханьинский интрузив) в отличие от таковых в препарате обр. ОБ-54-4д (тело Биллээх) очень размыты, что можно объяснить более мелким размером кристаллических блоков железа в первом образце. В обоих случаях, кроме линий α -Fe, наблюдаются слабые линии, соответствующие наиболее сильным отражениям иоцита. При извлечении самородного железа из обр. ОБ-243 на поверхности железа остались небольшие частицы окружающей фазы, что зафиксировано на его рентгенограмме (табл. 1, обр. ОБ-243¹).

Кроме каплевидной формы проявления теллурического железа с каймой продуктов раннемагматического окисления, в трапхах Сибирской платформы известны находки самородного железа в ассоциации с когени-том и троилитом (Баженов и др., 1959; Буторин, 1975), выполняющего промежуток между породообразующими минералами габбро-долерита. Отличительная черта химизма такой морфологической разновидности минерала заключается в том, что это обычно никельсодержащая фаза — камасит. Так, нашими исследованиями с помощью микроанализатора в отдельных зернах камасита из габбро-долерита г. Озерной (Баженов и др., 1959) установлено 2.13—4.99% Ni, 0.70—2.05% Co и до 0.21% Cu. В металлическом железе из пород Хунгтукунской интрузии (Буторин, 1975), по нашим данным, никеля содержится значительно меньше (0.19—0.38%), кобальт обнаружен лишь в следах (0.08%), но зато больше меди — 0.66%. Оно по составу отвечает никельсодержащему ферриту. Другие

¹ В скобках здесь и далее указываются номера образцов, анализы которых приведены в таблицах настоящей работы.

Таблица 1

Результаты расчета дебаграмм фаз магнитных шариков с ядром самородного железа

Образец		Образец						Магнетит (ICPDS, 1973, 19-629)		Вюстит (Михеев, 1957)		α-железо (Михеев, 1957)	
		ОБ-243 *		ОБ-243 **		ОБ-54-Д *		I	d	I	d	I	d
2	4.82	1	2.990	1	2.531		8	4.85					
3	2.960	3	2.553	2	2.479		30	2.967					
7	2.537	3	2.469				100	2.532	7	2.47			
4	2.469						8	2.424					
<1	(2.381)	<1	(2.381)	<1	(2.372)	3					2	(2.233)	
<1	2.318	2 ш.	2.318	2 ш.	(2.250)	1							
10	2.148	4	2.148	4	2.148		20	2.099	10	2.14			
2	2.112					10 ш.					9	2.022	
3 ш.	2.050												
2	1.883	2	1.864		2.037	10							
		2	1.779										
2	1.723						10	1.715					
2	(1.680)	<1	(1.680)	<1	(1.676)		30	1.616			3	(1.578)	
4	1.617	<1	1.620										
10	1.526	7	1.520	3	1.521	1							
5	1.491	1	1.503	<1	1.488	<1	40	1.485	8	1.51			
1	1.428			<1	1.437	4	2	1.419			7	1.430	
<1	(1.377)												
<1	1.340												
3 ш.	1.301	2	1.301	1	1.297		10	1.281			4	(1.289)	
1	1.289					2	4	1.266	4	1.293			
4 ш.	1.244	2	1.245	<1	1.243		2	1.212	2	1.238			
1 ш.	1.214												
2 ш.	1.174	4 ш.	1.174	4 ш.	1.174	8	4	1.122			10	1.168	
1 ш.	1.130					1	12	1.093	1	1.072 ***	2	(1.117)	
4 ш.	1.099						6	1.050					
4 ш.	1.079	<1	1.077	1	1.077								
3 ш.	1.055						2	0.9896 ***			7	1.012	
2 ш.	0.987					5 ш.							
						2 ш.							

Примечание. Условия съемки: Fe нейтронное излучение, камера РКД-57, 3 мм, диаметр образцов 0,2-0,3 мм. Здесь и в табл. 3, 5, 7 в скобках выделены линии от K_β излучения. Одной звездочкой отмечен препарат образца, полученный после извлечения самородного железа; двумя — препарат, представляющий самородное железо, очищенное от окисной оболочки; в рентгенограммах, отмеченных тремя звездочками, значения d менее указанных не приводятся.

элементы-примеси (Cr, Mn, Mg, Ti, Al, Pt и Au) в никелистых разновидностях обоих местонахождений самородного железа рентгеноспектральным анализом не обнаружены.

Особенность химического состава шаровидных обособлений железа дает основание считать, что эта форма практически чистого металла кристаллизовалась при температуре около 1500° , т. е. до появления субликвидусных силикатных фаз. Никелистое железо, содержащее также и некоторое количество углерода, участвовавшего в образовании прерывистых кайм когенита, кристаллизовалось позднее породообразующих минералов габбро-долерита, т. е. существенно в более низком интервале температур, чем химически чистое теллурическое железо.

А л ю м и н и й. Самородный алюминий обнаружен в анортозитовых габбро-долеритах Биллээхского и Усть-Ханьинского интрузивов, пикритовых габбро-долеритах Нижнефокинской залежи, призматически-офитовых габбро-долеритах Цепочечного интрузива и дайки района р. Мархи (обр. ОБ-255). Он образует единичные мелкие пластинчатые зерна размером до 1 мм в поперечнике. Окраска минерала серовато-белая, блеск металлический; минерал ковкий, плотность его 2.7.

При исследовании минерала на микроанализаторе установлено, что зерна его в основном химически чистые (99—100% Al). В пределах чувствительности рентгеноспектрального анализа в нем не обнаружены Mg, Fe, Mn, Cr, Ti, Si и Cu. Однако в самородном алюминии наблюдаются продукты распада высокотемпературного твердого раствора — тонкодисперсные фазы, обогащенные Mg, Si и Cu. В этом случае в самой

Т а б л и ц а 2

Результаты изучения химического состава самородного алюминия из призматически-офитового габбро-долерита дайки (обр. ОБ-255, масс.%)

Анализируемое вещество	Al	Mg	Cu	Si
Основная масса (матрица)	98	2.1	Не обн.	Не обн.
То же	98	2.5	То же	То же
Si-Mg-Al-фаза *	48	13	» »	12
Mg-Cu-Al-фаза *	70	5	27	Не обн.

Примечание. Здесь и в табл. 6 звездочкой отмечены фазы, для которых проведен полуколичественный анализ.

матрице растворено до 2.5% Mg (табл. 2). Размер кристаллитов, содержащих Mg, Cu и Si, около 1—3 мкм. Они занимают 2—3% объема зерен. Малая величина фаз не позволяет провести их количественный анализ. Сканирование поверхности препарата в рентгеновских лучах Mg, Si, Cu и Al показало отсутствие или снижение содержания Al в фазах, обогащенных Mg, Si и Cu, а также проиллюстрировало несмесимость между Cu и Si (рис. 1).

Из информации по искусственным сплавам алюминия известно, что при наличии в системе Al—Cu—Mg незначительной примеси кремния магний преимущественно образует силицид состава Mg_2Si . Если же в системе магния больше, чем кремния, то возникает еще и фаза Al_2CuMg (S-фаза), а при избытке меди появляется фаза $CuAl_2$ (Алюминиевые сплавы, 1972). Наличие примеси магния в алюминиевой матрице обр. ОБ-255 при отсутствии в ней меди и кремния однозначно указывает на дефицит последних двух элементов в природном алюминиевом сплаве. Все вышесказанное позволяет утверждать, что продуктами распада высокотемпературного раствора на основе алюминия являются интерметаллическое соединение состава Al_2CuMg (S-фаза) и силицид магния Mg_2Si . Таким образом, полученные рентгеноспектральные данные о распределении

и составе продуктов распада высокотемпературного раствора в самородном алюминии несколько уточняют состав тонкодисперсных фаз, описанных ранее (Олейников и др., 1978). Продукты распада высокотемпературного раствора на алюминиевой основе ввиду их крайне малого количества не улавливаются рентгенографически (табл. 3).

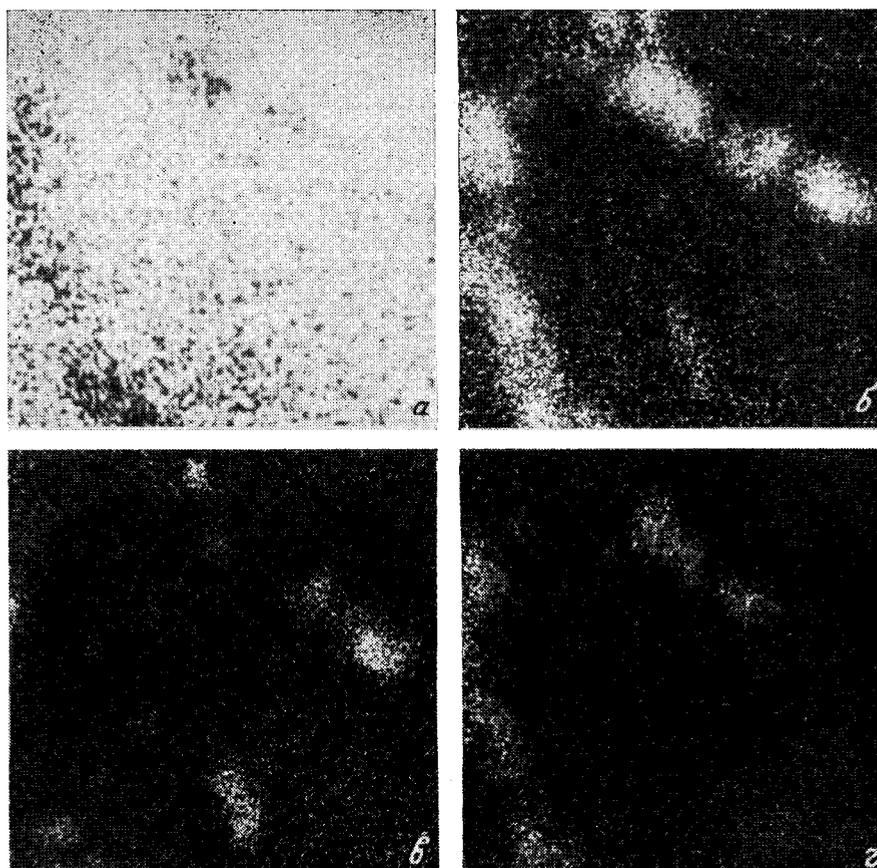


Рис. 1. Поверхность образца самородного алюминия из габбро-долеритов дайки (обр. ОБ-255), в рентгеновских лучах $Al_{K\alpha}$ (а), $Mg_{K\alpha}$ (б), $Si_{K\alpha}$ (в) и $Cu_{K\alpha}$ (г). Увел. 3000.

Общеизвестно свойство алюминия при наличии кислорода в высокотемпературных условиях образовывать окисную пленку. При окислении части обособлений самородного алюминия в природных условиях образуется корунд, чьи единичные синие и малиновые зерна присутствуют в продуктах траппового магматизма. Так, содержание рубина в ассоциации с самородным алюминием в габбро-долеритах Джалтульского интрузива достигает 1 г/т. Вероятно, образование определенной части акцессорного корунда в базитах Сибирской платформы логично связывать с раннемагматическим окислением самородного алюминия.

2. Цветные металлы и их природные сплавы

В тяжелой неэлектромагнитной фракции искусственных шлихов пород самых различных тел траппов часто наблюдаются разнообразные цветные металлы и их сплавы. В числе их установлены минералы Cu, Zn, Cd, Pb, Sn и Sb.

Таблица 3

Результаты расчета дебаграмм самородного алюминия, цинка и кадмия

Самородный алюминий, обр. ОБ-255		Алюминий (Михеев, 1957)		Самородный цинк, ОБ-234		Цинк (Михеев, 1957)		Самородный кадмий, обр. ОБ-242-3		Кадмий (ICPDS, 1973 5-0674)	
I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d
2	(2.557)			2	(2.727)	2	(2.74)	3	2.79	65	2.809
<1	2.348			1	(2.552)	1	(2.552)	4	2.55	32	2.580
10	2.320	10	2.34	4	2.463	4	2.473	10	2.331	100	2.345
<1	(2.224)	9	2.03	5	2.309	5	2.311	1	1.897	32	1.901
7	2.010	8	1.432	10	2.090	10	2.092	2	1.513	26	1.516
<1	(1.568)	8	1.432	<1	(1.864)	3	(1.858)	1	1.488	19	1.490
5	1.423			4	1.684	8	1.683	1	1.488	3	1.404
<1	(1.335)			1	(1.476)	5	(1.476)	1	1.312	17	1.316
7	1.215	10	1.221	—	—	1	1.357	1	1.255	2	1.290
1	1.163	5	1.169	5	1.343	1	1.339	1	1.255	13	1.258
				2	(1.337)	9	1.337			4	1.234
				1	(1.297)	—	—			3	1.1724
				2	1.237	3	(1.292)			5	1.0622
				1	—	4	1.235	1	1.028	3	1.0303
				2	—	1	(1.199)				
				—	—	1	1.173	1			
				8	1.172	9	1.173				
				1	(1.153)	3	(1.154)				
				5	1.125	6	1.128				
				2	1.089	5	1.090				
				2	1.046	5	1.046				
				1	(1.000)	2	(1.017)				

Примечание. Условные обозначения те же, что в табл. 1. Значения d для эталона алюминия и кадмия менее указанных не приводятся.

М е д ь. Самородная медь встречается в виде пластинчатых зерен неправильной формы размерами 0.1—0.3 мм в поперечнике. В породах Эркютейской дайки (обр. ОБ-130-1), Накынского (обр. ОБ-245-1), Цепочечного, Амовского (обр. ТН-39) и Нижнефокинского интрузивов обнаружены единичные знаки этого минерала. В оливинофировых базальтах Ыгыаттинской впадины (обр. ОБ-183) содержание меди достигает первых граммов на 1 т. Минерал ковкий, медно-красного цвета. Снаружи он почти всегда покрыт тонкой темно-коричневой (до черного) пленкой. Изучение химического состава медно-красных выделений самородной меди показало (табл. 4, обр. 245/1, 130/1 и 183), что это практически чистый металл,

Т а б л и ц а 4

Химический состав самородной меди и природной латуни, мас. %

Элементы	Образцы								
	ОБ-254-1	ОБ-130-1	ОБ-183	Ф-3	Дж-5-1	ОБ-242-3	ОБ-523-1	ББ-8-1	
	медь	медь	медь	α-латунь	α-латунь	α-латунь	α-латунь	α-латунь	α-латунь
Сu	101.49	99.53	98.00	61.88	62.20	62.31	60.72	62.99	58.54
Zn	Не обн.	Не обн.	Не обн.	36.10	35.03	36.71	33.17	37.17	41.29
Pb	» »	» »	» »	Не обн.	Не обн.	Не обн.	1.24	Не обн.	Не обн.
Fe	» »	0.39	0.49	» »	» »	» »	0.07	» »	» »
С у м м а	101.49	99.92	98.49	97.98	97.23	99.02	95.30	100.16	99.83

иногда с небольшой примесью железа. Примеси Pb, Sn, Sb, Zn, Cd, Ag, Au, Bi, Al и Ni в исследованных препаратах в пределах чувствительности рентгеноспектрального анализа не установлены.

В полированном препарате в отраженном свете пленка, покрывающая самородную медь, имеет беловато-серый цвет с голубоватым оттенком. Данные полуколичественного анализа показывают, что тончайшее покрытие самородной меди представлено закисью меди — купритом (Cu более 80% при отсутствии каких-либо других элементов). Куприт изредка также слагает мельчайшие (до 0.005×0.005 мм) выделения в медной матрице. Окисную пленку на образце меди не удалось идентифицировать рентгенографическим методом. На рентгенограммах препарата фиксируются лишь линии меди, соответствующие эталону этого вещества (табл. 5, обр. ОБ-254-1).

Изучение химического состава самородной меди, ассоциирующей с камаситом в габбро-долеритах г. Озерной (Баженов и др., 1959), показало постоянное присутствие в ней примеси Ni (до 2.0%), при повышенном содержании железа (до 1.25%) и следах кобальта (0.05%). Постоянное присутствие в минерале никеля позволяет отнести его к новой никелистой разновидности самородной меди. Вхождение никеля не изменяет существенно величины межплоскостных расстояний самородной меди (табл. 5).

Ц и н к. Самородный цинк установлен в породах многих трапловых тел — в субщелочных габбро-долеритах дайки по р. Мархе, в породах Эрбейзского дифференцированного интрузива (бас. р. Вилкой), в базальтах Ыгыаттинской впадины, в анортозитовых габбро-долеритах Биллээхского, Усть-Ханьинского интрузивов и в породах Цепочечного интрузива. В некоторых штуфах, отобранных из двух последних тел, содержание металлического цинка достигает первых граммов на 1 т. Характерная форма выделений самородного цинка — сильно вытянутые веретенообразные обособления до 0.5 мм в длину и 0.1 мм в диаметре. В габбро-долеритах Цепочечного интрузива цинк слагает мелкие шарики размером

Таблица 5
 Результаты расчета дебаеграмм самородной меди, никелистой и цинковой меди

Самородная медь, обр. ОБ-254-1		Никелистая медь, Дж-6-2		Цинковая медь, обр. ОБ-523-1			Медь и цинко- вая медь, обр. ТН-39		Медь (Михе- ев, 1957)	
I	d	I	d	I	d	hkl	I	d	I	d
<1	3.33									
<1	2.480									
3	(2.312)			3	(2.360)	111 β	1	(2.361)	4	(2.301z)
10	2.092	10	2.094	10	2.138	111	3	(2.302)	9	2.0851
2	(2.006)			2	(2.046)	200 β	2	2.435	3	(1.9924)
8	1.818	6	1.809	4 ш.	1.853	200	10	2.089	8	1.8060
2	(1.412)			1 ш.	(1.440)	220 β	<1	(1.994)	4	(1.4071)
6	1.283	5	1.279	3 ш.	1.303	220	7	1.855	10	1.2762
2	(1.201)	1	(1.202)	1 ш.	(1.227)	311 β	1	1.807	4	(1.2001)
1	(1.154)			<1	(1.175)	222 β	2	(1.407)	2	(1.1482)
8	1.089	6	1.090	4 ш.	1.113	311	1	1.155	9	1.0887
5	1.044	3	1.044	3 ш.	1.065	222	9	1.090	5	1.0419
							<1	1.069		
							5	1.043		
							<1	0.995		

Примечание. Условия съемки те же, что и в табл. 1.

до 0.3 мм в диаметре. Цвет минерала серовато-белый, иногда с синеватым оттенком, блеск слабый металлический. Минерал хрупок, имеет в изломе неровную поверхность. В самородной фазе лишь в одном случае (обр. ОБ-233, Цепочный интрузив) обнаружена небольшая примесь железа (0.53%), в остальном же это практически чистый цинк (99.0—100.0% Zn). Другие металлы — Fe, Cu, Mn, Pb, Sn, Sb, Cd, Ag, Au — в нем не обнаружены. Линии на дебаеграмме полностью совпадают с таковыми для эталонного цинка (табл. 3).

К а д м и й. Металлический кадмий впервые в природе обнаружен в анортозитовых габбро-долеритах Усть-Ханьинского интрузива (Олейников и др., 1979). Зерно его имеет уплощенно-вытянутую форму с максимальным размером 0.2 мм в длину. Цвет минерала оловянно-белый с синеватым оттенком, блеск металлический, поверхность зерен ровная. Минерал ковкий, диамагнитен. По данным рентгеноспектрального анализа, содержание Cd в исследуемой фазе составляет 99—100%, примесей Ag, Sn и Zn не обнаружено. Сканирование по площадке показало исключительную гомогенность зерна. Рентгенометрическое исследование того же зерна подтвердило принадлежность анализируемой фазы к металлическому кадмию (табл. 3).

В отличие от описанных выше самородных элементов (Fe, Al, Cu, Zn и Cd), которые присутствуют в базитах Сибирской платформы обычно в виде практически чистых металлов или изредка содержат небольшое количество примесных элементов, олово и свинец постоянно образуют сплавы, содержащие переменное количество сурьмы. Кроме того, в трапах обнаружена цинковая медь (α -латунь) с продуктами распада, представленными интерметаллическим соединением CuZn (β -латунью).

Сплав олова и свинца. Этот минерал образует относительно крупные (0.2—0.5 мм, реже до 1.5 мм), в поперечнике шаровидные, каплевидные и крючковатые выделения оловянно-белого цвета. Это очень ковкие образования с ровной поверхностью и сильным металлическим блеском на свежем изломе. Содержание их варьирует от единичных зерен в субщелочных габбро-долеритах из района водораздела рек Ханья и Тюкян (обр. ОБ-201-1), габбро-долеритах Цепочечного интрузива,

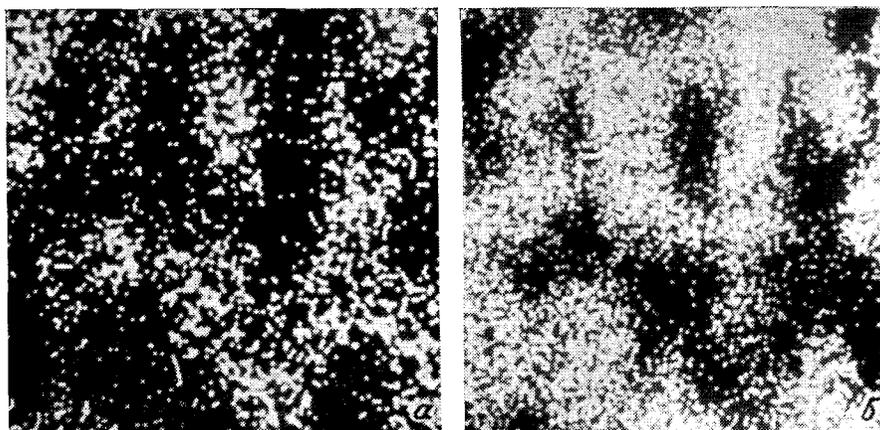


Рис. 2. Природная эвтектическая смесь олова и свинца из офитовых долеритов тела (обр. ОЛ-54-2) в рентгеновских лучах $Pb_{L\alpha}$ (а) и $Sn_{L\alpha}$ (б). Увел. 1250.

Эркютейской дайки и Накынского силла, офитовых долеритах из даек Куойтской зоны (обр. ОЛ-45-2), анортозитовых габбро-долеритах Усть-Ханьинского интрузива (обр. ОБ-252-3) до 10 г/т в анортозитовых габбро-долеритах Биллээхского тела (обр. ОБ-54-4д).

Сканирование поверхности зерен в рентгеновских лучах Pb и Sn выявило тесное срастание фаз, сложенных названными элементами (рис. 2), что вызвано, очевидно, эвтектической кристаллизацией олова и свинца. Свинцовая фаза зерен очень плохо полируется вследствие высокой ковкости вещества, что затрудняет ее исследование. Первоначально она нами пропускалась, и такие зерна идентифицировались только как самородное олово (Округин и др., 1978). Объемные соотношения олова и свинца в различных зернах значительно варьируют в пределах одного тела, но преимущественно отвечают 50—60% свинца в олове. В свинцовой фазе иногда в большом количестве обнаруживается примесь олова до 16.0%,

Т а б л и ц а 6

Химический состав олова и свинца природной эвтектической смеси (мас.%)

Элементы	Образцы								
	ОБ-201-1		ОБ-242-3		ОБ-54-4д		ОЛ-54-2		
	Pb-фаза *	Sn-фаза	Pb-фаза *	Sn-фаза	Pb-фаза *	Sn-фаза	Pb-фаза	Sn-фаза	SnSb
Pb	70	0.19	>70	0.48	>70	3.78	85.53	4.22	5.39
Sn	Следы	96.25	Следы	97.11	Следы	95.99	15.93	92.89	52.62
Sb	Не обн.	1.94	0.82	2.01	Не обн.	0.13	0.13	2.31	42.42
С у м м а	—	97.38	—	99.60	—	99.80	99.58	99.42	100.43

а содержание сурьмы в ней не превышает 0.82%. Оловянная составляющая содержит примесь свинца до 4.22% и сурьмы до 2.31% (табл. 6). Примеси других элементов (Fe, Mn, Pt, Pd, Cu, Zn, Cd, Ag и Au) не установлены как в свинцовой, так и оловянной составляющей исследованного сплава.

На дебаеграммах образцов эвтектической смеси олова и свинца наблюдаются четкие линии обоих металлов (табл. 7).

Таблица 7

Результаты расчета дебаеграм природных олово-свинцовых
и сурьмяно-олово-свинцовых сплавов

Олово и свинец, обр. ОБ-54-4В		Самородный свинец с кристал- литами SnSb				Свинец (JCPDS, 1973, 4-686)		β-олово (JCPDS, 1973, 4-673)		SnSb (JCPDS, 1973, 1-830)	
		обр. ОБ-243		обр. ГК-1-5							
I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d
<1	(3.14)	1	(3.42)	1	(3.39)						
1	(3.04)	2	(3.17)	2	(3.15)						
2	2.914	3	3.08	3	3.04			100	2.915	100	3.05
3	2.857	10	2.856	10	2.849	100	2.855	90	2.793		
4	2.789										
<1	(2.699)	1	(2.732)	2	(2.722)						
4	2.476	5	2.477	5	2.472	50	2.475				
		2	2.176	3	2.179						
2	2.060							34	2.062		
5	2.017							74	2.017		
1	(1.929)	1	(1.932)	1	(1.934)						
4	1.752	4	1.750	5	1.750	31	1.750			24	1.76
2	1.661							11	1.659		
<1	(1.641)	2	(1.647)	2	(1.645)						
		1	1.542	<1	1.540						
10	1.492	7	1.493	7	1.494	32	1.493	23	1.484	13	1.53
								13	1.458		
3	1.442							20	1.442		
2	1.426	3	1.427	3	1.430	9	1.429			28	1.367
		2	1.380	2	1.376						
1	1.328										
3	1.305							15	1.304		
4	1.295							15	1.292		
<1	(1.253)	2	(1.252)	2	(1.253)					16	1.250
2	1.237	2	1.239	1	1.239	2	1.238				
		1	(1.223)	1	(1.223)						
7	1.207							20	1.205		
5	1.137	5	1.136	6	1.135	10	1.1359				
4	1.107	7	1.107	7	1.107	7	1.1069			3	1.08
3	1.096							13	1.0950		
1	1.046	1	1.051	1	1.049						
4	1.043							3	1.0434		
								5	1.0401		
1	1.034							2	1.0309		
4	1.028							5	1.0252	5	1.02
		1	1.023	1	1.024						
6	1.011	9	1.010	9	1.010	6	1.0105				
5	0.984							5	0.9824		

Примечание. Условия съемки те же, что в табл. 1. Значения *d* для эталонов менее указанных не приводятся.

Сурьмяно-олово-свинцовые сплавы. Самородный свинец с кристаллитами интерметаллического соединения SnSb (β-фаза) является распространенной металлической аксессуарной ассоциацией фаз трашповых пород, присутствующей почти во всех телах — Черногорском (обр. ГК-1-5), Усть-Ханьинском (обр. ОБ-243) интрузивах, Накынском

силле (обр. ОБ-254-3), дайке района низовьев р. Куойки (обр. ОЛ-54-2) и других. Макроскопически от вышеописанного сплава эта разновидность аксессуарных минералов отличается стально-серым цветом и повышенной хрупкостью. Наблюдается она в виде мелких (0.1—0.3 мм) зернистых неправильно-изометричных обособлений. В крупных фракциях искусственных шлихов изредка сохраняются зерна этой фазы размером до 1—

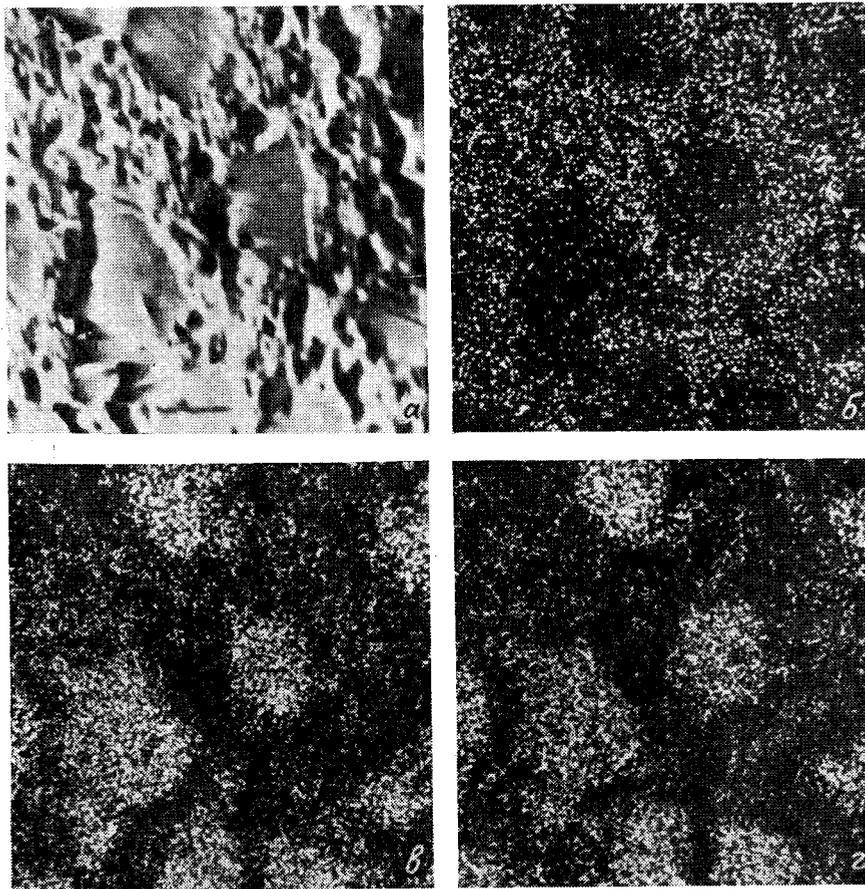


Рис. 3. Самородный свинец с кристаллитами SnSb из анортозитовых габбро-долеритов Черногорского интрузива (обр. ГР-1-5) в обратнорассеянных электронах (а) и в рентгеновских лучах $Pb_{L\alpha}$ (б), $Sn_{L\alpha}$ (в) и $Sb_{L\alpha}$ (г). Увел. 1500.

2 мм, которые из-за большой хрупкости обычно легко разрушаются при дроблении.

Содержание ее обычно менее 1 г/т и лишь в анортозитовых габбро-долеритах Усть-Ханнинского интрузива оно достигает первых граммов на 1 т. При микроскопическом изучении природного сплава обнаружено сложное внутреннее строение его индивидов, напоминающее микропорфировую структуру. «Порфиновые» выделения представлены светло-серыми обособлениями прямоугольной и треугольной формы размерами до 0.01—0.02 мм в поперечнике, находящимися в темно-сером базисе. Они занимают до 20% объема матрицы.

По данным микрозондового исследования устанавливается олово-сурьмяный состав этих порфировидных кристаллитов (рис. 3). Содержание олова в них колеблется от 33.60 до 52.62%, сурьмы — от 42.42 до 54.29%,

свинца — от 5.23 до 16.92%. Матрица сложена самородным свинцом с примесью олова (до 8.38%) и сурьмы (до 8.94%) — (табл. 8). В сурьмяно-

Т а б л и ц а 8

Химический состав фаз образцов самородного свинца с кристаллитами SnSb (мас.%)

Элементы	Образцы							
	ГК-1-5		ОБ-243		ОБ-254-3		ОЛ-54-2	
	Pb-фаза	SnSb	Pb-фаза	SnSb	Pb-фаза	SnSb	Pb-фаза *	SnSb
Pb	81.86	5.40	90.32	12.18	81.68	16.92	>70	5.23
Sn	8.38	35.35	5.37	43.39	7.03	33.60	Следы	35.01
Sb	8.94	54.29	4.57	45.42	8.06	47.39	»	59.15
С у м м а	99.18	95.04	100.26	100.99	99.77	97.89	—	99.39

олово-свинцовых сплавах, как и в олово-свинцовых, не установлены Fe, Mn, Pt, Pd, Cu, Zn, Cd, Ag и Au.

Рентгенограммы этих сплавов четко выявляют присутствие двух фаз: основной — свинец и второй — интерметаллическое соединение минерал стистаит SnSb, впервые описанный Э. П. Николаевой и соавторами (1970). Различное содержание свинца в интерметаллиде (табл. 8) не влияет на положение и интенсивность линий фазы SnSb (табл. 7).

Постоянная существенная примесь сурьмы в оловянной фазе и наличие единичных кристаллитов SnSb, наблюдающихся в некоторых эвтектических сплавах олова и свинца (см.: табл. 6, обр. ОЛ-54-2), свидетельствует о том, что все рассмотренные сплавы — продукты кристаллизации единой тройной системы Sb—Sn—Pb, характеризующейся переменным содержанием компонентов. Валовый состав вышеописанных сплавов варьирует примерно от 40% Pb+60% Sn (с небольшой примесью сурьмы) до 80% Pb+10% Sn+10% Sb. Такие вариации наблюдаются даже в породах одного тела.

Экспериментальные исследования искусственных сплавов показывают, что в тройной системе Sb—Sn—Pb при различных исходных содержаниях ее компонентов кристаллизуются сложные соединения, характеризующиеся определенными фазовыми составляющими. Так, свинец с оловом дает эвтектическую смесь при 183° (Хансен, Андерко, 1962). Незначительная примесь сурьмы входит при этом преимущественно в кристаллическую решетку олова, что объясняется несмесимостью свинца и сурьмы. При больших концентрациях (более 2—3%, см.: табл. 6, обр. ОЛ-54-2) сурьма начинает реагировать с оловом, образуя интерметаллическое соединение SnSb (β -фазу), которое кристаллизуется в системе Sn—Sb перитектического типа при 425°. Состав данного соединения может изменяться от 42 до 58% Sn в Sb. Структура β -фазы (SnSb) относится к типу NaCl, $a=6.136 \text{ \AA}$ при 54% Sb и $a=6.127 \text{ \AA}$ при 52% Sb (Хансен, Андерко, 1962). Термическим и микроструктурным анализами подтверждено наличие в системе Sb—Sn—Pb квазибинарного разреза Pb—SnSb (Коган, Семионов, 1963). Таким образом, в зависимости от исходной доли сурьмы в системе продуктами кристаллизации ее будут Pb и Sn при ничтожном количестве Sb; Pb, Sn и SnSb при Sn > Sb и Pb с SnSb при Sn = Sb. Микропорфировое строение таких сплавов указывает на то, что кристаллиты SnSb свободно росли в расплаве металлов. После удаления избыточного количества олова и сурьмы выделения SnSb (β -фаза) цементируются остаточным самородным свинцом с примесью Sn и Sb (табл. 8). Форма кри-

сталлов β -фазы зависит от скорости охлаждения сплавов. Известно, что при медленном охлаждении наблюдается плоскогранная форма роста идиоморфных кристаллов SnSb в сплавах, а при быстром кристаллиты приобретают дендритный характер (Салли, Самойленко, 1974). Распространение данных по искусственным системам исследуемых металлов на природные объекты позволяет уверенно утверждать, что идиоморфная форма кристаллов природного соединения SnSb свидетельствует о его кристаллизации в обстановке медленной потери тепла системой.

Л а т у н ь. Соединения цинка и меди обнаружены в габбро-долеритах Усть-Ханнинского (обр. ОБ-523-1 и 242-3), Эрбейкского, Ботубинского (обр. ББ-8-1), Нижнефокинского (обр. Ф-3), Джалтульского (обр. Дж-5-1) и Амовского (обр. ТН-39) интрузивов. Минерал отличается от медно-красной самородной меди светлой латунно-желтой окраской. Встречен он в виде единичных неправильных по форме зерен часто пластинчатой формы размерами от долей миллиметра до 3 мм в поперечнике. Мельчайшие (до 0.01 мм) кристаллиты латуни наблюдались в самородной меди из пород Амовского интрузива (см.: табл. 5, обр. ТН-39). Иногда в полированных препаратах природной латуни на фоне желтой основной массы минерала наблюдаются тончайшие (0.001×0.01 мм) ярко-желтые пламенивидные обособления, занимающие не более 5% объема зерна. Анализ природных сплавов Zn и Cu на микроанализаторе устанавливает наличие цинка в медной матрице в количестве до 37.22%, а в ярко-желтых пламенивидных обособлениях оно достигает 41.3% (табл. 4). Очевидно, что в случае растворения цинка в меди в количествах, превышающих предельную растворимость (38.4%), в природных соединениях (как и в искусственных сплавах) при распаде высокотемпературного твердого раствора в α -латуни появляется интерметаллическая β -фаза тех же металлов. Это обусловлено тем, что гранецентрированная кубическая решетка меди при избытке цинка становится неустойчивой и при распаде высокотемпературного твердого раствора возникает новая фаза с менее плотной объемноцентрированной упаковкой. Так и образом, в природных объектах при избытке Zn в металлическом соединении цинковой меди появляется новая интерметаллическая фаза CuZn с кристаллической решеткой, существенно отличной от таковой α -латуни. На наших рентгенограммах не удалось зафиксировать отражения линий β -фазы природной латуни. Кубическая гранецентрированная решетка α -латуни имеет $a = 3.69 \pm 0.03$ Å (табл. 5, обр. ОБ-423-1). Диффузность линий рентгенограммы указывает на высокую дисперсность фазы и малый размер блоков мозаичности исследуемого вещества. Цинкистая медь в ассоциации с самородным железом и медью недавно установлена в андезито-базальтовой лаве на севере Русской платформы (Данилов, Юшкин, 1979).

ОБСУЖДЕНИЕ

Во всех упомянутых примерах ассоциация самородных элементов встречается в неизмененных постмагматическими процессами базитах, что однозначно указывает на ее магматическое происхождение. Присутствие большинства изученных минералов в краевых микродолеритах интрузивных тел и отсутствие их среди аксессуаров пород позднемагматического этапа кристаллизационной дифференциации в гипабиссальной камере свидетельствуют о докамерной природе обособления рассмотренных самородных металлов.

Каплевидная и близкая к шаровидной формы проявления самородного железа и некоторых цветных металлов прямо свидетельствуют о расплавленной природе их вещества и свободно взвешенном нахождении обособлений самородных фаз в магме. Характер внутренней структуры и особенности состава рассмотренных природных сплавов также указывают на то, что

их вещество отделилось от силикатного расплава в высокотемпературных условиях.

Химический состав шаровидных форм самородного железа и отсутствие в них когенига или других углеродосодержащих минералов свидетельствуют о весьма высокой (порядка 1535°) температуре кристаллизации таких, лишенных примесных элементов выделений металла. Это наблюдение совпадает с ранее полученной нами информацией о фиксации в базитовой системе температуры 1527° (Бережной, 1958) — находки высокотемпературной модификации карбида кремния, постоянно наблюдаемой в траппах Сибирской платформы, содержащих самородные фазы.

Магнитные образования с самородным железом, подобные найденным в траппах, встречены как в кислых (Осипов, 1962; Тянь и др., 1976; Ермолов, Королук, 1978), так и в основных (Мнакацян, 1965; Горяинов и др., 1976) породах. Многие исследователи допускают формирование таких шариков в начальные этапы кристаллизации высокотемпературных силикатных расплавов (Мнакацян, 1965; Тянь и др., 1976; Горяинов и др., 1976). Рассмотрев существующие взгляды на происхождение самородного железа о. Диска, Д. М. Бирд и М. С. Везерс признали несостоятельной гипотезу образования самородного железа этого месторождения путем восстановления вещества базальтов (или их сульфидов) включениями угля или углеродосодержащих осадочных пород (Bird, Weathers, 1977). Они убедительно показали, что железо слагает образования, вынесенные магмой из мантийных глубин, т. е. металл и в данном случае обособился от силикатного вещества в высокотемпературных условиях.

Все сказанное позволяет допускать, что как исходное магнообразование, так и начальные этапы эволюции базитовых расплавов реализуются в восстановительной обстановке. На ранней стадии развития базитовых систем какая-то часть некоторых порообразующих элементов и значительная, если не преобладающая, доля халькофильных элементов-примесей обособляется от силикатного вещества в виде жидких капелек. Такая обстановка может реализоваться в мантийных резко восстановительных условиях благодаря привнесу в эволюционирующую магматическую систему интрателлурического флюида из более глубоких зон мантии. Находки самородного алюминия — прямое подтверждение существования такого процесса. Достаточно высокая чистота многих восстановленных самородных фаз (Fe, Al, Cu, Cd и Zn) косвенно указывает на то, что восстановление их шло путем реакций с участием водорода. Прямое восстановление окислов и сульфидов ряда металлов водородом с образованием достаточно чистых самородных фаз изучено экспериментально (Nasagawa, 1978). Наличие в самородном алюминии примеси Mg и тонкодисперсных фаз состава Mg_2Si и Al_2CuMg показывает на то, что восстановлению подвергались, кроме алюминия, также и другие порообразующие элементы — Mg и Si. От последующего замещения обособлений самородных металлов, при повышении окислительного потенциала системы, предохраняло образование на них защитных окисных оболочек, а также возможная последующая консервация этих фаз в форме включений в протоматматических силикатах и алюмосиликатах.

Количество самородных минералов халькофильных элементов в породе во многом будет зависеть от режима серы в эволюционирующей магматической системе. При высокой активности серы значительная часть халькофильных металлов не сохраняется в самородном состоянии, но перейдет в сульфиды.

Кристаллизация самородных фаз из расплавов соответствующих металлов начинается в высокотемпературных условиях (Fe) при температуре свыше 1500° С и продолжается (камасит, цветные металлы и их сплавы) уже во внутрикамерной обстановке после завершения кристаллизации главных порообразующих минералов при температурах от 900 (α-ла-

тунь) и вплоть до 183° — образование эвтектической смеси олова и свинца. Однако обособление вещества всех изученных самородных фаз от силикатной матрицы происходило в довнутрикамерный период эволюции базитового вещества, т. е. носит магматический характер.

Экспериментальное изучение процесса окисления жидких металлов и сплавов показывает, что этому процессу предшествует растворение в них кислорода (Лепинских и др., 1979). В частности экспериментально установлена такая последовательность окисления железа. С увеличением концентрации кислорода δ -подобная структура расплавленного железа, содержащего растворенный кислород, становится неустойчивой. Начинается переход к другой структуре расплава, содержащей уже микрогруппировки δ -Fe и FeO. Состав следующего, более богатого кислородом слоя будет близок FeO. Дальнейшее повышение концентрации кислорода приводит к появлению оболочки шпинелевого состава, затем и каймы окисла железа. Миграция ионов кислорода в металл затрудняется с ростом окисной пленки. Переноса вышесказанное на природные объекты можно полагать, что формирование магнитных шариков в трапхах происходило в результате окисления каплевидных обособлений расплавленного теллурического железа по упомянутому выше механизму. Подобная последовательность образования магнитных сферолитов удовлетворительно объясняет присутствие иоцита как в окисной, так и в самородной фазе (табл. 1). Высокая чистота самородного железа указывает на то, что Mn, Si, Ti и другие элементы внешней оболочки кремнийсодержащего титано-марганцевого феррошпинелида сферолитов заимствованы из расплава. Раннемагматическое окисление самородного железа в обстановке относительно низкой фугитивности кислорода облегчало вхождение вышеназванных элементов в кристаллическую структуру шпинели, поскольку они обладают более высоким, чем железо, сродством к кислороду (Маракушев, 1975).

Подобным образом происходило и окисление меди, в которой отмечены образования куприта как в самородной матрице, так и появление внешних кайм этого минерала.

Рентгеноструктурное изучение окисных пленок, полученных на жидком алюминии при температурах до 1570° , показало, что структура образовавшегося окисла соответствует структуре α - Al_2O_3 (Лепинских и др., 1979) корунда. Присутствие корунда в трапхах при наличии в них самородного алюминия в определенной мере обязательно. Это и наблюдалось нами в конкретных объектах.

Все выше сказанное позволяет считать, что на смену восстановительному этапу минералообразования приходит раннемагматическое окисление, вещественным выражением которого в изученных объектах является образование иоцито-шпинелидовых и купритовых оболочек вокруг самородного железа и меди, а также появление окислов других порообразующих элементов.

ВЫВОДЫ

1. Впервые в трапхах Сибирской платформы установлены и изучены самородные Al, Cd, Zn, Pb и Sn, никелистая разновидность самородной меди и ряд соединений цветных и порообразующих металлов — α - и β -латунь, стистаит, силицид магния, соединение состава Al_2CuMg . Часть из перечисленных веществ в природных объектах идентифицирована впервые.

2. Обособление вещества самородных фаз от силикатной матрицы происходило в мантийных условиях в процессе взаимодействия магмы с потоком интрателлурического существенно водородного флюида, т. е. они имеют магматический генезис.

3. Кристаллизация самородных фаз начиналась в мантийных условиях при температурах порядка 1500—1550° и продолжалась во внутрикамерной обстановке вплоть до температур 183°.

4. В мантийных условиях часть восстановленного вещества претерпела раннемагматическое окисление с образованием либо полиминеральных индивидов с ядром, сложенным самородной фазой, либо самостоятельных окисных минералов — при полном окислении металла.

5. Установление в базитовых породах большего разнообразия самородных элементов и их природных сплавов, отделившихся от силикатного вещества в протомагматическую стадию, иллюстрирует, что раннемагматический этап эволюции базитовых магматических систем, реализующийся в мантийных условиях, характеризуется относительно широким проявлением процесса металлизации силикатного вещества при взаимодействии последнего с потоком восстановительного интрателлурического флюида.

6. Простое сравнение видового состава ассоциаций минералов восстановительного этапа минералообразования земных и лунных базитов выявляет их принципиальное сходство. Это свидетельствует о глобальном характере процесса металлизации вещества на раннем этапе эволюции базитовых магм.

Литература

- Алюминиевые сплавы. (1972). Справочное руководство, «Металлургия».
- Ашихмина Н. А., Богатиков О. А., Горшков А. И., Мохов А. В., Оборонов В. Г., Фрих-Хар Д. И. (1970). Первая находка частиц металлического алюминия в лунном грунте. ДАН СССР, т. 246, № 4.
- Баженов И. К., Индукаев Ю. В., Яхно А. В. (1959). Самородное железо в габбро-долеритах р. Курейки (Красноярский край). ЗВМО, вып. 2.
- Барсуков В. Л., Назаров М. А., Тарасов Л. С. (1979). Минералогия лунного вещества. ЗВМО, вып. 1.
- Бережной А. С. (1958). Кремний и его бинарные системы. Киев, Изд-во АН УССР.
- Буторин В. И. (1975). Самородное железо в Хунгтукунской интрузии. В сб.: Материалы Молодежной геол. конф. ВСЕГЕИ, 1974. Геохимия, геофиз., палеонтол. АСУ. Л., 1975, с. 66—71. Деп. в ВИНТИ 12 июня 1975 г., № 1698-75.
- Горяинов И. Н., Митрошин М. И., Леонова Т. С., Невская А. В., Иванова Т. К., Иванов М. К. (1976). «Метеоритный» парагенезис — муассанит, самородное железо, (алмаз?) в траппах северо-запада Сибирской платформы. ДАН СССР, т. 228, № 2.
- Горяинов И. Н., Архипова А. И. (1978). Никелистое железо в оливице Норильских дифференцированных интрузий. ДАН СССР, т. 241, № 4.
- Данилов М. А., Юшкин Н. П. (1979). Первая находка олигоценовой лавы с самородным железом на севере Русской платформы. ДАН СССР, т. 249, № 6.
- Ермолов П. В., Королюк В. Н. (1978). Состав и строение магнитных шариков гравитондов. ДАН СССР, т. 240, № 1.
- Коган В. А., Семенов А. А. (1963). Диаграмма состояния сплавов свинцового угла системы свинец—сурьма—олово. Журн. физ. химии, т. 37, № 3.
- Лепинских Б. М., Киташев А. А., Белоусов А. А. (1979). Окисление жидких металлов и сплавов. «Наука».
- Маракушев А. А. (1975). Термодинамическая основа образования парагенезисов химических элементов в процессах глубинного минералообразования. В кн.: Очерки физико-химической петрологии, вып. 5. «Наука».
- Маракушев А. А., Генкин А. Д. (1975). Термодинамические условия образования карбидов металлов в связи с их нахождением в базитах, гипербазитах и медно-никелевых сульфидных рудах. Вестн. Моск. ун-та, сер. Геология, № 5.
- Михеев В. И. (1957). Рентгенометрический определитель минералов. Госгеолтехиздат.
- Мнаканян А. Х. (1965). Акцессорно-минералогические и геохимические особенности меловых вулканических серий Северной Армении как индикаторы комагматичности и металлогенической специализации вулканических комплексов. В кн.: Акцессорные минералы и элементы как критерий комагматичности и металлогенической специализации магматических комплексов. «Наука».
- Николаева Э. П., Гриненко В. А., Гагаркина С. Д., Цыпкина П. Е. (1970). О новых природных интерметаллических соединениях олова, сурьмы и меди. ЗВМО, вып. 1.

Новгородова М. И. (1979). Находка самородного алюминия в кварцевых жилах. ДАН СССР, т. 248, № 4.

Округин А. В., Олейников Б. В., Лескова Н. В. (1978). Первые находки самородного олова и цинка в трапях Сибирской платформы. В кн. Бюллетень НТИ. Геология и полезн. ископ. Якутии. Якутск, Изд-во Якутского филиала СО АН СССР.

Олейников Б. В., Округин А. В., Лескова Н. В. (1978). Петрологическое значение находок самородного алюминия в базитах. ДАН СССР, т. 243, № 1.

Олейников Б. В., Округин А. В., Лескова Н. В. (1979). Самородный кадмий в трапях Сибирской платформы. ДАН СССР, т. 248, № 6.

Олейников Б. В., Округин А. В., Томшин М. Д., Бровкин А. А. (1977). Муассанит в трапях Сибирской платформы. В кн.: Бюллетень НТИ. Геология и полезн. ископ. Якутии. Якутск, Изд-во Якутского филиала СО АН СССР.

Олейников Б. В., Саввинов В. Т., Погудина М. А. (1973). Основные типы трапшевых интрузивов среднепалеозойской и верхнепалеозойской—нижнемезозойской трапшевой формации зоны сочленения Тунгусской и Вилюйской синеклиз. В кн.: Геология и геохимия базитов восточной части Сибирской платформы. *Наука*.

Олейников Б. В., Томшин М. Д. (1976). Глубинная дифференциация магмы платформенных базитов. ДАН СССР, т. 231, № 1.

Осипов М. А. (1962). Иодит из интрузивных пород Рудного Алтая. ДАН СССР, т. 146, № 6.

Салли И. В., Самойленко Л. В. (1974). О формах роста кристаллов SnSb в сплавах перитектического типа. В кн.: Металлофизика, вып. 56. Киев, «Наукова думка».

Соболев В. С. (1979). Новая опасность дезинформации в результате засорения проб посторонними минералами и техническими продуктами. ЗВМО, вып. 6.

Тян В. Д., Ермолов П. В., Попов Н. В., Рафиков Т. К. (1976). О магматической природе самородного железа в гранитоидах и продуктах его окисления. Геол. и геофиз., № 5.

Фрондел Дж. (1978). Минералогия Луны. «Мир».

Хансен М., Андерко К. (1962). Структуры двойных сплавов, т. 1.

«Металлургия».

Штеренберг Л. Е., Васильева Г. Л. (1979). Самородные металлы и интерметаллические соединения в осадках северо-восточной части Тихого океана. Литология и полезные ископаемые, № 2.

Bird Q. M., Weathers M. S. (1977). Native iron occurrences of Disko island, Greenland. Jour. Geol., v. 85.

Насагawa R. (1978). A fundamental study on the hydrogen reduction of metal oxides and sulfides. Trans. Nat. Res. Inst. Metals, v. 20, N 2.

JCPDS. (1973). Powder diffraction file, USA.

Vasjoki O. (1965). On basaltic rocks with native iron in Disko, West Greenland. Compt. Rend. Soc. geol. Finlande, N 248.

Институт геологии ЯФ
СО АН СССР, Якутск.

Поступила в редакцию
5 мая 1980 г.

УДК 549.51 : 552.113 : 552.323.6

Д. члены А. Н. ЕВДОКИМОВ, Э. А. БАГДАСАРОВ

АССОЦИАЦИИ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ ОКИСЛОВ ХРОМА, ТИТАНА И ЖЕЛЕЗА В КИМБЕРЛИТАХ И ПИКРИТОВЫХ ПОРФИРИТАХ КУОНАМСКОГО РАЙОНА (ЯКУТИЯ)

Простые и сложные окислы хрома, титана и железа присутствуют во всех кимберлитах и комагматичных им пикритовых порфиритах. Они представлены хромшпинелидами, ильменитом, перовскитом, рутилом, титаномagnetитом, магнетитом, а также армоколлитом $(Fe, Mg)Ti_2O_5$.