

S z u l f á t v e g y ü l e t e k s z e r e p e a s z i k e s t a l a j o k k é p z ő d é s é b e n é s t u l a j d o n s á g a i b a n

SZABOLCS ISTVÁN és DARAB KATALIN

*MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete és
Vizgazdálkodási Tudományos Kutató Központ, Budapest*

Földünk felületén különböző ökológiai körülmények között található szikes talajokat. A környezet nagymértékben rányomja bélyegét e talajok fizikai, kémiai és biológiai sajátosságaira, azaz az ökológiai viszonyoktól függően a szikes talajok más és más sajátosságokat mutathatnak [4, 5, 8, 12, 13].

Szikes talajok különböző éghajlati viszonyok között fordulnak elő. A fél-sivatagi és sivatagi övezetekben nagy területeket borítanak olyan talajok, melyek megnövekedett sókészlettel, vagy a szikesedés által okozott kedvezőtlen vízháztartási sajátosságokkal rendelkeznek. Ilyen talajokat találunk Közel- és Közép-Keleten, Közép-Ázsiában, Észak-Afrikában, stb. [2, 8, 10].

A régen ismert és a szakirodalomban igen gyakran és részletesen leírt sivatagi és félsivatagi szikes talajok mellett e képződményeket gyakran megtalálhatjuk a mérsékelt sőt a hideg klíma viszonyai között is, különösen zárt medencékben, folyók deltájában, sőt gyakran a folyók alsóbb teraszain. Jóformán minden kontinensen található ilyen talajképződmények. Kiemelhetők Európában a Duna alföldjein, Ausztrália két nagy folyójának alföldjein, valamint egyes észak- és dél-amerikai folyók alföldjein előforduló szikes talajok a mérsékelt égöv alatt, míg Szibéria északkeleti részén Jakutiában, az örök fagy határától északra hasonló kialakulási körülmények közt nagy kiterjedésű szikes talajok fordulnak elő.

Mind a száraz, mind a mérsékelt éghajlati zónák szikes talajai aránylag alacsony termékenységét az e talajokban előforduló jelentős elektrolit koncentráció okozza. A talaj sótartalma, vagy a magas ozmózis nyomás és közvetlen toxicitás által csökkenti a termékenységet, vagy a talaj szilárd fázisára gyakorolt hatás következtében, melynek eredményeként a talaj fizikai tulajdonságai leromlanak. Míg az előbbi eset a sivatagok és félsivatagok szikes talajaira, az utóbbi a mérsékelt övezetek szikes talajaira jellemző alapvetően.

Annak ellenére, hogy a szikes talajok tulajdonságaikban eltérőek lehetnek, valamennyinek közös sajátossága, hogy képződésükben a talaj oldható sókészletének időleges, vagy állandó megnövekedése meghatározó szerepet játszik, s az oldható sókészlet növekedése idézi elő közvetlenül, vagy közvetve a talajok termékenységének csökkenését.

A szikes talajok képződésének két előfeltételét kell megkülönböztetnünk:

1. Oldható sókészlet, mely a talajréteggel kapcsolatba kerül;

1. táblázat

Az ionok oldatba menetelének sorrendje a kőzetek mállása során
(FERSMAN [7] szerint)

(1) Ionok extrakció- jának sorrendje	(2) Ionok	(3) Energia- együtt- hatók	(1) Ionok extrakció- jának sorrendje	(2) Ionok	(3) Energia együtt- hatók	(1) Ionok extrakció- jának sorrendje	(2) Ionok	(3) Energia együtt- hatók
I	Cl ⁻ , Br ⁻	0,23	II	Na ⁺	0,45	III	SiO ₃ ²⁻	2,75
	NO ₃ ⁻	0,18		K ⁺	0,36	IV	Fe ³⁺	5,15
	SO ₄ ²⁻	0,66		Ca ²⁺	1,75		Al ³⁺	4,25
	CO ₃ ²⁻	0,77		Mg ²⁺	2,10			

2. Az oldható sók felhalmozódásának mértéke időszakosan, vagy folyamatosan felülmúlja a sók kilúgozásának mértékét a talajrétegben.

A vízben oldható sók képződésében és felhalmozódásában egy sor a Föld felszínén végbemenő geokémiai folyamat játszik döntő szerepet.

A vízben oldódó sók képződésének két fő forrását képezik:

1. A magmás folyamatok;
2. Kristályos kőzetek mállása.

1. A különböző geológiai korszakokban a magma képződés, a vulkanikus és postvulkanikus folyamatok előidézték nagy mennyiségű klorid-, szulfát-, borátvegyületek felhalmozódását, melyek bekapcsolódtak az elemek geológiai körforgalmába, alkotó részeivé váltak a Föld felszínén cirkuláló vizeknek és az óceánoknak, felhalmozódtak a kontinentális és tengeri üledékekben. Igen nagy valószínűséggel állítható, hogy a kőzetekben, talajokban, az óceánok vizében, vagy azok üledékében előforduló kloridok és szulfátok részben vulkanikus eredetűek.

2. Jelenleg a természetes vizekben, üledékes kőzetekben és talajban a felhalmozódó oldható sók elsődleges forrása a kőzetek mállása. A Föld felszínén előforduló kőzetek a Ca, Mg, K, és Na elemeket elsősorban szilikátok formájában tartalmazzák. A kőzetekben kloridokat ritkán találunk. A kén a földkéreg kőzeteiben többnyire nehezen oldódó szulfidok formájában van jelen, melyek a mállás és az ezzel kapcsolatos oxidációs folyamatok eredményeképpen átalakulhatnak szulfátokká.

A sók geokémiai eloszlása egy adott térségben meghatározott a málláskor képződő vegyületek mobilitása és a kicsapódás sorrendje szerint. A kőzeteket alkotó elemek mozgékonyasága a következő tényezőktől függ:

1. A kristályrács stabilitása,
2. A mállás során képződő ionok átmérője,
3. A mállás során képződő ionok töltése.

Ezek a faktorok jellemezhetők az energia együtthatóval, mely az energiának azt a részét fejezi ki, amellyel valamely ion részt vesz a kristályrács heteropoláris kötéseinek a létrejöttében. FERSMAN [7] a szabad ion energia koefficiensét szervesen sók ismert rácsenergiáiból számolta. Ezeket az értékeket elnevezték „kísérleti energia együtthatóknak”, melyek úgy tekinthetők, mint a valóságot legjobban megközelítő értékek. A FERSMAN-féle energia együtthatók szoros kapcsolatban vannak az elemek ásványaikból történő kilépésének sorrendjével, az így képződött ionok mozgásának sebességével és azon képességükkel, hogy az üledékekben, folyókban felhalmozódnak.

A FERSMAN-féle kategóriák szerint az ionok mozgékonyága növekszik az energia együttható csökkenésével és csökken a mozgékonyág az ionok átmérőjének és vegyértékének növekedésével.

Szükséges esetben a kristályok mállásakor képződő sók felhalmozódhatnak képződésük helyén is. Ez az eset áll elő akkor, ha az éghajlat száraz és a csapadékhiány gátolja a sók eltávolodását képződésük helyéről. Sokkal gyakoribb az az eset, hogy a mállásakor képződött oldható sók a természetes vizek által képződésük helyéről eltávolodnak és mozgékonyáguknak megfelelően, képződésük helyétől távolabb lerakódnak. A szállított és lerakott mállási termékek eloszlását egy adott területen belül az elemek migrációs kategóriáinak sorrendje jellemzi [8].

Az elemek abszolút és relatív részvétele a sós vizek és sós talajok képződésében szoros kapcsolatban van a KOVDA és POLYNOV [8] által felállított empirikus csoportosítással. A jelenkori geológiai feltételek mellett folyó sófelhalmozódásban elsősorban azok a vegyületek vesznek részt, melyek a 4. és 5. migrációs kategóriához tartozó elemekből képződnek.

2. táblázat

Az elemek migrációs kategóriái (POLYNOV és KOVDA [8] nyomán)

1. Lényegében nem kilúgozható	Si a kvarcból
2. Gyengén kilúgozható	Fe, Al, Si
3. Kilúgozható	Si, P, Mn
4. Könnyen kilúgozható	Ca, Na, K, Mg, Cu, Co, Zn
5. Nagyon könnyen kilúgozható	Cl, Br, J, S, C, B.

A sófelhalmozódás típusa a következő tényezőktől függ:

- A vízben oldható sók összes mennyisége,
- A vízben oldható sók kémiai összetétele,
- Az üledékekben és talajokban felhalmozódott sók vertikális és horizontális eloszlása.

A sófelhalmozódás típusát és mértékét meghatározó faktorok közül a leglényegesebbek az éghajlati, a geológiai, geomorfológiai és hidrogeológiai viszonyok.

Geomorfológiailag a sófelhalmozódás rendszerint a síkságokra, vagy az alföldek egy geomorfológiailag meghatározott részére, mint például árterek, folyó-delták, folyók alsó teraszai, tavak és tengerek parti szakaszaira lehet jellemző [11].

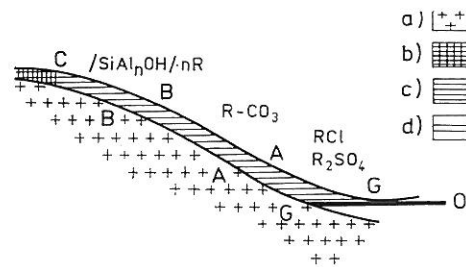
Az 1. ábrán megadjuk a kontinentális üledékek eloszlását és a különböző mállási termékek felhalmozódásának kapcsolatát a geomorfológiai viszonyokkal. Az ábrán a sófelhalmozódás régiói, valamint a kloridok — szulfátok és karbonátok akkumulációjának geomorfológiai feltételei világosan meghatározhatók.

Hidrologiai szempontból a sófelhalmozódás rendszerint kapcsolatos azokkal a területekkel, ahol a talajvíz időszakosan, vagy állandóan magas, s a kritikus mélység fölött található. A sófelhalmozás igen gyakran felülmúlja a sók kilúgozását azokon a területeken, ahol a talajvíz mozgása lassú, vagy a talajvíz stagnál.

Az éghajlati feltételeket tekintve a sók felhalmozódásának azok a körülmények kedveznek, ahol a párolgás folyamatosan, vagy időszakosan felülmúlja a csapadék mennyiségét és a drénviszonyok kedvezőtlenek.

Az éghajlati feltételek és a felhalmozódási folyamatok fenti kapcsolata okozza azt, hogy a természetes vizekben, az üledékekben és talajokban a sófelhalmozódás mértéke és típusa zonális változást mutat (3. táblázat) [8].

A természetes vizek közül a folyóvizek összes sókoncentrációja Eurázsia erdőzónájában 0,1–0,2 g/l. Ez az érték a sivatagokban 20–90 g/l-re is megnőhet. A sókoncentráció növekedése arányos az éghajlat ariditásának növekedésével.



1. ábra

A kontinentális üledék eloszlása. a) Tömör primer kőzet; b) Allitos eluvium; c) Eluviális fedőréteg; d) A talajvíz szintje. G—O = a vízgyűjtő terület szintje; AA—GG = szulfátkloridos sófelhalmozódás régiója; BB—AA = karbonát típusú felhalmozódás régiója; C—BB = sialit típusú felhalmozódás régiója

A tavak vizei több oldható sót tartalmaznak, mint ugyanazon régiók folyóvizei. A sivatagi és félsivatagi területeken lévő tavak vizeinek összes sókoncentrációja elérheti a 300–400 g/l-t is. A felhalmozódott oldható sók kémiai összetétele a sókoncentráció növekedésével párhuzamosan változik. Viszonylag alacsony sókoncentrációnál a felhalmozódott sók között a karbonátok és bikarbonátok dominálnak. A sófelhalmozódás mértékének növekedésével a karbonát-szulfát és a klorid-szulfát típusú sófelhalmozódás válik uralkodóvá.

A talajtan és talajosztályozás fejlődése során a szikes talajoknak két fő csoportját különítették el:

1. Szikes talajok, melyekre a semleges reakcióval disszociáló szeretlen sók, főleg a nátriumklorid és nátriumszulfát felhalmozódása jellemző.

2. Szikes talajok, melyek képződésében a lúgosan hidrolizáló nátriumsók, nátriumkarbonát, nátriumhidrokarbonát, nátriumszilikát játszik a főszerepet.

A szikes talajok e két fő csoportja mellett ide sorolhatók még a következő talajok:

a) Gipszes talajok. Ezekben a talajokban az alacsony termékenység oka a felső szintek nagy gipsztartalma. Ilyen talajok a sivatagi és félsivatagi viszonyok között nagy területen fordulnak elő (pl. Közel-Keleten, Észak-Afrikában, Közép-Ázsiában, stb.).

b) A talajokban a felhalmozódott sók között a kalciumklorid dominál. Az ide tartozó talajok tulajdonságai hasonlóak az előző csoportban említett talajok tulajdonságaihoz, azonban sivatagi viszonyok között is ritkábban fordulnak elő, mint a gipszes talajok.

c) A felhalmozódott sók között a magnéziumsók az uralkodóak. A talajoknak ez a csoportja különböző természeti viszonyok között előfordulhat, azonban a szakirodalomban viszonylag kevésbé ismertetett.

d) A savas-szulfátos talajok. Gyakorlatilag minden kontinensen előfordulnak, a tengerparton agyagos üledékeken, gyengén, vagy erősen sós vizek jelenlétében.

Megtalálhatjuk ezeket a talajokat mocsaras területek peremén, ahol a talajképző kőzet piritet tartalmazó üledék, melyből aerob folyamatok előtérbe kerülésével kénsav képződik, és hiányzik a képződött savas termékek semlegesítéséhez szükséges kalciumkarbonát.

3. táblázat

A felhalmozódási folyamatok jellemzői és ezek függése a természeti viszonyoktól Euráziában (KOVDA [8] szerint)

(1) Természeti feltételek	(2) Az üledékes kőzet maradék szikessedése	(3) A vizek max. sókoncentrációja g/l			(4) A sók max. mennyisége a szőlőesákok felszínén %	(5) Jellemző sófelhal- mozódás	(6) Sófelhalmozódás öntözött talajokon
		folyóvíz	talajvíz	tavak vize			
A) Sivatag	a) általános	20—90	200—350	350—400	25—75	NaCl, NaNO ₃ MgCl ₂ , MgSO ₄ CaCl ₂ , CaSO ₄	e) el- terjedt
B) Fél- sivatag	b) gyakori	10—30	100—150	300—350	5—8	NaCl, Na ₂ SO ₄ CaSO ₄ , MgSO ₄	f) gyakori
C) Sztyepp	c) ritka	3—7	50—100	100—250	2—5	Na ₂ SO ₄ , NaCl, Na ₂ CO ₃ , NaHCO ₃	g) ritka
D) Erdő sztyepp	d) nincsen	0,5—1	1—3	10—100	0,5—1	NaHCO ₃ , Na ₂ CO ₃ Na ₂ SO ₄ , Na ₂ SiO ₃	h) nem ismert
E) Erdő	d) nincsen	0,1—0,2	0—1	nincsen	nincsen	R ₂ O ₃ , SiO ₂	d) nincsen

Az előző felsorolásból kitűnik, hogy a szulfátok felhalmozódása nem kapcsolódik kizárólag a száraz éghajlathoz, hanem különböző éghajlati feltételek között előfordulhat. Meg kell azonban jegyezni azt, hogy a szulfát típusú sófelhalmozódás elsősorban a sivatagi és félsivatagi területekre jellemző.

A különböző szulfátok mozgékonyasága és szerepe a szikes talajok képződésében rendkívül különböző. A szulfátok hatása a talaj tulajdonságaira és a növény fejlődésére alapvetően attól függ, hogy milyen kation kapcsolódik a szulfáthoz. A szulfátvegyületek talajképződésben játszott szerepét vizsgálva három kérdéscsoport különíthető el:

I. A szulfátvegyületek forrásai, a sófelhalmozódásban játszott szerepük értékelése.

II. A talajban felhalmozódó szulfátvegyületek tulajdonságainak leírása.

III. A szulfátoknak a talaj fizikai és fizikokémiai tulajdonságaira gyakorolt hatása és a szulfátvegyületek toxikus hatása a növény fejlődésére.

I. A szulfátvegyületek forrásai, a sófelhalmozódásban játszott szerepük értékelése

A természetes vizekben, üledékekben és talajokban előforduló szulfátvegyületek legnagyobb része vulkanikus, metamorf és üledékes kőzeteket alkotó ásványok mállásának terméke (4. táblázat) [11].

A közölt adatok világosan tükrözik, hogy a kristályos kőzettel, illetve annak mállott üledékével érintkező folyó vízében az elemek aránya a nagyobb

4. táblázat

A gneisz, mállott üledékének és a kőzettel érintkező folyóvíz száraz maradékának kémiai összetétele %-ban (POLYNOV [11] szerint)

(1) Vizsgált anyag	SiO ₂	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
a) Primer kőzet (gneisz)	64,1	0,26	0,04	0,64	1,10	1,20	2,67	20,35	6,97
b) A primer kőzet mállott üledéke	60,1	0,22	0,04	0,38	1,31	1,12	2,65	20,17	8,55
c) A folyóvíz száraz maradék	21,3	36,7	nyomok- ban	13,00	2,80	7,8	∅	3,6	∅

mozgékonyssággal bíró sókat alkotó elemek javára tolódik el. Ezért a kőzetek kémiai összetételéhez viszonyítva a folyóvíz száraz maradékában jelentősen nő a szulfát, kalcium, nátrium és csökken a szilíciumoxid, alumíniumoxid aránya.

Kalciumszulfát található a természetes vizekben, üledékes kőzetekben talajokban minden területen, különböző éghajlati feltételek mellett. Alapvetően a szulfid tartalmú ásványok mállásának terméke, mely a mállás során felszabaduló szulfationokból és a kalcium tartalmú ásványokból kilépő kalciumion kölcsönhatásának eredményeképpen képződik.

Kalciumszulfát halmozódhat fel az üledékes kőzetekben és a talajokban másodlagosan is, mint a nátriumszulfát és a kalciumklorid reakciójának terméke. A felsivatagi és sivatagi területek üledékeiben előforduló nagy mennyiségű kalciumszulfát sok esetben sós parti vizek, vagy talajvíz elpárologásával csapódik ki és halmozódik fel. A különböző éghajlati feltételek mellett a talajokban a kalciumszulfát a különböző talajszintekben, különböző mennyiségben és különböző formában halmozódik fel.

A mérsékelt égöv éghajlati feltételei mellett a hidromorf talajokban, azok „B₂” szintjében halmozódhat fel kalciumszulfát. Ilyen felhalmozódást találhatunk pl. a mérsékelt égöv réti szolonyececinek és réti talajainak „B₂” szintjében (5. táblázat).

Gyakran halmozódik fel kalciumszulfát a sztyeppzóna talajainak „B” szintjében [3]. Nagy mennyiségű kalciumszulfátot találunk a felsivatagi és sivatagi talajok gipszes talajainak felső szintjében (6. táblázat).

A talajokban a kalciumszulfát rendszerint gipsz formájában fordul elő. A gipsz különböző nagyságú és alakú kiválásokat képezhet az egészen finom micéliumoktól a nagyméretű konkréciókig, nagy szabályos kristályokig. Néha a gipszes talajokban laza porózus tömeget képez, mely előidézi a felhalmozódási szint, némely esetben pedig az egész talajréteg cementálódását. Igen száraz sivatagi viszonyok között a gipsz dehidratálódott és a kalciumszulfát hemihidrát száraz porszerű tömegévé alakulhat át.

Magnéziumszulfát a természetben alapvetően mállási terméként fordul elő, s nagyon jó oldhatósággal rendelkezik. Tipikus alkatrésze a tengervíznek, gyakran található a sós talajokban, sós tavak vizében. Felhalmozódik epszomit (MgSO₄ · 7H₂O) formájában a sivatagok és felsivatagok talajjaiban. A magnéziumszulfát rendszerint ritkán halmozódik fel tiszta formában a talajban. Ezt a vegyületet mindig együtt találjuk olyan más, vízben könnyen oldódó sókkal, mint a nátriumszulfát, nátriumklorid, magnéziumklorid.

5. táblázat

Hidromorf talajok telítési kivonatainak kémiai összetétele a Magyar Alföldön

(1) Talajtípus	(2) Mintavétel mélysége cm	(3) Oldható sók %	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
			mgé/l					
a) Réti talaj	7—17	0,10	5,25	0,98	0,87	0,64	3,90	0,55
	58—72	0,30	14,80	12,60	6,10	1,46	12,80	6,60
	90—110	0,35	22,50	12,10	4,80	0,88	5,30	27,00
	126—136	0,22	17,80	9,80	7,60	1,00	5,60	22,90
b) Szolonyeces réti talaj	5—17	0,01	2,40	2,80	0,97	0,25	2,00	0,50
	30—42	0,06	2,50	5,30	1,60	3,00	2,50	1,30
	56—76	0,10	3,75	3,60	1,60	1,60	0,72	2,60
	89—100	0,55	17,40	16,00	21,30	1,40	1,10	31,40
c) Réti szolonyec	8—16	0,06	4,3	6,00	6,40	3,10	4,40	1,40
	26—37	0,12	4,5	3,70	10,00	3,50	3,40	4,30
	45—55	0,20	4,0	3,40	18,20	4,80	4,60	4,10
	75—85	0,75	15,1	41,70	37,70	1,50	1,70	37,80
	97—105	0,75	15,5	34,80	34,30	1,40	1,30	43,50
	117—126	0,25	3,1	8,30	24,50	3,30	2,70	8,30

Nátriumszulfát a természetben többnyire mint mállási termék fordul elő. Vízben jól oldódik és nagy mozgékonyssággal rendelkezik. A nátriumszulfát nagy koncentrációban fordul elő a sós talajokban, a sós tavak vizében és a tengervízben.

Nátriumszulfát található a sztyeppzóna szikes talajaiban is. A félsivatagi régiók sós talajainak tipikus alkotórésze. A hőmérséklettől függően a nátrium-

6. táblázat

Oldható sók kémiai összetétele az Észak-Kyzil-Kum Sivatag réti szoloncsák talajának 1 : 5 vizes kivonatában (Borowski [3] szerint)

(1) Mintavétel mélysége cm	(2) Száras maradék	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺
		%						
0—2	21,73	0,04	nyomok- ban	1,85	11,36	2,63	0,36	5,68
2—6	16,00	0,04	nyomok- ban	1,46	8,62	2,52	0,33	4,18
10—15	4,41	0,02	∅	1,05	1,61	0,33	0,18	0,74
25—30	3,52	0,02	∅	1,09	1,04	0,11	0,16	0,79
40—45	3,23	0,01	∅	0,89	1,04	0,13	0,12	0,71
120—125	1,24	0,01	∅	0,20	0,58	0,12	0,04	0,19
190—195	1,94	0,02	∅	0,18	1,04	0,18	0,05	0,32

szulfát különböző számú kristályvízzel rendelkezik. Viszonylag alacsony hőmérsékleten a szulfátos szoloncsákok felszínén a nátriumszulfát mirabilit (Na₂SO₄ · 10H₂O) formájában csapódik ki, majd a hőmérséklet növekedésével és a levegő páratartalmának csökkenésével dehidratálódik és fehér poralakú thenarditot (Na₂SO₄) képez.

II. A talajban felhalmozódó szulfátvegyületek tulajdonságainak leírása

A szikes talajok képződésében szerepet játszó szulfátvegyületek oldhatósága rendkívül különböző. A gipsz telített oldatának koncentrációja 25 °C-on 2 g/l, a magnéziumszulfáté 264 g/l és a nátriumszulfáté 280 g/l.

7. táblázat

Szolonyec talajok telítési kivonatainak kémiai összetétele gipsszel való telítés előtt és után

(1) Mintavétel mélysége cm	Ca ²⁺		Mg ²⁺		Na ⁺		SO ₄ ²⁻		HCO ₃ ⁻		Cl ⁻		„I”	
	10 ³ . mól/l													
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
40—60	8,42	11,5	16,7	13,5	97,8	90,6	65,8	63,9	0,87	1,33	14,7	13,8	238,6	230,5
60—80	1,80	12,1	4,1	4,1	63,0	59,3	31,7	39,6	1,71	1,48	12,4	11,4	113,7	147,6
80—100	1,90	12,3	4,2	4,5	63,0	49,8	31,6	38,9	0,95	2,14	13,8	12,7	114,2	143,9
100—120	1,40	12,5	2,2	2,1	43,5	39,5	17,7	29,5	1,1	1,62	12,2	11,2	71,0	115,0
120—140	1,40	12,0	1,6	2,7	37,0	33,3	15,3	25,8	0,67	1,08	11,4	10,7	51,0	103,5

A) gipsszel való telítés előtt.

B) gipsszel való telítés után.

Kalciumszulfát oldhatósága. A kalciumszulfát a vízben közepesen oldható sók közé tartozik. Keverék oldatokban oldhatósága függ az oldat összes ionkoncentrációjától és kémiai összetételétől is. A telített oldat gipszkoncentrációjának számításánál ezért figyelembe vesszük:

- a gipsz termodinamikai oldhatósági szorzatát,
- a keverék elektrolitoldat összes koncentrációját,
- a keverék elektrolitoldat kémiai összetételét a gipsszel való telítés

előtt [1, 9].

Kétféle oldhatósági szorzatot különböztetünk meg. Valamely só egyszerű oldhatósági szorzata számítható a vonatkozó ionok koncentrációiból. Ebben az esetben a számított oldhatósági szorzat értéke függ a keverék elektrolitoldat összes ionerősségétől és az ionok összetételétől. A termodinamikai oldhatósági szorzatot a vonatkozó ionok aktivitásaiból számítjuk. Az ionaktivitások mérésénél, vagy számításánál figyelembe vesszük az ellenkező előjelű töltéssel bíró részecskék közötti elektrosztatikai kölcsönhatást. Ezért a termodinamikai oldhatósági szorzat értéke konstans, és független az elektrolitoldat ionerősségétől, valamint kémiai összetételétől.

Szolonyec talajok mintáiból telítési kivonatokot készítettünk és vizsgáltuk kémiai összetételüket kalciumszulfáttal való telítés előtt és kalciumszulfáttal való telítés után. Az oldhatósági szorzatokat és termodinamikai oldhatósági szorzatokat a kalcium- és szulfátionok analitikai koncentrációjából illetve aktivitásából számoltuk az ionpár képződés figyelmen kívül hagyásával, valamint annak figyelembevételével [5]. A kalcium- és szulfátionok összes analitikai koncentrációi a 7. táblázatban vannak összefoglalva.

Az adatokból világosan kitűnik, hogy az ionoknak asszociátum képződésre való hajlamuk függ átmérőjüktől és vegyértéküktől [5].

A gipsz oldhatósági szorzata (8. táblázat) függ az oldat ionos koncentrációjától, függetlenül attól, hogy ezt az értéket a kalcium- és szulfátionok analitikai

8. táblázat
 A gipsz oldhatósági szorzata gipsszel telített telítési kivonatokban
 koncentrációkból és aktivitásokból számítva [5]

(1) Az oldat ionerőssége		(2) Egyszerű oldhatósági szorzat		(3) Termodinamikai oldhatósági szorzat	
Összes	Redukált	Összes	Redukált	Összes	Redukált
10 ³ · mó/l		ionkoncentrációkból		ionaktivitásokból	
230,5	170,7	7,33 · 10 ⁻⁴	2,92 · 10 ⁻⁴	5,81 · 10 ⁻⁵	2,85 · 10 ⁻⁵
147,6	114,0	4,78 · 10 ⁻⁴	2,12 · 10 ⁻⁴	5,19 · 10 ⁻⁵	2,74 · 10 ⁻⁵
143,9	109,9	4,80 · 10 ⁻⁴	2,12 · 10 ⁻⁴	5,39 · 10 ⁻⁵	2,81 · 10 ⁻⁵
114,5	89,3	3,69 · 10 ⁻⁴	1,72 · 10 ⁻⁴	4,76 · 10 ⁻⁵	2,62 · 10 ⁻⁵
103,5	78,9	3,10 · 10 ⁻⁴	1,46 · 10 ⁻⁴	4,28 · 10 ⁻⁵	2,39 · 10 ⁻⁵
				$\bar{K}_{sp} = 5,07 \cdot 10^{-5}$	2,68 · 10 ⁻⁵
				$\bar{S} = 2,59 \cdot 10^{-6}$	8,24 · 10 ⁻⁷
				CV = 11,4 %	6,87 %

koncentrációiból, vagy ionpár koncentrációk összegeivel redukált ionkoncentrációkból számítjuk. Az ionok aktivitásával számolt termodinamikai oldhatósági szorzat kevésbé mint az előző esetekben, de még mindig változik az oldat ionkoncentrációjával. Abban az esetben, ha az ionaktivitások számításánál figyelembe vesszük az ionpár koncentrációk értékeit, a kalcium- és szulfátionok redukált aktivitásaiából számított termodinamikai oldhatósági szorzat független az elektrolitoldat koncentrációtól. A kalciumszulfát oldhatósága a talajoldatban nő abban az esetben, ha az oldatban a szulfátot nem tartalmazó sók koncentrációja növekszik. Azokban az oldatokban, melyek nátriumszulfátot és magnéziumszulfátot tartalmaznak, a kalciumszulfát oldhatóságát limitálja a szulfátion koncentrációja. Olyan rendszerekben, melyek szilárd kalciumkarbonátot és kalciumszulfátot is tartalmaznak, a kalciumszulfátból és kalciumkarbonátból oldódó anyagok koncentrációit a két vegyület termodinamikai oldhatósági szorzatainak viszonya határozza meg. Ezt a következő összefüggéssel adhatjuk meg:

$$\frac{K_{CaSO_4}}{K_{CaCO_3}} = 5 \cdot 10^3 \text{ (25°C-on), ahol}$$

K_{CaSO_4} = A kalciumszulfát termodinamikai oldhatósági szorzata.

K_{CaCO_3} = A kalciumkarbonát termodinamikai oldhatósági szorzata.

A szulfát típusú szikesedésnél az előbbi összefüggésnek megfelelően a kalciumszulfát oldhatósága csökken a talajoldat növekvő szulfátkoncentrációjával, ezzel szemben a talajoldat ionkoncentrációjának növekedése növeli a kalciumkarbonát oldódását. A kalciumkarbonát oldódása a talajoldat pH értékét a lúgos tartomány felé tolja el.

A kalciumkarbonátot tartalmazó szolonyec talajok mintáiból készített telítési kivonatot telítettünk kalciumszulfáttal. A kalciumszulfáttal történő telítés után mértük az oldatok ionjainak koncentrációit (9. táblázat). A kémiai elemzés adatai világosan mutatják, hogy a kivonat növekvő szulfátkoncentrációjával párhuzamosan nő annak karbonátkoncentrációja, összes lúgossága és pH értéke.

A szulfátkoncentráció növekedése a talajoldatban egy szűk koncentráció tartományon belül stabilizálja a kalciumszulfáttal telített oldat kalciumkoncentrációját.

9. táblázat

Telítési kivonatok kémiai összetétele kalciumszulfát anhidrittel való telítés után

(1) (1) Minta- vétel- mély- sége cm	pH	Ca ²⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	10 ³ · I'' mól/l	(2) Termodinamikai oldhatósági szorzat	
		mgé/l					CaSO ₄	CaCO ₃
2—8	8,25	39,75	2,06	6,54	141,30	266,3	4,635 · 10 ⁻⁵	2,2346 · 10 ⁻⁸
8—17	8,10	29,01	2,16	3,79	139,30	251,0	3,582 · 10 ⁻⁵	0,7867 · 10 ⁻⁸
17—32	8,13	29,68	1,26	3,64	154,67	272,9	3,743 · 10 ⁻⁵	0,8906 · 10 ⁻⁸
32—42	7,85	29,42	1,34	3,52	140,24	250,9	3,631 · 10 ⁻⁵	0,2544 · 10 ⁻⁸
42—63	7,75	30,19	1,18	3,34	100,24	180,1	3,520 · 10 ⁻⁵	0,1916 · 10 ⁻⁸
63—79	7,80	34,42	0,98	1,99	70,90	136,3	3,703 · 10 ⁻⁵	0,3251 · 10 ⁻⁸
79—90	7,75	35,65	0,59	2,21	63,40	124,8	3,725 · 10 ⁻⁵	0,2839 · 10 ⁻⁸
							$\bar{X} = 3,791 \cdot 10^{-5}$	$\bar{X} = 0,7096 \cdot 10^{-8}$
							$\bar{S} = 3,81 \cdot 10^{-6}$	$\bar{S} = 0,2747 \cdot 10^{-8}$
							$\bar{\bar{S}} = 1,44 \cdot 10^{-6}$	
							CV = 9,74%	

$$\lg K_{\text{CaCO}_3} = \lg (\text{Ca}^{2+}) + 2 \text{pH} + \lg [K_1 \cdot K_2 (\text{H}_2\text{CO}_3)]$$

$$\lg K_{\text{CaSO}_4} = \lg (\text{Ca}^{2+}) + \lg (\text{SO}_4^{2-})$$

A kalciumszulfát anhidrit termodinamikai oldhatósági szorzatát számítottuk a kalcium- és szulfátionok redukált aktivitásaiból. Az ionok redukált aktivitását úgy nyertük, hogy a mért ionkoncentrációkból levontuk a megfelelő ionpárok koncentrációinak összegeit, majd az így kapott redukált ionkoncentrációt szoroztuk az aktivitási koefficienssel. Az aktivitási koefficiens a DEBYE—HÜCKEL egyenlet következő alakjából számítottuk:

$$-\lg \gamma = \frac{Az^2 \sqrt{I}}{1 + Bv \sqrt{I}}, \text{ ahol:}$$

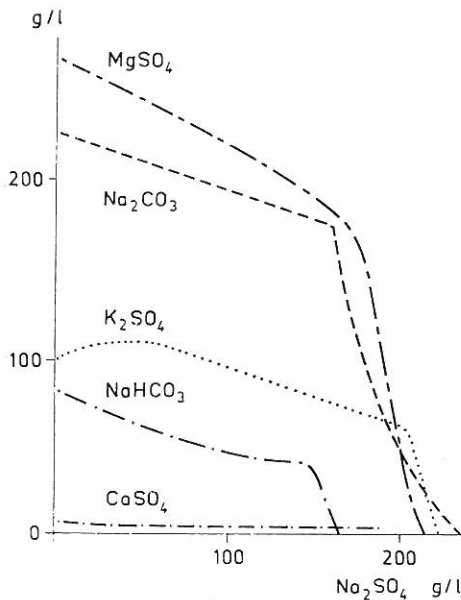
A—B = állandók

I = az oldat ionerőssége mól/l

z = az ion vegyértékeinek száma

v = a hidratált ion átmérője

γ = aktivitási koefficiens



2. ábra

A sók oldhatóságának függése az oldat nátriumszulfát koncentrációjától [8]

A fenti módon számított termodinamikai oldhatósági szorzatok középértéke kalciumszulfát anhidrit esetében $3,79 \cdot 10^{-5}$, a középérték szórása $1,44 \cdot 10^{-6}$ és a CV érték 9,74% volt.

A kalciumszulfát termodinamikai oldhatósági szorzata a vizsgált kivonatokban nem függött a kivonatok ionerősségétől.

A kalciumkarbonát termodinamikai oldhatósági szorzatát a kalciumion redukált aktivitásából és a talajkivonat pH értékéből számoltuk a következő összefüggés alapján:

$$\lg K_{\text{CaCO}_3} = \lg K_1 K_2 (\text{H}_2\text{CO}_3) + \text{pH} + \lg(\text{Ca}^{2+})$$

K_1 és K_2 = a szénsav első és második disszociációs állandója

K_{CaCO_3} = a kalciumkarbonát termodinamikai oldhatósági szorzata

() = a megfelelő ion aktivitása.

A számított termodinamikai oldhatósági szorzatok középértéke $0,7096 \cdot 10^{-8}$, a középérték szórása $0,2747 \cdot 10^{-8}$.

A magnéziumsulfát oldhatósága. — A magnéziumsulfát vízben jól oldódik és oldhatósága a hőmérséklettől csupán kismértékben függ. Gyakran fordul elő a talajban nátriumsulfáttal együtt, és telítési koncentrációja a nátriumsulfát koncentráció növekedésével az oldatban csökken (2. ábra).

A magnéziumsulfát jó oldódása ennek a sónak nagy mozgékonytágot biztosít az anyagok geológiai körforgása során.

10. táblázat

A vizsgált talajok telítési kivonatainak nátrium-adszorpciós aránya és a talaj nátrium telítési százalékka kalciumsulfáttal való kezelés előtt és után

(1) Mintavétel mélysége cm	(2) Na adszorpciós arány		(3) Kicsérélhető Na %		(4) Na adszorpciós arány változása A–B	(5) Kicsérélhető Na % változása A–B
	A	B	A	B		
2–8	31,6	23,7	31,2	25,2	7,9	6,0
8–17	53,4	27,5	43,7	28,2	25,9	15,5
17–32	69,6	35,0	50,3	33,5	34,5	16,8
32–42	65,6	32,4	48,8	31,7	33,2	17,1
42–63	73,0	20,9	51,6	22,9	52,1	23,7
63–79	39,5	10,4	36,3	12,3	29,1	24,0
79–90	38,4	7,1	35,6	8,5	31,2	27,2

A) Kalciumsulfáttal való kezelés előtt; B) Kalciumsulfáttal való kezelés után

A nátriumsulfát oldódása. — A nátriumsulfát vízben jól oldódik. Oldódása erősen függ az oldat hőmérsékletétől. A hőmérséklet növekedésével a telített oldat nátriumkoncentrációja nő. Ezt figyelembe véve a nátriumsulfátos szikesedés esetén a talajkémiai viszonyok meglehetősen komplex összefüggést mutatnak. Az évnél száraz és meleg időszakokban a nátriumsulfát a talaj felszínén más, vízben jól oldódó sókkal együtt felhalmozódik. A hideg és esős évszakokban a talajból a nátriumsulfát nem lúgozódik ki, mivel oldhatósága a hőmérséklet csökkenésével csökken.

III. A szulfátoknak a talaj fizikai és fizikokémiai tulajdonságaira gyakorolt hatása és a szulfátvegyületek toxikus hatása a növény fejlődésére

A különböző szulfátvegyületek hatása a talaj tulajdonságaira és a növény fejlődésére meglehetősen eltérő. Ezeket a hatásokat alapvetően a szulfátsók oldódása, a szulfationokhoz kapcsolódó kationok vegyértéke és átmérője szabják meg.

Kalciumsulfát nagy mennyiségben halmozódhat fel a talajban, toxikus hatása viszonylag csekély oldhatósága miatt elhanyagolható.

Ha a kalciumsulfát a talaj felszínén, vagy annak közelében, a gyökérzónában tömör réteg alakjában halmozódik fel, úgy a talaj a víz, a levegő és a

A sós talajok osztályozása a sófelhalmozódás

(1) A sófelhalmozódás mértéke a talajban és a közepes sőtűrő mezőgazdasági növény fejlődése	(2) A talajban felhalmozódó só milyensége		
	(3) Nátriumkarbonát	(4) Klorid-karbonát és karbonát-klorid	(5) Szulfát-karbonát és karbonát-szulfát
	(10) Vízben oldható sók mennyisége az akkumulációs szintben 0-60 cm között %		
a) Gyakorlatilag nem sós, normál növényfejlődés	0,10	0,15	0,15
b) Gyengén sós, gyenge hervadás (növénykárosodás 10–20%)	0,10–0,20	0,15–0,25	0,15–0,30
c) Közepesen sós, közepes hervadás (növénykárosodás 20–50%)	0,20–0,30	0,25–0,40	0,30–0,50
d) Erősen sós, erős hervadás (növénykárosodás 50–80%)	0,30–0,50	0,40–0,60	0,50–0,70
e) Szoloncsákok, gyakorlatilag teljes növénypusztulás	0,50	0,60	0,70

növényi gyökerek számára áthatolhatatlanná válik. Ebben az esetben a kalciumszulfát felhalmozódása a talajban a növény fejlődését károsan befolyásolja. A kalciumszulfát oldódásakor az oldatba kerülő kalciumion reakcióba léphet a lúgosan hidrolizáló nátriumsók anionjaival, pl. a nátriumkarbonát karbonátionjával, vagy kicserélheti a talaj kicserélhető nátriumionjainak az új egyensúlyi kation koncentrációknak megfelelő részét is. Ez azt jelenti, hogy a talajban jelen lévő, vagy oda bevitt kalciumszulfát semlegesíti a lúgosan hidrolizáló nátriumsókat, miközben a kalciumion a gyenge sav anionjával vízben rosszul oldódó kalciumsót, a nátrium pedig a szulfáttal semleges reakcióval disszociál nátriumszulfátot képez. A kalciumszulfát kalciumionja kicseréli, vagy helyettesíti a talaj kicserélhető nátriumionjait olyan mértékben, amilyen mértékben az oldat-nátrium adszorpciós aránya a kalciumszulfáttal telített egyensúlyi oldatban csökken, összehasonlítva a kalciumszulfáttal nem telített oldattal (10. táblázat).

A szulfát típusú sófelhalmozódás esetén a nátriumszulfát kilúgozása csökkenti a talajoldat szulfátion koncentrációját, s ezzel egyidejűleg növeli a kalciumszulfát oldhatóságát. Ez a jelenség fokozza a gipsz és más kalciumszulfát tartalmú anyagok talajjavító hatását. Ezért szolonyc talajok és szódás szoloncsák-szolonyc talajok esetében gipsz, vagy más kalciumszulfát tartalmú anyag széles körben alkalmazott e talajok javítására.

A magnéziumionok hatása a talaj tulajdonságaira és a növény fejlődésére függ attól, hogy a magnéziumvegyületek milyen mennyiségben halmozódtak fel a talajban.

A magnéziumszulfát a talajban nagy mennyiségben képes felhalmozódni. A nagy magnézium ionkoncentrációjú talajoldat egyike a legtoxikusabb tényezőknek a növény fejlődése szempontjából. A talajoldatban a magnéziumion koncentrációjának növekedése a sófelhalmozódás folyamán növeli a talaj magnézium telítettségét és megnöveli az agyagásványok által adszorbeált magnézium mennyisége is. A talajoldatban lévő kationok közül a magnézium ugyanis megkötődhet az agyagásványok felületén is ionkicserélődés útján. Az oldatban lévő,

táblázat

mértéke és típusa függvényében [8]

(1) A sófelhalmozódás mértéke a talajban és a közepes sőtűrő mezőgazdasági növény fejlődése	(2) A talajban felhalmozódó só milyensége			
	(6) Klorid	(7) Szulfát-klorid	(8) Klorid-szulfát	(9) Szulfát
	(11) Az oldható sók közepes mennyisége a 0 - 100 cm rétegtelen %			
a) Gyakorlatilag nem sós, normál növényfejlődés	0,15	0,20	0,25	0,30
b) Gyengén sós, gyenge hervadás (növénykárosodás 10—20%)	0,15—0,30	0,20—0,30	0,25—0,40	0,30—0,60
c) Közepesen sós, közepes hervadás (növénykárosodás 20—50%)	0,30—0,50	0,30—0,60	0,40—0,70	0,60—1,0
d) Erősen sós, erős hervadás (növénykárosodás 50—80%)	0,50—0,80	0,60—1,0	0,70—1,20	1,0—2,0
e) Szoloncsákok, gyakorlatilag teljes növénypusztulás	0,80	1,0	1,20	2,0

vagy az agyagásványok felületén megkötött magnézium izomorf substitúció útján beléphet a rétegszilikátok kristályrácsába, esetleg a kőzetek mállásának más termékeivel együtt magnéziumban gazdag agyagásványokat, mint amilyenek a trioktahedrális montmorillonit, vagy klorit, képezhet.

A nehéz mechanikai összetételű talajok, ha nagyobb mennyiségű, vízben jól oldódó magnéziumot tartalmaznak és a kolloid részecskék magnézium telítettségének foka is nagy, gyakran tartalmaznak magnéziumban gazdag rétegszilikátokat. Ezeket a reakciókat figyelembe véve, a magnéziumionok talajban történő adszorpciója két egyensúlyra vezető reakciótól függ:

a) Micelláris és intermicelláris oldatok kationjai közötti kicserélődés és egyensúly.

b) A micelláris oldat és a rétegszilikátok kristályrácsait alkotó elemek közötti izomorf szubsztitúció és ennek egyensúlya.

A szikesedés felhalmozódási szakaszában a magnéziumszulfát más, vízben jól oldódó sókkal, elsősorban a nátriumsókkal együtt halmozódik fel. A talaj-oldat nátrium- és magnéziumion koncentrációinak növekedése növeli a talajok nátrium és magnézium telítettségének fokát és megnö a magnéziumban gazdag rétegszilikátok relatív mennyisége is. Amennyiben a szikesedés során a kilúgozási folyamatok jutnak túlsúlyba, az oldható sók a talajban mozgékonyságuknak megfelelő mértékben és sorrendben kilúgozódnak. A talaj nátrium telítettségének mértéke arányosan csökken a talajoldat összes sókoncentrációjának és a nátriumion koncentráció relatív mennyiségének csökkenésével. A kilúgozás nyomán csökken a talajoldat magnézium koncentrációja is és a kicserélhető magnézium egy része ugyancsak az oldatba mehet. Abban az esetben azonban, ha a talaj kolloid frakciójában a magnéziumban gazdag rétegszilikátok mennyisége feldúsul, a kilúgozás során a kristályrács magnézium-ionja elfoglalhatja az oldatba ment kicserélhető magnézium helyét.

A jelenlegi ismereteink szerint a „magnézium talajok” következő típusait kell megkülönböztetni:

a) Magnézium, vagy magnézium-nátrium szoloncsák;

b) Nagy magnézium telítettségű, nehéz mechanikai összetételű réti talajok rossz fizikai és vízgazdálkodási sajátságokkal;

c) Maradvány szolonyec talaj. Ez a talaj a szolonyec talajok összes morfológiai bélyegét magán viseli, magnézium telítettsége nagy, azonban nátrium telítettsége csekély és gyakran nem éri el az adszorpciós kapacitás 10–15%-át sem.

Nátriumszulfát a talajokban a különböző éghajlati feltételek mellett különböző mennyiségben halmozódik fel. A sivatagi és félsivatagi régiókban, a sós talajokban felhalmozódott sók tipikus alkotó része, mint ahogy az nagy oldhatóságából és mozgékonyságából is következik. A nátriumszulfát toxicitása egyenértékű koncentrációkat figyelembe véve 2–3-szor kisebb, mint a magnéziumszulfát és 2–4-szer kisebb, mint a nátriumklorid toxicitása. A nátriumszulfát típusú sófelhalmozódásnál a talajoldat növekvő sókoncentrációja és nátrium százaléka az ionkicszerelődési egyensúlyt a nátriumion javára tolja el, és a talaj nátrium telítettségének mértéke nő a növekvő sófelhalmozódással.

Azonos feltételek mellett nátriumkloridot és nátriumszulfátot tartalmazó egyensúlyi rendszereket összehasonlítva, az adszorbens nátrium telítettség mértéke olyan mértékben különbözik, amilyen mértékben a klorid- és szulfátionok aktivitási koefficiensei eltérőek. A nátriumszulfátot és kalciumszulfátot tartalmazó talajokban a nátrium telítettség foka párhuzamosan nő a talajoldat nátriumszulfát koncentrációjával.

A szulfátos szoloncsákok rendszerint nátriumszulfátot és magnéziumszulfátot együtt tartalmaznak. Ezek a talajok leggyakrabban a sivatagi és félsivatagi régiókban találhatóak. Többnyire kedvező vízháztartási sajátságokkal rendelkeznek. Ezek a talajok könnyen megjavíthatóak kilúgzással és drénezéssel, mivel rendszerint tartalmaznak gipszet és nagy sótartalmuknál fogva vízáteresztő képességük nagy. Amennyiben a szulfátok közül a nátriumszulfát fordul elő legnagyobb mennyiségben, úgy a kilúgzást a meleg évszakban kell végrehajtani, mivel a hőmérséklet csökkenésével a nátriumszulfát oldhatósága erősen csökken.

A klorid-szulfát és a szulfát-klorid típusú szikesedésnél a klorid- és a szulfátsók együtt halmozódnak fel. Ezeknek a talajoknak a javítása majdnem azonos módon történik, mint a szulfát szoloncsákoké. Figyelemmel kell azonban lennünk arra, hogy a klorid- és a szulfátionok toxikus koncentrációja eltérő, és ezért a kilúgzás kívánatos mértéke is különböző a szulfát típusú és a szulfát-klorid típusú szikesek esetében.

Az oldható sók eltérő toxicitását figyelembe kell vennünk a szikes talajok osztályozásánál is. A 11. táblázatban KOVDA nyomán közlünk egy ilyen osztályozási rendszert. Ez az osztályozás világosan mutatja, hogy például a nátrium-karbonát típusú szikeseknél 0,5% oldható só-tartalom a növények fejlődését teljes mértékben gátolja, s a talaj ilyen sókészlet mellett a szoloncsákok közé sorolandó. Szulfátos sófelhalmozódás esetén ugyanez a sókészlet a talajt gyengén, vagy közepesen sóssá teszi. A szulfátos szoloncsákok sókészlete meghaladja a 2%-ot.

A szulfát-karbonátos szikesedés esetében a szulfátionok dominálnak ugyan a talajoldatban, de a karbonátok jelenléte a közeg reakcióját a lúgos tartományba tolja el, növeli a talajoldat sóinak toxicitását, fokozza a talajrészecskék diszperzióját, rontja a talaj hidro-fizikai sajátságait. A szulfát-karbonát típusú szikesek javításánál a kémiai javítás, a drénezés és a kilúgozás együttesen alkalmazandó.

Összefoglalás

1. A szulfátvegyületek talajképződésben játszott szerepét vizsgálva három kérdéscsoportot különíthető el, ezek:

I. A szulfátvegyületek forrásai és a sófelhalmozódásban játszott szerepük értékelése.

II. A talajban felhalmozódó szulfátvegyületek tulajdonságainak leírása.

III. A szulfátoknak a talaj fizikai és fiziko-kémiai tulajdonságaira gyakorolt hatása és toxikus hatása a növény fejlődésére.

2. A szulfátok mozgékonyágát és szerepét a szikes talajok képződésében, valamint a talaj tulajdonságaira és a növény fejlődésére gyakorolt hatását meghatározza a szulfátsók milyensége.

a) *A kalciumszulfát* minden területen, különböző éghajlati feltételek mellett megtalálható, természetes vizekben és üledékes kőzetekben. Talajtani szempontból legjelentősebb hatása a talajban lévő, lúgosan hidrolizáló nátriumsók semlegesítése, toxikus hatása közepes oldhatósága miatt elhanyagolható. Oldhatóságát a talajoldat összes sókoncentrációja és kémiai összetétele szabja meg. A kalciumszulfát és kalciumkarbonát együttes jelenléte esetén oldódásuk arányát oldhatósági szorzatuk aránya adja meg.

b) *A magnéziumszulfát* ritkán halmozódik fel tiszta formában a talajban, előfordulása száraz éghajlati körülmények között más, könnyen oldható sókkal együtt jellemző. A talajban felhalmozódhat oldható só, megkötődhet kicszerűlhető formában és beépülhet mint rácsalkotó elem a rétegszilikátokba. A növény fiziológia szempontjából igen toxikus.

c) *A nátriumszulfát* megtalálható a sztyeppzóna szikes talajaiban, jellemző a félsivatagi és sivatagi régiók sós talajaira. A szulfátos szoloncsákok viszonylag könnyen javíthatók kilúgzással és drénezéssel. Toxicitása kisebb mint a nátriumklorid, vagy a magnéziumszulfát toxicitása.

Irodalom

- [1] BENETT, A. C. & ADAMS, T.: Solubility and solubility product of gypsum in soil solutions and other aqueous solutions. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **36**, 288—298. 1972.
- [2] BORMANN, J. H. et al.: Reclamation of salt affected soils in Iraque. *Soil Hydrological and Agricultural Studies*. Wageningen. 1963.
- [3] BOROVSZKIJ, V. M. & POGREBINSZKIJ, M. A.: *Drevnaja delta Szir-Dari i szevernie Kizil-Kumi*. Izd. Ak. Nauk Kazahszkoj SzSzR Alma-Ata. 1958.
- [4] DARAB, K. & FERENC, K.: Öntözött területek talajtérképezése. OMMI Kiadvány. Budapest. 1969.
- [5] DARAB, K., RÉDLY, L-NÉ & CSILLAG, J.: A kalciumszulfát oldhatóságának számítása szikes talajok telítési kivonataiban. *Agrokémia és Talajtan*. **28**, 45—64. 1979.
- [6] *European solonetz soils and their Reclamation* (Ed.: SZABOLCS, I.) Akadémiai Kiadó. Budapest. 1971.
- [7] FERSMAN, A. E.: *Geohimieseszkie i mineralógiceseszkie metodi poizskov*. Izbr. Trudi II. 443—758. Izd. Ak. Nauk. SzSzSzR 1953.
- [8] *International Source-book in Irrigation and Drainage of Arid Land*. (Ed.: KOVDA, V. A., BERG, C. & VAN DEN HAGEN, M. R.) FAO/UNESCO. 1967.
- [9] *Modelling of soil salinization and alkalization*. (Ed.: KOVDA, V. A. & SZABOLCS, I.) *Agrokémia és Talajtan*. **28**, Suppl. 1979.
- [10] MULDER, M. A.: *The arid soils of the balikh basium (Syria)*. Drukkerij Bronder Offset N. V. Rotterdam. 1969.

- [11] POLYNOV, B. B.: Geograficeszkie raboti. Izd. Geograficeszkoj Literaturi Moszkva, 1952.
- [12] SZABOLCS, I.: Salt-affected soils in Hungary. *Agrokémia és Talajtan*, Suppl. 75—306, 1965.
- [13] SZABOLCS, I.: Salt-affected soils in Europe. Martinus-Nijhoff the Hague and Res. Inst. for Soil Sci. Agric. Chem. Hung. Acad. Sci. Budapest, 1974.

Érkezett: 1979. december 10.

The Effects of Sulphates on the Formation and Properties of Salt Affected Soils

I. SZABOLCS and K. DARAB

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences,
Research Institute for Water Resources, Budapest

Summary

1. The sulphate compounds in the upper strata of the earth's crust originate from two sources.

- a) They may be of magmatic origin,
- b) They can be formed by the weathering of crystalline rocks.

It is probable, that the sulphates in rocks, soils and ocean trace back, at least partly to volcanic action.

In the recent period the weathering of rocks is primary source of sulphate compounds entering into natural waters, sediments and soils.

2. The climate, geological, geomorphological and hidrogeological conditions are determining factors in the chemistry and degree of salinization.

The semiarid and arid regions are the typical areas of sulphatic salinization (table 3.), although it is evident, that sulphates may accumulate in soils under different climatic conditions if the geomorphology, hydrology of an area is favourable for accumulation of salts (table 5, 6.).

3. Studying the influence of sulphate compounds on soil properties we may distinguish:

- a) the evaluation of sulphate sources,
- b) the description of sulphate compounds,
- c) the discussion of the effect of sulphate salts to physical and physico-chemical properties of soils and the characterization of sulphate compounds on the plant growth.

4. The mobility of different sulphate salts and their role in the formation of salt affected soils are very diverse. The influence of sulphates on soil properties and plant growth depends mainly on the kind of cation to which the sulphate is bound.

a) *Calcium sulphate* occurs in natural waters, sediments and soils of all regions of different climatic conditions. The saturation concentration of calcium sulphate depends on the ionic concentration and chemistry of dissolved salts in soil solution (table 7, 8.).

Gypsum may accumulate in large amounts in soils, but it has no toxic effect on the plants due to its low solubility.

The compact layer of gypsum on the surface or in the root zone of soils may be impenetrable for water, air, plant roots and it may affect the plants adversely.

The calcium ion of calcium sulphate reacts with sodium salts capable of alkaline hydrolysis and with the exchangeable sodium in soils. If a sulphate type salinization occurs, the leaching of sodium sulphate increases the solubility of calcium sulphate and this phenomenon promotes the ameliorative effect. Gypsum and other materials containing calcium sulphate are widely used for the reclamation of sodic and alkali soils. In soils containing solid calcium sulphate and calcium carbonate the ratio of the dissolved amounts of CaSO_4 and CaCO_3 is determined by the ratio of their thermodynamic solubility products (table 9.).

b) *Magnesium sulphate* is a typical component of sea water, it occurs in saline ground waters, in many saline lakes, accumulates in the saline soils of desert and semidesert regions. Magnesium sulphate never accumulates in soils in pure form, but we may find it together with other easily soluble salts as sodium sulphate, sodium chloride, magnesium chloride. The solubility of magnesium sulphate is very good in water and depends only slightly on the temperature. The soil solution with high concentration of magnesium ions is one of the most toxic agent to plants.

The magnesium ions of soil solution may adsorb on the clay minerals either by ion exchange or they can enter into crystalline lattice of layer silicates. The degree of magnesium adsorption and desorption are determined by

I. the equilibrium between the cations of intermicellar and micellar solutions,
II. the equilibrium between the cations of crystalline lattice of mineral and micellar solution.

c) *Sodium sulphate* may be found in the salt affected soils of steppe region but it is a typical compound in the saline soils of desert and semidesert regions. High concentrations of sodium sulphate may occur in saline ground waters, in waters of saline lakes and in the sea water.

This salt has high solubility in water. The concentration of sodium sulphate saturated solution depends very much on the temperature and it increases considerably if the temperature rises.

The toxicity of sodium sulphate is two or three times less than that of magnesium sulphate and it is two or four times less than the toxicity of sodium chloride (table 11.).

The sodium sulphate solonchaks have favourable water physical properties. They can be ameliorated easily and rapidly by leaching and drainage. The leaching has to be carried out in warm period if the main compound among the sulphates is the sodium sulphate, to avoid the decrease of salt solubility with the decrease of temperature.

Table 1. Sequence of ion-extraction during weathering (according to FERSMAN [7]). (1) Sequence of extraction. (2) Ions. (3) Coefficient of energy.

Table 2. Migration categories of elements (after POLYNOV and KOVDA [8]). 1. Virtually non-leachable. 2. Slightly leachable. 3. Leachable. 4. Highly leachable. 5. Very highly leachable.

Table 3. Characteristics of accumulation processes in Eurasia in relation to natural conditions (after KOVDA [8]). (1) Conditions: A) Desert; B) Semi-desert; C) Steppes; D) Forest steppes; E) Forests. (2) Residual salinization of sedimentary rocks: a) common; b) frequent; c) rare; d) none. (3) Maximum mineralization of water g/l: river, ground, and lake. (4) Maximum quantity of salts in surface horizons of solonchaks, %. (5) Typical compound. (6) Salinization of irrigated soils: e) widespread; f) often found; g) rarely found; h) unknown.

Table 4. Chemistry of gneiss, the weathered sediments of gneiss and the dry residual of the local river waters (after POLYNOV [11]). a) Primary rock (gneiss); b) Weathered sediment of primary rock; c) Dry residual of river waters.

Table 5. The chemical composition of saturation extracts of hydromorphic soils in Hungary. (1) Soil: A) Meadow soil; B) Solonetz-like meadow soil; C) Meadow solonetz. (2) Depth of sampling, cm. (3) Soluble salts, %.

Table 6. The chemical composition of soluble salts of meadow solonchak in north Kysil-Kum Desert, determined from 1 : 5 water extracts (after BOROVSKI [3]). (1) Depth of sampling, cm. (2) Dry residual.

Table 7. The chemical composition of saturation extracts of solonetz soil before and after saturating with gypsum. (1) Depth of sampling, cm. A) Before saturating with gypsum. B) After saturating with gypsum.

Table 8. The solubility product of gypsum calculated from the concentration and from the ionic activities of CaSO_4 saturated soil saturation extracts [5]. (1) Ionic strength of the solution: total; reduced. (2) Solubility product calculated from: total; reduced ion concentrations. (3) Thermodynamic solubility product calculated from: total, reduced ion activities.

Table 9. Chemical composition of saturation extracts after treatment with CaSO_4 anhydrite. (1) Depth of sampling, cm. (2) Thermodynamic solubility product.

Table 10. SAR values and sodium saturation percentages of soils before and after treatment with calcium sulphate. (1) Depth of sampling, cm. (2) SAR. (3) ESP. A) before treatment with calcium sulphate. B) after treatment with calcium sulphate. (4) Δ SAR. (5) Δ ESP.

Table 11. Classification of saline soils by degree and type of salinity in relation to field crops [8]. (1) Degree of soil salinity and condition of agricultural crops with medium

salt resistance: a) Practically non-saline (or only very slightly saline), good growth and development (no bare patches, crop normal); b) Slightly saline, slight withering (bare patches and decrease of crop by 10–20%); c) Medium saline, medium withering (bare patches and decrease of crop by 20–50%); d) Strongly saline, marked withering (bare patches and decrease of crop by 50–80%); e) Solonchaks, a few scattered plants survive (virtually no crop). (2) Type of salts dominating in soils. (3) Soda. (4) Chloridic soda and soda chloridic. (5) Sulphatic soda and soda sulphatic. (6) Chloridic. (7) Sulphatic Chloridic. (8) Chloridic Sulphatic. (9) Sulphatic. (10) Content of salts soluble in water in the horizon of maximum salts accumulation within the stratum 0–60 cm (in %). (11) Content of salts soluble in water on average, for the 0–100 cm stratum (in %).

Figure 1. Distribution of continental sediments. a) massive primary rock; b) allitic eluviate; c) eluvial overlying layer; d) level of ground water table; G–O = level of catchment area; AA–GG = region of sulphate-chloridic salinization; BB–AA = region of carbonate accumulation; C–BB region of siallitic type of accumulation.

Figure 2. Solubility of salts depending on Na_2SO_4 concentration.

Einfluss der Sulfatverbindungen auf die Bildung und die Eigenschaften von Alkali-(Szik-)böden

I. SZABOLCS und K. DARAB

Forschungsinstitut für Bodenkunde und Agrikulturchemie der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest
und Forschungszentrale für Wasserwirtschaft, Budapest

Zusammenfassung

In den oberen Schichten der Erdenkruste entstehen die Sulfatverbindungen hauptsächlich

- a) durch magmatische Vorgänge, und
- b) durch Verwitterung von kristallinen Gesteinen.

Mit grosser Wahrscheinlichkeit kann behauptet werden, dass die Sulfatverbindungen in den Gesteinen, den Böden, und im Wasser, sowie in den Sedimenten der Ozeane wenigstens teilweise vulkanischen Ursprungs sind. In der Gegenwart bildet die Verwitterung der Gesteine die primäre Quelle der sich in den natürlichen Gewässern, in den sedimentären Gesteinen und in den Böden anhäufenden Sulfatverbindungen. Die auf der Oberfläche der Erde vorkommenden Gesteine enthalten die Elemente Ca, Mg, Na und K in Form von Silikaten. Schwefel tritt zumeist in Form von schwerlöslichen Sulfiden auf. Die Verwitterung dieser Gesteine bewirkt und ergibt als Resultat der damit zusammenhängenden Oxidationsvorgänge die Bildung der Sulfatsalze.

2. Das Ausmass und die chemische Zusammensetzung der Salzanhäufungen hängt von den klimatischen, geomorphologischen und hydrogeologischen Verhältnissen ab. Eine Anhäufung der sulfatartigen Salze ist für die Gebiete der Halbwüsten und Wüsten kennzeichnend. Die Anhäufung von Sulfaten ist nicht ausschliesslich von dem ariden Klima bedingt. Es kann eine Sulfatanreicherung unter verschiedenen klimatischen Verhältnissen vorkommen, wenn die hydrologischen, geomorphologischen, sowie hydrochemischen Gegebenheiten dies ermöglichen.

3. Untersucht man den Einfluss der Sulfatverbindungen auf die Bodenbildung, so können drei Problemkreise unterschieden werden:

- I. Ursprung der Sulfatverbindungen, Bewertung ihrer Rolle in der Salzanhäufung;
- II. Beschreibung der Eigenschaften der sich im Boden anhäufenden Sulfatverbindungen;

III. Einfluss der Sulfate auf die physikalischen und physikochemischen Bodeneigenschaften, sowie ihre den Pflanzen gegenüber ausgeübte Toxizität.

4. Die Beweglichkeit und der Einfluss der Sulfate auf die Bildung von Szikböden ist verschieden. Ihre Wirkung auf die Bodeneigenschaften und auf die Pflanzenentwicklung ist durch die mit den Sulfationen verbundenen Kationen bestimmt.

a) *Calciumsulfat* ist in natürlichen Gewässern, in sedimentären Gesteinen, in den Böden aller Regionen, bei verschiedenen klimatischen Bedingungen anzutreffen. Seine Sättigungskonzentration in der Bodenlösung hängt von der gesamten Salzkonzentration und der chemischen Zusammensetzung der Bodenlösung ab. Die toxische Wirkung des

Gypses kann infolge seiner verhältnismässig geringen Löslichkeit vernachlässigt werden. Falls sich in der Wurzelzone des Bodens eine feste Anhäufungsschicht bildet, so kann diese für die Entwicklung der Pflanze physisch hinderlich sein. Seine am meisten kennzeichnende bodenchemische Wirkung besteht darin, dass es die im Boden befindlichen oder dorthin gelangenden alkalisch hydrolysierenden Na-Salze neutralisiert. Deshalb verwendet man im Falle von Solonetz- und sodahaltigen Solontschak-Solonetzböden calciumsulfathaltige Stoffe zur Bodenverbesserung. Bei gleichzeitiger Anwesenheit von Calciumsulfat und Calciumcarbonat wird ihre Löslichkeit durch den Quotienten ihrer Löslichkeitsprodukte angegeben.

b) *Magnesiumsulfat* ist oft in Salzböden und salzigen Seen aufzufinden. Es häuft sich selten im Boden in reiner Form an, eher findet man es mit anderen, leichtlöslichen Salzen zusammen. Die Bodenlösung mit einer hohen Mg-Ionenkonzentration ist äusserst toxisch für die Pflanzenentwicklung. Das Magnesiumion des Magnesiumsulfats kann in den Böden in austauschbarer Form gebunden werden und durch isomorphe Substitution in das Gitter der Schichtsilicate gelangen.

c) *Natriumsulfat* ist in den Szikböden der Steppenzone zu finden; es ist ein typischer Bestandteil der Salzböden von semi-ariden und ariden Regionen. Seine Löslichkeit hängt von der Temperatur ab und nimmt mit deren Ansteigen zu. Seine Toxizität — im Falle äquivalenter Konzentrationen — ist 2—3mal geringer als diejenige des Magnesiumsulfats und 2—4mal geringer als die des Natriumchlorids. Die sulfathaltigen Solontschakböden besitzen gewöhnlich einen guten Wasserhaushalt. Sie können durch Auslaugen und Dränung leicht verbessert werden. Insofern das Natriumsulfat unter den Sulfaten dominiert, ist es zweckmässig die Auslaugung in der warmen Jahreszeit durchzuführen um die Herabsetzung der Löslichkeit der Salze vermeiden zu können.

Tab. 1. Reihenfolge der Ionenauswaschung im Laufe der Gesteinverwitterung (nach FERSMAN [7]). (1) Reihenfolge der Ionen im Laufe der Auswaschung. (2) Ionen. (3) Energie-Koeffizienten.

Tab. 2. Migrationskategorien der Elemente (nach POLYNOV und KOVDA [8]). 1. Im Wesentlichen nicht auswaschbar. 2. Schwach auswaschbar. 3. Auswaschbar. 4. Leicht auswaschbar. 5. Sehr leicht auswaschbar.

Tab. 3. Charakteristika der Anhäufungsprozesse und deren Abhängigkeit von den Naturverhältnissen in Eurasien (nach KOVDA [8]). (1) Naturbedingungen: A) Wüste; B) Halbwüste; C) Steppe; D) Waldsteppe; E) Wald. (2) Szikbildung der sedimentären Gesteinreste: a) allgemeine; b) häufige; c) seltene; d) fehlt. (3) Maximale Salzkonzentration der Gewässer, g/l: Flusswasser, Grundwasser und Wasser der Seen. (4) Maximale Salzmenge auf der Oberfläche der Solontschakböden, %. (5) Charakteristische Salzanhäufung. (6) Salzanhäufung auf bewässerten Böden: e) verbreitet; f) unbekannt; g) häufig anzutreffen; h) selten anzutreffen.

Tab. 4. Chemische Zusammensetzung des verwitterten Gneissedimentes und des trockenen Rückstandes des sich mit dem Gestein berührenden Flusswassers in % (nach POLYNOV [11]). (1) Untersuchtes Material: a) primäres Gestein (Gneis); b) Verwitterungssediment des primären Gesteins; c) trockener Rückstand des Flusswassers.

Tab. 5. Chemische Zusammensetzung der Sättigungsauszüge von hydromorphen Böden in der ungarischen Tiefebene. (1) Bodentyp: A) Wiesenboden; B) Solonetz-Wiesenboden; C) Wiesenolonetzboden. (2) Tiefe der Probenahme, cm. (3) Gehalt an löslichen Salzen, %.

Tab. 6. Chemische Zusammensetzung der löslichen Salze im 1 : 5 Wasserauszug von einem Wiesen-Solonetzboden der nördlichen Kyzil-Kum-Wüste (nach BOROVSKI [3]). (1) Tiefe der Probenahme, cm. (2) Trockener Rückstand.

Tab. 7. Chemische Zusammensetzung der Sättigungsauszüge von Solonetzböden vor und nach deren Sättigung mit Gips. (1) Tiefe der Probenahme, cm. A) Vor der Sättigung mit Gips. B) Nach der Sättigung mit Gips.

Tab. 8. Löslichkeitsprodukt des Gipses in mit Gips gesättigten Sättigungsauszügen, aus Konzentrationen und Aktivitäten berechnet [5]. (1) Ionenstärke der Lösung; gesamte und reduzierte. (2) Einfaches Löslichkeitsprodukt: aus den gesamten und reduzierten Ionenkonzentrationen berechnet. (3) Thermodynamisches Löslichkeitsprodukt aus den gesamten und reduzierten Ionenaktivitäten berechnet.

Tab. 9. Chemische Zusammensetzung von Sättigungsauszügen nach Sättigung mit Calciumsulfat-Anhydrit. (1) Tiefe der Probenahme, cm. (2) Thermodynamisches Löslichkeitsprodukt.

Tab. 10. Natriumadsorptionsverhältnis der Sättigungsauszüge der untersuchten Böden und das Na-Sättigungsprozent des Bodens vor und nach Behandlung mit Calciumsulfat. (1) Tiefe der Probenahme, cm. (2) Natriumadsorptionsverhältnis. (3) Austausch-

bares Na, %. (4) Änderung des Na-Adsorptionsverhältnisses. (5) Änderung des austauschbaren Na-Prozentes. A) Vor Behandlung mit Calciumsulfat. B) Nach Behandlung mit Calciumsulfat.

Tab. 11. Klassifizierung der Salzböden in Funktion des Ausmasses und des Typs der Salzanhäufung. (1) Ausmass der Salzanhäufung im Boden und Entwicklung landwirtschaftlicher Pflanzen von mittlerer Salztoleranz: a) Praktisch nicht salzig, normale Pflanzenentwicklung; b) Schwach salzig, schwaches Welken (Pflanzenschädigung 10—20%); c) Mittelmässig salzig, mittelmässiges Welken (Pflanzenschädigung 20—50%); d) Stark salzig, starkes Welken (Pflanzenschädigung 50—80%); e) Solontschakböden, praktisch vollkommenes Absterben der Pflanzen. (2) Qualität des sich im Boden anhäufenden Salzes. (3) Natriumcarbonat. (4) Chlorid-Carbonat und Carbonat-Chlorid. (5) Sulfat-Carbonat und Carbonat-Sulfat. (6) Chlorid. (7) Sulfat-Chlorid. (8) Chlorid-Sulfat. (9) Sulfat. (10) Menge der wasserlöslichen Salze in der 0—60 cm Akkumulationsschicht, %. (11) Mittlere Menge der löslichen Salze in der 0—100 cm Schicht, %.

Abb. 1. Verteilung des kontinentalen Sedimentes. a) Massives primäres Gestein. b) Allites Eluvium; c) Eluviale Deckschichte; d) Grundwasserstand; G—O = Niveau des Einzugsgebietes; AA—GG = Region der Sulfat-Chlorid-haltigen Salzanhäufung; BB—AA = Region der Carbonathaltigen Salzanhäufung; C—BB = Region der Salzanhäufung vom Typ Sialit.

Abb. 2. Abhängigkeit der Löslichkeit der Salze von der Natriumsulfat-Konzentration der Lösung.

Сернокислые соединения и их роль в образовании засоленных почв

И. САБОЛЬЧ и К. ДАРАБ

Научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии ВАН и Центральный Институт Водного Хозяйства, Будапешт

Резюме

1. Двумя основными источниками образования сернокислых соединений являются: — магматические процессы, — выветривание горных кристаллических пород.

С большой вероятностью можно утверждать, что по крайней мере одна часть сернокислых соединений, встречающихся в породах, почвах, океанах — вулканического происхождения. В настоящее время накопление сульфатов в природных водах, осадочных породах и почве проходит, в первую очередь, за счет выветривания горных пород. Породы, встречающиеся на земной поверхности, содержат элементы кальция, магний, натрий и калий в форме силикатов. Сера в большинстве случаев встречается в форме труднорастворимых сульфидов. Образование сернокислых соединений является результатом выветривания горных пород и связанных с этим окислительных процессов.

2. Размеры накопления и химический состав накопившихся солей зависят от климатических, геоморфологических и гидрологических условий. Сульфатный тип засоления характерен для полупустынь и пустынь. Накопление сульфатов не всегда связано с сухим климатом. Оно может проходить в различных климатических условиях, если для этого имеются гидрологические, геоморфологические и гидрохимические предпосылки.

3. При изучении роли сернокислых соединений в почвообразовании можно выделить три круга проблем.

I. Источники накопления сернокислых соединений и оценка их роли в накоплении солей;

II. Описание свойств накопившихся в почве сернокислых соединений;

III. Влияние сульфатов на физические и физико-химические свойства почвы, токсическое влияние сернокислых соединений на развитие растений.

4. Подвижности сульфатов и их роль в образовании засоленных почв различны. Их влияние на свойства почвы и развитие растений зависит от того, с каким катионом они связываются.

а) *Сульфат кальция.* Встречается в природных водах, осадочных породах, на всех территориях, во всех климатических зонах. Содержания сульфата кальция в почвенном растворе зависит от общей концентрации солей в почвенном растворе и от их химического

состава. Его токсичность, из-за относительно слабой растворимости, незначительная. Образование в почве, в корневой зоне плотных прослоек может физически тормозить развитие растений. Влияние сульфата кальция на почву проявляется в нейтрализации щелочно-гидролизующих солей, находящихся в почве или попадающих в почвенный раствор. Поэтому для мелиорации солонцов и содовых солончаков-солонцов используют вещества содержащие сульфат кальция. При совместном содержании сульфатов и карбонатов кальция соотношение их растворимости определяется соотношением их произведений растворимости.

б) *Сульфат магния*. Часто встречается в засоленных почвах и в водах соленых озер. Накопление его в почве в чистой форме наблюдается редко, обычно он присутствует в смеси с другими воднорастворимыми солями. Почвенный раствор с высокой концентрацией магния с точки зрения развития растений является одним из наиболее токсичных агентов. В почвах ион магния сернокислого магния может находиться в обменной форме и входить в решетку слоистых силикатов путем изоморфных замещений.

с) *Сульфат натрия*. Встречается в засоленных почвах степной зоны, является типичной составной частью засоленных почв полупустынных и пустынных зон. Растворимость зависит от температуры, и с повышением температуры увеличивается. Токсичность при эквивалентных концентрациях в 2—3 раза меньше по сравнению с токсичностью сульфата магния, и в 2—4 раза меньше, чем токсичность хлористого натрия. Сульфатные солончаки обычно характеризуются благоприятными водными свойствами. Легко мелиорируются промывкой и дренированием. Если среди сульфатов преобладает сернокислый натрий, промывку следует проводить в теплый период года.

Табл. 1. Порядок освобождения ионов в процессе выветривания горных пород (по Ферсману [7]). (1) Последовательность экстракции ионов. (2) Ионы. (3) Коэффициенты энергии.

Табл. 2. Категории миграции элементов (Польнов и Ковда [8]). 1. В основном не выщелачиваемые. 2. Слабо выщелачиваемые. 3. Выщелачиваемые. 4. Легко выщелачиваемые. 5. Весьма легко выщелачиваемые.

Табл. 3. Характерные признаки процессов накопления и их зависимость от природных условий в Евразии (по работам Ковды [8]). (1) Природные условия: А) Пустыня. В) Полупустыня. С) Степь. D) Лесостепь. E) Лес. (2) Остаточное засоление осадочных пород: а) общее; б) частое; в) редкое; д) нет. (3) Максимальная концентрация солей в водах, г/л: речная вода, грунтовая вода и воды озер. (4) Максимальное содержание солей на поверхности солончаков, %. (5) Характерное накопление солей. (6) Накопление солей в орошаемых почвах: е) распространенное; ф) не известное; г) часто встречаемое; h) редко встречаемое.

Табл. 4. Химический состав отложений выветрелого гнейса и сухого остатка воды в реке, протекающей через эти отложения, %. (Польнов [11]). (1) Исследуемый материал: а) Первичная порода (гнейс); б) Отложения выветрелой первичной породы; в) Сухой остаток речной воды.

Табл. 5. Химический состав насыщенной вытяжки из гидроморфных почв Венгерской низменности. (1) Тип почвы: А) Луговая почва; В) Солонцеватая луговая почва; С) Луговой солонец. (2) Глубина взятия образцов в см. (3) Содержание воднорастворимых солей в %.

Табл. 6. Химический состав солей в 1 : 5 водной вытяжке из луговых солончаков северной части пустыни Кызыл-Кум (Боровский [3]). (1) Глубина взятия образцов в см. (2) Сухой остаток.

Табл. 7. Химический состав насыщенных вытяжек из солонцов перед и после насыщения гипсом. (1) Глубина взятия образцов в см. А) Перед насыщением гипсом. В) После насыщения гипсом.

Табл. 8. Произведение растворимости гипса в насыщенных, обогащенных гипсом вытяжках, рассчитанное по концентрациям и активностям [5]. (1) Ионная сила раствора: общая и редуцированная (сокращенная). (2) Простое произведение растворимости: по общим и редуцированным ионным концентрациям. (3) Термодинамическое произведение растворимости: по общим и редуцированным ионным активностям.

Табл. 9. Химический состав насыщенных вытяжек после обогащения ангидритом сульфата кальция. (1) Глубина взятия образца в см. (2) Термодинамическое произведение растворимости.

Табл. 10. Адсорбционное соотношение натрия в насыщенных вытяжках изученных почв и процентная насыщенность почвы натрием перед и после обработки сульфатом кальция. (1) Глубина взятия образцов в см. (2) Адсорбционное соотношение натрия. (3) Обменный натрий в %. Изменение адсорбционного соотношения натрия. (5) Изменение процентного содержания обменного натрия. А) Перед обработкой сульфатом кальция. В) После обработки сульфатом кальция.

Табл. 11. Классификация засоленных почв по размеру и типу засоления. (1) Размер накопления в почве солей и развитие растений средне устойчивых к засолению: а) Практически почва не засолена, нормальное развитие растений. б) Почва слабо засолена, слабое увядание растений (растение поражено на 10—20%). в) Средне засоленная почва, среднее увядание растений (растение поражено на 20—50%). г) Сильно засоленная почва, сильное увядание растений (растение поражено на 50—80%). д) Солончаки, практически полная гибель растений. (2) Типы солей. (3) Карбонаты натрия. (4) Хлоридно-карбонатное и карбонатно-хлоридное засоление. (5) Сульфатно-карбонатное и карбонатно-сульфатное засоление. (6) Хлориды. (7) Сульфатно-хлоридное засоление. (8) Хлоридно-сульфатное засоление. (9) Сульфаты. (10) Количество воднорастворимых солей в аккумуляционном горизонте (0—60 см) в %. (11) Среднее количество воднорастворимых солей в слое мощностью 0—100 см, в %.

Рис. 1. Распределение континентальных отложений. а) Массивная первичная порода; б) Аллювий; в) Элювиальный покровный слой; г) Уровень залегания грунтовых вод; G—O = уровень водосборной территории; AA—GG = регион сульфатно-хлоридного соленаккумуляции; BB—AA = регион накопления карбонатного типа; C—BB = регион накопления силитного типа.

Рис. 2. Зависимость растворимости солей от концентрации сульфата натрия в растворе.