

НЕОБЫЧНОЕ ГЕДЕНБЕРГИТОВОЕ ГАББРО ИЛЬМЕНСКИХ ГОР (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

В.Г. Кориневский

Институт минералогии УрО РАН

456317, г. Миасс Челябинской обл.

E-mail: kor@ilmeny.ac.ru

Поступила в редакцию 15 октября 2007 г.

В блоке метаморфизованного серпентинитового меланжа в Ильменских горах вместе с глыбками фассаитовых и амфибол-фассаитовых анортитовых габбро встречен обломок мелкозернистого геденбергитового анортитового габбро. Геденбергит составляет 23-53 объемных процента породы. В ней содержатся также единичные зерна альмандин-гроссуляра, эпидота, апатита и циркона. На Земле геденбергитовые анортитовые габбро обнаружены впервые. Прежние находки геденбергита в изверженных породах сделаны в более кислых разновидностях (ферродiorиты, гранофиры, сиениты). По ряду петрохимических признаков геденбергитовое анортитовое габбро Ильмен близко к лейкогаббро материков Луны.

Ключевые слова: *Ильменские горы, серпентинитовый меланж, геденбергит, анортитовое габбро, лейкогаббро Луны.*

UNUSUAL HEDENBERGITE GABBRO FROM ILMENY MOUNTAINS (SOUTH URAL)

V.G. Korinevsky

Institute of Mineralogy, Urals Branch of RAS

Clast of the fine-grained hedenbergite anorthite gabbro together with lumps of the fassaite- and amphibole-fassaite anorthite gabbro was found in the block of metamorphosed serpentinite melange. Hedenbergite compose near 23-53 vol. % of rock, which contains grains of almandine-grossular, epidote, apatite and zircon too. Hedenbergite anorthite gabbro was found on the Earth for the first time. Former finds of this rocks was made in more acidic rocks (ferrodiorites, granophires, syenites). On a petrochemical basis hedenbergite anorthite gabbro similar to leucogabbro of the Moon

Key words: *Ilmeny Mountains, serpentinite melange, hedenbergite anorthite gabbro, leucogabbro of the Moon.*

В последнее время [Кориневский, Кориневский, 2005] в глыбах из серпентинитового меланжа Ильменских гор Южного Урала обнаружены полнокристаллические магматические породы кайнотипного облика и широкого петрографического диапазона (порфиоровидные вебстериты; гранатовые, энстатитовые, фассаитовые, шпинелевые и апатитовые горнблендиты; фассаитовые, биотит-амфиболовые и амфиболовые габбро с гранатовыми разновидностями; энстатититы; диопсидиты и шпинелевые фассаититы). В крупных кластолитах из меланжа можно видеть переслаивание перечисленных разновидностей пород. На этом основании их следует считать фрагментами расслоенного

комплекса, подобного тому, что описан в ряде массивов Платиноносной формации Среднего Урала [Ефимов, 1984; Магматические..., 1985] и других регионов мира [Уэйджер, Браун, 1970]. В окружающих толщах Ильменогорского комплекса сколь-нибудь заметных массивов пород перечисленного состава не наблюдается. Они известны лишь в виде разноразмерных блоков и глыб в составе пластин серпентинитового меланжа, либо в его метаморфизованных фрагментах в апоосадочной матрице уразбаевской олистостромы ильменогорского комплекса [Кориневский, Кориневский, 2005]. Все эти породы сближает присутствие неизмененного очень основного плагиоклаза (преимуще-

Таблица 1

Средний химический состав (мас. %) минералов из анортитового геденбергитового габбро Ильменских гор (проба ИК-173-16-3)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	49,15	48,05	47,60	46,69	57,97	62,66	40,45	32,70	39,12	38,67
TiO ₂	0,09	0,17	0,15	—	0,05	0,03	0,14	33,80	0,05	0,32
Al ₂ O ₃	1,87	2,36	2,11	34,10	26,26	19,20	25,57	2,03	20,18	19,97
Fe ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	8,78	—	—	—
FeO	20,43	24,90	26,60	0,28	0,42	4,58	—	0,16	15,18	15,13
MnO	0,37	0,06	0,24	—	—	—	—	—	1,08	1,17
MgO	5,16	1,85	0,90	—	—	—	0,34	—	0,61	0,36
CaO	22,56	22,35	22,02	18,49	3,17	2,77	23,50	29,68	24,07	24,32
Na ₂ O	0,19	—	0,17	0,12	10,26	0,04	—	0,92	—	—
K ₂ O	0,11	0,15	0,14	0,09	1,79	10,56	0,28	0,15	—	—
Сумма	99,93	99,89	99,93	99,97	99,92	99,84	99,06	99,44	100,29	99,94
n	46	13	15	7	1	1	3	1	5	3

Примечание. 1 – геденбергит из внутренних частей крупных кристаллов; 2 – феррогеденбергит из периферийной каймы крупных кристаллов; 3 – феррогеденбергит из мелких кристаллов; 4 – анортит; 5 – олигоклаз из тонких вростков в анортите; 6 – калиевый полевой шпат; 7 – эпидот; 8 – сфен; 9 – краевая зона кристаллов граната; 10 – центральная часть кристаллов граната. Анализы выполнены В.А. Котляровым (Институт минералогии УрО РАН) на растровом электронном микроскопе РЭММА-202м.

ственно незональный анортит № 90-100 с очень узкими и неповсеместными каемками битовни-та, редко – лабрадор, иногда с вростками бари-евого ортоклаза). Даже на этом фоне достаточ-но редких по составу и свежести облика пород геденбергитовое габбро выделяется своей уни-кальностью.

У подножья северо-западного склона горы Савелькуль (квартал 112 Ильменского за-поведника, в Челябинской области России, на Южном Урале (координаты: N 55°07'41,5", E 60°17'42,2"), в восточном конце старой канавы, вскрывшей апогипербазитовые хлорит-вермику-литовые породы, в отвалах обнаружено несколько изометричных глыб поперечником 10-40 см, сложенных разнообразными анортитовыми пар-гаситовыми габбро, среди которых преобладают фассаит-содержащие, иногда с альмандин-грос-суляром, часто со сфеном, эпидотом, апатитом и цирконом. Совместно с ними иногда встреча-ются глыбки весьма прочной мелкозернистой зеленовато-серой полнокристаллической поро-ды. Основная ее масса сложена изометричными бесцветными полисинтетически сдвойникован-ными зернами анортита № 94-100 без вторич-ных изменений. Вдоль трещин спайности в них изредка наблюдаются очень тонкие (первые микроны) линзовидные выделения олигоклаза № 13 с примесью ортоклазовой молекулы. В одном случае на границе зерна анортита с гра-

натом отмечена узкая каемка калиевого полево-го шпата (табл. 1). В полевошпатовой матрице породы довольно равномерно распределены ко-роткопризматические и изометричные кристал-лы зеленого геденбергита (рис. 1а) с заметным плеохроизмом. Поперечники зерен пироксена и плагиоклаза в большинстве случаев не превы-шают 0,3-0,5 мм. Преимущественной ориенти-ровки в их размещении не отмечено. Подсчи-танное по программе Scion Image содержание геденбергита в шлифах составляет (% от пло-щади шлифа) 23, 35 и 53 соответственно. Ме-нее 5 % приходится на многочисленные мелкие кристаллики коричневого сфена, отдельные зернышки бесцветного циркона, эпидота и апа-тита. В породе неравномерно распределены редкие гнездообразные выделения коричнева-то-красного альмандин-гроссуляра с самыми высокими для Ильмен содержаниями гроссуля-рового компонента (62-64 %). Мелкие кристал-лики короткопризматических или округлых очертаний образует светлый зеленовато-желтый прозрачный эпидот с содержанием Fe₂O₃ око-ло 9 %. Эпидот относительно равномерно рас-пределен в породе. Его кристаллы имеют не-ровные ступенчатые и округлые поверхности синхронного роста с окружающими их зерна-ми анортита, граната и пироксена. В других разновидностях габбро из кластолитов в мелан-же Ильменских гор (фассаитовые и биотит-ам-

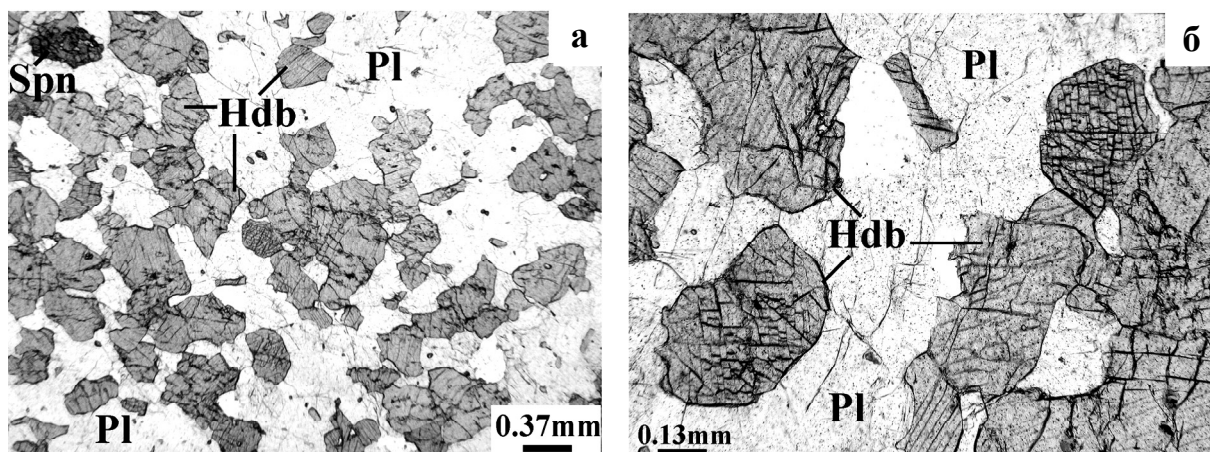


Рис. 1. а – гипидиоморфная (габбровая) мелкозернистая структура анортитового геденбергитового габбро Ильменских гор; б – крупные выделения геденбергита в анортитовой матрице породы.

Образец ИК-173-16-3. Северо-западное подножье горы Савелькуль, в квартале 112 Ильменского заповедника, на Южном Урале (Челябинская область). Фото шлифов, николи параллельны. Hdb – геденбергит, Pl – анортит, Spn – сфен.

фиболовые анортитовые габбро) эпидоты также образовывались синхронно с другими породообразующими минералами. Это дает основание считать эпидот в отмеченных породах минералом магматическим. Эпидоты такого происхождения уже описаны [Schmidt, Poli, 2004] во многих массивах гранитоидов и в сиенитах. По экспериментальным данным, эпидот в системах подобного состава кристаллизовался при давлениях выше 3-7 кбар.

Структура породы мелкозернистая габбровая. Текстура – нередко линзовидно-полосчатая. Более темные полосы и линзовидные участки обогащены мелкими зернами геденбергита. Исследования на микрозонде показали, что все минералы в породе отличаются большой однородностью состава, который мало изменяется в поперечном срезе кристаллов. В соседствующих с глыбкой геденбергитового габбро класталитах фассаит-амфиболовых анортитовых габбро также содержатся редкие кристаллы альмандин-гроссуляра и эпидота, довольно часто встречаются мелкие выделения сфена, апатита, циркона. Преобладающий в них амфибол относится к калиевой разновидности паргасита и ферропаргасита. Рассчитанные по известным амфиболовым геобарометрам J.M. Hammarstrom and E. Zen [1986], M.W. Schmidt [1991] давления при кристаллизации паргаситов в среднем составляли 10 кбар. Эту цифру

мы приняли и при оценке температуры формирования геденбергитового габбро по гранат-клинопироксеновым геотермометрам Y. Ai [1994], E.J. Krogh Ravna [2000]. Начало формирования центральных частей кристаллов граната и геденбергита при этом допущении по геотермометру Y. Ai происходило при 862°C, а по геотермометру E.J. Krogh Ravna – при 723°C.

Основная масса кристаллов геденбергита по химическому составу отвечает его магнезиальной разновидности, в которой содержания MgO находятся в пределах 3-6 вес. % (табл. 2). По номенклатурной диаграмме IMMA-98, она попадает в поле геденбергита ($En_{15,6}Fs_{35,3}Wol_{49,1}$). Оптические свойства минерала отвечают его диагностике (+2V = 52-64°, $cN_g = 39-45^\circ$, $n_g = 1,735$, $n_p = 1,702$); параметры элементарной ячейки, определенные по дифрактограмме: a , Å – 9,79, b , Å – 8,97, c , Å – 5,27, β , ° – 105,39, V , Å³ – 446,239. Полученный мессбауэровский спектр геденбергита показал полное отсутствие в его составе атомов Fe⁺³. Наличие ионов Fe²⁺ в позиции M2 (10,9 %) свидетельствует о высоких температурах образования минерала [Минералы, 1981, с. 307]. Полосы поглощения на инфракрасном спектре геденбергита имеют значения (см⁻¹): 405; 471; 514; 630; 669; 867; 915; 965; 1068. В поперечном сечении кристаллы магнезиального геденбергита имеют идиоморфные или изометричные очертания с хоро-

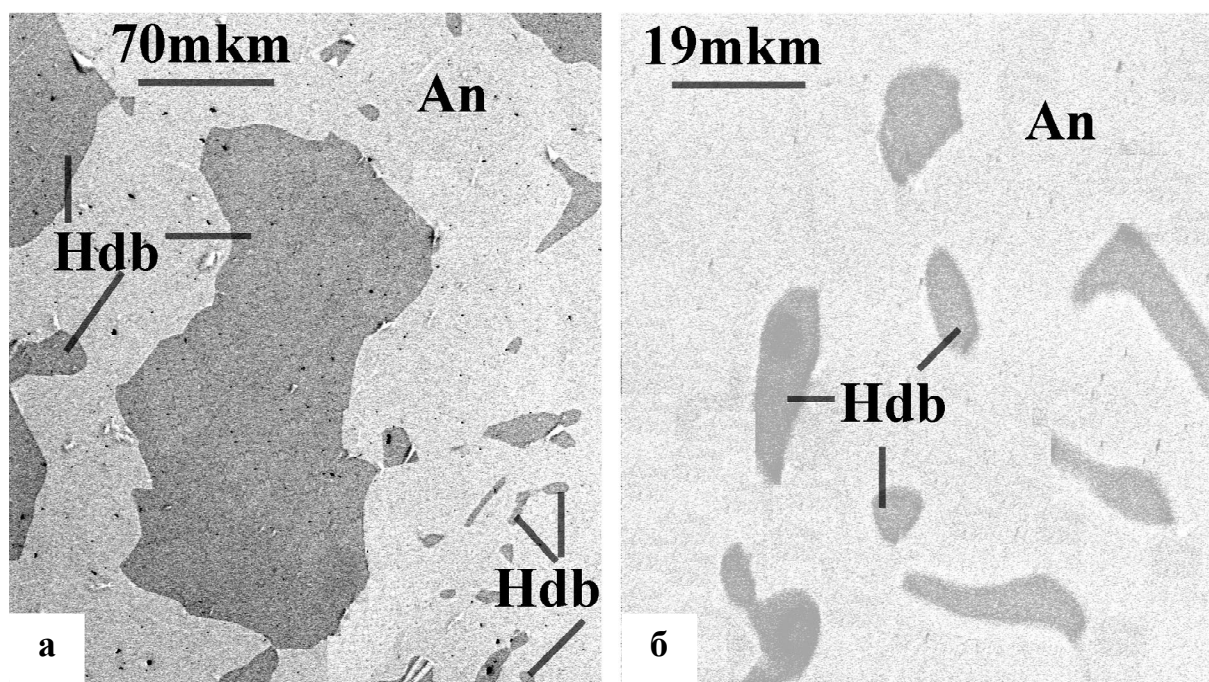


Рис. 2. Электронная фотография на растровом электронном микроскопе РЭММА-202м полированного образца анортитового геденбергитового габбро Ильменских гор.

Темно-серое – кристаллы геденбергита (Hdb), светло-серое – анортита (Pl). а – крупные кристаллы геденбергита, б – мелкие кристаллы феррогеденбергита.

шо проявленными двумя пересекающимися под прямым углом трещинами спайности (рис. 1б).

Примечательной особенностью породы является присутствие в ней мельчайших (6-15 мкм в поперечнике) кристаллов геденбергита (рис. 2) с очень низкими содержаниями MgO (меньше 1,5 вес. %), которые могут быть названы феррогеденбергитами [Дир и др., 1965]. Микрозондовые исследования позволили установить, что такой же (феррогеденбергитовый) состав имеет очень узкая (около 15 мкм) периферическая кайма у более крупных кристаллов геденбергита, у которых содержания MgO заметно возрастают к центру зерен (табл. 1). Подобная направленность изменения состава геденбергита в ходе кристаллизации магмы (существенное увеличение железистости) характерна для геденбергита из пород Скергаарда [Уэйджер, Браун, 1970], что является доказательством магматической природы геденбергита из описываемой породы Ильмен.

По набору минералов (геденбергит, плагиоклаз, гранат, эпидот) рассматриваемая порода формально сопоставима с известковыми скарнами [Петрографический..., 1981; Петрография, 1986]. От скарнов ее отличают: равнозернистая габбровая структура; отсут-

ствие теневых структур «исходных» пород и псевдоморфоз по другим минералам; наличие индукционных поверхностей синхронного роста между всеми минералами; отсутствие заметной химической зональности в кристаллах и неоднородностей в сложении самой породы; высокое содержание альмандинового компонента (29 %) в составе граната, которое в известковых скарнах не должно превышать 10-12 % [Петрография, 1986]; альмандин-гроссуляровый, а не андрадит-гроссуляровый валовый состав зерен граната; отсутствие в породе таких типичных для скарнов минералов как волластонит, диопсид, кварц, кислый плагиоклаз; преобладание в породе (около 60 %) анортита и близкое к эвтектическому соотношению количество геденбергита (около 40 %). Используя особенности анатомии кристаллов, характер поверхностей их соприкосновения, количественные соотношения минералов в породе, форму и размер кристаллических индивидов, наличие или отсутствие химической однородности зерен и другие методы практической кристалломорфологии минералов [Попов, 1984], В.А. Попов после ознакомления с образцами и шлифами геденбергитовой породы Ильмен пришел к выводу, что в ней не наблюдается

Химический состав (мас. %) геденбергитов
и геденбергитсодержащих магматических пород Земли и Луны

Компонент	Породы				Геденбергиты				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	46,22	55,10	52,13	58,81	45,05	47,20	46,60	45,52	45,00
TiO ₂	0,26	1,16	1,14	1,26	0,29	1,21	0,75	2,59	1,51
Al ₂ O ₃	22,66	9,90	15,87	12,02	29,63	1,90	2,37	2,62	1,47
Fe ₂ O ₃	1,56	4,75	5,61	5,77	—	1,26	1,42	—	—
FeO	5,98	15,14	11,17	9,38	5,45	27,47	29,70	29,31	30,40
MnO	0,15	0,14	0,26	0,19	0,06	0,20	0,92	0,37	0,49
MgO	2,12	0,13	1,11	0,72	5,89	2,54	0,67	0,40	3,54
CaO	19,40	7,76	5,80	5,03	15,08	17,78	16,01	18,54	17,80
Na ₂ O	1,10	3,86	3,63	3,91	0,43	0,56	0,73	—	0,05
K ₂ O	0,07	1,00	1,38	2,39	0,07	0,26	0,20	—	0,03
P ₂ O ₅	0,18	0,24	1,40	1,28	0,05	—	—	—	—
H ₂ O ⁺	<0,10	0,92	—	—	—	0,29	0,43	—	—
H ₂ O ⁻	<0,10	0,20	—	—	—	0,11	0,20	—	—
Сумма	99,70	100,30	99,50	100,76	102,00	100,74	100,00	99,35	100,29

Примечание. 1 – геденбергитовое анортитовое габбро Ильменских гор, по данным автора, проба ИК-173-16-3. В породе определено (г/т): Sr – 1699; Ba – 194; Ni – 46; Co – 22; Cr – 19; Cu – 17; Zn – 51; Pb – 30; 2 – ферродиорит сандвичевого горизонта Скергаардского интрузива Восточной Гренландии [Уэйджер, Браун, 1970]; 3 – меланогранофир Скергаардского интрузива [Магматические..., 1985, с. 95, табл. 25, проба 7]; 4 – гранофир Скергаардского интрузива [Магматические..., 1985, с. 95, табл. 25, проба 8]; 5 – средний состав лунного лейкогаббро [Магматические..., 1985, с. 403, табл. 125, проба 15 а]. Среднее содержание в породах группы АНТ Луны (г/т): Sr – 160,8; Ba – 136; Ni – 276,1; Co – 25,5; Cr – 826; Zn – 6,5; Pb – 0,78 [Барсуков и др., 1979]; 6, 7 – феррогеденбергит из феррогортонитового «феррогаббро» Скергаардского интрузива Восточной Гренландии [Дир и др. 1965, с. 70, табл. 7]; 8, 9 – феррогеденбергит из лунных базальтов [Фрондел, 1978, с. 252, табл. 9-1. 8 – проба 15555/39, 9 – проба 10085].

признаков метасоматоза и перекристаллизации. Следовательно, и структура породы не может быть кристаллобластической. Она образовалась путем прямой кристаллизации. По перечисленным признакам описываемую породу можно отнести к гранатсодержащему геденбергитовому анортитовому габбро (геденбергитовое эвкритовое феррогаббро).

В земных условиях, кроме известковых скарнов, геденбергит обычен в метаморфизованных железистых осадках [Дир и др., 1965; Минералы, 1981; Петрографический..., 1981; Петрография, 1986]. В магматических породах он встречается относительно редко [Минералы, 1981], чаще всего в кислых породах с фаялитом, в щелочных сиенитах и гибридных породах. Из более основных по составу изверженных пород геденбергит описан из Скергаардского интрузива в Восточной Гренландии [Дир и др., 1965; Уэйджер, Браун, 1970; Магматические..., 1985]. Он входит в состав так называемых ферродиоритов – пород среднего состава,

прежде называвшихся феррогаббро, и сложенных зональным андезитом, феррогеденбергитом, редкими зернами фаялита, апатитом, цирконом, кварцем и микропегматитом [Уэйджер, Браун, 1970]. Эта разновидность пород составляет верхнюю часть крупной пластовой интрузии Базистоппен, внедрившейся в породы плутона Скергаард и дифференцированной на месте залегания. Феррогеденбергит является также породообразующим минералом меланогранофилов – еще более кислых по составу пород, слагающих т.н. сандвичевый горизонт на границе фаялитового феррогаббро и слоя андезинитов в верхней части разреза Скергаардского плутона. Сейчас сандвичевый горизонт также считается пластовой интрузией [Уэйджер, Браун, 1970]. Меланогранофир состоит из зонального плагиоклаза с ядром из кислого андезина № 30, почти чистого фаялита, феррогеденбергита и 5 % микропегматита. Таким образом, несмотря на преимущественно основной состав пород Скергаардского плутона, геденбергит здесь

встречается только в более поздних средних и кислых дифференциатах в ассоциации с плагиоклазом (не основнее андезина) и кварцем. Магматические же породы основного состава, где плагиоклаз представлен анортитом, содержащие в качестве породообразующих минералов геденбергит, альмандин-гроссуляр и эпидот, на поверхности Земли пока не обнаружены [Заварицкий, 1956; Дир и др., 1965; Минералы, 1981; Петрографический..., 1981; Ефимов, 1984; Магматические..., 1985; Петрография, 1986].

Благодаря усилиям американских астронавтов и результатам полетов советских беспилотных аппаратов, мир получил уникальную возможность изучения состава пород других планет, в первую очередь Луны. Были установлены принципиальное подобие пород Луны и Земли, магматическое происхождение большинства пород Луны и относительная бедность их минералами [Фрондел, 1978; Назаров и др., 1979; Барсуков и др., 1979; Магматические..., 1985]. Но именно на Луне в изобилии были встречены преимущественно анортитовые по составу породы, в том числе содержащие геденбергит. На A-S диаграмме состава лунных пород, где $A = Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O$, а $S = SiO_2 - (FeO + MgO + TiO_2 + MnO + Cr_2O_3)$, точка состава описываемого геденбергитового анортитового габбро Ильмен ($A = 43,23$; $S = 36,31$) попала в поле материковых пород группы АНТ (анортозиты, нориты, троктолиты) Луны [Барсуков и др., 1979, рис. 2-4]. На классификационной диаграмме $MgO-Al_2O_3$ [Магматические..., 1985, рис. 128] геденбергитовое габбро Ильмен попадает в поле составов анортитовых лейкогаббро Луны, преобладающих на поверхности лунных материков. Эти породы сближают очень высокая глиноземистость и кальциевость, низкое содержание щелочей и окиси магния, сопоставимые количества кремнезема и железа (табл. 2). Таким образом, устанавливается определенное петрохимическое сходство анортитового геденбергитового габбро Ильменских гор с анортитовым лейкогаббро лунных материков [Барсуков и др., 1979]. Это сходство усиливается близким характером распределения малых элементов, заметной ролью среди них Sr и Ba. В тех и других породах плагиоклаз является анортитом, его количество составляет 50-70 %, следом за плагиоклазом по значению следует пироксен. Минералы не обнаруживают заметной химической зональности [Фрондел, 1978; Назаров и др., 1979; Маг-

матические..., 1985]. Было установлено [Фрондел, 1978, с. 220], что лунные плагиоклазы (в противовес земным) характеризуются избытком Si и дефицитом Al. Поразительно, но анортиты из геденбергитового габбро Ильмен также содержат избыток кремния и дефицит алюминия! Примечательна и схожесть гранулометрического состава пород Луны и Земли: в сравниваемых разновидностях размер зерен минералов редко превышает 0,3-0,5 мм в поперечнике. В то же время, обращает на себя внимание повсеместное присутствие в анортитовых породах материков Луны ильменита, оливина, ортопироксена и шпинели, тогда как в сравниваемом с ними геденбергитовом габбро Ильмен эти минералы отсутствуют. Для объяснения этого феномена можно привлечь последовательность насыщения минералов окислами, намеченную для магматических расплавов [Билибин, 1958]. Исходя из нее, расплавы, породившие геденбергитовое габбро, аномально богатые CaO (19,40 вес. %), все железо, магний и титан, содержание которых и так было незначительным, связали в первую очередь в виде геденбергита, сфена, эпидота и альмандин-гроссуляра, а на образование оливина, ильменита, ортопироксена и шпинели этих элементов просто не хватило. По этой же причине (малые содержания Ti в расплаве) геденбергиты Ильмен значительно беднее TiO_2 , чем геденбергиты Луны.

К сожалению, сведения о формах выделения геденбергита в лунных породах, его взаимоотношениях с другими минералами крайне скудны [Барсуков и др., 1979]. Можно лишь констатировать, что магматические анортитовые основные породы Луны, содержащие геденбергит, по минеральному и химическому составам наиболее близки к геденбергитовому анортитовому габбро Ильменских гор. Минералогические отличия последнего обусловлены весьма большими количествами CaO в родональном расплаве. Наличие в зернах ильменских геденбергитов обогащенной железом краевой каймы соответствует той направленности эволюции кристаллизации клинопироксенов (до наиболее железистой фазы – феррогеденбергита – в конце процесса), что установлена для основных пород Скергаардского интрузива [Уэйджер, Браун, 1970]. Видимо, следует согласиться с представлениями А.А. Ярошевского [1979] об образовании лунной и земной кор в результате накопления продуктов затвер-

девания отдельных порций высокоглиноземистого расплава, возникшего в глубинах планет в результате зонной плавки. В случае Луны эти породы составляют значительную часть объема относительно тонкой коры, а в условиях Земли они застывали в нижней части разреза мощной континентальной коры. В примере с геденбергитовым габбро Ильмен обломки этих пород были вынесены на поверхность Земли протрузиями серпентинитового меланжа.

Я очень благодарен проф. В.А. Попову (Институт минералогии УрО РАН) за ценные советы и помощь при работе над статьей.

Список литературы

- Барсуков В.Л., Дмитриев Л.В., Гаранин А.В.* Основные черты геохимии лунных пород // Грунт из материкового района Луны. М.: Наука, 1979. С. 18-30.
- Билибин Ю.А.* Минеральные ассоциации магматических горных пород // Избранные труды. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1958. С. 27-50.
- Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Дж.* Пороодообразующие минералы. Т. 2. Цепочечные силикаты. М.: Мир, 1965. 406 с.
- Ефимов А.А.* Габбро-гипербазитовые комплексы Урала и проблема офиолитов. М.: Наука, 1984. 232 с.
- Заварицкий А.Н.* Изверженные горные породы. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 479 с.
- Кориневский В.Г., Кориневский Е.В.* Реликтовые горные породы Ильменогорского метаморфического комплекса (Урал) // Мат-лы междунар. (Х-го Всероссийского) петрографического совещ. «Петрография XXI века». Т. 1. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2005. С. 107-108.
- Магматические горные породы. Т. 3. Основные породы. М.: Наука, 1985. 488 с.
- Минералы. Справочник. Т. III. Вып. 2. М.: Наука, 1981. 614 с.
- Назаров М.А., Тарасов Л.С., Шевалеевский И.Д.* Минералогия материкового реголита («Луна-20») // Грунт из материкового района Луны. М.: Наука, 1979. С. 226-266.
- Петрография. Ч. III / Под ред. А.А. Маракушева. М.: Изд-во МГУ, 1986. 288 с.
- Петрографический словарь / Под ред. В.П. Петрова, О.А. Богатикова, Р.П. Петрова. М.: Недра, 1981. 496 с.
- Попов В.А.* Практическая кристалломорфология минералов. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. 192 с.
- Уэйджер Л., Браун Г.* Расслоенные изверженные породы. М.: Мир, 1970. 552 с.
- Фрондел Дж.* Минералогия Луны. М.: Мир, 1978. 334 с.
- Ярошевский А.А.* Зонное плавление и происхождение пород лунной коры // Грунт из материкового района Луны. М.: Наука, 1979. С. 327-335.
- Ai Y.* A revision of the garnet-clinopyroxene Fe^{2+} -Mg exchange geothermometer // Contrib. Mineral. Petrol. 1994. V.115. № 4. P. 467-473.
- Hammarstrom J.M., Zen E.* Aluminium in hornblende: an empirical igneous geobarometer // Amer. Miner. 1986. V. 71. № 11/12. P. 1297-1313.
- Krogh Ravna E.J.* The garnet-clinopyroxene Fe^{2+} -Mg geothermometer: an updated calibration // J. Metamorphic Geol. 2000. V. 18. № 2. P. 211-219.
- Schmidt M.W.* Experimental calibration of the Al-in-hornblende geobarometer at 650°C, 3,5-13,0 kbar // Terra abstracts. 1991. V. 3. № 1. P. 30.
- Schmidt M.W., Poli S.* Magmatic epidote // Reviews in Mineralogy and Geochemistry. Epidotes. 2004. V. 56. P. 399-430.

Рецензент доктор геол.-мин. наук А.А. Ефимов