

Ану МИЛИУС, Вийве КЫВАСК

КРАТКАЯ ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАЛЫХ ОЗЕР ЭСТОНИИ ВО ВРЕМЯ ЛЕТНЕЙ СТАГНАЦИИ

Основными критериями трофности озер считаются концентрация биогенных элементов, кислородный режим и дефицит кислорода в гипolimнионе, а также прозрачность воды. В настоящей работе дан краткий обзор некоторых гидрохимических показателей малых озер Эстонии во время летней стагнации и сделана попытка связать прозрачность воды с биомассой фитопланктона и концентрацией хлорофилла *a* в нем. Детальный анализ летнего фитопланктона (видовой состав, биомасса, хлорофилл *a*) этих озер проведен ранее (Кываск, Милиус, 1981). В настоящем сообщении гидрохимические показатели анализируются на основании материала, полученного из 47 малых озер Эстонии летом 1978 и 1979 гг. Список исследованных озер и лабораторные анализы фитопланктона приведены ранее (Кываск, Милиус, 1981). Пробы воды для гидрохимических анализов (фосфатный и общий фосфор, нитратный азот) отбирали на глубоководной станции с горизонта 1 м, а также из придонного слоя воды. Одновременно измеряли температурный и кислородный режимы, рН и прозрачность воды по диску Секки. Концентрации фосфатов, нитратов и общего фосфора определяли по общепринятой в гидрохимии методике (Алекин, 1954; Алекин и др., 1973).

Результаты и обсуждение

Причиной антропогенного эвтрофирования озер является увеличение концентрации биогенных элементов в воде в результате их обильного поступления в водоем в связи с интенсификацией хозяйственной деятельности и с увеличением применения удобрений на водосборе озер.

Фосфатный фосфор обнаружен в озерах всех типов и ни в одном из них в рассматриваемый период содержание его не снижалось до аналитического нуля. Это свидетельствует о том, что все исследованные озера в некоторой мере уже эвтрофированы. Многолетними исследованиями установлено, что в мало эвтрофированных озерах в некоторые периоды содержание фосфатов падало ниже аналитического нуля

Гидрохимическая характеристика озер различной трофности по данным исследования поверхностного слоя воды

Типы озер	Кол-во озер	P—PO ₄ , мкг/л	P _{общ.} , мкг/л	N—NO ₃ , мкг/л	рН	O ₂ , % насы- щения	Прозрач- ность воды, м
Эвтрофированные олиготрофные	4	2—5	10—30	0—0,1	7,8—8,2	101—111	3—6,5
Мезотрофные	12	2—4	20—50	0—0,1	7,6—8,8	98—131	2,5—4,2
Умеренно-эвтрофные	17	2—13	30—87	0—0,1	7,0—8,9	96—156	1,5—3,0
Эвтрофные	8	2—33	40—107	0—0,1	8,6—9,0	110—168	1,0—1,5
Высокоэвтрофные	6	2—69	60—126	0—0,2	8,8—9,2	83—163	0,4—1,0

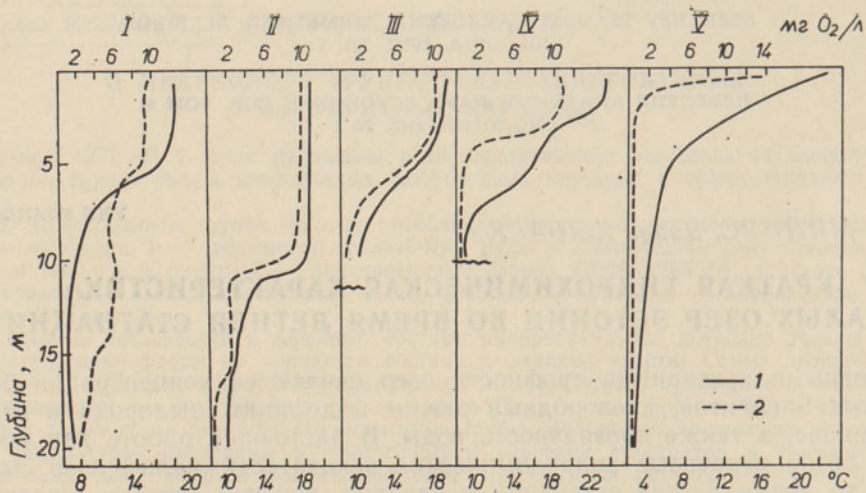


Рис. 1. Вертикальное распределение температуры воды (1) и растворенного кислорода (2) в разнотипных озерах. I — эвтрофированное олиготрофное; II — мезотрофное; III — умеренно-эвтрофное; IV — типично эвтрофное; V — высокоэвтрофное.

(Milius, в печати). Из таблицы видны пределы колебания содержания фосфатного фосфора в поверхностных водах: нижняя граница 2 мкг P/л , верхняя же различна для разных типов озер. Вода в эвтрофированных олиготрофных и мезотрофных озерах бедна минеральными соединениями фосфора (от 2 до 5 мкг P/л в летний период). Наибольшее содержание фосфора установлено в эвтрофных озерах, однако летом его концентрация в этих типах озер минимальна. Только в некоторых высокоэвтрофных озерах даже в периоды максимального развития фитопланктона (синезеленых водорослей) концентрация фосфатного фосфора не опускалась ниже 69 мкг P/л . Это водоемы, куда спускают бытовые сточные воды (Отепя Пикаярв).

Содержание **общего фосфора** аналогично содержанию фосфатного фосфора, но здесь и нижние границы различаются для разных типов озер (таблица). Концентрация общего фосфора минимальна в эвтрофированных олиготрофных озерах, где она колеблется от 10 до 30 мкг P/л . Максимальные величины общего фосфора отмечены в эвтрофных и высокоэвтрофных озерах, в летний период до 126 мкг P/л .

Интервал колебания концентрации **нитратного азота** в исследованных озерах был малым. В воде большинства озер нитратный азот в летний период практически отсутствовал, т. е. полностью ассимилировался фитопланктоном, или не превышал 0,1 мг N/л , и только в некоторых высокоэвтрофных озерах концентрация его достигала 0,2 мг N/л .

Одним из важных признаков эвтрофирования озер служит ухудшение **кислородного режима** гипolimниона за счет более интенсивного расходования кислорода на окисление возрастающего количества автотонного органического вещества. На рис. 1 приведены кислородная и термическая стратификация озер разных типов. В большинстве эвтрофированных олиготрофных озер вода аэробная по всей водной толще; в озерах, в которых прозрачность воды достигает дна, концентрация растворенного кислорода повышается в придонных слоях за счет фотосинтеза донной растительности (оз. Нохипалу Валгеярв). Только в некоторых глубоких озерах (Удсу и Пийганди) насыщение кислородом уменьшается до 20—10% в придонных слоях воды (рис. 1, I). В поверхностных слоях воды насыщение кислородом достигает 100—110%

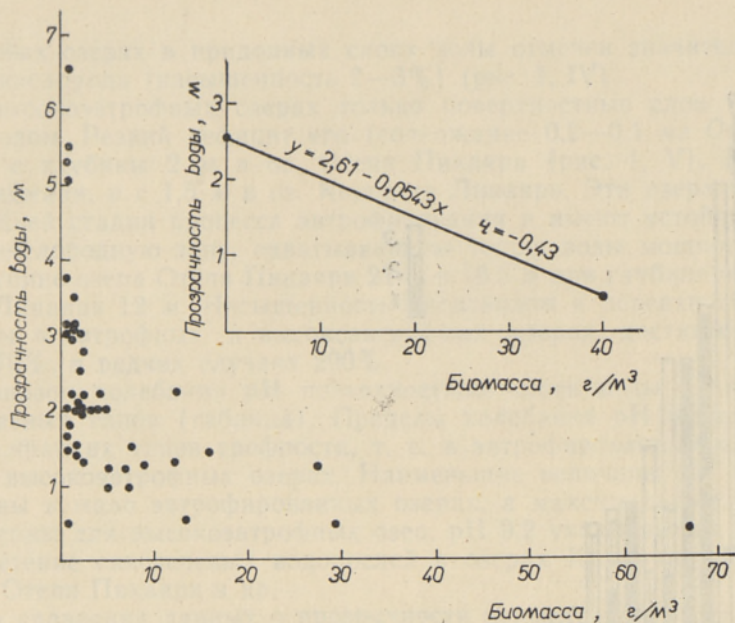


Рис. 2. Связь между прозрачностью воды и биомассой фитопланктона (в логарифмическом масштабе $\lg y = 0,414 - 0,3573 \lg x$, $r = -0,77$).

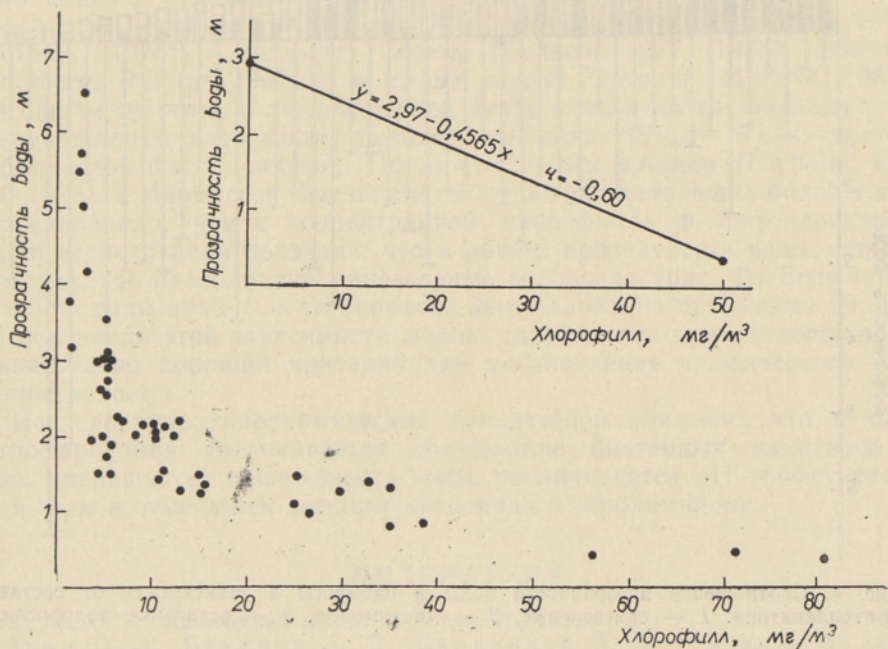


Рис. 3. Связь между прозрачностью воды и содержанием хлорофилла *a* в фитопланктоне (в логарифмическом масштабе $\lg y = 0,793 - 0,5336 \lg x$, $r = -0,87$).

(таблица). Кислородные условия в мезотрофных озерах также благоприятные, хотя в некоторых глубоких озерах наблюдается дефицит кислорода в придонных слоях воды (рис. I, II). В этих озерах насыщение кислородом в поверхностных слоях воды может достигать 130%,

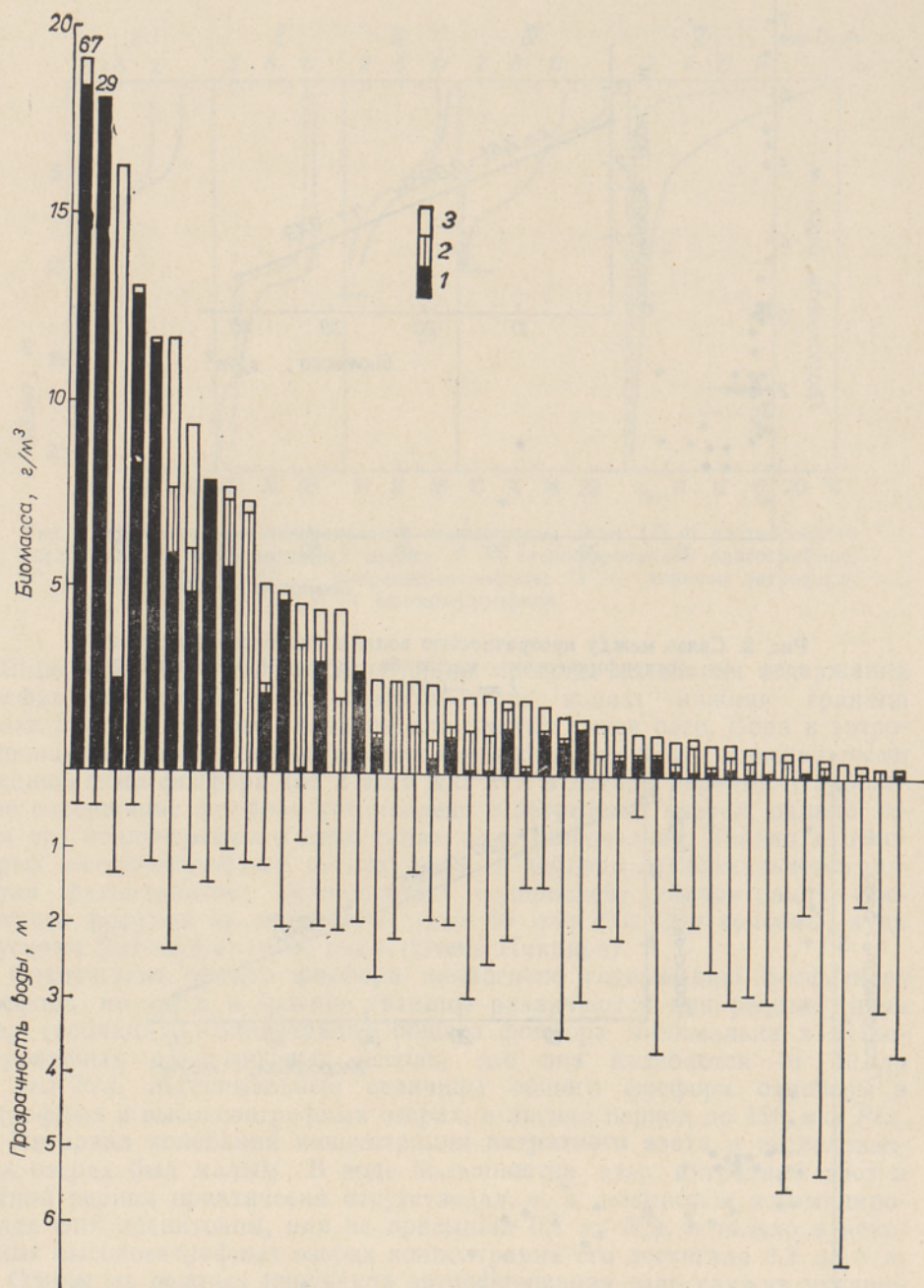


Рис. 4. Соотношение прозрачности воды и биомассы в зависимости от состава фитопланктона: 1 — синезеленые, 2 — диатомовые, 3 — остальные водоросли.

что в значительной мере определяется интенсивной вегетацией фитопланктона.

В эвтрофных мелководных озерах с большой площадью, где стратификации температуры не наблюдается, высокое содержание кислорода отмечается по всей водной толще. В стратифицированных мелких озерах (глубина 3—4 м) малые концентрации кислорода (насыщенность 5—7%) наблюдаются только у дна. В более глубоких (5—10 м)

эвтрофных озерах в придонных слоях воды отмечен значительный дефицит кислорода (насыщенность 2—3%) (рис. 1, IV).

В высокоэвтрофных озерах только поверхностные слои насыщены кислородом. Резкий дефицит его (содержание 0,2—0,1 мг O_2 /л) начинается с глубины 2 м в оз. Отепя Пикаярв (рис. 1, V), с 2,5 м в оз. Криймани, и с 1,5 м в оз. Коорасте Линаярв. Эти озера находятся на крайней стадии процесса эвтрофирования и имеют устойчивую почти бескислородную зону, охватывающую толщу воды мощностью 19 м при глубине озера Отепя Пикаярв 21 м и 10,5 м при глубине озера Коорасте Линаярв 12 м. Насыщенность кислородом в поверхностных слоях воды в эвтрофных и высокоэвтрофных озерах достигает обычно 160—170%, в редких случаях 200%.

Диапазон колебания рН поверхностных слоев воды различен для озер разных типов (таблица). Пределы колебания рН минимальны в озерах крайних типов трофности, т. е. в эвтрофированных олиготрофных и высокоэвтрофных озерах. Наименьшие величины рН (7,0—7,8) отмечены в мало эвтрофированных озерах, а максимальные (8,8—9,2) характерны для высокоэвтрофных озер. рН 9,2 указывает на интенсивное цветение синезеленых водорослей в озерах Криймани, Вяйке Кодиярв, Отепя Пикаярв и др.

При сравнении данных о прозрачности воды по диску Секки с данными о биомассе фитопланктона и содержании хлорофилла выясняется, что существует обратная зависимость между биомассой и прозрачностью воды (рис. 2 и 3). Обратная зависимость между прозрачностью воды и концентрацией хлорофилла a в фитопланктоне установлена ранее в некоторых озерах Канады (Dillon, Rigler, 1975), США (Bachmann, Jones, 1974; Jones, Bachmann, 1978а, б; Rast, Lee, 1978; Brezonik, 1978), Советского Союза (Бульон, 1977, 1978). Швеции (Forsberg, Ryding, 1980) и в малых озерах Эстонии (Милиус, 1980). По нашим данным, в летний период связь между прозрачностью воды и содержанием хлорофилла сильнее, чем связь между прозрачностью и биомассой фитопланктона. По литературным данным (Nicholls, Dillon, 1978), с биомассой фитопланктона прозрачность воды более тесно коррелировала, чем с концентрацией хлорофилла в фитопланктоне. Наши исследования показали, что в общем прозрачность воды меньше в озерах, где преобладают синезеленые водоросли (рис. 4). Если прозрачность воды ниже 1 м, то биомасса фитопланктона превышает 10 г/м³. На основании этой зависимости можно сказать, что прозрачность воды сравнительно хороший критерий для установления трофического состояния водоема.

Исследование гидрохимических показателей показало, что в ходе эвтрофирования увеличивается содержание биогенных элементов в воде, уменьшается прозрачность воды, увеличивается рН трофогенного слоя воды и отмечается дефицит кислорода в гипolimнионе.

ЛИТЕРАТУРА

- Алекин О. А. Химический анализ вод суши. Л., 1954.
Алекин О. А., Семенов А. Д., Скопинцев Б. А. Руководство по химическому анализу вод суши. Л., 1973.
Бульон В. В. Взаимосвязь между содержанием хлорофилла a в планктоне и прозрачностью воды по диску Секки. — Докл. АН СССР, 1977, 236, 505—508.
Бульон В. В. Связь между концентрацией планктона и прозрачностью воды в озерах и водохранилищах. — В кн.: Морфология, систематика и эволюция животных. Л., 1978, 49—50.
Кываск В., Милиус А. Летний фитопланктон малых озер Эстонии. — Изв. АН ЭССР. Биол., 1981, 30, 238—245.
Милиус А. Связь между прозрачностью воды и содержанием хлорофилла a в малых озерах Эстонии. — Изв. АН ЭССР. Биол., 1980, 29, 148—150.

- Bachmann, R. W., Jones, J. R. Phosphorus inputs and algal blooms in lakes. — Iowa State J. Res., 1974, 49, 155—160.
- Brezonik, P. L. Effect of organic color and turbidity of Secchi disk transparency. — J. Fish. Res. Board Canad., 1978, 35, 1410—1416.
- Dillon, P. J., Rigler, F. H. A simple method for predicting the capacity of a lake for development based on a lake trophic status. — J. Fish. Res. Board Canad., 1975, 32, 1519—1531.
- Forsberg, C., Ryding, S.-O. Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waste-receiving lakes. — Arch. Hydrobiol., 1980, 89, 189—207.
- Jones, J. R., Bachmann, R. W. A survey of water transparency in Iowa lakes. — Proc. Iowa Acad. Sci., 1978a, 85, 6—9.
- Jones, J. R., Bachmann, R. W. Trophic status of Iowa lakes in relation to origin and glacial geology. — Hydrobiologia, 1978b, 57, 267—273.
- Milius, A. Fosfori dünaamika Eesti väikejärvedes. — Rmt.: Eesti järvede nüüdisaegne seisund (в печати).
- Nicholls, K. H., Dillon, P. J. An evaluation of phosphorus-chlorophyll-phytonlankton relationships for lakes. — Int. Revue ges. Hydrobiol., 1978, 63, 141—154.
- Rast, W., Lee, G. F. Summary analysis of the North American (U. S. portion) OECD eutrophication project: Nutrient loading — lake response relationships and trophic state indices. — Ecol. Res. Ser., EPA-600/3-78-008, 1978.

Институт зоологии и ботаники
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
14/V 1981

Эстонский научно-исследовательский
институт лесного хозяйства и охраны
природы

Anu MILIUS, Viive KÕVASK

EESTI VAIKEJÄRVEDE HÜDROKEEMILINE ISELOOMUSTUS SUVEL SEL STAGNATSIOONIPERIOODIL

Artikkel sisaldab andmeid 47 Eesti väikejärve hüdrokeemilise seisundi kohta 1978. ja 1979. aasta suvisel stagnatsiooniperioodil. Biogeensete elementide (fosfaadid, üldfosfor, nitraadid) sisalduse kõikumise piirid suurenesid ja vee läbipaistvus vähenes järve troofisuse tõustes. Samuti suurenesid järvevee trofogeense kihi pH ülemised piirväärtused, kusjuures pH kõikumise piir äärmistes troofsusklassides oli kõige väiksem. Järvede eutrofeerudes suureneb nii hüpolimnioni hapnikudefitsiit kui ka trofogeense kihi hapniku küllastusprotsent. On esitatud statistiline seos vee läbipaistvuse ja fütoplanktoni biomassi ning vee läbipaistvuse ja klorofüll *a* sisalduse vahel (viimane seos on tugevam). Mida rohkem on biomassis sinivetikaid, seda väiksem on järve vee läbipaistvus.

Anu MILIUS, Viive KÕVASK

HYDROCHEMICAL INVESTIGATION OF SMALL ESTONIAN LAKES AT THE PEAK OF SUMMER STAGNATION

In 1978—1979 hydrochemical investigations were carried out in 47 small lakes of Estonia at the peak of the summer stagnation period. The ranges of concentration of biogenic elements (inorganic and total phosphorus, nitrate nitrogen) increased, and the transparency of water decreased with the increase of the trophic state of lakes. The values of pH in the trophogenic zone increased with the rise of trophicity, the ranges of pH values being the smallest in the extreme types of lakes. In the course of eutrophication the concentration of dissolved oxygen in the hypolimnion decreased, which led to anaerobiosis in hypertrophic lakes. A correlation between transparency and algal biomass was found; the correlation was stronger between transparency and chlorophyll *a* content. When the role of blue-green algae in phytoplankton biomass increased, the transparency decreased.