

**В.М.Босак**, кандыдат сельскагаспадарчых навук

Беларускі ІДІ глебзнаўства і аграхіміі

**М.Царай**, доктар; **К.Штар**, доктар, прафесар

Універсітэт Хохэнхайм, Штутгарт, Германія

УДК 631.483:631.423.3:631.415.1

## **Выветриванне пародаўтваральных мінералаў праз антрапагеннаўносімыя кіслоты**

*Приведены результаты модельного эксперимента по воздействию антропогенноносимой серной кислоты на выветривание, разрушение и новообразование породообразующих минералов. Показано, что с уменьшением величины  $pH$  возрастает вымывание минеральных элементов. С увеличением величины  $pH$  в значительной степени уменьшается вымывание кислотных катионов ( $Al$ ,  $Fe$ ,  $Mn$ ), а также наблюдается рост новообразований минералов. Вымывание элементов наряду со степенью кислотности обусловлено также гранулометрическим и минералогическим составом породы.*

### **Пастаноўка праблемы**

**В**ыветриванне пародаўтваральных мінералаў залежыць ад розных фактараў – знешняй паверхні, будовы, цвёрдасці, тыпу крышталічнай рашоткі, хімічнага складу, а таксама ад умоў знешняга асяроддзя, у

*This paper discusses the results of a model experiment on the weathering, new mineral formation and decomposition of rock-forming minerals through anthropological acid deposition. The results show that a decline in pH values led to an increase in leaching losses of elements. On the other hand, an increase in pH values led to a lower leaching losses of acidic cations ( $Al$ ,  $Fe$ ,  $Mn$ ) which in turn resulted in more new mineral formation. In addition, the mineral weathering is also dependet upon the particle size characteristic and the mineral composition.*

тым ліку і антрапагенных кіслот (Zarei et. al. 1993). Антрапагенныя кіслоты ўплываюць на раскладанне арганічных астаткаў, утварэнне і мінералізацыю гумінавых рэчываў, разбурэнне і новаўтварэнне мінералаў, запас у глебе і даступнасць для раслін пажыўных

рэчываў. Асноўная маса антрапагенных кіслот уносіцца з ападкамі, якія абумоўлены перш-наперш сернай і азотнай кіслотамі. Пры гэтым колькасць антрапагенных кіслот у атмасферы з ростам індустрыялізацыі павялічваецца. Мэтай даследаванняў з'яўлялася вывучэнне ўздзеяння антрапагенаўносімых кіслот на выветрыванне, разбурэнне і новаўтварэнне пародаўтваральных мінералаў.

### Матэрыял і метады даследаванняў

БелНДІ глебазнаўства і аграхіміі сумесна з інстытутам агульнага і занальнага глебазнаўства ўніверсітэта Хохэнхайм у 1994-1995 гг. быў праведзены мадэльны эксперымент па ўздзеянню сернай кіслаты з рознымі паказчыкамі pH (pH 2, pH 3, pH 4) на нявыветраны граніт і прадукты яго выветрывання (буйны, сярэдні і дробны пясок Cв-гарызонту). Матэрыялы для даследаванняў былі адабраны ў паўднёвым Шварцвальдзе (паўднёвы захад Германіі). Мінералагічны і агульны мінеральны склад граніту і Cв-гарызонту быў вызначаны па Schlichtung et. al. (1995). Мадэльны эксперымент праводзіўся на прыборы "Titratog Mettler DL 21". Даследуемы матэрыял (5 г пяску і 3 кубікі граніту) змяшчаўся ў раствор сернай кіслаты (20 мл) адпаведнай велічыні pH. На працягу двух сутак кожныя 30 секунд пры бесперапынным перамешванні аўтаматычна дабаўлялася 0,01 мл H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> адпаведнай pH і замяраўся паказчык pH раствору. Па заканчэнні ўздзеяння сернай кіслаты на пароду ў растворы вымяралася канцэнтрацыя K, Na, Ca (пламненны фатометр ELEX 6361) і Mg, Mn, Al, Fe, Si (атамны адсарбцыйны спектрометр AAS 3100). Новаўтварэнні мінералаў вызначаліся рэнгенаметрычна ("Diffraktiometer 500"). Мадэльны эксперымент для кожнай даследуемай фракцыі праводзіўся ў 5-кратнай паўторнасці.

### Дыскусія

Вымыванне хімічных элементаў у эксперыменце было абумоўлена грануламетрычным і мінералагічным складам, а таксама агульным утрыманнем дадзеных элементаў у даследуемай фракцыі і велічыняй кіслотнасці. У параўнанні з гранітам Cв-гарызонт утрымліваў некалькі больш кварцу, а таксама ў два разы менш плагіяклазу (табл. 1). Пры гэтым плагіяклас быў прадстаўлены толькі выветралымі формамі. Утрыманне анартыту (кальцыевага палявога шпату) ў плагіяклазе Cв-гарызонту было меней 30%, у плагіяклазе граніту – меней 17%, што паказвае на невялікі запас кальцыю ў даследуемым матэрыяле. Акрамя дадзеных у табліцы 1 мінералаў, Cв-гарызонт утрымліваў невялікую колькасць аксідаў марганцу і тытану, а таксама апатытаў; гліністыя мінералы былі прадстаўлены ў асноўным ілітам і каалінітам. З узростаннем ступені кіслотнасці раствору ад слабакіслага (pH 5, 46-6,35) да моцнакіслага (pH 2,57-2,91) павялічвалася вымыванне ўсіх даследуемых элементаў (табл. 2). Пры гэтым пры моцнакіслым

растворы актыўна вымываліся як асноўныя катыёны (K, Na, Ca, Mg), так і кіслотныя катыёны (Al, Fe, Mn) і Si. Пры памяншэнні кіслотнасці раствору (pH >4) вымыванне Al, Fe і Mn значна змяншалася, а пры pH >5 практычна зусім не адбывалася. Пры памяншэнні кіслотнасці pH >4 алюміній, які знаходзіцца ў цяжкаразбуральным шкілеце "Al-O-Si-O" сюды і палявых шпатаў, застаецца стабільным. З пратоінамі (H<sup>+</sup>) ў першую чаргу рэагуюць больш слабазвязаныя катыёны (Ca, Na, K, Mg). Алюміній пры дадзенай кіслотнасці таксама ў значнай ступені можа пераходзіць у склад новаўтварэнняў (гідраксіды, гліністыя мінералы каалініт і смекціт), што пацверджваецца і другімі даследаваннямі (Zarei et. al. 1993). У падобных умовах знаходзяцца таксама катыёны Fe, Mn і Si. Пры гэтым крыніцамі вымывання Fe і Mn з'яўляюцца біятыты, Si – палявыя шпаты і слюды (біятыт, мускавіт), кварц практычна не паддаецца выветрыванню. Вымыванне асноўных катыёнаў (Ca, Na, K, Mg) залежыць у значнай ступені ад колькасці ўтрымання гэтых элементаў пародамі і ўласцівасцей мінералаў, у склад якіх яны ўваходзяць. Кальцый і натрыў вымываюцца з плагіяклазу. Нягледзячы на тое, што плагіяклас утрымлівае значна больш альбіту (натрыевага палявога шпату) чым анартыту (кальцыевага палявога шпату), адноснае вымыванне кальцыю ў параўнанні з агульным утрыманнем яго ў зыходным матэрыяле з Cв-гарызонту большае, чым натрыю. Пры выветрыванні граніту гэта назіраецца непасрэдна. Дадазеная заканамернасць абумоўлена тым, што з пратоінамі ў першую чаргу рэагуюць катыёны кальцыю, затым натрыю. Вымыванне калію, крыніцай якога ў нашых даследаваннях служыць артаклас (калійны палявы шпат) і біятыт, адносна кальцыю і натрыю праходзіць павольней. Асабліва гэта адзначаецца пры выветрыванні граніту, у якім артаклас, біятыт і плагіяклас знаходзяцца ў нявыветраным стане. У Cв-гарызонце, які валодае значнай знешняй паверхняй пры ўзаемадзеянні з сернай кіслотой, вымыванне калію ў параўнанні з кальцыем і натрыем таксама праходзіць актыўна. Аднак аналіз мінералаў Cв-гарызонту (табл. 1) паказвае, што плагіяклас тут знаходзіцца толькі ў выветраным стане, у той час як артаклас і біятыт прадстаўлены выветранымі і нявыветранымі формамі. Дадазенае азначае меншую ўстойлівасць плагіяклазу ў параўнанні з артаклазам і слюдамі. Неабходна адзначыць, што калій актыўна можа ўключачца ў склад новаўтварэнняў (гліністыя мінералы), што папярэджвае яго вымыванне. Толькі ў кіслых растворах, дзе новаўтварэнне мінералаў запавольваецца значнай колькасцю пратоінаў, калій можа вымывацца з глебы. Натрыў, магній і асабліва кальцый, якія ў меншай ступені ўключваюцца ў склад новаўтварэнняў, могуць вымывацца з глебы ў значнай колькасці. Так, пры параўнанні ўтрымання элементаў у выветраным і нявыветраным граніце, была адзначана страта 74% Ca, 21% Na, 17% Mg і толькі 1% K (Keilen et. al. 1975, Zarei et. al. 1993).

Таблица 1. Мінералагічны склад граніту і Св-гарызонту

Парада	Мінерал, %					
	Кварц	Артаклаз	Плагіяклаз	Біятыт	Мускавіт	Fe-аксіды + гліна
Граніт	40,0	34,0	16,0	5,0	5,0	—
Св-гарызонт	43,7	34,5	7,6	6,8	4,5	0,7

Таблица 2. Вымыванне хімічных элементаў у залежнасці ад ступені кіслотнасці і грануламетрычнага складу

Элемент	pH H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH раствору	Утрыманне, г кг <sup>-1</sup>	Вымыванне, мг кг <sup>-1</sup>	pH H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH раствору	Утрыманне, г кг <sup>-1</sup>	Вымыванне, мг кг <sup>-1</sup>
<b>граніт</b>				<b>буйны пясок</b>				
K	2,0	2,82	46,9	5,46	2,0	2,57	51,5	5,86
	3,0	4,04	46,9	4,00	3,0	4,10	51,5	3,62
	4,0	5,46	46,9	3,87	4,0	5,55	51,5	2,57
Ca	2,0	2,82	3,9	22,66	2,0	2,57	0,9	0,33
	3,0	4,04	3,9	13,03	3,0	4,10	0,9	0,24
	4,0	5,46	3,9	2,92	4,0	5,55	0,9	0,30
Na	2,0	2,82	21,6	6,85	2,0	2,57	15,5	2,28
	3,0	4,04	21,6	6,04	3,0	4,10	15,5	3,37
	4,0	5,46	21,6	6,00	4,0	5,55	15,5	2,74
Mg	2,0	2,82	1,8	3,91	2,0	2,57	1,0	0,23
	3,0	4,04	1,8	0,80	3,0	4,10	1,0	0,08
	4,0	5,46	1,8	0,22	4,0	5,55	1,0	0,05
Al	2,0	2,82	72,8	20,00	2,0	2,57	87,9	41,10
	3,0	4,04	72,8	3,90	3,0	4,10	87,9	15,60
	4,0	5,46	72,8	—	4,0	5,55	87,9	0,60
Fe	2,0	2,82	14,8	30,75	2,0	2,57	11,4	4,84
	3,0	4,04	14,8	0,99	3,0	4,10	11,4	0,07
	4,0	5,46	14,8	—	4,0	5,55	11,4	—
Mn	2,0	2,82	0,2	3,48	2,0	2,57	0,3	3,40
	3,0	4,04	0,2	1,09	3,0	4,10	0,3	1,10
	4,0	5,46	0,2	—	4,0	5,55	0,3	0,03
Si	2,0	2,82	332,0	5,20	2,0	2,57	315,3	2,50
	3,0	4,04	332,0	—	3,0	4,10	315,3	1,25
	4,0	5,46	332,0	—	4,0	5,55	315,3	0,83
<b>сярэдні пясок</b>				<b>дробны пясок</b>				
K	2,0	2,91	43,0	36,37	2,0	2,79	32,3	13,42
	3,0	4,63	43,0	33,04	3,0	4,44	32,3	9,29
	4,0	6,35	43,0	18,67	4,0	5,57	32,3	7,29
Ca	2,0	2,91	1,7	0,85	2,0	2,79	2,3	0,56
	3,0	4,63	1,7	0,93	3,0	4,44	2,3	0,70
	4,0	6,35	1,7	0,46	4,0	5,57	2,3	1,11
Na	2,0	2,91	23,5	7,10	2,0	2,79	30,5	9,04
	3,0	4,63	23,5	7,52	3,0	4,44	30,5	7,38
	4,0	6,35	23,5	6,90	4,0	5,57	30,5	6,29
Mg	2,0	2,91	1,4	1,06	2,0	2,79	1,6	0,31
	3,0	4,63	1,4	0,90	3,0	4,44	1,6	0,21
	4,0	6,35	1,4	0,24	4,0	5,57	1,6	0,12
Al	2,0	2,91	104,6	86,30	2,0	2,79	110,7	99,50
	3,0	4,63	104,6	12,70	3,0	4,44	110,7	17,70
	4,0	6,35	104,6	1,00	4,0	5,57	110,7	4,11
Fe	2,0	2,91	18,9	20,01	2,0	2,79	18,0	6,66
	3,0	4,63	18,9	7,72	3,0	4,44	18,0	0,85
	4,0	6,35	18,9	0,05	4,0	5,57	18,0	0,07
Mn	2,0	2,91	0,4	4,61	2,0	2,79	0,4	4,99
	3,0	4,63	0,4	1,63	3,0	4,44	0,4	1,17
	4,0	6,35	0,4	0,22	4,0	5,57	0,4	0,55
Si	2,0	2,91	291,8	27,57	2,0	2,79	274,6	27,80
	3,0	4,63	291,8	22,25	3,0	4,44	274,6	10,60
	4,0	6,35	291,8	16,92	4,0	5,57	274,6	6,60

Вымыванне мінеральных элементаў з даследуемага матэрыялу розных грануламетрычных фракцый паказвае аднолькавую тэндэнцыю. Пры гэтым фракцыі, якія маюць большую знешнюю паверхню ўзаемадзеяння (сярэдні і дробны пясок), валодаюць большай буфернасцю ў параўнанні з гранітам і буйным пяском. Аднак вымыванне элементаў побач з механічным складам было абумоўлена ступенню іх утрымання ў пародзе, а таксама ступенню выветрывання элементаў-трымліваючых мінералаў (табл. 2).

### Вывады

З ростам кіслотнасці глебы, якая абумоўлена таксама і антрапагеннаўносімымі кіслотамі, узрастае вымыванне элементаў з пародаўтваральных мінералаў. Пры гэтым асноўныя катыёны (Ca, Na, Mg, K) пры моцнакіслай рэакцыі практычна не ўключаюцца ў склад новаўтварэнняў і могуць губляцца з глебы. Актыўнае вымыванне з мінералаў кіслотных катыёнаў

(Al, Fe, Mn) адбываецца практычна толькі пры моцнакіслай рэакцыі раствору. Са зніжэннем кіслотнасці іх вымыванне значна памяншаецца. Пры паніжанай кіслотнасці ( $\text{pH} > 4$ ) назіраецца адначасова рост новаўтварэнняў мінералаў (гліністыя мінералы, аксіды, гідраксіды).

Вымыванне хімічных элементаў абумоўлена побач з велічынёй pH таксама грануламетрычным і мінералагічным складам пароды.

### Літаратура

1. Keilen K., Stahr K. & Zöttel H. W. Elementselektive Verwitterung und Verlagerung in Böden auf Bärhalde-Granit und ihre Bilanzierung // Z. Pflanzenernährung und Bodenkunde. - 1975. - Heft 5. - P. 565-579.
2. Schlichtung E., Blume H.P. & Stahr K. Bodenkundliches Praktikum / Berlin. - 1995. - 295 p.
3. Zarei M., Stahr K. & Papenfuß K.H. Mineralumwandlung und -zerstörung infolge Versauerung in Waldstsnorten des Schwarzwaldes / Stuttgart-Hohenheim. - 1993. - 139 p.