

<https://doi.org/10.3176/biol.1984.1.12>

Ану МИЛИУС

УДК 574.524

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРОФИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАЛЫХ ФИТОПЛАНКТОННЫХ ОЗЕР ПРИ ПОМОЩИ ИНДЕКСА ТРОФИИ ПРОЗРАЧНОСТИ ВОДЫ

ANU MILIUS. FÜTOPLANKTOONSETE VÄIKEJÄRVEDE TROOFSUSSEISUNDI MÄÄRAMINE
 VEE LÄBIPAISTVUSE TROOFSUSINDEKSI JÄRGI

ANU MILIUS. TROPHIC STATE DETERMINATION OF SMALL PHYTOPLANKTON-LAKES
 WITH TRANSPARENCY TROPHIC STATE INDEX

Обогащение водоемов биогенными элементами (особенно фосфором и азотом) вызывает их антропогенное эвтрофирование, в результате чего интенсивно развивается фитопланктон и уменьшается прозрачность воды. Простота определения прозрачности воды как показателя уровня трофии водоемов позволяет широко применять этот метод, несмотря на некоторые его недостатки (субъективность оценки и невысокая точность измерения), для оценки состояния водоемов. Этот показатель, измеренный по белому диску Секки, отражает содержание взвешенного органического вещества в воде, в состав которого входят и планктонные организмы. Общее содержание планктона зависит непосредственно от развития фитопланктона, количество которого оценивается по концентрации хлорофилла *a*. В последнее время для определения уровня трофии водоемов успешно используются данные о концентрации хлорофилла *a* в фитопланктоне (Sakamoto, 1966; Dobson и др., 1974; Carlson, 1977; Трифонова, 1979 и др.), поскольку он достаточно точно указывает нагрузку водоемов биогенными элементами (Lund, 1970; Bachmann, Jones, 1974; Dillon, Rigler, 1975; Vollenweider, 1976 и др.). Сопоставление данных о прозрачности воды, по диску Секки, с данными о концентрации хлорофилла *a* в фитопланктоне впервые проведено для оз. Вашингтон (Edmondson, 1972). В ходе сопоставления установлена обратная связь между этими показателями. Далее, та же зависимость между названными показателями определена и для других озер США (Bachmann, Jones, 1974; Carlson, 1977; Jones, Bachmann, 1978а, б; Brezonik, 1978; Jones и др. 1979), а также для озер Канады (Dillon, Rigler, 1975), Швеции (Forsberg, Ryding, 1980), Советского Союза (Бульон, 1977, 1978; Удренко и др. 1981), в том числе и для малых озер Эстонии (Милиус, 1980, 1982).

Нижеприведенная инструкция основывается на тесной обратной зависимости между средними величинами прозрачности воды и концентрации хлорофилла *a* в фитопланктоне. Для определения трофического статуса озер мы предлагаем пользоваться индексом трофии по прозрачности воды. Эта инструкция пригодна для определения статуса трофии озер по средней прозрачности воды вегетационного периода в

фитопланктонных малоцветных (цветность до 40° бихромат-кобальтовой шкалы) малых озерах. Статистические связи выведены по 457 измерениям прозрачности воды в 63 фитопланктонных малоцветных озерах Эстонии с разным уровнем трофии (мезо-, эв- и гипертрофные) в вегетационные периоды (1978, 1979, 1981 и 1982). Данные (средние значения за вегетационный период) обрабатывали методом регрессионного анализа. Следует учесть, что данные о прозрачности воды не отражают уровня трофии тех озер, вода которых содержит в значительном количестве взвеси непланктонного происхождения.

Прозрачность воды в обследованных озерах колеблется в больших пределах, максимальная прозрачность воды (10—11 м) установлена во время вегетационного периода в эвтрофированном олиготрофном озере, а минимальная (0,2 м) измерена только в одном гипертрофном озере. В целом следует отметить, что средняя прозрачность воды большинства исследованных озер Эстонии во время вегетационного периода сравнительно небольшая: в пределах 1—2 м в 10—17 озерах (33—56% исследованных озер) в разные годы и 2—4 м в 11—16 озерах (37—64%). Средняя прозрачность воды менее 1 м отмечена только в 2—3 озерах (4—10%), более 4 м в 4—6 озерах (12—20%).

Прозрачность воды измеряется по круглому белому диску Секки диаметром 30 см (Алекин и др., 1973). Измерение проводится в глубоководной части озера два раза в месяц (с интервалом в две недели) с начала мая до сентября (всего 6—8 раз). При измерении прозрачности воды реже, например, один раз в месяц, исследования следует проводить в течение трех лет.

В изученных нами озерах обратная связь между прозрачностью воды и содержанием хлорофилла описывается следующими регрессионными уравнениями:

$$\log SD = 0,8145 - 0,4840 \log chl (r = -0,92; S = 0,08) \quad (1)$$

$$\log chl = 1,599 - 1,7624 \log SD (r = -0,92; S = 0,15) \quad (2)$$

где SD — прозрачность воды, м; chl — содержание хлорофилла мг/м³. Исходя из этих статистических связей между прозрачностью воды и концентрацией хлорофилла выведен индекс трофии по прозрачности воды

$$I_{SD} = 72,45 - 58,51 \log SD (r = -0,92; S = 4,8) \quad (3)$$

Индекс трофии равен нулю при прозрачности воды 17,3 м и ста при 0,34 м. По данным отдельных измерений прозрачности воды 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 двумя значащими цифрами, последнюю цифру округляют.

Установлено, что стандартное отклонение индекса прозрачности воды, вычисленное на основании всего материала, составляет $S = 6,6$ и колеблется весьма мало (6,1—6,9), по данным разных лет. 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 трехлетних наблюдений, составляет $S = 4,0$.

Средние значения индекса прозрачности воды для обследованных озер Эстонии колеблются от 28 до 84. Эти предельные значения индекса

следует считать условными, так как по мере изменения трофического состояния озер изменяются и значения индекса. Индекс трофии ниже 29 баллов позволяет считать озеро олиготрофным, ниже 46 мезотрофным и ниже 63 эвтрофным. Эти условные переходные значения индекса прозрачности воды были выведены с учетом трофического состояния обследованных озер и индекса трофии — по хлорофиллу (Милиус, 1983) с использованием уравнения межиндексной связи

$$I_{SD} = 7,73 + 0,8530 I_{chl} (\gamma = 0,92; S = 4,4) \quad (4)$$

Пример. Вычисление индекса трофии по прозрачности воды. Данные о прозрачности воды (SD , м) в течение вегетационного периода в одном озере

$$SD: 1,2; 0,9; 1,3; 1,3; 2,0; 0,7; 0,9; 1,4.$$

По этим данным вычисляют значения исходного индекса (I_i), используя уравнение (3),

$$I_i: 67,8; 75,1; 65,8; 65,8; 54,8; 81,5; 75,1; 63,9.$$

Оценка аномальности значений исходного индекса. Для получения упорядоченной выборки исходных индексов подсчитывают выборочное среднее ($\bar{I} = 68,7$) и выборочное стандартное (S) отклонения

$$S = \left\{ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2 \right\}^{\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{481}{7}} = 8,29,$$

где n — количество измерений.

Чтобы определить принадлежность I_5 (наибольшее отклонение от среднего) к данной нормальной совокупности и принять решение об исключении или оставлении I_5 в составе выборки, находят отношение

$$U = \frac{\bar{I} - I_5}{S} = \frac{68,7 - 54,8}{8,29} = 1,69.$$

Результат сравнивают с величиной 2,13 (Правила..., 1973, табл. 1) при объеме выборки $n = 8$. Если $U \geq 2,13$, то I_5 аномален и его следует исключить. В данном случае результат нормален. Вычисляют среднее арифметическое исходного индекса

$$I_{SD} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i = \frac{549,8}{8} = 68,7$$

Таким образом, индекс трофии по прозрачности воды для данного озера $I_{SD} = 69 + 6,6$. Значит, озеро можно считать гипертрофным.

ЛИТЕРАТУРА

- Алекин О. А., Семенов А. Д., Скопинцев Б. А. Руководство по химическому анализу вод суши. Л., 1973, 19—20.
- Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. М., 1968.
- Булъон В. В. Взаимосвязь между содержанием хлорофилла a в планктоне и прозрачностью воды по диску Секки. — Докл. АН СССР, 1977, 236, 505—508.
- Булъон В. В. Связь между концентрацией планктона и прозрачностью воды в озерах и водохранилищах. — В кн.: Морфология, систематика и эволюция животных. Л., 1978, 49—50.
- Милиус А. Связь между прозрачностью воды и содержанием хлорофилла a в малых озерах Эстонии. — Изв. АН ЭССР, Биол., 1980, 29, 148—150.
- Милиус А. Показатели эвтрофирования и индексы трофии малых озер Эстонии. — Изв. АН ЭССР, Биол., 1982, 31, 302—309.
- Милиус А. Определение трофического состояния малых фитопланктонных озер при помощи индекса трофии по хлорофиллу a в фитопланктоне. — Изв. АН ЭССР, Биол., 1983, 32, 288—291.
- Правила оценки аномальности результатов наблюдений. ГОСТ 11.002-73. М., 1973.
- Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. Минск, 1967.
- Трифоновна М. С. Состав и продуктивность фитопланктона разнотипных озер Карельского перешейка. Л., 1979.
- Удренко В. А., Шемшур В. Е., Федирко В. И. Простой метод оценки содержания хлорофилла a в воде. — В кн.: Круговорот вещества и энергии в водоемах. Иркутск, 1981, вып. 5, 150—151.

- 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 Can., 1978, **35**, 1410—1416.
- Carlson, R. E.* A trophic state index for lakes. — Limnol. and Oceanogr., 1977, **22**, 361—369.
- Dillon, P. J., Rigler, F. M.* A simple method for predicting the capacity of a lake for development based a lake trophic status. — J. Fish. Res. Board Can., 1975, **32**, 1519—1531.
- 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.
- Edmondson, W. T.* Nutrients and phytoplankton in Lake Washington. — Amer. Soc. Limnol. Oceanogr., 1972, **1**, 172—193.
- 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.* Trophic status of Iowa lakes in relation to origin and glacial geology. — Hydrobiol., 1978a, **57**, 267—273.
- Jones, J. R., Bachmann, R. W.* A survey of water transparency in Iowa lakes. — Proc. Iowa Acad. Sci., 1978b, **85**, 6—9.
- Jones, R. A., Rasi, W., Lee, G. F.* Relationship between summer mean and maximum chlorophyll *a* concentrations in lakes. — Environ. Sci. Technol., 1979, **13**, 869—870.
- Lund, J. W. G.* Primary production. — Water Treat. Exam., 1970, **19**, 332—358.
- Sakamoto, M.* Primary production by phytoplankton community in some Japanese lakes and its dependence on lake depth. — Arch. Hydrobiol., 1966, **62**, 1—28.
- Vollenweider, R. A.* Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. — Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 1976, **33**, 53—83.

Институт зоологии и ботаники
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
24/V 1983