

Valli PORGASAAR

УДК 574.524:556.114.5-7

## MATSALU LAHE VEE FÜSIKALISED JA KEEMILISED OMADUSED NING NENDE SEOS KLOOROFÜLLI *a* SISALDUSEGA

### 1. VEE FÜSIKALISED JA KEEMILISED OMADUSED

Matsalu laht asub Eesti mandriosa läänerannikul ja on suuremaid Väinamere lahtesid (joon. 1). Ta tungib 18 km pikkuselt maismaasse ning tema maksimaalne laius on 6,5 km, suudmes 4 km. Madalaveelise lahe sügavus on idaosas enamasti alla 1 meetri ning suureneb suudmealal 4 meetrini. Lahe idaossa toovad oma veed mitu jõge: veerohke Kasari jõgi koos Suitsu jõe ja Penijõega suubub lahte süvendatud kanali kaudu. Lahte suubuvad veel Kasari jõe deltaharu Rõude jõgi ning Rannamõisa jõgi koos Raana jõega. Lahes seguneb mage jõevesi riimveega (soolsus 6—7‰), mida kandub siia Muhu väinast.

Lahe vee temperatuur muutub suurtes piirides, see on tingitud tema madalaveelisusest. Suvel soojeneb vesi põhjani kogu lahe ulatuses ja vee temperatuur tõuseb sageli üle 20 °C. Talvel kattub laht harilikult 4—5 kuuks jääga.

Matsalu lahe vee keemiline koostis on väga labiilne ning tugevasti mõjutatud hüdroloogilistest, meteoroloogilistest ning antropogeensetest teguritest. Lahe hüdrokeemiline režiim ja vee-elustik, eriti lahe rikkalik, kogu veekihiga heas kontaktis suurtaimestik, on tihedas omavahelises sõltuvuses.

Käesolevas on kirjeldatud Matsalu lahe vee mõningaid füüsikalisi ja keemilisi omadusi ning nende seost vee klorofüllilise *a* sisaldusega. Viimast näitajat kasutatakse laialdaselt veekogude troofsusastme ja eutrofeerumise iseloomustamisel.

### Materjal ja meetodika

Uurimismaterjal on kogutud ENSV TA ZBI merebioloogia sektori 15 kompleksekspeditsioonil (ekspeditsioonid toimusid VII 1975; V, VIII, X 1977; VIII 1979; V, VII 1980; II, V, VI, VII, VIII, IX 1981; VI 1982 ja III 1983). Ekspeditsioonidel on osalenud kõik sektori töötajad, nad on teinud vaatlusi merel ning abistanud proovide võtmisel ja analüüsimisel. Vee soolsuse määramiseks on ekspeditsioonide vaheajal proove võtnud Matsalu Riikliku Looduskaitseala asedirektor V. Paakspuu, registreerides samal ajal ka vee temperatuuri. Vee soolsuse andmed pärinevad kokku 48 vaatlusperioodist, laboratoorsed analüüsid on teinud L. Oha, enamiku lämmastikühendeist on määranud M. Viik. Autor avaldab tänu kõigile kaastöötajaile.

Veeproovid võeti Ruttneri batomeetri ja Meyeri pudeliga 0,5—1 m sügavuselt. Uuritud parameetrite nimekiri on esitatud tabelis 1.

Vee läbipaistvus määrati Secchi ketta abil, pH kolorimeetrilise skaala abil, soolsus argentomeetriliselt, vees lahustunud hapniku sisaldus Wink-

Parameetrid	Vaatlusaastad								Kokku analüüse
	1975	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	
Soolsus	+	+	+	+	+	+	+	+	560
Tot-P	-	+	-	+	+	+	+	+	257
PO <sub>4</sub> -P	-	-	-	-	+	+	+	-	194
Tot-N	-	-	-	+	+	+	+	-	202
NO <sub>3</sub> -N	-	-	-	+	+	+	+	-	196
NO <sub>2</sub> -N	-	-	-	+	+	+	+	-	196
NH <sub>4</sub> -N	-	-	-	+	+	+	+	-	185
Klorofüll <i>a</i>	-	+	-	+	+	+	+	-	245
O <sub>2</sub>	+	+	-	+	+	+	-	+	156
pH	-	+	-	+	+	+	+	+	275
Huumusained	-	-	-	-	+	+	+	+	164
Hägusus	-	-	-	-	+	+	+	-	164
Läbipaistvus	+	+	-	+	+	+	+	-	288
t°	+	+	-	+	+	+	+	+	299
Sügavus	+	+	-	+	+	+	+	+	299

leri meetodil. Fosfori- ja lämmastikuühendid analüüsiti Läänemeres üldiseks kasutamiseks soovitatud meetodikate järgi (Report..., 1977). Klorofüllü määramiseks filtreeriti vesi läbi klaaskiudfiltrit Whatman GF/C, filtrid kuivatati ja säilitati eksikaatoris temperatuuril  $-15^{\circ}\text{C}$ . Klorofüllü ekstraheerimiseks filtrid homogeniseeriti, seejärel hoiti külmkapis 20 tundi ning mõõdeti lahuse ekstinktsioon spektrofotomeetrial. Klorofüllü *a* kontsentratsioon arvutati Stricklandi ja Parsoni (1968) võrrandi järgi.

Vee humusainete ehk nn. kollase substantsi sisaldust on soovitatud hinnata fotomeetriselt vee optilise tiheduse näitaja kaudu lainepikkusel 350 nm (Niemi, 1975) või 380 nm (Carlberg, 1972). Vesi tuleb eelnevalt filtreerida läbi klaaskiudfiltrit Whatman GF/C. Siinse uuringu tegemisel oli võimalik määrata vee humusainete sisaldust kolorimeetriselt lainepikkusel 364 nm 5-sentimeetristes küvettides destilleeritud vee suhtes. Tulemused on avaldatud vee optilise tihedusena *D*.

Vee hägusust on tavaliselt mõõdetud fotomeetriselt lainepikkusel



Joon. 1. Matsalu lahe tinglik jaotamine ida- (I), kesk- (II) ja lääneosaks (III) ning proovipunktide paigutus.

750 nm (Niemi, 1975). Käesolevas on määratud vee hägusus kolorimeetriga lainepikkusel 630 nm 5-sentimeetristes küvettides ning väljendatud samuti vee optilise tiheduse näitajana *D*.

Matsalu lahe uuringutes on pööratud tähelepanu vee füüsikaliste ja keemiliste omaduste ning elustiku suurele varieeruvusele. Põhjaloomastiku uurimisel on A. Järvekülg (Ярвекюльг, 1968a, 1968b) lahe tinglikult jaotanud kolmeks erinevaks osaks vee soolsuse ja põhjafauna ökoloogilise koostise järgi. H. Simm (1973) on lahes eraldanud kolm erineva hüdrokeemilise režiimiga piirkonda.

Käesolevas töös on Matsalu laht tinglikult jaotatud kolmeks osaks (need erinevad mõnevõrra eespool nimetatuid) tema geograafilise asendi ja vee keemiliste omaduste põhjal. Need on: 1) jõgede poolt kõige enam mõjustatav madalaveeline idaosa, mis on saarekestega osaliselt eraldatud; 2) keskosa kui Matsalu lahe kõige suurem ja laiem osa, mis on mõjutatav oma naaberpiirkondadest; 3) merelise iseloomuga lääneosa.

Lahe tinglik jaotus ja statsioonarsete proovipunktide paigutus on esitatud joonisel 1. Võrdluseks on võetud proovid ühest punktist (nr. 80) Muhu väinas. Mõnedel ekspeditsioonidel oli proovipunktide võrk tihedam: lisaks statsioonarsetele võeti reast punktidest ühekordseid proove. Tulemuste läbitöötamisel ja üldistamisel on kasutatud kõiki andmeid.

## Tulemused ja arutelu

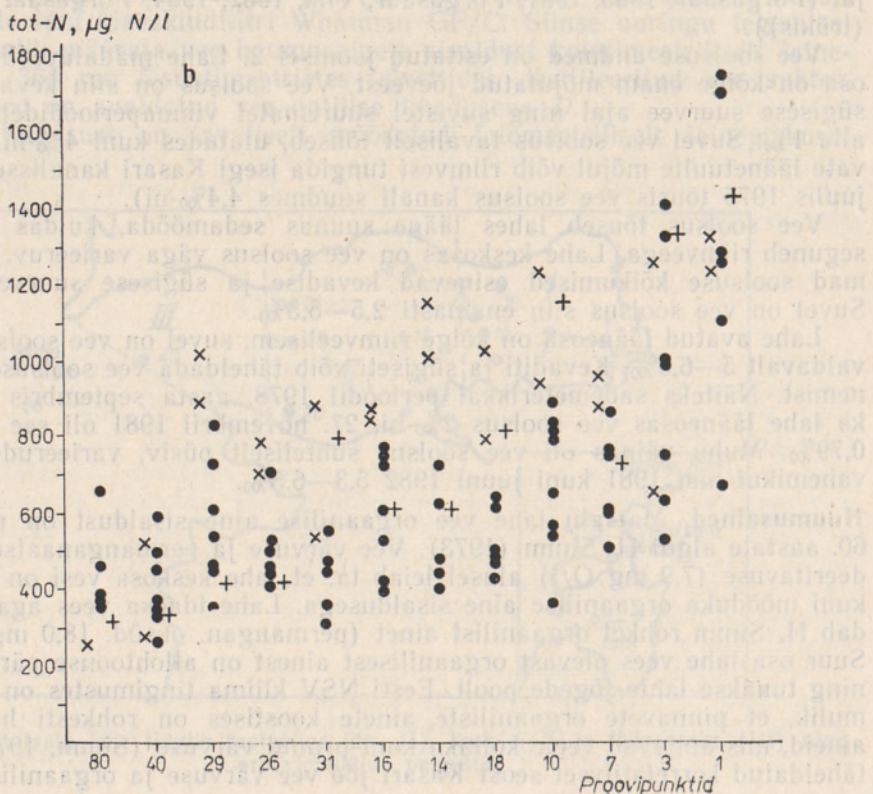
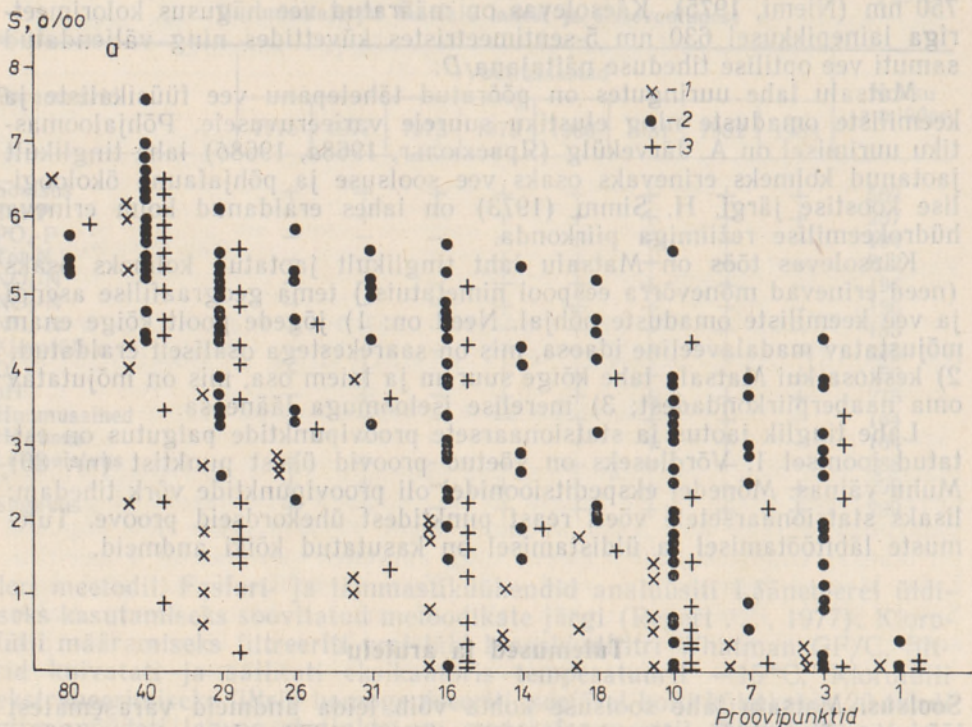
**Soolsus.** Matsalu lahe soolsuse kohta võib leida andmeid varasematest töödest (Trei, 1965; Järvekülg, 1965; Simm, 1973; Ярвекюльг, 1968a, 1968b). Neis pärinevad andmed peamiselt ühekordsetest vaatlustest. Matsalu lahe vee soolsuse regionaalseid ja sesooneid muutusi on üksikasjalikumalt käsitletud ZBI merebioloogia sektoris tehtud analüüside põhjal (Porgasaar, 1980, 1981; Porgasaar, Viik, 1982, 1984; Porgasaar, Simm (trükkis)).

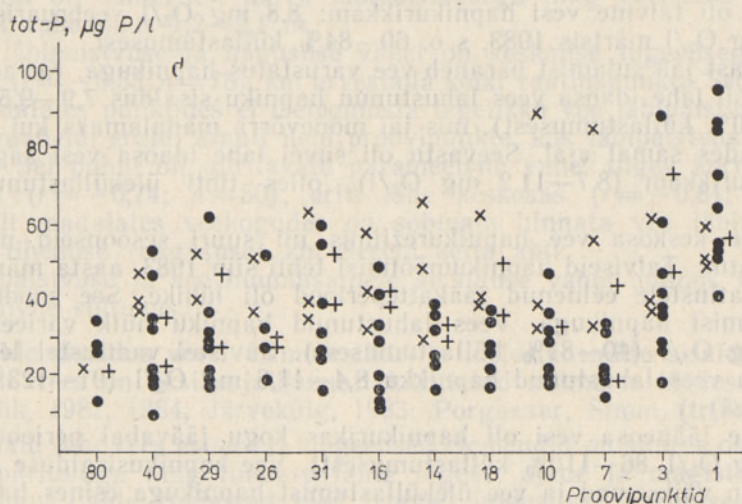
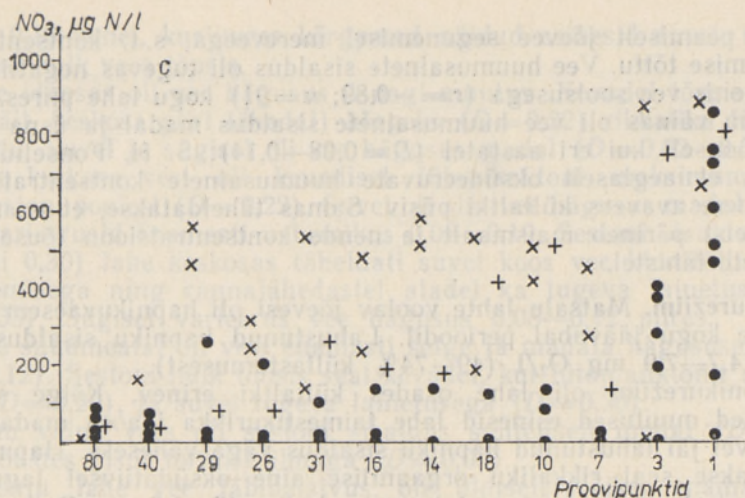
Vee soolsuse andmed on esitatud joonisel 2. Lahe madalaveeline idaosa on kõige enam mõjutatud jõeveest. Vee soolsus on siin kevadise ja sügise suurevee ajal ning suvistel suurematel vihmaperioodidel sageli alla 1‰. Suvel vee soolsus tavaliselt tõuseb, ulatudes kuni 4‰-ni. Tugevate läänetuulte mõjul võib riimvesi tungida isegi Kasari kanalisse (näit. juulis 1975 tõusis vee soolsus kanali suudmes 4,4‰-ni).

Vee soolsus tõuseb lahes lääne suunas sedamööda, kuidas jõevesi seguneb riimveega. Lahe keskosas on vee soolsus väga varieeruv. Suuremad soolsuse kõikumised esinevad kevadise ja sügise suurevee ajal. Suvel on vee soolsus siin enamasti 2,5—5,5‰.

Lahe avatud lääneosa on kõige riimveelisem, suvel on vee soolsus siin valdavalt 5—6,5‰. Kevaditi ja sügiseti võib täheldada vee soolsuse vähenemist. Näiteks sademeterikkal perioodil 1978. aasta septembris langes ka lahe lääneosas vee soolsus 2‰-ni, 27. novembril 1981 oli see koguni 0,79‰. Muhu väinas oli vee soolsus suhteliselt püsiv, varieerudes ajavahemikul mai 1981 kuni juuni 1982 5,3—6,5‰.

**Huumusained.** Matsalu lahe vee orgaanilise aine sisaldust on uurinud 60. aastate algul H. Simm (1973). Vee värvuse ja permanganaatse oksüdeeritavuse (7,9 mg O/l) alusel lejab ta, et lahe keskosa vesi on vähese kuni mõõduka orgaanilise aine sisaldusega. Lahe idaosa vees aga täheldab H. Simm rohket orgaanilist ainet (permangan. oksüd. 18,0 mg O/l). Suur osa lahe vees olevast orgaanilisest ainest on allohtonse päritoluga ning tuuakse lahte jõgede poolt. Eesti NSV kliima tingimustes on iseloomulik, et pinnavete orgaaniliste ainete koostises on rohkesti huumusaineid, mis annavad veele kollaka kuni pruuni värvuse (Simm, 1975). On täheldatud korrelatiivset seost Kasari jõe vee värvuse ja orgaanilise aine





Joon. 2. Matsalu lahe vee soolsus (a) ning üldlämmastiku (b), nitraatide (c) ja üldfosfori (d) sisaldus erinevates proovipunktidest kevadel (1), suvel (2) ja sügisel (3).

sisalduse vahel ning huumusainete suurt osatähtsust orgaaniliste ainete hulgas (Loigu, Marksoo, Kovanen, 1981).

Värvuse järgi otsustades oli Kasari jõe vesi väga huumusainerikas ( $D=0,75-0,98$ ) ajavahemikul juulist septembrini 1981. Kõrget huumusainete kontsentratsiooni ( $D=0,61-0,95$ ) täheldati samal ajal ka kanali vees. Tunduvalt madalam ( $D=0,46-0,67$ ) oli huumusainete sisaldus juulis 1980 ja juunis 1982 nii Kasari jõe kui kanali vees. Selline kõikumine oli ilmselt tingitud sademete ja vooluhulga suurest erinevusest nimetatud aastail. Nii on E. Loigu jt. (1981) leidnud, et orgaanilise aine sisaldus Kasari jõe vees on statistilises sõltuvuses äravoolu hulgast.

Lahe vee huumusainete sisaldus vähenes lääne suunas. Lahe keskosa vee optiline tihedus oli keskmiselt 0,41 (0,22—0,67) 1981. aasta vegetatsiooniperioodil ja 0,19 (0,09—0,31) 1980. ja 1982. aasta vaatlustel. Lahe suudmealal oli  $D$  väärtus 0,16—0,23 1981. aastal ja 0,07—0,12 1980. ja 1982. aastal.

Matsalu lahe vee huumusainete sisalduse vähenemine idast läände

toimus peamiselt jõevee segunemisel mereveega, s.t. kontsentratsiooni lahjenemise tõttu. Vee huumusainete sisaldus oli tugevas negatiivses korrelatsioonis vee soolsusega ( $r = -0,89$ ;  $n = 91$ ) kogu lahe piires.

Muhu väinas oli vee huumusainete sisaldus madal ja üsna stabiilne nii sesoonselt kui eri aastatel ( $D = 0,08 - 0,14$ ). S. H. Fonselius (1972) märgib, et aeglaselt oksüdeerivate huumusainete kontsentratsioon on Läänemere avavees küllaltki püsiv. Samas täheldatakse, et enamik huumusaineist pärineb maismaalt ja nende kontsentratsioon tõuseb jõgede suudmete lähistel.

**Hapnikurežiim.** Matsalu lahte voolav jõevesi oli hapnikuvaesem kui lahe vesi ise kogu jäävabal perioodil. Lahustunud hapniku sisaldus jõevees kõikus 4,7–7,9 mg O<sub>2</sub>/l (49–74% küllastumusest).

Hapnikurežiim oli lahe osades küllaltki erinev. Kõige suuremad sesoonsed muutused esinesid lahe taimestikurikka idaosa madalas vees, kus talvel jäi lahustunud hapniku sisaldus väga väheks. Hapnikuvarud kulutatakse seal rikkaliku orgaanilise aine oksüdatiivsel lagunemisel. Minimaalset vees lahustunud hapniku hulka (0–1,6 mg O<sub>2</sub>/l, s.o. kuni 11% küllastumusest) täheldati jääkatte all olevas õhukeses veekihis roostiku piirkonnas veebruari lõpul ja märtsi algul 1981 ja 1983. Kanali suudmealal oli talvine vesi hapnikurikkam: 8,8 mg O<sub>2</sub>/l veebruaris 1981 ja 12,7 mg O<sub>2</sub>/l märtsis 1983, s.o. 60–84% küllastumusest.

Pärast jää sulamist paraneb vee varustus hapnikuga. Kevadel (mais 1977) oli lahe idaosa vees lahustunud hapniku sisaldus 7,9–9,5 mg O<sub>2</sub>/l (72–90% küllastumusest), mis jäi mõnevõrra madalamaks kui lahe teistes osades samal ajal. Seevastu oli suvel lahe idaosa vesi sageli kõige hapnikurikkam (8,7–11,2 mg O<sub>2</sub>/l), olles tihti üleküllastunud (95–116%).

Lahe keskosa vee hapnikurežiimis nii suuri sesooneid muutusi ei täheldatud. Talviseid hapnikumõõtmisi tehti siin 1983. aasta märtsi algul, mil vaatlustele eelnenud jääkatteperiood oli lühike. See soodustas vee rikastumist hapnikuga. Vees lahustunud hapniku hulk varieerus 5,9–11,9 mg O<sub>2</sub>/l (40–81% küllastumusest). Suvistel vaatlustel leidis lahe keskosa vees lahustunud hapnikku 8,4–11,6 mg O<sub>2</sub>/l (91–123% küllastumusest).

Lahe lääneosa vesi oli hapnikurikas kogu jäävabal perioodil (8,5–11,2 mg O<sub>2</sub>/l, 86–110% küllastumusest). Vee hapnikusisalduse muutused olid siin väiksemad ja vee üleküllastumist hapnikuga esines harva.

**VesinikekspONENT (pH).** Riimveelistes rannikuvetes on vee pH suuresti mõjutatud seal esinevatest taimedest ning seetõttu sesoonselt väga muutuv. See ilmnes selgesti ka Matsalu lahes, eriti selle ida- ja keskosas.

Jõevee pH oli madal kogu jäävabal perioodil. Kasari jõe, Penijõe ja roostikukanali vees olid pH väärtused enamasti alla 8,0 (7,2–8,3).

Lahe ida- ja keskosa vee pH kõikus väga laiades piirides. Vee pH väärtused olid kõige madalamad talvel (7,0–7,5). Kevadel vee pH tõusis, olles enamasti 8,0 ümber. Kõige kõrgemaid pH väärtusi täheldati suvel, mil need olid lahe rannaäärsetes piirkondades paiguti üle 9,0. Suvel täheldati lahe piires ka kõige suuremat pH väärtuste varieerumist. Sügisel oli vee pH enam-vähem ühtlane kogu lahes (harilikult 8,1–8,2).

Lahe riimveelises lääneosas olid vee pH väärtused (8,0–8,5) küllaltki stabiilsed kogu vegetatsiooniperioodi jooksul.

Muhu väinas oli vee pH vegetatsiooniperioodil veelgi püsivam (8,1–8,2).

**Vee hägusus ja läbipaistvus.** Vee hägusus, väljendatud vee optilise tiheduse näitajana ( $D$ ), iseloomustab vees sisalduva sestoni hulka.

Jõe- ja roostikukanali vesi oli sestoni poolest suhteliselt vaene. Vee optilise tiheduse väärtused varieerusid seal kogu vegetatsiooniperioodil

0,03 ja 0,10 vahel, kusjuures kõrgemad näidud esinesid suvel, mil fütoplanktoni hulk vees tõusis.

Lahe idaosas oli vee hägusus üsnagi muutuv. Kevadel tõusis see paiguti (näit. keskosa piiri lähedal) kõrgeks ( $D=0,22$ ) rikkaliku fütoplanktoni tõttu. Suvel ja sügisel oli vee hägusus madal ( $D=0,02-0,08$ ).

Lahe keskosa vesi oli kevadisel fütoplanktoni maksimumperioodil rikas sestoni poolest ( $D=0,22$ ). Suvel oli siin vee hägusus madal,  $D$  väärtused varieerusid enamasti vahemikus  $0,02-0,10$ . Sestoni sisalduse tõusu ( $D$  kuni  $0,30$ ) lahe keskosas täheldati suvel koos vee klorofüllisisalduse suurenemisega ning rannalähedastel aladel ka tugeva lainetuse toimel ( $D=0,38$ ). Sügisel varieerus vee hägusus  $0,05-0,12$  piires.

Lahe suudmealal oli vesi enamasti selge ja madala hägususega ( $D=0,01-0,12$ ). Sestoni hulk tõusis seal kevadel, kui fütoplanktonit oli rikkalikult ( $D=0,22$ ), ja suvel tugeva lainetusega ( $D=0,30$ ).

Muhu väina vees oli sestoni sisaldus suhteliselt madal ( $D=0,05-0,06$ ), tõustes pisut tormise ilmaga ( $D=0,09$ ).

Matsalu lahe vee läbipaistvus oli üldiselt väike, enamasti alla 1,5 meetri ka sügavamates kohtades. Eriti väheeks ( $0,4-0,7$  m) jäi see kevadel lahe keskosas, mil seal oli rikkalikult fütoplanktonit. Ka Muhu väina vesi oli suhteliselt halva läbipaistvusega ning varieerus vaatlusperioodil vahemikus  $1,2-2,1$  m.

Vee läbipaistvuse ja hägususe vahel on keskmise tugevusega korrelatsioon ( $r=-0,53$ ;  $n=78$ ), kui arvestada kõiki vaatluspunkte. Secchi ketta näit madalates punktides ei iseloomusta tegelikku vee läbipaistvust. Seepärast vaadeldi eraldi ainult neid proovipunkte, kus läbipaistvus ei ulatu põhjani. Sel puhul oli uuritavate parameetrite vahel tugev korrelatiivne sõltuvus ( $r=-0,74$ ;  $n=50$ ), eriti lahe keskosas ( $r=-0,81$ ;  $n=32$ ). Järelikult madalates veekogudes on sobivam hinnata vee läbipaistvust optilise tiheduse (hägususe) kui Secchi ketta abil.

Läbipaistvuse ja vee huumusainete sisalduse vahel puudus lineaarne korrelatiivne sõltuvus.

**Biogeenide sisaldus vees.** Lämmastiku- ja fosforiühendite sisaldust Matsalu lahe vees on üksikasjalikumalt käsitletud mitmetes töodes (Porgasaar, Viik, 1982, 1984; Järvekülg, 1983; Porgasaar, Simm (trükis)).

Matsalu lahe vees esinevad biogeensed elemendid on suures osas allohtoonse päritoluga ning tuuakse lahte jõgede, ojade ja magistraalkraavide kaudu. Lahte suubuvad jõed läbivad intensiivse kasutusega põllumajandusmaastiku ning mitmeid asulaid. See suurendab oluliselt biogeenide sisaldust nende vees. Jõgede biogeenierikas vesi suubub lahe idaossa. Toiteelementide jaotumine lahes oleneb suuresti vee liikumisest ning on regionaalselt ebaühtlane. Üldiselt võib täheldada biogeenide kontsentratsiooni langust lahe vees lääne suunas. See on tingitud jõevee ja toiteelementidevaesema riimvee segunemisest, mis ei toimu alati täpses vastavuses vee soolsuse kontsentratsiooni muutumisega. Oluline osa on toiteelementide ringlemisel veekogus, s.o. nende omastamisel taimede poolt ja vabanemisel viimaste kõdunemisel. Madalaveelises Matsalu lahes on peale fütoplanktoni kahtlemata suur osatähtsus bentosevetikatel, mis on laialdase levikuga ja annavad suure biomassi. Oluline on ka kõrgete taimede, eriti pilliroo osakaal lahe idaosas. Vee toiteelementide sisalduse sesoonsed muutused sõltuvad eeskätt taimede kasvuperioodist. Arvestada tuleb ka biogeenide vabanemist veekogu põhjasetetest.

**Lämmastikuühendid.** Üld- ja nitraatlämmastiku sisaldus (tot-N ja  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) Matsalu lahe vees oli väga varieeruv nii ajaliselt kui regionaalselt (joon. 2). Mageveega tuuakse lämmastikuühendid lahte kogu vegetatsiooniperioodi jooksul. Kanali vees oli kõigi vaatlusaegade keskmine tot-N kontsentratsioon  $1240 \mu\text{g N/l}$ . Lisaks kanalile toovad lämmastikurikast vett lahe idaossa Rannamõisa, Raana ja Rõude jõgi. Juunis

Korrelatiivne sõltuvus vee soolsuse ja biogeenide sisalduse vahel

Biogeen	Vaatluskoht	Vaatlusperiood	<i>r</i>	<i>n</i>	<i>p</i>
Tot-N	Laht tervikuna	Vegetatsiooniperiood	-0,78	92	0,001
	Lahe keskosa	Vegetatsiooniperiood	-0,72	67	0,001
	Lahe keskosa	Kevad	-0,96	12	0,001
	Lahe keskosa	Suvi	-0,40	35	0,05
Tot-P	Laht tervikuna	Vegetatsiooniperiood	-0,45	124	0,001
	Lahe keskosa	Vegetatsiooniperiood	-0,51	102	0,001
	Lahe keskosa	Kevad	-0,11	26	>0,1
	Lahe keskosa	Suvi	-0,28	61	0,05

1982 oli nimetatud jõgede suudmealal vee tot-N vastavalt 1430, 1650 ja 1900 µg N/l. Seega on loomulik, et ka lahe idaosa vesi oli kõrge lämmastiksisaldusega. Üld- ja nitraatlämmastiku kontsentratsioonid lahe vees langesid lääne suunas. Lahe vee üldlämmastiku kontsentratsiooni ja soolsuse vahel oli oluline negatiivne korrelatiivne sõltuvus (tab. 2). See oli kõige tugevam ( $r = -0,96$ ;  $n = 12$ ) kevadel lahe keskosas, kus tegelikult toimus mage- ja riimvee segunemine.

Väga lämmastikurikas oli lahe vesi kevadel. Suur tähtsus oli sel perioodil nitraatidel (joon. 2). Mais 1980 ja 1981 oli NO<sub>3</sub>-N kontsentratsioon kanali vees vastavalt 680 ja 900 µg N/l. Peamisteks nitraatide tarbijaiks varakevadel on planktonivetikad, mis arenevad massiliselt lahe keskosas. Selle tagajärjel nitraatlämmastiku sisaldus vees väheneb. Samal ajal on üldlämmastiku kontsentratsioon kõrge, sest analüüsil on hõlmatud ka vee hõljuvad plankterid. Rikkaliku nitraatlämmastiku juurdevoolu korral lahte ei seota seda kõike fütoplanktoni poolt. Nitraatide kontsentratsioon jääb küllalt kõrgeks (üle 100 µg N/l) lahe suudmeala vees ja osa lämmastikuühendeid kandub lahest välja nitraatidena.

Sedamööda, kuidas intensiivistub nitraatide omastamine bentosevetikate ja kõrgemate taimede vegetatsiooniperioodi algamisel, väheneb nende kontsentratsioon vees. Jooniselt 2 ilmneb nitraatide sisalduse väga suur kõikumine lahe ida- ja keskosa vees. Joonisel esitatud NO<sub>3</sub>-N kõrgeimad suvised näitajad pärinevad ajavahemikust 31. mai kuni 2. juuni 1982, mil taimede arengu järgi oli hiliskevad. Nähtub, et enamikus proovipunktides olid nii nitraat- kui üldlämmastiku sisaldused lähedased teiste aastate kevadisele nivoole.

Lämmastiksisalduse jaotumine lahe vees suvel ei sõltu oluliselt vee liikumisest ja segunemisest lahes. Seda näitab vee üldlämmastiku sisalduse ja soolsuse vaheline nõrk korrelatiivne sõltuvus suvekuudel ( $r = -0,40$ ;  $n = 35$ ).

Suvel vähenes nitraatide kontsentratsioon järsult juba lahe idaosa vees. Sel perioodil on siin suuremad lämmastiku tarbijad bentosevetikad ja kõrgemad taimed. Nende poolt seotud lämmastikuühendid viiakse veest välja, mille tagajärjel väheneb ka üldlämmastiku sisaldus vees.

Eriti suur tähtsus toitelementide sidumisel on jõgede suudmete ees laiuvail pillirooväljadel, mida peetakse heaks filtriiks vee puhastamisel biogeenidest. T. Ksenofontova (1983) andmeil seob Kasari delta roostik aastas 285 t lämmastikku. See moodustab ligikaudu 24% käesoleva kirjutise andmeil arvatud lämmastiku aastasest sissevoolust (1200 t aastas — Järvekülg, Porgasaar, 1983).

Lahe keskosa ja suudmeala vees vähenes suvel nitraatide sisaldus tihti analüütilise nullini. See tähendab, et jõgede kaudu lahte sissevoolav



mineraalne lämmastik viiakse lahes orgaanilisse vormi. Nitraatide sisaldus näitas tõusutendentsi Muhu väinas, kus 1981. ja 1982. aasta suvel leidus neid 18—90  $\mu\text{g N/l}$ . Üldlämmastiku suvised kontsentratsioonid olid lähedased Muhu väinas ja lahe lääneosas (keskmiselt 400  $\mu\text{g N/l}$ ), kuid madalamad kui lahe keskosas (keskmiselt 540  $\mu\text{g N/l}$ ).

Suve lõpul ja sügisel, kui taimede aktiivne kasvuperiood on möödu-  
mas, võis märgata lämmastikuisalduse tõusu vees, peamiselt lahe ida-  
osas ja keskosa rannalähedastes proovipunktides.

Ühekordsed talvised analüüsid veebruaris 1981 näitasid, et lahe idaosa vees leidub lämmastikku talvel rikkalikult. Roostiku piiril ja kanali suudme piirkonna vees oli üldlämmastikku 2120—2270  $\mu\text{g N/l}$ , nitraate 700—730  $\mu\text{g N/l}$ , nitriteid 12—18  $\mu\text{g N/l}$  ja ammooniumlämmastikku 55  $\mu\text{g N/l}$ . Lahe keskosa piiril (proovipunkt 10) oli lämmastikuühendite sisaldus vees vastavalt 1300  $\mu\text{g N/l}$ , 600  $\mu\text{g N/l}$ , 21  $\mu\text{g N/l}$  ja 6  $\mu\text{g N/l}$ , s. o. kõrgem kui ühelgi teisel aastaajal.

Teisi mineraalse lämmastiku ühendeid, lisaks nitraatidele, leidus lahe vees vähesel määral ka vegetatsiooniperioodil. Ammooniumlämmastikku ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) leidus kevadel lahe idaosa vees paiguti kuni 25  $\mu\text{g N/l}$ . Kevadel ja suvel esines teda lahe voolavate jõgede vees (Penijões 0—54  $\mu\text{g N/l}$ , Kasari jões 0—26  $\mu\text{g N/l}$ ). Et  $\text{NH}_4\text{-N}$  on taimedele hästi omastatav lämmastikuvorm, seotakse ta vegetatsiooniperioodil nende poolt juba kanalis ja lahe idaosa vees. Suve lõpul ja sügisel leidus  $\text{NH}_4\text{-N}$  ka lahe keskosa (alla 10  $\mu\text{g N/l}$ ) ja Muhu väina (18  $\mu\text{g N/l}$  augustis 1981) vees. Sel perioodil võib ta eralduda lagunevatest taimedest.

Nitritlämmastikku ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) kui lämmastikuainevahetuse kiiresti muutu-  
vatu vaheprodukti leidub merevees enamasti minimaalselt. Tema esine-  
mist peetakse reovete sissevoolu näitajaks. Suvistel vaatlustel täheldati  $\text{NO}_2\text{-N}$ -i Penijões (kuni 11  $\mu\text{g N/l}$ ), Kasari jões (kuni 15  $\mu\text{g N/l}$ ) ja kanali vees (kuni 15  $\mu\text{g N/l}$ ). Lahe vees langes nitritite kontsentratsioon kiiresti analüütilise nullini.

Kokkuvõtlikult võib öelda, et mineraalsete lämmastikuühendite osa-  
tähtsus lahe vees on varieeruv ning taimede intensiivse kasvu perioodil  
sageli tühiselt väike. Matsalu lahe veele on iseloomulik suhteliselt kõrge  
orgaaniliste lämmastikuühendite sisaldus kogu vegetatsiooniperioodil.  
Orgaanilise lämmastiku sisaldus kõigi vaatlusandmete üldistamisel oli  
kanali vees 330—1100  $\mu\text{g N/l}$ , lahe idaosas 380—760  $\mu\text{g N/l}$ , lahe kesk-  
osas 320—860  $\mu\text{g N/l}$ , lahe lääneosas 270—500  $\mu\text{g N/l}$ , Muhu väinas  
250—370  $\mu\text{g N/l}$ . Orgaanilisi lämmastikuühendeid tuuakse lahte jõgede  
veega, kuid kindlasti on oluline osa ka autohtoonse päritoluga ühenditel,  
mis tekivad lahe rikkaliku taimestiku lagunemisel.

Fosforiühendid. Üldfosfori (tot-P) kontsentratsioon lahe vees on  
varieeruv nii regionaalselt kui sesoonselt (joon. 2). Ilmneb ka vee fosfori-  
sisalduse suur kõikumus üksikutes vaatluspunktides, eriti lahe keskosas.  
See sõltub hüdrooloogilistest tingimustest, fosfori juurdevoolust lahe kesk-  
ossa suubuvate ojade-kraavide kaudu ning tema kiirest ringest vee, tai-  
mede ja põhjasetete vahel. Neil põhjustel on raske välja tuua fosfori jao-  
tuvuse seaduspärasusi Matsalu lahe vees.

Kasari kanali ja selle suudmeala vesi oli fosforirikas kõigil vaatlus-  
aegadel. Eriti kõrgeid fosfori kontsentratsioone täheldati suvel, mil teda  
tuleb kanalisse rohkesti Suitsu jõe ja Penijõe kaudu. Näiteks oli augustis  
1980 Penijõe vees üldfosfori sisaldus 270  $\mu\text{g P/l}$  ja juunis 1981 220  $\mu\text{g P/l}$ ,  
kusjuures 65—93% sellest moodustasid fosfaadid ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ). Fosforisal-  
duse suur kõikumine Penijõe vees on tingitud peamiselt Lihula alevi heit-  
vete hulga ja koosseisu muutustest. Fosfori kontsentratsioon langes Kasari  
kanali vees, kus Penijõe vesi segunes suhteliselt fosforivaese Kasari jõe  
veega, mille maht ületab mitmekordselt Penijõe vee mahu. Vee fosfori-  
sisalduse vähenemine lahe ulatuses ei toimunud vastavuses jõe ja riimvee

segunemisele. Korrelatiivne sõltuvus vee üldfosfori kontsentratsiooni ja soolsuse vahel oli nõrk (tab. 2).

Lisaks allohtoonse päritoluga fosforile vabaneb fosforit vette lahe rikkaliku orgaanilise aine lagunemisel. Eriti kõrgeks tõusis fosforisisaldus lahe idaosa jääaluses õhukeses veekihi talve lõpul. Näiteks 1981. ja 1983. aasta veebruaris-märtsis oli kanali suudmeala vees üldfosfori kontsentratsioon  $70 \mu\text{g P/l}$ , kusjuures  $\text{PO}_4\text{-P}$  sisaldus ulatus kuni  $40 \mu\text{g P/l}$ . Märksa fosforirikkam ( $100\text{—}350 \mu\text{g P/l}$ ) vesi oli roostiku piirkonnas, kus samal ajal esines ka hapnikupuudus. Lahe ida- ja keskosa sügavamate alade vees oli talvine tot-P sisaldus  $21\text{—}35 \mu\text{g P/l}$  ning tõusis kuni  $45 \mu\text{g P/l}$  lahe keskosa rannalähedastes piirkondades.

Kevadel oli lahe idaosa vesi enamasti fosforirikas. Näiteks mai algul 1981 tõusis tot-P kontsentratsioon vees paiguti kuni  $90 \mu\text{g P/l}$ . Fosfaatide osatähtsus lahe vees oli samal ajal väike ning nende sisaldus kahanes taimede kasvu intensiivistumisel kiiresti analüütilise nullini. Lahte voolavas jõgedes vees leidis neid samal ajal küllaldaselt.

Kevadel kandus fosforirikast vett ka lahe kesk- ja lääneossa, kus tot-P sisaldus varieerus  $29\text{—}66 \mu\text{g P/l}$ . Kõrgemad üldfosfori kontsentratsioonid olid lahe rannaäärsetes piirkondades. Fosfaadid sidus endaga rikkalik fütoplankton ja vees nad praktiliselt puudusid.

Suvel omastavad suure osa fosforist põhjataimed. Eriti tähtis on roostik, mis seob aastas  $26 \text{ t}$  fosforit (Ksenofontova, 1983). See moodustab  $37\%$  jõgedes poolt lahte kantavast fosforist ( $70 \text{ t}$  aastas — Järvekül, Porgasaar, 1983). Seetõttu langes fosforisisaldus juba lahe idaosa vees. 1977., 1979. ja 1980. aasta suvel oli perioode, mil tot-P kontsentratsioon langes lahe idaosa vees alla  $20 \mu\text{g P/l}$ , kuigi kanali vees leidis samal ajal fosforit  $40\text{—}54 \mu\text{g P/l}$ . Sademeterikkal 1981. aasta suvel, mil kogu lahe vesi oli biogeeniderikas, varieerus tot-P sisaldus lahe idaosa vees  $19\text{—}47 \mu\text{g P/l}$  ning vähesel määral (alla  $5 \mu\text{g P/l}$ ) esines ka  $\text{PO}_4\text{-P}$ -d.

Lahe kesk- ja lääneosa vees oli suvekuudel väga suuri fosforisisalduse kõikumisi (joon. 2). Paljudel juhtudel täheldati siin isegi fosfori kontsentratsiooni tõusu, võrreldes lahe idaosa veega.

Muhu väinas oli vee üldfosfori sisaldus suhteliselt stabiilne ja madal ( $21\text{—}28 \mu\text{g P/l}$ ) kogu 1981. aasta vegetatsiooniperioodi vältel. 1982. aasta juuni algul täheldati seal mõnevõrra kõrgemat fosforisisaldust ( $35 \mu\text{g P/l}$ ). Fosfaatide analüüsitaval hulgal ei esinenud.

Üldlämmastiku ja üldfosfori suhe (N:P). Normaalseks tasakaalustatud N:P suhteks vetikate rakkudes on 10:1 (Ganapati, 1975; Claesson, 1978). Sellises vahekorras omastatakse nimetatud elemente veest normaalsetes tingimustes ning see on optimaalne vetikate kasvuks. N:P suhe vees peegeldab keskkonna bioloogilis-keemilist tasakaalu ja on inimese poolt vähemõjustatud veekogus võrdlemise konstantne kogu aasta vältel. Suhte muutumine on tingitud peamiselt veekogu reostamisest, kui rikutakse looduslikku tasakaalu (Butler jt., 1979).

Looduslikes puhastes veekogudes on N:P suhe tavaliselt  $15\text{—}30$  (Ahl, 1975; Ganapati, 1975; Butler jt., 1979). Läänemeres, eriti tema lahtedes, on nimetatud suhe väga varieeruv. Helsingi ümbruse merelahtedes muutus 1972. aasta vegetatsiooniperioodil N:P suhe vahemikus  $8\text{—}31$  (Rinne, Tarkiainen, 1975). Suhtarv on tavaliselt madalam fosforirikaste olmevetega reostatud veealadel ja kõrgem puhtas vees. N:P suhe näitab, kumb nimetatud elementidest on algproduktiooni limiteeriv. Seejuures on suhtarv ainult kvalitatiivne näitaja ja selle järgi ei saa otsustada, millisel määral on ühest või teisest elemendist puudu vetikate kasvuks (Schindler jt., 1971). Lämmastiku defitsiiti iseloomustab N:P suhe alla 10 ja suhtarv üle 15 näitab, et limiteeriv element on fosfor (Claesson, 1978).

Matsalu lahte sissevoolavate jõgedes ja kanali vees varieerus N:P suhe  $12\text{—}32$ , olles enamasti üle 15. See viitab lämmastiku ülekaalule. Ainult

Peniõje vees langes suhtarv 4-ni suvel, mil vesi oli väga kõrge fosforisaldusega. Lahe vees varieerus N:P suhe väga laiades piirides (6–39), kuid enamikul juhtudel oli see näitaja vahemikus 15–20. Muhu väina vees oli lämmastiku- ja fosforisaldus tasakaalustatud ning nende suhe 12–15.

## KIRJANDUS

- Ahl, T. Effects of man-induced and natural loading of phosphorus and nitrogen on the large Swedish lakes. — Verh. Internat. Verein. Limnol., 1975, 19, 1125–1132.
- Butler, E. I., Knox, S., Liddicoat, M. J. The relationship between inorganic and organic nutrients in sea water. — J. Mar. Biol. Assoc. U. K., 1979, 59, 239–250.
- Carlberg, S. Analytical methods for Baltic investigations. — Ambio Special Report, 1972, 1, 97–101.
- Clacsson, A. Research on recovery of polluted lakes. Algal growth potential and availability of limiting nutrients. — Acta Universitatis Upsaliensis, 1978, 461, 1–27.
- Fonselius, S. H. On biogenic elements and organic matter in the Baltic. — Ambio Special Report, 1972, 1, 29–36.
- Ganapati, S. V. Biochemical studies of algal-bacterial symbiosis in high-rate oxidation ponds with varying detention periods and algae. — Archiv für Hydrobiol., 1975, 76, 302–367.
- Järvekülg, A. Mere- ja riimveeselgrootute levikupiiridest Matsalu lahes. — ENSV TA Toim. Biol., 1965, 14, 362–365.
- Järvekülg, A. Matsalu laht. — Eesti Loodus, 1983, 11, 707–712.
- Järvekülg, A., Porgasaar, V. Biogeensete elementide summaarne sissevool Matsalu lahte jõgede kaudu väljalalt. — Põllumajanduslikust maakasutusest Matsalu märgala vesikonnas. Käsitäri. ENSV TA Zooloogia ja Botaanika Instituut. Trt., 1983.
- Ksenofontova, T. Roostik läbi ökoloogi silmade. — Eesti Loodus, 1983, 11, 713–720.
- Loigu, E., Marksoo, P., Kovanen, L. Kasari basseini vete sanitaarsest seisundist. — Rmt.: Inimtegevus ja keskkonnakaitse. Teaduslik-praktiline konverents 19. ja 20. märtsil 1981. a. Tln., 1981, 81–85.
- Niemi, A. Ecology of phytoplankton in the Tvärminne area, SW coast of Finland. II. Primary production and environmental conditions in the archipelago and the sea zone. — Acta Bot. Fennica, 1975, 105, 1–73.
- Porgasaar, V. Matsalu lahe vee soolsusest 1975. ja 1977–1978. a. andmetel. — Rmt.: Loodusevaatlusi 1978, I. Tln., 1980, 151–160.
- Porgasaar, V. Matsalu lahe vee soolsusest 1979. aastal. — Rmt.: Loodusevaatlusi 1979, I. Tln., 1981, 26–31.
- Porgasaar, V., Simm, H. Matsalu lahe hüdrokeemilisest režiimist. — Rmt.: Matsalu — rahvusvahelise tähtsusega märgala (trükis).
- Porgasaar, V., Viik, M. Biogeensete sisaldus Matsalu lahe vees 1979–1980. a. — Rmt.: Loodusevaatlusi 1980, I. Tln., 1982, 166–177.
- Porgasaar, V., Viik, M. Biogeensete sisalduse sesoonne dünaamika Matsalu lahe vees 1981. a. vegetatsiooniperioodil. — Rmt.: Loodusevaatlusi 1981, I. Tln., 1984, 158–167.
- Report of the Baltic Intercalibration Workshop. Kiel, 7.–19. March 1977. Annex, 1977, 14–114.
- Rinne, I., Tarkiainen, E. Chemical factors affecting algal growth off Helsinki. — Merentutkimuslait. Julk., 1975, 239, 91–99.
- Schindler, D. W., Armstrong, F. A., Holmgren, S. K., Brunskill, G. J. Eutrophication of Lake 227, Experimental Lake Area, North-Western Ontario, by addition of phosphate and nitrate. — J. Fish. Res. Board Can., 1971, 28, 1763–1782.
- Simm, H. Matsalu lahe hüdrokeemiast. — Loodusuurijate Seltsi aastaraamat. Tln., 1973, 62, 104–111.
- Simm, H. Eesti pinnavee hüdrokeemia. Tln., 1975.
- Strickland, J. D. H., Parsons, T. R. A practical handbook of seawater analysis. Pigment analysis. — Bull. Fish. Res. Board Can., 1968, 167, 185–206.
- Trei, T. Materjale Väinamere põhjajäimeistiku ja töenduslike punavetikate kasutamise võimaluste kohta. — ENSV TA Toim. Biol., 1965, 14, 180–196.
- Ярвекюль А. А. О замене солоноватоводной фауны пресноводной в бухте Матсалу (западное побережье ЭССР). — В кн.: Гидробиологические и ихтиологические исследования внутренних водоемов Прибалтики. Вильнюс, 1968a, 87–94.
- Ярвекюль А. А. Донная фауна Матсалузского залива и района его устья. — Тр. гос. заповедников ЭССР, 1968b, вып. 1, 63–84.

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ МАТСАЛУСКОЙ БУХТЫ И ИХ СВЯЗЬ С СОДЕРЖАНИЕМ ХЛОРОФИЛЛА *a*

### 1. Физико-химические свойства воды

Гидрохимический режим Матсалуской бухты чрезвычайно неустойчив и формируется гидрологическими, метеорологическими и антропогенными факторами. С 1975 по 1983 гг. исследовали следующие показатели воды: соленость, содержание общего фосфора и фосфатов, общего азота, нитратов, нитритов, аммонийного азота, хлорофилла *a*, кислорода, гумусовых веществ (расценивали по цвету воды). Определены pH, мутность, прозрачность, температура, глубина. По физико-химическим свойствам воды бухта условно разделена на восточную, среднюю и западную части, которые довольно резко отличаются друг от друга.

Valli PORGASAAR

## PHYSICAL AND CHEMICAL QUALITIES OF THE WATER OF MATSALU BAY AND THEIR RELATION TO CHLOROPHYLL *a* CONTENT

### 1. The physical and chemical qualities of the water

The material was gathered during 15 complex expeditions of the department of marine biology of the Institute of Zoology and Botany, Academy of Sciences of the Estonian SSR. The study area, sampling stations and the conventional division of the bay into eastern (I), middle (II) and western (III) parts are given in Fig. 1. The following physical and chemical parameters were studied: S‰, tot-P, PO<sub>4</sub>-P, tot-N, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, chl *a*, O<sub>2</sub>, pH, yellow substances, turbidity, Secchi disc transparency, t°, depth. The parameters and years of research are given in Table 1. The salinity, concentration of total nitrogen, nitrate and total phosphorus of the water at separate stations in spring (1), summer (2) and autumn (3) are shown in Fig. 2. The chemical composition of the water of the bay is extremely mutable and strongly influenced by hydrological and meteorological factors and human activity. The water quality of the bay is shaped mainly by the inflow, from the east, of fresh river water which is rich in biogenic elements, and by the invasion of brackish sea water from the west. The correlation coefficients between the salinity and the total nitrogen and phosphorus contents for both the whole and the middle part of the bay in different vegetation periods are given in Table 2. The hydrochemical regime and the distribution of nutrients in the shallow Matsalu Bay are also in close connection with the life activity of water organisms, especially with the rich benthic vegetation.