

## **A kalciumszulfát felhalmozódásának sajátosságai iraki gipszes talajban**

SZABOLCS ISTVÁN, RÉDLY LÁSZLÓNÉ, PÁRTAY GÉZA  
és SZENDREI GÉZA

*MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest*

Mint arra több szerző is [4, 6, 10, 11] rámutat, a szikes talajokban a sófelhalmozódás törvényszerűségei szoros kapcsolatban állnak a környezet tényezőivel. Így az éghajlat, az alapkőzet, geomorfológiai viszonyok, és más környezeti körülmények meghatározzák nemcsak azt, hogy milyen mennyiségben halmozódnak fel a sók egyik vagy másik talajban, hanem a felhalmozódott sók minőségét is.

A sófelhalmozódás egyes típusai a szakirodalomban részletesen megtalálhatók [4]. Mégis meg kell állapítani, hogy egyes sófelhalmozódási típusok jobban, mások kevésbé tanulmányozottak. Az utóbbiak közé tartozik a gipszfelhalmozódása is, amely gipszes (gypsiferous) talajok képződéséhez vezet. Ezt a talajképződményt a nemzetközi talajosztályozások ma már tartalmazzák (a FAO—UNESCO 1 : 5 000 000 léptékű térképének osztályozási rendszerében „Gipsic yermosol” néven szerepelnek), de ezzel együtt egyre gyakrabban írják le a gipszes talajokat Közép-Keleten, a Szovjetunió területén Közép-Ázsiában, Afrika északi részén és más területeken. E talajok gipsztartalma már a felszínen is olyan jelentős, hogy a talajok számos tulajdonságát meghatározza. Míg a gipsz a sztyeppéken a mérsékelt éghajlati övezet alatt rendszerint a talajszelvény alsóbb szintjeiben található meg, száraz éghajlati viszonyok között gyakran már a felszínen, illetve a felsőbb szintekben is jelentős mennyiségben fordul elő. Hazánk területén szikes, sztyeppesedő réti és más talajképződményeink alatt ugyancsak jelentős gipszfelhalmozódás fordul elő, azonban — kivéve egypár speciális esetet — a felsőbb szintekben a sófelhalmozódásnak ez a formája nem ismeretes [9]. Mint SZABOLCS és DARAB [11] közleményükben leírják, jól meghatározott körülmények szükségesek ahhoz, hogy a szulfátok a szikesedés során a felsőbb talajszintekben megjelenjenek. Nem utolsósorban a száraz éghajlati viszonyok vezetnek arra, hogy gyakran ugyanabban a szintben található meg a kalciumkarbonát és a kalciumszulfát is. Hasonló közös előfordulás pl. hortobágyi szikes talajokban is található [8], azonban a gipszes talajok egy részének sajátossága az, hogy már a felszínen együtt található a kalciumszulfát és kalciumkarbonát. Egyes helyeken az egyik, más helyeken a másik dominál, így pl. Szudánban, Khartum környékén a Nílus allúviómain jelentős mennyiségű kalciumkarbonát mellett aránylag kisebb mennyiségű kalciumszulfát található, míg Irakban az általunk vizsgált talajokban az ellenkező törvényszerűség uralkodik.

Irakban, amely szikes talajok tekintetében különben is a világ leggazdagabb területei közé tartozik, nagy mennyiségű gipszes talajjal is találkozunk. Az

utóbbi időszakban ebben az országban éppúgy, mint más hasonló területeken, az irányította e talajok felé a figyelmet, hogy az öntözés fejlesztésével egyre több gipszes talajt vontak öntözésbe, illetve vezettek rajta keresztül öntöző vagy lecsapoló csatornákat. Az első és legszembeütőbb változás az volt, hogy a nagy gipsztartalomnak az öntöző- vagy dréncvezetek által történő kimosása a talajok leromlásához, illetve az öntözőrendszerek tönkremeneteléhez vezetett. Ez magyarázza, hogy mind nemzetközi projektekből, mind pedig a nemzeti mezőgazdasági hasznosítási tervekben, mindazokban a száraz országokban, ahol gipszes talajok előfordulnak, e kérdések felé oly nagy mértékben irányult a figyelem.

Irak gipszes talajairól számos közlemény látott napvilágot, legjobb és legteljesebb jellemzésüket azonban BARZANJI [1] adja, aki mind genetikai, mind környezeti, mind pedig fizikai, kémiai és mineralógiai viszonyait részletesen jellemezte, ezen belül kitér a terület hidrológiai viszonyainak jellemzésére is.

Az általunk vizsgált talajminta ugyancsak arról a területről származik, amelyen BARZANJI vizsgálatainak túlnyomó részét végezte, az iraki Szamarától északra elterülő gipszes talajok övezetéből. Vizsgálataink célja az volt, hogy a gipsz megjelenését, eloszlását és formáit, a talaj gipszes felső szintjeiben vizsgálat tárgyává tegyük. E vizsgálatok megmutathatják azt, hogy a gipsz milyen vegyületekkel és milyen formákban szerepel e talajszintekben, továbbá felvilágosításokat kaphatunk e talajok kialakulásának körülményeiről is. Miután e talajok gipsztartalma igen mobilis, a felhalmozódás törvényszerűségeinek és a gipsz előfordulás morfológiai bélyegeinek igen nagy a jelentősége nemcsak a gipszes talajok genetikája szempontjából, hanem azért is, mert e talajok javításának és hasznosításának ezen ismeretek elengedhetetlen előfeltételét képezik.

## Anyag és módszerek

### I. A vizsgált anyag

A vizsgálat tárgyát képező talajminta Irakból, Szamarától északra az Aldour projekt területéről származik, és gipszes talaj (gypsiferous soil) elnevezéssel jellemezhető. E talajból a mintavétel 10–25 cm mélységben történt, összefüggésben azzal, hogy a gipszfelhalmozódás maximuma e szintben található. A minta két, morfológiában és konzisztenciában egymástól jól elkülönülő, azonban a szintben keverékként megjelenő részre bontható:

- a) a szint kb. 2/3 részét képező poros szerkezetű talaj;
- b) kb. a szint 1/3-át képező gipsz által össze cementálódott talajrögök.

A mintákat eszerint vizsgáltuk meg azonban a részletesebb kémiai és ásványtani elemzést elsősorban az a)-val jelzett porszerű talajmintából végeztük, (1 mm-es szitán történő átszitálás után). Néhány vizsgálatot természetesen az össze cementálódott talaj rögökből is végeztünk.

### II. Az elvégzett elemzések és az alkalmazott módszerek

1. *Alapvizsgálatok:* —  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$  telítési talajpépből, illetve (a rögök esetében) 1 : 2,5 arányú szuszpenzióból; — összes karbonát (SCHEIBLER módszer szerint); — telítési %; — összes só (telítési talajpép elektromos vezetőképessége).

2. *Vizoldható sókészlet vizsgálata* 1 : 5 arányú vizes kivonat kation és anion összetétele alapján (standard módszerekkel). A  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  és  $\text{Mg}^{2+}$  koncentrációt a telítési kivonathoz is meghatároztuk.

3. *Sósavas kivonat elemzése*, ebből gipsztartalom meghatározása számítás alapján, illetve közvetlenül gravimetriás módszerrel.

a) 1 : 20 arányú 10%-os hideg HCl-el készített kivonathoz a  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  és  $\text{SO}_4^{2-}$ -ionokat határoztuk meg (standard módszerekkel). Az adatokat % -ban és mg/100 g talajra adtuk meg.

b) Ugyanezen kivonathoz acetons kicsapással gravimetriás módszerrel közvetlenül mértük a gipsz mennyiségét. Az adatokat  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  %-ban adtuk meg.

c) 1 : 500 arányú 0,02 n HCl-oldattal készített kivonathoz  $\text{Ca}^{2+}$  és  $\text{SO}_4^{2-}$  koncentrációt mértünk és ugyanezen kivonathoz a kioldódott gipsztartalmat számítottuk.

4. *Adszorpciós viszonyok vizsgálata*: A kicserélhető  $\text{Mg}^{2+}$  és  $\text{K}^+$  meghatározása n ammóniumacetátos kivonathoz, a kationkicszerelő kapacitás meghatározása n Na acetátos telítés után ammóniumacetátos kivonathoz történt. A kicserélhető  $\text{Ca}^{2+}$ -ionok mennyiségét különbségből számítottuk. A kicserélhető  $\text{Na}^+$  meghatározása Na—22 izotóphígítással történt.

5. *Mechanikai elemzés*: KACSINSZKIJ szerinti előkészítés után, ROBINSON féle pipettás módszerrel történt.

6. *Teljes kémiai elemzés*: Az elemi összetétel meghatározását mind az eredeti talajból, mind az 1 : 20 arányú hideg 10%-os HCl oldatos kioldás után visszamaradt talajból végeztük el.

A feltárást  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ - $\text{K}_2\text{CO}_3$  keverékkel végeztük. A  $\text{SiO}_2$ -t és a másfél-szeres oxidokat, valamint a  $\text{SO}_4^{2-}$  mennyiségét gravimetriás módszerrel, a vas, mangán, kalcium és magnézium tartalmat atomadszorpciós spektrofotometriás módszerrel, a foszfort molibdenát komplex fotometriás mérése útján, a nátrium és kálium mennyiségét külön  $\text{CaCO}_3$ - $\text{NH}_4\text{Cl}$ -os feltárásból lángfotometriás módszerrel határoztuk meg. Az adatokat az egyes alkotórészek oxidjaira számítva, 105°C-on szárított talaj %-ában adtuk meg. A sósavas kioldás utáni elemi összetételt mind a kioldás utáni talajmennyiség %-ában, mind az eredeti talaj %-ában feltüntettük.

7. *Ásványtani vizsgálatok*: A preparátumokat röntgendiffrakcióval, pásztázó- és transzmissziós elektronmikroszkóppal, energia diszperzív elemanalízissel és termikus analízissel vizsgáltuk.

Felvételi körülmények:

*Röntgendiffrakció*: DRON 2,0 diffraktométer, 35 kV, 34 mA,  $\text{CuK}\alpha$  sugárzás, Ni szűrő, 0,5; 1,0. 0,25 mm résméret, 1°/perc goniométer sebesség, 720 mm/óra papírsebesség, 2000 és 1000 imp/sec érzékenység.

*Pásztázó elektronmikroszkóp*: ISI SEM II. 25 kV, 85 mA, 45° mintaállás, Polaroid T 52, vezetőréteg: szén-arany.

*Transzmissziós elektronmikroszkóp*: JEOL 100 UC, 80 kV, GAEVERT Scientific, palládium árnyékolás 20°-ra döntve.

*Elemanalízis*: KEVEX, megegyezik a monitorral készült felvételen látható értékekkel.

*Termikus vizsgálat*: DTG érzékenység: 1/15, DTA érzékenység: 1/10, TG érzékenység: 200 mg, kezeletlen, nem frakcionált talajmintából.

A vizsgálatoknál alkalmazott különféle előkészítési módokat, a 8. táblázat szemlélteti.

### Vizsgálati eredmények és azok értékelése

Az 1. táblázat a vizsgált minták néhány kémiai jellemzőjét mutatja. A minták kémhatása közel semleges, ebben a tekintetben lényeges különbséget nem találtunk, a por alakú talajminta és a konkréciók pH-ja között. Jelentős különbség adódott azonban a két típus között a szénsavas mésztartalom tekintetében, mely a porított talajmintában meghaladja a 13%-ot, míg a konkréciókban a 4%-ot sem éri el. Az összes só meghatározását csak a telítési talajpép vezetőképessége alapján a porított talajmintában végeztük el, hiszen az adott esetben ez csak durva tájékozódást adhat.

1. táblázat

A vizsgált talajminták egyes kémiai jellemzői

(1) Minta	(2) pH (H <sub>2</sub> O) telítési talajpépben	CaCO <sub>3</sub> %	(3) Telítési %	(4) Összes só % telítési talajpép vezetőképessége alapján
a) Porított talajminta	7,15	13,5	52,8	1,17
b) Konkréció természetes állapotban		3,74		
c) Konkréció letisztítva	7,5 (1 : 2,5 szusz- penzióban)			

Figyelemre méltó, hogy amennyiben a konkréciót a felületére tapadt rétegtől megtisztítottuk, semmiféle pezsgést nem mutatott, ami arra mutat, hogy anyagában kalciumkarbonát nincs, az csak a felületére tapad.

Továbbiakban elvégeztük a porított talajminta mechanikai elemzését, amelynek adatai a 2. táblázaton találhatóak.

A 2. táblázatból mindenekelőtt szembeűnik a sósavas kezelés során beálló jelentős veszteség. Ezt a körülményt természetesen az adatok értékelésénél figyelembe kell venni, ezért táblázatunkon a számítást a kezelés előtti állapotra vonatkozóan is elvégeztük.

Figyelemre méltó még a minta jelentős sűrűsége is, amelyhez hasonló nagyságú a szakirodalomban ritkán található. A mechanikai elemzés alapján megállapíthatjuk, hogy a vizsgált talaj közepesen nehéz mechanikai összetételű, és az agyagfrakció mennyisége benne lényegesen kisebb, mint sok más szikes talajnál. Ugyanez mondható el az iszapfrakcióra vonatkoztatva is, ámbár az e frakcióra mért értékek jelentősnek tekinthetők.

A továbbiakban a porított talajminta kationkicszerelő kapacitását valamint a kicszerelő kationok mennyiségét és arányát vizsgáltuk. Meg kell jegyezni, hogy összhangban a mechanikai analízis adataival, az aránylag kisebb agyagtartalom miatt a talaj kationkicszerelő kapacitása sem nagy, alig haladja meg a 10 mg egyenértéket 100 g talajra vonatkoztatva. E vizsgálataink eredményét a 3. táblázat tartalmazza.

A 3. táblázatból nemcsak az tűnik ki, hogy a kationkicszerelő kapacitás nem nagy hanem az is, hogy ennek túlnyomó részét, közel 80%-át a kalcium ionok alkotják. A talaj jellegével, valamint egyéb tulajdonságaival összehasonlítva ez természetesnek tekinthető, figyelemreméltó csak az, hogy a kicszerelhető nátrium általunk mért relatív értékei is jelentősebbek, mint azt legtöbb szerző megállapította.

2. táblázat  
A porított talajminta mechanikai összetétele, %

(1) Sűrűség g/cm <sup>3</sup>	(2) Higrosz- kóposság %	(3) Sósavas kezelés vesztésége %	(4) Mechanikai frakció mm						(5) Fizikai	
			1—0,25	0,25— 0,05	0,05— 0,01	0,01— 0,005	0,005— 0,001	<0,001	homok	agyag
2,89	7,15	39,18	1,69	19,40	14,19	4,59	7,05	13,90	35,28	25,54
a) Mechanikai frakciók a sósavas veszteség arányos részével korrigálva			1,69	38,36	20,73	8,89	13,50	26,83	50,78	49,22

BARZANJI [1] és mások esetében ez az érték jóval 10%-alatt van, míg méréseink alapján 12,56% ESP érték adódott. A kicserélhető nátrium meghatározását a körülmények között legrealisabbnak értékelhető módszerrel, izotóp kicserélődési módszerrel végeztük, így nem állhatott fenn az a hibaforrás, hogy a módszer hibájából a kicserélhető nátrium értéke túl nagyra adódott volna.

3. táblázat  
A porított gipszes talajminta adszorpciós viszonyai

(1) Kicserélhető kationok (mgeé/100 g)				(2) Kation- kicserélő kapacitás mgeé/100 g	(3) Ki- cserélhető Na <sup>+</sup> % (ESP)
Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
8,47	0,24	1,31	0,41	10,43	12,56

Ennek magyarázatára és az izotóphígításos módszerrel kapott kicserélhető Na<sup>+</sup> értékek realitásának megítélésére a következő számításokat, illetve elemzéseket végeztük:

a) A telítési kivonatból és az izotóp kicserélhető Na<sup>+</sup> meghatározásánál használt 1 : 10 arányú vizes talajszuszpenzió centrifugálással nyert egyensúlyi oldatából meghatároztuk a Na<sup>+</sup> ionok koncentrációját. A két kivonatban mért Na<sup>+</sup> koncentrációk mgeé/100 g-ban kifejezett értékei (1 : 10 arányú kivonatban 1,06, telítési kivonatban: 0,22) közötti különbség = 0,84 mgeé/100 g. Ez az érték közelítően megfelel az izotópos meghatározás körülményei között lehidrolizált kicserélhető Na<sup>+</sup> mennyiségnek. Figyelembevéve mind a kivonatok Na<sup>+</sup> mérésének hibáját, mind azt, hogy az izotóposan kicserélhető Na<sup>+</sup> meghatározásnak is már viszonylag nagy a hibahatára ebben a koncentrációtartományban, a kicserélhető Na<sup>+</sup> izotóphígításos módszerrel mért (1,31 mgeé/100 g) és a fenti módon számított értéke (0,84 mgeé/100 g) jól egyezik.

b) A telítési kivonat adataiból számított SAR érték

$$\frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}} = 0,96. \text{ Ennek alapján a kicserélhető Na relatív értékét}$$

(ESP) a RICHARDS féle összefüggéssel

$$\text{Kicserélhető Na\% (ESP)} = \frac{100(-0,0126 + 0,01475 \text{ SAR})}{1 + (-0,0126 + 0,01475 \text{ SAR})} \text{ valamint a Gapon}$$

egyenletből (átlagos szelektivitási koefficiens értékét figyelembevéve) próbáltuk számítani. Amint ez azonban várható is volt, a fenti számítások gipsszel telített oldat körülményei között és kis SAR értékek tartományában nem alkalmazhatók.

Miután az ESP értékre vonatkozó megállapítás a gipszes talajok esetében legtöbb szerző álláspontjától eltér, a 4. táblázaton a nátrium különböző előfordulási formáit is megadjuk.

A 4. táblázat mutatja, hogy az iraki szikes talajban az összes nátrium mennyisége, melyet a teljes kémiai analízisek adataiból számítottunk, kb. hasonló a más talajképződményekben előforduló nátrium mennyiségekhez, ugyanez mondható el a 10%-os sósavban oldható nátrium mennyiségére vonatkozóan is. Ami a vizes kivonatot illeti, megállapítható, hogy az itt előforduló

nátrium ionok mennyisége ugyancsak csekély, és jóval alatta marad azoknak az értékeknek, amelyeket a szikes talajokban mérünk. Érdekes, hogy a kicserélhető nátrium ionok mennyisége ám-bár ugyancsak nem jelentős, mégis, ha a kationkicserélődési kapacitás %-ában adjuk meg, 10-en felüli értéket mutat.

A 4. táblázatban feltüntettük azt a kicserélhető nátrium értéket is, amelyet ammóniumacetátos módszer alapján határoztunk meg. Mint a táblázat mutatja, több mint kétszeresen felülmúlja ez a mennyiség az izotópos módszerrel mért értékeket, ami azt

4. táblázat  
A nátrium előfordulási formái az iraki gipszes talajban (mgé/100 g)

(1) Kezelés	Na <sup>+</sup>
A) Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> —K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> -mal végzett feltárás után mért	25,07
B) 10%-os HCl-dal kioldott	7,84
C) Kicserélhető	
a) ammóniumacetátos módszerrel	2,93
b) Na-22 izotóphígításos módszerrel	1,31
D) 1 : 5 arányú vizes kivonatan mért	1,09

bizonyítja, hogy hasonló esetekben az izotópos módszer alkalmazása indokoltabb.

Mint a 3. táblázat mutatja, a kicserélhető kalcium és kicserélhető nátrium ionok mellett a kicserélhető magnézium és kálium ionok mennyisége elhanyagolható. Ez a megállapítás összhangban van legtöbb olyan szerző adataival, akik gipszes talajokat vizsgáltak, de meg kell jegyezni, hogy vannak esetek, amikor a gipszes talajokban nagyobb mennyiségű magnézium sőt kálium ion is előfordulhat.

Az 5. táblázatban feltüntettük a talajminta 1 : 5 arányú vizes kivonata elemzésének adatait.

Az 5. táblázaton jól látszik, hogy összhangban a korábban leírtakkal és egyéb mért adatokkal, az uralkodó ionok a kalcium és a szulfát. Mind a telítési kivonat, mind az 1 : 5 arányú vizes kivonat CaSO<sub>4</sub>-ra telített.

Az oldatok ionerőssége ismeretében a Debye – Hückel egyenlet segítségével számítottuk a Ca<sup>2+</sup> és SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ionok aktivitását, majd a termodinamikai oldhatósági szorzatot. Ennek értékei a következők:

1. Telítési kivonattól:  $8,44 \times 10^{-5}$

2. 1 : 5 arányú vizes kivonattól:  $4,22 \times 10^{-5}$

Az irodalomban közölt értékkel ( $6,62 \times 10^{-5}$ ) jól egyeznek. Meg kell jegyezni, hogy tekintélyes, majdnem 2%-os száraz maradékot mértünk a vizes kivonatan. A kalcium és szulfát ionok mellett aránylag kevés klorid és nátrium mérhető, míg a kicserélhető kationokkal kapcsolatban elmondottakhoz hason-

5. táblázat

Porított gipszes talajminta 1 : 5 arányú vizes kivonatának összetétele

pH	(1) Elek- tromos vezető- képes- ség mmhos	(2) Szár- az mara- dék	(3) Izzítási mara- dék	(4) Lúgosság		Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
	%		CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Összes	%/mgeé						
7,1	4,29	1,937	1,341	—	0,010	0,138	0,634	0,385	0,008	0,025	0,006
					0,159	3,900	13,214	19,210	0,660	1,090	0,147

lóan a magnézium és kálium ionok mennyisége elhanyagolható. Ugyancsak figyelemre méltó, hogy hidrokarbonát típusú sófelhalmozódást a mintában egyáltalán nem találtunk.

A 6. táblázatban mind a porított, mind az összecementálódott talajminták sósavas kivonatának összetételét megadjuk.

Mint a 6. táblázat mutatja, a közvetlen gravimetriás módszerrel meghatározott gipsztartalom a porított mintában 27%-nál, míg a konkrécióban 43%-nál is többnek adódott. Utóbbi megállapítás összhangban van azzal, amelyet az 1. táblázat adataival kapcsolatban állapítottunk meg, nevezetesen, hogy ez a minta főként gipszet tartalmaz. A sósavas kivonat adatai ugyancsak

6. táblázat

A vizsgált talajminták sósavas kivonatának összetétele  
oldás: 10%-os HCl-dal, 1 : 20 arányban, hidegen

(1) Talaj- minta	(2) Sósavas oldás vesztése %	Cu <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	(3) Gipsztartalom közvetlenül gravimetriás módszerrel meghatározva CaSO <sub>4</sub> · 2 H <sub>2</sub> O %
		%/mgeé					
a) Porított minta	44,00	13,173	0,542	0,180	0,054	12,381	27,76
		657,36	44,62	7,836	1,361	257,93	
b) Konkréció		10,898	—	0,109	0,014	24,10	43,20
		543,82		4,782	0,358	502,08	

arról tanúskodnak, hogy mind a két vizsgált mintában a kalcium és szulfát ionok dominálnak, amelyek mellett a porszerű mintában jelentéktelen mennyiségű magnézium szerepelt, míg a konkrécióban egyáltalán nem sikerült magnézium ionok nyomára jutnunk. A nátrium és kálium ionok vonatkozásában jelentős különbségeket találtunk mind a porszerű mintában, mind a konkrécióban az előbbi javára, amely a porszerű mintában hatszorosan, míg a konkrécióban több mint tízszeresen túlta felül a kálium mennyiségét. Mindezekkel együtt sem a nátrium, sem a kálium mennyisége a gipszhez képest nem jelentékeny a mintákban. Ezzel kapcsolatban meg kell még azt is említeni, hogy miután mind a kálium, mind a nátrium sói vízben jól oldhatók, a sósavas kivonatban mért értékek részben a vízben oldható kálium és nátrium vegyületek terhére írhatók. A minta gipsztartalmát, részint sósavas kivonat Ca<sup>2+</sup> és SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> tartalma alapján közelítően, számítással, részint közvetlenül, sósavas kivonattól acetonos lecsapással gravimetriás módszerrel határoztuk meg. A kapott adatok a következők:

## A vizsgált talajminta

(1) Minta	(2) Légszáraz talaj nedvesség	(3) Izítási veszteség	SiO <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
A) Eredeti porított minta	6,58	15,52	34,77	9,40	6,54
B) Sósavas oldás után					
a) Oldás utáni talaj %-ban	2,35	7,90	62,25	18,68	13,37
b) Eredeti talaj %-ban			34,85	10,45	7,48
C) Sósavas veszteség		44,0			

— Az 1 : 20 arányú 10%-os sósavas kivonat Ca<sup>2+</sup> tartalmából számítva (levonva a CaCO<sub>3</sub> tartalomnak megfelelő Ca<sup>2+</sup> mennyiséget): CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O = 33,21%

— A kivonat SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> tartalmából számítva (levonva a vízoldható Na és Mg sók SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> tartalmát):

$$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 22,12\%$$

— A fenti kivonatból közvetlenül, acetonos lecsapással:

$$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 27,76\%$$

— Híg (0,02 n), 1 : 500 arányú sósavas kivonat Ca<sup>2+</sup> tartalma alapján számítva: CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O = 27,17%

A töményebb sósavas kivonatból a fentiek alapján valamivel több Ca<sup>2+</sup> oldódik ki, mint amennyi a más módon mért, illetve számított CaSO<sub>4</sub>, és a CaCO<sub>3</sub> Ca<sup>2+</sup> tartalmának megfelel. A talajrögéből vett mintából 10%-os HCl hatására gyakorlatilag csak CaSO<sub>4</sub> oldódott ki.

A 10%-os sósavas oldat Ca<sup>2+</sup> tartalmából számítva:

$$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 46,86\%$$

ugyanezen kivonat SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> tartalmából számítva:

$$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 43,18\%$$

közvetlenül acetonos lecsapás után

$$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 43,20\%$$

A talajrög CaSO<sub>4</sub> tartalmának eloszlása heterogén: 40–70% között mozog.

A porított talajminta elemi összetételét a 7. táblázat adatai szemléltetik.

Az eredeti talaj elemi összetételét tekintve, feltűnően nagy a CaO és SO<sub>3</sub> mennyisége. Mindkettő meghaladja a másfélszeres oxidok mennyiségét, a CaO pedig a SiO<sub>2</sub> kétharmadát teszi ki. Ez megfelel a fentebb említett adatok alapján annak, hogy a mintának közel 40%-a gipsz és CaCO<sub>3</sub>. A SiO<sub>2</sub> és a másfélszeres oxidok aránya 3-t meghaladja. Az 1 : 20 arányban 10% HCl-el kezelt talaj %-ában megadott elemi összetétel szerint, a Ca és szulfáttartalom gyakorlatilag kioldódott.

Ezeket az adatokat megvizsgálva megállapíthatjuk, hogy mind a szilícium, mind a másfélszeres oxidok mennyisége már nem különbözik annyira a



táblázat

elemi összetétele %-ban

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	MnO
2,86	4,21	20,75	0,95	0,78	0,12	11,49	0,06
5,31	5,72	0,79	1,75	1,07	0,11	0,37	0,05
2,97	3,20	0,44	0,98	0,60	0,06	0,21	0,03

szokásos talajvizsgáló adatoktól, mint a gipszes talaj eredeti teljes kémiai analízise esetén. Figyelemre méltó a magnézium jelentős mennyisége, amelynek valószínűleg az a magyarázata, hogy a talaj agyagásványaiiban jelentős mennyiségű magnézium van. A többi elem mennyiségi eloszlásával kapcsolatban jelentősebb anomália nem tapasztalható.

8. táblázat

 Minta előkészítés módjai röntgendiffrakciós vizsgálatokhoz  
 (< 1 μm-es frakció)

(1) Kezelési módok	(2) Mintaszám	(1) Kezelési módok	(2) Mintaszám
<i>K telített</i>		<i>Kezeletlen 90 °C</i>	
H <sub>2</sub> O orientált	1003/1077	2× mosott orientált	843/733
H <sub>2</sub> O glicerines	1004/1079	2× mosott glicerines	844/734
HCl orientált	997/1080	UH orientált	845/714
HCl orientált	996/1080	UH glicerines	846/716
HCl glicerines	1012/1082	por	827/713
<i>Mg koagulált</i>			
H <sub>2</sub> O orientált	992/1071	por	828/713
H <sub>2</sub> O orientált	993/1071	por	829/713
H <sub>2</sub> O glicerines	994/1073	2× mosott por	847/737
HCl orientált	991/1074		
HCl glicerines	995/1076 I	<i>K telített</i>	
HCl glicerines	995/1076 II	HCl 500 °C	1018/1081 I
		HCl 500 °C	1019/1081 II
		HCl 500 °C	1020/1081 III
<i>Natur</i>			
H <sub>2</sub> O orientált	1000/1065		
H <sub>2</sub> O glicerines	1001/1067		
H <sub>2</sub> O glicerines	1002/1067		
HCl orientált	998/1068		
HCl orientált	999/1070		

## Ásványtani vizsgálatok

## 1. Röntgendiffrakciós vizsgálatok

A 8. táblázaton a röntgendiffrakciós vizsgálatokhoz alkalmazott minta-előkészítési módokat, a 9. táblázaton pedig a porított talajminta röntgendiffrakcióval meghatározott ásványi összetételét tüntettük fel (GORBUNOV [3])

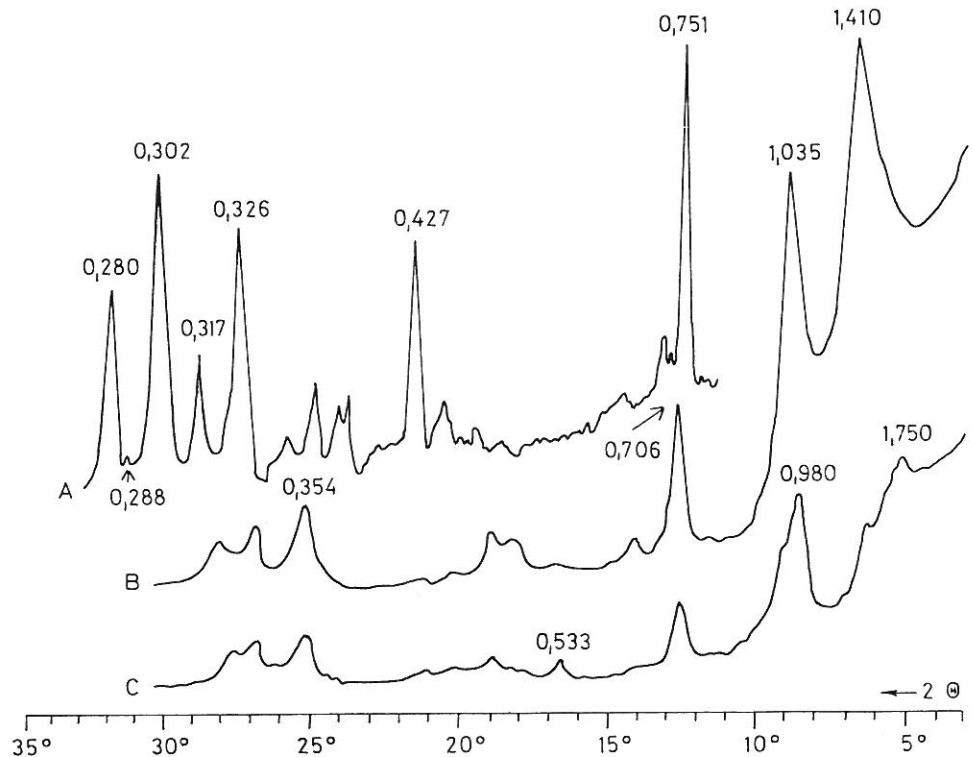
## 9. táblázat

A talajminta ásványi összetétele a röntgen-difrakciós vizsgálatok alapján %-ban

(1) Eredeti talaj		(2) 1 mikrométer alatti frakció	
a) Gipsz	25–35	g) Attapulgit	25–35
b) Kalcit	15–25	e) Klorit (rendezett vagy rendezetlen)	20–30
c) Szulfát só	5–15	i) Illit + montmorillonit	15–25
d) Kvarc	5–15	j) Illit	5–15
e) Klorit	5–15	f) Földpát	5–15
f) Földpát	5–15	d) Kvarc	< 5
g) Attapulgit	< 5		
h) Dolomit	< 5		

módszere szerint a [001] reflexiók alapján becsült adatok). A jellemző röntgen-difrakciós vizsgálatok eredményét az 1. ábra mutatja be.

A porított mintából készült porfelvételen elsősorban gipsz dominál, kalcittal és egy, a 0,28 nm-nél jelentkező valamilyen jól oldódó szulfátsóval együtt. Jellemzi még a talajt a klorit, a földpát, az attapulgit és a nyomokban fellelhető dolomit. A kvarc mennyisége körülbelül a kloritéval egyenlő (9. táblázat).



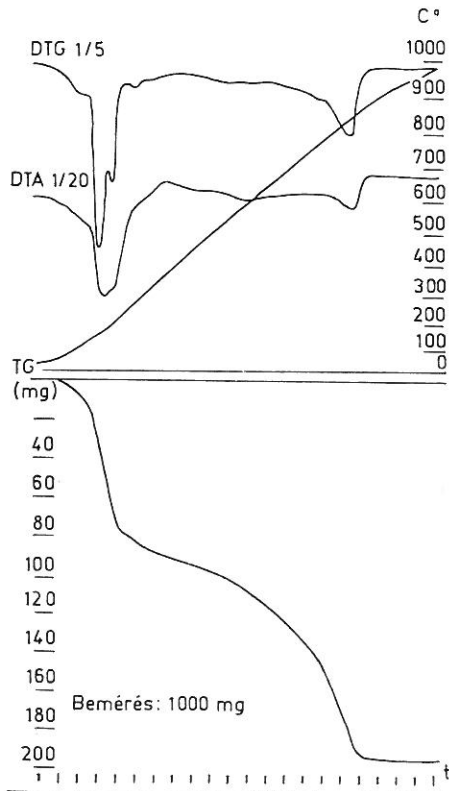
1. ábra

Röntgen diffraktogramok. A: porfelvétel; B: orientált felvétel; C: orientált, glicerinnel kezelt felvétel. A bejelölt értékeket nm-ben adtuk meg

90°C-on kétszer deszt. vízzel történő kimosásos kezelés után az oldékony szulfátot jelentő 0,28 nm-es vonal teljesen eltűnt, a gipsz vonala gyengült, a kloritra, kvarcra és kalcitra jellemző vonalak megerősödtek.

Az 1 mikron alatti frakció vizsgálatának eredményei a következők:

Az attapulgit egyértelműen kimutatható [5]. Ami a három piroxénláncú változatát illeti, a 0,33 nm-es 100-as erősségű vonal teljes hiánya miatt jelen-



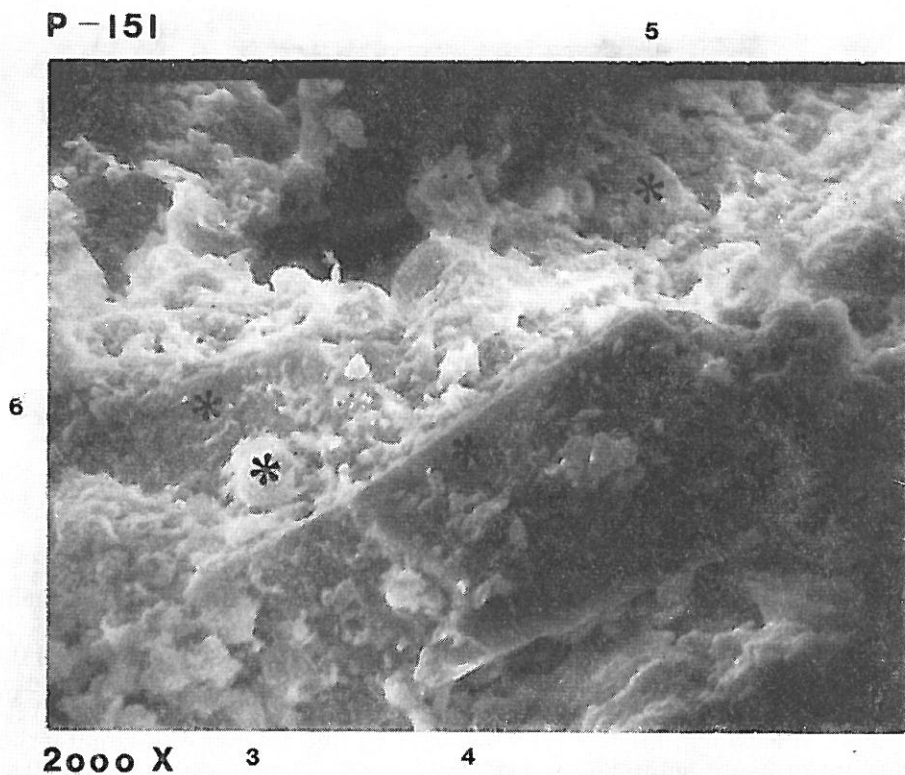
2. ábra  
A porított gipszes talajminta derivatogramja

létét kizártuk. Így a 0,12 nm körül jelentkező reflexiót valamilyen illit-szmektit közberetegződésnek tekintettük. Meghatároztuk továbbá a kloritok rendezetlen és rendezett formáját. Az irodalmi adatok [7, 12] alapján a 1,75; 0,98 és 0,53 nm-nél jelentkező reflexiókat 35% montmorillonitot tartalmazó táguló rácslú illit-montmorillonit kevert rácsszerkezetnek határoztuk meg, mely széteső tendenciájú. A leírtakon kívül még kis mennyiségű illit, földpát és a kimutathatóság határán kvarc határozható meg (9. táblázat). A mintákat 10%-os HCl-el kezeltük. Ez a sósavkoncentráció, mint ahogy az a röntgendiffraktogrammon is egyértelműen jól látható, még nem okozott destrukciót, sőt a csúcsok kifejezettebbek lettek.

## 2. Termikus vizsgálatok

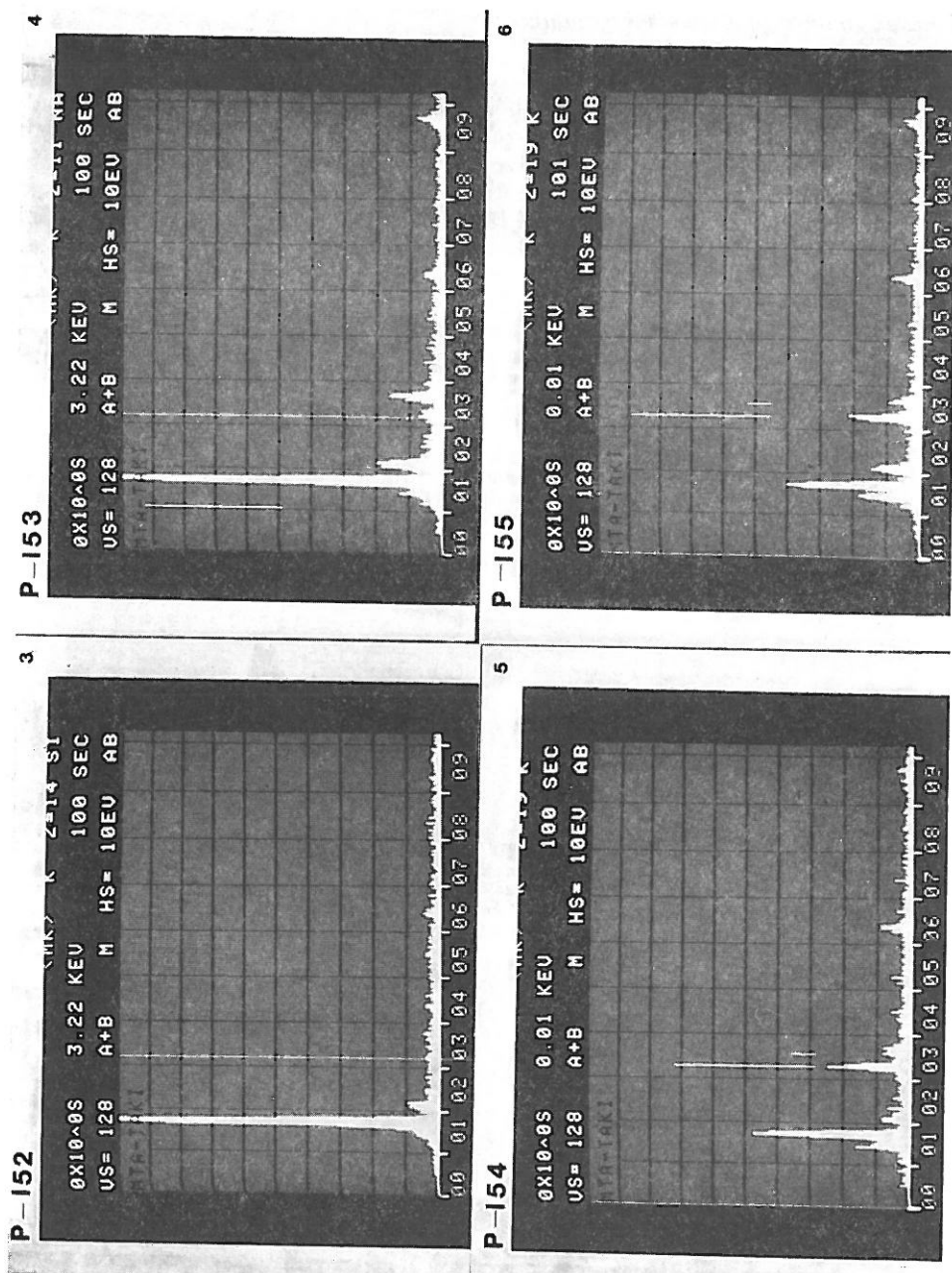
A termikus vizsgálat eredményeit a 2. ábra tünteti fel. A felvétel alapján a következő ásványok jelenlétére lehet következtetni:

A mintában jelentős mennyiségű  $\text{CaCO}_3$  van (825 °C-os endoterma). A dolomit  $\text{MgCO}_3$ -jának elbomlását tükröző csúcs jól kifejezetten nem jelentkezik, azonban abban a tartományban (600 °C-tól kezdődően) folyamatos súlyvesztés figyelhető meg. A 160 °C és 190 °C-nál jelentkező endoterm és a 370 °C-nál jelentkező exoterm csúcs jelentős mennyiségű gipszre utal, azonban a többi ásvány zavaró hatása miatt mennyisége nem számolható. A mintában agyagásványok jelenlétére utalnak az alacsony hőmérsékleten jelentkező higroszkópos vízvesztéséből eredő és a 600 °C-on a kristályvíz eltávozásából eredő endoterm csúcsok. Az agyagásvány milyensége, és így az attapulgit előfordulása, elsősorban a gipsz és a kalciumkarbonát zavaró hatása és aránylag kis mennyisége miatt nem határozható meg egyértelműen. A gipsz jelenlétét azonban, mint az előzőekben bemutattuk, röntgendiffrakciós analízissel meghatároztuk, és ugyancsak ezt igazolják a következő elektronmikroszkópos vizsgálatok.



3. ábra

Bolygatatlan mintáról készült pásztázó elektronmikroszkópos felvétel. A 3,-4,-5,-6-al jelölt pontok az elemanalízis helyei



4. ábra  
A 3. ábrán bejelölt pontok elemvizsgálata

### 3. Elektronmikroszkópos vizsgálatok

Scanning és transzmissziós elektronmikroszkópos vizsgálatokat végeztünk az iraki gipszes talajok mintáiból abból a célból, hogy leírjuk a benne található ásványi anyagokat, elsősorban a gipszet, valamint azokat az egyéb ásványokat, amelyek a gipsszel együtt a talaj szövetében előfordulnak. Ezeket a vizsgálatokat mutatják a következő ábrák:

A P-151-es számú felvételen (3. ábra) — mely bolygatatlan mintáról készült — három lépcső tűnik szembe. Ezeket sorrendben és mélységben a 4-es, 6-os és az 5-ös pontok jelölik. A lépcsőközöket különböző szabálytalan lemezes és habos szerkezetű anyag tölti ki, melyből szembetűnik a 3-as számú globuláris képlet. E képletek egységes vagy esetleg összecementálódott voltának az eldöntésére elvégeztük lépcsőnként az elemvizsgálatot. Ezeknek az elemzéseknek az eredményeit tünteti fel a 4. ábra.

Az ábrákból látható, hogy az 5-ös és 6-os pontok ha nem is kontinuumok de nagyon hasonló elemi felépítésűek, valószínűleg káliciföldpátok. A 4-es ponttal jelölt lépcső feltehetően kristályos kvarcot, míg a 3-as ponttal jelölt globuláris képlet amorf  $\text{SiO}_2$ -t reprezentál. Egyetlen képlet kivételével (globuláris  $\text{SiO}_2$ )

**P - 160**



**5000 X**

5. ábra

A 3. ábrán 3-as ponttal jelölt objektum kinagyított képe

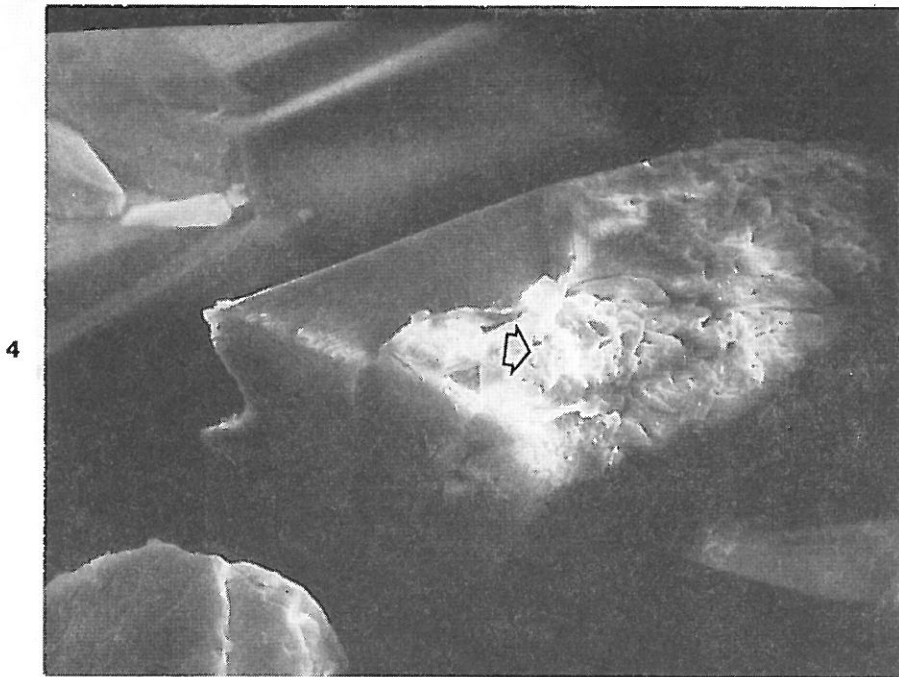
a többen jól definiált bevonatok vehetők észre, amelyek egyes vas, kalcium vagy nátrium vegyületek felrakódásainak tekinthetők. A P-160-as felvételen, amelyet az 5. ábra mutat be, ezek a felrakódások még szembetűnőbbek, s valószínű, hogy ilyen formában jelennek meg a korábban már említett kalciumkarbonát bevonatok az egyes talajrészecskéken is.

A globuláris képletről azonban világosan látható, hogy ez csak külső formában gömb alakú, valójában egy központ körül összecementálódott lemezes-kék halmaza. Ugyancsak szembetűnnek a környezetében lévő szabálytalan, felrakódott lemezes képletek. Nagyon hasonló formációkat írt le ESWARAN és STROOPS [2].

A fenti ábrák és elemzésük jól mutatja, hogy sikerült a vizsgált talaj szövetében azokat a vázrészeket kimutatni, amelyek a talaj anyagának kb. felét kitevő nem kalciumszulfát és kalciumkarbonát vegyületekből állnak. A továbbiakban a figyelmünket a talaj anyagának kalcium vegyületeire fordítottuk.

A P-142-es felvétel szuszpendált talajból származó képletet mutat. Nagyon jól látható a gipsz fecskefark alakú ikerkristálya, melynek felületére

P-142



1000 X

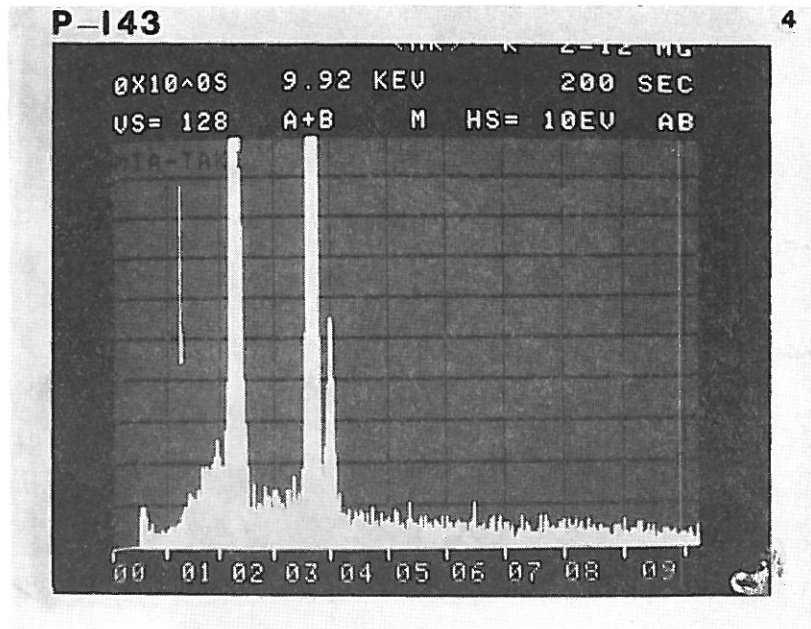
6. ábra  
Szuszpendált minta pásztázó elektronmikroszkópos képe. A nyíl az elemanalízis helyét mutatja

habos, lemezkés anyag rakódott. A pontanalízis világosan kimutatja a Ca-szulfátot, melyből kitűnik, hogy a rárakódott rész vastagsága jóval kevesebb mint 1 mikrométer. A leírt elemeken kívül még Na, Mg, Al, Si, P, Ti és Fe detektálható. Ez az elemheterogenitás oly nagy variációs lehetőséget ad, hogy a kristályos összetevőkre visszakövetkeztetni nem lehet. Különböző gipszformációkat látunk a P-120 és P-121-es számú felvételeken. Ezek a felvételek, ill. elemzéseik láthatók a 6., 7. és 8. ábrákon.

A P-98-as felvételen viszonylag igen nagy formaheterogenitás található. Egy várhatóan jól reflektáló felületről elvégeztük a pontanalízist, melyet a 9/a. ábra mutat. Az elemi összetevők majdnem teljesen tiszta gipszre utalnak, 9/b. ábra. Most már az egész látóterre vonatkoztatva — a kén és a kalcium adatainak birtokában — elkészítettük az elemeloszlás térképét, melyet a 9/c. és 9/d. ábrán tüntettünk fel (P-100 és 101-es felvétel). A két elem homogén eloszlású, jól követi a kontúrokat. Ez megerősíti azt a feltételezést, hogy a formavariációk ellenére a P-98-as képen látható anyagrészek gipszből állanak.

A 10/a. ábra mutatja, hogy formaheterogenitással találkozunk a P-123-as felvételen is. A 10/b ábrán az 1. és 2. pontokról készített pontanalízis azonban egyértelműen mutatja, hogy anyagunk mindkét esetben Ca-szulfát.

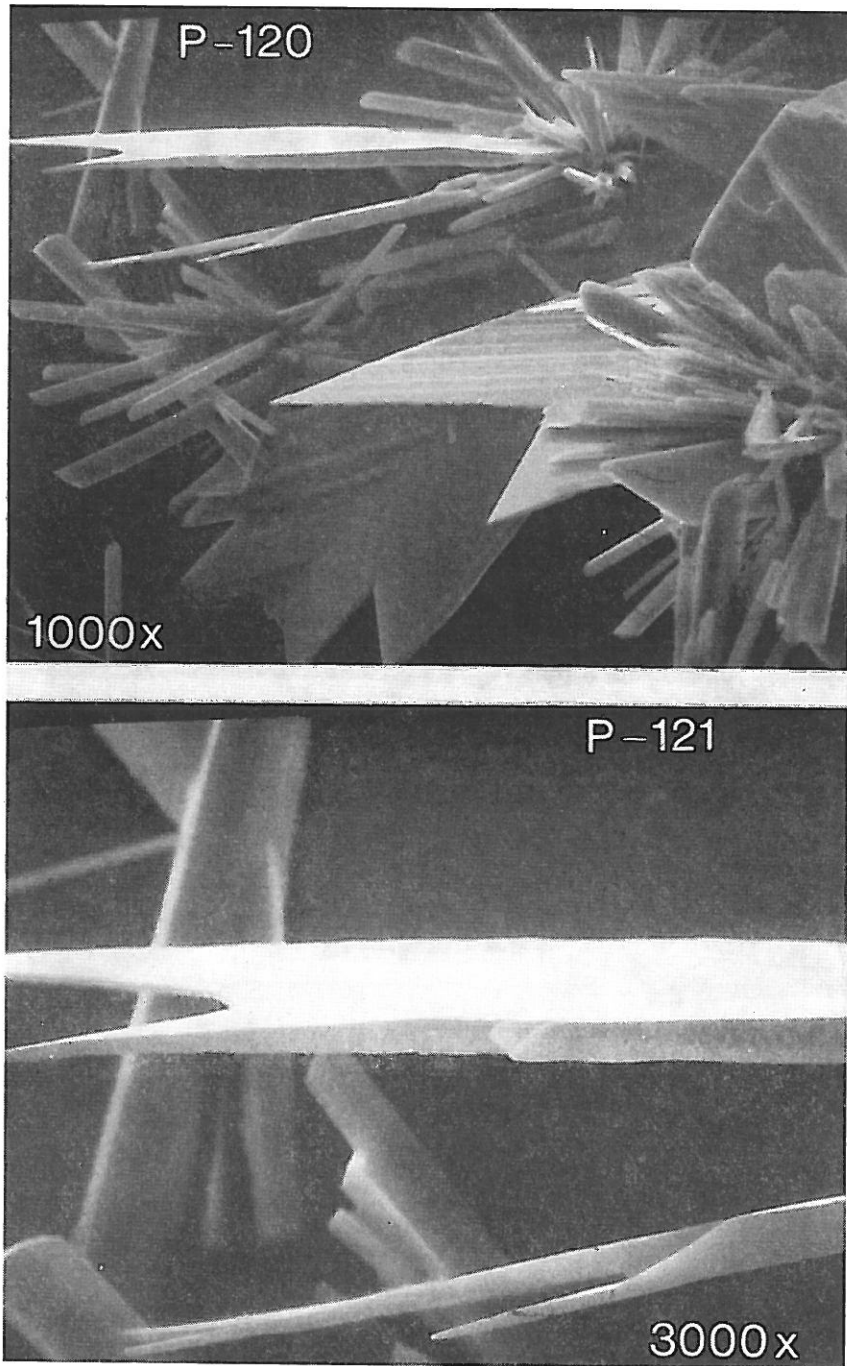
Vizsgálatainknak egyik célja volt az attapulgit előfordulás igazolása vagy kizárása is. A röntgenvizsgálat eredményeit először transzmissziós mikroszkópos vizsgálattal kívántuk igazolni irodalmi adatok alapján [5].



7. ábra

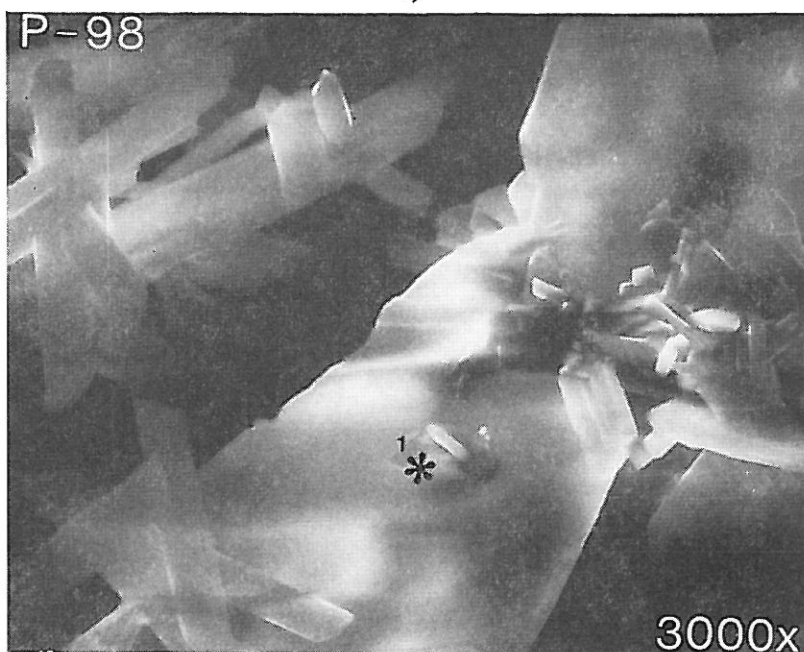
A 6. ábrán bejelölt hely elemanalízise



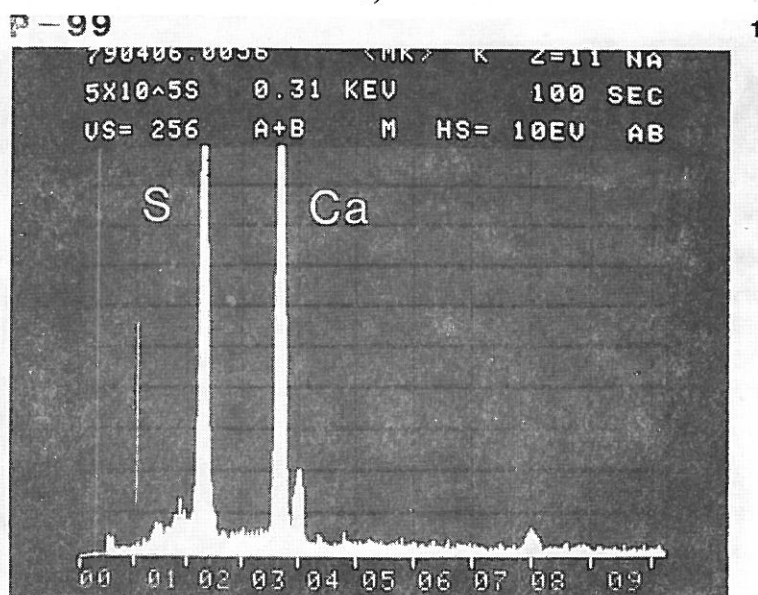


8. ábra  
Pásztázó elektronmikroszkópos felvétel a gipsz jellemző fecskefark alakú kristályairól

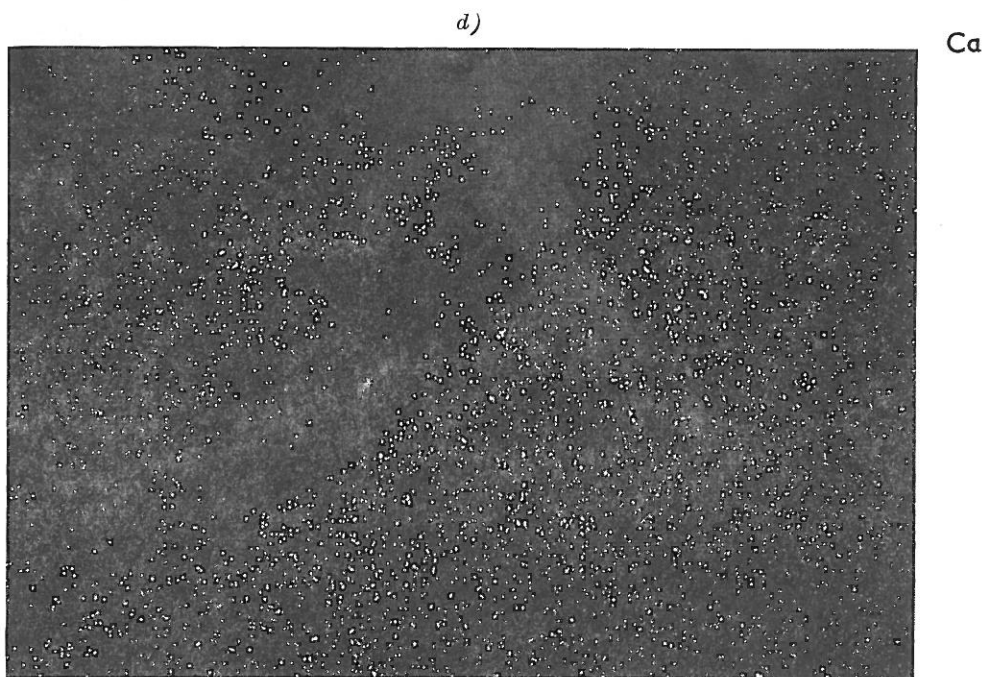
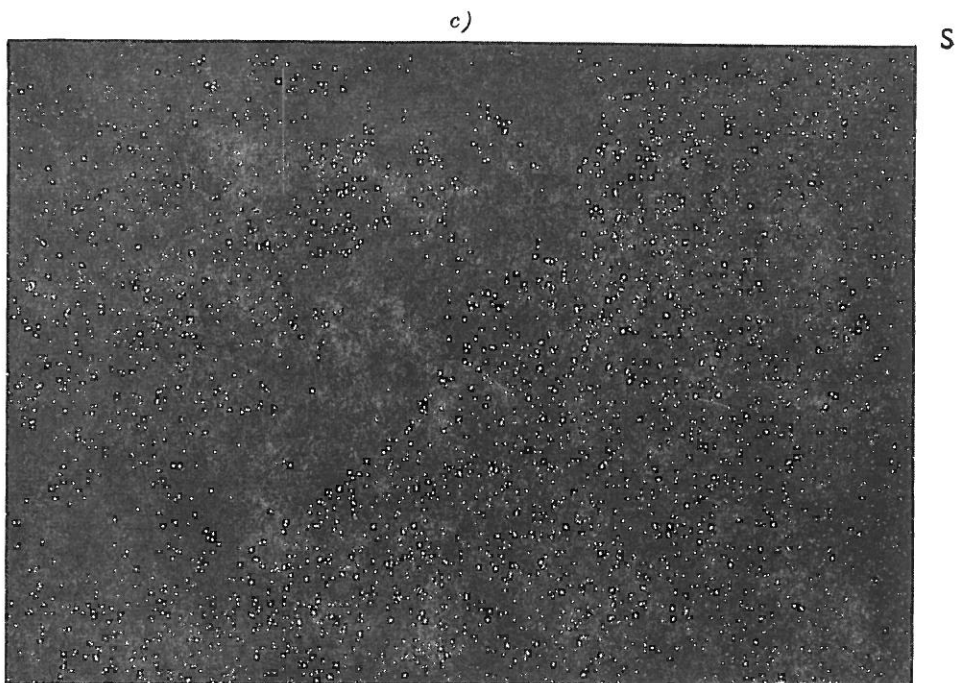
a)



b)



Formaheterogenitást mutató pásztázó elektronmikroszkópos felvétel (a); az 1 pont elem-  
 valamennyi képlet: 9.



*ábra*  
 analízise gipszre utal (b); a S és Ca egyenletes és azonos elemeloszlása bizonyítja, hogy  
 gipsz (c, d)

A 11. ábrán bemutatott 7110-es felvételen attapulgit és gipsz túkristályainak halmazát láthatjuk, melyek közül jól elkülöníthetők a kioldási nyomokat viselő csipkézett szélű gipsz kristályok, környezetükben kioldódott anyagrészekkel és az attapulgit éles rajzú, oldódási nyomokat nem viselő kristályai. E kis nagyítású átnézeti kép után, most már olyan túszerű, köteges képleteket kerestünk, melyeken oldódás nem látható. A 12. ábrán bemutatott 7326-os transzmissziós elektronmikroszkópos felvétel ilyeneket reprezentál. Ezt a szálaskerületet kerestük az attapulgit etalonról készült pásztázó elektronmikroszkópos felvételeken is. A P-173-as képen 13/a. ábra megtaláltuk a transzmissziós felvételekről már ismert tús-nyalábos formációkat. A 13/b. ábrán látható P-174 elemvizelés a magnézium tartalom feltevéseinket igazolja.

Most már az ismert képletek nyomán a bolygatatlan talajban is kerestük ezeket a túszerű képleteket, melyeket a 14/a. ábrán P-147-es felvételen egy részbe belógva meg is találtunk. Az azonosítás a 14/b. ábrán bemutatott P-148-as felvételen megerősíthető volt. A felszín rendkívül erős heterogenitása miatt, a vezetőréteg nem volt folytonos, a felvétel és az ezt követő elemvizelési torzulásai ebből adódnak.

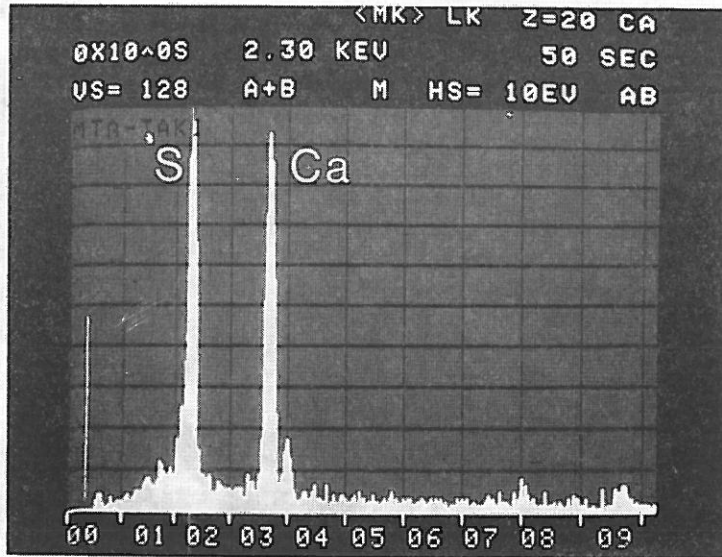


10. Szuszpendált minta pásztázó elektronmikroszkópos képe (a); az 1-, és 2-es pontról

b)

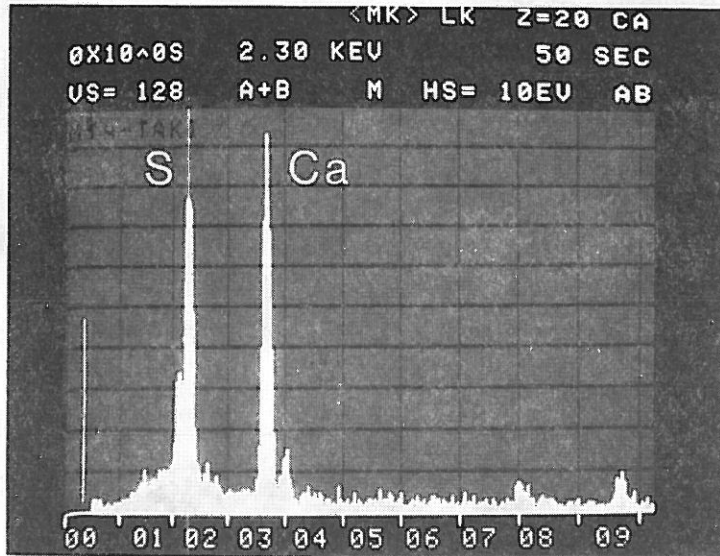
P-124

1



P-125

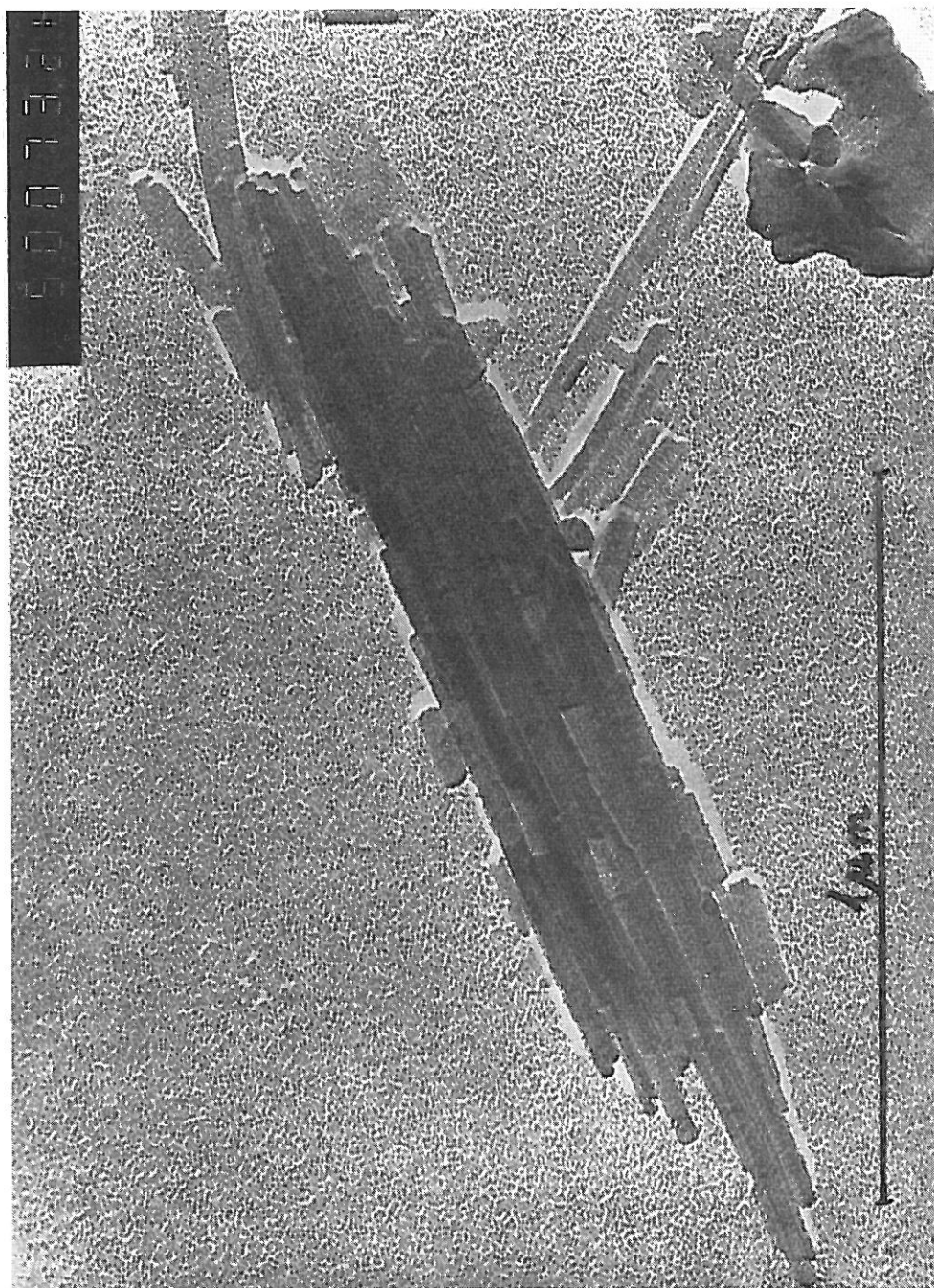
2



ábra  
 készült elemanalízis, a formavariáció ellenére gipszet mutat (b)



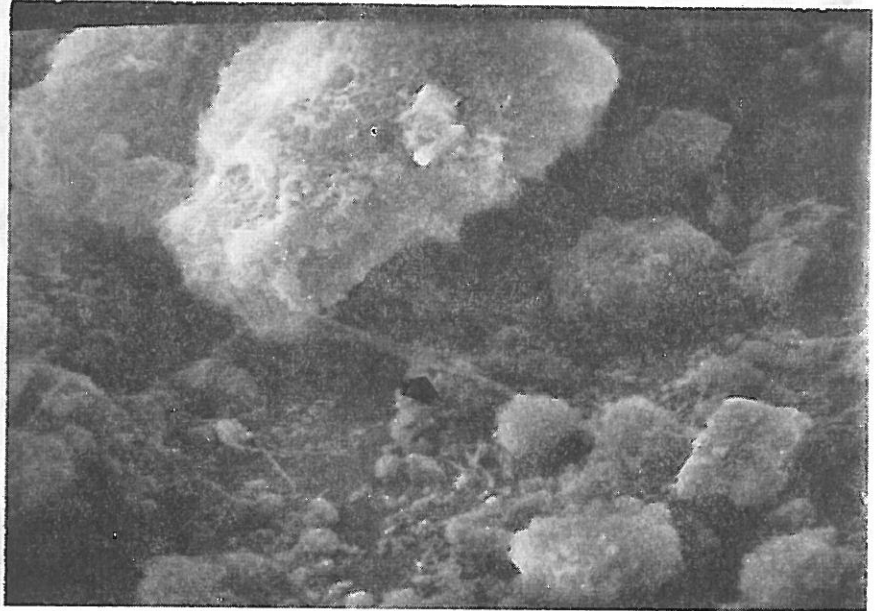
11. ábra  
Gipsz és attapulgit transzmissziós elektronmikroszkópos képe



12. ábra  
Attapulgit transzmissziós elektronmikroszkópos képe

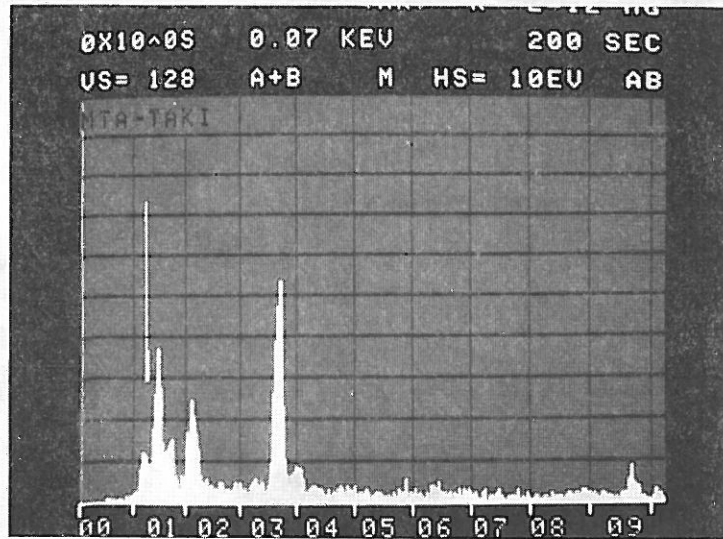
a)

P-173



b)

P-174



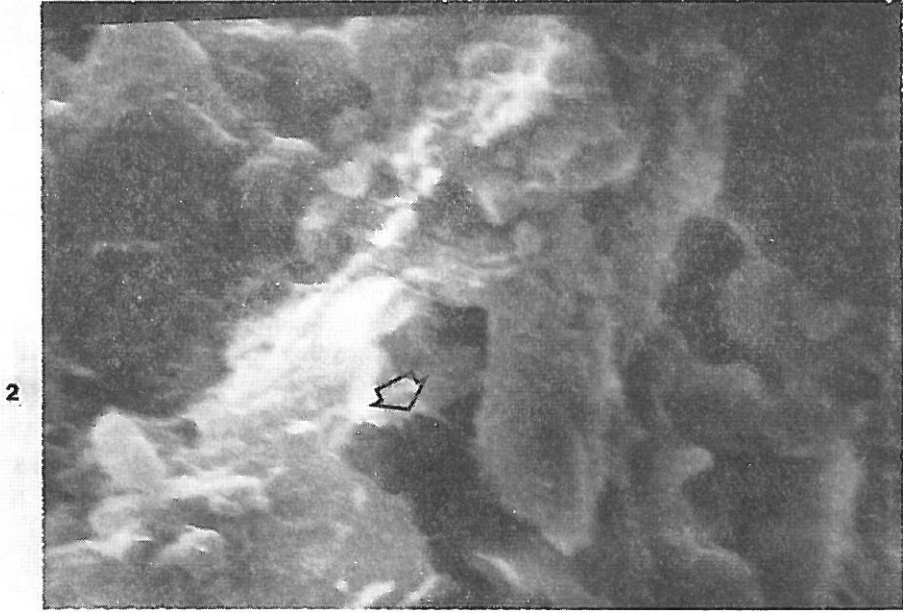
13. ábra

Attapulgit pásztázó elektronmikroszkópos képe (300×) (a); és az 1-es pontról készített elemanalízis (b)



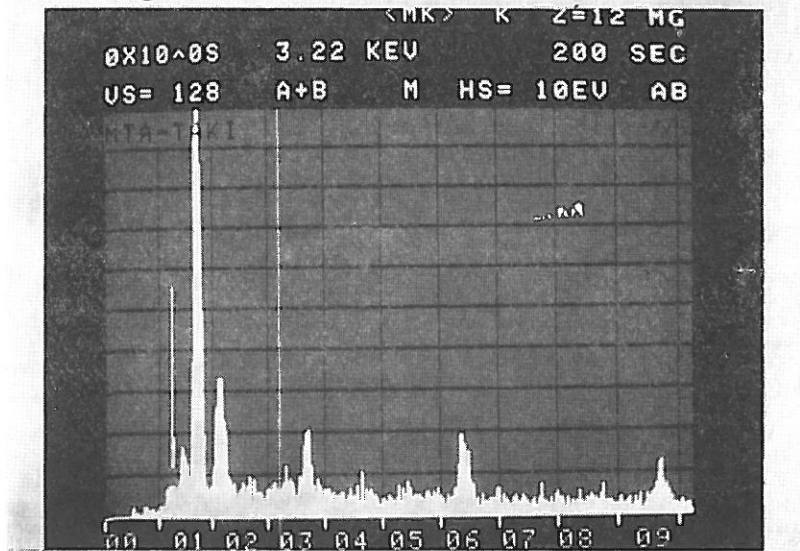
a)

P-147



b)

P-148



14. ábra

Résbe belógó attapulgit „tüskék” bolygatatlan talajmintából (5000 $\times$ ) (a); és a 2-es pontról készített elemanalízis (b)

### Összefoglalás

A gipsz felhalmozódása mint sófelhalmozódási folyamat és a felszíni vagy felszínhez közeli gipszfelhalmozódást mutató, elsősorban arid területeken előforduló gipszes (gypsiferous) talajok a többi sófelhalmozódási típushoz és szikes talajokhoz képest kevésbé tanulmányozottak.

E talajok kialakulási folyamatainak ismerete, javíthatóságuk és használhatóságuk szempontjából elsőrendű fontosságú a gipszfelhalmozódás törvényszerűségeinek, a gipsz előfordulás morfológiai bélyegeinek ismerete.

Irakból származó gipszes talaj gipszfelhalmozódási szintjének kémiai és mineralógiai elemzését végeztük el, a gipsz megjelenés eloszlása, formái és a gipsszel együtt megjelenő egyéb vegyületek vizsgálata céljából.

Az elvégzett elemzések a következők voltak: pH(H<sub>2</sub>O) összes karbonát, telítési %, összes só meghatározás; 1 : 5 arányú vizes és 1 : 20 arányú 10%-os sósavas kivonat elemzése; kicserélhető kationok összetétele és a kationkicserélő kapacitás meghatározása; mechanikai elemzés; teljes kémiai elemzés; röntgen-diffrakciós és derivatográfiai vizsgálatok, pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálat röntgen mikroanalízissel.

Az elemzések alapján megállapítható:

1. A talajminta fontos jellemzője a nagy CaSO<sub>4</sub> tartalom (~ 28%). A CaSO<sub>4</sub> CaCO<sub>3</sub>-al együtt jelenik meg, azonban az utóbbi mennyisége jóval kisebb, mint a CaSO<sub>4</sub>-é.

2. A talajban előforduló különböző nagyságú konkrécióknak közel 50%-a gipsz.

3. A talaj gipsztartalmának csak kis része oldódik vízben (1,65%). Az 1 : 5 arányú vizes kivonat is gipszre telített. A teljes kémiai elemzés és a sósavas kivonat elemzés adatai alapján a gipsz híg sósavval történő kezelés után gyakorlatilag teljesen kioldódik a talajból.

4. Többirányú mineralógiai vizsgálati módszerrel a gipszes talajminta kristályos összetevőinek minőségi és félmennyiségi összetételét határoztuk meg, attapulgitot mutattunk ki, valamint azonosítottuk a gipsz morfológiailag különböző formáit.

### Irodalom

- [1] BARZANJI, A. F.: Gypsiferous soils of Iraq. Doctor thesis. State Univ. of Ghent. Belgium. 1973.
- [2] ESWARAN, H. & STOOPS, G.: Surface textures of quartz in tropical soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. **43**. 420–424. 1979.
- [3] GORBUNOV, N. I. Szosztojanie i zadaci rentgen — difraktometričeskovo metoda kolicsesztnennovo opredelenija mineralov v pocsvah. Pocsvovedenie (4) 81–92. 1971.
- [4] International source-book on irrigation and drainage of arid lands in relation to salinity and alkalinity (Ed.: KOVDA, V. A., VAN DEN BERG, C. & HAGAN, R. M.) FAO—UNESCO, Paris. 1967.
- [5] KOCH S. & SZTRÓKAY K. I.: Ásványtan II. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1967.
- [6] KOVDA, V. A.: Proiszhoszenie i rezsim zasolennih pocsv. I. II. Izd. Akad. Nauk Sz. Sz. Sz. R. Moszkva, 1947.
- [7] REYNOLDS, R. C. & HOWER, I.: The nature of interlayering in mixed-layer illite-montmorillonite. Clays et Clay Min. **18**. 25–36. 1970.
- [8] SZABOLCS I.: Hortobágy talajai. Mezőgazd. Kiadó. Budapest. 1954.

- [9] SZABOLCS I.: A vízrendezések és öntözések hatása a tiszántúli talajképződési folyamatokra. Akadémiai Kiadó, Budapest. 1961.
- [10] SZABOLCS, I.: Saline and alkali soils — Commonalities and differences. Int. Symp. on Salt Affected Soils. 18—21 February. Karnal. Symposium Papers 1—6. 1980.
- [11] SZABOLCS, I. & DARAB, K.: The effect of Sulphates on the formation and properties of salt affected soils. Proc. Symp. on Land Reclamation in Iraq. Baghdad. 1979. (Megjelenés alatt)
- [12] THOREZ, J.: Phyllosilicates and clay minerals. Lelotte. G. Dison. Belgium. 1975.

*Érkezett: 1979. december 20.*

## Properties of Accumulation of Calcium Sulphate in Gypsiferous Soils from Iraq

I. SZABOLCS, M. RÉDLY, G. PÁRTAY and G. SZENDREI

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

### Summary

As it is pointed out by several authors [3, 5, 8, 9], the regularities of salt accumulation in the salt affected soils are in close connection with the factors of the environment. So the climate, the parent material, the geomorphological conditions and other environmental circumstances determine not only the measure of salt accumulation in one or in another soil, but also the composition of accumulated salts.

Certain types of salt accumulation are discussed in the special literature in details [3]. It is to be stated however that some types of salt accumulation are better, other types are less studied. The accumulation of gypsum leading to the formation of gypsiferous soils also belongs to the latter ones. This soil formation is already involved in the international soil classifications, but in addition to this, gypsiferous soils are described more and more often in the Middle East, on the Soviet Middle Asia territories, in the Northern part of Africa and on other territories. The gypsum content of these soils is considerable already on the surface, and it determines a number of properties of the soils. While the gypsum on the steppe territories of the temperate zone can be found generally in the lower horizons of the soil profile, under arid conditions considerable amount of gypsum occur often already on the surface, as well as in the upper horizons. On the territory of Hungary under salt affected soils, steppe meadow soils and other soil formations accumulation of gypsum also takes place, but — except some special cases — this type of salt accumulation in the upper horizons is not known. As it was described by SZABOLCS and DARAB [9] in their publication, well determined conditions are needed for the appearance of sulfates during salinization in the upper soil horizons. Last but not least arid climate conditions lead to the fact, that often calciumcarbonate and calcium-sulfate can be found in the same horizon. Similar common occurrence in the salt affected soils of Hortobágy, can also be found [7], but the characteristics of some kinds of gypsiferous soils are, that the calciumsulfate and calciumcarbonate occur together already on the surface. In certain places the first one, in other places the second one dominate. For instance in Sudan, near Khartum on the alluviums of the Nile, besides significant quantities of calciumcarbonate relatively less quantity of calciumsulfate can be found, while in Iraq, in the soils studied by us, the opposite regularity is valid.

In Iraq, which after all belongs to the richest territories of the World as regards the salt affected soils, large territories of gypsiferous soils also can be found. Lately in this country in the same way as on other similar territories attention has been directed to these soils because with the development of irrigation more and more gypsiferous soils are involved into irrigated lands, and irrigation or drain channels are directed through them. The first and most apparent change was, that leaching out of the considerable gypsum content by irrigation or drain waters led to the deterioration of the soils and to the damage of the irrigation systems. This explains, that both in international projects and in national agricultural planning works in arid countries, where gypsiferous soils exist, the attention is directed in a large measure to these questions.

Several publications have been edited about the gypsiferous soils of Iraq. However the best and most complete characterization of these soils is given by BARZANJI [1], who gave a detailed description of both their genetical, environmental, physical, chemical and mineralogical conditions.

The studied soils have been sampled from the same territory, where the most of the work of Barzanji was carried out, from the zone of the gypsiferous soils situated to the North from Samara in Iraq. The aim of our studies was the thorough examination of the appearance, distribution and forms of gypsum in the upper gypsiferous horizons of the soil. These investigations may give evidence that with what kind of compounds and in which forms is gypsum present in the soil horizons, in addition to that information can be given on the conditions of soil formation. Whereas the gypsum content of these soils is very mobile, there is a great importance of the regularities of the accumulation as well as of the morphological characteristics of gypsum occurrence not only from the point of view of the genetics of soils, but also because the knowledge of these can be considered as the indispensable precondition of the reclamation and utilization of these soils.

*Table 1.* Chemical characteristics of the examined soil samples. (1) Sample: a) powdered soil sample, b) concretion in natural condition, c) concretion after clearing. (2)  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  in the saturation soil paste. (3) Saturation % (SP). (4) Salt content % on basis of the conductivity of the saturation soil paste.

*Table 2.* Mechanical composition of the powdered soil sample in %. (1) Density,  $\text{g}/\text{cm}^3$ . (2) Hygroscopicity in %. (3) Loss of treatment with hydrochloric acid in %. (4) Mechanical fraction mm. (5) Physical sand and clay in %. a) Mechanical fractions corrected with parts of loss of hydrochlorid acid.

*Table 3.* Adsorption of powdered gypsiferous soil sample. (1) Exchangeable cations meq/100 g. (2) Cation exchange capacity meq/100 g. (3) Exchangeable  $\text{Na}^+$  in % (ESP).

*Table 4.* Forms of sodium, occurring in gypsiferous soil of Iraq meq/100 g. (1) Treatment. A) Measured after digestion with  $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{--K}_2\text{CO}_3$ . B) Dissolved with HCl of 10%. C) Exchangeable. a) with method of ammoniumacetate. b) with method of Na—22 isotope dilution. D) measured in 1 : 5 water extract.

*Table 5.* 1 : 5 ratio water extract compound of powdered gypsiferous soil sample. (1) mmhos electric conductivity. (2) Dry residue. (3) Heating residue. (4) Alkalinity:  $\text{CO}_3^{2-}$ , total.

*Table 6.* Compound of hydrochloric extract of the examined soil samples. Dissolution in cold condition: with HCl of 10%, ratio 1 : 20. (1) Soil sample. a) powdered sample, b) concretion. (2) Loss of hydrochloric acid dissolution in %. (3) Content of gypsum, determined directly by gravimetrical method,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  in %.

*Table 7.* Elemental component of the examined soil sample in %. (1) Sample: A) original powdered sample; B) after dissolution in hydrochloric acid: a) in soil % after dissolution, b) in original soil %; C) Hydrochloric acid loss. (2) Air-dry soil loss. (3) Heating loss.

*Table 8.* Way of sample preparation for X-ray-diffraction examinations. (1) Ways of treatment. (2) Sample number.

*Table 9.* Mineral component of the soil sample on basis of the X-ray-diffraction examinations. Data in % on basis of the (001) reflections with Gorbunov's method. (1) Original soil. (2) Fraction under 1 micrometer. a) gypsum, b) calcite, c) sulfate salt, d) quartz, e) chlorite, f) feldspar, g) attapulgite, h) dolomite, i) illite-montmorillonite, j) illite.

*Figure 1.* X-ray diffractogrammes. A: dust; B: oriented, C: oriented, treated with glycerine. The signed values are given in nm.

*Figure 2.* Derivatogramme of the powdered gypsiferous soil sample.

*Figure 3.* Undisturbed sample, made by scanning electronmicroscope. The points signed by 3, 4, 5, 6 are the places of the elemental analysis.

*Figure 4.* Results of the points signed in the Figure 3 : 3 = amorphous  $\text{SiO}_2$ ; 4 = crystalline quartz; 5 and 6 = potash feldspar.

*Figure 5.* Enlarged figure of the object signed by point 3 in Figure 3.

*Figure 6.* Suspended sample through scanning electronmicroscope. The arrow shows the place of elemental analysis.

*Figure 7.* Results of the elemental analysis of the signed place in the Figure 6.

*Figure 8.* Scanning electronmicroscope picture of a suspended sample. The visual field is filled with fragment sheets showing large form-heterogeneity. Point 1 shows the place of elemental analysis (a); the result of signed elemental analysis is gypsum (b); the S and Ca homogeneity of elemental dispersion made about the a) visual field demonstrates that in spite of the variations in forms the material of the sheets is gypsum (c, d).

*Figure 10.* Scanning electronmicroscope picture of suspended sample. The points 1 and 2 are the places of elemental analysis (a); results of the elemental analysis made about the signed points demonstrate, that the tested formulas are of gypsum (b).

*Figure 11.* Transmission electronmicroscope picture of drop preparatum made from untreated soil. Among the big structural elements needle-form crystals of gypsum showing thicker, dissolution traces, being long-shaped and unbroken contoured needle-form crystals of attapulgite.

*Figure 12.* Transmission electronmicroscope picture of attapulgite.

*Figure 13.* Scanning electronmicroscope picture of attapulgite from undisturbed sample. The arrow is directed to an attapulgite bundle. This is the place of elemental analysis, too (a); result of the elemental analysis made from the signed place (b).

*Figure 14.* So called attapulgite thorns protruding into gap obtained from undisturbed soil sample (a); elemental analysis taken from the formula given in Figure a) (b).

## Über die Anhäufung von Calciumsulfat in den Gipsböden des Irak

I. SZABOLCS, M. RÉDLY, G. PÁRTAY und G. SZENDREI

Forschungsinstitut für Bodenkunde und Agrilkulturchemie der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest

### Zusammenfassung

Die Gipsanreicherung als salzakkumulierender Vorgang und die — meistens auf den ariden Gebieten vorkommenden — Gipsböden mit ihrer Gipsanhäufung auf der Bodenoberfläche bzw. in den oberflächennahen Bodenschichten sind im Verhältnis zu den übrigen Salzanreicherungstypen bzw. Szikböden weniger untersucht worden.

Zur Kenntnis der Vorgänge der Umgestaltung dieser Böden, sowie zur Kenntnis der Möglichkeiten ihrer Melioration und ihrer Nutzung sind die Gesetzmässigkeiten der Gipsakkumulation und die morphologischen Merkmale des Gipsvorkommens von ausschlaggebender Bedeutung.

Es wurde die chemische und mineralogische Analyse des Gipsanreicherungshorizontes eines aus Irak stammenden Gipsbodens zwecks Untersuchung der Verteilung des Gipsvorkommens, der Gipsformen, sowie der mit dem Gips zusammen vorkommenden Verbindungen durchgeführt.

Die folgenden Analysen wurden durchgeführt: — Bestimmung des  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ -Wertes, des gesamten Salzgehaltes, des Sättigungsgrades (%), sowie des gesamten Kohlenstoffgehaltes; Analyse des 1 : 5 Wasserauszuges und des 1 : 20 Salzsäure-(10%ig) auszuges; Bestimmung der Zusammensetzung der austauschbaren Kationen, sowie der Kationenaustausch-Kapazität; Körnungsanalyse; totale chemische Analyse; Röntgendiffraktions- und derivatographische Untersuchungen; Raster-Elektromikroskopische Untersuchung mit Röntgenmikroanalyse.

Auf Grund der Analysen konnte festgestellt werden:

1. Ein wichtiges Kennzeichen der Bodenprobe ist sein hoher  $\text{CaSO}_4$ -Gehalt (28%). Das  $\text{CaSO}_4$  erscheint zusammen mit dem  $\text{CaCO}_3$ , aber das letztere ist in bedeutend geringeren Mengen zugegen.

2. Nahezu 50% der im Boden vorkommenden Konkretionen verschiedener Grössen besteht aus Gips.

3. Nur ein geringer Teil des Gipsgehaltes des Bodens ist wasserlöslich (1,65%). Auch der 1 : 5 Wasserauszug ist mit Gips gesättigt. Auf Grund der Daten der totalen chemischen Analyse und der Analyse des Salzsäureauszuges kann der Gips durch eine Behandlung mit verdünnter Salzsäure praktisch vollkommen aus dem Boden ausgelöst werden.

4. Durch verschiedenartige mineralogische Untersuchungsmethoden wurde die qualitative und halbquantitative Zusammensetzung der Kristalle der Gipsbodenprobe festgestellt, Attapulgit wurde nachgewiesen und die morphologisch verschiedenen Formen des Gipses wurden identifiziert.

*Tabelle 1.* Einige chemischen Kennwerte der untersuchten Bodenproben. (1) Probe: a) zerstäubte, pulverisierte Bodenprobe, b) Konkretion in natürlichem Zustand, c) Konkretion, gereinigt. (2)  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  in der Sättigungsbodenpaste. (3) Sättigungsprozent. (SP). (4) Gesamter Salzgehalt (%) aufgrund der Leitfähigkeit der Sättigungsbodenpaste.

*Tabelle 2.* Körnung (in %) der pulverisierten Bodenprobe. (1) Spezifisches Gewicht,  $\text{g}/\text{cm}^3$ . (2) Hygroskopizität, %. (3) Verlust der Salzsäurebehandlung, %. (4) Körnungs-

fraktionen, mm Ø. (5) Physikalischer Sand und Ton, %. a) Körnungsfractionen korrigiert nach den Anteilen des Salzsäureverlustes.

*Tab. 3.* Adsorptionsverhältnisse in der pulverisierten Gipsbodenprobe. (1) Austauschbare Kationen, mval/100 g. (2) Kationenaustauschkapazität, mval/100 g. (3) Austauschbares  $\text{Na}^+$  % (ESP).

*Tab. 4.* Vorkommensformen des Natriums im Gipsboden von Irak, mval/100 g. (1) Behandlungen. A) Nach Aufschluss mit  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ — $\text{K}_2\text{CO}_3$  gemessen. B) Mit 10%iger HCl ausgelöst. C) Austauschbares Na. a) mit der Ammoniumacetat-Methode. b) mit der Na-22 Isotopenverdünnungsmethode. D) Im 1 : 5 Wasserauszug gemessen.

*Tab. 5.* Zusammensetzung des 1 : 5 Wasserauszeuges der pulverisierten Gipsbodenprobe. (1) Elektrische Leitfähigkeit, mmhos. (2) Trockener Rückstand. (3) Glührückstand. (4) Alkalität:  $\text{CO}_3^{2-}$ , gesamte.

*Tab. 6.* Zusammensetzung des Salzsäureauszeuges der untersuchten Bodenproben. Extraktionsmittel: 10%ige, im Verhältnis 1 : 20 verdünnte Salzsäure, kalt angewendet. (1) Bodenprobe. a) pulverisierte Probe, b) Konkretion. (2) Verlust des Salzsäureauszeuges, %. (3) Gipsgehalt, bestimmt auf direktem Weg durch gravimetrisches Verfahren,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , %.

*Tab. 7.* Elementaranalyse der untersuchten Bodenprobe (in %). (1) Bodenprobe: A) Originalprobe, pulverisiert; B) nach dem Salzsäureauszug: a) in % des nach dem Auszug zurückgebliebenen Bodens, b) in % der originalen Bodenprobe; C) Verlust des Salzsäureauszeuges. (2) Feuchtigkeitsgehalt des lufttrockenen Bodens. (3) Glührückstand.

*Tab. 8.* Vorbereitung der Proben zu Röntgendiffraktionsuntersuchungen. (1) Vorbereitungsmethoden. (2) Nummer der Probe.

*Tab. 9.* Mineralogische Zusammensetzung der Bodenproben aufgrund der Röntgendiffraktionsuntersuchungen. Nach der Gorbunov-Methode, aufgrund der (001) Reflexionen geschätzte Daten, in %. (1) Originalboden. (2) Fraktion unterhalb 1 Mikrometers. a) Gips, b) Calcit, c) Sulfatsalz, d) Quarz, e) Chlorite, f) Feldspate, g) Attapulgit, h) Dolomit, i) Illite und Montmorillonite, j) Illite.

*Abb. 1.* Röntgendiffraktogramme. A: Aufnahme in Pulver- (Staub-)form; B: orientierte Aufnahme; C: orientierte, mit Glycerin behandelte Aufnahme. Die eingeschriebenen Werte sind in nm.

*Abb. 2.* Derivatogramm der pulverisierten Gipsbodenprobe.

*Abb. 3.* Rasterelektronenmikroskopaufnahme einer ungestörten Bodenprobe. In den mit 3, 4, 5 und 6 bezeichneten Punkten wurde eine Elementaranalyse durchgeführt.

*Abb. 4.* Resultate der Elementaranalyse durchgeführt in den in Abb. 3. bezeichneten Punkten: 3 = amorphes  $\text{SiO}_2$ , 4 = kristalliner Quarz; 5 und 6 = Kalifeldspat.

*Abb. 5.* Vergrössertes Bild des in Abb. 3. mit Punkt 3 bezeichneten Objektes.

*Abb. 6.* Rasterelektronenmikroskopisches Bild der suspendierten Probe. Der Pfeil zeigt auf den Punkt der Elementaranalyse.

*Abb. 7.* Resultate der Elementaranalyse des in Abb. 6. bezeichneten Punktes.

*Abb. 8.* Rasterelektronenmikroskopisches Bild der suspendierten Bodenprobe. Die für den Gips charakteristischen schwalbenschwanzförmigen Kristalle.

*Abb. 9.* Rasterelektronenmikroskopisches Bild der suspendierten Bodenprobe. Das Sehfeld wird von zerbröckelten, lamillaren Gebilden von grosser Formheterogenität ausgefüllt. Punkt 1 gibt die Stelle der Elementaranalyse an (a); Resultat der Elementaranalyse ergibt Gips (b); Die Homogenität der Verteilung der Elemente S und Ca im Sehfeld zeigt augenfällig, dass die lamillaren Gebilde trotz der Formheterogenität aus Gips bestehen (c, d).

*Abb. 10.* Rasterelektronenmikroskopisches Bild der suspendierten Bodenprobe. Punkt 1 und 2 sind die Stellen der Elementaranalyse (a); Die Resultate der Elementaranalyse der bezeichneten Punkte beweisen, dass die untersuchten Gebilde Gipsformationen sind (b).

*Abb. 11.* Transmissionselektronenmikroskopisches Bild des aus dem unbehandelten Boden hergestellten Tropfen-Präparates. Unter den grossen Strukturelementen sind die dickeren, länglichen, Spuren von Lösungsvorgängen aufweisenden Kristalle des Gipses und die nadelförmigen intakten Kristalle des Attapulgits gut ersichtlich.

*Abb. 12.* Transmissionselektronenmikroskopisches Bild des Attapulgits.

*Abb. 13.* Rasterelektronenmikroskopisches Bild des Attapulgits aus ungestörter Probe. Der Pfeil zeigt auf ein Attapulgit-Bündel. Dies ist gleichzeitig die Stelle der Elementaranalyse (a); Resultat der an der bezeichneten Stelle durchgeführten Elementaranalyse (b).

*Abb. 14.* In einen Spalt hineinhängende Attapulgit „Stacheln“ aus ungestörter Probe (a). Elementaranalyse des in Abb. (a) angeführten Gebildes (b).

## Особенности накопления сульфатов кальция в гипсовых почвах Ирака

И. САБОЛЬЧ, М. РЭДЛИ, Г. ПАРТАИ и Г. СЕНДРЕИ

Научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии Венгерской Академии Наук, Будапешт

### Резюме

Накопление гипса, как процесс соленакопления и показатель поверхностного и близкого к поверхности содержания гипса в гипсовых почвах (gypsiferous), в превую очередь, аридных областей изучено мало по сравнению с другими типами соленакопления и засоленными почвами.

Для изучения этого процесса с точки зрения мелиорации и освоения почв весьма важно знать закономерности накопления гипса, морфологические признаки содержания в почве этого соединения.

Провели химический и минералогический анализы гипсоносных горизонтов иракских почв с целью изучения распределения гипса, его форм и других химических соединений, находящихся вместе с ним.

Определили:  $pH_{(H_2O)}$ , общее содержание карбонатов, процентную насыщенность, общее содержание солей; провели анализ водной вытяжки (1 : 5) и солянокислой насыщенной (1 : 20) вытяжки; определили состав обменных катионов и ёмкость поглощения; механический состав и валовой химический состав, провели также рентгенодифракционные и дериватографические исследования, исследования электронным микроскопом вместе с рентгеновским микроанализом.

На основании результатов исследований можно установить, что: 1. Важной особенностью почвенных образцов является высокое содержание в них  $CaSO_4$  (28%).  $CaSO_4$  находится вместе с  $CaCO_3$ , но содержание последнего значительно меньше. 2. 50% встречающихся в почве конкреций являются конкрециями гипса.

3. Только незначительная часть гипса растворима в воде (1,65%). Водная 1 : 5 вытяжка также насыщена гипсом. На основании валового анализа и анализа солянокислой вытяжки можно сказать, что после обработки почвы слабой соляной кислотой гипс практически полностью растворяется.

4. Различными минералогическими исследованиями определили качество и приблизительное количество кристаллических компонентов гипсовых почвенных образцов, показали аттапульгит и опознали различные морфологические формы гипса.

*Табл. 1.* Отдельные химические характеристики изученных почвенных образцов. (1) Образец: а) Рыхлый (без конкреций) почвенный образец. б) Конкреция в естественном состоянии, с) Конкреция очищенная. (2)  $pH_{(H_2O)}$  в насыщенной почвенной пасте. (3) Процент насыщенности (SP). (4) Общее содержание солей, определенное по электропроводности в насыщенной почвенной пасте.

*Табл. 2.* Механический состав рыхлого почвенного образца, %. (1) Удельный вес, г/см<sup>3</sup>. (2) Гигроскопичность в %. (3) Потеря от обработки соляной кислотой, %. (4) Механические фракции мм. (5) Физический песок, %. (6) Физическая глина в %. а) Механические фракции пересчитанные с учетом потери от обработки соляной кислотой.

*Табл. 3.* Адсорбционные свойства 1 рыхлого образца гипсовой почвы. (1) Обменные катионы мг.экв./100 г. (2) Ёмкость поглощения мг.экв./100 г. (3) Содержание ионов обменного натрия % (ESP).

*Табл. 4.* Формы натрия, встречающиеся в иракских гипсовых образцах почвы в мг.экв./100 г. (1) Обработка. А) определенный после сплавления с  $Na_2CO_3-K_2CO_3$ . В) Растворимый в 10% соляной кислоте. С) Обменный. а) По ацетатно-аммонийному методу. б) Методом изотопного разбавления ( $Na^{22}$ ). Д) Измеренный в водной 1 : 5 вытяжке.

*Табл. 5.* Химический состав водной 1 : 5 вытяжки рыхлого образца гипсовой почвы. (1) Электропроводность в ммхос. (2) Сухой остаток. (3) Прокаленный остаток. (4) Щелочность:  $CO_3^{2-}$ , общая.

*Табл. 6.* Химический состав солянокислой вытяжки. Растворение: 10%-ой холодной соляной кислотой в соотношении 1 : 20. (1) Почвенный образец. а) Рыхлый образец, б) Конкреции. (2) Потери за счет растворения соляной кислотой, %. (3) Содержание гипса определенное прямым гравиметрическим путем,  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ , %.

*Табл. 7.* Валовой химический состав почвенного образца в %. (1) Образец: А) Исходный рыхлый образец; В) После обработки соляной кислотой: а) в % на навеску почвы,

обработанную соляной кислотой. б) В % на навеску исходной почвы. С) Потеря от обработки соляной кислотой. (2) Влажность воздушносухой навески. (3) Потеря от прокаливания.

*Табл. 8.* Способы подготовки образцов к рентгенодифракционным анализам. (1) Методы обработки. (2) Номер образца.

*Табл. 9.* Минералогический состав почвенного образца на основании результатов рентгенодифракционного анализа. По методу Горбунова данные в % на основании оценки рефлексий (001). (1) Исходная почва. (2) Фракции размером меньше одного микрона, а) гипс, б) кальцит, с) сернокислая соль, d) кварц, e) хлорит, f) полевоид шпат, g) аттапульгит, h) доломит, i) иллит-монтмориллонит, j) иллит.

*Рис. 1.* Рентгеновские диффрактограммы. А: порошкограмма; В: ориентированная съемка; С: ориентированная съемка с глицирином. Означенные величины выражены в нм.

*Рис. 2.* Дериватограмма рыхлого образца гипсовой почвы.

*Рис. 3.* Растровая (сканирующая) электронмикроскопия ненарушенного образца почвы. Точки, обозначенные 3, - 4, - 5, - 6 являются местами проведения анализа.

*Рис. 4.* Результаты анализов, проведенных в точках обозначенных на рисунке 3.: 3 = аморфная кремниевая кислота; 4 = кристаллический кварц, 5 и 6 = ортоклаз.

*Рис. 5.* Увеличенный снимок объекта, обозначенного на рисунке 3 цифрой 3.

*Рис. 6.* Растровая электронмикроскопия суспендированного образца. Стрелка показывает место анализа.

*Рис. 7.* Результаты анализа элементов из участка, указанного на рисунке 6.

*Рис. 8.* Растровая электронмикроскопия суспендированного образца. Характерные кристаллы гипса в форме ласточкина хвоста.

*Рис. 9.* Растровая, электронмикроскопия суспендированного образца. Все поле зрения заполнено элементами пластинчатой структуры. Точка 1 показывает место проведения анализа (а); элементарный анализ в обозначенной точке показывает наличие гипса (b); Гомогенность S и Ca в распределении элементов в точке а) показывает, что вопреки вариациям форм, материалом пластинчатых образований является гипс (с, d).

*Рис. 10.* Растровая электронмикроскопия суспендированного образца. Точки 1. и 2 участки, материал из которых был анализируван. Анализ элементов в обозначенных точках подтверждает, что изученные образования являются формациями гипса (b).

*Рис. 11.* Трансмиссионный электрономикроскопический снимок капельного препарата, приготовленного из необработанной почвы. Между большими структурными элементами хорошо видны утолщенные, продолговатые со следами растворения кристаллы гипса и ненарушенные игольчатые кристаллы аттапульгита.

*Рис. 12.* Снимок аттапульгита сделанный трансмиссионным электронным микроскопом.

*Рис. 13.* Растровая электронмикроскопия аттапульгита из ненарушенного образца почвы. Стрелка показывает на одно скопление аттапульгита. Одновременно это является и местом анализа элементов (а); результаты анализа элементов, проведенного на указанном месте (b).

*Рис. 14.* Иглы аттапульгита видимые в щелях; в образцах с ненарушенной структурой а); анализ элементов в точке 2 (в).