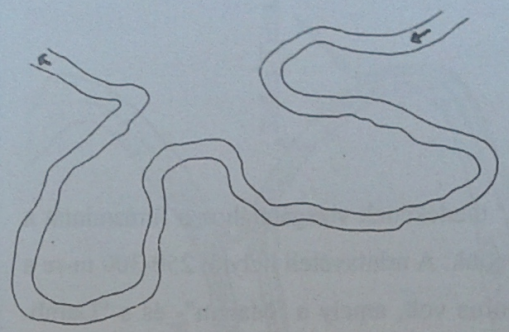
A szabadságharc alatt a munkálatok szüneteltek, majd 1852-ben újraindultak. A gátak felügyeletét 1858-ban szervezték meg. A későbbi árvizek szükségessé tették a gátak folyamatos megerősítését (BOTÁR és KÁROLY, 1971).

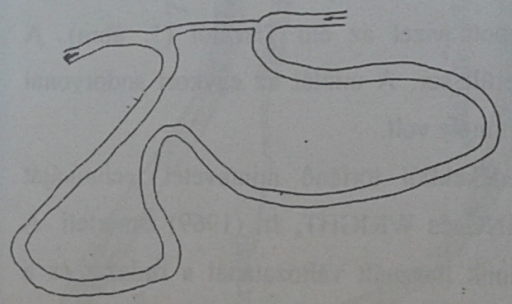
A kanyarulatot egy mesterségesen épített csatornával vágták le (2. ábra), melynek mélysége 1,58 m, fenékszélessége 11 m volt. Az új meder kibővítését a folyó maga végezte el. Fokozatosan hagyta el a régi útját és haladt az új csatornában. Ez a folyamat évtizedekig is eltartott, így a tiszadobi Holt-Tisza kb. 100-120 éve szakadt le az élő Tiszáról (3. ábra). A 11 km hosszú morotvát a közlekedés megkönnyítése érdekében keresztgátakkal részekre osztották. Így jött létre a "Darab-Tisza", a "Falu-Tisza", a "Malom-Tisza" és a "Szűcs-Tisza" (4. ábra).

A holtág növényzete

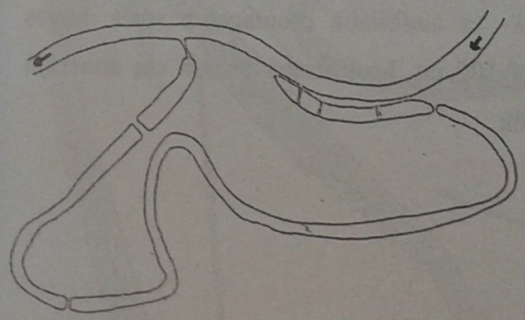
A holtág növényzetének kialakulását elsősorban a folyóvíz munkája, az árvizek határozzák meg, az éghajlat hatása csak másodrendű szerepet tölt be. A holtág létrejötte a folyóvíz drasztikus építő-romboló munkájának végét jelentette. A partok mentén mocsári növényzet található. A magasabb területeken (az Andrássy-kastély és az élő Tisza között) az árterekre jellemző tölgy-kőris-szil ligeterdők egyik legszebb hazai állományát láthatjuk. A magasparton nádast nem találunk, a meder esése miatt a hínaras csak egy keskeny sávot alkot.Az úszóláphoz közeli szakaszon a hínárzat rendkívül dús, fajaiban pedig eltér a "Malom-Tisza" falu felé eső részeinek hínár vegetációjától. A "Malom-Tisza" felső végén alig egy évszázad alatt jött létre úszóláp. Ma ez a legfiatalabb és legismertebb ingóláp az Észak-Alföld területén (BORICS, 1991).



1. ábra. Tiszadobnál a Tisza folyó medre a folyamszabályozás előtt (1783).



2. ábra. A szabályozás során a Tisza folyamatosan hagyta el medrét és folyt az új csatornában (1856-1860).



3. ábra. A Tisza és a lefűződött morotva röviddel a szabályozás után (1883).



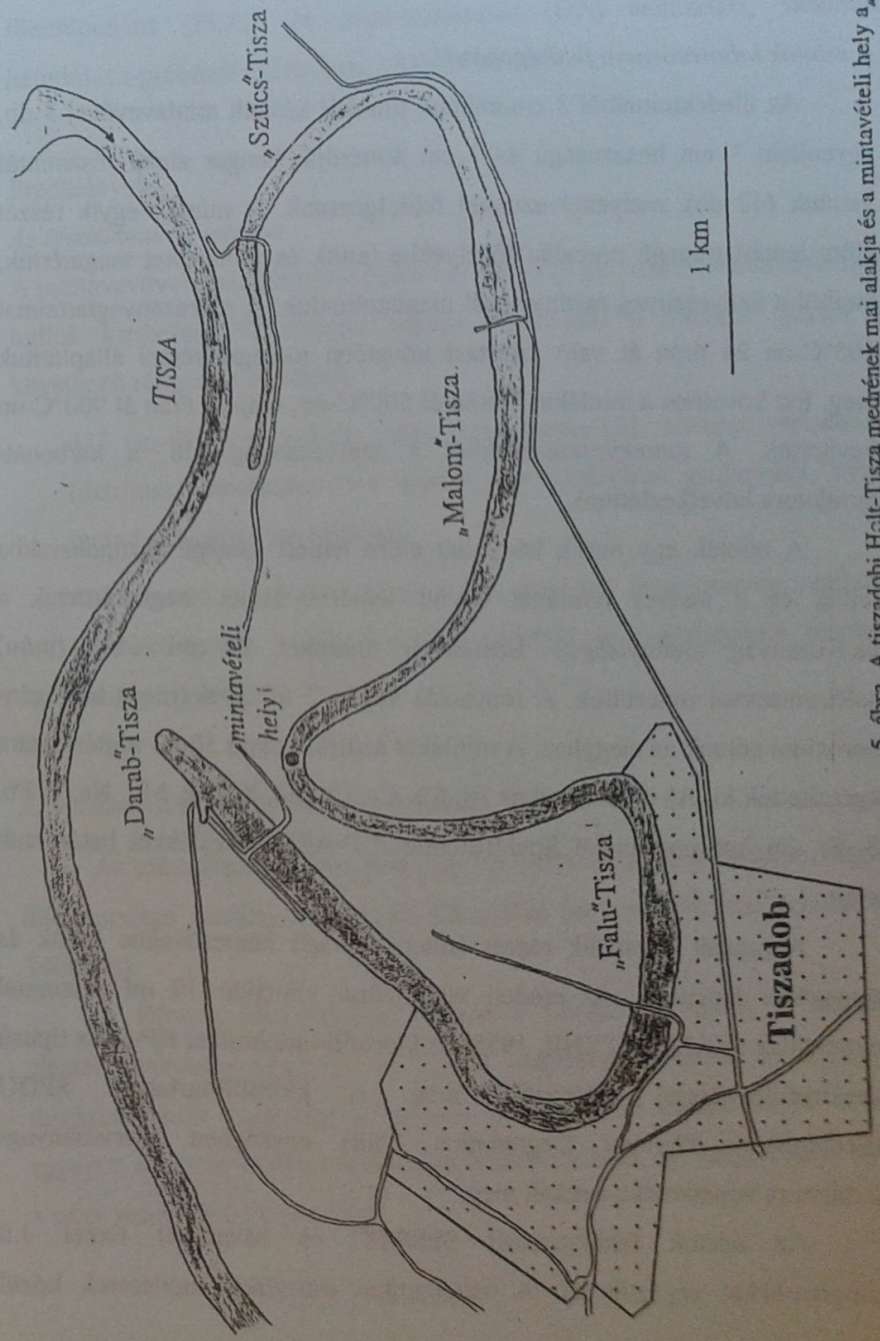
4. ábra. A tiszadobi Holt-Tisza mai képe (1977)

Anyag és módszer

Mintavétel

A tiszadobi "Malom-Tisza" üledékének vizsgálatához a fúrásmintát a mederszakasz fôkanyarulatánál vettük. A mintavételi helytôl 250-300 m-re a múlt század végén még egy csatorna volt, amely a "Malom"- és a "Darab-Tiszát" kötötte össze. Így a vizsgált terület nemcsak a "Falu"- , hanem a "Darab-Tiszán" keresztül is kapott vizet az élô Tiszától (5. ábra). A mintavételre 1995. 02. 14-én került sor. A mintát az egykori sodorvonal helyérôl vettük, ahol a víz 470 cm mély volt.

Konszolidálatlan tavi üledékekbôl történô mintavétel technikáját LIVINGSTONE (1955), CUSHING és WRIGHT, Jr. (1969) ismerteti. A Livingstone-féle mintavevô általunk használt változatánál a rudazat és a rögzítôcsavarok kivételével az összes alkatrész mûanyagból készült. A fúrásmintát feldolgozásig folpack- és alufóliába csomagolva sötét, hûvös helyen tároltuk. A mintavevôvel 100 cm hosszúságú és 3.6 cm átmérôjû bolygatatlan magminták nyerhetôk.



5. ábra. A tiszadobi Holt-Tisza medrének mai alakja és a mintavételi hely a „Malom"-Tisza fô kanyarulatánál

A minták laboratóriumi feldolgozása

Az üledékmintából 3 cm-enként, titánból készült mintavevôvel 3 db, egyenként 1 cm hosszúságú és 1 cm átmérôjû, henger alakú részmintát vettünk (42 db), melyeket azonnal feldolgoztunk. A minták egyik részét elôre lemért tömegû porcelán tégelyekbe tettük és tömegüket megmértük, amibôl a nedvesanyag mennyiségét meghatároztuk. A szárazanyagtartalmat 105°C-on 24 órán át való szárítást követôen tömegméréssel állapítottuk meg. Ezt követôen a mintákat 5 órán át 500°C-on, majd 5 órán át 900°C-on hevítettük. A tömegveszteségekbôl a szervesanyag-, ill. a karbonát-tartalomra következtettünk.

A minták egy másik hányadát elôre lemért tömegû fôzôpoharakba tettük és a nedves mintával együtt lemérve ismét meghatároztuk a nedvesanyag mennyiségét. Ezután a mintákat 20 ml 65% (m/m) salétromsavval roncsoltuk. A roncsolás végén 2 ml 30% (m/m) hidrogén-peroxidot adtunk az elegyhez. A mintákat szûrtük, majd 50 ml végtérfogatra egészítettük ki. Az oldatokból az Al, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Pb, S, Sr, Zn koncentrációját Spektroflame ICP-AES készülékkel határoztuk meg.

A minták harmadik részét ismert tömegû kémcsövekbe tettük és tömegüket lemértük. Az eredeti víztartalmú mintákat 10 ml acetonnal extraháltuk (VALLENTYNE, 1955) és klorofill-tartalmukat HP-845x típusú spektrofotométerrel határoztuk meg. A klorofill-tartalmat SPDU (Sedimentary Pigment Degradation Unit) egységben szervesanyag-tartalomra vonatkoztatva adtuk meg.

Az adatok feldolgozását SPSS/PC és Microsoft Excel 4.0 programokkal végeztük el. A matematikai statisztikai módszerek közül

fôkomponens (PCA)- és diszkriminancia (DA) analízissel, valamint kétmintás t-próbával dolgoztunk (SVÁB 1979).

Eredmények

Az üledékminták leírása

A mintavevôvel a vízfelszíntôl számított 477-600 cm közötti üledékoszlopot tudtuk kiemelni. Morfológiai sajátságai alapján a vizsgált üledék a következô rétegekre bontható:

477 cm-492 cm: Fekete színû, laza szerkezetû, növényi törmeléket (detritusz) tartalmazó tavi üledék. Az üledékben gyökereket, csiga maradványokat nem találtunk.

492 cm-600 cm: Kékesszürke színû, alacsony szervesanyag tartalmú, makroszkópikus növényi maradványoktól és csigahéjaktól mentes, homogén üledék.

Az eredmények statisztikai feldolgozása

Az elemtartalom, szervesanyag- és karbonáttartalom alapján végzett fôkomponens analízis a vizsgált változókat három csoportba sorolta (1. Táblázat).

A fôkomponens értékek alapján a változókat három, a mintákat cluster analízissel négy (*A*, *B*, *C*, *D*) csoportra bontottuk (6. ábra). A diszkriminancia függvénnyel végzett besorolás az esetek 97,56 %-ban egyezett a cluster analízissel kialakított csoportokkal, így megerôsítést nyert a négy zónába való besorolás.

Változócsoportok és jellemzôik

1. S, ODM, P, Al, Na, Ca, Sr, CO_3^{2-}

Ezen elemek és a szervesanyag mennyisége a *B* zónában az *A* zónához képest lecsökken. Ezután értékük fokozatosan nô, maximális mennyiségben a legfelsô, *D* zónában fordulnak elô. Ez a növekedés legjobban a S- és a szervesanyag-tartalomnál figyelhetô meg.

2. Cr, Mg, K

A fenti elemek változása az elôzô csoport elemeitôl jelentôsen eltér. Az *A* zónában elért értékük a *B* zónában lecsökken, majd a *C* zónában maximális mennyiségben fordulnak elô. A legfelsô rétegben újabb csökkenés figyelhetô meg.

3. Zn, Cu, Fe, Mn, Pb

Az elemek maximuma az *A* zónában található (kivétel Pb). Ezután két újabb csoportra bonthatjuk ôket. A Fe, Cu, Zn a felszín felé haladva fokozatosan csökken, míg a Mn és Pb csak a *C* zónáig csökken, majd a *D* zónában növekedés tapasztalható.

A zónák jellemzôi

A-zóna:

Nagyon alacsony a szerves anyag (4 %), a CO_3^{2-} (4%) és a víztartalom (40-45 %), míg a sûrûség magas értéket vesz fel (1,4-1,6 g/cm³). Az elemek többsége jelentôs mennyiségben fordul elô ebben a zónában , kivétel a Na, P, Al, S. 579 cm-nél a Cu, Fe, (100 mg/kg), Pb, Zn, Mn szelvény menti, míg a többi elem helyi maximumot mutat. A Fe:Mn arány magas.

B-zóna:

A szervesanyag (3.5 %), CO_3^{2-} (3.5 %), víztartalom, porozítás minimálisra csökken. A sûrûség a maximumát itt éri el, 1,6 g/cm³. Minden elem mennyisége az elôzô zónához képest csökken, a legtöbb elem minimális mennyiségben itt fordul elô, ezen belül 582 cm-nél és 540 cm-nél, kivéve a Fe, Mg, Mn, Cu, Zn. A Fe és Mn mennyisége és aránya kis mértékben csökken.

C-zóna:

A szervesanyag- (5-8%), karbonát- (4-6%) és víz- (50-60%) tartalom nô, a sûrûség értéke csökken. A Fe és Mn kivételével minden elem koncentrációja nagyobb az elôzô zónához képest. A Fe jelentôsen ingadozik, átlagos értéke a *B* zónától kisebb, de 552 cm-nél az *A* zónában elért maximális értékben is elôfordul. 552 cm-nél még más elemek (Cr, Fe, K, Mg) szelvénymenti maximuma is jelentkezik. A többi elemnek csak helyi maximuma van. Az egész zónán keresztül a Cr, Cu, Fe változása párhuzamosan történik.

D-zóna:

A szervesanyag (12%), klorofill, CO_3^{2-} (7,5%), víztartalom (80%), porozitás értéke jelentôsen megnô. A víz mennyiségével párhuzamosan a sûrûség értéke csökken, megközelíti a víz sûrûségét. Az Al, Ca, Na, P, Pb, S, Sr maximális értékeket itt érnek el. A legtöbb elem mennyisége az elôzô zónához képest nô, kivéve a Fe, Cu, Cr, K , Mg. Ezek mennyisége annyira lecsökken, hogy minimális értékben ebben a zónában fordulnak elô. A felszín felé közeledve minden elem mennyisége csökken, kivételt képez a Na és az Pb. A Fe és Mn aránya ebben a zónában a legkisebb. A S mennyisége jelentôsen megnô. A korábbi zónákban 50-200 mg/kg, míg itt 700 mg/kg koncentrációban fordul elô.

A periodikusan ismétlődő zónát vizsgálata

A vizsgált mintákat két csoportra osztottuk. A változónként elvégzett kétoldalú t-próba segítségével vizsgáltuk meg, hogy az 555 cm-490 cm közötti és a 600-555 cm közötti üledék milyen mértékben különbözik egymástól. Kétoldalú t-próbát az *A* zónára, majd a *B, C* zónára végeztük el. A 2. táblázatban látható, hogy az *A* zóna esetében a két csoport átlaga minden vizsgált változónál megegyezik. A *B* és *C* zónáknál négy esetben találunk szignifikáns eltérést.

Diszkusszió

Elemösszetétel alapján a vizsgált mintákat a cluster analízis négy (*A, B, C, D*) zónára bontotta. Három (*A, B, C*) zóna egymás után ismétlődve helyezkedik el, míg a *D* zóna csak az üledék felsô rétegeiben található (7a. ábra). Mivel az áradások periódikusan ismétlődtek, a *D* zóna nem rakódhatott le áradások alkalmával.

A-zóna

Az elemek többsége ebben a zónában jelentôs mennyiségben fordul elô, kivétel a Na, P, Al, S. A Fe és Mn is legnagyobb mennyiségben ebben a zónában található, amely arra utal, hogy az *A* zóna kialakulásakor az üledék feletti víz oxidatív volt. 579 cm-nél a legtöbb elem szelvényimenti ill. helyi maximumot ért el. Az alacsony szervesanyag-, S-P- és klorofilltartalom alapján az üledék lerakódásakor a szervesanyag termelés és lebontás egyensúlyban volt.

Ezen üledékminták Cu, Pb és Zn tartalma magas. A nehézfémek általában savas közegben mobilizálódnak, szerves anyagokhoz komplex formában kötôdnek (MANNIO et al., 1992). A Cu könnyen adszorbeálódik szervesanyagok, Mn- és Fe-oxidok, agyagásványok felületén (ADEDIRAN

és KRAMER, 1986). Mivel természetes vizeink kémhatása semlegeshez közeli, ezért a nehézfémek (Cu, Pb, Zn) szervesanyag, Fe-, Mn-oxidok, ill. agyagásványok felületéhez kötötten kerülhettek az üledékbe. A tiszadobi "Malom-Tisza" üledékében a nehézfémek koncentrációja a szervesanyag-tartalommal nem korrelált, de a Fe és Mn-tartalommal párhuzamosan változott, ezért a Cu, Pb és Zn a morotvába a Fe- és Mn-oxidokon adszorbeálódva és a lebegô anyagon megkötôdve kerülhetett be.

A t-próba alapján az *A* zóna az 555 cm alatti és feletti rétegeiben szignifikáns eltérést nem tapasztalunk, ezért ez a zóna az üledék teljes hosszában homogénnek tekinthetô. Áradások alkalmával a folyó által lebegtetve szállított Fe- és Mn- hidroxidok, -oxihidrátok mennyisége jelentôs. Ezek figyelembevételével feltételezhetjük, hogy az *A* zóna egy-egy árvizes idôszak üledéke, ezért ezt a zónát nevezhetjük "áradási" zónának.

B-zóna

Minden elem mennyisége az elôzô zónához viszonyítva csökken és a legtöbb elem minimális mennyiségben itt fordul elô. A Mn és Fe mennyisége és egymáshoz viszonyított arányuk kis mértékben csökken, vagyis az üledék még mindig oxidatív körülmények között alakult ki. Ebben a zónában legalacsonyabb a szervesanyag-, P-, S- és klorofill-tartalom, ezért ezen zóna kialakulásakor a szervesanyag termelése és lebontása között viszonylagos egyensúlyi állapot volt.

C-zóna

A *C* zónában a vizsgált elemek koncentrációja szignifikáns növekedést mutat, de alacsony marad a Cu, Pb, Sr, Zn mennyisége. Ebben a zónában a Fe és Mn mennyisége ingadozik. A felszínhez közeledve csökken a Fe és Mn koncentrációja, amely a környezet reduktív jellegének kialakulását jelzi. A szervesanyag-, klorofill-, P- és S -tartalom a felszínhez közeledve jelentősen nő, amely a szervesanyag termelődése és lebontása közötti egyensúly eltolódását indikálja.

A *B* és *C* zónák az *A* zóna között helyezkednek el. Ezen utóbbi két zónára elvégzett t-próba alapján az 555 cm alatti és feletti rétegek egyes elemeknél (ODM, CO_3^{2-}, Al, Mg, S) szignifikánsan különböznek, ezért ezek a zónák az üledék teljes hosszában inhomogénnek tekinthetők.

D-zóna

A *D* zónában a Fe és Mn mennyisége és arányuk lecsökken, amely alapján az üledék reduktív körülmények között rakódott le. 489 cm-nél minden elem koncentrációja globális, vagy lokális maximumot mutat, amely környezeti változásra utal. A *D* zónában, amely az üledék legfelső szintjén található, a szervesanyag-, klorofill- , P és S tartalom ugrásszerű növekedését tapasztaltuk, mely az üledék határfelületén lejátódott biológiai és kémiai folyamatok eredménye. A növekvő szervesanyag termelés, a magas klorofilltartalom a morotva eutrofizációjára utal. Az üledékben a szervesanyag-tartalommal párhuzamosan változott a kén mennyisége. Ez a tendencia a *D* zónában is érvényes, a S mennyisége a korábbi 50-200 mg/kg-hoz képest 700 mg/kg értéket is elért.

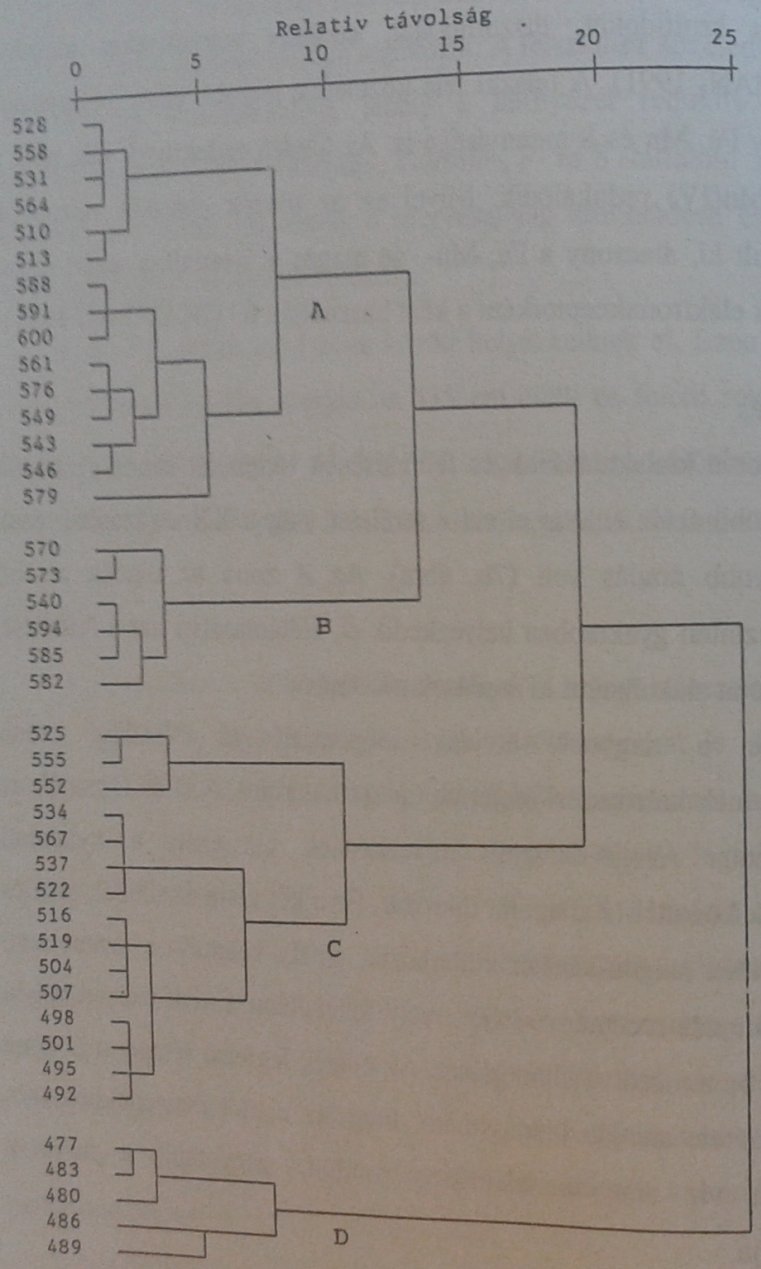
A S általában a vashoz és szervesanyaghoz kötődik, a vassal szulfidos érceket alkot (MACKERETH, 1966). Ez a tiszadobi "Malom-Tisza" üledékénél nem valósulhatott meg, mivel a Fe és S mennyisége ellentétesen változott az egész magmintán keresztül. A S a szervesanyag-tartalommal korrelált. A S a szervesanyaggal többféle formában alakíthat ki kapcsolatot, így szerves szulfidokat, diszulfidokat, ciklikus vegyületeket alkothat (FERDELMAN, 1991). A felszín felé közeledve legtöbb elem mennyisége csökken, így Fe, Mn és S mennyisége is. Az üledék reduktívvá vált, ahol a Fe(III) és Mn(IV) redukálódik. Mivel ez az üledék anareob viszonyok között alakult ki, alacsony a Fe, Mn-, de magas a S-tartalma, ezért egyes baktériumok elektronakceptorként a ként használják fel (BODREAU 1991).

Összefoglalás

A morotva kialakulásának és fejlődésének történetét ismerve, a múlt században több árvíz öntötte el ezt a területet, míg a XX. században csak három nagyobb áradás volt (7b. ábra). Az *A* zóna az üledék alsóbb rétegeiben szintén gyakrabban helyezkedik el, alátámasztva azt a feltevést, hogy az *A* zóna alakulhatott ki áradások alkalmával.

Ismerve a nagyobb árvizek időpontjait az "áradási" zóna üledékrétegeinek keletkezési idejét be tudtuk határolni. A B és C zónák az "áradási" zóna rétegei között helyezkednek el, ezért a nyugalmi körülmények közötti víz állapotát tükrözik. Ez a két zóna az üledék alsó és felső rétegeiben szignifikánsan különbözik, amely valamilyen számottevő ökológiai változás eredménye lehet, mely feltehetően a múlt század végén következett be a morotva állapotában. Az üledék legfelső rétege, a *D* zóna kémiai összetétele alapján bizonyítható, hogy az elmúlt évtizedekben (kb. 1970-től) a víz állapota jelentősen romlott, felgyorsult a morotva eutrofizációja.

6. ábra. Az üledékminták csoportosítása a főkomponens értékek cluster analízisével



1. táblázat. A vizsgált változók kapcsolatrendszerének értelmezése a varimax rotált főkomponenssúlyok alapján.

Változó	PCA 1	PCA 2	PCA 3	Kommunalitás
S	**0.9795**	0.0923	0.0156	0.9681
ODM	**0.8965**	0.1863	-0.0122	0.8386
P	**0.7184**	0.1811	-0.1013	0.5592
Al	**0.7347**	0.2745	**-0.5323**	0.8984
Na	**0.7990**	0.4223	0.0821	0.8234
Ca	**0.7798**	0.2644	0.2770	0.7548
Sr	**0.6391**	**0.6039**	0.2773	0.8500
CO_3^{2-}	**0.8955**	0.3192	-0.0893	0.9118
Cr	**-0.6624**	**0.5895**	-0.4008	0.9468
Mg	**-0.7405**	0.3909	-0.4510	0.9046
K	-0.3681	**0.7039**	**-0.5357**	0.9179
Zn	**-0.5886**	**0.5359**	0.3723	0.7722
Cu	**-0.7382**	**0.5331**	0.2471	0.8902
Fe	**-0.9748**	0.1507	0.0644	0.9772
Mn	-0.4332	0.1307	**0.6339**	0.6065
Pb	0.0612	**0.7651**	0.3715	0.7272
sajátérték	8.43	3.06	1.86	
variancia %	52.7	19.1	11.6	
kummulatív variancia %	52.7	71.8	83.4	

2. táblázat. A zónák átlagos elemösszetételének összehasonlítása t-próbával.
(*: 0.01≤p<0.05, **: 0.001≤p<0.01, ***: p<0.001)

Elemek	A zóna (477-555 cm)	A zóna (555-600 cm)	t	B-C zónák (477-555 cm)	B-C zónák (555-600 cm)	t
ODM (%)	4.48	4.51	-0.17	4.87	4.32	2.45*
CO_3^{2-} (%)	4.17	4.08	0.62	4.38	3.52	6.51***
Al (mg/kg)	11221.7	10369.45	1.68	13047.11	10247.5	3.17**
Ca (mg/kg)	5613.91	5275.62	0.63	4976.88	4302.38	1.71
Cr (mg/kg)	36.78	36.02	0.54	36.1	32.56	1.37
Cu (mg/kg)	29.4	31.3	-1.13	25.7	26.71	-0.75
Fe (mg/kg)	88410.92	94008.9	-1.01	76001.98	85859.6	-1.41
K (mg/kg)	3741.5	3903.67	-0.96	4005.09	3342.7	2.02
Mg (mg/kg)	6380.17	6169.9	1.1	6350.23	6102.95	0.73
Mn (mg/kg)	749.72	763.88	-0.3	619.83	736.87	-3.37
Na (mg/kg)	84.5	90.06	-1.85	88.84	86.19	0.76
P (mg/kg)	561.55	488.85	1.78	564.19	467.77	1.98
Pb (mg/kg)	88.75	90.34	-0.21	72.54	72.8	-0.04
S (mg/kg)	496.97	425.82	1.05	698.19	370.69	310**
Sr (mg/kg)	24.15	24.67	-0.42	22.12	21.05	1.5
Zn (mg/kg)	188.7	221.99	-1.18	137.05	128.1	0.5

7. ábra
a.) Az üledéktípusok meghatározása elemtartalom adatok cluster analízise alapján

b.) A tiszai árvizek gyakorisága az elmúlt 150 év során

IRODALOM

ADEDIRAN, S.A., KRAMER, J.R. 1987 Copper adsorption on clay, iron-manganese-oxide and organic fractions along a salinity gradient. Applied Geochemistry, 2:213-216.

BORICS G. 1991 Természetvédelmi intézkedéseket alapozó vizsgálatok a tiszadobi Malom-Tisza holtágon, különös tekintettel az úszólápra. Diplomadolgozat, KLTE Ökológiai Tanszék, Debrecen

BOTÁR I., KÁROLY ZS. 1971 A Tisza szabályozása I. Víz. Dok. Budapest, 18-36.

BOUDREAU, B.P. 1991 Modelling the sulfide-oxygen reaction and associated pH gradients in porewaters. Geochimica et Cosmochimica Acta, 55:145-159.

CUSHING, E.J., WRIGHT, H.E., 1965 Hand-operated piston borers for lake sediments. Ecology, 36:137-139.

FERDELMAN, T.G., CHURCH, T.M., LUTHER III, G.W. 1991 Sulfur enrichment of humic substances in a Delaware salt marsh sediment core. Geochemicia et Cosmochimica Acta, 55:979-988.

LIVINGSTONE, D.A. 1955 A lightweight piston sampler for lake deposits. Ecology 36:137-139.

MACKERETH, F.J.H. 1966 Some chemical observations on post-glacial lake sediments. Phylosophical Transaction of the Royal Society of London B, 250:165-213.

MANNIO, J., VERTA, M., JARVINEN, O. 1993 Trace metals concentrations in the water of small lakes, Finland. Applied Geochemistry, Suppl. Issue No. 2:57-59.

SVÁB J. 1979 Többváltozós módszerek a biometriában. Mezôgazdasági Kiadó, Budapest 221 pp

VALLENTYNE, J. R. 1955 Sedimentary chlorophyll derivates as a paleobotanical method. Can. J. Bot., 35:304-313.