

### О СПЕЦИФИКЕ ВЫВЕТРИВАНИЯ ПОРОД ОСНОВНОГО СОСТАВА В АРКТИКЕ

© 2018 г. А.Г. Самойлов

ООО "Таймырская горная компания"

Самойлов Александр Геннадьевич e-mail: alexandrgrs@yandex.ru

*Аннотация:* приводятся материалы по характеру изменения химического состава долеритов и базальтов в процессе современного выветривания в Арктике в сравнении с процессами выветривания в других природно-климатических зонах Земли. Главной особенностью процессов выветривания пород основного состава в арктических условиях, отличающих их от таковых в тропиках, умеренных широтах и в Субарктике, является устойчивое обогащение продуктов разложения  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{SiO}_2$  и выноса  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{CaO}$  при незакономерном поведении  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Mg}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Обобщенный ряд привноса  $\leftrightarrow$  выноса химических компонентов в арктических условиях имеет вид:  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \leftarrow \text{SiO}_2 \leftarrow [\text{K}_2\text{O}, \text{Na}_2\text{O}, \text{Al}_2\text{O}_3] \rightarrow (\text{MgO}, \text{FeO}, \text{CaO})$ . В общем плане границу между Арктикой и Субарктикой можно считать границей, где происходит качественное изменение характера выветривания пород основного состава с существенно химического на преобладающе физическое.

*Ключевые слова:* особенности выветривания пород основного состава, арктические условия, ряд привноса-выноса.

К настоящему времени хорошо изучен характер выветривания магматических пород в тропиках, имеются сведения о современном преобразовании долеритов в умеренных широтах, освещены особенности изменения вещества трапповых образований в Субарктике. В работах, касающихся этого вопроса, представлено большое количество факторов (состав исходных пород, устойчивость минералов, климат, рельеф и т.д.), влияющих на направленность и интенсивность процессов. Однако выветривание горных пород в Арктике практически не изучалось. Последнее определило цель настоящей статьи, которая заключается в выяснении закономерностей современного изменения химического состава горных пород в арктических условиях при их выветривании.

Работа выполнена в пределах архипелага Северная Земля и полуострова Таймыр, в его арктической части. Для климата территории характерна чрезвычайная суровость. Средние многолетние температуры наиболее холодного месяца (января) от  $-28$  до  $-32^\circ$ , а наиболее теплого (июля) – от  $+4$  до  $8^\circ$ . Среднегодовое количество осадков колеблется от 230 до 400–500 мм в равнинных областях и до 400–800 мм в горных районах. Снежный покров лежит 260–280 дней, безморозный период длится 80–100 дней. Продолжительность полярного дня и полярной ночи составляет два месяца. Территория расположена в области развития многолетнемерзлых пород.

Используемые в работе исходные материалы получены на образцах, отобранных в горно-тундровых ландшафтах с абсолют-

ными отметками 300–800 м и на арктическом побережье. Для исследований выбраны афировый и порфиновый базальты, мелко-, среднезернистые, порфирированный долерит и сульфидсодержащие интрузивные образования основного состава. Эксперимент проводился по следующей схеме: неизменная порода → корка на выветрелой поверхности → элювиальный суглинок с дресвой (конечный продукт современного выветривания). Каждая из перечисленных разновидностей подвергалась различным исследованиям, в том числе и общему химическому (силикатному) анализу, результаты которого использованы для подготовки настоящей статьи. Обработка аналитических данных осуществлялась посредством составления сравнительных таблиц и построения диаграмм привноса ↔ выноса, иллюстрирующих особенности выветривания в разных природно-климатических условиях. Цифры для построения диаграмм были получены как частное от деления компонентов в неизменной породе на их содержание в продуктах выветривания, умноженное на 100 [1].

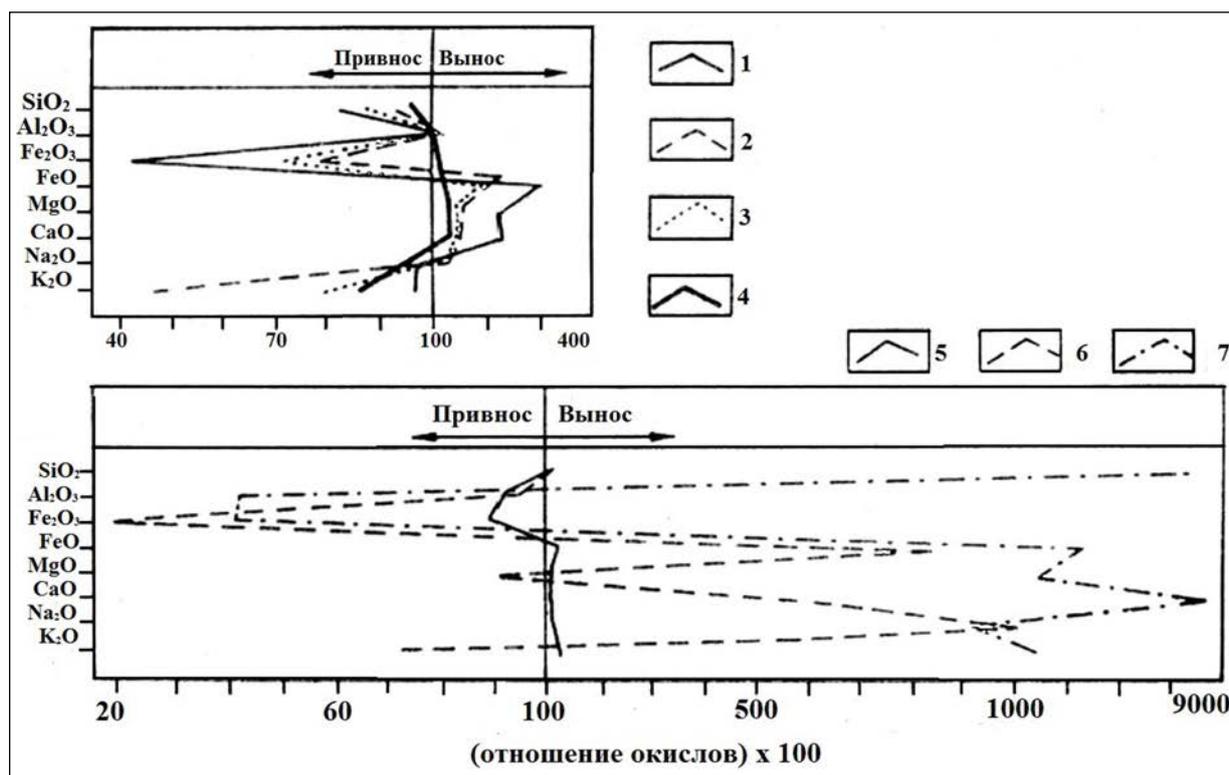
### Основные результаты

1. Интенсивность выветривания долеритов уменьшается от тропических районов к умеренным и далее к субарктическим, но протекает она по единой закономерности для различных природных зон: остаточные продукты обогащаются глиноземом и окислом железа, из первичных пород выносятся кремнезем, щелочи, окисляется железо. В Субарктике, по сравнению с тропиками, (данные по северу Сибирской платформы) значительно меньше выносятся  $\text{SiO}_2$ , что приводит к образованию продуктов, богатых кремнеземом. В процессе выветривания долеритов, разных по текстурно-структурным признакам, в арктических условиях в горно-тундровых ландшафтах наблюдается следующая схема привноса ↔ выноса компонентов: в конечных продуктах растет

содержание  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ; выносятся  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{FeO}$ ;  $\text{Na}_2\text{O}$  ведет себя закономерно. Разложение среднезернистого долерита на арктическом побережье имеет следующий вид: привнос кремнезема и щелочно-земельных компонентов, обеднение глиноземом и окислом железа, устойчивый вынос щелочей (рис. 1, табл. 1).

На начальной стадии преобразования горных пород как в горно-тундровых ландшафтах, так и на арктическом побережье выветривание протекает по пути обогащения корок  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и выноса  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{FeO}$  (табл. 1, рис. 3). Интенсивность выветривания пород в горно-тундровых ландшафтах возрастает от начальной стадии к конечной, а разложение в целом идет по единой закономерности (за исключением глинозема). Изменение химического состава в процессе образования корок на арктическом побережье соответствует их формированию в горно-тундровых ландшафтах, но отличается от схемы, присущей для образования конечного продукта. Следует отметить, что во всех рассмотренных примерах начальные и конечные продукты выветривания обогащаются кремнеземом.

2. Выветривание эффузивных образований в субарктических условиях протекает со значительно меньшей интенсивностью, чем в тропических зонах (рис. 2). В Субарктике (север Сибирской платформы) характер диаграмм привноса ↔ выноса совпадает с таковым в тропиках. Общим для этих случаев является накопление  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , а также вынос  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ . Глинозем и  $\text{K}_2\text{O}$  в Субарктике ведут себя закономерно. Здесь, в отличие от тропиков, отсутствует систематическое увеличение интенсивности преобразования веществ от корок до конечных продуктов разложения. Опыт показал, что при выветривании афирового базальта уровень дезинтеграции вещества в элю-



**Рис. 1. Современное преобразование химического состава долеритов в различных природно-климатических условиях**

*Арктические условия:* 1 – мелкозернистый, 2 – среднезернистый, 3 – порфировидный долериты в горно-тундровых ландшафтах, 4 – среднезернистый долерит на арктическом побережье, 5 – долерит в субарктических условиях, 6 – долерит в умеренных широтах [3], 7 – долерит в тропических условиях [3]

виальном суглинке значительно выше, чем в корках, а в процессе выветривания порфирового базальта – нет. По принципиально другой схеме протекает выветривание в Арктике. Здесь идет устойчивое обогащение конечных продуктов  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  и уменьшение содержаний  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ . По схеме, близкой к приведенной, но с меньшей интенсивностью, протекает изменение состава при образовании корок выветривания. Корки в этих условиях содержат больше, по сравнению с неизменной породой,  $\text{K}_2\text{O}$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , меньше  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ;  $\text{SiO}_2$  ведет себя двояко. Подчеркнем, что выветривание эффузивных и интрузивных пород в Арктике идет с равной интенсивностью и по единой закономерности, отличающей его не только от тропического, но и от субарктического, что является по-

казателем смены существенно химического выветривания на преобладающе физическое.

Показателен пример того, что схема выветривания этих же базальтов в других природно-климатических условиях существенно отличается от зафиксированной в современных арктических условиях. Так, коры выветривания мезозойского возраста, развитые на трахобазальтах триаса, имеют классический латеритный профиль (табл. 2).

3. Существенное влияние на интенсивность и характер процессов современного выветривания горных пород оказывает присутствие в них сульфидов. Сульфидсодержащие породы разлагаются по своеобразной схеме: окисление железа и вынос практически всех компонентов (табл. 1). Эта закономерность свойственна арктическим и субарктическим условиям.

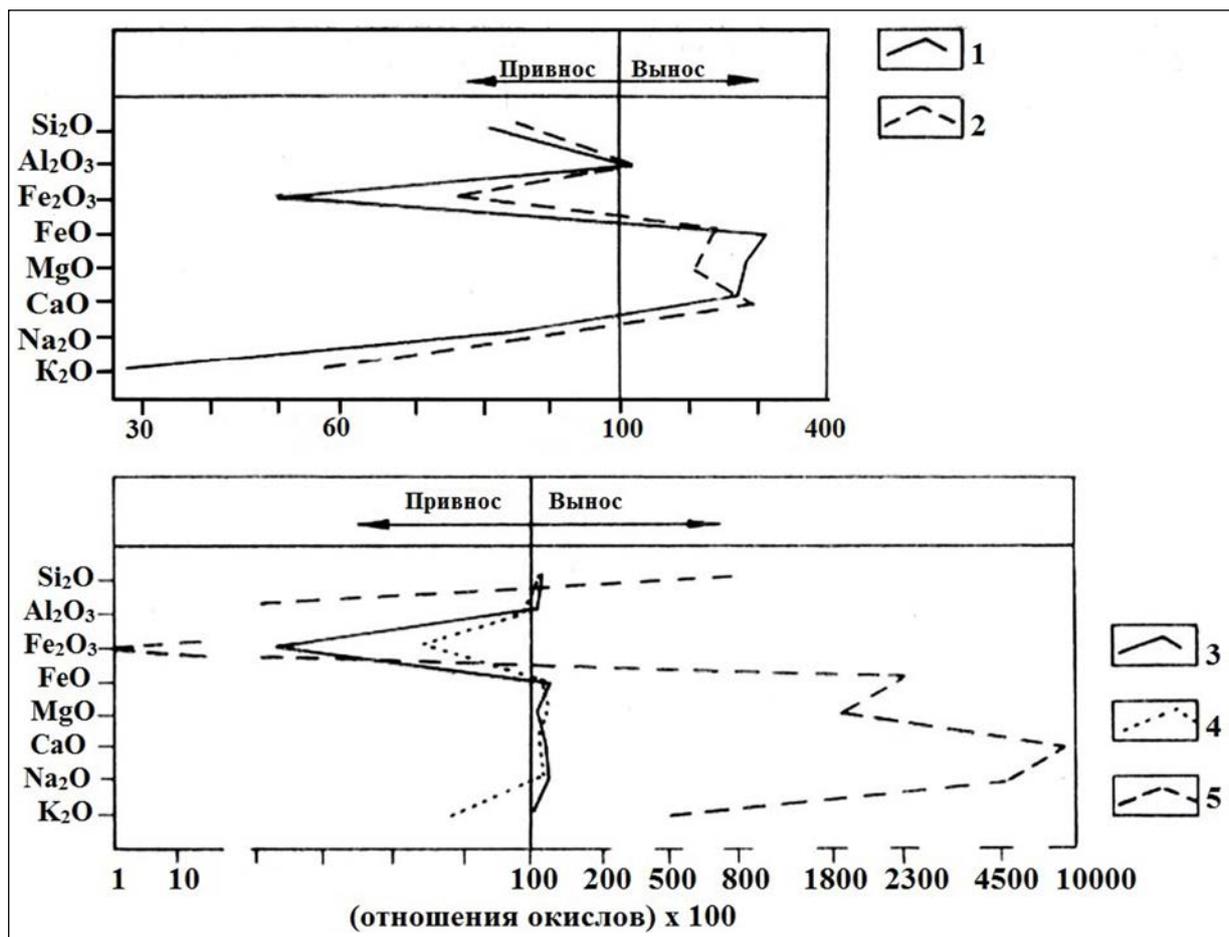
Таблица 1

## Характер выветривания пород основного состава в арктических условиях (масса в %)

Компонент	Базальт						Долерит						Сульфидсодержащие породы									
	порфировый			афировый			мелко-зернистый		средне-зернистый		порфировидный			средне-зернистый *			троктолитовый габродолерит **					
	А	Б	В	А	В	6	А	В	А	В	А	Б	В	А	Б	В	А	В	18	А	В	20
1	2	3	4	5	6	7	8	10	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	20	20
SiO <sub>2</sub>	47,52	46,84	59,32	51,45	62,60	49,10	59,56	52,34	48,50	52,34	47,20	47,90	53,28	52,10	53,62	54,66	43,90	40,55	39,76	34,76	34,76	34,76
TiO <sub>2</sub>	1,34	1,36	1,15	0,95	1,02	0,79	0,95	1,06	1,10	1,06	1,21	1,17	1,27	2,25	2,22	2,00	0,66	0,84	0,05	1,25	1,25	1,25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,93	13,82	14,45	15,53	13,37	15,30	14,61	16,04	16,07	16,04	15,23	16,98	13,86	12,94	13,67	12,95	10,54	9,86	10,47	7,66	7,66	7,66
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,23	3,03	4,61	3,56	4,73	2,36	5,65	4,68	4,68	6,50	5,21	5,68	7,26	5,76	6,97	5,52	1,70	4,32	0,64	24,98	24,98	24,98
FeO	9,82	9,02	3,16	6,32	2,80	7,9	2,55	7,29	7,29	3,59	10,09	9,02	5,18	9,30	6,97	7,97	11,30	9,52	23,62	4,80	4,80	4,80
CaO	8,82	7,70	3,36	10,01	3,29	10,36	4,20	7,70	11,06	7,70	10,50	7,50	7,22	6,25	6,02	5,20	7,28	7,56	7,77	6,23	6,23	6,23
MgO	7,98	6,87	2,93	6,84	3,23	9,70	4,44	4,44	6,26	4,44	6,30	4,85	4,80	3,20	3,08	2,18	19,78	16,36	4,27	4,29	4,29	4,29
MnO	0,20	0,20	0,15	0,17	0,13	0,17	0,15	0,16	0,19	0,16	0,22	0,22	0,18	0,24	0,21	0,23	0,27	0,28	0,15	0,13	0,13	0,13
K <sub>2</sub> O	0,43	0,70	1,5	1,06	1,86	0,44	0,46	0,78	0,36	0,78	0,62	0,70	0,80	2,47	2,21	2,90	0,47	0,42	0,46	0,07	0,07	0,07
Na <sub>2</sub> O	2,00	1,90	2,45	1,85	2,29	2,21	2,30	2,20	2,66	2,20	2,84	2,92	2,39	3,20	2,65	3,40	1,12	0,88	0,24	1,76	1,76	1,76
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,20	0,22	0,10	0,18	0,13	0,15	0,13	0,14	0,08	0,14	0,11	0,23	0,17	0,93	0,84	1,17	0,19	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18
П.п.н.	4,36	8,50	6,57	2,68	4,93	1,40	5,68	1,21	1,21	5,30	1,38	3,72	4,61	1,53	1,01	2,11	1,92	8,32	9,01	13,33	13,33	13,33
Сумма...	100,8	100,16	99,71	100,60	100,38	99,88	100,68	100,25	100,09	100,25	100,91	100,96	100,70	100,59	99,48	100,30	99,13	99,08	100,21	99,44	99,44	99,44
H <sub>2</sub> O	00,44	0,89	1,88	0,90	1,00	0,09	2,00	0,31	0,31	2,25	0,22	0,99	1,78	0,08	0,14	0,10	0,24	1,60	0,18	1,22	1,22	1,22
S <sub>общ.</sub>	0,01	0,01	0,03	0,06	0,03	0,03	0,01	0,03	н.о.	0,03	0,04	0,04	0,03	0,07	0,09	0,06	0,60	0,20	7,89	2,00	2,00	2,00

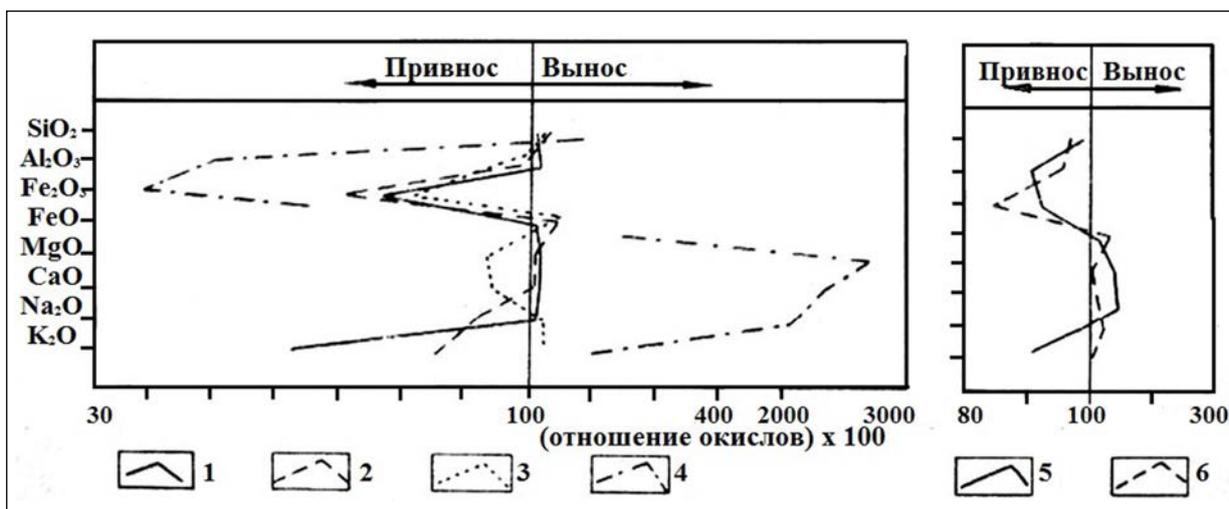
Примечание: А – неизменная порода, Б – корка на выветрелой поверхности породы, В – элювиальный суглинок;  
\* – выветривание на арктическом побережье, \*\* – выветривание в субарктических условиях.

Аналитик Т.А. Гордеева



**Рис. 2. Современное преобразование химического состава базальтов в различных природно-климатических условиях**

*Арктические условия:* 1 – порфировый, 2 – афировый базальты; *субарктические условия:* 3 – афировый, 4 – порфировый базальты; 5 – базальт в тропических условиях [5]

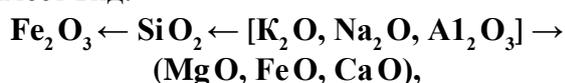


**Рис. 3. Характер начального преобразования пород основного состава в процессе выветривания в различных природно-климатических зонах (неизменная порода – корка на поверхности выветривания)**

1 – Арктика, порфировый базальт; *Субарктика:* 2 – порфировый, 3 – афировый базальты; 4 – тропики, базальт [5]; *Арктика, долерит:* 5 – горно-тундровые ландшафты, 6 – арктическое побережье Карского моря

**Выводы**

Главная особенность процессов выветривания пород основного состава в Арктике, отличающая эти процессы от таковых в тропиках, умеренных широтах и в Субарктике, состоит в устойчивом обогащении продуктов разложения Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и SiO<sub>2</sub> и обеднении MgO, FeO, CaO при незакономерном поведении K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Обобщенный ряд привноса ↔ выноса химических компонентов в арктических условиях, построенный на основании частных рядов (табл. 3), имеет вид:



где в квадратные скобки взяты компоненты, ведущие себя двояко, а в круглые их группа, которой свойственен закономерный вынос с различной интенсивностью по отношению друг к другу. Таким образом, границу между Арктикой и Субарктикой в общем плане можно считать границей, где проис-

Таблица 2

**Химический состав триасовых трахибазальтов и развитых по ним пород мезозойских кор выветривания (масса в %)**

Компонент	Порода	
	трахибазальт*	кора выветривания**
SiO <sub>2</sub>	70,53	53,90
TiO <sub>2</sub>	0,95	1,95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,04	15,42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,42	15,05
FeO	0,48	0,4
CaO	0,62	0,84
MgO	0,37	4,97
MnO	—	0,23
K <sub>2</sub> O	7,04	0,39
Na <sub>2</sub> O	2,78	1,68
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	0,15
П.п.н.	0,41	5,27
Сумма...	99,64	100,22

\* – неизменная порода, \*\* – плотные буро-красные песчаные породы коры выветривания

Таблица 3

**Ряды привноса ↔ выноса компонентов в процессе современного выветривания пород основного состава в различных природно-климатических условиях**

Природно-климатическая зона	Исходная порода/продукт выветривания	ПРИВНОС		ВЫНОС
		←	→	
Арктика <sup>1</sup>	базальт/суглинок	K <sub>2</sub> O—Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> —SiO <sub>2</sub> —Na <sub>2</sub> O—Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — (MgO CaO FeO)		
	базальт/корка	K <sub>2</sub> O—Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — [SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> O] —(MgOFeOCaO)		
	долерит/суглинок	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> —SiO <sub>2</sub> —K <sub>2</sub> O [Na <sub>2</sub> O] — Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — (MgO FeO CaO)		
	долерит/корка	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> —Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> —SiO <sub>2</sub> — [K <sub>2</sub> O Na <sub>2</sub> O] — (MgO FeO CaO)		
Субарктика <sup>1</sup>	базальт/суглинок	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — [K <sub>2</sub> O Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ]—SiO <sub>2</sub> —(MgO FeO CaO Na <sub>2</sub> O)		
	базальт/корка	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> —[Na <sub>2</sub> O MgO CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ]—SiO <sub>2</sub> — FeO		
	долерит/суглинок	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> —[Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> —SiO <sub>2</sub> — (CaONa <sub>2</sub> O MgO K <sub>2</sub> O)]—FeO		
Умеренные широты <sup>3</sup>	долерит/глина	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> —K <sub>2</sub> O—MgO—Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> —SiO <sub>2</sub> —CaO—FeO—Na <sub>2</sub> O		
Тропики	базальт/продукт выветривания <sup>4</sup>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> —Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> —K <sub>2</sub> O—SiO <sub>2</sub> —MgO—FeO—Na <sub>2</sub> O—CaO		
	базальт/корка <sup>4</sup>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> —Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> —SiO <sub>2</sub> —K <sub>2</sub> O—Na <sub>2</sub> O—CaO —MgO		
	долерит/латерит <sup>2</sup>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> —Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — Na <sub>2</sub> O—K <sub>2</sub> O—MgO—FeO —SiO <sub>2</sub> —CaO		

1 – по данным Самойлова [2, 3], 2 – по данным Хокса и Уэбба [4],  
3 – по данным Паттерсона [6], 4 – по данным Лапланта [5]

ходит качественное изменение характера выветривания пород основного состава. Важно отметить, что названные отличия выветривания горных пород в Арктике обусловлены, в первую очередь, природно-климатическими особенностями региона. Так, породы основного состава в пределах Таймыра в других климатических условиях, близких к современным тропическим, претерпели совершенно иные изменения, приведшие к выносу кремнезема и обогащению конечных продуктов выветривания  $Al_2O_3$  и  $Fe_2O_3$ .

2. На характер изменения химического состава горных пород в арктических усло-

виях, что приводит к незакономерному поведению ряда компонентов, в первую очередь  $K_2O$  и  $Na_2O$ , оказывают влияние повышенные или пониженные их содержания в субстрате. Интенсивность выветривания определенным образом зависит не только от состава, но и от текстурно-структурных особенностей. При этом намечается прямая корреляция увеличения скорости привноса ↔ выноса с уменьшением размеров минералов, слагающих породу. По своеобразной схеме, единой для Арктики и Субарктики, протекает современное выветривание сульфидсодержащих интрузивных образований.

#### Л и т е р а т у р а

1. Гаррелс Г., Маккензи Ф. Эволюция осадочных пород. – М.: Мир, 1974. – 372 с.
2. Самойлов А. Г. Химическое выветривание трапповых образований в субарктических условиях // Докл. АН СССР. – 1989. – Т. 308. – № 3. – С. 716–720.
3. Самойлов А. Г. Особенности выветривания пород основного состава в Арктике // Геология и геофизика. – 1991. – № 4. – С. 89–94.
4. Хокс Х. Е., Уэбб Дж. С. Геохимические методы поисков минеральных месторождений. – М.: Мир, 1964. – 486 с.
5. Lanlante A. Les sds fonces tropicans d'origine basaltique an Cameroon // Ve. Cong. Int. Sci. Sol. Leopoldville. – 1954. – N.4. – P.144–148.
6. Patterson S. H. Investigations on ferruginous Bauxite and other mineral resourcs on karal and a reconnai stance of ferruginous bauxite deposits on Mauf, Havaii // U. S. Geo I. Survey Prof. Paper. – 1971. – V.656. – 74 p.