

Ану МИЛИУС

УДК 577.472/28/.475

СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОФИЛЛА *a* ФИТОПЛАНКТОНА В МАЛЫХ РАЗНОТИПНЫХ ОЗЕРАХ ЭСТОНИИ

Данные о содержании пигментов фитопланктона в различных водоемах необходимы для решения ряда вопросов, возникающих при гидробиологических исследованиях. Пигменты имеют особое значение при оценке первичной продукции водоема. По содержанию основного из них — хлорофилла *a* — можно судить о фотосинтетической способности фитопланктона. Чаще всего результаты определения содержания хлорофиллов используются как показатель продукции фотосинтеза и как мера биомассы водорослей в водоемах. Исследование содержания пигментов может также дать прямую информацию об уровне евтрофирования того или иного водоема. За последнее десятилетие появилось много работ, посвященных изучению уровня содержания хлорофилла *a* в пресных водоемах умеренной зоны. О малых озерах Эстонии подобных сведений пока очень мало.

Материал и методика

В настоящей работе излагаются результаты измерения содержания хлорофилла *a* фитопланктона в водах озер Южной и Юго-Восточной Эстонии и некоторых озер Центральной Эстонии. Наблюдения за содержанием хлорофилла фитопланктона проводились в 1974—1979 гг. Постоянно они велись на мезотрофном озере Саадъярв. Здесь пробы воды отбирались ежемесячно в период открытой воды и один или два раза во время ледостава. Сезонные наблюдения проводились на евтрофном озере Пангоди (1974 г.), на евтрофированных олиготрофных озерах Вийтна Пиккъярв и Линаярв (1975/76 гг.), Нохипалу Валгеярв (1977—1979 гг.) и на дисевтрофном озере Мянникъярв (1976 г.). Пробы воды отбирались на глубоководной станции, в зависимости от глубины озера до 3—6 проб. Помимо сезонных наблюдений из 46 озер брали пробы воды (1978—1979 гг.) во время зимней и летней стагнаций и весенней и осенней циркуляций.

Пробы воды на анализ содержания хлорофилла отбирались с горизонта 1 м батометром типа Рутнера. Всего за период исследований взято и проанализировано 710 проб. Параллельно с анализом пигментов определялись видовой состав и биомасса фитопланктона, а также гидрохимические показатели озер: фосфаты, нитраты, общий фосфор, рН воды и кислородный режим водоема. Пределы колебания гидрохимических показателей приведены в табл. 1.

Из 0,2—2 л пробы воды фитопланктон осаждали путем фильтрации через стеклянный фильтр (с асбестовым порошком), для нейтрализации

Таблица 1

Гидрохимическая характеристика исследованных озер

Тип озера	Кол-во озер	P-(P ₀₄), мг/л	P _{общ.} , мг/л	N-(NO ₃), мг/л	Прозрачность воды, м
Евтрофированное олиготрофное	5	0—5	15—40	0—0,1	4—10
Мезотрофное	14	0—11	15—50	0—0,3	2,5—5,5
Умеренно-евтрофное	20	0,8—16	20—90	0—0,8	1,5—2,5
Евтрофное	8	3—33	40—110	0—1,0	1—1,5
Высокоевтрофное	6	2—205	55—920	0—2,0	0,4—1,5

клеточной кислотности фильтр посыпали углекислым магнием. Хлорофилл *a* определяли в метаноловом экстракте (95%), экстрагирование проводили в водяной ванне путем кратковременного кипячения. Экстракт очищали центрифугированием, экстинкцию экстракта определяли на спектрофотометре Сф-4А при длинах волн 665, 750 нм, после подкисления соляной кислотой — при этих же длинах волн. Концентрация хлорофилла *a* (поправка на феопигменты) рассчитывалась по формулам А. Ф. Х. Маркера (Marker, 1972).

Содержание хлорофилла в фитопланктоне в зависимости от трофности озер

Исследованные озера находятся в разных ландшафтных условиях, чем обусловлены и различия в морфометрии, гидрологии и гидрохимии, а также в сообществах гидробионтов. Основываясь на среднем содержании хлорофилла в вегетационный период и гидрохимических показателях, а также на данных прозрачности воды, исследованные озера можно разделить по трофности на следующие классы (рис. 1).

Обследованные озера Пийганди, Удсу, Кооркюла Валгярв, Вийтна Пиккъярв и Нохипалу Валгярв по содержанию хлорофилла (2—4 мг/м³) относятся к бывшим олиготрофным озерам с начальным процессом евтрофирования. Содержание биогенов в них чрезвычайно низкое, прозрачность воды относительно высокая (4—10 м; табл. 1). К мезотрофной группе озер по среднему содержанию хлорофилла (4—8 мг/м³) относятся 26% исследованных водоемов (Лаватси, Ньуни, Агали, Саадъярв, Вийсьяагу, Коорасте Сууръярв, Уйакатси, Мянникъярв и др.). По сравнению с евтрофированными олиготрофными озерами в озерах этой группы содержание биогенов несколько выше, а прозрачность воды ниже (табл. 1). Как видно из рис. 1, в 37% исследованных озер среднее содержание хлорофилла находится в пределах 8—16 мг/м³. К этой группе относятся умеренно-евтрофные водоемы (озера Пюхярв, Кийдъярв, Пикреярв, Вагула, Вереви, Вериярв, Вийтна Линаярв, Йыкси, Кавади, Кариярв, Партси-Кыртси, Отепя Валгярв, Висси и др.). Более евтрофированными можно считать Веллавере Кюляярв, Тамула, Пангоди, Элиствере, Кайавере, Райгаствере, Ноодасъярв, Эраствере. Содержание хлорофилла в этих озерах колеблется в пределах 16—32 мг/м³, содержание биогенов выше по сравнению с содержанием их в мезотрофных и умеренно-евтрофных озерах (табл. 1).

Наибольшее содержание хлорофилла определено в тех озерах, куда спускают бытовые сточные воды (Отепя Пикаярв, Вяйке Кодиярв) или сточные воды животноводческих ферм (Руусмяэ, Криймани). Среднее

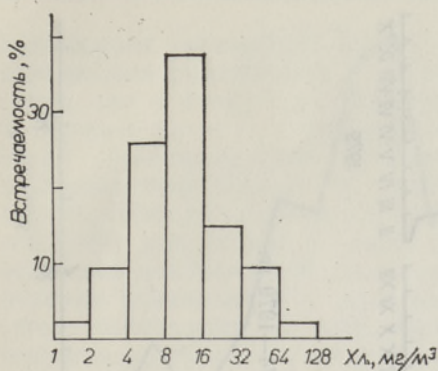


Рис. 1. Среднее содержание хлорофилла в малых озерах Эстонии.

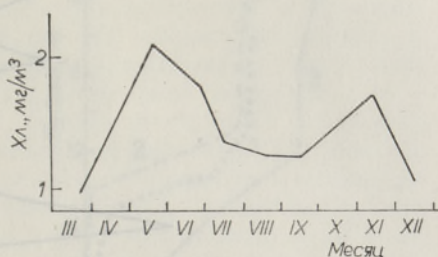


Рис. 2. Сезонная динамика содержания хлорофилла в оз. Нохипалу Валгеярв в 1977 г.

содержание хлорофилла в них находится в пределах 32—64 мг/м³, высокий уровень его отмечается в течение всего вегетационного периода. Прозрачность воды уменьшается и остается ниже 1 м, чаще 0,4—0,5 м. Содержание фосфатов, общего фосфора и нитратов колеблется в широких пределах; минимальные величины этих показателей наблюдаются летом. Как видно из рис. 1, минимальное содержание хлорофилла отмечено в алкалитрофном озере Янту Синиярв, а максимальное — в озере Коорасте Линаярв, в котором среднее содержание хлорофилла достигало 108 мг/м³. Такое высокое содержание хлорофилла, очевидно, обусловлено замачиванием льна в прошлом в этом озере, влияние чего сохраняется и по настоящее время. Другие виды загрязнения в этом изолированном лесном озере невозможны. Можно сказать, что из исследованных малых озер Эстонии основная часть принадлежит к умеренно-евтрофным и мезотрофным типам.

Сезонная динамика содержания хлорофилла в фитопланктоне

В сезонной динамике фитопланктона можно выделить четыре основных периода, по гидрологическим условиям соответствующих периодам весенней и осенней циркуляции и летней и зимней стагнации водных масс.

В олиготрофных озерах запасов питательных веществ, накопленных в озере в зимний период, хватает только на один подъем фитопланктона, который обычно наблюдается ранней весной — при хороших условиях освещения даже подо льдом. Так, в течение нескольких лет (1961, 1972, 1973) в озере Нохипалу Валгеярв в марте наблюдалось развитие *Uroglenopsis americana* или *Peridinium* sp. подо льдом, в это время образуется значительная часть годовой продукции фитопланктона (Кываск, Порк, в печати). Подледная вегетация фитопланктона обнаружена во многих озерах умеренной зоны (Wright, 1964; Maeda, Ichimura, 1973). По-видимому, это наиболее характерно для олиготрофных озер, где летнее развитие фитопланктона ограничивается дефицитом биогенов, а высокая прозрачность воды при отсутствии снегового покрова создает благоприятные световые условия подо льдом.

В 1977 г. из-за снегового покрова в марте и прохладной весны (в середине мая) в озере Нохипалу Валгеярв обнаружено ранневесеннее сообщество с доминированием *Peridinium* sp. Это озеро в настоящее время не олиготрофное, а евтрофированное, о чем, в частности, говорят

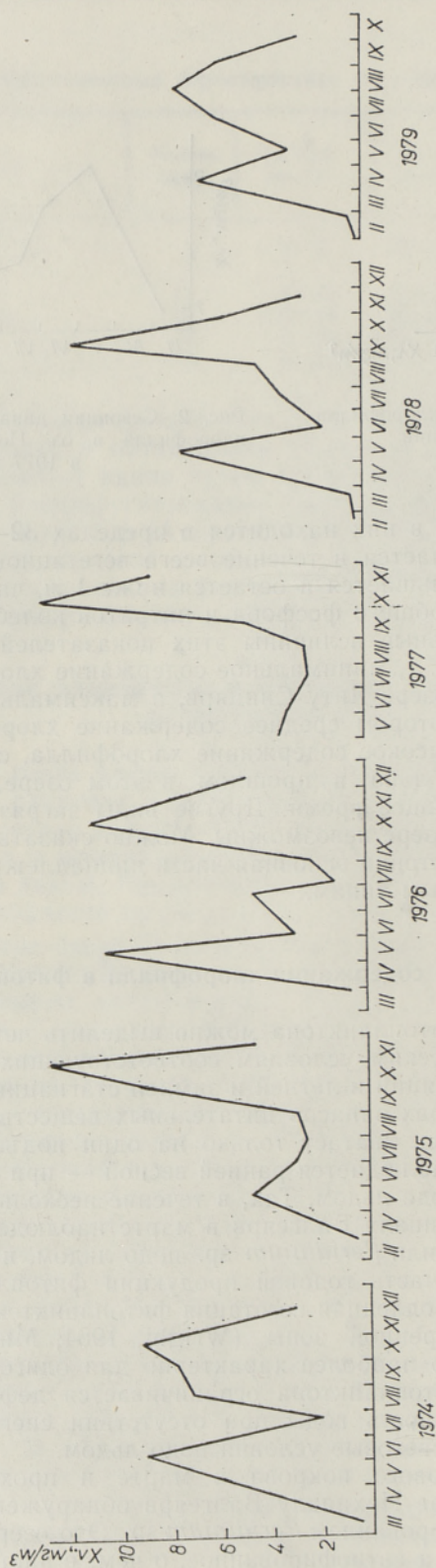


Рис. 3. Сезонная и годовая динамика содержания хлорофилла в оз. Саадъярв в 1974—1979 гг.

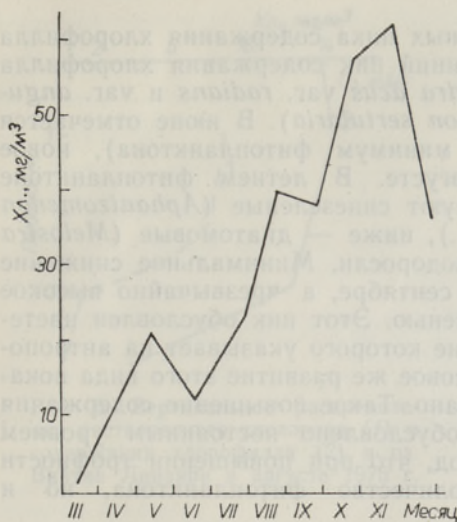


Рис. 4. Сезонная динамика содержания хлорофилла в оз. Пангоди в 1974 г.

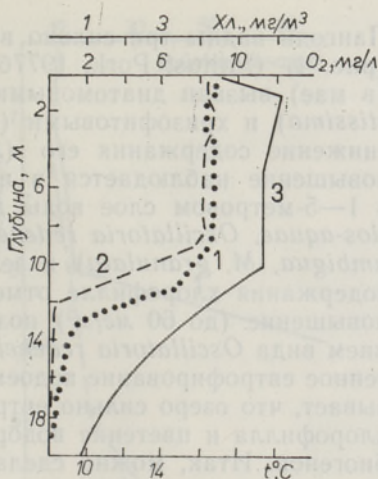


Рис. 5. Вертикальное распределение температуры воды (1), растворенного кислорода (2) и содержания хлорофилла (3) в оз. Саадзыарв в августе 1978 г.

гидрохимические исследования (увеличение содержания фосфатов, ухудшение кислородного режима) (Милиус, Кываск, 1980). Таким же образом происходили изменения и в фитопланктоне; содержание хлорофилла и количество биомассы, кроме весеннего максимума, имеют максимум и осенью (рис. 2), что указывает на переход олиготрофности к евтрофности. Повышение концентрации хлорофилла поздней осенью отмечалось и в других первоначально олиготрофных озерах, которые начали евтрофироваться (Milius, Kõvask, 1977).

В связи с дальнейшим евтрофированием озера в развитии фитопланктона отмечаются два явственных пика (весенний и осенний). Летом содержание хлорофилла минимально, что обусловлено низким количеством биогенов. Зимняя вегетация фитопланктона очень слаба из-за толстого слоя льда (40—50 см) и снега (ниогда 20 см). Примером такого типа озер является мезотрофное озеро Саадзыарв, которое исследовалось в течение шести лет. При сравнении данных многих лет выяснилось, что по годам пик развития фитопланктона различен, но в каждый год наблюдаются два пика (рис. 3). Следует учесть, что характер годового хода содержания хлорофилла фитопланктона во многом определяется метеорологическими условиями. Межгодовые колебания количественных показателей, обусловленные метеорологическими и гидрологическими особенностями отдельных лет, могут быть довольно большими. Для водоемов умеренных широт в целом установлена положительная зависимость количественных показателей планктона от температурного фактора (Николаев, 1971; Романенко, 1973; Brylinsky, Mann, 1973).

В озере Саадзыарв весенний максимум фитопланктона вызван диатомовыми (*Cyclotella comta*, *Asterionella formosa*, *Tabellaria fenestrata*) и хризифитовыми (*Urogenopsis americana*), а осенний — синезелеными (*Microcystis pulvereae*, *Gomphosphaeria lacustris* и *Aphanothece glathrata*, *Anabaena hassalii*) и диатомовыми (*Asterionella formosa*, *Melosira granulata*, *Fragilaria crotonensis* и др.) (Milius, Pork, 1977a).

С повышением трофности озер увеличивается число пиков фитопланктона в течение вегетационного периода. В фитопланктоне озера

Пангоды видны три сильно выраженных пика содержания хлорофилла (рис. 4) (Milius, Pogk, 19776). Весенний пик содержания хлорофилла (в мае) вызван диатомовыми (*Synedra acus* var. *radians* и var. *angustissima*) и хризифитовыми (*Dinobryon sertularia*). В июне отмечается снижение содержания его (летний минимум фитопланктона), новое повышение наблюдается в июле—августе. В летнем фитопланктоне в 1—5-метровом слое воды доминируют синезеленые (*Aphanizomenon flos-aquae*, *Oscillatoria redekei*, *O. sp.*), ниже — диатомовые (*Melosira ambigua*, *M. granulata*) и зеленые водоросли. Минимальное снижение содержания хлорофилла отмечено в сентябре, а чрезвычайно высокое повышение (до 60 мг/м^3) поздней осенью. Этот пик обусловлен цветением вида *Oscillatoria redekei*, наличие которого указывает на антропогенное евтрофирование водоема, массовое же развитие этого вида показывает, что озеро сильно евтрофировано. Такое повышение содержания хлорофилла и цветение водорослей обусловлено постоянным уровнем биогенов. Итак, можно сделать вывод, что при повышении трофности озер не только увеличивается количество фитопланктона, но и учащается число его пиков.

Вертикальное распределение содержания хлорофилла

Вертикальное распределение содержания хлорофилла фитопланктона в озерах определяется их морфометрией, а также господствующими гидрометеорологическими и световыми условиями.

В озере Саадъярв (макс. глубина 25 м) во время весенней и осенней циркуляции весь фитопланктон довольно равномерно распределялся в водной толще. Иногда наблюдалось некоторое увеличение содержания хлорофилла у поверхности или на глубине, равной одинарной величине прозрачности воды. В период установления летней стратификации, в конце мая и в июне, наблюдалось скопление планктона в горизонтах воды 10—15 м. В период летней стратификации содержание хлорофилла довольно равномерное выше термоклина, ниже термоклина его содержание резко уменьшается (рис. 5). Иногда максимальная концентрация хлорофилла наблюдается на глубине, равной одинарной величине прозрачности воды. Осенью, когда происходит цветение синезеленых (*Anabaena hassalii*), отмечается большая концентрация их у поверхности в 0—1-метровом слое. Ниже этого горизонта концентрация их резко уменьшается, доминируют диатомовые типа *Melosira ambigua*. Если во время осенней циркуляции цветения синезеленых не наблюдается, то характер вертикального распределения хлорофилла относительно равномерен.

Вертикальное распределение содержания хлорофилла в мелководном озере (Мяникъярв) определяется в основном его морфометрией. Достаточно большая площадь зеркала при незначительной глубине (в среднем 2 м) обуславливает постоянное ветровое перемешивание воды, что в свою очередь определяет равномерное распределение фитопланктона в водной толще. Только при продолжительной штилевой погоде можно наблюдать скопление синезеленых водорослей у поверхности.

Если в мелководном озере установлена летом термическая стратификация, как в озере Вийтна Линаярв, то отмечается снижение содержания хлорофилла ниже термоклина (рис. 6). В евтрофированных олиготрофных озерах (например, Нохипалу Валгеярв, Вийтна Линаярв) при хорошем освещении фотосинтез может происходить даже в придонных слоях воды (рис. 7).

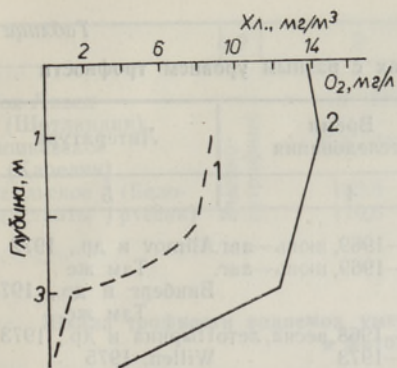


Рис. 6. Вертикальное распределение растворенного кислорода (1) и содержания хлорофилла (2) в оз. Вийтна Линаярв в августе 1975 г.

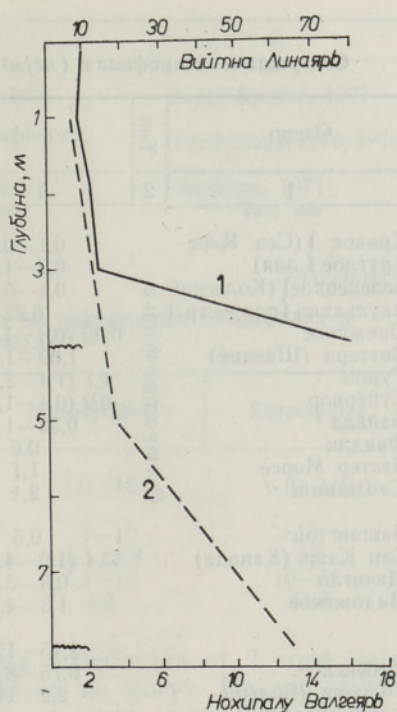


Рис. 7. Вертикальное распределение содержания хлорофилла ($\text{мг}/\text{м}^3$) в озерах Вийтна Линаярв (1) и Нохипалу Валгярв (2) в мае 1975 и 1979 гг. соответственно.

Сравнение трофического статуса исследованных озер

В табл. 2 приведено среднее содержание хлорофилла или пределы колебания его в озерах разного уровня трофности. Сравнение наших результатов с литературными данными относительно других озер умеренной зоны позволило уточнить трофический статус рассматриваемых озер. Нижний предел продуктивности фитопланктона отмечен в тундровых озерах, таких как Кривое, Круглое, Зеленецкое (содержание хлорофилла в них ниже $1 \text{ мг}/\text{м}^3$). Среди обследованных нами озер нет ни одного с таким низким средним содержанием хлорофилла. Поэтому можно сказать, что полностью олиготрофных озер в Эстонии нет, имеются только бывшие олиготрофные озера, которые в настоящее время уже в некоторой мере евтрофированы. Максимальная продукция фотосинтеза в озерах умеренной зоны наблюдалась в таких водоемах как Лох-Ливен и Вишневское. Концентрация хлорофилла в них достигала нескольких сот миллиграммов на 1 м^3 . Такого высокого содержания хлорофилла в исследованных нами озерах Эстонии не наблюдалось. Наивысшая продукция фитопланктона отмечена в озере Коорасте Линаярв (пределы содержания хлорофилла $18\text{--}250 \text{ мг}/\text{м}^3$) и в озере Паппярв (средняя концентрация хлорофилла за вегетационный период $60 \text{ мг}/\text{м}^3$). Остальные озера по первичной продукции занимают промежуточное положение на шкале трофности между двумя крайними пределами продуктивности.

В табл. 3 приведена шкала трофности по содержанию хлорофилла в водоемах умеренной зоны на основании данных разных авторов. При сопоставлении этих данных выявляется, что в олиготрофных озерах содержание хлорофилла ниже $4 \text{ мг}/\text{м}^3$, в мезотрофных озерах оно колеблется в пределах $4\text{--}10 \text{ мг}/\text{м}^3$, а в евтрофных превышает $10 \text{ мг}/\text{м}^3$. По

Таблица 2

Содержание хлорофилла ($мг/м^3$) в водоемах с разным уровнем трофности

Озеро	Тип	Хлорофилл	Время исследования	Литература
1	2	3	4	5
Кривое } (Сев. Каре- Круглое } лия) Зеленецкое } (Кольский Акулькино } полуостр.) Онежское Веттерн (Швеция) Гурон Супериор Байкал Финдли Честер Морсе Сэммамиш	Олиготрофные	0,1—0,9	1968—1969, июнь—авг.	Alimov и др., 1972
		0,2—1,0	1968—1969, июнь—авг.	Там же
		0,1—0,3	1971	Винберг и др., 1973
		0,22	1971	Там же
		0,95 (0,4—1,9)	1967—1968, весна, лето	Пырина и др., 1973
		1,09—1,37	1966—1973	Willen, 1975
		1,7 (1,4—2,2)	1971, апр.—дек.	Glooschenko и др., 1973
		0,9 (0,4—1,8)	1968—1971	Dobson и др., 1974
		0,38—1,4	1977, авг.	Изметьева и др., 1978
		0,6	1972, вегет. пер.	Welch и др., 1975
1,1	1972, вегет. пер.	Там же		
2,1	1965, 1969, 1970, 1971	Там же		
Вашингтон Сан Клар (Канада) Мичиган Ладожское		9,5 3,4 (1,9—4,6) 0,8—5,3 1,3—4,7	1969 1971, апр.—ноябрь 1967, май—ноябрь 1974, авг., 1975, июнь	Welch и др., 1975 Leach, 1972 Robertson и др., 1971 Николаев и др., 1977
Кубенское Головка (Больше- земельская тундра) Мичуринское		2,15—12,3 0,75—8,76 2,2—11,9	1973—1974 1973, вег. пер. 1969, июль—авг.	Петрова, 1975 Сенатская, 1977 Елизарова и др., 1976
Правдинское } Красное }	(Каре- лия)	0,1—3,8	1972—1973, ежемесячно	Трифонов, 1979
		0,2—26	1972—1973, ежемесячно	Там же
		0,5—45	1970—1971, ежедекадно 1972—1974, ежемесячно	Там же
Нарочь (Белоруссия)		5,0—8,0	1958, 1968, 1969, вег. пер.	Винберг и др., 1971
Гомель Эри западная		12,2 8,9 (3,3—19,3)	1963, авг. 1970, апр.—дек.	Михеева, 1971 Glooschenko и др., 1974
центральная восточная		4,4 (2,5—9,2) 3,2 (1,4—5,4)	1970, апр.—дек. 1970, апр.—дек.	Там же Там же
Онтарио прибрежная центральная	Мезотрофные	2,7—6,9 (1,1—12,7) 1,4—5,8 (0,5—15,8)	1972, апр.—окт. 1972, апр.—окт.	Glooschenko, Blanton, 1977 Там же
Пяя-ярви центр. (Финляндия) в литорали Плюсс-Зее (ФРГ) Ельмарен (Швеция) Вомбсон (Швеция)		2,5—9,7 6,9—206 0,04—13,1 14,9 30—40	1976, июнь—авг. 1976, июнь—авг. 1971—1972 1966—1973 1971—1973, весной 1971—1973, летом	Итмавitra и др., 1977 Там же Rai, 1975 Willen, 1976 Gelin, 1975 Там же
Лонг Лейк (США)		11,4 (3,0—29,9)	1972, май—дек.	Soltero и др., 1975 Иконников, Ковалевская, 1977
Дривяты } Белое } (Бе- Мястро } ло- Веркуды } рус- Березовое } сия) Отолово } Рынки } (Поль- Шымон } ша) Шымонское } Котек }	Евтрофные	10,2—30,0	1964, июнь—авг.	Там же
		27,0	1973, март	Там же
		18,3—50,6	1975, июнь—авг.	Там же
		20,1	1963, авг.	Михеева, 1971
		39,6	1963, авг.	Там же
		27,8	1963, авг.	Там же
		19,3	1973, авг.	Spodniewska, 1978
		36,1	1973, авг.	Там же
		33,8	1973, авг.	Там же
		23,6	1973, авг.	Там же

1	2	3	4	5
Лох-Ливен (Шотландия)	Высоко- евтрофные	8—240	1972—1974	Jupp, Spence, 1977
Вишневское (Карелия)		0,3—240	1972—1973	Трифенова, 1976, 1979
Паульское } (Бело- Черствяты } рussia)		142,8	1963, авг.	Михеева, 1971 Там же
		110,6	1963, авг.	

Таблица 3

**Шкала трофности водоемов умеренной зоны по содержанию хлорофилла а
в фитопланктоне, мг/м³**

Литература	Олиго- трофные	Мезотрофные	Евтрофные
Sakamoto, 1966 National Academy of Sciences..., 1973	0,3—2,5	1,0—15,0	5,0—140,0
Dobson и др., 1974	<4	4—10	>10
Трифенова, 1979	<4,3	4,3—8,8	>8,8
Vollenweider, 1979	<1,5	1,5—10	10—50
	1,7	4,2	14,3

нашим данным, концентрация хлорофилла колеблется от 2 до 4 мг/м³ в озерах, которые олиготрофными считаться не могут. На это указывают как состав фитопланктона (хризофитовые и диатомовые), так и увеличение концентрации биогенов и ухудшающиеся кислородные условия в гипolimнионе. В мезотрофных озерах Эстонии содержание хлорофилла достигает 4—8 мг/м³, а в евтрофных оно выше 8 мг/м³, что хорошо согласуется с данными других авторов (табл. 3). Из работ И. С. Трифеновой (1979) видно, что если содержание хлорофилла превышает 50 мг/м³, то это озеро высокоевтрофное. Нами также установлено, что если среднее содержание хлорофилла за вегетационный период в озере превышает 40 мг/м³, то это озеро можно считать высокоевтрофным. Об этом свидетельствует обильная концентрация биогенов, чрезвычайно низкая прозрачность воды, дефицит кислорода ниже продуктивной зоны фитопланктона, а также состав фитопланктона (преобладают синезеленые).

Можно сказать, что исследованные озера Южной и Юго-Восточной Эстонии, которые в основном находятся в сельскохозяйственных ландшафтах, принадлежат к евтрофным и мезотрофным водоемам.

ЛИТЕРАТУРА

- Винберг Г. Г., Алимов А. Ф., Бульон В. В. и др. Биологическая продуктивность двух субарктических озер. — В кн.: Продукционно-биологические исследования экосистем пресных вод. Минск, 1973, 125—147.
- Винберг Г. Г., Бабицкий В. А., Гаврилов С. И. и др. Биологическая продуктивность озер разного типа. — В кн.: Биопродуктивность озер Белоруссии. Минск, 1971, 5—33.
- Елизарова В. А., Пырина И. Л., Генец М. В. Содержание пигментов фитопланктона в водах Харбейских озер. — В кн.: Продуктивность озер восточной части Большеземельской тундры. Л., 1976, 55—63.
- Изместьева Л. Р., Давыдова И. К., Романенко Т. И., Лопатина Н. И. Сравнительная характеристика содержания хлорофилла в sestone оз. Байкал, оз. Хубсугул и Ангарских водохранилищ. — В кн.: Экологические исследования водоемов Сибири. Иркутск, 1978, 29—32.
- Иконников В. Ф., Ковалевская Р. З. Сезонные изменения величин начала светового насыщения фотосинтеза озерного фитопланктона. — В сб.: XIX На-

- учная конференция по изучению и освоению водоемов Прибалтики и Белоруссии. Минск, 1977, 56—58.
- Кываск В., Порк М. Фитопланктон и микробентос некоторых олиготрофных озер Эстонии. — Уч. зап. ТГУ (в печати).
- Милиус А., Кываск В. Некоторые показатели гидрохимии и фитопланктона олиготрофного озера Нохипалу Валгеярв. — Изв. АН ЭССР, Биол., 1980, 29, 1, 49—54.
- Михеев Т. М. Некоторые гидрохимические данные, первичная продукция и фитопланктон семи озер Полоцкого рыбозавода (Ушачская группа). — В кн.: Биопродуктивность озер Белоруссии. Минск, 1971, 34—47.
- Николаев И. И. Основные черты годового лимнологического цикла озера Красного. — В кн.: Озера Карельского перешейка. IV, Л., 1971, 481—504.
- Николаев И. И., Петрова Н. А., Слепухина Т. Д. Очаги активной евтрофикации Ладожского озера. — В кн.: Антропогенное евтрофирование природных вод. Черноголовка, 1977, 156—160.
- Петрова Н. А. Изменения в фитопланктоне Ладожского озера, отражающие процесс евтрофикации водоема. — В кн.: Основы биопродуктивности внутренних водоемов Прибалтики. Вильнюс, 1975, 163—165.
- Пырина И. Л., Елизарова В. А., Николаев И. И. Содержание фотосинтетических пигментов в фитопланктоне Онежского озера и их значение для оценки уровня продуктивности этого водоема. — В кн.: Микробиология и первичная продукция Онежского озера. Л., 1973, 108—122.
- Романенко В. И. Первичная продукция и бактериальные процессы деструкции органического вещества в Рыбинском водохранилище. — В кн.: Продукционно-биологические исследования экосистем пресных вод. Минск, 1973, 110—125.
- Сенатская Н. Ю. Фитопланктон и первичная продукция оз. Кубенского. — В кн.: Озеро Кубенское. Ч. 2. Гидрохимия, донные отложения, растительные сообщества. Л., 1977, 107—128.
- Трифонова И. С. Фитопланктон и его продукция. — В кн.: Биологическая продуктивность оз. Красного и условия ее формирования. Л., 1976, 69—104.
- Трифонова И. С. Состав и продуктивность фитопланктона разнотипных озер Карельского перешейка. Л., 1979, 1—168.
- Alimov, A., Boullion, V., Finogenova, N. et al. Biological productivity of lakes Krivoe and Krugloe. — In: Productivity problems of freshwaters. Warszawa-Krakow, 1972, 37—39.
- Brylinsky, M., Mann, K. H. An analysis of factors governing productivity in lakes and reservoirs. — *Limnol. Oceanogr.*, 1973, 18, 2, 1—14.
- 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, 5, 731—738.
- Gelin, C. Nutrients, biomass and primary productivity of nannoplankton in eutrophic Lake Vombsjön, Sweden. — *Oikos*, 1975, 26, 121—139.
- Glooschenko, W. A., Blanton, J. O. Short-term variability of chlorophyll *a* concentrations in Lake Ontario. — *Hydrobiol.*, 1977, 53, 3, 203—212.
- Glooschenko, W. A., Moore, J. E., Vollenweider, R. A. Chlorophyll *a* distribution in Lake Huron and its relationship to primary productivity. — *Proc. 16th Conf. Great Lakes Res.*, 1973, 40—49.
- Glooschenko, W. A., Moore, J. E., Vollenweider, R. A. Spatial and temporal distribution of chlorophyll *a* and pheopigments in surface waters of Lake Erie. — *J. Fish. Res. Board Can.*, 1974, 31, 3, 265—274.
- Ilmavirta, V., Jones, R. I., Kairesalo, T. The structure and photosynthetic activity of pelagial and littoral plankton communities in Lake Pääjärvi, southern Finland. — *Ann. Bot. Fennici*, 1977, 14, 7—16.
- Jupp, B. P., Spence, D. H. N. Limitations on macrophytes in a eutrophic lake, Loch Leven. 1. Effects of phytoplankton. — *J. Ecol.*, 1977, 65, 1, 175—186.
- Leach, J. H. Distribution of chlorophyll *a* and related variables in Ontario waters of Lake St. Clair. — *Proc. 15th Conf. Great Lakes Res.*, 1972, 80—86.
- Maeda, O., Ichimura, S. On the high density of a phytoplankton population found in a lake under ice. — *Int. Revue Ges. Hydrobiol.*, 1973, 58, 5, 673—685.
- Marker, A. F. H. The use of acetone and methanol in the estimation of chlorophyll in the presence of phaeophytin. — *Freshwat. Biol.*, 1972, 2, 4, 361—385.
- Milius, A., Kõvask, V. Seasonal variation of phytoplankton biomass, chlorophyll *a* content and alkaline phosphatase activity in Lake Viitna Pikkjärv. — *ENSV TA Toim.*, Biol., 1977, 26, 2, 120—127.
- Milius, A., Pork, M. Seasonal variation of phytoplankton biomass, chlorophyll *a* and alkaline phosphatase activity in Lake Saadjärv. — *ENSV TA Toim.*, Biol., 1977a, 26, 1, 36—48.
- Milius, A., Pork, M. Seasonal variation of phytoplankton biomass, chlorophyll *a*

- and alkaline phosphatase activity in Lake Pangodi. — *ENSV TA Toim., Biol.*, 1977, **26**, 2, 128—137.
- 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.
- Rai, H. Pigment cycle in a north German lake. — *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 1975, **19**, 1220—1228.
- Robertson, A., Powers, F., Rose, J. Distribution of chlorophyll and its relation to particulate organic matter in the offshore waters of Lake Michigan. — *Proc. 14th Conf. Great Lakes Res.*, 1971, 90—101.
- Sakamoto, M. Primary production by phytoplankton community in some Japanese lakes and its dependence on lake depth. — *Arch. Hydrobiol.*, 1966, **62**, 1, 1—28.
- Soltero, R. A., Gasperino, A. F., Graham, W. G. Cultural eutrophication of Long Lake, Washington. — *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 1975, **18**, 3, 1778—1789.
- Spodniewska, I. Phytoplankton as the indicator of lake eutrophication I. Summer situation in 34 Masurian lakes in 1973. — *Ekol. Pol.*, 1978, **26**, 1, 53—70.
- 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**, 2, 46—56.
- Welch, E. B., Hendrey, G. R., Stoll, R. K. Nutrient supply and the production and biomass of algae in four Washington lakes. — *Oikos*, 1975, **26**, 1, 47—54.
- Willen, E. Phytoplankton and environmental factors in Lake Hjälmaren, 1966—1973. — *SNV PM 718 / Naturvårdsverkets limnologiska undersökning 87*. 1976, Uppsala, 1—89.
- Willen, T. Biological long-term investigations of Swedish lakes. — *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 1975, **19**, 2, 1117—1124.
- Wright, R. T. Dynamics of a phytoplankton community in an icecovered lake. — *Limnol. Oceanogr.*, 1964, **9**, 2, 163—178.

Институт зоологии и ботаники
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
25/IV 80

Anu MILIUS

EESTI VAIKEJARVEDE KLOROFÜLLISISALDUS

Artiklis on 1974—1979 kogutud materjali põhjal antud ülevaade 54 väikejärve fütoplanktoni klorofüllisisaldusest, sealhulgas selle kõikumise piirid, sesoonne dünaamika ja vertikaalne jaotus.

Anu MILIUS

CHLOROPHYLL *a* CONTENT OF PHYTOPLANKTON IN SMALL ESTONIAN LAKES

This paper is a review of the chlorophyll content in 54 small Estonian lakes, based on the material collected during the years 1974—1979. The seasonal cycle, vertical distribution and the ranges of chlorophyll concentrations in lakes of various trophic states are described.