

Szegedi Tudományegyetem  
Természettudományi és Informatikai Kar  
Környezettudományi Doktori Iskola  
Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék

# **A SZEGEDI FEHÉR-TÓ SZIKES ÜLEDÉKEINEK KÖRNYEZET- GEOKÉMIAI TULAJDONSÁGAI**

PhD értekezés tézisei

**BOZSÓ GÁBOR**

Témavezető  
Dr. Pál-Molnár Elemér

Szeged, 2010

## **I. A KUTATÁS ELŐZMÉNYEI, INDOKOLTSÁGA, AZ ÉRTEKEZÉS CÉLKITŰZÉSEI**

A doktori értekezés elsődleges célkitűzése a hasonló földtani kifejlődésű, de különböző hidrológiájú, és eltérő antropogén hatás alatt álló szikes tavi üledékekben a környezeti szempontból fontos kémiai elemek eloszlásának, valamint az elemeloszlásokat befolyásoló geokémiai és ásványtani tulajdonságoknak a vizsgálata, valamint a szikes tavi üledékek nehézfém-adszorpciós tulajdonságainak meghatározása volt.

A kutatási téma aktualitását egyrészt az adja, hogy a globális klímaváltozási folyamatoknak köszönhetően egyre nagyobb – legtöbbször mezőgazdasági – területek szikesednek el, és ezekben az esetekben alapvetően megváltoznak a geokémiai körülmények. Másrészt a XX. század robbanásszerű - elsősorban ipari - fejlődési folyamatai során olyan jelentős mennyiségű, elsősorban toxikus, vagy bizonyítottan valamilyen káros élettani hatással rendelkező elem került a környezetbe, amely jelentősen megváltoztatta szinte minden talaj nyomelemkészletét. A szikesedés folyamata során potenciálisan fennáll annak a veszélye, hogy az addig jó pufferkapacitással rendelkező üledék elveszíti ionadszorpciós képességeinek nagy részét a megváltozott geokémiai körülmények miatt. A szikes tavak hidrológiai és zárt üledékgyűjtő medencejellegüknél fogva, mind a szikesedést, mind a szennyező anyagok felhalmozódásának folyamatait képesek érzékenyen jelezni, így alkalmasak a szikesedési és a nyomelem-felhalmozódási folyamatok hatásainak vizsgálatára.

Bár mind a szikesedés, mind a környezeti szempontból releváns kémiai elemek kutatásával széleskörűen foglalkoznak, a szikes üledékek átfogó környezet-geokémiai elemzéseik meglehetősen hiányosak. Mindemellett kevés az információ arról is, hogy a szikesedéssel érintett területeken mely geokémiai folyamatok szabályozzák a kémiai elemek eloszlását, adszorpciós folyamatait.

A kutatás nagyjából alaperedményeket kíván nyújtani a szikes, nagy sótartalmú geokémiai közegben történő ionadszorpciós folyamatokról, az elemek megkötődéséért felelős szerves és szervetlen ásványi fázis eloszlásának tulajdonságairól. Másrészt gyakorlatban is használható eredményeket mutat be, amelyek segíthetik a másodlagos, antropogén szikesedéssel érintett mezőgazdasági területek talajaiban található nyomelemek eloszlásának értelmezését, a szikesedés hatására elinduló elem-mobilizáció folyamatainak megismerését. A kutatási eredmények nemcsak az agrokémia területén, de a geotermikus energia felhasználásakor történő felszíni termásvíz elvezetésében, valamint hulladéklerakók tervezésében is hasznos információkat nyújthatnak.

## II. ALKALMAZOTT VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

A vizsgálatok célja a különböző üledékszelveken a pH, az össz-vezetőképesség, a szemcseméret-eloszlás, a karbonáttartalom, a fő- és nyomelemek mennyiségének, az ásványi fázis összetételének, valamint az agyagásványok és a szerves anyag mennyiségének és minőségének meghatározása volt. A meglehetősen nagyszámú vizsgálati eredmények könnyebb értelmezésének érdekében fontos cél volt a mérési adatok elemzése, a rendelkezésre álló, korszerű geostatisztikai vizsgálatok segítségével. További célul került kitűzésre a különböző szerves-, és agyagásvány-, valamint karbonáttartalommal rendelkező, üledékminták nyomelem-adszorpciós tulajdonságainak vizsgálata is.

Az üledékek kémhatása és össz-vezetőképessége CONSORT C561 típusú pH-, és vezetőképességmérő műszerrel, a hatályos magyar szabvány alapján került meghatározásra.

Összesen 80 db, az egyes talajsintek alapján reprezentatívan kiválasztott minta szemcseméret-összetétele a Szegedi Tudományegyetem Földtani és Őslénytani Tanszékén SediGraph 5000ET típusú részecskenagyság analizátorral került meghatározásra.

80 db, a kalciumtartalom alapján reprezentatívan kiválasztott minta karbonáttartalma Dean-módszerrel lett meghatározva.

Az üledékek összes szerves szén tartalma és a szerves anyag összetétele Rock-Eval pirolízis módszerével. Az Oil Show Analyzer típusú Rock-Eval pirolizátorban három perc 180 °C hőmérsékletű előmelegítés után, programozott 25 °C/perc sebességű felfűtéssel 600 °C-ig történik a minta pirolizálása. A szén és nitrogén stabil izotóp analízis Thermo Finnigan ConFlo III feltáró egységgel összekötött NA 1500 NCS Fision Instrument készülékkel és Finnigan DeltaPlusXp tömegspektrométerrel történt.

Az üledékszelvek ásványtani vizsgálata DRON UM-1 típusú röntgen diffraktométerrel történt a 3-52 (az agyagásvány vizsgálatok esetében 1-16) 2 $\theta$  szögtartományban. A sugárforrás Cu-cső, LiF monokromátorral, 35 kV gerjesztő feszültséggel, 20 mA anódárammal, szcintillációs detektorral, 1<sup>0</sup>/perc léptetési sebességgel.

A szelvek fő-, és nyomelemeinek mennyisége HORIBA Jobin-Yvon XGT-5000 típusú röntgen-fluoreszcens spektrofotométerrel került meghatározásra. A műszer Rh-sugárforrással, 30 kV gerjesztő feszültséggel, és 1 mA anódárammal, és 100  $\mu$ m nyalábátmérővel működött. A nettó mérési idő minden minta esetében 60 perc volt.

A nyomelem-adszorpciós vizsgálatokra öt, eltérő összetételű mintát választottam ki. Az egyenként 200 mg tömegű mintákat rendre 20 ml cink-, kadmium-, nikkel-, ólom-, és réz-nitrát oldatban szuszpendáltuk. Az oldatok kiindulási fémkoncentrációja mintánként és elemenként 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000 mg/l volt.

### III. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. **Megállapítottam, hogy a szegedi Fehér-tó területén vizsgált „K”, „SZ-2”, „X/2” és „S1” jelű szelvények eltérő kémhatását és sótartalmát, illetve a szelvénymenti eloszlásaikat a vízháztartáson és a növényzeti borítottságon kívül az antropogén hatások is erőteljesen befolyásolják. A nagy növényi borítással rendelkező nyugodt talajvíz-mozgással bíró „K” és „X/2” mintaterületeken jelentős a sófelhalmozódás, extrém nagy, 15-20 mS/cm az össz-vezetőképesség értéke és igen lúgos, pH=8 feletti a kémhatás. Ezzel szemben azokon a területeken („SZ-2” és „S1”), ahol a halgazdasági tevékenység során intenzív vízcserét végeznek, a sótartalom és a kémhatás is jelentősen csökken az üledékekben (az össz-vezetőképesség értéke ~1 mS, pH<7). Az „SZ-2” és „S1” mintaterületeken folytatott gazdálkodás mesterségesen kilúgozza az üledék könnyen oldódó sótartalmát, emiatt e területek fokozatosan elveszítik szikes jellegüket.**

A legnagyobb, és az átlagoshoz képest extrémnek mondható sófelhalmozódásokat a két folyamatos növényborítással rendelkező „K” és „X/2” szelvényekben határoztam meg. E két szelvény esetében is érzékletes hogy az eltérő kémhatásokat és az eltérő sófelhalmozódást a vízszintingadozás és növényi fedettség okozza. Míg a nyugodt vízmozgással és állandó növényi fedettséggel rendelkező „K” jelű szikes réti szelvényben egy nagyon intenzív só-akkumulációs zóna azonosítható, addig a nagyobb vízszintingadozású, de hasonló növényi borítottságú „X/2” szelvényben ez a felhalmozódási zóna 50-60 cm vastagságban széthúzódik.

Az „SZ-2” és „S1” szelvények átlagos kémhatása és sótartalma messze elmarad a „K” és „X/2” szelvényekben mértéktől. Ennek oka a terület halgazdasági kezelése. Mivel minden évben leeresztik, majd új, alacsony sótartalmú vízzel töltik fel a területet, a száraz periódusokban bekövetkező kapilláris vízemelkedés által felszínre mozgatott sók a vízbe oldódnak. Tehát gyakorlatilag e két terület mesterségesen kilúgozódik, hiszen a vízzel borított periódusban az oldatba kerülő sók a tavak éves leeresztéseivel eltávoznak.

Kimutattam, hogy az alapvetően hasonló földtani és ásványtani felépítéssel rendelkező területeken az antropogén hatás erőteljesen megváltoztatja az üledékek sótartalmát és kémhatását és ezzel gyakorlatilag teljesen megváltoznak az egyes tavak eredeti, természetes geokémiai tulajdonságai is.

- 2. Kimutattam, hogy a vizsgált szelvények mindegyikében intenzív mállás folyamat és recens agyagásvány-képződés figyelhető meg. Az agyagásványok a lúgos kémhatás miatt a földpát mállási termékeiként legtöbbször kolloidális méretű, rosszul kristályosodott, csökkent adszorpciós kapacitással rendelkező rács-töredékeként vannak jelen, együtt mozognak a talajvíz szintjével és a könnyen oldható sókkal. A mállási folyamatok a vizsgált, 4 méter mélységű szelvények mindegyikében az üledékek felső 100 cm-es zónájában figyelhetőek meg, ezek a szintek a vízszint-ingadozás zónájával esnek egybe.**

A felszíni rétegekben történő intenzív mállásra utal az, hogy a vizsgált, 4 m mélységű szelvényekben a földpátok csak a mélyebb, 100 cm alatti rétegekben fordulnak elő, vagyis a felső rétegekben már átalakultak, elmállottak. A rubídium minden esetben azonos eloszlást mutat az agyagásványok, illetve az Al, Si, K, Fe, Cu eloszlásaival, ez azt bizonyítja, hogy a földpátok mállása megtörtént és a mállási termékek az agyagásványok. Ilyen esetekben a Rb a képződő agyagásványokhoz nagyon erős adszorpcióval kötődik, ami minden vizsgált szelvény esetében megfigyelhető. A területen tehát intenzív mállási folyamatok eredményeként a földpátok nagy része a felső rétegekben elbomlik, ami a vízzel borított periódusokban a sótartalom mélyebb rétegekbe történő vándorlása miatt következik be, ugyanis ekkor a  $\text{Na}^+$  és  $\text{K}^+$  hiányában a földpát mállása és az agyagásvány-képződés a kedvezményezett folyamat.

Az agyagásványok recens képződéssel az üledék mállásának eredményeként jönnek létre. Ennek egyik bizonyítéka, hogy az Al, Si, K, Fe, Cu eloszlásával minden szelvényben tökéletesen megegyezik az agyagásványok eloszlása. További érv az agyagásványok autigén kialakulási folyamataira, hogy a röntgen-diffraktogramok minden esetben kevert, illetve rossz kristályosodással rendelkező agyagásvány csoportokat mutattak ki, ami arra enged következtetni, hogy a lúgos körülmények között az agyagásványok képződésekor inkább rácsfoszlányok keletkeznek. Minden esetben az agyagásvány-csoportok (kaolinit-klorit, illit, szmektit) szinte teljesen hasonló vertikális eloszlásokat mutatnak. Az elvégzett vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy egyik csoport képződése sem kedvezményezett a másik javára, ami annak az eredménye, hogy az üledék felső szintjeiben a Mg, K, Na mennyisége is elegendő bármelyik csoport képződéséhez, másrészt kevert szerkezetű agyagásványok is előfordulnak. A „K” és „X/2” szelvényekben minden agyagásvány csoport az 50 cm-es mélységben intenzív akkumulációt mutat. Mivel ez a szint egybeesik a könnyen oldható sók felhalmozódási szintjével, megállapítottam, hogy az agyagásványok döntően kolloidális, finom

szemcseméretű frakcióban vannak jelen az üledékben és a vízszint mozgásával függ össze az eloszlásuk.

- 3. Megállapítottam, hogy minden vizsgált szelvényben autigén dolomit-képződés zajlik. A dolomit jellemzően a folyamatos vízfedettségi szint alatt halmozódik fel, és a képződésének folyamata a kalcittal történő inorganikus koprecipitáció, de egyes területeken a bakteriális képződés sem kizárható.**

A „K”, „SZ-2”, és „X/2” szelvényekben jellemzően a 100 cm alatti rétegekben kezd el nőni a dolomit mennyisége, a felszíni rétegekben egyáltalán nem mutatható ki, a dolomit képződése ezekben az esetekben a talajvízszint alatt történik. A folyamatosan vízzel borított „S1” szelvényben már a felszínen megjelenik a dolomit. Ez alapján arra következtettem, hogy a dolomit képződéséhez mindenképpen a vízborítás az egyik szükséges feltétel. A dolomit képződése minden esetben az adott szelvény maximális magnézium koncentrációjának szintjében történik, tehát a következő fontos feltétel a dolomit képződésében a megnövekedett Mg-mennyiség.

Mivel minden esetben a dolomit mennyisége abban a szintben nő, ahol a kalcit lecsökken, ugyanakkor a kalcium vertikális eloszlásaiban semmiféle kiugrás nem tapasztalható a dolomitképződés szintjében, valamint a magnézium koncentrációja ott nő meg, ahol a dolomit, egyértelműen autigén dolomit-képződés történik a vizsgált szelvényekben, a detritális eredet kizárható. Megállapítható az is, hogy a dolomit képződése a só-felhalmozódási zónák alatt alakul ki, tehát a képződésben nem játszik szerepet a magas ionerősség. A dolomit kialakulása a vizsgált szelvények esetében az inorganikus kicsapódás folyamatával történik, vagyis a vízszint süllyedésekor a talajoldatban betöményedő kalcium kicsapódik és a Mg beépül a kalcit kristályrácsába.

- 4. Kimutattam, hogy a szegedi Fehér-tó szikes üledékeinek szervesanyag-tartalma igen csekély, a legnagyobb szervesanyag-koncentráció (TOC) sem haladja meg a 2%-ot, ez messze elmarad a hasonló geokémiai tulajdonságokkal rendelkező tavakban tapasztalt 10-15%-os értékektől. Legtöbbször csak a szelvények felső 100 cm-es rétegében volt értékelhető mennyiségű szerves anyag. Megállapítottam, hogy a tórendszer keleti részén, fejlődéstörténetének során, folyamatosan váltakoztak a felhalmozódási körülmények és száraz, valamint vízzel borított üledék-, és szervesanyag-felhalmozódási ciklusokat jelöltem ki. Egyértelműen kimutattam,**

**hogy az üledékek legfelső (0-20 cm) szintjében az antropogén halgazdasági tevékenység okozza a megemelkedett szervesanyag-tartalmat.**

Az igen alacsony szervesanyag-tartalom a szegényes és gyér növényzettel magyarázható, hiszen így eleve nincs forrás a szerves anyag megőrzéséhez, azonban a dús növényzettel rendelkező „K” és „X/2” szelvények esetében sem nagy, 1-2% a szerves anyag mennyisége. Ez annak a következménye, hogy a szikes talaj tulajdonságai, így a nagy sótartalom és a lúgos kémhatás, valamint a kiszáradási periódusokban az oxikus körülmények intenzifikálják a szerves anyag degradációs folyamatait. Ezt a folyamatot erősíti meg az „S1” szelvényben tapasztalt extrém alacsonynak mondható szervesanyag-tartalom. A tó vízborításával összefüggésben minimális a szerves anyag mennyisége, ugyanis a rövid száraz periódusban - az oxikus körülmények között – a felhalmozódott szerves anyagok azonnal elbomlanak és nem őrződnek meg az üledékben. Megállapítottam, hogy a tavak üledékeiben döntően szárazföldi eredetű szervesanyag-felhalmozódás tapasztalható, ami alapján kijelenthető, hogy a tórendszer a mai körülményekhez hasonlóan fejlődött, azaz minden évben voltak száraz és nedves periódusok és nem fordultak elő túl hosszú vízzel borított időszakok (hiszen ilyenkor nagyobb algaeredetű szerves anyagot kellett volna megőriznie az üledéknek), viszont többször kiszáradt a tómeder vagy minimálisra csökkent a vízborítás.

Mind a „K”, mind az „SZ-2” szelvény esetében az üledékek felső 15 cm-es rétegében jelentősen megváltozik a szerves anyag minősége és mennyisége is. A TOC jelentősen megemelkedik, növekszik a H-index értéke, ami a tórendszer 1970-es évekbeli átalakításának eredménye. A „K” szelvényben a szikes rét kialakulásával elindult a nagyobb mennyiségű, éretlen szerves anyag felhalmozódása, míg az „SZ-2” halnevelő folyamatos halgazdasági célú hasznosítása vezetett a TOC és a HI megnövekedéséhez.

A „K” és „SZ-2” szelvények felső 100 cm-es rétegei elegendő szerves anyagot tartalmaztak a felhalmozódási körülmények meghatározásához. A szerves anyag minőségi paramétereinek meghatározását célzó kísérletek eredményei azt mutatják, hogy a tórendszer keleti része több kiszáradási és vízzel borított üledékképződési cikluson esett keresztül. Mindkét szelvény esetében hasonló szintekben figyelhető meg a szerves anyag minőségi paramétereinek változása, ami azt mutatja, hogy az üledék szerves anyaga érzékenyen megőrizte a megváltozott klimatikus körülményeket. A vízzel borított periódusokban általában nőtt a humifikáció mértéke és az alga produkció, míg a száraz periódusokban kevésbé őrződött meg a szerves anyag.

- 5. Kimutattam, hogy a vizsgált szelvények nyomelemekben szegények, legtöbbször az átlagos elemkoncentrációk a magyarországi geokémiai határértékek közelében vagy az alatt vannak. A csökkent nyomelemtartalom az alapkőzet összetételének, a viszonylagos antropogén szennyezés-mentességnek, a jelentős adszorpciós kapacitással rendelkező szerves anyag, valamint agyagásványok csekély mennyiségének tudható be.**

Megállapítottam, hogy a vizsgált üledékek több okból kifolyólag szegények nyomelemekben. Egyrészt maga a lösz, illetve az eredetileg gránit alapkőzet eleve szegény nyomelemekben, tehát nem várható, hogy ezek a felszíni mállás során felszabaduljanak nagy mennyiségben. Másrészt a szegedi Fehér-tó a nagy ipari szennyezőktől távol van, és nem folytatnak olyan antropogén tevékenységet a közelben ami lényegesen szennyezné a terület üledékeit, annak ellenére sem, hogy igen nagy vízgyűjtővel rendelkezik a tórendszer. Harmadrészt maga a halgazdaság működése is csökkentheti a nyomelem-tartalmat, egyfelől a folyamatos vízcserékkel mesterséges kilúgozódás történik, a megnövekedett elem-tartalmú vizet pedig minden évben elvezetik, másfelől a nagy mennyiségű megtermelt és kihalászott halak szervezetében is jelentős mennyiségű nyomelem távozhat.

Az alacsony elem-koncentrációk legfontosabb környezet-geokémiai oka az, hogy hiányoznak a nyomelemek immobilizációjához szükséges ásványi-, és szervesanyag-csoportok, valamint geokémiai feltételek. Egyfelől az elemek adszorpciójában főszerepet játszó szerves anyag mennyisége minimális az üledékekben. Másfelől az igen jó adszorpciós kapacitással rendelkező agyagásványok sincsenek nagy mennyiségben jelen az üledékben, ráadásul a lúgos közegben történt mállási folyamatok eredményeként ezek nagy része rossz kristály-struktúrával rendelkező, ásvány-foszlányokként vannak jelen, ami csökkent adszorpciós képességeket eredményez. Az üledékek csökkent adszorpciós kapacitásának eredménye az is, hogy a döntően agyagásványokhoz és szerves anyaghoz nagy adszorpciós affinitással rendelkező V, Cr, Cu, Zn, Ni, Pb esetében semmilyen pozitív korreláció nem volt kimutatható ezen adszorbeáló csoportok felé. Nem volt kimutatható, hogy a nagy adszorpciós kapacitással rendelkező amorf Fe-, és Mn-hidroxidok jelentősebb szerepet játszanának a Fehér-tó üledékeinek elem-immobilizációs folyamataiban.



- 6. Kimutattam, hogy a szegedi Fehér-tó szikes üledékeinek elem-eloszlásait elsősorban két jelentős háttérfolyamat alakítja ki. Az alapkőzet mállása a legmeghatározóbb folyamat az elemeloszlások kialakításában. Ez a folyamat a vizsgált, 4 méter mélységű szelvények felső 100 cm-es, intenzív vízmozgással és erőteljes kémhatás változásokkal rendelkező szintjeiben a legmeghatározóbb. A második háttérfolyamat (a vízszint-ingadozás és a könnyen oldódó mállási termékek mozgása) szorosan összefügg az elsővel, az üledékek sófelhalmozódását okozza szintén a legfelső szintekben.**

Minden esetben pozitív a korreláció az agyagásványok és az Al, Si, K, Fe, Zn, Rb koncentrációi között, ugyanakkor ezek az elemek negatívan korrelálnak a Ca, Mg, Sr mennyiségeivel. Ez egyértelműen megerősíti az ásványtani vizsgálatok eredményeit, vagyis az üledékekben intenzív, elsősorban földpát-mállás és autigén agyagásványképződés folyik, ahol a mobilis Ca, Mg, Sr (a kalcit rácsba épülve) kilúgozódik és elszeparálódik az eredeti elemösszetételtől.

A főkomponens-analízis eredményei alapvetően négy jellemző, az elemeloszlásokat és a kémiai paramétereket kialakító folyamatot tárt fel: a lösz mállása, só-felhalmozódás, dolomit-képződés, valamint red-ox viszonyok változása. A legerősebb folyamat minden szelvényben a mállás volt, ami a „K”, „SZ-2”, és „X/2” szelvények esetén az üledék felső 100 cm-es zónájában a legintenzívebb. Ez megerősíti a mállási folyamatokra tett megállapításokat.

A második legerősebb háttérfolyamat a könnyen oldódó (elsősorban Na) sók felhalmozódása a „K”, „X/2” és „S1” szelvényekben, minden esetben az összevezetőképesség a Na-tartalommal függ össze és a felszíni rétegekben a legerősebb. Az „SZ-2” szelvény esetében az üledék fizikai keveredése a főkomponens-analízis során is jól nyomon követhető volt, ugyanis ebben a szelvényben voltak a legkevésbé határozottak a folyamatok, ami csak abban az esetben lehetséges, ha az alapparamétereket egy egyéb külső hatás, ez esetben a fizikai keveredés összezavarta.

A harmadik jelentős háttérfolyamat a recens dolomitképződés, ami elsősorban az „S1” és az „SZ-2” szelvényekben kifejezett.

- 7. A nehézfém-adszorpciós kísérletek alapján kimutattam, hogy mind az egy-, mind a többelemes megkötődési folyamatokban a maximális és fajlagos adszorpció értéke az alacsony szervesanyag-, valamint agyagásvány-tartalom miatt általában alacsony és csökken a  $Pb > Cu > Zn > Cd > Ni$  sorrendben. Az ólom és réz, valamint a cink a**

**nagy karbonáttartalmú mintákban a karbonáttal való kicsapódással immobilizálódott, a kadmium és a nikkel legtöbbször az agyagásványokon adszorbeálódott. Magas szervesanyag-tartalom esetén minden nehézfém a döntően a szerves anyagon kötődött meg. Nagy só-tartalom esetén a réz és a nikkel, valamint alacsony karbonáttartalom esetén a cink, a nagyobb kiindulási oldatkonzentrációk esetén remobilizálódott a felületről.**

A nehézfémek egyeleemes, illetve kompetitív adszorpciós reakciói is jól jellemezhetőek a Langmuir-féle izotermával. Az adszorpciós görbék több, elemenként és mintánként eltérő immobilizációs folyamatokra utalnak, legtöbbször a kicsapódás, felületi kicsapódás, adszorpció, valamint a nagyobb kiindulási koncentrációk esetében a már megkötött nehézfémek deszorpciós jelenségei a fő folyamatok. A többeleemes adszorpciós reakciók szintén jól leírhatóak a Langmuir-izotermával. Megfigyelhető, hogy az ólom és réz esetében jobb, a nikkel, cink és kadmium esetében némileg rosszabb az illeszkedés. Ez az egyes elemek adszorpciós tulajdonságainak következménye. Míg az ólom és réz az immobilizálódásra erősen hajlamos, addig a nikkel, cink és kadmium a kompetitív helyzetekben csökkent immobilizációs képességeket mutat.

Mind az egyeleemes, mind a többeleemes reakciók során tapasztalt kémhatás változások azt mutatják, hogy minden vizsgált nehézfém minden mintában nagyon gyorsan megkötődött, ugyanis legtöbbször az adszorpció 3. órájától kezdve stabilizálódik az egyensúlyi oldatok pH-ja. Ez egyrészt a sok esetben előforduló precipitációs folyamatok, illetve a lúgos pH eredménye, ilyen körülmények között jelentősen növekszik a vizsgált elemek immobilizációja.

Megállapítható, hogy bár az üledékek mindegyike hatékonyan immobilizálta az összes nehézfémet 200 mg/l kiindulási oldatkonzentrációig, egy nagyobb töménységű szennyezés esetén nem lennének képesek a nagy Na-tartalom miatt a hatékony megkötésre. További veszélynek minősül, hogy a nagy karbonáttartalom ugyan hatékonyan immobilizálja az ólmot, a rézet és bizonyos esetekben a cinket, azonban a karbonátok igen gyorsan oldatba kerülhetnek, amivel remobilizálódnak a megkötött nehézfémek. A réz és a cink a nagy só-tartalom mellett és karbonát-mentes körülmények között az alacsonyabb kiindulási oldatkonzentrációk esetében hatékonyan immobilizálódik, a nagy koncentráció tartományokban viszont az egyensúlyi oldatba kerülő nátrium ionok deszorpcióra kényszerítik a már megkötött nehézfémeket.

#### **IV. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁBAN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK**

- PÁL-MOLNÁR, E., **BOZSÓ, G.** (2007): Complex environmental geochemistry of saline lake sediments. *Cereal Research Communications* 35, Number 2., 889-892. IF:1,19
- PÁL-MOLNÁR, E., **BOZSÓ G.** (2007): Szikes tavi üledékek komplex környezet-geokémiai vizsgálata. IX. Bányászati, Kohászati, Földtani Konferencia Összefoglaló kötete, 262-266. (ISSN: 1842-9440).
- BOZSÓ, G.**, PÁL-MOLNÁR, E., HETÉNYI, M. (2008): Relations of pH and mineral composition in salt-affected lacustrine profiles. *Cereal Research Communications* 36, 1463-1466. IF:1,19 (2007).
- RAKONCZAI, J., **BOZSÓ, G.**, MARGÓCZI, K., BARNA, GY., PÁL-MOLNÁR, E. (2008): Modification of salt-affected soils and their vegetation under the influence of climate change at the steppe of Szabadkígyós (Hungary). *Cereal Research Communications* 36, 2047-2050. IF:1,19 (2007).
- BOZSÓ, G.**, PÁL-MOLNÁR, E. (2009): The distribution of arsenic in the sediments of southern hungarian saline lakes. „Trace elements in a food chain” International Conference. Working Committee on Trace Elements of the complex Committee Hungarian Academy of Sciences special Publication 3 - Deficiency or Excess of Trace Elements in the Environment as a Risk of Health, 197-201.
- BOZSÓ, G.**, PÁL-MOLNÁR, E., NYILAS, T., HETÉNYI, M. (2010): Accumulation and distribution of organic matter in sediments of salt-affected shallow lakes at Szeged, Hungary. *Proceedings of the XIX. Congress of the Carpathian-Balkan Geological Association*, 39-45. (ISBN: 978-960-9502-02-3).

#### ***KONFERENCIA ABSZTRAKTOK***

- PÁL-MOLNÁR, E., **BOZSÓ, G.** (2006): Environmental radiochemistry and complex environmental geochemistry in young lake sediments at the Fehér-Lake, Szeged, Hungary. *ACTA Mineralogica Petrographica Abstract Series* 5, 88.
- PÁL-MOLNÁR, E., **BOZSÓ, G.** (2006): Fiatal tavi üledékek komplex környezet-geokémiai vizsgálata a szegedi Fehér-tó területén. VIII. Székelyföldi Geológus Találkozó, Konferencia kötet, 70-72. (ISBN: 973-87515-3-5).
- BOZSÓ, G.** (2007): Rare elements in salt-effected sediments at Fehér-Lake, Szeged, Hungary. *Mikroelemek, Környezet, Egészség Akadémiai Konferencia absztrakt kötet*, 12.
- BOZSÓ, G.** (2007): Trace elements distribution of saline lake sediments. X. Geomathematical Symposium Online Abstract Book.
- BOZSÓ, G.**, PÁL-MOLNÁR, E. (2008): pH relations and clay content of salt-affected lake sediments. 1st Croatian–Hungarian Geomathematical Conference Online Abstract Book.
- BOZSÓ, G.**, HALMOS, L., HETÉNYI, M., PÁL-MOLNÁR, E. (2008): Szikes tavi üledékek szerves anyag-tartalmának vizsgálata a szegedi Fehér-tó területén. X. Székelyföldi Geológus Találkozó, Konferencia kötet, 24-26. (ISBN: 973-87515-3-5).

- BOZSÓ, G., GÓDOR, A., ÓDRI, Á., PÁL-MOLNÁR, E.** (2008): Szikes tavi üledékek agyagásvány-tartalmának vizsgálata a szegedi Fehér-tó területén. X. Székelyföldi Geológus Találkozó, Konferencia kötet, 27-30. (ISBN: 973-87515-3-5).
- BOZSÓ, G., PÁL-MOLNÁR, E.** (2009): The distribution of arsenic in the sediments of southern hungarian saline lakes. „Trace elements in a food chain” Intenational Conference abstract book, p. 40.
- BOZSÓ, G., NYILAS, T., HETÉNYI, M., PÁL-MOLNÁR, E.** (2009): Accumulation and distribution of organic matter in salt-affected lacustrine sediments at the Fehér-lake, Szeged, Hungary. 24th International Meeting on Organic Geochemistry book of abstracts, p. 508.
- BOZSÓ, G., PÁL-MOLNÁR, E., NYILAS, T., HETÉNYI, M.** (2010): Accumulation and distribution of organic matter in sediments of salt-affected shallow lakes at Szeged, Hungary. *Geologica Balcanica* 39/1-2., 54-55.
- BOZSÓ, G., PÁL-MOLNÁR, E.** (2010): Distribution of calcite and dolomite in lakaline lake sediments. *ACTA Mineralogica Petrographica Abstract Series* 6, 322.

## V. EGYÉB PUBLIKÁCIÓK

- CZIRBUS, N., NYILAS, T., **BOZSÓ, G.**, HETÉNYI, M. (2010): Az aggteleki-karsztról származó vörösagyagos rendzina talaj szerves anyagának geokémiai jellemzése Rock-Eval pirolízissel. Kárpát-medencei Doktoranduszok Nemzetközi Konferenciája, Konferencia Kötet, 46-54. (ISBN: 978-963-269-186-2).

### *TANULMÁNYOK, KÖNYVRÉSZLET*

- KÓBOR, B., **BOZSÓ, G.**, VASS, I., CSANÁDI, A., MEDGYES, T., SZANYI, J., KURUNCZI, M., GAÁL, I., JÁNOSI, T., PÁL-MOLNÁR, E. (2008): Az alternatív energiahasználat fejlesztési lehetőségei a Dél-alföldi Régióban. (ISBN: 978-963-06-5337-4).
- BOZSÓ, G.**, CSANÁDI, A., MEDGYES, T., KURUNCZI, M., KÓBOR, B., SZABOLCS, T., SZANYI, J., JÁNOSI-MÓZES, T. (2010): Termálenergia-fejlesztési projektrendszer a Dél-alföldi régióban 2010 - Szükségletfeltárás, helyzetkép, fejlesztési lehetőségek azonosítása, potenciális beruházási helyszínek ismertetése. Dél-alföldi Termálenergetikai Klaszter, Szeged, 112p.
- BOZSÓ, G.**, CSANÁDI, A., CSANÁDI, B., MEDGYES, T., KÓBOR, B., KURUNCZI, M., BATKI, A., JÁNOSI-MÓZES, T., SZANYI, J. (2010): A Dél-alföldi Termálenergetikai Klaszter Stratégiája a Dél-alföldi régió termálenergia kihasználásának fejlesztéséhez (2009-2011). InnoGeo Kft, Szeged, 82p.
- SZANYI, J.**, MEDGYES, T., KÓBOR, B., KOVÁCS, B., JÁNOSI-MÓZES, T., CSANÁDI, A., **BOZSÓ, G.** (EDS.) (2010): Szemelvények a geotermikus energia hasznosítás hidrogeológiai alkalmazásaiból. InnoGeo Kft., Szeged, 157p. (ISBN: 978-963-06-9622-7).