

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 (Баженков и др., 1949), карбида вольфрама (Маракушев, Генкин, 1972), наличием шрейберзита в базальтах о. Диско (Vaasjoki, 1965), то принципиальная тождественность видового 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.	2.448	4	(2.250)	1							
10	2.148	10	2.148	4	2.148		20	2.099	10	2.14			
2	2.112					10 ш.					9	2.022	
3 ш.	2.050	2	1.864		2.037								
2	1.883	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 ш.	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					5 ш.	2	0.9896 ***			7	1.012	
2 ш.	0.987					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).

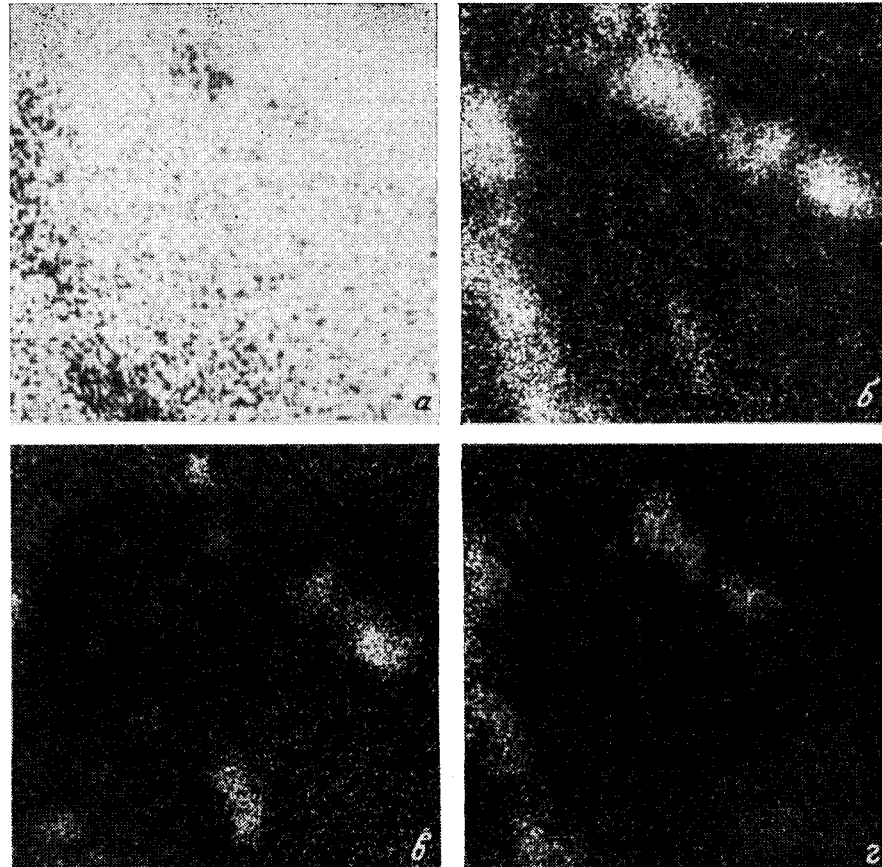


Рис. 1. Поверхность образца самородного алюминия из габбро-долеритов дайки (обр. ОБ-255), в рентгеновских лучах $Al_{K\alpha}$ (а), $Mg_{K\alpha}$ (б), $Si_{K\alpha}$ (в) и $Cu_{K\alpha}$ (г). Увел. 3000.

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		2.34	4	2.463	4	2.473	10	2.331	100	2.345
<1	(2.224)			5	2.309	5	2.311	1	1.897	32	1.901
7	2.010		2.03	10	2.090	10	2.092	2	1.513	26	1.516
<1	(1.568)			<1	(1.864)	3	(1.858)	1	1.488	19	1.490
5	1.423		1.432	4	1.684	8	1.683	1	1.312	3	1.404
<1	(1.335)			1	(1.476)	5	(1.476)	1	1.312	17	1.316
7	1.215		1.221			1	1.357			2	1.290
1	1.163		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	(1.292)			3	1.1724
				2	1.237	4	1.235			5	1.0622
				2	1.172	1	(1.199)	1	1.028	3	1.0303
				8	1.173	1	(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 Нижнефокинских 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	6	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	1.150	9	1.0887
5	1.044	3	1.044	3 ш.	1.065	222	9	1.115	5	1.0419
							<1	1.090		
							5	1.069		
							<1	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,

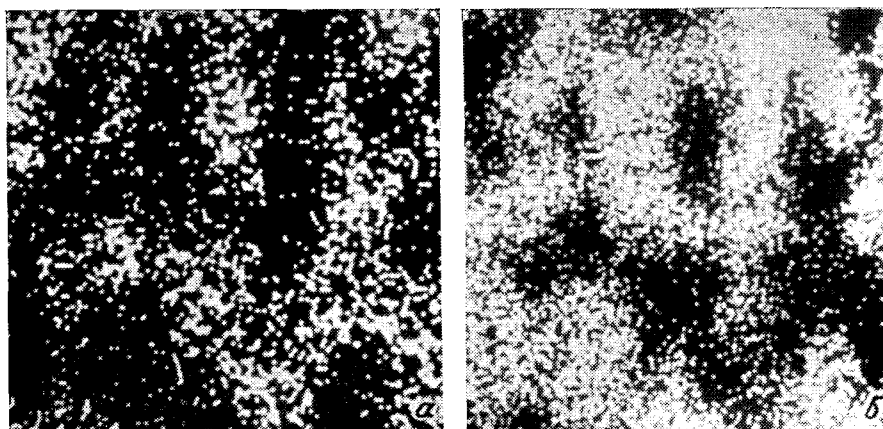


Рис. 2. Природная эвтектическая смесь олова и свинца из офитовых долеритов тела (обр. ОЛ-54-2) в рентгеновских лучах $Pb_{L\alpha}$ (а) и $Sn_{L\alpha}$ (б). Увел. 1250.

Эркютейской дайки и Накынского силла, офитовых долеритах из даек Кууйской 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%,

Таблица 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
Сумма	—	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 дебаеграмм 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					80	2.16
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					13	1.53
10	1.492	7	1.493	7	1.494	32	1.493	23	1.484		
								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

