

Aini LINDPERE, Henno STARAST, Anu MILIUS, Marina HALDNA,
Helle SIMM

PEIPSI-PIHKVA JÄRVE VEE OMADUSED AASTAIL 1985—1987

Eesti NSV Teaduste Akadeemia Zoologia ja Botaanika Instituudi hüdrokeemia töörühm jätkas 1986. ja 1987. aastal uuringuid Peipsi-Pihkva järvel analoogiliselt 1985. aastal tehtuga. Määrati üheaegselt vee pH, värvus, läbipaistvus, dikromaatne oksüdeeritavus ning üldlämmastiku, üldfosfori ja klorofüll *a* sisaldus. Olulisemad tulemused 1985. aasta kohta on avaldatud (Lindpere jt., 1986; 1987 *a, b*; Пихлак jt., 1987; Стараст jt., 1987*a, б*). Käesolevas artiklis on iseloomustatud Peipsi-Pihkva järve ja tema osade vee omadusi ning nende muutumise seaduspärasusi kolme aasta jooksul (1985—1987).

Autorid avaldavad tänu ZBI keemilise ja statistilise analüüsi laboratooriumi hüdrokeemia töörühma vaneminseneridele Reet Läänele, Leini-Marje Raavale ja Uno Mälgile kaastöö eest järve uurimisel.

Materjal ja meetodika

Veeproovid koguti aastail 1985—1987 maist septembrini, enamasti kord, mõnel juhul kaks korda kuus 0,5—1 m sügavuselt. Vaatluspunkte oli 29—34, neist 17—19 Peipsi järvel (vaatluspunktid 10, 14—30), 4—6 Lämmijärvel (vaatluspunktid 7—9, 11) ja 6—7 Pihkva järvel (vaatluspunktid 2—6) ning Velikaja jõe (vaatluspunkt 1) ja Suure Emajõe (vaatluspunkt 13) suudmes. Aasta-aastalt vaatluspunktide arvu suurendati. Kõige rohkem oli neid 1987. aastal (joon. 1).

Vee pH, läbipaistvus, värvus, dikromaatne oksüdeeritavus ning üldlämmastiku ja üldfosfori sisaldus määrati nii nagu 1985. aastal (vt. Lindpere jt., 1987*a*). Klorofüll *a* sisaldus määrati spektrofotomeetriselt (Talling, 1969).



Joon. 1. Vaatluspunktide asukohad Peipsi-Pihkva järvel 1987. aastal.

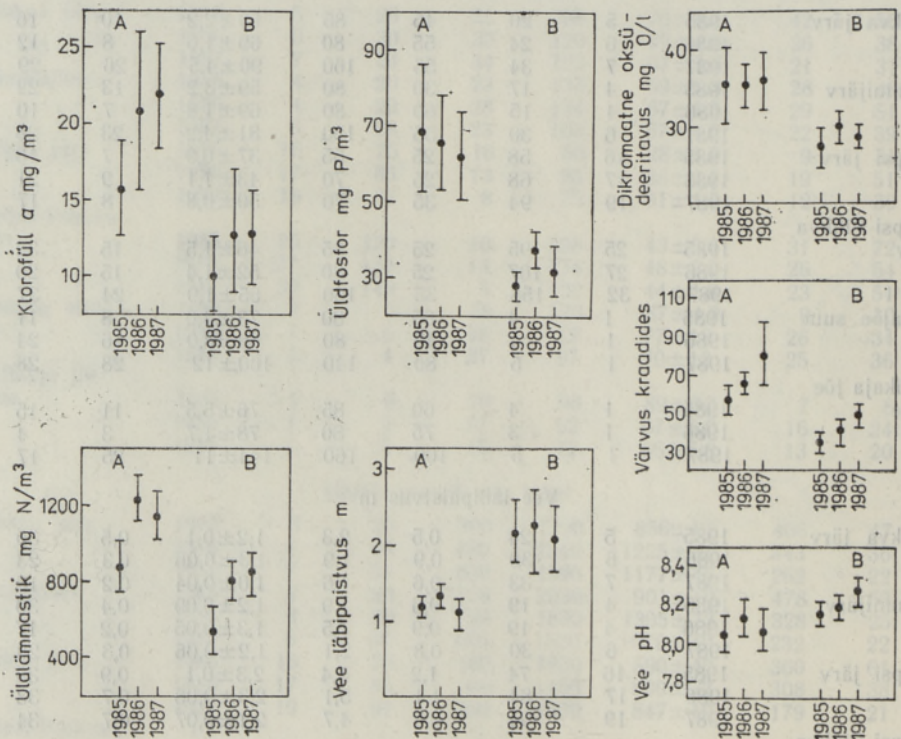
Peipsi-Pihkva järve vee pinnakihi koostis
maist septembrini 1985—1987

Vaatlus- piirkond	Aasta	Proovi- punk- tide arv	And- mete arv	Mii- ni- mum	Mak- si- mum	Aritmeetiline keskmine ja standard- viga	Stan- dard- hälve	Variat- siooni- koefit- sient
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Klorofüll <i>a</i> mg chl/m ³								
Pihkva järv	1985	5	22	2,5	45,0	17,8±2,6	12,1	68
	1986	6	30	4,5	60,0	21,7±2,4	12,9	60
	1987	7	32	11,5	50,6	24,1±1,9	10,8	45
Lämmijärv	1985	4	19	3,0	30,0	12,9±2,0	8,5	66
	1986	4	19	5,7	38,8	17,8±2,2	9,4	53
	1987	6	30	4,5	54,4	18,2±2,0	11,0	60
Peipsi järv	1985	16	75	0,6	30,0	10,0±0,7	6,2	62
	1986	17	84	2,1	44,5	13,2±1,0	8,8	67
	1987	19	87	2,8	30,9	12,8±0,8	7,0	55
Peipsi-Pihkva järv	1985	25	116	0,6	45,0	12,0±0,8	8,5	71
	1986	27	133	2,1	60,0	15,8±0,9	10,5	66
	1987	32	149	2,8	54,4	16,3±0,8	9,9	61
Emajõe suue	1985	1	5	2,3	15,0	9,7±2,2	4,8	49
	1986	1	5	11,8	21,3	15,2±2,0	4,5	30
	1987	1	5	4,4	12,7	7,2±1,4	3,2	44
Velikaja jõe suue	1985	1	5	3,7	20,6	8,5±3,1	7,0	82
	1986	1	4	9,6	19,5	13,8±2,1	4,2	31
	1987	1	5	4,8	24,4	9,4±3,8	8,4	89
Üldfosfor mg P/m ³								
Pihkva järv	1985	5	25	22	198	76±8,4	42	56
	1986	6	30	33	120	69±4,8	26	38
	1987	7	34	34	122	67±3,6	21	31
Lämmijärv	1985	4	20	23	133	59±6,3	28	48
	1986	4	20	28	134	57±6,5	29	51
	1987	6	28	23	108	57±4,2	22	39
Peipsi järv	1985	16	75	16	50	28±1,0	9	31
	1986	17	85	13	95	38±2,1	19	51
	1987	19	87	8	75	31±1,3	12	39
Peipsi-Pihkva järv	1985	25	120	16	198	43±2,8	31	72
	1986	27	135	13	134	48±2,2	26	54
	1987	32	149	8	122	44±1,8	23	51
Emajõe suue	1985	1	5	78	120	87±4,0	9	10
	1986	1	5	48	119	77±12	26	34
	1987	1	4	37	97	70±12	25	36
Velikaja jõe suue	1985	1	5	79	96	89±3,1	7	8
	1986	1	4	57	92	67±8,0	16	24
	1987	1	5	45	77	66±5,8	13	20
Üldlämmastik mg N/m ³								
Pihkva järv	1985	5	25	300	1790	856±81	406	47
	1986	6	30	180	2340	1225±81	443	36
	1987	7	34	630	1590	1177±45	262	22
Lämmijärv	1985	4	20	330	2030	901±107	478	53
	1986	4	20	790	1830	1305±73	328	25
	1987	6	30	650	1530	1079±42	232	22
Peipsi järv	1985	16	73	150	1830	590±42	360	61
	1986	17	85	40	1450	800±33	308	38
	1987	19	91	380	1330	847±19	179	21
Peipsi-Pihkva järv	1985	25	118	150	2030	699±38	413	59
	1986	27	135	40	2340	970±25	409	42
	1987	32	155	380	1590	960±20	253	26

Tabeli 1 järg

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Emajõe suue	1985	1	5	940	2060	1290±198	442	34
	1986	1	5	1020	2470	1612±256	572	35
	1987	1	5	1400	1900	1665±94	209	12
Velikaja jõe suue	1985	1	5	440	1280	910±154	344	38
	1986	1	4	1080	1500	1336±98	197	15
	1987	1	5	1070	1560	1247±95	213	17
Dikromaatne oksüdeeritavus mg O/l								
Pihkva järv	1985	5	25	16,5	69,3	37,4±2,2	11,0	29
	1986	6	30	28,3	49,7	37,0±1,1	6,0	16
	1987	7	34	19,2	55,9	38,1±1,2	7,1	19
Lämmijärv	1985	4	18	18,2	63,9	37,9±2,8	12,0	32
	1986	4	18	21,8	47,1	35,0±1,7	7,1	20
	1987	6	30	24,0	50,9	37,1±1,2	6,8	18
Peipsi järv	1985	16	72	16,5	48,1	27,7±0,7	5,6	20
	1986	17	82	22,2	43,8	30,7±0,4	3,9	13
	1987	19	94	22,4	37,3	29,2±0,3	2,9	10
Peipsi-Pihkva järv	1985	25	115	16,5	69,3	31,5±0,9	9,5	30
	1986	27	130	21,8	49,7	32,7±0,5	5,6	17
	1987	32	158	19,2	55,9	32,6±0,5	6,4	20
Emajõe suue	1985	1	5	42,4	53,9	46,9±2,6	5,8	12
	1986	1	5	29,8	48,0	38,7±3,0	6,6	17
	1987	1	5	39,5	44,8	42,1±1,0	2,2	5
Velikaja jõe suue	1985	1	5	33,9	54,5	46,3±3,9	8,7	19
	1986	1	4	32,8	40,2	37,0±1,7	3,4	9
	1987	1	5	37,6	53,9	48,9±3,0	6,7	14
Vee värvus kraadides								
Pihkva järv	1985	5	20	45	85	63±2,2	10	16
	1986	6	24	55	80	69±1,6	8	12
	1987	7	34	55	160	90±4,5	26	29
Lämmijärv	1985	4	17	30	80	59±3,2	13	22
	1986	4	15	60	80	69±1,8	7	10
	1987	6	30	55	150	81±4,2	23	28
Peipsi järv	1985	16	58	25	55	37±0,9	7	18
	1986	17	68	25	70	43±1,1	9	21
	1987	19	94	35	70	50±0,8	8	17
Peipsi-Pihkva järv	1985	25	95	25	85	46±1,5	15	32
	1986	27	107	25	80	52±1,4	15	29
	1987	32	158	35	160	65±1,9	24	37
Emajõe suue	1985	1	4	65	80	73±4,0	8	11
	1986	1	4	45	80	69±8,0	16	24
	1987	1	5	80	140	100±12	28	28
Velikaja jõe suue	1985	1	4	60	85	76±5,5	11	15
	1986	1	3	75	80	78±1,7	3	4
	1987	1	5	100	160	144±11	25	17
Vee läbipaistvus m								
Pihkva järv	1985	5	24	0,5	2,3	1,2±0,1	0,5	39
	1986	6	30	0,9	1,9	1,3±0,06	0,3	23
	1987	7	33	0,6	1,6	1,0±0,04	0,2	18
Lämmijärv	1985	4	19	0,6	1,9	1,2±0,09	0,4	30
	1986	4	19	0,9	1,5	1,3±0,05	0,2	17
	1987	6	30	0,8	2,1	1,2±0,06	0,3	28
Peipsi järv	1985	16	74	1,2	5,4	2,3±0,1	0,9	39
	1986	17	84	1,1	5,1	2,3±0,08	0,7	33
	1987	19	94	0,8	4,7	2,1±0,07	0,7	34
Peipsi-Pihkva järv	1985	25	117	0,5	5,4	1,9±0,08	0,9	49
	1986	27	133	0,9	5,1	1,9±0,07	0,8	40
	1987	32	157	0,6	4,7	1,7±0,06	0,8	45

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Emajõe suue	1985	1	5	0,75	1,0	0,9±0,04	0,1	11
	1986	1	5	0,95	1,1	1,0±0,04	0,1	7
	1987	1	5	0,8	1,1	1,0±0,04	0,1	12
Velikaja jõe suue	1985	1	5	0,7	1,2	1,0±0,09	0,2	23
	1986	1	4	1,0	1,6	1,3±0,2	0,3	20
	1987	1	5	0,6	1,0	0,9±0,09	0,2	19
Vee pH								
Pihkva järv	1985	5	24	7,5	8,4	8,1±0,04	0,2	3
	1986	6	30	7,6	8,6	8,2±0,04	0,2	3
	1987	7	33	7,4	8,6	8,1±0,05	0,3	4
Lämmijärv	1985	4	20	7,0	8,4	8,0±0,07	0,3	4
	1986	4	20	7,4	8,6	8,0±0,07	0,3	4
	1987	6	31	7,0	8,3	8,0±0,07	0,4	5
Peipsi järv	1985	16	60	7,8	8,4	8,2±0,01	0,1	1
	1986	17	85	7,6	8,4	8,2±0,01	0,1	2
	1987	19	93	7,7	8,7	8,3±0,02	0,2	2
Peipsi-Pihkva järv	1985	25	104	7,0	8,4	8,1±0,02	0,2	3
	1986	27	135	7,4	8,6	8,2±0,02	0,2	3
	1987	32	157	7,0	8,7	8,2±0,02	0,3	4
Emajõe suue	1985	1	5	7,3	7,6	7,5±0,04	0,1	2
	1986	1	5	7,2	7,6	7,5±0,09	0,2	2
	1987	1	5	7,2	7,6	7,5±0,09	0,2	2
Velikaja jõe suue	1985	1	5	7,4	8,0	7,7±0,1	0,3	4
	1986	1	4	7,6	8,1	7,9±0,1	0,3	3
	1987	1	5	7,2	8,0	7,6±0,1	0,3	4



Joon. 2. Vee omaduste aritmeetilised keskmised maist septembrini ja standardhälve; A — Pihkva järv koos Lämmijärvega, B — Peipsi järv.

Peipsi-Pihkva järve vee koostise erinevus aastate kaupa
(*P* – olulisuse nivoo)

Järve osa	Aastad	Vaatluste arv	Klorofüll <i>a</i>	Üldfosfor	Üldlammastik	Vee läbi- paist- vus	Di- kro- maat- ne oksü- deerit- avus	Vee vär- vus	Vee pH
Pihkva ja Lämmijärv	1985—1986	8—9	0,964	0,366	0,999	0,797	0,200	0,987	0,944
	1986—1987	9—12	0,553	0,502	0,959	0,991	0,392	0,978	0,886
	1985—1987	8—12	0,999	0,724	0,999	0,730	0,099	0,998	0,314
Peipsi järv	1985—1986	17—17	0,959	0,999	0,999	0,106	0,997	0,999	0,703
	1986—1987	17—19	0,260	0,998	0,860	0,623	0,949	0,999	0,999
	1985—1987	17—19	0,973	0,975	1,00	0,569	0,903	1,00	0,999

Analüüsi tulemused on esitatud tabelis 1. Korrelatsioonanalüüsil, samuti vee omaduste erinevuste väljatoomisel aastate kaupa kasutati lähteandmetena vaatluspunktide vee analüüsi tulemuste aritmeetilisi keskmisi (maist septembrini). Tehti kindlaks, et kõigi vaatlusel olevate omaduste järgi erineb Pihkva järve ja Lämmijärve vesi oluliselt ($P > 0,99$) Peipsi järve veest. Sellepärast arvutati vee koostise aastatevahelise erinevuse olulisus vaid akvatooriumi kahe osa kohta: 1) Pihkva järv koos Lämmijärvega ja 2) Peipsi järv (tab. 2, joon. 2).

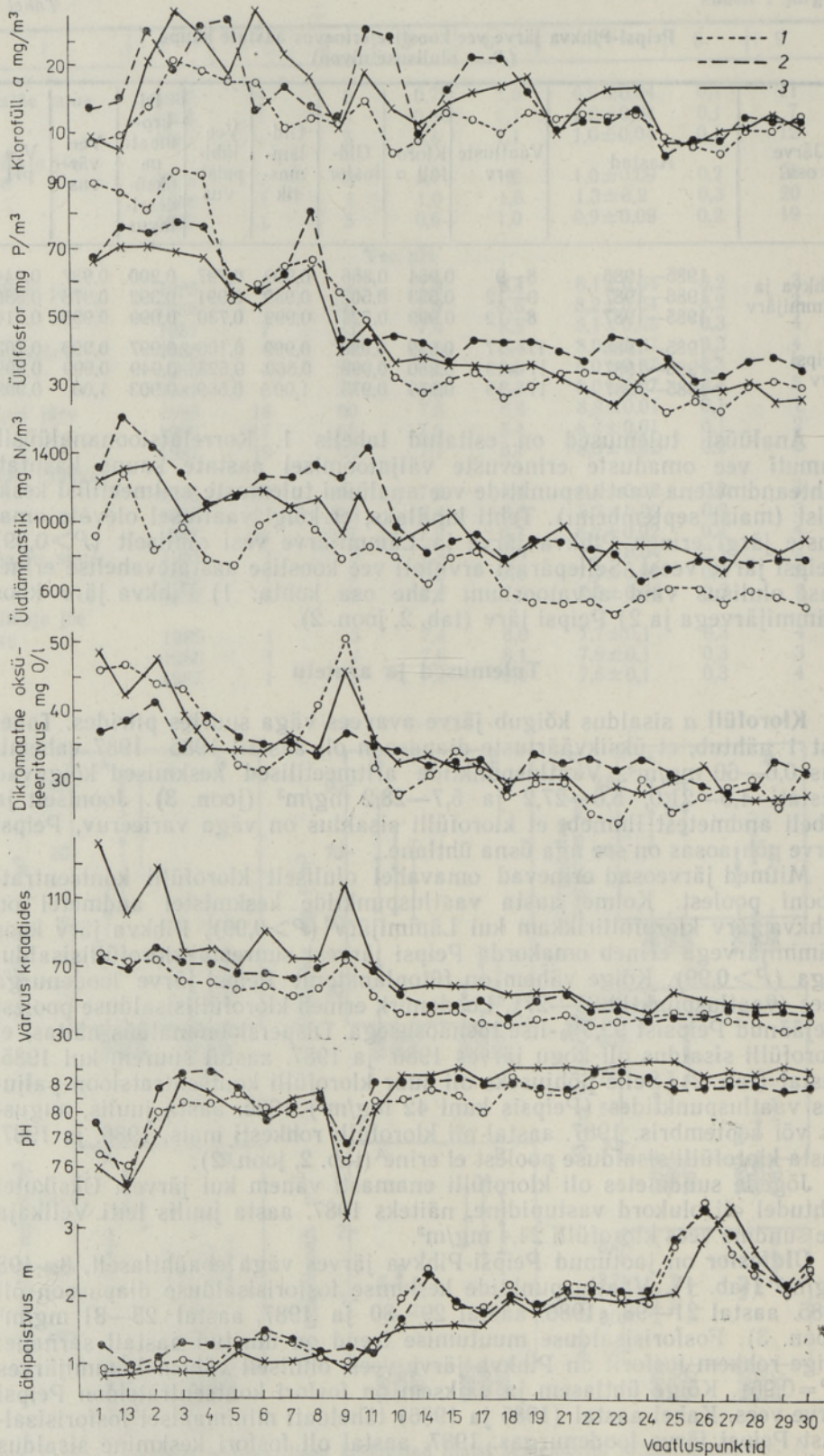
Tulemused ja arutelu

Klorofüll *a* sisaldus kõigub järve avavees väga suurtes piirides. Tabelist 1 nähtub, et üksikväärtuste diapsoon oli aastail 1985—1987 vahemikus 0,6—60 mg/m³. Vaatluspunktide aritmeetilised keskmised kõiguvad aastati 4,5—21,0, 5,6—27,2 ja 5,7—28,2 mg/m³ (joon. 3). Jooniselt ja tabeli andmetest ilmneb, et klorofüllisaldus on väga varieeruv, Peipsi järve põhjaosas on see aga üsna ühtlane.

Mitmed järveosad erinevad omavahel oluliselt klorofüllis kontsentratsiooni poolest. Kolme aasta vaatluspunktide keskmistel andmetel on Pihkva järv klorofüllirikkam kui Lämmijärv ($P > 0,99$). Pihkva järv koos Lämmijärvega erineb omakorda Peipsi järvest suurema klorofüllisisaldusega ($P > 0,99$). Kõige vähem on fütoplanktonit Peipsi järve loodenurga vees (vaatluspunktid 25—27). Loodenurk erineb klorofüllisisalduse poolest ülejäänud Peipsist 99,9%-lise tõenäosusega. Dispersioonanalüüs näitas, et klorofüllisaldus oli kogu järves 1986. ja 1987. aastal suurem kui 1985. aastal (tab. 2). Selle põhjuseks oli suur klorofüllis kontsentratsioon paljudes vaatluspunktides (Peipsis kuni 42 mg/m³) 1986. aasta juulis, augustis või septembris. 1987. aastal oli klorofüllis rohkesti mais. 1986. ja 1987. aasta klorofüllisalduse poolest ei erine (tab. 2, joon. 2).

Jõgede suudmetes oli klorofüllis enamasti vähem kui järves. Üksikutel juhtudel oli olukord vastupidine, näiteks 1987. aasta juulis leiti Velikaja jõe suudme vees klorofüllis 24,4 mg/m³.

Üldfosfor on jaotunud Peipsi-Pihkva järves väga ebaühtlaselt, 8—198 mg/m³ (tab. 1). Vaatluspunktide keskmise fosforisisalduse diapsoon oli 1985. aastal 21—98, 1986. aastal 29—80 ja 1987. aastal 23—81 mg/m³ (joon. 3). Fosforisisalduse muutumise trend on uuritud aastail sarnane: kõige rohkem fosforit on Pihkva järve vees, oluliselt vähem Lämmijärves ($P = 0,96$). Kõige ühtlasem ja väiksem on fosfori kontsentratsioon Peipsi järve vees. Kahel aastal (1985 ja 1986) täheldati minimaalset fosforisisaldust Peipsi järve loodenurgas. 1987. aastal oli fosfori keskmine sisaldus väiksem loodenurga ja põhjakalda vaatluspunktides.



Joon. 3. Vaatluspunktide vee omaduste aritmeetilised keskmised maist septembrini: 1 1985. a., 2 1986. a., 3 1987. a.

Võrreldes fosforisisaldust kolmel aastal (tab. 1, 2) selgub, et see oli Peipsi järves 1986. aastal suurem kui 1985. ja 1987. aastal. Seda põhjustasid peaaegu igas Peipsi järve vaatluspunktis 1986. aastal esinenud ühekordsed suured fosfori kontsentratsioonid (kuni 95 mg/m^3), nii nagu klorofüllil puhulgi enamasti juulis, mõnel juhul augustis või septembris. Üldfosfori suure sisalduse tõttu oli selle variatsioonikoefitsient Peipsis suurim 1986. aastal. 1987. aastal esines paljudes vaatluspunktides kõrge fosfori tase augustis, ulatudes Peipsi järve vees 75, Lämmijärves 84 ja Pihkva järves 122 mg/m^3 . Pihkva ja Lämmijärves jäi fosfori kontsentratsioon kolme aasta jooksul samale tasemele.

Jõgede suudmetes oli fosforit pidevalt palju (tab. 1). Aeg-ajalt ületas üldfosfori sisaldus Eesti väikejõgedele ökoloogiliselt lubatud piirkontsentratsiooni 100 mg/m^3 (Вельнер jt., 1982) nii Velikaja kui ka Emajõe suudme vees.

Üldlämmastiku kontsentratsioon muutus järve akvatooriumil suurtes piirides, $40\text{--}2080 \text{ mg N/m}^3$ (tab. 1). Vaatluspunktide keskmiste sisalduste diapason oli aastati $430\text{--}1030$, $630\text{--}1430$ ja $670\text{--}1350 \text{ mg/m}^3$ (joon. 3). Vaatlusperioodil leidis lämmastikuühendeid Pihkva ning Lämmijärves tunduvalt rohkem ($P > 0,99$) kui Peipsi järves. Kõige lämmastikurikkam oli vesi Velikaja jõe suudme lähistel. 1985. aastal formeerus kõige väiksema lämmastikusisaldusega vesi Peipsi järve kirdeosas, 1986. ja 1987. aastal aga loodeosas. Võrreldes 1985. aasta andmetega oli 1986. ja 1987. aastal üldlämmastiku kontsentratsioon suurenenud kogu järve ulatuses (joon. 2; tab. 1, 2).

Jõgede suudmete vees oli üldlämmastiku kontsentratsioon pidevalt suur, kõige suurem oli ta Emajões (tab. 1).

Dikromaatne oksüdeeritavus kõikus Peipsi-Pihkva järve pinnavees vaatlusperioodil $16,5\text{--}69,3 \text{ mg O/l}$ (tab. 1). Vaatluspunktide dikromaatse oksüdeeritavuse keskmiste väärtuste diapasonid olid aastati $22,7\text{--}50,5$, $26,4\text{--}41,7$, $26,0\text{--}47,2 \text{ mg O/l}$ (joon. 3). Vees on orgaanilist ainet kõige rohkem Velikaja jõe lähistel ja Želtša jõe mõjupiirkonnas. Tunduvalt vähem ($P > 0,99$) kui Pihkva ja Lämmijärves leidub orgaanilisi aineid Peipsi järve vees (tab. 1). Pihkva ja Lämmijärv ei erine omavahel orgaanilise aine kontsentratsiooni poolest vees.

Andmete dispersioonanalüüs näitas, et Pihkva ja Lämmijärve vees ei ole orgaaniliste ainete kontsentratsioon kolmel aastal muutunud. Seevastu suurenes 1986. aastal võrreldes 1985. aastaga nende sisaldus Peipsi järve vees (tab. 1, 2; joon. 2).

Velikaja jõe ja Emajõe suudme vees on orgaanilist ainet pidevalt palju (tab. 1).

Peipsi-Pihkva järve vee värvuse piirväärtused olid kahel aastal enam-vähem samad: 1985. aastal $25\text{--}85$ ja 1986. aastal $25\text{--}80^\circ$ (tab. 1). Seevastu tõusis vee värvus 1987. aastal. Diapason oli väga lai, $35\text{--}160^\circ$. Vaatluspunktide keskmised kõikumised vastavalt $30\text{--}77$, $37\text{--}80$ ja $45\text{--}128^\circ$ (joon. 3). Andmete dispersioonanalüüs näitas (tab. 1, 2; joon. 3), et kogu järve vesi on aasta-aastalt läinud oluliselt tumedamaks. Eriti suur oli vee värvusaste 1987. aastal Velikaja jõe suudmes, seal oli ta eelmiste aastatega võrreldes oluliselt suurenenud. Vee värvuse suurenemine näitab, et rohkenenud on huumusainete sissevool järve, eriti vihmasel 1987. aastal.

Vee värvus väheneb järves lõunast põhja suunas. Väga suur oli see kolmel aastal jõgede suudmetes, samuti Pihkva järves Velikaja jõe lähistel ja Lämmijärves Želtša jõe mõju piirkonnas. Peipsi järve vesi on Pihkva ja Lämmijärve veest tunduvalt heledam ($P > 0,99$).

Vee läbipaistvus oli vaatlusperioodil vahemikus $0,5\text{--}5,4 \text{ m}$ (tab. 1). Vaatluspunktide keskmiste läbipaistvuste diapason oli kolmel aastal väga lähedane, vastavalt $1,0\text{--}3,4$, $1,1\text{--}3,4$ ja $0,9\text{--}3,3 \text{ m}$ (joon. 3). Andmete dispersioonanalüüs aga näitas, et 99%-lise tõenäosusega oli Pihkva ja

Lämmijärve vee läbipaistvus 1987. aastal vähenenud, võrreldes 1986. aastaga.

Joonistelt 2 ja 3 nähtub, et vee läbipaistvus on väike Pihkva ja Lämmijärves, oluliselt suurem ($P > 0,99$) Peipsi järves. Kõige selgema veega, nagu varasematelgi aastatel, oli Peipsi järve loodenurk: 1985. aastal oli vee läbipaistvus kõige suurem vaatluspunktid 25—27, keskmiselt 2,6—3,4; 1986. aastal keskmiselt 2,9—3,4 meetrit. Maksimalne läbipaistvus registreeriti kahel aastal vaatluspunktis 26 (1985. aasta juulis ja 1986. aasta juunis). 1987. aastal oli vee läbipaistvus kõige suurem vaatluspunktis 27 juulis.

Jõgede suudmetes on vee läbipaistvus väike (tab. 1). Huumusaine sisalduse tunduv suurenemine Velikajas põhjustas 1987. aastal vee läbipaistvuse olulise vähenemise.

Vee pH. Peipsi-Pihkva järve vesi on nõrgalt aluseline (tab. 1), pH kõikus avavees 7,4—8,7 (tab. 1). Sellest madalamad pH väärtused (kuni 7,0) fikseeriti Lämmijärves Zeltša jõe mõjupiirkonnas. Vaatluspunktide keskmiste pH väärtuste diapason oli 1985. aastal 7,6—8,3, 1986. aastal 7,8—8,3 ja 1987. aastal 7,2—8,4 (joon. 3).

Statistiliselt leiti, et Pihkva ja Lämmijärve vee pH erineb oluliselt ($P = 0,99$) Peipsi järve vee pH-st. Peipsi järves on pH tunduvalt kõrgem ja suureneb põhja suunas. Kui 1985. ja 1986. aastal ei tõusnud Peipsi järve pH üle 8,4, siis 1987. aasta mais registreeriti seal mitmel korral pH 8,6, ühel juhul isegi pH 8,7. Neist kõrgetest väärtustest tingituna oli Peipsi järve vee pH eelmiste aastatega võrreldes 1987. aastal oluliselt kõrgem (tab. 1, 2; joon. 2).

Jõgede suudmetes ja ka Zeltša jõe mõjupiirkonnas oli vee pH madalam kui järves.

Vee omaduste muutumise seaduspärasused järve akvatooriumil on kolme üksteisele järgnenud aasta jooksul üldjoontes samad (joon. 3). Vee koostis on Peipsi-Pihkva järve akvatooriumil ebahütlane ja muutuv nii ajaliselt kui ka regionaalselt. Üldfosfori, üldlämmastiku ja klorofüll *a* sisaldus, samuti vee dikromaatne oksüdeeritavus ja värvus vähenevad järves lõunast põhja suunas. Vee läbipaistvus suureneb põhja suunas.

Määrav tegur ainete jaotumisel järve akvatooriumil on suurte jõgede suubumine järve lõunapoolsesse ossa. Peamine hulk fosforit ja lämmastikku tuleb järve Velikaja ja Emajõe vetega. Aeg-ajalt ületab üldfosfori sisaldus neis Eesti jõgedele ökoloogiliselt lubatud piirkontsentratsiooni. Ka leidub jõgede suudmetes vees rohkesti allohtoonset orgaanilist ainet, mistõttu vee värvus on neis suur, vee läbipaistvus ja pH väiksemad. Statistiliselt tehti kindlaks, et kolme aasta jooksul pole Emajõe suudmes vee omadused (fosfori, lämmastiku, orgaanilise aine ja klorofüll *a* sisaldus, läbipaistvus, värvus, pH) paranenud. Velikaja jõe fosforisisaldus on pärast 1985. aastat vähenenud, vee värvus aga suurenenud. Peamiselt selle jõe mõju tõttu on Pihkva ja Lämmijärve vees üldfosfori, üldlämmastiku, orgaanilise aine ja klorofüll *a* kontsentratsioon ning vee värvus suurem ja vee koostis varieeruvam kui Peipsi järve vees. Samuti tuvastati, et Pihkva ja Lämmijärve vesi on kõige kontsentreeritum, erinedes oma koostiselt kõigi vaatlusaluste komponentide poolest oluliselt ($P > 0,99$) Peipsi järve veest. Fosfori ja klorofüll *a* sisaldused on Pihkva järves suurimad. Nende kahe näitaja poolest erineb Pihkva järv ka Lämmijärvest ($P = 0,96$).

Peipsi järve vesi on tunduvalt kvaliteetsem kui Pihkva ja Lämmijärve vesi. Tuleb aga märkida, et ka Peipsi järves on toitainete, sellega kaasnevalt ka klorofüll *a* sisaldused aeg-ajalt suured. Ei ole harvad juhud, kui Peipsi keskosas on fosforit 50 mg/m³ või rohkem, lämmastikku 1000 mg/m³ või rohkem ja klorofüll *a* 20 mg/m³ või üle selle. Klorofüll *a* ja üldfosfori sisalduse ning vee läbipaistvuse järgi hinnates on vesi kõige kvaliteetsem

Peipsi järve loodenurgas ($P \geq 0,98$). Klorofüll ja üldfosfori sisaldus on siin väikseim, vee läbipaistvus aga suurim.

Vee omaduste seosed. Kõikidel aastatel olid vee omadused omavahel seoses (tab. 3). Vee läbipaistvus ja pH on omavahel positiivses, teiste omadustega negatiivses korrelatsioonis, ülejäänud näitajad on positiivses korrelatsioonis. Tugevad seosed ($r > 0,7$) on üldfosfori, üldlämmastiku, dikromaatse oksüdeeritavuse, vee värvuse ja läbipaistvuse vahel. Klorofüll *a* korreleerub kõige tugevamini läbipaistvuse ja fosforiga, tema seosed teiste näitajatega on enamasti keskmise tugevusega. Kõige nõrgemad on pH seosed klorofülliga. Vee pH seos teiste troofsusnäitajatega välis- tab oma laadilt võimaluse, et Peipsi-Pihkva järves oleks pH kujunemisel vegetatsiooniperioodil määrav fotosüntees, nagu see on tavaliselt järvedes. Seosed tõestavad vesinikioonide kontsentratsiooni suurendavate protsesside ülekaalukat mõju happe—aluse tasakaalule. Dikromaatse oksüdeeritavuse ja vee värvuse tugevad negatiivsed korrelatsioonid vee pH-ga näitavad, et eriti mõjustab vesinikioonide kontsentratsiooni orgaaniline aine. Vahetult vähendab vee pH-d looduslike humiin- ja fulvohapete sisse- vool. Seda kinnitab suur vee värvus Pihkva järves, Lämmijärves (tab. 1) ja ka Peipsi lõunaosas, eriti Zeltša jõe mõjupiirkonnas. Sellele lisandub orgaanilise aine oksüdatsioonil mudast ja veest vabaneva süsihappegaasi samasuunaline mõju vee pH-le, eriti Pihkva järves ja Lämmijärves. Mõle- mad on madalad, kõrge troofsuse ja rohke orgaanilise aine sisaldusega veekogud. Tõenäoliselt mõjustab vee pH ja toitelusnäitajate vahelise negatiivse korrelatsiooni väljakujunemist ka Kirde-Eesti elektrijaamadest lenduv tuhk. Nii nagu sademete puhulgi (Frey, 1988a, b) võib pH tuha mõjul suurenda Peipsis põhja suunas, s. t. troofsuse ja fotosünteesi mõju vähenemise suunas, kutsudes sellega esile negatiivse korrelatsiooni tugev- nemise. Et kaks esimesena nimetatud protsessi stabiliseerivad vee pH-d eelkõige Peipsi-Pihkva järve lõunapoolsetes osades, kus fütoplanktoni bio- mass on suurem, on pH järve akvatooriumil üsna ühtlane.

Tabel 3

Peipsi-Pihkva järve akvatooriumi vaatluspunktide vee keskmiste näitajate (maist septembrini 1985—1987) korrelatsioonikordajad logaritmilise seose korral *

Näitajad	1985 <i>n</i> = 25	1986 <i>n</i> = 27	1987 <i>n</i> = 31
Üldfosfor — dikromaatne oksüdeeritavus	0,78	0,76	0,88
Üldfosfor — värvus	0,88	0,81	0,92
Üldfosfor — läbipaistvus	-0,93	-0,83	-0,93
Üldfosfor — pH	-0,59	-0,13	-0,72
Üldfosfor — üldlämmastik	0,77	0,77	0,88
Üldlämmastik — dikromaatne oksüdeeritavus	0,66	0,76	0,86
Üldlämmastik — värvus	0,77	0,96	0,90
Üldlämmastik — läbipaistvus	-0,73	-0,91	-0,90
Üldlämmastik — pH	-0,60	-0,36	-0,75
Dikromaatne oksüdeeritavus — värvus	0,88	0,85	0,94
Dikromaatne oksüdeeritavus — läbipaistvus	-0,79	-0,87	-0,85
Dikromaatne oksüdeeritavus — pH	-0,71	-0,26	-0,82
Värvus — läbipaistvus	-0,86	-0,93	-0,91
Värvus — pH	-0,75	-0,40	-0,84
Läbipaistvus — pH	0,67	0,29	0,68
Klorofüll — üldfosfor	0,73	0,62	0,76
Klorofüll — üldlämmastik	0,45	0,63	0,68
Klorofüll — läbipaistvus	-0,76	-0,79	-0,85
Klorofüll — pH	-0,34	0,10	-0,37
Klorofüll — värvus	0,55	0,62	0,72
Klorofüll — dikromaatne oksüdeeritavus	0,50	0,64	0,60

* pH ei ole logaritmitud, 1987. aastal ei ole arvestatud 9. punkti andmeid.

Kõik käsitletavat vee omadused muutuvad korrelatiivselt, s. t. üksteisest sõltuvalt: üldfosfori ja üldläämmastiku kontsentratsiooni suurenemisega kaasneb klorofüll ja orgaanilise aine kontsentratsiooni suurenemine ning vee läbipaistvuse ja pH vähenemine.

Vee omaduste muutlikkuse aastati. Järve vee omadused erinevad aastati, s. t. nad on ajas muutlikud. Eri omadused on erineval määral muutlikud. Sama omaduse muutlikkuse seaduspäraseid erinevusi järveosade viisi (Pihkva, Läämmi- ja Peipsi järv) ei ilmne. Kõige muutlikumad on aastail 1985—1987 olnud üldläämmastiku ja klorofüll kontsentratsioon ning vee värvus (keskmine aastatevaheline erinevus Peipsi-Pihkva järves vastavalt 26, 24 ja 26%). Nii üldfosfori kontsentratsioon kui ka vee läbipaistvus erinesid aastati keskmiselt 7%. Nende omaduste muutlikkus ilmneb ka paikkonniti: võrreldes 1985. aastaga suurenes üldfosfori kontsentratsioon 1986. aastal Peipsis järsult (36%), vee läbipaistvus oli Pihkva järves 1987. aastal 23% väiksem kui 1986. aastal. Kõige püsivamad on vee pH ja dikromaatne oksüdeeritavus. Vee pH aastatevaheline erinevus ei ületa 1%. Orgaanilise aine kontsentratsiooni keskmine aastatevaheline erinevus oli Peipsi-Pihkva järves vaid 2%, kusjuures suurenemine oli Peipsis 1986. aastal 11% (maksimaalne muutlikkus), võrreldes 1985. aastaga.

Aastail 1985—1987 on järve vee troofsust iseloomustavad näitajad olnud maksimumseisus ($P \geq 0,95$, tab. 1, joon. 2) pooltel juhtudel 1986. aastal, pooltel 1987. aastal.

Muutumistendentsid. Vaatlusperioodil on Peipsi-Pihkva järves oluliselt suurenenud ($P \geq 0,97$) klorofüll ja üldläämmastiku kontsentratsioon ning vee värvus, Peipsi järves ka üldfosfori ja orgaanilise aine kontsentratsioon ning pH. Vee läbipaistvus on vähenenud 10%, kuid seda ei saa statistiliselt tähtsaks pidada. Pidevalt ja kõige enam on kogu järve ulatuses suurenenud (41%) vee värvus. Suurenemise põhjuseks, eriti 1987. aastal, võrreldes 1986. aastaga, on nähtavasti huumusainete sissevoolu suurenemine (tab. 1).

Jälgides vee omaduste erinevusi aastail 1985—1987 võib täheldada järve seisundi halvenemise tendentsi: suurenenud on üldfosfori, üldläämmastiku ja klorofüll kontsentratsioon. Uuritud vee omadused näitavad, et Peipsi järv on rahuldavas eutroofsuses seisundis. Varasemat troofsuseisundi hinnangut «hea» (Starast jt., 1988) ei saa õigeaks pidada, sest käesoleva aasta juulis surid kalad vee kihistumise ning temperatuuri- ja hapnikuolude halvenemise tõttu. Pihkva järv ja Läämmijärv on kriitilises seisundis: nad on eutroofselt tasemelt hüpertroofsusele üleminevas olekus. Põhjuseks on kriitiliselt kõrge fosforiühendite sisaldus, mis aeg-ajalt ületas eutroofsuse taseme piirkontsentratsiooni 61 mg P/m³. Sellistes tingimustes võivad järve elustikus toimuda katastroofilised muutused.

Peipsi järve seisundi säilitamiseks on vaja vähendada fosfori ja läämmastiku koormust, esmajärjekorras fosforiühendite sissevoolu eelkõige Emajõe ja Velikaja kaudu.

KIRJANDUS

Frey, T. Happevihmad Eestis // Eesti Loodus, 1988 a, nr. 3, 209.

Frey, T. Happevihmad Eestis // Eesti Loodus, 1988 b, nr. 4, 289.

Lindpere, A., Milius, A., Starast, H. Klorofüll a ja üldfosfor Peipsi-Pihkva järve vees // Keskkonnakaitse, 1986, nr. 2, 10—15.

Lindpere, A., Starast, H., Milius, A., Pihlak, A. Peipsi-Pihkva järve vee omadused ja nende seos biogeensete elementidega // ENSV TA Toim. Biol., 1987a, 36, nr. 2, 146—155.

Lindpere, A., Starast, H., Milius, A. Üldläämmastik Peipsi-Pihkva järve vees // Keskkonnakaitse, 1987b, nr. 2, 12—15.

- Starast, H., Lindpere, A., Milius, A., Haldna, M., Simm, H. Peipsi järve troofsus // Kaas-aegse ökoloogia probleemid. Eesti siseveekogude kasutamise ja kaitse. Trt., 1988, 6—8.
- Talling, J. E. Sampling techniques and method for estimating quantity of biomass: general outline of spectrophotometric methods // IBP Handbook, 12. Oxford, 1969, 22—24.
- Вельнер Х., Лойгу Э., Саава А. К вопросу экологического нормирования биогенных веществ в воде рек // Проблемы современной экологии. Тарту, 1982, 102.
- Пихлак А., Маремяэ Э., Линдпере А., Милиус А., Стараст Х. Гидрохимическое состояние вод Псковско-Чудского озера в июне 1985 г. // Изв. АН ЭССР. Биол., 1987, 36, № 2, 133—145.
- Стараст Х., Линдпере А., Милиус А., Пихлак А. Сопряженное изменение свойств воды в Псковско-Чудском озере // Биологические ресурсы водоемов бассейна Балтийского моря. Мат-лы XXII науч. конф. по изучению водоемов Прибалтики. Вильнюс, 1987а, 185—186.
- Стараст Х. А., Локк С. И., Линдпере А. В., Милиус А. Ю., Симм Х. А. Изменение содержания общего азота в воде Псковско-Чудского озера // Канцерогенные N-нитрозосоединения и их предшественники — образование и определение в окружающей среде. Тез. VI Всесоюз. симп., 28—29 апр. 1987 г. Таллин, 1987б, 159—161.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Zooloogia ja Botaanika Instituut

Toimetuse saabunud
6. VI 1988

Айни ЛИНДПЕРЕ, Хенно СТАРАСТ, Ану МИЛИУС, Марина ХАЛДНА, Хелле СИММ

СВОЙСТВА ВОДЫ ПСКОВСКО-ЧУДСКОГО ОЗЕРА В 1985—1987 ГГ.

В статье рассматриваются свойства воды — содержание общего фосфора и азота ($P_{\text{общ}}$, $N_{\text{общ}}$), хлорофилла *a* ($Хл\ a$), бихроматная окисляемость, цветность, прозрачность, рН, и закономерности их изменения как в Псковско-Чудском озере в целом, так и в его отдельных частях (озера Псковское, Теплое, Чудское) в течение трех лет.

Пробы воды отбирали на 29—34 пунктах с мая по сентябрь один раз, в некоторых случаях два раза в месяц. Для выявления происшедших в качестве воды изменений были вычислены арифметические средние и коэффициенты корреляции.

Общие закономерности распределения свойств воды на акватории озера в течение трех лет остались на прежнем уровне. Содержание $P_{\text{общ}}$, $N_{\text{общ}}$ и $Хл\ a$, бихроматная окисляемость и цветность уменьшаются, а прозрачность и рН воды увеличиваются, в общем, в северном направлении.

Основное количество фосфора и азота поступает в озеро с водами рек Великой и Эмайыги. Содержание $P_{\text{общ}}$ в воде этих рек превышает время от времени экологически допустимую для рек Эстонии концентрацию (100 мг P/m^3). По причине обильного содержания аллохтонного органического вещества цветность воды в этих реках большая, прозрачность малая и рН низкий. Вследствие воздействия вод р. Великой, содержание $P_{\text{общ}}$, $N_{\text{общ}}$, органического вещества, $Хл\ a$, а также цветность воды в Псковском и Теплом озерах существенно выше ($P > 0,99$), чем в Чудском. Определяющим фактором при формировании рН воды является не фотосинтез, как обычно, а в основном, органическое вещество. Непосредственное влияние на понижение рН воды оказывают гуминовые и фульвокислоты, в частности в Псковском и Теплом озерах и в южной части Чудского озера. К этому прибавляется влияние двуокиси углерода, которая образуется в иле и воде при окислении органического вещества.

Наблюдая за различиями свойств воды с 1985 по 1987 гг. проявляется тенденция ухудшения состояния озера: увеличение концентрации хлорофилла, общего фосфора и азота. В настоящее время Чудское озеро — эвтрофное. Состояние Псковского и Теплого озер критическое: они являются переходными с эвтрофного на гипертрофный уровень. Причиной этого является критически высокая концентрация $P_{\text{общ}}$, которая время от времени превышает допустимую для этого озера норму (61 мг m^3). В таких условиях экосистема озера может претерпеть катастрофические изменения.

Для сбережения состояния Чудского озера необходимо уменьшить, в первую очередь, нагрузку фосфора и азота с водами рек Эмайыги и Великой.

WATER CHARACTERISTICS OF LAKE PEIPSI-PIHKVA IN 1985—1987

The authors discuss the characteristics of water (chlorophyll *a*, total phosphorus, total nitrogen, dichromate oxidizability, colour, transparency, pH) and the regularities of their change in L. Peipsi-Pihkva and its parts (L. Pihkva, L. Lämmijärv, L. Peipsi) during 1985—1987 (Table 1).

Water samples were collected at 29—34 stations (Fig. 1) once or twice a month from May to September. The arithmetical mean of the results of water analyses was calculated for every sample station (Fig. 3). For calculating the yearly differences of water characteristics (Table 2; Fig. 2) and the correlation coefficients (Table 3) the mean data were used.

During the three consecutive years the distribution of water characteristics within the lake is characterized mainly by the same regularities. The concentration of total phosphorus, total nitrogen and chlorophyll *a*, as well as the dichromate oxidizability and colour in the lake decrease from the south to the north. The transparency of water and pH, however, increase towards north. Water characteristics correlate mutually (Table 3).

The bulk of phosphorus and nitrogen is introduced into the lake from the Velikaya and the Emajõgi rivers. At times the concentration of total phosphorus in these rivers exceeds the ecologically allowed limit concentration (100 mg P/m³; Вельнер et al., 1982). The water of the rivers contains a considerable amount of organic substances as a result of which its colour is high, transparency and pH low. The concentration of total phosphorus, total nitrogen, organic matter and chlorophyll, and the colour of water in L. Pihkva and L. Lämmijärv is considerably higher ($P > 0.99$; for calculating the difference probability the data for L. Pihkva and L. Lämmijärv were treated together) and the transparency of water is smaller than in L. Peipsi, mainly due to the influence of the Velikaya River. During the vegetation period the main factor determining pH is organic matter but not photosynthesis as usual. The pH of water decreases under the action of humic and fulvic acids, especially in L. Pihkva, L. Lämmijärv and in the southern part of L. Peipsi. The pH of water is similarly affected also by carbon dioxide released in mud and water during the oxidization of organic matter. The distribution of the pH of water within the lake and its negative correlation with the other indicators of the trophic state are in accordance with the assumption that the increase of pH in L. Peipsi towards the north is due to ashes floating from North-East Estonian thermal power stations.

The water characteristics of the lake are temporally changeable. During 1985—1987 the concentration of total nitrogen and chlorophyll *a* and the colour of water were most variable. Least annual differences occurred in the pH of water and the content of organic matter. The water characteristics were maximum ($P \geq 0.95$, Table 1, Fig. 2) in half of the cases in 1986 and in half of the cases in 1987.

Observations of the differences in water characteristics during 1985—1987 reveal a tendency toward the deterioration of the state of the lake. The concentrations of total phosphorus, total nitrogen and chlorophyll have increased. The water characteristics under study indicate that L. Peipsi is a eutrophic lake. L. Pihkva and L. Lämmijärv are in a critical state, in transition from the eutrophic state to the hypertrophic state (Starast et al., 1988). The cause lies in the critically great content of phosphorus compounds, exceeding at times the limit concentration (61 mg P/m³) between eutrophic and hypertrophic levels. In such conditions disastrous changes may take place in the ecosystem of the lake.

In order to maintain the state of L. Peipsi the load of phosphorus and nitrogen, first of all the inflow of phosphorus compounds from the Emajõgi and Velikaya rivers, should be reduced.