

УДК 574.524

Ану МИЛИУС, Вийве КЫВАСК

СВЯЗЬ МЕЖДУ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ХЛОРОФИЛЛА *a* И БИОМАССОЙ ФИТОПЛАНКТОНА В МАЛЫХ ОЗЕРАХ ЭСТОНИИ

В современных гидробиологических исследованиях содержание хлорофилла принято считать за меру биомассы водорослей в природных водоемах. Общепринятое спектрофотометрическое определение содержания хлорофилла *a* значительно проще и менее трудоемко, чем определение биомассы фитопланктона. В настоящем сообщении рассматриваются количественные закономерности связи между содержанием хлорофилла *a* и биомассой фитопланктона в озерах с разной степенью трофии и в разные сезоны года, а также зависимость этих закономерностей от видового состава водорослей.

Материал и методика

В настоящей работе излагаются параллельные данные о концентрации хлорофилла *a* и биомассе фитопланктона озер, расположенных в основном в Южной и Юго-Восточной, а некоторые — в Центральной Эстонии. Сезонные наблюдения проводили на бывших олиготрофных озерах Вийтна Пиккъярв и Вийтна Линаярв (1975—1976 гг.), Нохипалу Валгеярв (1977—1979 гг.), которые в настоящее время в разной степени эвтрофированы, а также на мезотрофном озере Саадъярв (1974—1978 гг.), на эвтрофных озерах Лаватси (1978, 1980—1982 гг.) и Пангоди (1974 г.) и на гипертрофном озере Криймани (1978, 1980—1982 гг.). Пробы воды отбирали ежемесячно в свободный от льда период и один—два раза во время ледостава из глубоководной части озера. Брели 2—6 проб в зависимости от глубины водоема.

Кроме того, отбирали пробы из 63 озер с 1-метровой глубины. Наблюдения проводили во время зимней и летней стагнации, а также весенней и осенней циркуляции вод в 1978, 1979 и 1981 гг. Всего за период исследований была взята и проанализирована 581 проба. Методика определения биомассы фитопланктона и концентрации хлорофилла *a* опубликована нами ранее (Кываск, Милиус, 1981; Милиус, 1981). Данные обработаны методом регрессионного анализа.

Результаты и обсуждение

Во всех изученных водоемах получена статистически достоверная положительная линейная связь между содержанием хлорофилла и биомассой фитопланктона при уровне значимости 0,01 (рис. 1, 2; таблица).

Коэффициент корреляции между обоими параметрами определяли по отдельным данным всех изученных озер ($r=0,83$; $n=581$). Более тесная корреляция отмечена между средними величинами ($r=0,88$). Это согласуется с результатами А. Толстой (Tolstoy, 1979) и Б. Десортовой (Desortova, 1981). Тесной была и корреляция, определенная по средним данным одного озера.

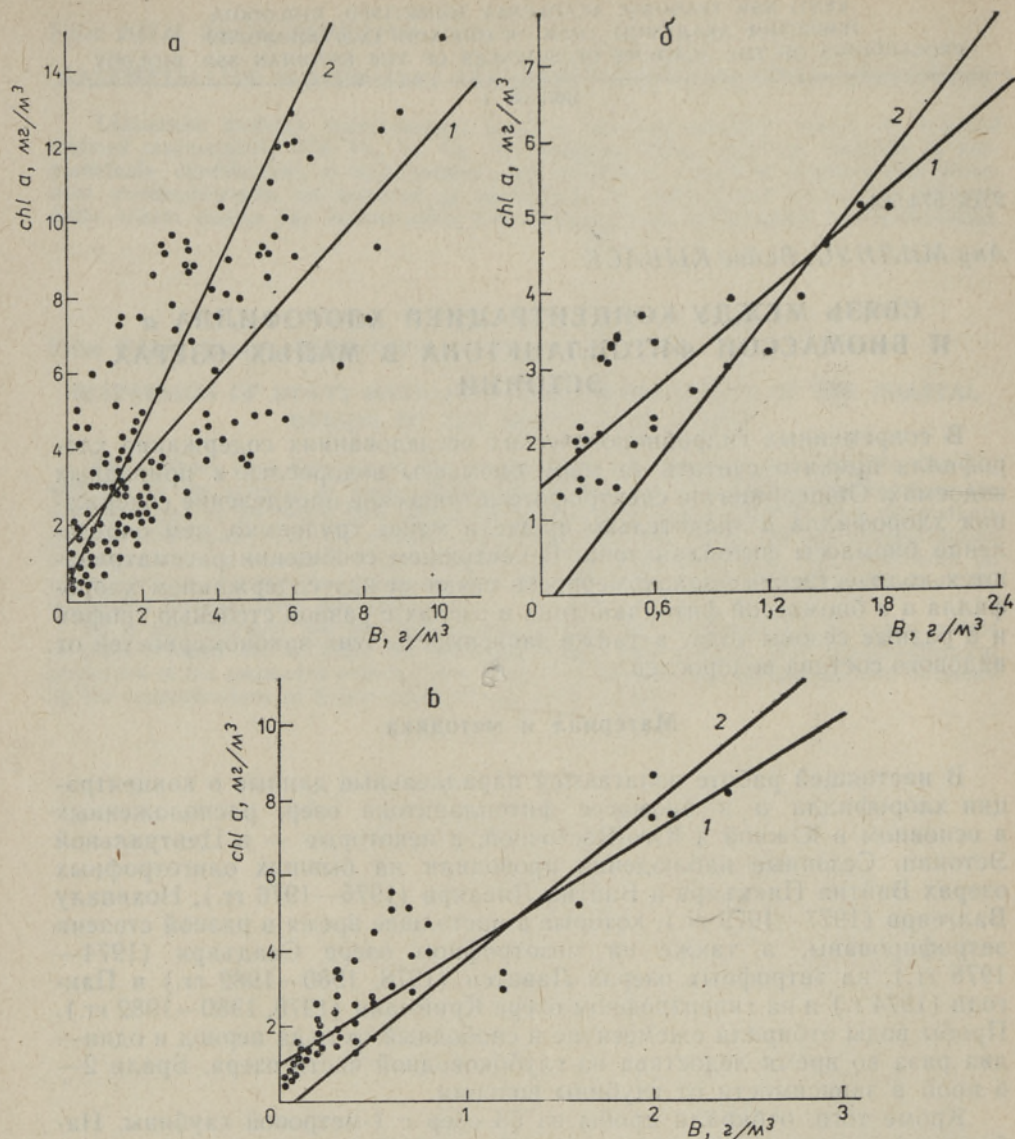


Рис. 1. Связь между содержанием хлорофилла и биомассой фитопланктона. *a* — оз. Саадъярв, *б* — оз. Вйтна Пиккъярв, *в* — оз. Нохипалу Валгеярв; 1 — линия регрессии y по x , 2 — x по y .

Связь между изученными параметрами в разные годы в одном и том же озере может в некоторой степени различаться. Так корреляция в оз. Нохипалу Валгеярв в 1977 г. была относительно слабая ($r=0,76$), однако в 1978 г. она повысилась ($r=0,95$). Следует отметить, что в 1977 г. значения хлорофилла и биомассы вообще были очень низкие ($chl < 3$ мг/м³, $B < 0,8$ г/м³), а в следующем году они резко увеличились. По данным А. Толстой (Tolstoy, 1979), слабая связь по этим параметрам установлена и в оз. Веттерн. Автор предполагает, что при крайне низких значениях ($chl < 2$ мг/м³, $B < 0,1$ г/м³) зависимость между ними не проявляется, что, по-видимому, обусловлено некоторыми методическими ошибками при определении названных параметров.

Различия в корреляции хлорофилла и биомассы, зависящие от видового состава флоры водорослей, установить довольно трудно. В крайне

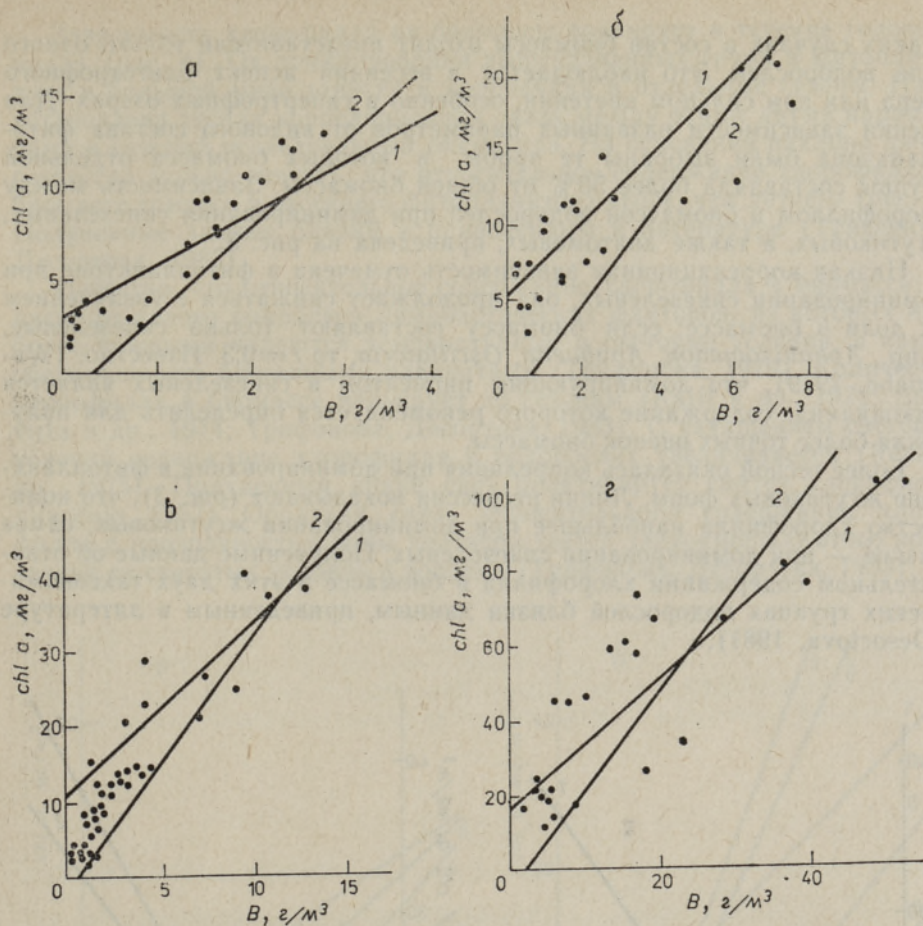


Рис. 2. Связь между содержанием хлорофилла и биомассой фитопланктона. а — оз. Вийтна Линаярв, б — оз. Пангоди, в — оз. Лаватси, г — оз. Криймани. Обозн. см. рис. 1.

Связь между концентрацией хлорофилла а и биомассой фитопланктона в озерах с разной степенью трофии

Озеро	Уравнение	Корреляционный коэффициент r	Число измерений n	Стандартное отклонение S
Нохипалу Валгеярв	$chl = 1,072 + 3,028 B$ $B = -0,209 + 0,2798 chl$	0,92	60	0,9 0,27
Саадъярв	$chl = 1,35 + 1,2980 B$ $B = 0,334 + 0,4770 chl$	0,79	127	2,1 1,27
Вийтна Пиккъярв	$chl = 1,455 + 2,143 B$ $B = -0,406 + 0,3742 chl$	0,90	27	0,6 0,27
Вийтна Линаярв	$chl = 3,27 + 2,7706 B$ $B = -1,139 + 0,35687 chl$	0,99	26	1,7 0,6
Лаватси	$chl = 5,37 + 1,947 B$ $B = -1,48 + 0,3978 chl$	0,88	22	2,75 1,24
Пангоди	$chl = 10,24 + 2,275 B$ $B = -2,72 + 0,3636 chl$	0,91	16	4,84 1,94
Криймани	$chl = 16,7 + 1,688 B$ $B = -3,84 + 0,4427 chl$	0,865	26	13,4 6,85

редких случаях в состав биомассы входят представители только одного типа водорослей. Это наблюдается в весенний аспект олиготрофного озера или при сильном цветении, особенно в гипертрофных озерах. Для оценки зависимости названных параметров от видового состава фитопланктона были выбраны те пробы, в которых биомасса отдельной группы составляла более 50% от общей биомассы. Зависимость между хлорофиллом и биомассой водорослей при доминировании синезеленых, жгутиковых, а также диатомовых, приведена на рис. 3.

Низкая корреляционная зависимость отмечена в фитопланктоне при доминировании синезеленых, она продолжает снижаться с увеличением их доли в биомассе: если биомассу составляют только синезеленые, напр., *Aphanizomenon*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, то $r=0,3$. Известно (Watanabe, 1979), что доминирующим пигментом в синезеленых является фикоцианид, содержание которого рекомендуется определять для получения более точных оценок биомассы.

Более тесной оказалась корреляция при доминировании в фитопланктоне жгутиковых форм. Линии регрессии показывают (рис. 3), что количество хлорофилла наибольшее при доминировании жгутиковых, самое низкое — при доминировании синезеленых. Полученные данные об относительном содержании хлорофилла в биомассе в этих двух таксономических группах водорослей близки данным, приведенным в литературе (Desortova, 1981).

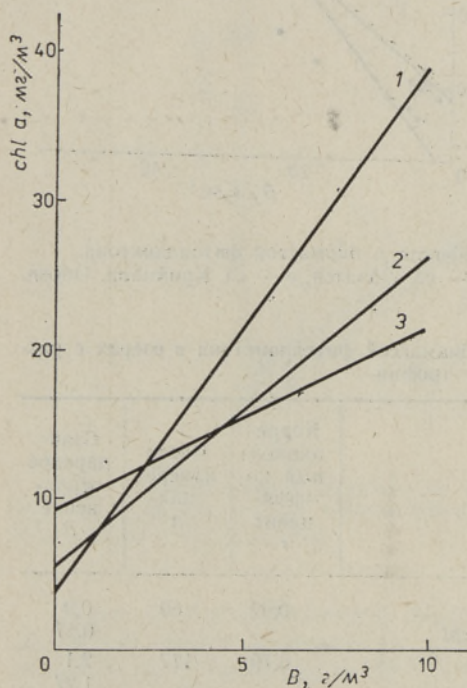


Рис. 3. Связь между содержанием хлорофилла и биомассой фитопланктона при доминировании (50% и больше от общей биомассы) различных групп водорослей. 1 — жгутиковые: $chl=2,19+3,5368 B$; $n=75$; $r=0,99$; 2 — диатомовые: $chl=5,67+2,071 B$; $n=91$; $r=0,71$; 3 — синезеленые: $chl=9,3+1,230 B$; $n=59$; $r=0,74$.

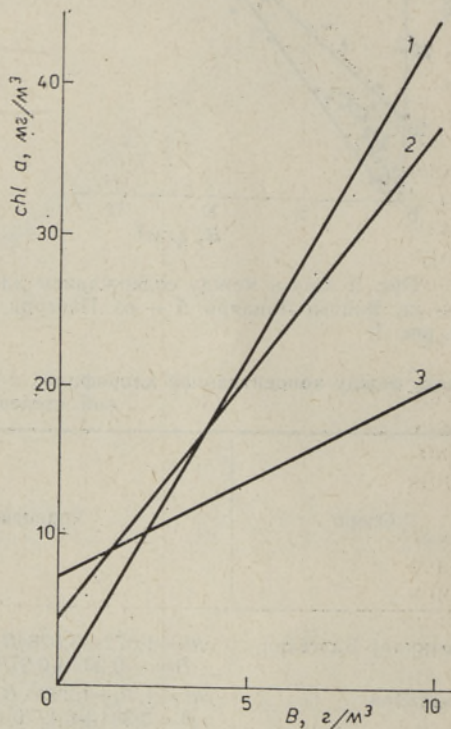


Рис. 4. Связь между содержанием хлорофилла и биомассой фитопланктона в разные сезоны года. 1 — зимой: $chl=0,28+4,376 B$; $n=42$; $r=0,95$; 2 — весной: $chl=4,92+3,323 B$; $n=68$; $r=0,94$; 3 — летом: $chl=7,71+1,329 B$; $n=104$; $r=0,74$.

Зависимость хлорофилла от биомассы варьирует в течение годового цикла (рис. 4). От доминирования вышеназванных групп в фитопланктоне в большой мере зависит и корреляция в отдельные сезоны. Нами установлена тесная корреляционная связь между этими двумя параметрами в каждый исследованный сезон года. На основании наклона линий регрессии можно считать, что относительное содержание хлорофилла в биомассе зимнего и весеннего фитопланктона выше, чем летнего (рис. 4). Полученные данные близки к приведенным в литературе (Трифонова, Десортова, 1983).

Известно, что относительное содержание хлорофилла в биомассе зависит от целого комплекса лимнологических факторов, из которых наиболее важными являются температурные и световые условия, а также обеспеченность биогенными элементами (Трифонова, 1979). Количество хлорофилла в биомассе варьирует по сезонам (Kalfi и др., 1972; Ilmavirta и др., 1974; Трифонова, Десортова, 1983). С ухудшением световых условий содержание хлорофилла в водорослях увеличивается (Renk и др., 1975). Полуденный яркий свет инактивирует синтез хлорофилла (Verduin, 1957). Обратная связь относительного содержания хлорофилла с прозрачностью воды подтверждается зависимостью этого показателя от световых условий в водоеме (Трифонова, Десортова, 1983). По

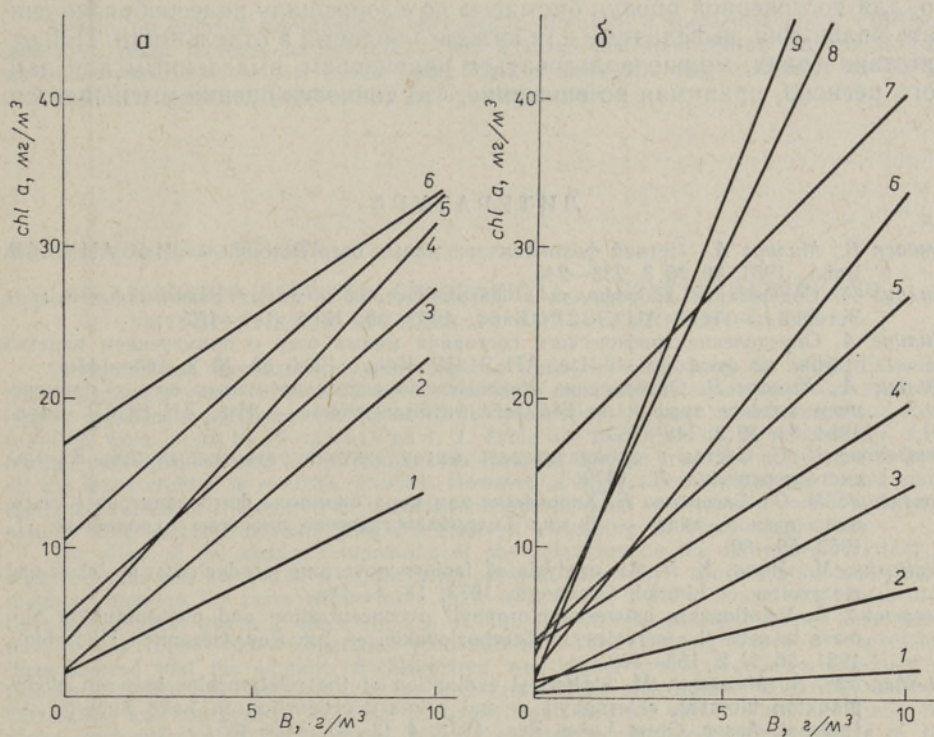


Рис. 5. Связь между содержанием хлорофилла и биомассой фитопланктона в различных водоемах.

а — наши данные (уравнения в таблице). 1 — оз. Саадъярв, 2 — оз. Вийтна Пиккъярв, 3 — оз. Лаватси, 4 — оз. Вийтна Линаярв, 5 — оз. Пангоди, 6 — оз. Криймани.

б — литературные данные: 1 — Tolstoy, 1979 (оз. Мэларен, $chl = 0,0058 B + 1,90$); 2, 3, 7 — Трифонова, 1979 (2 — оз. Мичуринское, $chl = 0,82 + 0,69 B$; 3 — оз. Правдинское, $chl = 0,49 + 1,35 B$; 7 — оз. Вишневоое, $chl = 15,2 + 2,5 B$); 5 — Keskitalo, 1977 (оз. Ловоярви, $chl = 3,71 + 2,42 B$); 4, 6, 8, 9 — Desortova, 1981 (водохранилище Чехословакии: 4 — Кличава, $chl = 3,35 + 1,65 B$; 6 — Губенов, $chl = 1,93 + 3,20 B$; 8 — Слапы, $chl = 2,98 + 5,35 B$; 9 — Орлик, $chl = -0,61 + 6,48 B$).

мнению тех же авторов существует прямая связь между относительным содержанием хлорофилла в биомассе фитопланктона и концентрацией биогенов, хотя при статистической обработке данных тесной корреляции не установлено. На основе многочисленных данных по 71 озеру нами установлена тесная корреляция ($r=0,86$) между средним содержанием хлорофилла и средней концентрацией общего фосфора за вегетационный период (Милюс, 1984). Положительная зависимость с немного заниженным коэффициентом корреляции ($r=0,69$) получена и при сопоставлении названных величин за отдельные даты.

В литературе указывается на положительную достоверную зависимость между содержанием хлорофилла и биомассой фитопланктона во многих озерах и водохранилищах ряда стран (Brylinsky, Mann, 1973; Munawar, Burns, 1976; Keskitalo, 1977; Tolstoy, 1977, 1979; El-Shaarawi, Munawar, 1978; Spodniewska, 1979; Desortova, 1981; Трифонова, 1979; Милюс, Кываск, 1984 и др.). Сопоставление наших регрессионных уравнений с литературными (рис. 5а, б) подтверждает общий характер взаимосвязи между обоими параметрами. Прямая тесная зависимость позволяет считать содержание хлорофилла достоверной мерой биомассы фитопланктона. Однако большой разброс наклонов линий регрессии (рис. 5) показывает, что концентрация хлорофилла, как мера биомассы фитопланктона, не всегда отражает реальные ее значения. Следовательно, для достоверной оценки биомассы по хлорофиллу целесообразно считать уравнения, выведенные для каждого водоема в отдельности. При отсутствии таких, можно пользоваться уравнением, выведенным для данного региона, принимая во внимание, что точность оценки уменьшается.

ЛИТЕРАТУРА

- Кываск В., Милюс А. Летний фитопланктон малых озер Эстонии. — Изв. АН ЭССР. Биол., 1981, 30, № 3, 238—245.
- Милюс А. Содержание хлорофилла *a* фитопланктона в малых разнотипных озерах Эстонии. — Изв. АН ЭССР. Биол., 1981, 30, № 2, 147—157.
- Милюс А. Определение трофического состояния малых озер с применением индекса трофии по фосфору. — Изв. АН ЭССР. Биол., 1984, 33, № 2, 144—147.
- Милюс А., Кываск В. Определение трофического состояния малых озер с применением индекса трофии по биомассе фитопланктона. — Изв. АН ЭССР. Биол., 1984, 33, № 2, 148—150.
- Трифопова И. С. Состав и продуктивность фитопланктона разнотипных озер Карельского перешейка. Л., 1979.
- Трифопова И. С., Десортова Б. Хлорофилл как мера биомассы фитопланктона в водоемах разного типа. — В кн.: Гидробиологические процессы в водоемах. Л., 1983, 58—80.
- Brylinsky, 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. Rev. Gesamten Hydrobiol., 1981, 66, N 2, 153—169.
- El-Shaarawi, A., Munawar, M. Statistical evaluation of the relationships between phytoplankton biomass, chlorophyll *a*, and primary production in Lake Superior. — Internat. Assoc. Great Lakes Res., 1978, 4 (3—4), 443—455.
- Ilmavirta, V., Ilmavirta, K., Kotimaa, A.-L. Phytoplanktonic primary production during the summer stagnation in the eutrophicated lakes Lovojärvi and Ormajärvi, southern Finland. — Ann. Bot. Fenn., 1974, 11, 121—132.
- Kalff, J., Welch, H. E., Holmgren, S. K. Pigment cycles in two High-Arctic Canadian lakes. — Verh. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol., 1972, 18, 250—256.
- Keskitalo, J. The species composition and biomass of phytoplankton in the eutrophic Lake Lovojärvi, southern Finland. — Ann. Bot. Fenn., 1977, 14, 71—81.
- 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.
- Renk, H., Ringer, S., Torbicki, H., Ochocki, S., Pastuszak, M. Diurnal changes of phytoplankton biomass in the Gdansk Deep, May 1972. — Merentutkimuslait. Julk./Havsforskningsinst. Skr., 1975, 239, 49—57.

- Spodniewska, I.* Phytoplankton as the indicator of lake eutrophication, II. Summer situation in 25 Masurian Lakes in 1976. — *Ekol. Pol.*, 1979, 27, N 3, 481—496.
- Tolstoy, A.* Chlorophyll *a* as a measure of phytoplankton biomass. — *Acta Univ. Upsal.*, 1977, N 416.
- Tolstoy, A.* Chlorophyll *a* in relation to phytoplankton volume in some Swedish lakes. — *Arch. Hydrobiol.*, 1979, 85, N 3, 133—151.
- Verduin, J.* Daytime variations in phytoplankton photosynthesis. — *Limnol. Oceanogr.*, 1957, 2, 333—336.
- Watanabe, M. E.* Phycoerythrin in the deeper water layer of a stratified eutrophic lake: an application of bile pigment in determining the standing crop of blue-green algae. — *Int. Rev. Hydrobiol.*, 1977, 62, N 4, 549—556.

Институт зоологии и ботаники
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
9/XII 1985

Anu MILIUS, Viive KÕVASK

KLOROFÜLLI *a* KONTSENTRATSIOONI JA BIOMASSI VAHELINE SEOS EESTI VÄIKEJÄRVEDE FÜTOPLANKTONIS

Artiklis on esitatud fütoplanktoni biomassi ja klorofüllil *a* kontsentratsiooni vahelised seosed eri tüüpi järvedes aastail 1974—1982 kogutud materjali põhjal. On analüüsitud statistilise seose erinevust eri aastaegadel kogutud materjalis ning vaadeldud fütoplanktoni liigilise koosseisu mõju klorofüllil ja biomassi seosele.

Anu MILIUS, Viive KÕVASK

RELATIONSHIP BETWEEN CHLOROPHYLL *a* CONCENTRATION AND PHYTOPLANKTON BIOMASS IN SMALL ESTONIAN LAKES

Phytoplankton biomass and chlorophyll *a* data collected from 63 small Estonian lakes during the years 1974—1982 were statistically analyzed using a regression analysis. Highly significant positive correlations of phytoplankton biomass values and chlorophyll *a* values were found in all cases (Figs 1, 2, Table 2). The relationship between the chlorophyll concentration and the phytoplankton biomass derived from the individual data of all the lakes studied is $r=0.83$, $n=581$. However, a higher correlation was found when the mean values of chlorophyll *a* concentration and biomass were used ($r=0.88$). Similar results were obtained by analysing the material pertaining to every single lake.

The effect of the species composition of phytoplankton on the chlorophyll content in algal biomass was studied. The relationship between chlorophyll concentration and phytoplankton biomass for cases where more than 50% of the total biomass was represented by a single algal group is shown in Fig. 3. The closest relationship between these parameters was found when flagellates predominated. The different slopes of regression lines showed that the amount of chlorophyll was higher when flagellates dominate in the phytoplankton as compared to when blue-green algae and diatoms dominate. A lower correlation was observed between the chlorophyll and biomass values when the blue-green algae predominated in the biomass. When the biomass consisted of the species of the genus *Aphanizomenon*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, the correlation coefficient was very low ($r=0.3$).

It was found that the relationship between the chlorophyll and biomass values varied depending on the season (Fig. 4). The different slopes of regression lines showed that the chlorophyll content per each phytoplankton biomass unit was higher in winter and in spring.

The present results were compared with those reported by other researchers (Fig. 5). The statistical significance of the relationships between chlorophyll *a* concentrations and biomass was usually high, although inside the relationships a considerable variability existed. Consequently, to evaluate biomass on the basis of chlorophyll data, we would recommend the equations calculated for each single waterbody. If such equations are not available, equations calculated for a given district might be used, although in this case the results would be less precise.