

Anu MILIUS

УДК 574.524

VÄIKEJÄRVEDE TROOFSUSSEISUNDI HINDAMINE KEVADISE ÜLDFOSFORI KONTSENTRATSIOONI JÄRGI

Veekogude antropogeenne eutrofeerumine on muutunud limnoloogia üheks põhiprobleemiks. On teada, et veekogude eutrofeerumise kutsub esile nende rikastumine biogeensete elementidega (peamiselt fosfori ja lämmastiku ühenditega), mille tulemusel hakkab intensiivselt arenema fütoplankton. Klorofüllü *a* sisaldus fütoplanktonis peegeldab nii viimase arengut kui ka primaarproduktiooni (Brylinski, Mann, 1973; Munawar, Burns, 1976; Keskitalo, 1977; Tolstoy, 1977; El-Shaarawi, Munawar, 1978; Desortova, 1981; Трифонова, 1979 jt.). Samuti peetakse klorofüllü *a* sisaldust veekogude troofsuse või eutrofeerumise taseme näitajaks (Sakamoto, 1966; National Academy of Sciences..., 1973; Dobson jt., 1974; Трифонова, 1979; Vollenweider, 1979 jt.).

Et operatiivselt ja kiiresti hinnata veekogu seisundit ja vee kvaliteeti, on eriti vajalikuks osutunud veekogu troofsusseisundi ligilähedane prognoos. Praeguseks on välja töötatud meetod fütoplanktoni suvise produktiooni hindamiseks kevadisel tsirkulatsiooniperioodil määratud veekogu üldfosfori kontsentratsiooni alusel (Dillon, Rigler, 1974; Hickman, 1980). Siinses artiklis on esitatud fütoplanktoonsete väikejärvede vegetatsiooniperioodi fütoplanktoni keskmise produktiooni ja veekogu troofsusseisundi hinnang kevadise üldfosfori kontsentratsiooni järgi.

Materjal ja meetodika

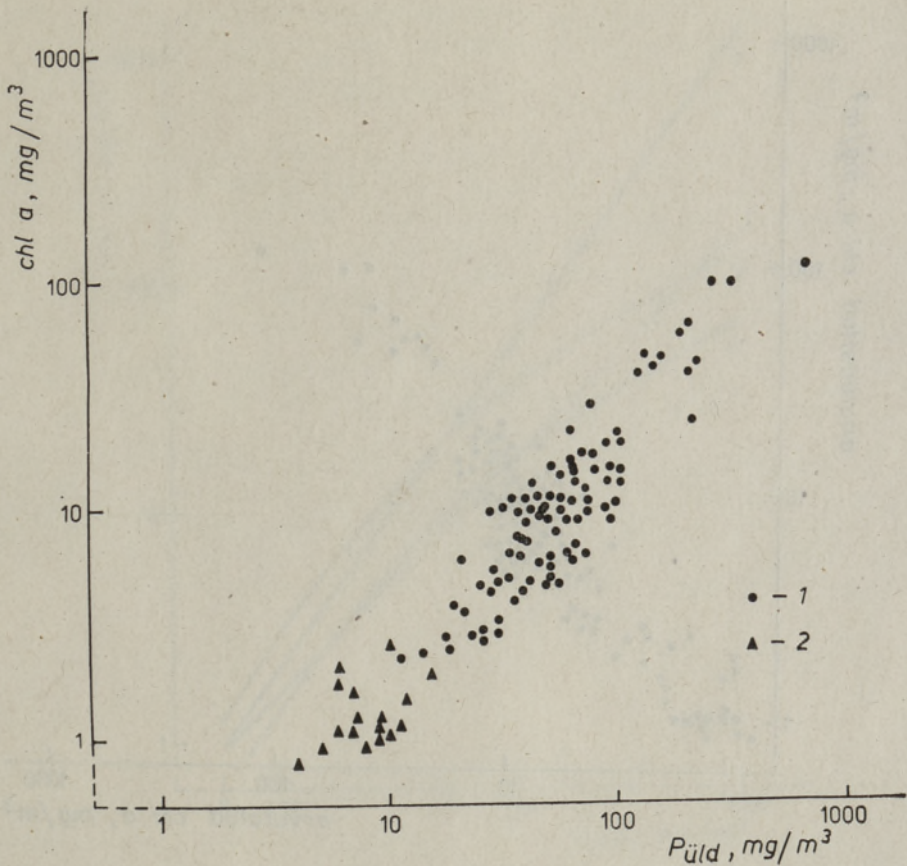
Materjal põhineb 63 Eesti väikejärve andmestikul, mis on kogutud ajavahemikul 1978—1982. Analüüsitud on 525 pinnavee proovi. Vaatlused viidi läbi mesotroofset, eutroofset ja hüpertroofset tüüpi fütoplanktoonsetel heledaveelistel (värvusega kuni 40°) järvedel. Veeproovid võeti batomeetriga järve sügavaimast kohast või selle lähedalt avaveest 1 m sügavusest. Üldfosfori proov koguti ühel korral maikuu esimesel poolel (pinnavee temperatuur <math>< 12^{\circ}\text{C}</math>) ning kontsentratsioon määrati kaaliumpersulfaadiga oksüdatsioonil Koroleffi (Reports..., 1977) järgi. Veeproovid fütoplanktoni klorofüllü *a* sisalduse hindamiseks koguti perioodiliselt 5—9 korral maist septembrini ning määrati spektrofotomeetriliselt metanooliga (Talling, 1969), kontsentratsioon (parandus feopigmentidele) arvutati A. F. H. Marker (1972) valemi järgi. Andmed töödeldi regressioonanalüüsi abil.

Tulemused ja arutelu

Regressioonanalüüsil leiti tugev korrelatiivne seos vegetatsiooniperioodi keskmise klorofüllüsisalduse ja maikuu ühel korral analüüsitud järvevee üldfosfori kontsentratsiooni vahel (vt. joon. 1), mida võib väljendada järgmise võrrandiga:

$$\log chl = 1,0464 \log P - 0,832 \quad (r = 0,93; S = 0,18), \quad (1)$$

kus *chl* ja *P* on klorofüllü ja fosfori kontsentratsioonid $\mu\text{g/l}$.

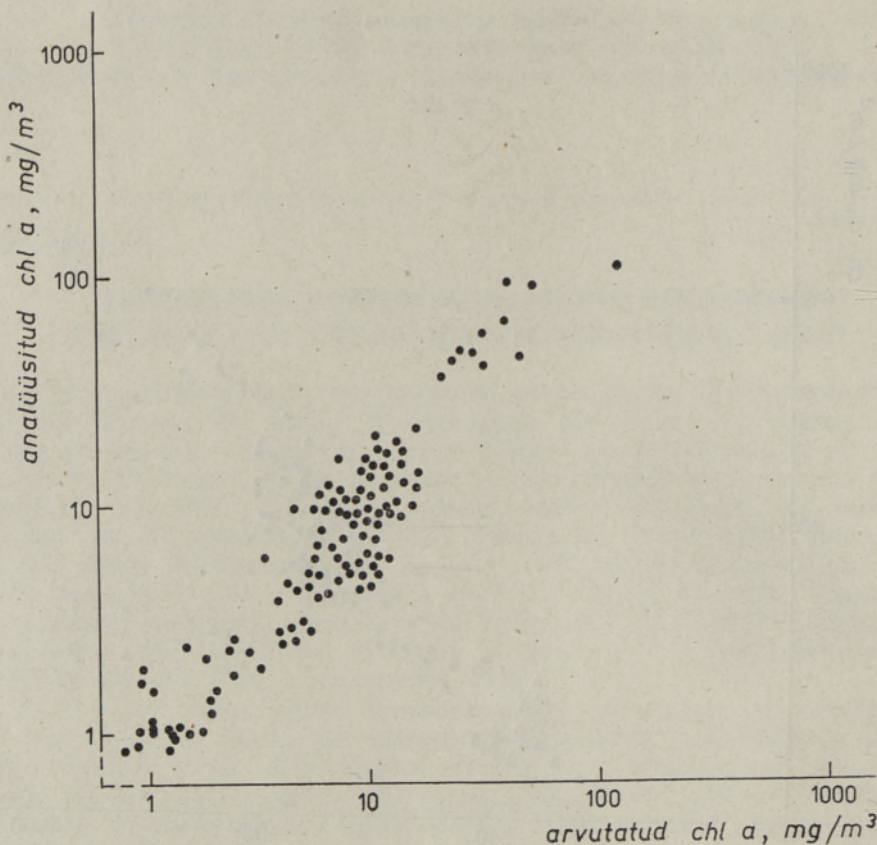


Joon. 1. Korrelatiivne seos vegetatsiooniperioodi fütoplanktoni klorofüllil *a* keskmise sisalduse ja kevadise üldfosfori kontsentratsiooni vahel aastail 1978–1982 analüüsitud materjali põhjal (1). 2 — Dillon—Rigleri (1974) andmed.

Lisaks autori kogutud andmetele on regressioonvõrrandi tuletamisel kasutatud kirjanduses ilmunud andmeid oligotroofsete järvede kohta (Dillon, Rigler, 1974), kuna Eestis selliseid puhtaid järvi enam ei esine.

On leitud, et biogeensetest elementidest piirab fosfor vetikate kasvu oligo-, meso- ja eutroofsetes järvedes, kuna lämmastiku limiteeriv mõju ilmneb hüpertroofset tüüpi järvedes (Forsberg, Ryding, 1980). Madala N:P suhte korral ($N:P < 12$) esineb suuremaid kõrvalekaldeid fosfori ja klorofüllil vahelisel regressioonil, millest järeldati lämmastiku limiteerivat osa fütoplanktoni arengus (Sakamoto, 1966). M. Hickman (1980) leiab, et madala N:P suhtega järvedes on fütoplanktoni tootmine ometi kõrge. Nendes järvedes toimub liigilise koosseisu muutus: hakkavad vohama sinivetikad, mis on võimelised fikseerima atmosfääri lämmastikku. Seetõttu ei ole statistilisest analüüsist elimineeritud hüpertroofsete järvede andmestik.

Lähtudes võrrandist (1) on arvatud maikuu üldfosfori kontsentratsiooni alusel igale järvele prognoositav fütoplanktoni keskmine klorofüllisisaldus vegetatsiooniperioodi vältel (joon. 2). Nagu näha, on joon. 2 punktide jaotuvus väga lähedane joon. 1 esitatuga, standardhälve (S) on $\pm 1,5$.



Joon. 2. Korrelatiivne seos analüüsitud vegetatsiooniperioodi fütoplanktoni keskmise klorofüllisisalduse ja võrrandi (1) järgi prognoositud klorofüllisisalduse vahel.

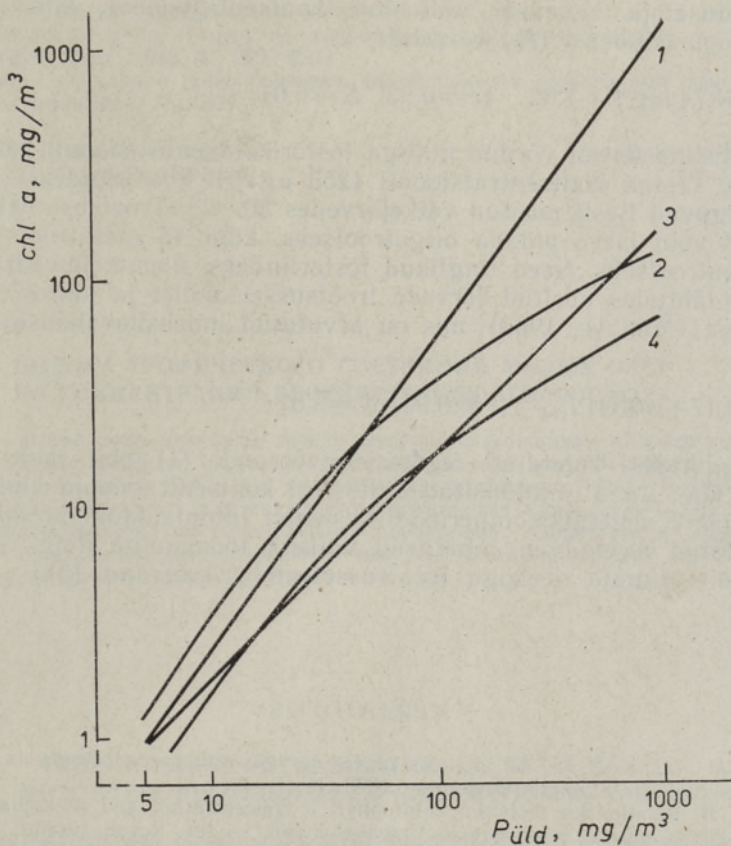
Dillon—Rigleri (1974) võrrandi

$$\log chl = 1,449 \log P - 1,136 \quad (r=0,95), \quad (2)$$

Hickmani (1980)

$$\log chl = 3,27 \log (\log P) + 0,542 \quad (r=0,842) \quad (3)$$

ning kirjutise autori esitatud regressioonvõrrandi (1) võrdlemisel ilmneb, et välismaa autorite võrrandite alusel saab meie tingimustes suuremad klorofüllsi väärtused (joon. 3). Võimaliku põhjusena võib kõne alla tulla erinevus statistilise seose aluses, uuritavas materjalis või määramismetoodikas. Mainitud autorid käsitlevad kevadisel tsirkulatsiooniperioodil kogutud järvevee üldfosfori kontsentratsiooni ja suvise fütoplanktoni produktsiooni vahelist seost erinevat tüüpi järvedes. Dillon—Rigleri uurimus põhineb oligotroofsete Ontario järvede andmestikul (fosfori kontsentratsioon 4—15 $\mu\text{g/l}$, klorofüllisisaldus 0,75—2,1 $\mu\text{g/l}$), kuna M. Hickmani töö on tehtud Alberta eutroofsete ja hüpertroofsete järvede materjali alusel (P : 150—2880 $\mu\text{g/l}$, chl : 5,3—241,2 $\mu\text{g/l}$). Sealjuures joon. 3 esitatud Hickmani võrrand interpoleerib nii P. J. Dilloni ja F. H. Rigleri (1974) kui ka M. Sakamoto (1966) esitatud andmestikku.



Joon. 3. Regressioonvõrrandite graafiline väljund fütoplanktoni klorofüllisisalduse ja kevadise üldfosfori kontsentratsiooni vahel. 1 — võrrand (2) (Dillon, Rigler, 1974), 2 — võrrand (3) (Hickman, 1980), 3 — võrrand (1), 4 — võrrand (4).

Võib arvata, et peamiselt oligotroofsete järvede materjali põhjal tuletatud statistiline võrrand võib anda suhteliselt ebaõigeid tulemusi suuremate fosfori kontsentratsioonide korral ning eelistatuks tuleb igati pidada Hickmani võrrandit, mis ühendab oligotroofsete järvede materjali suure troofsusega järvede andmestikuga. Ta leiab, et kõverjooneline regressioonvõrrand on ökoloogiliselt kõige sobivam selliste suure diapasoonega järvede kohta.

Autori andmetest on tuletatud samuti kõverjooneline võrrand (joon. 3, 4):

$$\log chl = 3,334 \log (\log P) + 0,222 \quad (r=0,90, S=0,21), \quad (4)$$

mis kulgeb graafiku keskosas väga lähedaselt sirge võrrandile (1) ja suurte fosforikontsentratsioonide korral annab väiksemad klorofüllisisaldusi. Et selliseid suuri fosfori kontsentratsioone ei ole Eesti väikejärvedes tuvastatud, siis on raske öelda, kas võrrand selles piirkonnas kehtib. Praeguse uuritud algmaterjali korral osutub sobivamaks lineaarne võrrand (1), sest andmete jaotuvus on sirgekujuline (joon. 1), korrelatsioonikoefitsient on tugevam ja standardhälve väiksem.

Lähtudes statistilisest seosest vegetatsiooniperioodi keskmise kloro-

füllissalduse ja kevadise üldfosfori kontsentratsiooni vahel, tuletati fosfori troofsusindeksi (I_P) võrrand:

$$I_P = 34,74 \log P - 7,62 \quad (r=0,93, S=6,0). \quad (5)$$

Troofsusindeks on võrdne nulliga fosforikontsentratsioonil $1,66 \mu\text{g P/l}$ ja võrdne sajaga kontsentratsioonil $1253 \mu\text{g P/l}$. Fosforiindeksi piirväärtused kõiguvad Eesti uuritud väikejärvedes 30–93. Troofsusindeksi väärtuseni 28 võib järve pidada oligotroofseks, kuni 45 mesotroofseks ning kuni 63 eutroofseks. Need tinglikud fosforiindeksi üleminekväärtused on tuletatud lähtudes uuritud järvede troofsusseisundist ja klorofüllindeksi väärtustest (Милюс, 1983), mis on arvatud indekseitevahelise võrrandi järgi:

$$I_P = 6,17 + 0,8691 I_{chl} \quad (r=0,93, S=5,6). \quad (6)$$

Kokkuvõtteks. Tuletatud regressioonvõrrandi (1) abil saab kevadel, maikuus ühel korral analüüsitud üldfosfori kontsentratsiooni alusel prognoosida järve vegetatsiooniperioodi keskmist fütoplanktoni produktiooni. Väljatöötatud meetod on suhteliselt väikese töömahuga ning võimaldab õigeaegselt hinnata veekogu troofsusseisundit (võrrand (5)).

KIRJANDUS

- Brylinski, M., Mann, K. H. An analysis of factors governing productivity in lakes and reservoirs. — *Limnol. Oceanogr.*, 1973, 18, 1–14.
- Desortova, B. Relationship between chlorophyll *a* concentration and phytoplankton biomass in several reservoirs in Czechoslovakia. — *Int. Revue gesamt. Hydrobiol.*, 1981, 66, 153–169.
- Dillon, P. J., Rigler, F. H. The phosphorus-chlorophyll relationship in lakes. — *Limnol. Oceanogr.*, 1974, 19, 767–773.
- Dobson, H. F. H., Gilbertson, M., Sly, P. J. A summary and comparison of nutrients and related water quality in lakes Erie, Ontario, Huron, and Superior. — *J. Fish. Res. Board Can.*, 1974, 31, 731–738.
- El-Shaarawi, A., Munawar, M. Statistical evaluation of the relationships between phytoplankton biomass, chlorophyll *a*, and primary production in Lake Superior. — *J. Great Lakes Res.*, 1978, 4, 443–455.
- Forsberg, C., Ryding, S.-O. Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waste-receiving lakes. — *Arch. Hydrobiol.*, 1980, 89, 189–207.
- Hickman, M. Phosphorus, chlorophyll and eutrophic lakes. — *Arch. Hydrobiol.*, 1980, 88, 137–145.
- Keskitalo, J. The species composition and biomass of phytoplankton in the eutrophic Lake Lovojärvi, Southern Finland. — *Ann. Bot. Fennici*, 1977, 14, 71–81.
- Marker, A. F. H. The use of acetone and methanol in the estimation of chlorophyll in the presence of phaeophytin. — *Freshwater Biol.*, 1972, 2, 361–385.
- Munawar, M., Burns, N. M. Relationships of phytoplankton biomass with soluble nutrients, primary production, and chlorophyll *a* in Lake Erie, 1970. — *J. Fish. Res. Board Can.*, 1976, 33, 601–611.
- National Academy of Sciences and National Academy of Engineering. Water quality criteria 1972, EPA R 73033, U. S. Environ. Prot. Agency, Washington, D. C., 1973, 21.
- Reports of the Baltic Intercalibration Workshop. Kiel, 1977, 27–28.
- Sakamoto, M. Primary production by phytoplankton community in some Japanese lakes and its dependence on lake depth. — *Arch. Hydrobiol.*, 1966, 62, 1–28.
- Talling, J. E. Sampling techniques and methods for estimating quantity of biomass: general outline of spectrophotometric methods. — In: *IBP Handbook*, 12. Oxford, 1969, 22–24.
- Tolstoy, A. Chlorophyll *a* as a measure of phytoplankton biomass. — *Acta Univ. Upsal.*, 1977, 416.
- Vollenweider, R. A. Das Nährstoffbelastungskonzept als Grundlage für den externen Eingriff in den Eutrophierungsprozess stehender Gewässer und Talsperren. — *Z. Wasser- und Abwasser-Forsch.*, 1979, 12, 46–56.

Милиус А. Определение трофического состояния малых фитопланктонных озер с применением индекса трофии по хлорофиллу *a* в фитопланктоне. — Изв. АН ЭстССР. Биол., 1983, 32, 288—291.

Трифенова И. С. Состав и продуктивность фитопланктона разнотипных озер Карельского перешейка. Л., 1979.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Zooloogia ja Botaanika Instituut

Toimetuse saabunud
14. X 1983

Анн МИЛИУС

ОЦЕНКА ТРОФИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАЛЫХ ОЗЕР ПО КОНЦЕНТРАЦИИ ВЕСЕННЕГО ОБЩЕГО ФОСФОРА

Установлена тесная связь ($r=0,93$) между средним содержанием хлорофилла и концентрацией общего фосфора, определенного однократно в мае (температура поверхностного слоя воды ниже 12°C). На основании представленного регрессионного уравнения (1) можно предсказать для малых фитопланктонных малоцветных озер среднюю продукцию фитопланктона по однократному определению концентрации общего фосфора весной. Этот метод нетрудоемкий, и выведенный индекс трофии (5) позволяет заблаговременно оценить трофическое состояние озер.

Анн MILIUS

TROPHIC STATE DETERMINATION OF SMALL LAKES WITH TOTAL PHOSPHORUS CONCENTRATION IN SPRING

Significant correlation was found between the mean chlorophyll *a* concentration during vegetation period and the total phosphorus concentration in spring. The derived regression equation (1) can be used for predicting the mean phytoplankton standing crop size from a single measurement of total phosphorus concentration in spring. The derived trophic state index (equation (5)) allows us to estimate in advance the trophic state of lakes.