

УДК 574.5 (285.2)

Aini LINDPERE, Anu MILIUS, Henno STARAST

HAPNIKU SISALDUS JA VEE TEMPERatuur SAADJÄRVES

Aastail 1974—1983 (välja arvatud 1977. aasta) mõõdeti Saadjärve sügavamas kohas vertikaalselt iga meetri järel lahustunud hapniku sisaldus ja vee temperatuur. Mõõtmised tehti 3—12 korda aastas, kokku 66 korda. Mõõturitena kasutati Harju KEK-is ja alates 1981. aastast TÜ-s valmistatud termooksimeetreid. Saadjärves on hapniku kontsentratsiooni ja vee temperatuuri mõõdetud ka varem, 1951. ja 1956. aastal (Simm, 1961). 1974. aasta mõõtmisandmed, mida ka käesolevas töös kasutati, on varem avaldatud (Milius, Pork, 1977).

Andmetest (tab. 1, 2) nähtub, et Saadjärve pindmine veekiht on aasta ringi hapnikurikas. Kontsentratsioonid on suuremad talvel (detsember, jaanuar, veebruar; 12,8—15,0 mg O₂/l; küllastumus 90—100%), väiksemad augustis ja septembris (7,5—9,8 mg O₂/l; küllastumus 81—102%).

Tabel 1

Hapniku sisaldus (mg/l) Saadjärves aastail 1974—1983

Kuu	Mõõtmiste arv	min—max $\bar{x} \pm m_x$			
		0,5 m	10 m	15 m	20 m
jaanuar	2	13,8—15,0	11,0—11,4	10,3—11,0	6,8—8,8
		14,4±0,6	11,2±0,2	10,6±0,3	7,8±1,0
veebruar	5	12,8—13,8	9,2—11,3	8,3—9,7	1,4—4,8
		13,4±0,2	10,5±0,4	9,2±0,2	2,7±0,5
märts	6	10,9—13,9	7,6—11,5	5,2—9,8	0,1—1,8
		12,5±0,4	9,4±0,6	7,0±0,7	0,7±0,3
aprill	2	12,8—13,0	8,9—12,2	6,8—11,8	0,4—11,7
		12,9±0,1	10,6±1,7	9,3±2,5	6,0±5,7
mai	9	10,8—14,3	8,2—13,6	7,5—13,0	6,9—12,5
		12,6±0,4	12,2±0,5	11,7±0,5	11,4±0,6
juuni	7	9,4—12,0	8,5—12,0	7,4—11,5	5,8—10,6
		10,2±0,3	10,3±0,4	9,6±0,4	8,0±0,7
juuli	11	8,8—10,6	3,4—9,3	2,0—8,6	0,2—7,0
		9,8±0,2	6,7±0,6	5,4±0,7	3,4±0,8
august	8	7,5—9,2	2,2—8,9	0,1—3,0	0—0,8
		8,6±0,2	5,7±0,8	1,3±0,4	0,2±0,1
september	6	8,1—9,8	7,0—9,6	0,9—9,4	0,1—9,2
		9,0±0,2	8,8±0,4	5,2±1,8	2,4±1,5
oktoober	5	8,8—11,9	8,8—12,0	8,7—12,1	8,6—11,8
		10,1±0,6	9,9±0,6	10,0±0,6	9,5±0,6
november	4	11,7—13,0	11,5—12,4	11,5—12,0	11,4—12,0
		12,3±0,3	12,0±0,2	11,8±0,1	11,7±0,1
detsember	1	13,6	13,0	12,8	9,8

Vastavad vee temperatuurid (tab. 3) kõiguvad vahemikus 0,3—1,8 ja 11,8—20,5 °C. Soe on pinnavesi juulis ja augustis, keskmiselt 19,4 ja 18,4 °C. Vee üleküllastus hapnikust on suurim mais, keskmiselt 113% (joon. 1).

Talvel, alates jääkatte tekkest (detsember), hakkab hapniku sisaldus peamiselt orgaanilise aine oksüdeerumise tõttu vähenema kogu vertikaali ulatuses (joon. 2, veebruari ja märtsi kõverad). Sügavamates veekihtides neeldub hapnik kiiremini. Kui veebruari lõpul leidus 0,5 m sügavuses keskmiselt 13,4 mg O₂/l (97%), siis 15 m sügavuses oli hapniku sisaldus tunduvalt väiksem, 9,2 mg/l (69%). 20 m sügavuses leiti vaid 2,7 mg O₂/l (18%). Märtsi teiseks pooleks oli hapniku hulk vähenenud järgmiselt: pindmises veekihis leidus hapnikku keskmiselt 12,5 mg/l (92%), 15 m sügavuses 7,0 mg/l (52%), aga 20 m sügavuses hapnikku enam ei olnud. Vee keskmine temperatuur oli veebruaris ja märtsis võrdlemisi ühesugune: pinnal umbes 1 °C, põhjas veidi soojem, kuid alla 3 °C. Praeguste andmetega võrreldes leidus varem, 1956. aasta 13. märtsil, hapnikku tunduvalt rohkem: 21 m sügavuses 4,51 mg/l (33%) (Simm, 1961).

Aprilli alguses on järv veel jääs ja põhjalähedane vesi on anaeroobne. Aprilli lõpul tavaliselt jää sulab ja algab kevadine tsirkulatsiooniperiood. Vesi hakkab küllastuma hapnikust, vee temperatuur tõuseb. Aprillikuu põhjalähedase vee ekstreemsete analüüsitulemuste tõttu on nende aritmeetiliste keskmiste (\bar{x}) vead (m_x) väga suured (tab. 1—3, joon. 1).

Tabel 2

Saadjärve vee küllastumus hapnikust (%) aastail 1974—1983

Kuu	Mõõtmiste arv	$\frac{\text{min—max}}{\bar{x} \pm m_x}$			
		0,5 m	10 m	15 m	20 m
jaanuar	2	$\frac{100-100}{100}$	$\frac{75-83}{79 \pm 4}$	$\frac{75-76}{75 \pm 0,5}$	$\frac{49-58}{53 \pm 4}$
veebruar	5	$\frac{90-100}{97 \pm 2}$	$\frac{74-84}{79 \pm 2}$	$\frac{61-73}{69 \pm 0,2}$	$\frac{11-26}{18 \pm 3}$
märts	6	$\frac{80-100}{92 \pm 4}$	$\frac{58-84}{69 \pm 4}$	$\frac{40-72}{52 \pm 5}$	$\frac{1-13}{5 \pm 2}$
aprill	2	$\frac{95-104}{99 \pm 5}$	$\frac{67-99}{83 \pm 16}$	$\frac{52-95}{73 \pm 21}$	$\frac{3-94}{48 \pm 46}$
mai	9	$\frac{99-130}{113 \pm 4}$	$\frac{79-113}{102 \pm 3}$	$\frac{72-107}{96 \pm 3}$	$\frac{66-103}{94 \pm 4}$
juuni	7	$\frac{95-134}{105 \pm 5}$	$\frac{80-105}{94 \pm 3}$	$\frac{67-99}{83 \pm 4}$	$\frac{50-91}{67 \pm 5}$
juuli	11	$\frac{99-117}{108 \pm 2}$	$\frac{36-88}{66 \pm 5}$	$\frac{19-74}{49 \pm 6}$	$\frac{2-58}{29 \pm 6}$
august	8	$\frac{81-102}{93 \pm 2}$	$\frac{19-92}{59 \pm 9}$	$\frac{1-29}{12 \pm 4}$	$\frac{0-7}{2 \pm 1}$
september	6	$\frac{86-94}{89 \pm 1}$	$\frac{74-92}{86 \pm 3}$	$\frac{8-91}{49 \pm 18}$	$\frac{1-31}{22 \pm 14}$
oktoober	5	$\frac{79-101}{90 \pm 4}$	$\frac{79-101}{88 \pm 4}$	$\frac{78-101}{88 \pm 4}$	$\frac{77-99}{85 \pm 4}$
november	4	$\frac{94-100}{96 \pm 2}$	$\frac{89-97}{94 \pm 2}$	$\frac{88-95}{92 \pm 1}$	$\frac{86-95}{92 \pm 2}$
detsember	1	95	92	91	74

Vee tsirkulatsioon jätkub mais. Samal ajal vesi soojeneb ja fütoplanktoni elutegevus intensiivistub. Valgustatud veekiht üleküllastub fotosünteesi tagajärjel hapnikust (joon. 2). Üleküllastatud vesi võib levida põhjani (11. mai 1976). Enamasti oli mais 20 m sügavuses vee küllastus 91–100% (11,4–12,4 mg O₂/l). Erandiks oli erakordselt varane ja soe kevad 1975. aastal: 19. mail mõõdeti vee temperatuuriks pinnakihis 19, põhjas 12,1°C. Vesi oli jõudnud kihistuda: hapniku sisaldus pinnakihis oli 12,4 mg/l (104%), 20 m sügavuses aga vähenenud kuni 6,9 mg/l (66%).

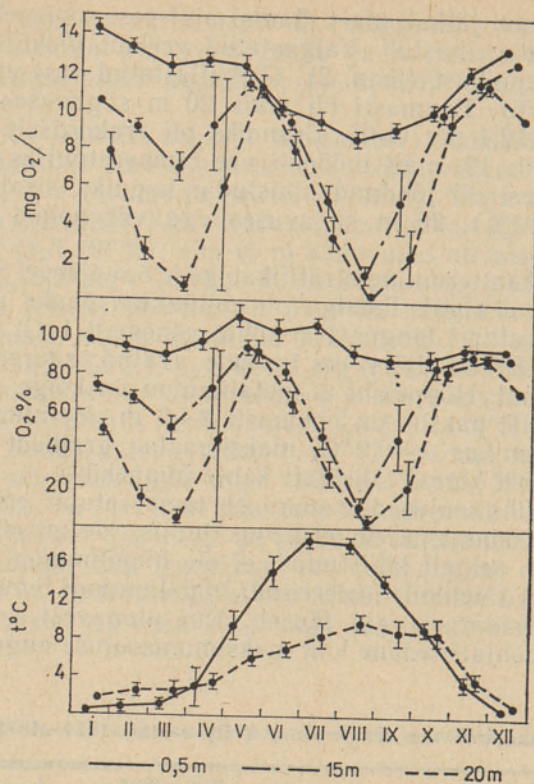
Tavaliselt hakkab termiline stratifikatsioon Saadjärvel välja kujunema mai lõpul või juuni algul. Esialgu on epilimnion õhuke ja temperatuuri hüppekiht (temperatuuri langus 1 m kohta vähemalt 1°C) võib alata juba 3 m sügavuselt. Et Saadjärv on tuultele avatud, suureneb epilimnioni paksus suve jooksul. Hüppekiht e. metalimnion on kõige sagedamini 8–13 m vahel ja selle paksus on enamasti 2–3 m. Metalimnioni temperatuur kõigub vahemikus 1–9,9°C, maksimaalne gradient on 4,6 kraadi meetri kohta. Paaril korral täheldati kahte hüppekihti.

Pindmise vee kihi soojenedes suureneb temperatuuri erinevus põhja ja pinna vahel. Maksimaalne on erinevus juulis, keskmiselt 10°C. Kuigi Saadjärve vesi on selgelt kihistunud, ei ole hüpolimnion metalimnioniga atmosfääri mõjust täielikult isoleeritud: hüpolimnioni temperatuur ei püsi suve jooksul konstantne, vaid tõuseb. Kui pinnavesi on kõige soojem juulis, saavutab põhjalähedane kiht maksimumsoojuse augustiks (joon. 1).

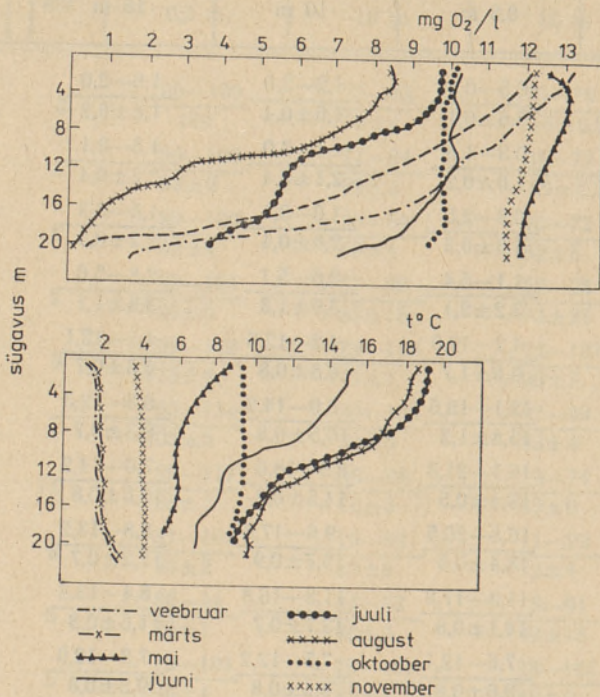
Tabel 3

Saadjärve vee temperatuur (°C) aastail 1974–1983

Kuu	Mõõtmiste arv	$\frac{\text{min-max}}{\bar{x} \pm m_x}$			
		0,5 m	10 m	15 m	20 m
jaanuar	2	0,5–0,8	1,2–2,0	1,6–2,0	2,0–2,0
		0,6±0,1	1,6±0,4	1,8±0,2	2,0
veebruar	5	0,3–1,8	1,1–3,0	1,3–3,1	1,9–3,3
		1,0±0,2	2,1±0,4	2,2±0,4	2,6±0,2
märts	6	0,3–2,5	1,0–3,1	1,5–3,3	2,0–3,9
		1,3±0,3	2,0±0,4	2,2±0,3	2,7±0,4
aprill	2	1,1–5,4	2,6–5,1	2,8–5,0	3,1–4,8
		3,2±2,1	3,9±1,3	3,6±1,1	3,9±0,8
mai	9	4,2–19,0	4,2–12,6	4,1–12,1	4,0–12,1
		9,8±1,7	6,8±0,8	6,6±0,7	6,4±0,8
juuni	7	12,1–19,5	8,0–14,2	6,3–12,3	5,4–9,8
		15,8±1,2	10,5±0,8	8,3±0,7	7,5±0,6
juuli	11	16,1–21,8	8,6–18,0	7,0–14,2	6,0–13,7
		19,4±0,5	14,5±0,8	10,6±0,8	9,3±0,9
august	8	16,8–20,5	9,6–17,6	8,8–13,2	7,2–12,5
		18,4±0,5	15,7±0,9	11,2±0,7	10,2±0,7
september	6	11,8–17,8	11,8–16,8	8,4–13,8	6,2–11,8
		14,1±0,8	13,7±0,7	11,6±0,8	9,4±0,8
oktoober	5	7,6–12,1	7,5–12,2	7,3–12,0	7,1–12,0
		9,6±0,8	9,6±0,8	9,5±0,8	9,3±0,9
november	4	2,4–5,9	3,0–6,0	3,0–6,0	3,0–6,0
		3,9±0,7	4,1±0,6	4,2±0,6	4,2±0,6
detsember	1	0,8	1,0	1,1	1,8



Joon. 1. Hapniku kontsentratsioon, vee küllastumus hapnikuga ja vee keskmine temperatuur kuus aastail 1974–1983 eri sügavustes.



Joon. 2. Lahustunud hapniku keskmise kontsentratsiooni ja keskmise temperatuuri vertikaalne jaotumus.

Termilise stratifikatsiooni perioodil (juun. 2, juuni, juuli ja augusti kõverad) on epilimnion hapnikurikas, hapnikust üleküllastatud mais, juunis ja juulis. Et vee kihistumisest alates on hapniku juurdevool epilimnionist hüpolimnioni takistatud, hakkab hapniku sisaldus selles orgaanilise aine oksüdeerumise tõttu kiiresti vähenema. Juba juuli lõpul võib vesi 20 m sügavuses olla anaeroobne. Huvitav on märkida, et H. Simmi (1961) andmetel leidis 24. juulil 1951 21 m sügavuses 2,23 mg O₂/l (20%). Samas sügavuses oli 17 aastat hiljem (24. juuli 1978) vaid 0,9 mg O₂/l (8%). Kuid alles hiljuti mõõdeti juulis (19. juuli 1983) 20,5 m sügavuses suhteliselt palju, 6,1 mg O₂/l (49%). Näidetest järeldub, et hapnikurežiim võib aastati erineda.

Suvel hapnikuvaegus süveneb, levides põhjakihtidest ülespoole, ka metalimnioni. Augustis ja septembris on hüpolimnionis, mis võib alata juba 12 m sügavuselt, hapnik praktiliselt otsas. Metalimnionis on hapniku defitsiit sagedasti üle 50%.

Ilmade jähinemisel vee erikaal suureneb ja kihistus kaob. Sügisene tsirkulatsiooniperiood algab septembri teisel poolel. Täielikku tsirkulatsiooni näitavad 1979. aasta 30. septembri mõõtmistulemused: vee temperatuuri ja hapniku sisalduse vertikaalne jaotumus on homogeenne (11,8—12,0°C; 9,2—9,8 mg O₂/l; 88—93%). Veemassi ühtlane jähinemine ja hapniku kontsentratsiooni ühtlane suurenemine jätkub oktoobris ja novembris kuni jääkatte tekkeni. Sügisene tsirkulatsiooniperiood on kevadisega võrreldes pikem. Ka on sellel ajal nii temperatuuri kui ka hapniku vertikaalne jaotumus ühtlasem kui kevadel.

Seega on Saadjärv dimiktne veekogu, kuna kaks korda aastas, kevadel ja sügisel, toimub veemassi täielik segunemine ja rikastumine hapnikuga. Hapniku sisalduse poolest on kogu veemass kõige rikkam mais ja novembris. Neil kuudel on ka põhjalähedase vee küllastus hapnikust suurim. Seevastu suvel ja talvel hapniku sisaldus vees väheneb. Kõige halvemad on Saadjärve hapnikuolud suvel, termilise stratifikatsiooni ajal. Umbes kahe kuu vältel — juuli lõpust septembri alguseni — on sügavamal kui 10 m sagedasti suur hapnikudefitsiit. Suve lõpul on hüpolimnion anaeroobne. Kevadtalvel tekki hapnikuvaegus pole nii ulatuslik kui suvel. Kui augustis on 15 m sügavuses vaid 0,1—3,0, keskmiselt 1,3 mg O₂/l (12%), siis märtsi lõpul mõõdeti selles kihis veel 5,2—9,8, keskmiselt 7,0 mg O₂/l (52%). Sellel ajal on täielikult tarbitud vaid põhjalähedase veekihi hapnik.

Võrdlus varasemate, 1951. ja 1956. aasta mõõtmistulemustega ei võimalda välja tuua muutusi Saadjärve hapnikurežiimis. Vanu andmeid on vähe ja määramismetoodika oli teine. Lisaks sellele võib hapnikurežiim aastati erineda, sest ta sõltub meteoroloogilistest tingimustest, eelkõige õhu temperatuurist.

Saadjärve hapnikuolud on praegu veel head. Mis puutub järve toitlusesse, siis Saadjärve hapniku jaotumiskõveral esinev mõõdukas metalimnionaalne maksimum (juun. 2, mai kõver) näitab, tuginedes A. Thienemanile (Хатчинсон, 1969), mõõdukat produktiivsust. Pinnavee suurima hapnikuga üleküllastatuse põhjal (mais keskmiselt 113±4%) on järv tõenäosusega 0,5 nii eutroofne kui ka mesotroofne (mesotroofse ja eutroofse seisundi piirväärtuseks on 111%; Милиус jt., 1987). Hapniku keskmise tarbimiskiiruse järgi hüpolimnionis (0,11±0,01 mg O₂ liitri vee kohta ööpäevas) on järv mesotroofne (mesotroofse ja eutroofse seisundi vastavaks piirväärtuseks on 0,16 mg O₂/l ööpäevas; Линдпере jt., 1987). Eutroofsele seisundile iseloomulikud nähtused, nagu ajutine epilimnioni suur üleküllastus hapnikust ja suur hapniku defitsiit hüpolimnionis tõendavad, et järve eutrofeerumine on vaja viivitamatult peatada. Selleks on vaja lõpetada järve fosforikoormuse suurendamine, mis on eutrofeerumise peapõhjusti.

- Milius, A., Pork, M.* Seasonal variation of phytoplankton biomass, chlorophyll *a* content and alkaline phosphatase activity in Lake Saadjärv // ENSV TA Toim. Biol., 1977, 26, nr. 1, 36—48.
- Simm, H.* Humoosuselt erinevate järvede hüdrokeemiast // Hüdrobioloogilised uurimused II. Trt., 1961, 9—62.
- Линдпере А. В., Стараст Х. А., Милиус А. Ю., Симм Х. А.* Увеличение поглощения кислорода при эвтрофировании малых озер // Изучение процессов формирования химического состава природных вод в условиях антропогенного воздействия. Мат. XXVIII Всесоюз. гидрохим. совещания. Май 1984 г. Ч. 1. Л., 1987, 98.
- Милиус А. Ю., Линдпере А. В., Стараст Х. А., Симм Х. А., Кываск В. О.* Статистическая модель трофического состояния малых светловодных озер // Водные ресурсы, 1987, № 3, 63—66.
- Хатчинсон Д.* Лимнология. М., 1969.

*Eesti Teaduste Akadeemia
Zooloogia ja Botaanika Instituut*

Toimetusse saabunud
30. VI 1989

Айни ЛИНДПЕРЕ, Ану МИЛИУС, Хенно СТАРАСТ

СОДЕРЖАНИЕ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА И ТЕМПЕРАТУРА ВОДЫ В ОЗЕРЕ СААДЪЯРВ

В период 1974—1983 по 3—12 раз в год измеряли концентрацию растворенного O_2 и температуру воды оз. Саадъярв. Наблюдения проводили с помощью термооксиметра с метровыми интервалами по вертикали в глубоком месте озера.

Выяснено, что по содержанию кислорода оз. Саадъярв в хорошем состоянии. Умеренный металимниальный максимум растворенного O_2 в мае (рис. 2) свидетельствует об умеренной продуктивности озера. По насыщению поверхностного слоя воды кислородом (в мае в среднем $113 \pm 4\%$) озеро является с вероятностью 0,5 как мезотрофным, так и эвтрофным. По средней скорости поглощения кислорода на единицу объема воды в гипolimнионе во время летней термической стратификации ($0,11 \pm 0,01$ мг/л в сутки) оз. Саадъярв соответствует мезотрофному типу.

Дальнейшее эвтрофирование озера следует считать крайне нежелательным, так как это вызывает увеличение дефицита кислорода в гипolimнионе. Чтобы предотвратить ухудшение состояния озера, нагрузку фосфора с водосбора на оз. Саадъярв необходимо уменьшить.

Aini LINDPERE, Anu MILIUS and Henno STARAST

OXYGEN CONTENT AND WATER TEMPERATURE IN LAKE SAADJÄRV

In 1974—1983 the concentration of dissolved O_2 and the temperature of water in Lake Saadjärv were measured 3 to 12 times per year. Observations were carried out electrometrically at the deepest part of the lake at each meter. The data taken at depths 0.5, 10, 15, and 20 m are presented in Tables 1—3. The mean monthly values of O_2 , $O_2\%$ and water temperature are shown in Fig. 1, the vertical distribution of O_2 and temperature in Fig. 2.

It is estimated that according to the O_2 content Lake Saadjärv is in a reasonably good condition. A considerable maximum in metalimnion of dissolved oxygen in May (Fig. 2) gives evidence of the moderate productivity of the lake. Judging by the highest oxygen saturation of the surface layer (in May $113 \pm 4\%$) the lake can be considered both mesotrophic and eutrophic with the probability 0.5. According to the mean volumetric O_2 depletion rate in hypolimnion during the summer thermal stratification (0.11 ± 0.01 mg/l per day) Lake Saadjärv belongs to the mesotrophic type.

Further eutrophication of the lake should be regarded highly undesirable since it leads to an increase of the oxygen deficit in hypolimnion. In order to prevent deterioration of the condition of Lake Saadjärv it is necessary to diminish the inflow of phosphorus.