

<https://doi.org/10.3176/biol.1977.3.07>

УДК 556.555.7

Aini LINDPERE, Henno STARAST

SAADJÄRVE PINDMISE SETTEKIHI KEEMILINE JA MINERALOOGILINE KOOSTIS

Saadjärv, Eesti suurimaid ja sügavaimaid järvi, asub tüüpilises suurvoortemaastikus. Voored, millel domineerivad viljakad leostunud kamar-karbonaatmullad, on suures osas põllustatud. Paiguti ulatuvad põllud järve kaldale, kuid enamasti jääb järve äärde riba soostunud niitu, võsa või sood. R. Männili (Eesti järved, 1968) andmeil on Saadjärve loodeservas 50 ha suurune järvelubjalasund, mille paksus on kuni 1,8 m. Järve läbivool on nõrk.

Saadjärve üldpindala on 707,6 ha. Ta jaguneb kaheks osaks — kagupoolseks Suurjärveks, mille suurim sügavus on 25 m, ning loodepoolseks kitsamaks ja madalamaks Tabivere ehk Voldi järveks (Eesti järved, 1968). K. Veberi (1964) andmeil leidub järves sapropeeli 530 ha suurusel alal. Mudakihi keskmine paksus on 4 m. Eesti järvede hüdrokeemilise klassifikatsiooni järgi (Simm, 1975) kuulub Saadjärv A-tüüpi, toitumuselt on ta eutroofne.

Käesolevas artiklis iseloomustatakse Saadjärve põhjasetete pindmist kihti tuha, Si, Ca, Fe, Al, P, K, Mn, Ni, Co, Ag, Cu, V, Sn, Bi, Pb ja N sisalduse ning mineraloogilise koostise põhjal.

Materjal ja meetodika

Proovivõtupunkte valiti kolm: proov 1 võeti Suurjärve sügavaimast kohast, proov 2 Suurjärve kagupoolsest osast ja proov 3 Tabivere järvest. Proovid koguti Ruttneri batomeetriga sette pindmisest, kuni 10 cm sügavusest kihist.

Mineraalsed makroelemendid määrati ZBI geobiokeemialaboratooriumis turvasmuldade analüüsil kasutatavat meetodikat (Lindpere, 1963) rakendades. Selle kohaselt proov tuhastati temperatuuril 500 °C, lahustati soolhappes ning määrati lahuse kaltsiumi-, raua-, alumiiniumi-, fosfori- ja kaaliumisisaldus. Mikroelementidesisalduse määras M. Reeben EPA keemiakateedris spektraalanalüüsi, mangaanisisalduse kolorimeetrilisel meetodil. Järvesette lämmastikuhulgad tegi kindlaks V. Pihl TRÜ keemilise kineetika laboratooriumis elementaaranalüüsimetodil. Mineraloogiline koostis määrati TRÜ mineraloogiakabinetis röntgendifraktomeetrilisel meetodil (Утсал, 1971).

Tulemused ja arutelu

Setete koostis. Mineraalsetest elementidest on Saadjärve põhjasetete pindmises kihis kõige rohkem kaltsiumi — 10,2—19,0% (tabel 1). Põhiliseks kaltsiumi esinemisvormiks on kaltsiit, seda leidub kõigi Saadjärve eri piirkondade setetes ((joon. 1). Kaltsiit moodustab setete mineraloogilisest koostisest 85—90%.

Tabel 1

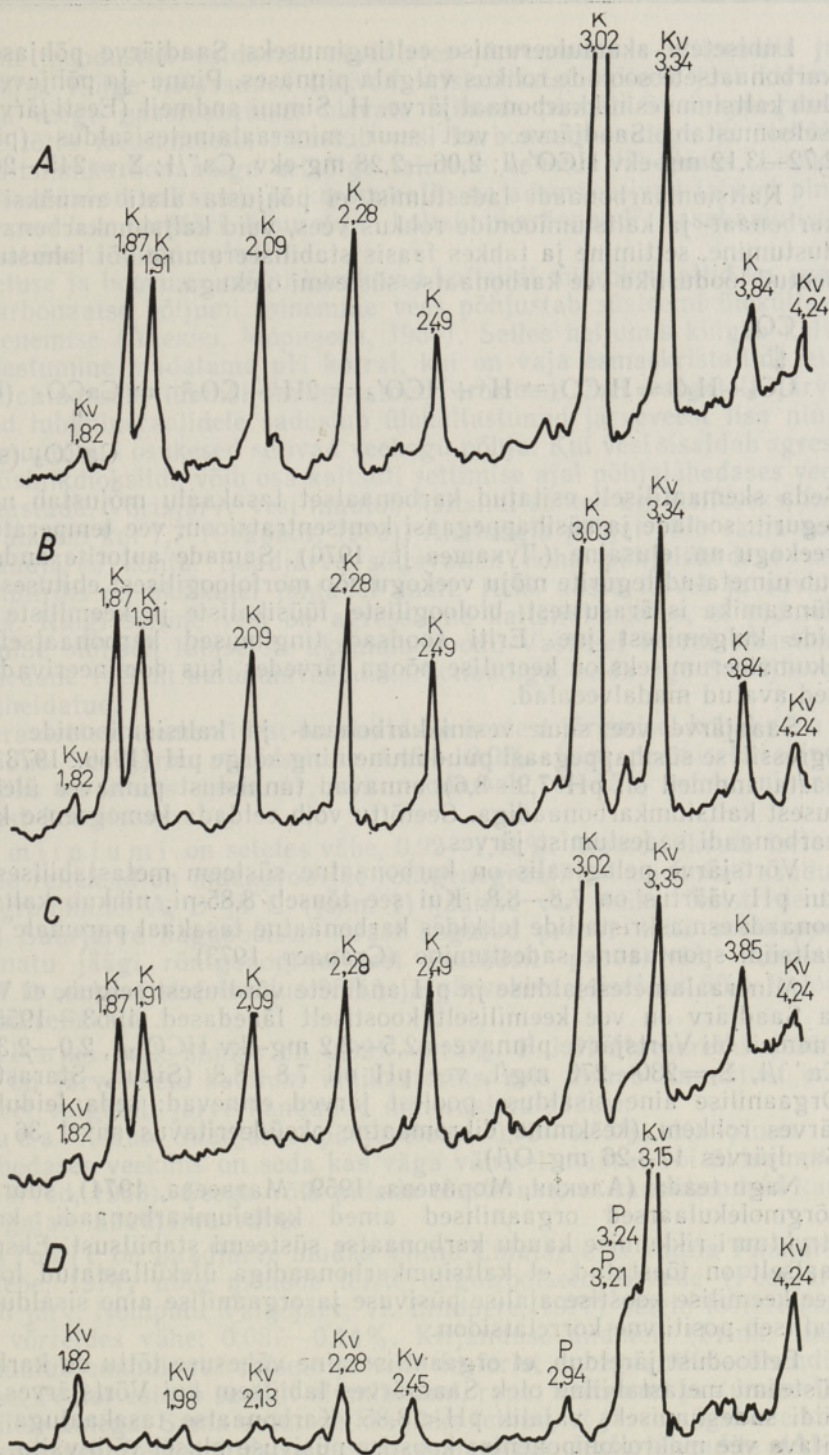
Saadjärve pindmise settekihi makroelementidesisaldus
(% -des absoluutselt kuiva proovi kohta)

Proovi nr.	Proovi võtmise		Tuhas-	Tuhasta-	Si	Ca	Fe	Al	K	P	N
	koht	sügavus, m									
1	Suurjärve sügav osa	21,8—21,9	6. IV 1972	70,3	29,7	10,9 21,8	15,8 22,1	1,41 2,66	0,13 0,16	0,14 0,32	0,91
2	Suurjärve kagupoolne osa	5,8—5,9	3. VI 1973	74,5	25,5	9,16 19,6	19,0 26,6	0,92 1,73	0,11 0,13	0,096 0,22	1,20
3	Tabivere järv	4,5—4,6	6. IV 1972	42,7	57,3	4,48 9,59	10,2 14,3	0,94 1,77	0,091 0,11	0,087 0,20	2,53

Tabel 2

Saadjärve pindmise settekihi mikroelementidesisaldus
(µg/g absoluutselt kuiva proovi kohta)

Proovi nr.	Proovi võtmise		Ni	Co	Ag	Cu	V	Sn	Bi	Pb	Mn	
	koht	sügavus, m										aeg
1	Suurjärve sügav osa	21,8—21,9	6. IV 1972	12	1,5	0	11	17	0	0	31	670
2	Suurjärve kagupoolne osa	5,8—5,9	3. VI 1973	8	2	0	18	12	0	0	5,7	770
3	Tabivere järv	4,5—4,6	6. IV 1972	7,8	1,7	0	16	7,4	0,7	0	25	260



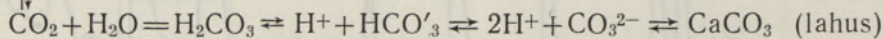
Saadjärve pindmise settekihi mineraloogiline koostis (K — kaltsiit, Kv — kvarts, P — päevakivid).

A — sügava osa sete, B — kaguosa sete, C — Tabivere järve sete, D — kaguosa järvesette tuha soolhappes lahustumatu jääk,

Lubisetete akumulatsioonise eeltingimuseks Saadjärve põhjaseteis on karbonaatsete soolade rohkus valgala pinnases. Pinna- ja põhjaveega kandub kaltsiumvesinikkarbonaat järve. H. Simmi andmeil (Eesti järved, 1968) iseloomustab Saadjärve vett suur mineraalainetesisaldus (pinnakihi 2,72—3,12 mg-ekv HCO_3^- /l; 2,06—2,28 mg-ekv. Ca^{++} /l; $\Sigma_1=245-264$ mg/l).

Kaltsiumkarbonaadi ladestumist ei põhjusta alati ainuüksi vesinikkarbonaat- ja kaltsiumioonide rohkus vees, vaid kaltsiumkarbonaadi moodustumine, settimine ja tahkes faasis stabiliseerumine või lahustumine on seotud loodusliku vee karbonaatse süsteemi olekuga.

$$\text{CO}_2$$

$$\updownarrow$$


$$\updownarrow$$

$$\text{CaCO}_3 \text{ (sade)}$$

Seda skemaatilisel esitatud karbonaatset tasakaalu mõjustab neli põhitegurit: soolade ja süsihappegaasi kontsentratsioon, vee temperatuur ning veekogu nn. elusaine (Лукашев jt., 1970). Samade autorite andmeil sõltub nimetatud tegurite mõju veekogu nõo morfoloogilisest ehitusest, hüdrodünaamika iseärasustest, bioloogiliste, füüsikaliste ja keemiliste protsesside kulgemisest jne. Eriti soodsad tingimused karbonaatsete akumulatsiooniseks on keerulise nõoga järvedes, kus domineerivad laialdased avatud madalveevalad.

Saadjärve vee suur vesinikkarbonaat- ja kaltsiumioonide sisaldus, agressiivse süsihappegaasi puudumine ning kõrge pH (1956., 1973. ja 1974. aasta andmeil oli pH 7,9—8,6) annavad tunnistust pinnavee üleküllastusest kaltsiumkarbonaadiga. Seetõttu võib eeldada kemogeense kaltsiumkarbonaadi sadestumist järves.

Võrtsjärve pelagiaalis on karbonaatne süsteem metastabiilses olekus, kui pH väärtus on 7,8—8,8. Kui see tõuseb 8,85-ni, nihkub kaltsiumkarbonaadi esmakristallide tekkides karbonaatne tasakaal paremale — algab kaltsiidi spontaanse sadestumine (Страпач, 1973).

Mineraalainetesisalduse ja pH andmete võrdlusest selgub, et Võrtsjärv ja Saadjärv on vee keemiliselt koostiselt lähedased. 1953.—1955. aasta andmeil oli Võrtsjärve pinnavees 2,5—3,2 mg-ekv HCO_3^- /l, 2,0—2,3 mg-ekv Ca^{++} /l, $\Sigma_1=230-270$ mg/l, vee pH oli 7,8—8,8 (Simm, Starast, 1965). Orgaanilise aine sisalduse poolest järved erinevad: seda leidub Võrtsjärves rohkem (keskmine dikromaatne oksüdeeritavus suvel 36 mg O/l, Saadjärves 17—26 mg O/l).

Nagu teada (Алекин, Моричева, 1959; Матвеева, 1974), suurendavad kõrgmolekulaarsed orgaanilised ained kaltsiumkarbonaadi kristallide struktuuri rikkumise kaudu karbonaatse süsteemi stabiilsust. Eksperimentaalselt on tõestatud, et kaltsiumkarbonaadiga üleküllastatud loodusliku vee keemilise koostise ajalise püsivuse ja orgaanilise aine sisalduse vahel valitseb positiivne korrelatsioon.

Eeltoodust järeldub, et orgaanilise aine vähesuse tõttu on karbonaatse süsteemi metastabiilne olek Saadjärves labiilsem kui Võrtsjärves ja kaltsiidi sadestumiseks vajalik $\text{pH} < 8,85$. Karbonaatse tasakaaluga reguleeritava vee makrokomponentse koostise püsivuse alusel võib väita, et tingimused kaltsiidi spontaanse sadestumiseks Saadjärve pelagiaalis on vaid ajuti soodsad — siis, kui vee $\text{pH} > 8,6$. Kristallisatsioonide tekkimiseks peavad vees alalises korrapärasus liikumises olevad kaltsium- ja karbonaatioonid grupeeruma kaltsiidi kristallstruktuurile iseloomulikus korras. Iseenesest toimub niisugune grupeerumine aeglaselt.

Kaltsiit moodustub valdavalt madalates järveosades — litoraalis ja sublitoraalis. Kõige hõlpsamini tekivad kristallisatsioonid just kivimkehade ja veega gaasivahetuses olevate taimede pinnal. Süsihappegaasi tarbimise tõttu fotosünteesis rikastub vesi karbonaatioonidega ja üleküllastub kaltsiumkarbonaadiga eelkõige taimede vahetus läheduses. Lisaks sellele vähendavad kaltsium- ja karbonaatioone adsorbeerivad tahked pinnad energetilist barjääri lahuse ja kaltsiumkarbonaadi tasakaaluliste kristallisatsioonidude vahel.

Lainetuse ja hoovuste mõjul kanduvad kaltsiidi mikrokristallid ka avavette. Karbonaatse hõljumi esinemine vees põhjustab süsteemi üleküllastuse vähenemise (Алекин, Моричева, 1964). Selles heljumis kulgeb kaltsiidi sadestumine madalama pH korral, kui on vaja esmaskristallide tekkeks. Autohtoonsele lubihõljumile, samuti erosiooni teel valgalalt järve kandunud lubimineraalidele sadestub üleküllastunud järveveest lisa ning raskeks muutunud osakesed setivad veekogu põhja. Kui vesi sisaldab agressiivset süsinikdioksiidi, võib osa kaltsiiti settimise ajal põhjalähedases veekihi lahustuda. Võrtsjärve vesi muutub kaltsiidi suhtes agressiivseks, kui pH on väiksem kui 7,7 (Стараст, 1970). Analoogia põhjal võib sama eeldada Saadjärve kohta. Saadjärve sügavaima koha põhjalähedase vee pH alampiiriks on üksikutel juhtudel (näit. 1956. aasta talvel ja suvel) olnud 7,4. Kuigi selline vesi on agressiivne kaltsiidi suhtes, ei pidurda lahustumine oluliselt lubisetete akumulatsiooni. Vastasel korral rikastuks põhjalähedane veekiht kaltsiumvesinikkarbonaadiga, mida aga Saadjärves ei ole täheldatud.

Mineraalsetest elementidest on sisalduse poolest järgmisel kohal räni. Seda leidub Saadjärve põhjasetteis 4,48—10,9%. Räni peamiseks esinemisvormiks on kvarts (joon. 1), mis moodustab 10—15% setete mineraaloolilisest koostisest.

Alumiiniumi on setetes vähe, 0,92—1,41%. Alumosilikaate iseloomustavad refleksid on mudaproovide röntgenograafilisel uurimisel saadud difraktogrammidel A, B ja C (joon. 1) jäänud varjatuiks. Neist identifitseeriti Suurjärve kagupoolsest osast kogutud proovi tuha soolhappes lahustumatu jäägi röntgenograafilisel analüüsil päevakivid: difraktogramm D on kvartsi (sisaldus 95%) ja päevakive (sisaldus 5%) iseloomustavad refleksid.

Kaaliumi hulk mudas on 0,091—0,13%. F. J. H. Mackerethi (1966) arvates on järvesetete kaalium indikaatoriks, mis annab tunnistust erosiooni teel valgalalt järve kandunud mineraalmuldadest.

Rauda leidub Saadjärve põhjasetetes 0,75—1,53%. Ka pinna- ja põhjalähedases veekihi on seda kas väga vähesel määral või üldse mitte (Eesti järved, 1968). Seega võib pidada tõestatuks, et rauaühendeid kandub valgalalt Saadjärve vähe.

Fosforit on Saadjärve mudas Viitna Linajärve ja Viitna Pikkjärve (Линдпере, 1974) ning mõnede teiste oligotroofsete järvede (Pesujärv, Piigandi järv, Nohipalu Valgejärv; vt. Lindpere, 1977) setete fosforisisaldusega võrreldes vähe: 0,087—0,14%. Kirjanduse andmeil (Frink, 1967, 1969) kuulub enamik eutroofsete järvede fosforist anorgaaniliste ühendite koostisse. Fosfor esineb seotult alumiiniumi, raua, kaltsiumi ja (umbes $\frac{1}{4}$) orgaanilise ainega. Sama autor on kindlaks teinud, et järve sügavuse kasvades suureneb fosfori üldsisaldus anorgaaniliste fosforiühendite (Al-P, Fe-P) näol. Ka Saadjärves akumulereb fosfor järve sügavaima osa seteis.

Orgaanilist ainet sisaldab Saadjärve muda (tuhastamiskao andmeil) 25,5—57,3%. Lämmastikku leidub 0,91—2,53%. Lämmastiku olemasoluga setete orgaanilises osas (Frink, 1969) seletub ka tema

suurim sisaldus orgaanilise aine poolest rikkaimas Tabivere järve mudas.

Mikroelementidest leiti Saadjärve põhjasetteis niklit, koobaltit, vaske, vanaadiumi, pliid ja mangaani. Ühes proovis tuvastati tina. Hõbedat ja vismutit ei leitud (tabel 2).

Akumulatsiooni regionaalsed iseärasused. Saadjärve eri piirkondade setted on keemilise koostise poolest mõnevõrra erinevad.

Tabivere järves, kus sublitoraal ja litoraal hõlmavad enamikku alast, domineerib orgaanilise aine akumulatsioon. Nähtavasti vee liikumise ja järvenõo morfoloogia iseärasuste tõttu ei kandu valdav osa hääbunud taimedest veekogu sügavasse piirkonda ja setib siin. Suurjärves, kus valitseb pelagiaal, on orgaanilise aine varud taimestiku vähesuse tõttu tunduvalt väiksemad kui Tabivere järves. Ka jõuab seston settimise kestel osaliselt laguneda. On kindlaks tehtud (Pennington, Tutin, 1974), et sestoni orgaanilise aine destruktsioon on intensiivne veekogudes, mille hüpolimnion sisaldab aasta ringi hapnikku. Taimestiku suhtelise vähesuse ja vee püsiva aeroobsusega seletubki sügava ja kagupoolse osa setete väike orgaanilise aine ja lämmastikusisaldus. Nende piirkondade mudas domineerivad mineraalained. Kõiki mineraalseid makroelemente (Ca, Si, Al, Fe, K, P) leiti Saadjärve pelagiaali settes rohkem kui Tabivere järve mudas.

Oligotroofsete järvede setete keemilise koostise uurimisel (Lindpere, 1977) on saadud positiivne korrelatsioon räni-, alumiiniumi-, kaaliumi- ja rauasisalduse vahel. Ka Saadjärvest kogutud setteproovide puhul ilmnes, et mistahes nimetatud elemendi sisalduse kasvuga kaasneb teiste elementide sisalduste kasv (tabel 1). Seega tuleb eeldada, et ka Saadjärve mudas esineb hüdrovilke.

Kvartsi, eriti aga kaltsiidiga võrreldes leidub Saadjärve mudas nii hüdrovilke, päevakive ja teisi alumosilikaate kui ka muid võimalikke anorgaanilisi ühendeid vähe (joon. 1). Orgaanilise aine domineerimise tõttu Tabivere järves jääb kaltsiidi akumulatsioon siin varjatuks. Kaltsiidi rohkus selles piirkonnas tuleb ilmsiks, kui muda koostisest elimineerida orgaaniline aine. Selgub, et kaltsiumi hulk kõigi uuritud järveosade setete mineraalses osas on enam-vähem võrdne, moodustades 32—36% (kaltsiidina 55—64%).

Eri järveosadest kogutud setteproovid erinevad mõningal määral omavahel ka mikroelementidesisalduse poolest. Kõige suuremad on erinevused plii osas — seda leidub Suurjärve kagunurga mudas üle nelja korra vähem kui teistes Saadjärve piirkondades.

KIRJANDUS

Eesti järved, 1968. Tln.

Frink, C. R., 1967. Nutrient budget: Rational analysis of eutrophication in a Connecticut Lake. *Environ. Sci. Technol.* 1 (5) : 425—428.

Frink, C. R., 1969. Chemical and mineralogical characteristics of eutrophic lake sediments. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 33 (3) : 369—372.

Lindpere, A., 1963. Anorgaaniliste komponentide määramine turvasmullas. *ENSV TA Toim., Biol.* 12 (1) : 81—91.

Lindpere, A., 1977. Madala bioloogilise produktiivsusega järvede setete keemilisest ja mineraloogilisest koostisest. *ENSV TA Toim., Biol.* 26 (1) : 49—55.

Mackereth, F. J. H., 1966. Some chemical observations on post-glacial lake sediments. *Phil. Trans. R. Soc. London, B.* 250 (765) : 165—213.

Pennington, W., (Mrs T. G. Tutin), 1974. Seston and sediment formation in five Lake District lakes. *J. Ecol.* 62 (1) : 215—251.

Simm, H., 1975. Eesti pinnavete hüdrokeemia. Tln.

Simm, H., Starast H., 1965. Võrtsjärve üldine hüdrokeemiline iseloomustus. *ENSV TA Toim., Biol.* 14 (1) : 57—82.

Veber, K., 1964. Sapropel Eesti NSV järvedes. Eesti NSV sood IV. Saku: 155—173.

Алексин О. А., Моричева Н. П., 1959. Стабильность карбонатной системы в природных водах. Тр. III Всесоюзного гидрологического съезда 10 : 40—44.

- Алекин О. А., Моричева Н. П., 1964. Факторы, нарушающие пересыщенность растворов карбоната кальция. Гидрохим. материалы 37 : 42—48.
- Линдпере А., 1974. Химический состав поверхностного слоя сапропеля озер Вийтна. Изв. АН ЭССР. Биол. 23 (4) : 343—347.
- Лукашев К. И., Жуховицкая А. Л., Хомич А. А., 1970. Условия современного карбонатонакопления в озерных бассейнах Белоруссии. ДАН СССР 193 (2) : 425—428.
- Матвеева Н. П., 1974. Карбонатнокальциевое равновесие в воде некоторых водохранилищ. Автореф. дис. канд. хим. н. Новочеркасск.
- Стараст Х. А., 1970. О карбонатном равновесии в озере Вуртсъярв. Режим озер. Тр. Всесоюзного симпозиума 1 : 118—126.
- Стараст Х. А., 1973. Равновесие двуокиси углерода воды озера Вуртсъярв с атмосферой. В сб.: Лимнология Северо-Запада СССР. 3 : 110—113.
- Утсал К., 1971. О технике и методике исследования глинистых минералов рентгеновскими методами. Уч. зап. ТГУ. Тр. по геологии 286 : 3—51.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Zooloogia ja Botaanika Instituut

Toimetuse saabunud
28. V 1976

Айни ЛИНДПЕРЕ, Хенно СТАРАСТ

ХИМИЧЕСКИЙ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА СААДЪЯРВ

Резюме

Исследованы донные отложения эвтрофного, слабопроточного друмлинового озера Саадъярв. На друмлинах доминируют дерново-карбонатные выщелоченные почвы.

Пробы поверхностного слоя (0—10 см) донных отложений взяты в самом глубоком месте озера (проба 1), в юго-восточной части пелагиали (проба 2) и в самой мелководной северо-западной части, называемой озером Табивере (проба 3).

Пробы озолляли при температуре 500 °С. Для определения содержания кальция, железа, фосфора, алюминия и калия золу многократно обрабатывали раствором HCl. Микроэлементы определяли методом спектрального анализа. Минералогический состав установлен рентгеновским методом.

Как следует из табл. 1, донные отложения озера Саадъярв богаты кальцием, содержание которого достигает 10,2—19,0%. На втором месте кремний (4,48—10,9%). По содержанию железа, алюминия, калия и фосфора донные отложения бедны. Содержание органического вещества (по данным прокаливания) колеблется в пределах 25,5—57,3%, содержание общего азота — 0,91—2,53%. Из микроэлементов установлены никель, кобальт, медь, ванадий, олово, свинец и марганец. Серебро и висмут не обнаружены (табл. 2).

По данным минералогического анализа кальций представлен в виде кальцита (рис. 1). Кальцит составляет большую часть — 85—90% — минерального состава донных отложений. В озере преобладает кемеогенное выпадение карбоната кальция. 10—15% минерального состава составляет кварц. Содержание полевых шпатов небольшое, и они доказуемы только после удаления карбонатов (рис. 1, кривая Д).

Донные отложения разных частей озера в некоторой степени различаются. В глубокой и юго-восточной частях доминирует аккумуляция минеральных веществ (зольность 70,3—74,5%, содержание азота 0,91—1,20%). В северо-западной части накопление органических веществ преобладает над накоплением минеральных (содержание органического вещества 57,3%, азота 2,53%).

Институт зоологии и ботаники
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
28/V 1976

Aini LINDPERE, Henno STARAST

THE CHEMICAL AND MINERALOGICAL COMPOSITION OF THE UPPER LAYER OF SEDIMENTS OF LAKE SAADJÄRV

Summary

The lake investigated is situated in a drumlin area where soaked fertile rendzina soils dominate.

All samples were collected from the upper layer (0 to 10 cm) of sediments. Sample 1 was taken near the maximum depth of the lake, sample 2 — from the south-east part of the lake, sample 3 — from the lowest north-westerly part of the lake, the so-called L. Tabivere.

In the analyses for calcium, iron, aluminium, phosphorus and potassium the sediment material was ashed at 500°C and the ash was dissolved in hydrochloric acid. Emission spectral analysis was used for determining trace elements. The mineralogical composition of the sediments was determined by means of x-ray analysis.

According to the data of ashing (Table 1), the sediments are rich in calcium (10.2—19.0%). The silicon content is 4.48—10.9 per cent. The iron, aluminium, potassium and phosphorus content of the sediments is small. The organic matter content varied from 25.5 to 57.3 per cent (due to the loss at ignition). The total nitrogen content is from 0.91 to 2.53 per cent. The concentrations of trace elements, such as nickel, cobalt, copper, vanadium, lead, tin and manganese were determined (Table 2). Silver and bismuth were not discovered.

The major mineral in the sediments is calcite (Fig. 1), making up 85—90 per cent of the mineral composition of the sediments. Chemogenous precipitation of calcium carbonate predominates in the lake. Quartz makes up 10—15 per cent of the mineral matter content. The feldspar content is low; it can be established only after the removal of calcite (Fig. 1, diagram D).

The sediment samples collected from different parts of the lake differed from one another to a certain extent. The sediments at the maximum depth and those in the south-east part of the lake are characterized by mineral matter accumulation (ash 70.3—74.5, nitrogen content 0.91—1.20%). In the north-westerly part of the lake organic matter predominates over mineral matter (organic matter content 57.3, nitrogen content 2.53%).

Academy of Sciences of the Estonian SSR,
Institute of Zoology and Botany

Received
May 28, 1976