

УДК 574.524

*Aini LINDPERE, Henno STARAST, Anu MILIUS, Arno PIHLAK*

## PEIPSI-PIHKVA JÄRVE VEE OMADUSED JA NENDE SEOS BIOGEENSETE ELEMENTIDEGA

1985. aasta maist septembrini toimusid Eesti NSV TA Zooloogia ja Botaanika Instituudi hüdrokeemia töörühma uuringud Peipsi-Pihkva järvel. Ülesandeks oli määrata üheaegselt vee pH, värvus, läbipaistvus, dikromaatne oksüdeeritavus, samuti üldlämmastiku ja üldfosfori sisaldus. Vee pH-d, värvust, läbipaistvust ja dikromaatset oksüdeeritavust on juba pikemat aega Peipsi-Pihkva järves mõõdetud (Капуна, 1983; Каныреко, 1983). Ülevaate üldfosfori jaotumisest Peipsi-Pihkva järve akvatooriumil 1985. aastal annab hiljaaegu ilmunud artikkel (Lindpere jt., 1986). Varem oli andmeid järve vee üldfosfori kontsentratsiooni kohta avaldatud äärmiselt vähe (Перцова jt., 1981; Назаров, 1984). Üldlämmastiku sisaldust Peipsi-Pihkva järve vees varem määratud ei ole.

Käesoleva uurimuse ülesandeks on iseloomustada üldfosfori ja üldlämmastiku kontsentratsiooni muutumisega kaasnevat vee omaduste muutusi Peipsi-Pihkva järve akvatooriumil. Artiklis esitatakse üldfosfori ja üldlämmastiku kontsentratsiooni, vee dikromaatse oksüdeeritavuse, värvuse, läbipaistvuse ja pH mõõtmise tulemused, jaotumus järve akvatooriumil, nende vahelised statistilised seosed ning käsitletakse muutumise põhjusi ja seaduspärasusi.

Autorid avaldavad tänu Zooloogia ja Botaanika Instituudi keemilise ja statistilise analüüsi laboratooriumi vaneminseneridele Reet Läänele, Leini-Marje Raavale, Uno Mälgile ja insener Marina Haldnale kaastöö eest järve uurimisel.

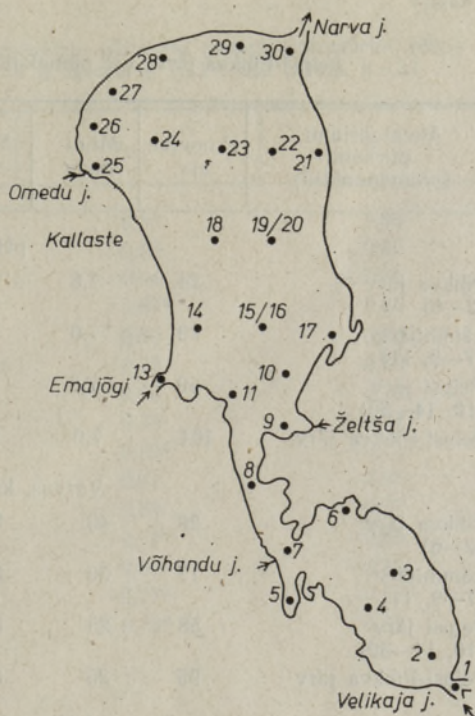
### Materjal ja meetodika

Veeproovid koguti 1985. aasta maist septembrini kord kuus 0,5 m sügavusest. Vaatluspunkte oli 27, neist 16 Peipsi järvel, 4 Lämmijärvel, 5 Pihkva järvel ning suurimate jõgede — Velikaja (vaatluspunkt 1) ja Suure Emajõe (vaatluspunkt 13) suudmes (joon. 1).

Vee pH määrati kolorimeetrilise skaala abil. Vee läbipaistvust mõõdeti Secchi kettaga. Dikromaatne oksüdeeritavus määrati titrimetriliselt (Алекин, 1959). Vee värvuskraadid määrati koobaltsulfaat-kaaliumdikromaat-standardlahuste skaala abil (Руководство ..., 1977). Üldfosfor määrati kolorimeetriliselt askorbiinhappe ja ammooniummolübdadaadiga pärast proovi oksüdeerimist kaaliumpersulfaadiga (Reports ..., 1977). Üldlämmastik määrati nitritiks taandatuna kolorimeetriliselt sulfanüülamiidi ja n-(1-naftüül)-etüleendiamiindihüdrokloriidiga (Koroleff, 1976).

Järve vee analüüsi tulemused on esitatud tabelis 1. Korrelatsiooniarvutusel kasutati lähteandmetena proovipunktide vee koostise ja omaduste aritmeetilisi keskmisi, mis arvutati maist kuni septembrini teostatud mõõtmiste tulemustest (tab. 2). Ka vee koostise ja omaduste jaotumise skee-

mid (joon. 2) koostati proovipunktide keskmiste näitajate järgi. Joonistamisel võeti aluseks Peipsi ja Lämmijärve isoliinid, mis arvutati topograafilist programmi kasutades elektronarvutiga Eesti NSV TA Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituudis. Samajooned, mis iseloomustavad jaotust Pihkva järves, arvutati lineaarse interpoleerimise teel.



Joon. 1. Proovipunktide asukohad Peipsi-Pihkva järvel.

### Tulemused ja arutelu

**Üldfosfor** on Peipsi-Pihkva järve akvatooriumil jaotunud väga ebaühtlaselt, 16—198 mg P/m<sup>3</sup>. Fosforisisalduse varieeruvus on suurim (tab. 1). Pihkva järve vees oli üldfosfori kontsentratsioon suur ja väga varieeruv, 22—198 mg P/m<sup>3</sup>. Palju leidus fosforit ka Lämmijärves, 23—133 mg P/m<sup>3</sup>. Kõige vähem oli teda Peipsi vees, 16—50 mg P/m<sup>3</sup>, kus ta oli ka jaotunud kõige ühtlasemalt.

Fosfori poolest rikkaim on Pihkva järve avaosa, mida tugevasti mõjutab Velikaja jõgi (joon. 2, A). Kõige vähem oli fosforit (alla 25 mg P/m<sup>3</sup>) Peipsi loodenurga vees Lohusuu ja Mustvee lähistel. On ilmne, et see piirkond jääb kõrvale Velikaja ja Emajõe suudmest lähtuva fosforirikka vee liikumise teedest järves. Peipsi lõunaosas on vesi fosforirikkam kui kesk- ja põhjaosas.

Vaatlusperioodi jooksul muutus fosfori kontsentratsioon Velikaja ja Emajõe suudme vees vastavalt 79—101 (keskmise 90) ja 78—120 (keskmise 83) mg P/m<sup>3</sup>. Nende jõgede vees ületas üldfosfori sisaldus harva Eesti NSV väikeste jõgede kaitseks soovitatud ökoloogiliselt lubatud piirkontsentratsiooni 100 mg P/m<sup>3</sup> (Вельнер jt., 1982).

**Üldlämmastiku** sisaldus oli Peipsi-Pihkva järve vees 150—2030 mg N/m<sup>3</sup>; varieeruvus oli suur kõigis järve osades (tab. 1). Palju oli lämmastikku Velikaja suudme vees: 430—1790, keskmiselt 910 mg N/m<sup>3</sup>. Veelgi suurem oli lämmastiku sisaldus Emajõe suudme vees: 940—2060, keskmiselt 1280 mg N/m<sup>3</sup>.

Võrreldes lõunapoolsete osadega on üldlämmastiku kontsentratsioon Peipsi järve põhjaosa vees oluliselt väiksem, kusjuures kõige ühtlasem ja väiksem on ta Peipsi kirdeosas (joon. 2, B). Lämmastiku jaotusest Peipsi-Pihkva järve akvatooriumil võib järeldada, et Velikaja kõrval avaldab sisaldusele järves olulist mõju läänekalda valgla lämmastikukoormus.

Peipsi-Pihkva järve vee pinnakihi koostis maist septembrini 1985

Akvatooriumi piirkond (proovipunktid)	Proovide arv	Miinum	Maksimum	Keskmine ja standardviga	Standardhälve	Variatsioonikoefitsient
pH						
Pihkva järv (2—6)	24	7,5	8,4	8,05±0,02	0,22	2
Lämmijärv (7—9, 11)	20	7,0	8,4	7,95±0,03	0,34	4
Peipsi järv (10, 14—30)	60	7,8	8,4	8,18±0,01	0,11	1
Peipsi-Pihkva järv	104	7,0	8,4	8,11±0,02	0,22	3
Värvus, kraadides						
Pihkva järv (2—6)	20	45	85	63±1,0	10	16
Lämmijärv (7—9, 11)	17	30	80	59±1,3	13	22
Peipsi järv (10, 14—30)	58	25	55	37±0,7	6,6	18
Peipsi-Pihkva järv	95	25	85	46±1,5	15	32
Läbipaistvus, m						
Pihkva järv (2—6)	24	0,5	2,3	1,18±0,04	0,5	39
Lämmijärv (7—9, 11)	19	0,6	1,9	1,18±0,03	0,4	30
Peipsi järv (10, 14—30)	74	1,2	5,4	2,27±0,08	0,9	39
Peipsi-Pihkva järv	117	0,5	5,4	1,87±0,08	0,9	49
Dikromaatne oksüdeeritavus, mg O/l						
Pihkva järv (2—6)	25	16,5	69,3	37,4±1,0	11	29
Lämmijärv (7—9, 11)	18	18,2	63,9	37,9±1,1	12	32
Peipsi järv (10, 14—30)	72	16,5	48,1	27,7±0,51	5,6	20
Peipsi-Pihkva järv	115	16,5	69,3	31,5±0,88	9,5	30
Üldfosfor, mg P/m <sup>3</sup>						
Pihkva järv (2—6)	25	22	198	76±3,8	42	56
Lämmijärv (7—9, 11)	20	23	133	59±2,5	28	48
Peipsi järv (10, 14—30)	75	16	50	28±0,8	8,6	31
Peipsi-Pihkva järv	120	16	198	43±2,8	31	72
Üldlämmastik, mg N/m <sup>3</sup>						
Pihkva järv (2—6)	25	300	1790	856±37	406	47
Lämmijärv (7—9, 11)	20	330	2030	901±43	478	53
Peipsi järv (10, 14—30)	73	150	1830	590±33	360	61
Peipsi-Pihkva järv	118	150	2030	699±38	413	59

Peipsi-Pihkva järve vaatluspunktide vee keskmiste näitajate (maist septembrini 1985) korrelatsioonikordajad logaritmilise ( $r_1$ ) ja lineaarse ( $r_2$ ) seose korral,  $n=27$

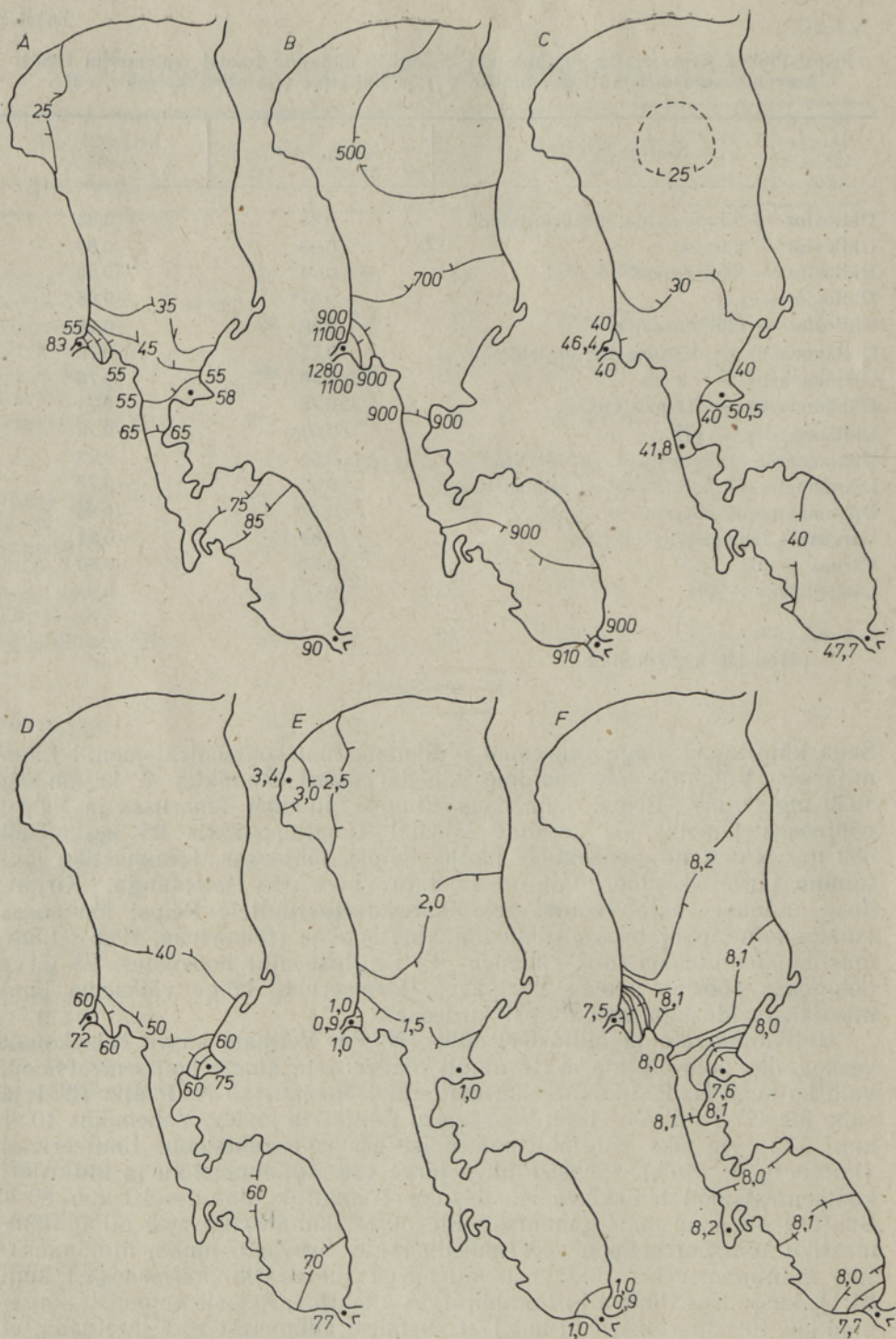
Näitaja	$r_1$	$r_2$
Üldfosfor — dikromaatne oksüdeeritavus	0,83	0,83
Üldfosfor — värvus	0,90	0,89
Üldfosfor — läbipaistvus	-0,94	-0,86
Üldfosfor — pH	-0,67*	-0,66
Üldfosfor — üldlämmastik	0,80	0,78
Üldlämmastik — dikromaatne oksüdeeritavus	0,73	0,70
Üldlämmastik — värvus	0,80	0,76
Üldlämmastik — läbipaistvus	-0,78	-0,74
Üldlämmastik — pH	-0,69*	-0,73
Dikromaatne oksüdeeritavus — värvus	0,91	0,93
Dikromaatne oksüdeeritavus — läbipaistvus	-0,84	-0,77
Dikromaatne oksüdeeritavus — pH	-0,77*	-0,80
Värvus — läbipaistvus	-0,89	-0,82
Värvus — pH	-0,77*	-0,80
Läbipaistvus — pH	0,73*	0,66

\* pH ei ole logaritmitud.

Seda kinnitavad kõige suuremad üldlämmastiku kontsentratsioonid Lämmijärves Vöhandu jõe suudme lähedal (vaatluspunktis 7 keskmiselt 1030 mg N/m<sup>3</sup>), Peipsi lõunaosas Emajõe suudme ümbruses ja Peipsi põhjaosas Omedu jõe suudme lähedal (vaatluspunktis 25 keskmiselt 580 mg N/m<sup>3</sup>) ning sisalduse jaotus Peipsi põhjaosas. Lämmastiku jaotumine järve akvatooriumil on seletatav hoovuste iseloomuga. Kirjanduse andmeil vastab valdavatele läänekaarte tuultele Peipsi lõunaosas tsükloonaalne, põhjaosas antitsükloonaalne hoovus (Филатова, 1985). Lämmastikuühendite sisaldus väheneb vee ringluse ajal hoovustes. Et järve põhjaosas pöörleb hoovus päripäeva, formeerubki kõige väiksema lämmastikusisaldusega vesi Peipsi kirdeosas.

**Üldlämmastiku ja üldfosfori suhe (N:P).** Vetikate kasvu seisukohalt veekogudes pole oluline mitte ainult biogeensete ainete kontsentratsioon, vaid ka suhe N:P. Lämmastiku defitsiiti iseloomustab N:P alla 10:1 ja suhe üle 17:1 näitab, et vetikate kasvu limiteerib fosfor. Vahemikus 10:1 kuni 17:1 on üks või mõlemad neist esmasproduktiooni limiteerivad (Forsberg jt., 1978). Peipsi-Pihkva järve vee üldlämmastiku ja üldfosfori kontsentratsioonide üksikväärtuste suhe oli muutlik, ulatudes 4:1 kuni 80:1. Suhtarv oli suur mais (enamasti üle 30:1), kuna sellel ajal oli üldlämmastiku kontsentratsioon vees maksimaalne. Seevastu juulis, üldlämmastiku miinimumseisus, olid vastavad arvud suhteliselt väikesed (4:1 kuni 24:1), kusjuures Pihkva ja Lämmijärves alla 10:1, Peipsis enamasti suuremad kui 10:1 ja väiksemad kui 17:1. Nendest andmetest võib järeldada, et eri perioodidel võib limiteeriv element olla erinev. Kevadel (mais) limiteerib Peipsi-Pihkva järves fütoplanktoni arengut fosfor.

Peipsi-Pihkva järve proovipunktide vee üldlämmastiku ja üldfosfori keskmiste andmete (maist septembrini) suhtarvu diapason oli 8:1 kuni 28:1. Kõige toitulisema veega Pihkva järves oli suhe madalaim, 8:1 kuni 17:1 (keskmine 12:1), Lämmijärves vahepealne — 13:1 kuni 17:1 (keskmine 15:1) ja puhtaimas järveosas — Peipsis — kõrgeim, 14:1 kuni 28:1



Joon. 2. Peipsi-Pihkva järve vee koostise ja omaduste jaotumise skeemid.  
 A — üldfosfor, mg P/m<sup>3</sup>; B — üldlämmastik, mg N/m<sup>3</sup>; C — dikromaatne oksüdeeritavus, mg O/l; D — vee värvus, kraadides; E — vee läbipaistvus, m; F — vee pH.

(keskmise 21:1). Nendest andmetest tulenevalt limiteerib vetikate kasvu Peipsis peamiselt fosfor, Pihkva järves ja Lämmijärves nii fosfor kui lämmastik.

N:P suhte alusel hinnatakse ka veekogude troofsustaset. Fosforirikaste olmevetega reostatud vetes on N:P suhtarv väiksem kui puhtas vees. Jõgede kohta see ei kehti. On leitud, et tugevasti humifitseerunud veekogudele on iseloomulik N:P suhe 135:1; puhastele oligotroofsetele ja mesotroofsetele järvedele 30:1, 40:1; antropogeenselt mõjustatud eutroofsetele järvedele 15:1 kuni 25:1 ja hüpertroofsetele — 12:1 ja 18:1 (Алекин jt., 1985). Neid andmeid aluseks võttes tuleb Pihkva järve hinnata hüpertroofseks, Lämmijärve hüpertroofseks või eutroofseks ja Peipsit eutroofseks.

**Dikromaadne oksüdeeritavus** kõikus Peipsi-Pihkva järve pinnavees vahemikus 16,5—69,3 mg O/l (tab. 1). Pihkva ja Lämmijärv ei erine oluliselt orgaanilise aine kontsentratsiooni poolest. Tunduvalt väiksema orgaanilise aine kontsentratsiooni poolest erineb neist (99% tõenäosusega) Peipsi järv. Dikromaatse oksüdeeritavuse varieeruvus oli suurim Lämmijärves ja väiksem Peipsis. Jooniselt 2, C nähtub, et orgaaniliste ainete poolest kõige kontsenteeritum oli vesi Zeltša jõe suudme lähedal (keskmiselt 50,5 mg O/l). Ka Pihkva järve lõunapoolse osa vees oli orgaanilisi aineid palju (40—45 mg O/l). Põhja suunas nende sisaldus väheneb, saavutades miinimumkontsentratsiooni — keskmine 22,7 mg O/l — Peipsi järve põhjaosa keskel vaatluspunktis 23.

Jõgede suudmete vee dikromaadne oksüdeeritavus oli suur, Velikaja ja Emajõe suudmes vastavalt 33,9—59,2° (keskmise 47,7) ja 42,2—53,9° (keskmise 46,3) mg O/l.

**Vee värvus.** Peipsi-Pihkva järve vee värvuskraadide diapsoon oli suur, 25—85° (tab. 1). Kõige tumedam oli vesi Pihkva järves. Vee värvus oli siin enamasti pruunikaskollane, Velikaja jõe poolt tugevasti mõjustatud alal pruun, sagedasti punaka või oranži varjundiga. Jooniselt 2, D nähtub, et vee värvus on kõige suurem Velikaja jõe lähistel ja väheneb pidevalt järves põhja suunas. Velikaja jõe suudmes oli vesi punakaspruun või oranž ja enamasti 80° lähedal, keskmine 77°. Lämmijärve vesi oli rohekas-pruunikaskollane, Zeltša jõe mõju piirkonnas pruun, mõnikord punaka tooniga. Peipsi järve vesi oli kõige heledam, värvuselt kas kollane või kollakasroheline. Peipsi lõunaosas mõjustavad vee värvust huumusaineterikas tumedaveeline Zeltša jõgi ja Emajõgi. Emajõe suudmes muutus vee värvus kollakaspruunist pruunikaskollaseni vahemikus 55—80° (keskmise 72°).

**Vee läbipaistvus.** Peipsi-Pihkva järves mõjustab vee läbipaistvust palju tegureid (Каруна, 1983). 1985. aasta vaatlusperioodil oli läbipaistvus 0,5—5,4 m.

Järve põhjaosas on vesi selgem kui lõunapoolsetes osades (tab. 1). Jooniselt 2, E nähtub, et kõige väiksema läbipaistvusega (keskmise 1,0—1,5 m) on Pihkva ja Lämmijärv. Sellest suurem on keskmine läbipaistvus Peipsi järve kaguosas, 1,5—2,0 m. Suurem osa Peipsi järvest oli keskmise läbipaistvusega 2,0—2,5 m. Kõige selgema veega eristub Peipsi järve loodenurk (2,5—3,4 m). Ka endistel aastatel on vesi järves olnud läbipaistvam põhja pool ja kõige läbipaistvam loodeosas (Каруна, 1983).

Jõgede suudmetes oli vee läbipaistvus väiksem kui järves; Velikaja suudmes 0,7—1,2 m (keskmise 0,91), Emajõe suudmes 0,75—1,0 m (keskmise 0,87 m).

**Vee pH.** Peamine pH väärtust muutev tegur järves on orgaanilise aine destruktsiooni ja fotosünteesi intensiivsuse ning huumusainete kontsentratsiooni muutused. 1985. aastal intensiivset fotosünteesi perioodi järves kas ei tabatud või see puudus, kuna pH suuri kõikumisi, samuti kõrgeid väärtusi ei täheldatud. Andmete varieeruvus on väike (tab. 1).

Peipsi-Pihkva järve vesi on nõrgalt aluseline. Jooniselt 2, *F* nähtub, et vee pH oli madal jõgede suudmetes ja Zeltša jõe mõjupiirkonnas. Emajõe suudmes oli vee pH kõige madalam — 7,3—7,6 (keskmise 7,45). Velikaja suudmes kõikus vee pH vahemikus 7,3—8,0 (keskmise 7,65), Zeltša jõe suudme lähedal — 7,0—8,4 (keskmise 7,6). Pihkva ja Lämmijärve vaatluspunktid olid vee keskmised pH väärtused 8,0—8,1. Erandiks oli Väraska laht (vaatluspunkt 5), mille keskmine pH oli suurem — 8,2. Vee pH kujunemist Peipsi järve kaguosas mõjutavad tugevasti Lämmijärv, Emajõgi ja Zeltša. Siin on pH madalam (enamasti 8,1) kui Peipsi järve põhja- ja läänes, kus ta oli kõige kõrgem — keskmiselt 8,2.

**Toiteelementide sisalduse ja vee omaduste seosed.** Nii toiteelementide sisaldus kui ka vee omadused on järve akvatooriumil ebaühtlased ja muutuvad laias vahemikus (tab. 1). Meie poolt uuritud näitajate järgi hinnates on vee kvaliteet järve põhjaosas, mille kirdenurgast voolab välja Narva jõgi, parem kui lõunapoolsetes osades, kuhu suubuvad kõik suuremad jõed (joon. 1). Jaotusest (joon. 2) ilmneb nii jõgede lokaalne lähimõju kui ka üle järve leviv kaugmõju. Suvel mõjustavad Emajõgi ja Zeltša järve lokaalselt vaid kuni 3—4 km suudmest. Velikaja suure vooluhulga ja vee muutliku koostise tõttu ei ilmne muutused mitte alati jõe suudme vahetus läheduses (nagu vee pH puhul), vaid eemal Pihkva ja Lämmijärves.

Et Velikaja\* ja Emajõe kaudu voolab Peipsi-Pihkva järve ligikaudu 80% pinnavee mahust (Hazapov, 1984), formeerub toitainete sisaldus peamiselt nende kahe suurima jõe suure fosfori- ja lämmastiksisaldusega vee mõjul. Toiteelementide sisaldus väheneb järves üldiselt põhja suunas. Fosfori ja lämmastiku kontsentratsiooni vähenedes hoovuste liikumise suunas Pihkva järvest Peipsisse ja sealt Narva jõkke muutuvad oluliselt ka vee omadused. Võrreldes Pihkva ja Lämmijärvega on Peipsi lõunaosas orgaanilise aine kontsentratsioon ja vee värvus vähenenud ning vee läbipaistvus ja pH suurenenud. Peipsi põhjaosas on vee omadused kõige ühtlasemad, orgaanilise aine ja vesinikioonide kontsentratsioon ning vee värvus kõige väiksem. Vesi on kõige läbipaistvam järve loodenurgas, kus fosfori kontsentratsioon on kõige väiksem.

Võrreldes vee keemilist koostist ja füüsikalisi omadusi järve akvatooriumi ulatuses selgub, et toiteelementide, eriti fosfori kontsentratsiooni vähenemise suunas väheneb enamasti ka orgaanilise aine ja vesinikioonide kontsentratsioon ning vee värvus, kuid vee läbipaistvus enamasti suureneb. Seda kinnitab nendevaheline oluline korrelatiivne sõltuvus (tab. 2). Kõik näitajad on vee pH ja läbipaistvusega negatiivses, omavahel positiivses korrelatsioonis. Vee pH seos fosfori kontsentratsiooniga on keskmise tugevusega, kõigi teiste näitajate omavaheline seos on tugev.

Üks tugevamaid seoseid iseloomustab järvede troofsuse tuntud põhi-parametreid üldfosfori ja läbipaistvuse omavahelist sõltuvust ( $r = -0,94$ ). Ka teised näitajad iseloomustavad troofsustingimusi ja muutuvad järve eutrofeerumisel. Järve troofsustase ja sekundaarsed vee omadused olenevad fosfori ja lämmastiku ühendite sisaldusest vees. Üldfosfori seosed sekundaarsete näitajatega on tugevamad kui üldlämmastiku seosed. Järelikult määrab järve troofsustaseme enamasti fosfaatioonide sisaldus. Orgaanilise aine sisaldus, vee läbipaistvus ja värvus olenevad järves rohkem fosfori kui lämmastiku ühendite sisaldusest.

Orgaanilise aine sisaldus määrab vee värvuse järves ( $r = 0,93$ ). Allohtoonid huumusained mõjustavad tugevasti vee värvust järve lõunapoolsetes osades. Seda näitab vee pruun, mõnikord punaka või oranži varjundiga värvitsoon jõgede suudme lähistel ja pruunikas alatoon Pihkva ja Lämmijärves. Võib arvata, et nimetatud piirkondades mõjustavad huumusained ka vesinikioonide kontsentratsiooni. Vee pH formeerumisel on järves määrav orgaanilise aine destruktsioonil vabanev süsihappegaas, mitte

tema tarbimine fotosünteesil. Seda näitab pH positiivne korrelatsioon läbipaistvusega ja negatiivne teiste troofsusnäitajatega.

Statistiliselt on tõestatud, et fosfori ja lämmastiku sisalduse vähenedes paranevad (99% tõenäosusega) vee omadused Peipsi-Pihkva järves: vähe- neb orgaanilise aine sisaldus ja vee värvus ning suureneb vee läbipaist- vus ja pH. Et säilitada või parendada Peipsi järve vee kvaliteeti, on vaja vähendada fosforiühendite sissevoolu järve, eriti Velikaja ja Emajõe kaudu.

## KIRJANDUS

- Forsberg, C., Ryding, S., Forsberg, A., Claesson, A.* Water chemical analysis and/or algal assay. Sewage effluent and polluted lake water studies. — Mitt. Int. Ver. Limnol., 1978, 21, 352—363.
- Koroleff, F.* Determination of nutrients. Total and organic nitrogen. — In: *Grasshoff, K.* Methods of Seawater Analysis. Weinheim—New York, 1976, 167—173.
- Lindpere, A., Milius, A., Starast, H.* Klorofüll a ja üldfosfor Peipsi-Pihkva järve vees. — Keskkonnakaitse, 1986, nr. 2, 10—15.
- Reports of the Baltic Intercalibration Workshop. Kiel, 1977, 27—28.
- Алекин О. А.* Методы исследования физических свойств и химического состава воды. — В кн.: Жизнь пресных вод СССР, 4. Ч. 2. М.—Л., 1959, 251—253.
- Алекин О. А., Драбкова В. Г., Коплан-Дикс И. С.* Проблема эвтрофирования континентальных вод. — В кн.: Антропогенное эвтрофирование природных вод. Мат-лы III Всесоюз. симп., М., 1983. Черноголовка, 1985, 25—34.
- Вельнер Х., Лойгу Э., Сава А.* К вопросу экологического нормирования биогенных веществ в воде рек. — В кн.: Проблемы современной экологии. Тарту, 1982, 102.
- Капутерко С. А.* Гидрохимическая характеристика озера. — В кн.: Чудско-Псковское озеро. Л., 1983, 116—124.
- Каруна Н. И.* Прозрачность, цвет и окрашенность воды. — В кн.: Чудско-Псковское озеро. Л., 1983, 111—115.
- Назаров Г. В.* Чудско-Псковское озеро. — В кн.: Природные ресурсы больших озер СССР и вероятные их изменения. Л., 1984, 105—129.
- Петрова Н. А., Антонов С. Е., Гусаков Б. Л., Расплетина Г. Ф.* Расчет зависимости между концентрацией фосфора и содержанием хлорофилла «а» в больших озерах Северо-Запада СССР. — В кн.: Круговорот вещества и энергии в водоемах. Вып. 5. Иркутск, 1981, 110—112.
- Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Л., 1977, 28—29.
- Филатова Т. Н.* Основные черты циркуляции вод Чудско-Псковского озера. — В кн.: Проблемы исследования крупных озер СССР. Л., 1985, 167—171.

*Eesti NSV Teaduste Akadeemia  
Zooloogia ja Botaanika Instituut*

Toimetuse saabunud  
30. IX 1986

*Eesti NSV Teaduste Akadeemia  
Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut*

Айни ЛИНДПЕРЕ, Хенно СТАРАСТ, Ану МИЛИУС, Арно ПИХЛАК

### СВОЙСТВА ВОДЫ ПСКОВСКО-ЧУДСКОГО ОЗЕРА И ИХ СВЯЗИ С БИОГЕННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Совместное изменение концентраций биогенных элементов и свойств воды в акватории Псковско-Чудского озера рассматривается впервые. Пробы воды отбирали на 27 пунктах (рис. 1) с мая по сентябрь 1985 г. один раз в месяц с глубины 0,5 м от горизонта воды. Исходными данными для вычисления коэффициентов корреляции и составления схем распределения (рис. 2) использовали арифметические средние химического состава и физических свойств воды, которые вычисляли для каждого пункта.



Как содержание биогенных элементов, так и свойства воды являются неоднородными и в широких пределах изменяются по акватории озера (табл. 1). В южных частях озера, куда впадают более крупные реки, качество воды хуже, чем в северной части, из северо-восточного участка которой вытекает р. Нарва. Основное количество соединений фосфора и азота поступает в озеро с водами рек Великой и Эмайыги. Концентрация общего азота в устье р. Эмайыги в среднем равна 1280 мг/м<sup>3</sup>. Это гораздо больше, чем в р. Великой (910 мг/м<sup>3</sup>). Содержание общего фосфора в обеих было близкое к экологически допустимой концентрации (100 мг Р/м<sup>3</sup>), превышало ее редко. В районах, находящихся под наиболее сильным воздействием рек, т. е. в Псковском и Теплом озерах, а также в южной части Чудского озера концентрации общего фосфора, общего азота, органического вещества и цветность воды наивысшие, а прозрачность и рН воды — самые низкие (рис. 2).

Содержание биогенных элементов в озере уменьшается, в общем, в северном направлении. В северной части озера концентрация общего фосфора уменьшается в западном, а общего азота — в восточном направлениях. Содержание фосфора в воде было наименьшим на северо-западном участке Чудского озера, расположенном вдали от путей передвижения в озере обогащенных фосфором вод, формирующихся под воздействием рек Великой и Эмайыги. С уменьшением концентрации биогенных элементов, за время переноса водных масс из Псковского озера через Теплое и Чудское в р. Нарву, совместно изменяются и свойства воды. По сравнению с Псковским и Теплым озерами, концентрация органического вещества и цветность воды южной части Чудского озера понижены, прозрачность и рН воды — повышены. В северной части Чудского озера свойства воды (кроме прозрачности) являются однородными. Концентрация органического вещества и цветность воды наиболее низкие, а рН — наиболее высокая. Вода наиболее прозрачная на северо-западном участке озера.

Сравнение химического состава и физических свойств воды по акватории показывает, что с уменьшением концентраций биогенных элементов, в частности фосфора, в большинстве случаев уменьшаются и концентрация органического вещества, и цветность воды, а прозрачность и рН воды повышаются. Это подтверждается достоверными при уровне значимости 0,01 коэффициентами корреляции (табл. 2). Между прозрачностью и рН воды, с одной стороны, и остальными признаками, с другой, существуют отрицательные корреляции. Все остальные корреляции положительные. Связь рН воды с общим фосфором — средней тесноты, связи между остальными признаками — тесные.

Все рассматриваемые признаки характеризуют трофические условия и меняются с эвтрофированием озер. От содержания соединений фосфора и азота зависит как уровень трофии озера, так и вторичные свойства воды. Эвтрофирование Псковско-Чудского озера распространяется с юга на север. По соотношению азота и фосфора Псковское озеро следует считать гипертрофным (N:P=12:1), Теплое озеро — либо гипертрофным, либо эвтрофным (15:1), а Чудское озеро — эвтрофным (21:1). В Чудском озере первичная продукция автотрофных организмов лимитируется фосфором.

Статистически доказано, что при понижении содержания фосфора и азота, и, соответственно уровня трофии улучшаются свойства воды в озере: уменьшаются содержание органического вещества и цветность, повышается прозрачность воды. Повышается также рН воды, так как при формировании концентрации водородных ионов определяющим является содержание в воде двуокси углерода, которая образуется в результате деструкции органического вещества.

Для сбережения и улучшения качества воды в Чудском озере в первую очередь необходимо уменьшить приток фосфора в озеро, в частности с водами рек Великой и Эмайыги.

*Aini LINDPERE, Henno STARAST, Anu MILIUS, Arno PIHLAK*

## WATER CHARACTERISTICS OF LAKE PEIPSI-PIHKVA AND THEIR CORRELATION WITH NUTRIENTS

The authors discuss for the first time changes in the water characteristics throughout Lake Peipsi-Pihkva, accompanied by changes in the concentration of total phosphorus and total nitrogen. Water samples were collected from May to September, 1985 once a month at a depth of 0.5 m. As the initial data for calculating the correlation coefficients (Table 2) and drawing the distribution schemes (Fig. 2) the arithmetical means of the water composition and characteristics at the sample stations were used.

Both the content of nutrients and water characteristics in the lake are unstable and fluctuate significantly (Table 1). According to the characteristics studied the quality of water is better in the northern part of the lake with the outflow of the Narva River in its north-eastern corner than in the southern parts where the inflows of all bigger rivers are situated (Fig. 1). The majority of phosphorus and nitrogen compounds are carried into the lake by the waters of the Velikaya and Emajõgi rivers. The concentration of total nitrogen in the inflow of the Emajõgi River (average 1280 mg N/m<sup>3</sup>) was

essentially higher than in the Velikaya River (average 910 mg N/m<sup>3</sup>). The content of the total phosphorus in both rivers was close to the ecologically allowed limit concentration (100 mg P/m<sup>3</sup>) or seldom even exceeded it. In the region under the strongest influence of rivers, i.e. in L. Pihkva, L. Lämmijärv and the southern part of L. Peipsi the concentration of total phosphorus (Fig. 2, A), total nitrogen (Fig. 2, B), organic substances (Fig. 2, C, dichromate oxidizability of water), the colour of water (Fig. 2, D) were highest, while the transparency (Fig. 2, E) and pH of the water (Fig. 2, F) were lowest.

In general, the nutrient content of the lake decreases towards the north. In the northern part of L. Peipsi the concentration of total phosphorus decreases towards the west, the concentration of total nitrogen towards the east. The smallest amount of phosphorus in the water was found in the north-western corner of L. Peipsi, which is out of the way of the currents rich in phosphorus from the inflows of the Velikaya and Emajõgi rivers. The decrease of the nutrient concentration in the direction of the streams from L. Pihkva into L. Peipsi and further into the Narva River is accompanied also by considerable changes in the characteristics of water. In comparison with lakes Pihkva and Lämmijärv the concentration of organic substances in the southern part of L. Peipsi as well the water colour have decreased, while the transparency and pH of water have increased. In the northern part of L. Peipsi the characteristics of water (excl. transparency) are homogeneous. The concentration of organic substances and the colour of water are lowest, while the pH of water is highest. The most transparent water is to be found in the north-western corner of the lake.

Comparing the chemical composition and physical characteristics of water throughout the whole lake it becomes evident that together with the decrease in the concentration of nutrients, especially phosphorus, also the concentration of organic substances mostly decreases, while the transparency and pH of water increase. That is confirmed by essential correlations between them (Table 2). All characteristics have a negative correlation with the pH and transparency of water and positive mutual correlations. The relation between the pH of water and the concentration of total phosphorus is medium, between all the other characteristics strong.

All the characteristics under study characterize trophic conditions and change with the eutrophication of the lake. The trophic level of the lake and secondary characteristics of water depend on the content of phosphorus and nitrogen compounds. L. Peipsi-Pihkva is eutrophied towards the north. By the ratio of nitrogen and phosphorus L. Pihkva (N:P=12:1) is to be considered hypertrophic, L. Lämmijärv (15:1) hypertrophic or eutrophic and L. Peipsi (21:1) eutrophic. In L. Peipsi primary production is limited by phosphorus.

It is statistically proved that together with the decrease of the phosphorus and nitrogen content and, consequently, the level of the trophic state, characteristics of water in the lake are improved: the content of organic substances decreases and the transparency of water increases. Also the pH of water increases, since in the formation of the concentration of hydrogen ions carbon dioxide, released in the destruction of organic substances, appears to be decisive.

In order to maintain or improve the quality of water of L. Peipsi it is necessary, first of all, to restrain the inflow of phosphorus compounds into the lake, especially via the Velikaya and Emajõgi rivers.