

Ану МИЛИУС, Вийве КЫВАСК

УДК 577.472/28/475

## СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ БИОМАССЫ, СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРОФИЛЛА *a* И ФОСФАТАЗНОЙ АКТИВНОСТИ ФИТОПЛАНКТОНА В ОЗЕРЕ ВИЙТНА-ЛИНАЯРВ

Озеро Вийтна-Линаярв находится в Раквереском районе, в 0,5 км северо-восточнее озера Вийтна-Пиккъярв. Площадь его 4,5 га, преобладающая глубина 2—3 м, максимальная — 5,1 м (Kallejärvi, 1974). Озеро является непроточным водоемом на песчаном, покрытом хвойным лесом водосборе. В гидрохимическом аспекте оно изучалось в 1971—1973 гг. (Simm и др., 1975). Химический состав воды этого озера формируется путем инфильтрации атмосферных осадков через почвогрунты, бедные органическими веществами и карбонатами. По гидрохимической типизации малых озер Эстонии (Симм, 1973) Вийтна-Линаярв относится к типу С. Длительное использование озера для замачивания льна и стирки белья привело к обогащению его питательными веществами, а также разрастанию водной растительности, что в свою очередь содействовало скоплению толстого слоя ила на дне. В настоящее время озеро и окружающий лес являются объектами охраны природы, но на берегу расположен мотель с банями, который, несомненно, оказывает влияние на химический состав воды и сообщества гидробионтов. Вследствие деятельности человека озеро Линаярв стало эвтрофированным олиготрофным озером.

В настоящей работе нами изучались сезонные изменения количественных показателей фитопланктона в этом озере. Исследование материалов, собранных в 1975—1976 гг., и лабораторные анализы их проводились по методике, описанной ранее (Milius, Pork, 1977).

### Результаты и их обсуждение

**Физические и химические данные.** Вода в озере весной и летом зеленовато-желтого, а осенью желтовато-коричневого цвета, прозрачность ее колеблется в пределах 1,1—2,6 м.

После вскрытия озера (в конце апреля или в начале мая) наступает циркуляционный период. Переход от циркуляции к стратификации завершается в очень короткий срок. В 1976 г. озеро вскрылось почти на две недели позже, чем в 1975 г. Но в результате относительно высокой температуры воздуха в мае температура поверхностной воды повысилась до 17,2°C. В начале II декады мая 1975 г. и в начале III декады мая 1976 г. наблюдалась стратификация с образованием термоклина в 1—2-метровом слое воды. В летний период термоклин находился на

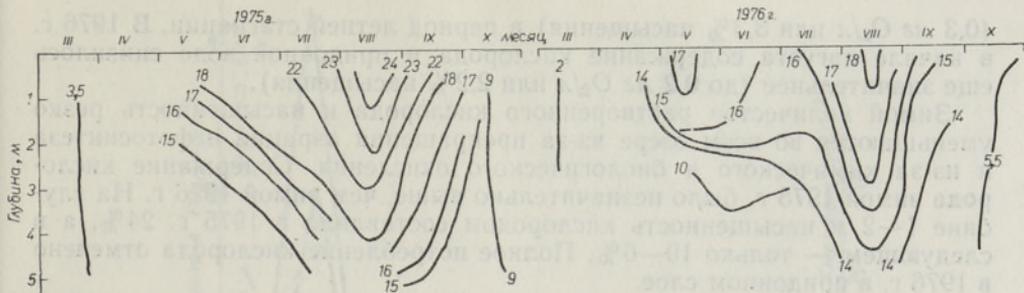
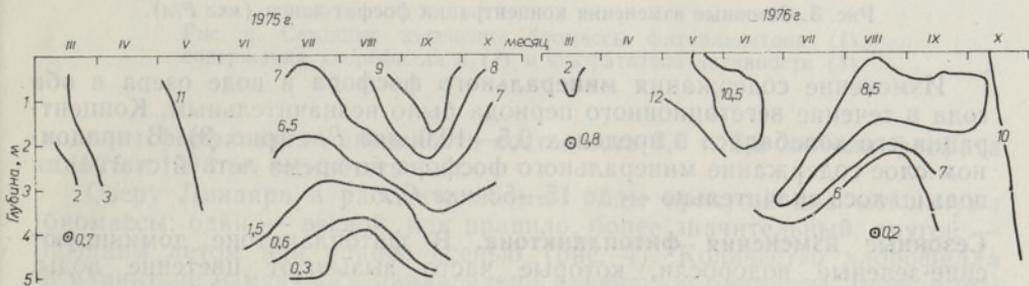


Рис. 1. Сезонные изменения температуры (°C).

глубине 2—3 (в середине июля 1975 г.) и 3—4 м (в начале августа того же года). Максимальная температура воды установлена в начале августа как в 1975, так и в 1976 г., однако в 1976 г. она была на 6° ниже, чем в предыдущем (соответственно 24,2 и 18,2°, рис. 1), причем температура воды была заметно ниже в течение всего года. Таким образом, в 1976 г. гомотермия наблюдалась уже в I декаде августа, а в предыдущем — в сентябре. В 1976 г. дальнейшее охлаждение всей толщи воды привело в середине октября к ледоставу. В предыдущем году ледостав образовался в начале ноября.

Рис. 2. Сезонные изменения концентрации растворенного кислорода ( $\text{мг O}_2/\text{л}$ ).

Аэрация и фотосинтез водных растений, особенно фитопланктона, обеспечивают кислородом поверхностный слой воды в течение безледового периода. Содержание кислорода в течение этого периода зависит от температуры воды и интенсивности фотосинтеза. Изменения содержания растворенного кислорода в воде в зависимости от сезона показывают (рис. 2), что в поверхностном слое концентрация кислорода изменялась от 6,9 до 10,7  $\text{мг/г}$ . Насыщенность воды кислородом в поверхностном слое составляла 78—114%. Пересыщение кислородом наблюдалось в мае и июне в связи со слабым «цветением» воды и достигало 120—130%. Эти результаты согласуются с данными о максимальном содержании биомассы и хлорофилла. Кислородный режим в период открытой воды благоприятен. Наблюдения за распределением содержания кислорода в воде по вертикали показали ярко выраженное снижение его под термоклином. Насыщенность кислородом под термоклином в июле 1975 г. составляла 15%, в начале августа того же года — 3,3%. Минимальное содержание кислорода в придонной воде отмечено в июле (0,6  $\text{мг O}_2/\text{л}$  или 6,3% насыщения) и в начале августа 1975 г.

(0,3 мг  $O_2$ /л или 3,3% насыщения) в период летней стагнации. В 1976 г. в начале августа содержание кислорода в придонной воде снизилось еще значительно (до 0,2 мг  $O_2$ /л или 2,2% насыщения).

Зимой количество растворенного кислорода и насыщенность резко уменьшаются во всем озере из-за прекращения аэрации и фотосинтеза и из-за химического и биологического окисления. Содержание кислорода зимой 1975 г. было незначительно выше, чем зимой 1976 г. На глубине 1—2 м насыщенность кислородом составляла в 1975 г. 24%, а в следующем — только 10—6%. Полное потребление кислорода отмечено в 1976 г. в придонном слое.

В течение года рН воды изменялась мало — в поверхностном слое в пределах 6,0—6,8 и в периоды интенсивной вегетации фитопланктона повышалась до 7,0—7,8. В придонном слое воды рН изменялась от 6,0 до 6,7, причем минимальные величины рН отмечены во время стагнации.

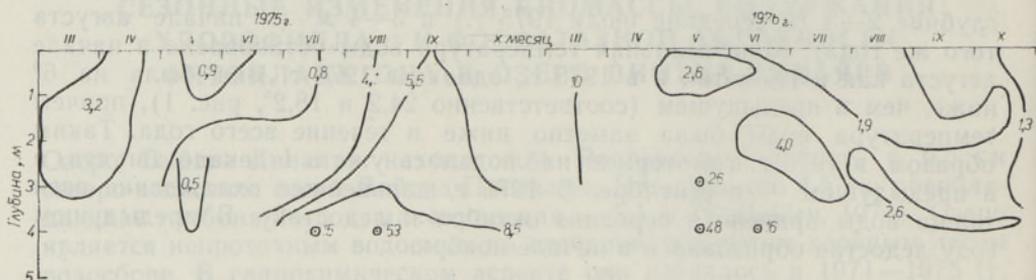


Рис. 3. Сезонные изменения концентрации фосфат-ионов (мкг P/л).

Изменение содержания минерального фосфора в воде озера в оба года в течение вегетационного периода было незначительным. Концентрация его колебалась в пределах 0,5—10,0 мкг P/л (рис. 3). В придонном слое содержание минерального фосфора во время летней стагнации повышалось значительно — до 15—53 мкг P/л.

**Сезонные изменения фитопланктона.** В фитопланктоне доминируют сине-зеленые водоросли, которые часто вызывают цветение воды. В 1969—1972 гг. наблюдалось цветение *Microcystis aeruginosa* до поздней осени. В 1975—1976 гг. цветение воды в озере было кратковременным и слабым.

Состав фитопланктона довольно беден, найдено только около 30 таксонов водорослей. Наиболее богаты видами зеленые водоросли. Встречаются такие широко распространенные виды, как *Crucigenia quadrata*, *Tetraedron minimum*, *Ankistrodesmus falcatus*. Более обильны маленькие жгутиковые. Довольно интересна флора десмидиевых, среди которых господствуют мелкоразмерные с широкой экологической амплитудой виды из родов *Cosmarium* и *Staurastrum* (*C. humile*, *S. tetracerum* и др.). Из более олиготрофных форм осталась только *Micrasterias thomasi* var. *notata* (Kõvask, 1973). Флора диатомовых очень бедна, в небольшом количестве обнаружена *Tabellaria fenestrata*, сравнительно обильны хризодитовые *Uroglenopsis* и *Dinobryon*.

Средние показатели биомассы фитопланктона довольно низкие, в год в среднем — 2,6 и 1,7 г/м<sup>3</sup>, в месяц в течение безледового периода — 0,12—8,5 и 0,5—3,3 г/м<sup>3</sup> в 1975 и 1976 гг. соответственно. Среднегодовое содержание хлорофилла *a* составляло 8,8 и 6,3 м/г<sup>3</sup>, среднемесячное — колебалось в безледовый период в пределах 2,1—24,2 мг/м<sup>3</sup> в 1975 г. и 5,3—9,7 мг/м<sup>3</sup> в 1976 г. Фосфатазная активность изменялась в пределах 1,2—5,3 мкмоль фосфата, освобожденного на литр воды в день. Средне-

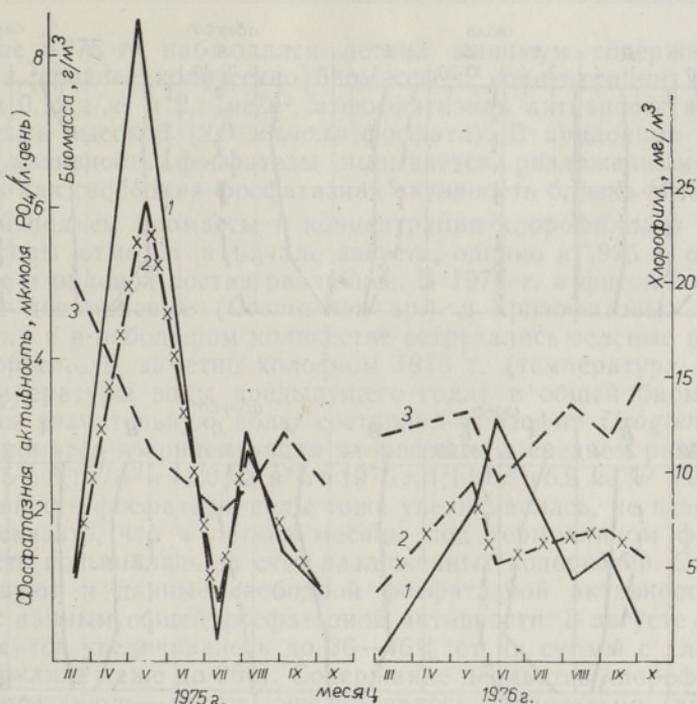


Рис. 4. Сезонные изменения биомассы фитопланктона (1), содержания хлорофилла *a* (2) и фосфатазной активности (3).

годовая фосфатазная активность составляла 3,0 и 3,2  $\mu\text{кмоль}$  фосфата в 1975 и 1976 гг. соответственно.

Озеру Линяярв в рассматриваемые годы присущи два максимума биомассы: один — весной, как правило, более значительный, другой — поздним летом или ранней осенью (рис. 4). Количество хлорофилла в планктоне изменялось параллельно изменению биомассы, максимумы их почти совпадали.

В марте подо льдом фитопланктон почти отсутствовал или был представлен мелкими жгутиковыми, биомасса которых в 1975 г. составляла около  $1 \text{ г/м}^3$  (содержание хлорофилла  $4,2 \text{ мг/м}^3$ ). В 1975 г. ледовый покров был без снега, поэтому свет проникал в воду и вызывал фотосинтез. В следующем году озеро покрылось снегом и фитопланктон почти не был обнаружен. Особенно высокой была активность щелочной фосфатазы в марте 1975 г. ( $5,1 \mu\text{кмоль}$  фосфата), а в 1976 г. она была значительно ниже, но все-таки сохраняла высокий уровень. Можно полагать, что такая активность вызвана главным образом бактериями, так как показатели биомассы фитопланктона невелики.

Весенний пик в зависимости от срока исчезновения льда и погоды наблюдался в начале мая или позже. В середине мая 1975 г. он вызван хризифитовыми, среди которых доминирующим был *Uroglenopsis americana*. Максимум фитопланктона наблюдался на глубине 4 м в более холодной воде ( $12-13^\circ$ ), где биомасса этого вида была максимальной —  $28,9 \text{ г/м}^3$ . Максимум концентрации хлорофилла ( $82,4 \text{ мг/м}^3$ ) наблюдался у дна и совпал с максимумом биомассы. Весенний пик 1976 г. был значительно слабее. Господствующее положение в фитопланктоне занимали жгутиковые водоросли в поверхностном слое,

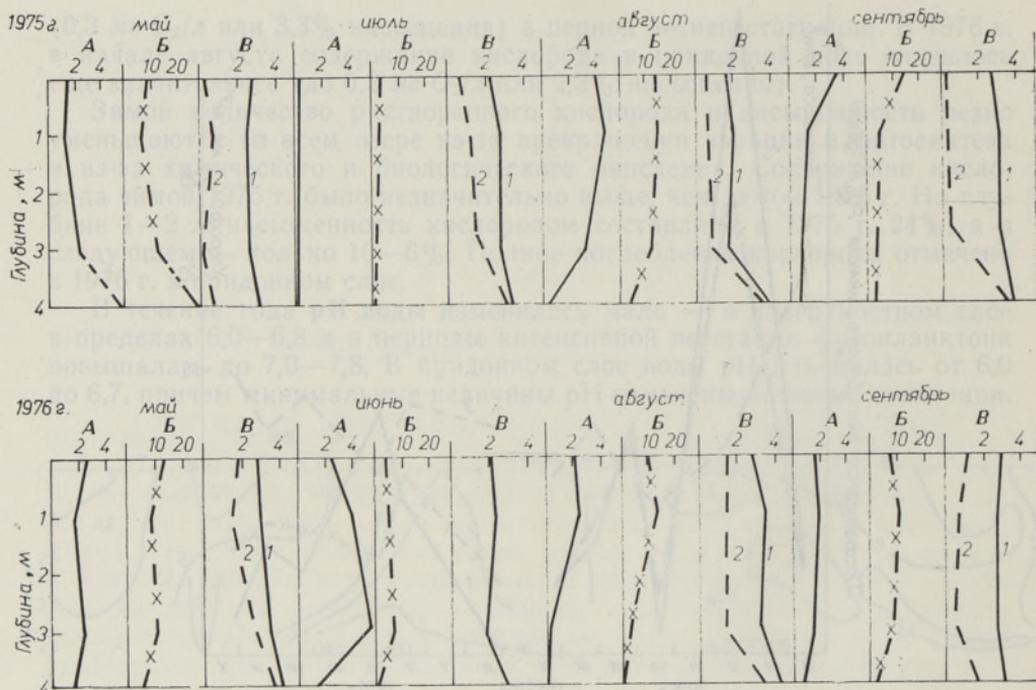


Рис. 5. Вертикальное распределение биомассы фитопланктона ( $г/м^3$ ) (А), содержания хлорофилла *a* ( $мг/м^3$ ) (Б) и фосфатазной активности ( $мкмоль PO_4/(л·день)$ ) (В); общая активность — 1, свободная активность — 2.

а на глубине 3 м — хризифитовые (*Dinobryon divergens*). Средняя биомасса и концентрация хлорофилла в 1976 г. составляли 2,15 и 9,7, а в 1975 г. — 8,5  $г/м^3$  и 24,2  $мг/м^3$ . Средняя фосфатазная активность составляла 2,8 и 3,3  $мкмоль$  фосфата в 1975 и 1976 г. соответственно. В мае 1975 г. максимальные величины фосфатазной активности отмечены на глубине 4 м, где находится и максимум количества фитопланктона. В 1976 г. фосфатазная активность максимальна у дна, а причиной этого следует считать разложение фитопланктона, поскольку значения свободной фосфатазной активности (проба профильтрована через мембранные фильтры) весьма близки к общей фосфатазной активности. В поверхностном слое воды (0—1 м) относительно высокая фосфатазная активность вызвана, вероятно, обилием бактерий. Содержание феопигментов значительно повышалось на глубине 3—4 м, составляя 80—90% от их суммы с хлорофиллом *a*, из-за низкой прозрачности воды (1,35 м). В предыдущем году, когда фотосинтез происходил даже в придонных слоях, содержание феопигментов было низкое (около 20%).

В июне 1976 г. биомасса незначительно увеличилась, очевидно, за счет цистов хризифитовых, одновременно заметно уменьшились содержание хлорофилла *a* и фосфатазная активность. Максимальное содержание биомассы и наибольшая концентрация хлорофилла отмечались на глубине 3 м. Об этом свидетельствует кривая роста кислорода (насыщение кислородом до 130%). Особенно много дериватов хлорофилла отмечено под термоклином (82%).

В июле 1975 г. наблюдался летний минимум содержания фитопланктона, среднее количество биомассы и концентрации хлорофилла отмечены  $0,12 \text{ г/м}^3$  и  $2,1 \text{ мг/м}^3$ , а фосфатазная активность в это время была весьма высокой ( $2,0 \text{ мкмоль}$  фосфата). В придонном слое такая высокая активность фосфатазы вызывается разложенными водорослями, так как свободная фосфатазная активность близка к общей.

Новый подъем биомассы и концентрации хлорофилла в рассматриваемые годы отмечен в начале августа, однако в 1975 г. он был значительнее и видовой состав различнее. В 1975 г. в фитопланктоне преобладали десмидиевые (*Cosmarium* sp.) и хризофитовые (*Dinobryon bavaricum*) и в небольшом количестве встречались зеленые и сине-зеленые водоросли. В заметно холодном 1976 г. (температура воды на  $6^\circ$  ниже температуры воды предыдущего года) в общей биомассе фитопланктона значительную долю составлял хризофит *Uroglenopsis americana*. Биомасса и концентрация хлорофилла в среднем равнялись в августе 1975 г.  $3,1 \text{ г/м}^3$  и  $11,0 \text{ мг/м}^3$  и в 1976 г.  $1,1 \text{ г/м}^3$  и  $6,9 \text{ мг/м}^3$  соответственно. Активность фосфатазы воды тоже увеличивалась, незначительно. Можно сказать, что в летние месяцы под термоклином фосфатазная активность повышалась за счет разложенных водорослей. Об этом свидетельствуют и данные свободной фосфатазной активности, которые близки к данным общей фосфатазной активности. В августе содержание феопигментов увеличивалось до 36—46% от их суммы с хлорофиллом, а в термоклине даже до 96%. Содержание дериватов хлорофилла в летние месяцы (июль—август) увеличивалось значительно (до 80—90%) на глубине 3—4 м (в термоклине). На этой глубине кислород почти израсходован ( $0,6$ — $0,2 \text{ мг O}_2/\text{л}$ , или 7,3—2,2% насыщения) и происходят сильные процессы разложения. Такое относительно высокое содержание феопигментов в придонных слоях объясняется ресуспензией оседавшего материала, которое особенно проявляется в мелководных озерах (Moss, 1970; Kenneth, 1976).

Небольшое повышение биомассы (на  $1,5 \text{ г/м}^3$ ) и концентрации хлорофилла (на  $7,2 \text{ мг/м}^3$ ) отмечается в начале сентября 1976 г. за счет *Microcystis* и зеленых водорослей, в то же время фосфатазная активность снижалась. Распределение биомассы, хлорофилла и фосфатазной активности было однородным по всей вертикали, так как в это время уже наступила осенняя циркуляция. Но в сентябре 1975 г. биомасса и содержание хлорофилла снизились ( $1,55 \text{ г/м}^3$  и  $6,9 \text{ мг/м}^3$  соответственно), а фосфатазная активность немного увеличилась. Наибольшая биомасса ( $3,3 \text{ г/м}^3$ ) и высокая концентрация хлорофилла ( $14,1 \text{ мг/м}^3$ ) установлены в поверхностном слое при массовом развитии пироксифитовых (*Peridinium* sp.). На глубине 1—4 м биомасса и содержание хлорофилла заметно снижались, что связано с обменом сообщества водорослей, на этой глубине встречались в малом количестве жгутиковые и зеленые водоросли.

В начале октября в рассматриваемые годы биомасса и содержание хлорофилла были низкие. Фосфатазная активность оставалась на высоком уровне в 1975 г. и увеличивалась в 1976 г. Можно полагать, что частично увеличение активности вызвано разложенным фитопланктоном, хотя основную долю в этом составляли бактерии, поскольку показатели биомассы и хлорофилла низкие. Распределение названных трех показателей однородно по всей вертикали.

Под действием антропогенного фактора (замачивание льна, мотель с банями) в озере Линаярв изменились первоначальное олиготрофное состояние и биологическое равновесие. Частые цветения и разрастание водной растительности привели к скоплению толстых иловых отложе-

ний, окисление которых обуславливает отсутствие кислорода в придонных слоях. Сточные воды оказывают влияние также на состав и распределение фитопланктона. Сезонные аспекты выражены неясно, в планктоне в течение всего вегетационного периода часты мелкоразмерные жгутиковые. В придонных слоях изученного озера сообщество водорослей меняется, часто встречаются ярко-зеленые скопления *Oscillatoria* sp. sp., что также указывает на повышение антропогенной эвтрофикации озера. Данные об изменениях биомассы и содержания хлорофилла иногда не совпадают. Заметная противоречивость в сезонных изменениях биомассы и хлорофилла наблюдалась в 1976 г. В июне названного года отмечен большой подъем биомассы, а в содержании хлорофилла наблюдался спад. Очень высокая биомасса обусловлена появлением довольно большого количества цистов хризодитовых.

Наши исследования убеждают в том, что при спектрофотометрическом определении хлорофилла в водоемах необходимо учитывать продукты его распада — феопигменты. Это особенно важно при измерении хлорофилла на мелководьях, где с водой могут перемешиваться илы и детрит — основные источники феопигментов. В заметном количестве феофитин обнаружен в летние месяцы (до 30—46%), содержание феопигментов было особенно высоким в слое термоклина и ниже его (80—96%). Свободная фосфатазная активность в термоклине также высока. Таким образом, можно сказать, что в придонных слоях при летней стратификации, где большой недостаток кислорода, происходят очень активные процессы разложения водорослей, а также ресуспензия детрита. Весной при малой прозрачности в придонных слоях, куда свет не проникает, происходят также интенсивные процессы распада (это показывают данные о высоком содержании феопигментов и свободной фосфатазной активности). Часто кривые сезонной динамики и вертикального распределения фосфатазной активности и биомассы отличаются друг от друга. Можно полагать, что эти различия вызваны обилием бактерий, особенно в зимне-весенний и осенний периоды. Таким образом, озеро Вийтна-Линаярв можно считать эвтрофированным олиготрофным озером, состояние которого, очевидно, не улучшится из-за использования его в целях отдыха.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Симм Х., 1973. Гидрохимическая типизация малых озер Эстонии. Изв. АН ЭССР. Биол. 20 (1) : 58—67.
- Kallejärvi, T., 1974. Uut Eesti järvede sügavusest. Eesti Loodus (4) : 241—244.
- Kenneth, H. N., 1976. Nutrient-phytoplankton relationships in the Holland Marsh, Ontario. Ecol. Monogr. 46 (2) : 179—199.
- Kõvask, V., 1973. Genus *Micrasterias* in Estonian lakes. LUS'i Aastaraamat 62 : 112—121.
- Milius, A., Pork, M., 1977. Seasonal variation of phytoplankton biomass, chlorophyll a content and alkaline phosphatase activity in Lake Saadjärv. ENSV TA Toimet. Biol. 26 (1) : 36—48.
- Moss, B., 1970. Seston composition in two freshwater pools. Limnol. Oceanogr. 15 : 504—513.
- Simm, H., Starast, H., Mälgil, U., Lindpere, A., 1975. Viitna Linajärve vee keemiline koostis ja hüdrokeemiline režiim. ENSV TA Toimet. Biol. 24 (4) : 295—308.

Поступила в редакцию  
24/V 1977

Институт зоологии и ботаники  
Академии наук Эстонской ССР

Эстонский научно-исследовательский  
Институт лесного хозяйства  
и охраны природы

Anu MILIUS, Viive KÕVASK

## VIITNA LINAJÄRVE FÜTOPLANKTONI BIOMASSI, KLOOROFÜLLI *a* SISALDUSE JA FOSFATAASSE AKTIIVSUSE SESOONNE DÜNAAMIKA

Resümee

Aastail 1975 ja 1976 uuriti Viitna Linajärve (eutrofeerunud oligotroofne) fütoplanktoni biomassi, liigilise koostise, klorofüllil ja feopigmentide sisalduse ning fosfataasse aktiivsuse sesoonset dünaamikat. Fütoplanktoni biomassi aastases tsüklis täheldati kaht maksimumi. Vaadeldud aastatel olid biomassi keskmised väärtused vastavalt 2,6 ja 1,7 g/m<sup>3</sup> ning klorofüllil *a* sisalduse keskmised väärtused 8,8 ja 6,3 mg/m<sup>3</sup>. Feopigmentide sisaldus oli kevadel madal, suurenes suvekuudel (30—46%) ja langes uuesti sügisel. Kõige rohkem oli feopigmente hüppekihis (80—96%). Fosfataasse aktiivsuse sesoonne dünaamika ei ühtinud biomassi ja klorofüllil omaga kevad-talvel ja sügisel; põhjuseks tuleb pidada bakterite rohkust neil perioodidel.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia  
Zooloogia ja Botaanika Instituut

Toimetusse saabunud  
24. V 1977

Eesti Metsamajanduse ja Looduskaitse  
Teadusliku Uurimise Instituut

Anu MILIUS, Viive KÕVASK

## SEASONAL VARIATION OF PHYTOPLANKTON BIOMASS, CHLOROPHYLL *a* CONTENT AND PHOSPHATASE ACTIVITY IN LAKE VIITNA LINAJÄRV

Summary

The seasonal cycle and vertical distribution of phytoplankton species composition, biomass, chlorophyll *a* content, pheopigment and alkaline phosphatase activity were investigated in Lake Viitna Linajärv, a formerly oligotrophic lake. Two maxima of phytoplankton biomass were observed — one in spring and the other one in late summer. The percentage of pheopigments in chlorophyll *a* + pheopigments fluctuated between ca. 20 per cent in spring and 30—46 per cent during the summer months, and decreased in autumn. The pheopigment content was markedly high in the thermocline (80—96%). The seasonal variation of phosphatase activity did not coincide with the biomass and chlorophyll curves in spring winter and in autumn. This might have been caused by an abundant occurrence of bacteria during these periods.

Academy of Sciences of the Estonian SSR,  
Institute of Zoology and Botany

Received  
May 24, 1977

Estonian Scientific Research Institute  
of Forest Management and Nature Conservation