

<https://doi.org/10.3176/biol.1984.2.08>

УДК 574.524

Ану МИЛИУС

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРОФИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАЛЫХ ОЗЕР С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНДЕКСА ТРОФИИ ПО ФОСФОРУ

Главной причиной антропогенного эвтрофирования является увеличение концентрации биогенных элементов в воде в результате их усиленного поступления в водоем в связи с интенсификацией хозяйственной деятельности человека на водосборе озер. Известно, что на ранних стадиях эвтрофирования фосфор служит лимитирующим фактором в развитии фитопланктона. Экспериментальные исследования (Schindler и др., 1973; Schindler, Fee, 1974) убедительно доказали первенствующее значение фосфора как фактора, стимулирующего и ограничивающего развитие автотрофных гидробионтов. Фосфор — один из главных биогенных элементов, определяющих трофическое состояние водоема. В последнее время получены многие регрессионные уравнения зависимости содержания хлорофилла *a* в фитопланктоне от концентрации общего фосфора в озерах и водохранилищах во многих странах (Sakamoto, 1966; Brydges, 1971; Edmondson, 1972; Dillon, Rigler, 1974; Jones, Bachmann, 1976; Carlson, 1977; Oglesby, Schaffner, 1978; Schindler, 1978; LaVaugh, 1979; Hickman, 1980; Петрова и др., 1981; Стравинская и др., 1981). Этой тесной прямой зависимостью пользуются для характеристики трофического состояния водоемов, а также при прогнозировании трофности озер (Dillon, Rigler, 1974; Hickman, 1980).

Оценка трофического состояния озер основывается на тесной прямой зависимости средних величин содержания хлорофилла *a* в фитопланктоне от концентрации общего фосфора в воде. Для определения трофического статуса мы предлагаем пользоваться индексом трофии по концентрации фосфора. Нижеприведенная инструкция пригодна для определения статуса трофии озер по средней концентрации общего фосфора вегетационного периода в фитопланктонных малоцветных (цветность до 40° по бихромат-кобальтовой шкале) малых озерах. Статистические связи выведены по 376 определениям концентрации общего фосфора в 55 малых фитопланктонных малоцветных озерах Эстонии с разным уровнем трофии (мезо-, эв- и гипертрофные) в вегетационные периоды 1978, 1981 и 1982 гг. Данные (средние значения за вегетационный период) обрабатывали методом регрессионного анализа.

Концентрация общего фосфора поверхностных вод обследованных озер колеблется в больших пределах, максимальная концентрация (750 мкг Р/л) установлена весной в гипертрофном озере, а минимальная (5—7 мкг Р/л) анализирована в эвтрофированном олиготрофном озере. Средняя концентрация общего фосфора вегетационного периода в изученных озерах разных типов составляет: в эвтрофированных олиготрофных и мезотрофных озерах 16—35, в эвтрофных 35—80 и гипертрофных >80 мкг Р/л.

### Отбор проб и лабораторные анализы

Пробы воды на анализ общего фосфора отбирают в глубоководной части озера на глубине 1 м при помощи батометра, ежемесячно с начала

мая до сентября. При отборе проб реже чем один раз в месяц исследования следует продолжать в течение трех лет. Концентрация общего фосфора определяется колориметрически на основании окисления персульфатом калия (Reports . . . , 1977).

В изученных нами озерах связь между содержанием хлорофилла  $a$  и концентрацией общего фосфора описывается следующим регрессионным уравнением:

$$\log chl = 1,4078 \log P - 1,380 \quad (r=0,86; S=0,20), \quad (1)$$

где chl и P — концентрации хлорофилла и общего фосфора, мг/м<sup>3</sup>. Исходя из этой статистической связи между содержанием хлорофилла и концентрацией фосфора выведен индекс трофии по концентрации фосфора ( $I_P$ )

$$I_P = -25,83 + 46,74 \log P \quad (r=0,86; S=6,6). \quad (2)$$

Индекс трофии равен нулю при концентрации фосфора 3,57 мг/м<sup>3</sup> и ста при 492 мг/м<sup>3</sup>. По данным отдельных определений концентрации общего фосфора вычисляют исходные индексы, аномальность результатов оценивают по Государственному стандарту Союза ССР (Правила . . . , 1973). Точность индекса трофии оценивают по стандартному отклонению, которое, в свою очередь, вычисляют общепринятым в статистике способом (Рокицкий, 1967; Большев, Смирнов, 1968). На основании исходных индексов вычисляют их среднее арифметическое, которое выписывают со стандартным отклонением в виде двух значащих цифр, последнюю цифру округляют.

Установлено, что стандартное отклонение индекса по фосфору, вычисленное на основании всего материала, составляет  $S=8,7$ . Наблюдения на озерах в течение трех лет позволили вычислить арифметическое среднее индекса за эти годы для каждого озера отдельно. Последующее вычисление стандартного отклонения проводят общепринятым способом. Стандартное отклонение, вычисленное нами на основании средних значений трёхлетних наблюдений, составляет  $S=5,1$ .

Средние значения индекса трофии по фосфору для обследованных озер Эстонии колеблются от 31 до 97. Индекс трофии ниже 32 баллов позволяет считать озеро олиготрофным, ниже 47 — мезотрофным и ниже 62 — эвтрофным. Эти условные переходные значения индекса по фосфору были выведены с учетом данных о трофическом состоянии обследованных озер и значений индекса трофии по хлорофиллу (Милиус, 1983) с помощью уравнения межиндексной связи

$$I_P = 14,08 + 0,7334 I_{chl} \quad (r=0,86; S=5,6). \quad (3)$$

**Пример.** Вычисление индекса трофии по фосфору. Данные о концентрации общего фосфора (P, мг/м<sup>3</sup>) в течение вегетационного периода в одном озере

$$P: 213, 117, 100, 68, 98, 88, 79, 54.$$

По этим данным вычисляют исходные индексы ( $I_i$ ), используя уравнение (2),

$$I_i: 83,0; 70,8; 67,6; 59,8; 67,2; 65,0; 62,9; 55,1.$$

### Оценка аномальности исходных индексов

Для упорядоченной выборки исходных индексов подсчитывают выборочное среднее ( $\bar{I}=66,4$ ) и выборочное стандартное ( $S$ ) отклонения

$$S = \left\{ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2 \right\}^{1/2} = \sqrt{\frac{486}{7}} = 8,33,$$

где  $n$  — количество измерений.

Чтобы оценить принадлежность  $I_1$  (наибольшее отклонение от среднего) к данной нормальной совокупности и принять решение об исключении или оставлении  $I_1$  в составе выборки, находят отношение

$$U = \frac{I_1 - \bar{I}}{S} = \frac{83,0 - 66,4}{8,33} = 1,99.$$

Результат сравнивают с величиной  $\alpha = 2,13$  (Правила . . . , 1973, табл. 1) при объеме выборки  $n = 8$ . Если  $U \geq 2,13$ , то  $I_1$  аномален и его следует исключить. В данном случае результат нормален и его не исключают. Вычисляют среднее арифметическое исходных индексов

$$I_P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i = \frac{531,4}{8} = 66,4.$$

Таким образом, индекс трофии по фосфору для данного озера  $I_P = 66 + 8,7$ , значит, озеро можно считать гипертрофным.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. М., 1968.
- Милюс А. Определение трофического состояния малых фитопланктонных озер при помощи индекса трофии по хлорофиллу *a* в фитопланктоне. — Изв. АН ЭССР, Биол., 1983, 32, 288—291.
- Петрова Н. А., Антонов С. Е., Гусаков Б. Л., Расплетина Г. Ф. Расчет зависимости между концентрацией фосфора содержанием хлорофилла *a* в больших озерах Северо-Запада СССР. — В сб.: Круговорот вещества и энергии в водоемах. Иркутск, 1981, вып. 5, 110—112.
- Правила оценки аномальности результатов наблюдений. ГОСТ 11.002-73. М., 1973.
- Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. Минск, 1967.
- Стравинская Е. А., Трифонова И. С., Ульянова Д. С. Соотношение концентрации фосфора и хлорофилла *a* в разнотипных озерах Карельского перешейка. — В сб.: Круговорот вещества и энергии в водоемах. Иркутск, 1981, вып. 5, 139—140.
- Brydges, I. G. Chlorophyll *a* — total phosphorus relationships in Lake Erie. — In: Proc. 14th Conf. Great Lakes Res., 1971, 185—190.
- Carlson, R. E. A trophic state index for lakes. — Limnol. Oceanogr., 1977, 22, 361—369.
- Dillon, P. J., Rigler, F. H. The phosphorus — chlorophyll relationship in lakes. — Limnol. Oceanogr., 1974, 19, 767—773.
- Edmondson, W. T. Nutrients and phytoplankton in Lake Washington. — Amer. Soc. Limnol. Oceanogr., 1972, 1, 172—193.
- Hickman, M. Phosphorus, chlorophyll and eutrophic lakes. — Arch. Hydrobiol., 1980, 88, 137—145.
- Jones, J. R., Bachmann, R. W. Prediction of phosphorus and chlorophyll levels in lakes. — J. Water Poll. Contr. Fed., 1976, 48, 9, 2176—2182.
- LaBaugh, J. W. Chlorophyll prediction models and changes in assimilation numbers in Spruce Knob Lake, West Virginia. — Arch. Hydrobiol., 1979, 87, 178—197.
- Oglesby, R. F., Schaffner, W. R. Phosphorus loadings to lakes and some of their responses. Part 2. Regression models of summer phytoplankton standing crops, winter total P, and transparency of New York lakes with known phosphorus loadings. — Limnol. Oceanogr., 1978, 23, 135—145.
- Report 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.
- Schindler, D. W. Factors regulating phytoplankton production and standing crop in the world's freshwaters. — Limnol. Oceanogr., 1978, 23, 478—486.
- Schindler, D. W., Fee, E. J. Experimental lakes area: whole-lake experiments in eutrophication. — J. Fish. Res. Board Can., 1974, 31, 937—953.
- Schindler, D. W., Kling, H., Schmidt, R. V., Prokopovich, J., Frost, V. E., Reid, R. A., Capel, M. Eutrophication of lake 227 by addition of phosphate and nitrate: the second, third, and fourth years of enrichment, 1970, 1971 and 1972. — J. Fish. Res. Board Can., 1973, 30, 1415—1440.

## VAIKEJARVEDE TROOFSUSSEISUNDI MÄÄRAMINE FOSFORI TROOFSUSINDEKSI JÄRGI

Esitatud juhend sobib heledaveeliste väikejärvede troofsusseisundi määramiseks fosfori troofsusindeksi järgi. Viimane arvutatakse valemil abil, mis on tuletatud fütoplanktoni klorofüllisalduse ja üldfosfori kontsentratsiooni statistilise seose põhjal.

Anu MILIUS

## TROPHIC STATE DETERMINATION OF SMALL LAKES WITH THE HELP OF THE PHOSPHORUS TROPHIC STATE INDEX

This instruction is intended for trophic state determination of slightly-coloured small phytoplankton lakes with the help of the phosphorus trophic state index. The phosphorus index is calculated by means of an equation derived by the regression of chlorophyll *a* against total phosphorus.