

НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ

УДК 549.2

Д. чл. *Б. В. ОЛЕЙНИКОВ*, д. чл. *А. В. ОКРУГИН*,
д. чл. *М. И. НОВГОРОДОВА*, *Н. А. АШИХМИНА*, *О. Б. ОЛЕЙНИКОВ*,
Д. И. ФРИХ-ХАР, д. чл. *О. А. БОГАТИКОВ*, д. чл. *Н. В. ЛЕСКОВА*,
д. чл. *А. И. ГОРШКОВ*

АЛЮМИНИЙ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ КЛАССА
САМОРОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ¹

Алюминий является одним из наиболее активных химических элементов, обладающим чрезвычайно высоким сродством к кислороду, и появление его металлической формы в природных процессах представляется маловероятным. Однако, несмотря на парадоксальность самого факта нахождения самородного алюминия, приходится признать, что этот минерал может образовываться в природных условиях. Первые сведения о находках самородного алюминия в трапзах Сибирской платформы были опубликованы *Б. В. Олейниковым* и соавторами (1978). Природное происхождение этой находки вызвало большое сомнение в связи с возможностью заражения проб техногенными продуктами (*Соболев*, 1979). В связи с этим доказательства природного генезиса металлического алюминия приобретают первостепенное значение. Не исключая возможность техногенной природы первой случайной находки самородного алюминия в искусственном шлихе анортозитовых габбро-долеритов Биллээхского интрузива, авторы предприняли целенаправленные поиски этого минерала. Сопутствующая ему ассоциация других самородных металлов (*Fe, Cu, Zn, Pb, Sn, Cd*), интерметаллических соединений *CuZn, SnSb*, графита и карбидов *Fe* и *Si* не позволяла игнорировать факт возможного существования природного алюминия. В результате минерал был зафиксирован в виде мелких до 1 мм пластинчатых зерен в искусственных шлихах ряда тел: в пикритовых габбро-долеритах Нижнефокинской дифференцированной залежи (Норильский район), в анортозитовых габбро-долеритах Усть-Ханьинского тела (бассейн р. Вилюй), в призматически-офитовых габбро-долеритах Цепочечного интрузива и дайки ОБ-255. В последнем случае минерал был извлечен еще и из элювиально-дезинтегрированной дресвы габбро-долеритов, взятой из закопушки и промытой на деревянном лотке. Проба была просмотрена под биноклем без какого-либо обогащения. Нижнефокинский и Биллээхский интрузивы являются представителями позднепалеозойской—раннемезозойской трапповой формации Сибирской платформы, а остальные тела имеют среднепалеозойский возраст и локализованы в пределах северо-западного борта Патомско-Вилюйского авлакогена. Детальная характеристика этих объектов приводится в работе *Б. В. Олейникова* (1979). Наиболее устойчиво самородный алюминий фиксируется в анортозитовых габбро-долеритах, вещество которых до прихода в гипабиссальную камеру претерпело дифференциацию в ман-

¹ Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всесоюзного минералогического общества 28 декабря 1982 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 14 февраля 1983 г.

тийном промежуточном очаге. В этих породах, кроме вышеперечисленных минералов класса самородных элементов и карбидов, установлены прото-кристаллы форстерит—хризолита (Fa_{9-18}), анортит—битовнита (An_{92-82}), гранаты альмандино-пирипового ряда, разнообразные шпинелиды, дистен. Названная ассоциация минералов со всей очевидностью свидетельствует о том, что докамерная эволюция базитового расплава проходила в условиях значительных давлений (около 15 кбар), высокой температуры (1450—1550 °С) и в восстановительной среде, обеспечивающей появление самородного железа. Наконец, оказалось, что природные металлы не имеют аналогов среди материала деталей обогатительного оборудования, используемого в Институте геологии ЯФ СО АН СССР для обработки проб (Гамянин и др., 1981). Все вышесказанное дает основание утверждать, что изученные нами зерна алюминия из базитов Сибирской платформы представляют собой природные образования.

Присутствие самородного алюминия установлено и в ультраосновных породах Сибирской платформы. Мелкие пластинчатые выделения алюминия (размером до 0.7 мм) были обнаружены в неэлектромагнитной фракции кимберлитовых пород Якутии (Ковальский и др., 1981), пикритовых порфиритов Гулинского плутона (Олейников и др., 1981) и ксенолитах лерцолитов, гарцбургитов, пироксенитов и эклогитов из кимберлитовой брекчии трубки Обнаженная (бассейн р. Оленек). Разрушение ксенолитов проводилось электроимпульсным способом в водной среде на установке ДИК-1М в Томском политехническом институте. Камера, где происходило измельчение проб, сделана из неметаллических деталей, что полностью исключает заражение проб техногенным алюминием. Зерно алюминия пластинчатой формы с треугольными очертаниями (размером 0.34 мм по длинной стороне) было вскрыто при дроблении в ступке Абиха порфиритового кристалла форстерита из кимберлитов трубки Удачная (Маршинцев и др., 1981). В ультраосновных породах алюминий ассоциирует с самородными фазами и природными сплавами Fe, Ni, Cu, Zn, Sb, Sn, Pb, Au, Mn, Si, графитом и муассанитом.

Самородный алюминий найден также в пробах из осадков Тихого океана, не подверженных каким-либо лабораторным операциям обогащения. Выделения алюминия в виде пленок, тонких пластинок и обломков угловатой формы в ассоциации с самородными металлами (Fe, Cu, Zn—Cu, Sn), обогащенными примесью кремния, обнаружены в районах, расположенных вблизи разломной зоны Клариян и вулканических островов Ревилья—Хихедо, а также Гавайских островов (Штеренберг, Васильева, 1979). Авторы этих находок полагают, что металлические частицы попали в океанические осадки в результате разрушения продуктов вулканизма и гидротермальной деятельности.

Три частицы самородного алюминия были обнаружены в пробе лунного грунта весом 33 мг во фракции 0.20—0.45 мм, доставленного автоматической станцией «Луна-20» с континентального района между Морем Кризисов и Морем Изобилия, где распространены породы анортозит-норит-троктолитовой серии. Наличие на поверхности зерен алюминия кристаллов галита, сильвина и примазок силикатного стекла убеждает в их естественном происхождении (Ашихмина и др., 1979). Следует подчеркнуть, что в лунном грунте установлены самые разнообразные минералы класса самородных элементов (Фрондел, 1978), а на поверхности фрагментов лунного реголита выявлены группировки атомов Fe, Ti, Si, Cr, восстановленных до элементарного состояния (Диков, Богатиков и др., 1977; Немощкаленко и др., 1978).

Если во всех вышеназванных объектах самородный алюминий обнаружен в дезинтегрированных породах, то в гидротермальных рудах самородный алюминий установлен в сростках с различными минералами, позволяющими уточнить его парагенезис. Первоначально самородный алюминий был найден в протолокке амфиболлизированного габбро с прожилково-вкрапленной золото-сульфидно-кварцевой минерализацией в Кумак-

ском месторождении Южного Урала. Позднее в этом же рудном поле была сделана находка этого минерала в кварцевой жиле среди кварцево-карбонато-полевошпатовых метасоматитов вблизи массива гранодиоритов (Новгородова, 1979). Эта находка окончательно подтвердила природное происхождение алюминия и исключила подозрение относительно техногенного загрязнения ранее изученных протолочных проб.

Крупные пластинчатые выделения самородного алюминия в сростании с самородным свинцом и рядом других самородных металлов обнаружены в коренных выходах кварцевой жилы, залегающей среди фельдшпатизированных и карбонатизированных вулканогенно-осадочных пород среднего палеозоя. Жила сложена крупнозернистым кварцем с признаками пластических деформаций и содержит полевые шпаты и анкерит в краевой части. Кварц в участках цемента брекчиевидного строения, явно перекристаллизованный, пигментированный тонкораспыленным углистым веществом и битумоидами, содержит пластинчатые сростки зеленовато-серого волокнистого алюминийсодержащего лизардита с мелкими скоплениями самородного алюминия и свинца. Крупные пластинчатые сростки этих металлов (размером 1—2 см) располагаются в тонких трещинах жильного кварца, на стенках которых при микроскопическом исследовании обнаружены мелкие кристаллики водянпрозрачного калиевого полевого шпата и альбит—олигоклаза. Большинству изученных выделений свойственно микробрекчиевое строение с мельчайшими обломками жильного кварца (размером в первые десятки микрон), сцементированного металлами.

В окварцованных апомагнезиальных скарнах Таджикистана (месторождения Тарор, Чашманият) самородный алюминий обнаружен в виде неправильных по форме и удлинённых пластинчатых выделений внутри линзовидного скопления тонкочешуйчатого серицито-хлоритового агрегата среди кварца. В последнем заключены мелкие ксеноморфные зерна самородных золота и висмута. Методами аналитической электронной микроскопии в утоненных пластинках самородного алюминия из этих месторождений диагностированы включения и вроски слоистых силикатов (мусковит, хлорит, бертьерин), графита, неправильной формы мельчайшие сдвойникованные зерна арагонита и частички самородной меди, в двух из которых присутствовала примесь As. Обнаружены включения кубических кристалликов сильвина и галита. Самородный алюминий установлен также в кварцево-альбитовых метасоматитах с примесью углеродистого вещества и обилием лейкоксена из таджикостанского золото-рудного месторождения прожилково-вкрапленного типа, локализованного в терригенной толще. В пластинчатом выделении алюминия из этого месторождения наряду со слоистыми силикатами (хлорит, клинохризотил) присутствуют включения альбита и графита.

По данным В. И. Купенко и Е. Г. Осадчего (1981), самородный алюминий установлен в минерализованной зоне, тяготеющей к тектоническим разломам, в пределах Никитовского рудного поля. Вкрапленная минерализация характеризуется присутствием помимо киновари сульфидов Fe, Zn, Cu, Mo, арсенопирита, ряда Pb—Sb сульфосолей, рутила, анатаза и альбита. Самородный алюминий вместе с порошковатыми глинистыми минералами (диккит, гидрослюда) выполняет интерстиции среди идиоморфных кристаллов кварца в регенерационном цементе минерализованных песчаников, проникая в микротрещины и мельчайшие каверны, в том числе и мелкие пустоты выщелачивания в кристаллах киновари.

Общим для всех находок самородного алюминия, кроме последней, является постоянная ассоциация его с разнообразными металлическими фазами, графитом и муассанитом. В гидротермальных и скарновых рудах сопутствующими минералами являются слоистые силикаты, среди которых диагностированы мусковит, хлориты, бертьерин, минералы группы серпентина. Следует обратить внимание на включения галита и сильвина, обнаруживаемые практически во всех зернах алюминия из этих место-

рождений; налеты этих же минералов установлены также на поверхности лунных частичек металла.

Природный алюминий имеет серовато-белый цвет. Блеск тусклый, на свежем изломе металлический. В отраженном свете белый, изотропен, с высоким отражением. Измерение показателей отражения проводилось на микроспектрофотометрах «Блеск» и «Ортоп». Отражение минерала в видимой области длин волн света практически не изменяется (табл. 1).

Таблица 1

Величины отражения самородного алюминия из Кумаковского месторождения

Прибор	Отражение (%) для различных длин волн (нм)															
	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
«Блеск»	87.0	87.1	87.2	87.3	87.4	87.5	87.6	87.8	87.9	87.9	87.9	87.8	87.7	87.6	87.3	86.9
«Ортоп»	—	89.0	88.2	89.3	90.8	90.6	90.0	89.8	89.8	89.9	90.0	90.0	89.4	88.8	88.6	88.3

Примечание. Измерения на приборе «Блеск» выполнены Т. Н. Чвилевой, на приборе «Ортоп» Л. И. Бочек.

Минерал ковкий, немагнитный. Твердость алюминия из габбро-долеритов Сибирской платформы, определенная методом микровдавливании на приборе ПМТ-3 при нагрузке 10 г, колеблется от 12 до 25 кгс/мм² (около 1.5 по шкале Мооса). Для металла из Никитовского ртутного месторождения получены значения 83—113 кгс/мм².

Повышенную твердость минерала в последнем случае по сравнению с искусственным поликристаллическим алюминием авторы объясняют нитевидным строением самородного алюминия (Купченко, Осадчий, 1981). Плотность минерала 2.7 г/см³.

Электроннозондовые анализы показывают содержание Al 99—100% во всех его зернах из рассмотренных разнотипных мест нахождения. В образцах из габбро-долеритов трапшовой формации Сибирской платформы присутствуют зерна с примесью Mg до 2.5%, которые содержат включения Mg₂Si и Al₂CuMg (?). Примеси Ca (1.2—6%), Cu и Fe (до 4%), S (0.4—1.6%), установленные методом оже-спектроскопии в лунных образцах, объясняются включениями алюминатов кальция, сульфидов Cu и Fe, самородных Cu и Fe. Большое количество примесей установлено с помощью лазерного микроанализатора LMA-1 в частицах самородного алюминия из океанических осадков. Постоянно присутствуют Si (1—1%), реже Ti (0.1—1.0%), Zn (1—10%), Fe (1—10%) — (Штеренберг, Васильева, 1979). Примеси Hg, Zn, Fe, Cu характерны для самородного алюминия из Никитовского месторождения (Купченко, Осадчий, 1981). В образцах из скарноворудных месторождений методами аналитической электронной микроскопии обнаружена структурная примесь Ca. Количество ее, оцененное по энергодисперсионной характеристике, полученной на приставке Кевекс-Рэй к электронному микроскопу, незначительно (до 1%).

Для теллурического алюминия получены монокристалльные и поликристаллические картины микродифракции и дебаеграммы. Сопоставление интенсивностей и межплоскостных расстояний, рассчитанных для образцов из разных геологических объектов (табл. 2), позволяет предположить существование в природе двух кубических разновидностей алюминия; одна с пространственной группой *Fm3m*, вторая — *Pm3m*. Параметры элементарной ячейки для первой разновидности $a=4.04—4.07 \pm 0.005 \text{ \AA}$.

Отличительной особенностью самородного алюминия из скарноворудных месторождений Таджикистана являются признаки частичного упорядочения. На микродифракционных картинах (Новгородова и др., 1981) помимо характерных для гранцентрированной решетки рефлексов 111,

Таблица 2

Результаты расчета дебаграмм самородного алюминия

Месторождение Тарор, Таджикистан			Месторожде-ние Кумак, Южный Урал		Габбро-доле-риты, Сибирская платформа		Пикритовые порфири-ты Гулинского плутона		Океаниче-ские осадки (Штерен-берг, Василь-ева, 1979)		Искусствен-ный алюминий (Михеев, 1957)	
<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>
100 β	2	4.64										
100	4	4.10										
—	3	3.80 **										
—	1 ш.	3.42 **										
—	2	3.03										
110	2	2.90										
111 β	5	2.60	4	2.61	1	2.604			2	2.58		
111	10	2.35	10	2.36	10	2.344	10	2.336	10	2.36	10	2.34
200 β	4	2.24	3	2.26	<1	2.248			2	2.32		
200	9	2.03	7	2.04	4 ш.	2.035	5	2.022	8	2.23	9	2.03
220 β	3	1.582	3	1.590						2.02		
—	1	1.557 *										
220	8	1.438	7	1.440	3	1.432	4	1.432	8	1.43	8	1.432
311 β	4	1.352	3	1.352					1	1.34		
—	2	1.294 *	1	1.297 *								
311	10	1.226	9	1.224	4	1.224	5	1.221	10	1.27	10	1.221
222	5	1.172	5	1.170	<1	1.171	2	1.169	6	1.17	5	1.169
—	1	1.111 *	1	1.119 *								
—	1	1.045 *										
400 β	4	1.026	3	1.025								
400	6	1.014	3	1.013	1	1.013	1	1.012	3	1.02	4	1.013
331 β	1	1.005	2	1.011								
331	4	0.999	3	0.996					2	1.00	7	0.928

Параметр элементарной ячейки (Å)

4.06	4.07	4.050	4.048	4.04 (за исключением отражения 311)	4.046 ± 0.002
4.07	4.07	4.050	4.048	4.04 (за исключением отражения 311)	4.046 ± 0.002
(с учетом сверхструктурных отражений 100, 110)					

Примечание. Звездочкой (*) отмечены линии сальвина, двумя (**) — линии мариялита.

200, 220, 311 с соответствующими $d=2.35, 2.03, 1.43, 1.23$ Å наблюдается отражение 110 с $d=2.89$ Å, указывающее на то, что истинная ячейка является примитивной. Сверхструктурные отражения 100 ($d=4.10$ Å с интенсивностью 4), 110 ($d=2.90$ Å с интенсивностью 2) фиксируются также на дебаграммах (табл. 2). Параметры элементарной ячейки $a=4.07$ Å. Признаки частичного упорядочения, так же как и увеличение параметра элементарной ячейки, в этих образцах обусловлены, по всей видимости, присутствием в исследованном алюминии примеси Са.

Образование земного самородного алюминия связывается с деятельностью восходящих потоков восстановительных интерателлурических флюидов (Олейников и др., 1978; Новгородова, 1979). В лунном грунте появление алюминия обусловлено экзогенно-космогенными факторами (Ашихмина и др., 1979).

Название минералу дано по латинскому названию элемента. Типовые образцы хранятся в Минералогическом музее им. А. Е. Ферсмана АН СССР, Москва, в Геологическом музее Якутского филиала СО АН СССР, Якутск и Минералогическом музее Высшей национальной горной школы Парижа.

Литература

- Ашизмина Н. А., Богатиков О. А., Горшков А. И., Мохов А. В., Оборотов В. Г., Фрих-Хар Д. И.* Первая находка частиц металлического алюминия в лунном грунте. — ДАН СССР, 1979, т. 246, № 4, с. 1212—1215.
- Гамянин Г. Н., Округин А. В., Олейников Б. В., Олейников О. Б., Половинкин В. Л., Махотко В. Ф.* Возможные источники технологического заражения акцессорных фракций магматических пород в процессе обработки проб. — В кн.: Самородное минералообразование в магматическом процессе: Тез. докл. Якутск: изд. Якутского филиала СО АН СССР, 1981, с. 167—172.
- Диков Ю. П., Богатиков О. А., Алешин В. Г., Немошкаленко В. В., Барсуков В. Л., Иванов А. В.* Восстановленный кремний в лунном реголите. — ДАН СССР, 1977, т. 235, № 6, с. 1410—1412.
- Ковальский В. В., Олейников О. Б., Махотко В. Ф.* Самородные металлы и интерметаллические соединения в кимберлитовых породах Якутии. — В кн.: Самородное минералообразование в магматическом процессе: Тез. докл. Якутск: изд. Якутского филиала СО АН СССР, 1981, с. 105—111.
- Купенко В. И., Осадчий Е. Г.* Самородный алюминий в рудах Никитовского ртутного месторождения. — В кн.: Самородное минералообразование в магматическом процессе: Тез. докл. Якутск: изд. Якутского филиала СО АН СССР, 1981, с. 87—90.
- Маршинцев В. К., Барашков Ю. П., Лескова Н. В.* Самородные элементы в оливинах кимберлитов. — В кн.: Самородное минералообразование в магматическом процессе: Тез. докл. Якутск: изд. Якутского филиала СО АН СССР, 1981, с. 103—105.
- Милеев В. И.* Рентгенометрический определитель минералов. М.: Госгеолтехиздат, 1957. 868 с.
- Немошкаленко В. В., Алешин В. Г., Диков Ю. П., Богатиков О. А., Барсуков В. Л., Иванов А. В., Моисеенко Е. П.* Исследование реголита, доставленного автоматической лунной станцией «Луна-20», методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. — ДАН СССР, 1978, т. 238, № 5, с. 1079—1082.
- Новгородова М. И.* Находка самородного алюминия в кварцевых жилах. — ДАН СССР, 1979, т. 248, № 4, с. 965—968.
- Новгородова М. И., Блохина Н. А., Горшков А. И., Трубкин Н. В.* Структурно упорядоченный самородный алюминий в скарнах. — ДАН СССР, т. 256, № 2, с. 445—447.
- Олейников Б. В.* Геохимия и рудогенез платформенных базитов, Новосибирск, Наука, 1979. 264 с.
- Олейников Б. В., Округин А. В., Лескова Н. В.* Петрологическое значение находок самородного алюминия в базитах. — ДАН СССР, 1978, т. 243, № 1, с. 191—194.
- Олейников О. Б., Васильев Ю. Р., Махотко В. Ф.* Самородные металлы и природные сплавы из никритового порфирита Севера Сибирской платформы. — В кн.: Самородное минералообразование в магматическом процессе: Тез. докл. Якутск: изд. Якутского филиала СО АН СССР, 1981, с. 111—114.
- Соболев В. С.* Новая опасность дезинформации в результате засорения проб посторонними минералами и техническими продуктами. — ЗВМО, 1979, вып. 6, с. 691—695.
- Фрондел Дж.* Минералогия Луны, М.: Мир, 1978, 334 с.
- Штеренберг Л. Е., Васильева Г. Л.* Самородные металлы и интерметаллические соединения в осадках северо-восточной части Тихого океана. — Литология и полезные ископаемые, 1979, № 2, с. 133—139.

Институт геологии ЯФ СО АН СССР,
Якутск,
Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) АН СССР,
Москва.