

Хелле СИММ

ЭВТРОФИРОВАНИЕ ОЛИГОТРОФНЫХ ОЗЕР ЭСТОНИИ

Зависимость характерных признаков озер от свойств их водосборов известна давно. Уже Э. Науманн (Naumann, 1929, 1932) выявил эту закономерность и ввел в лимнологию термин «региональная лимнология». Лимнологи, расширившие и дополнившие в последующем учение Э. Науманна, высказывают по этому поводу различные положения. Среди многочисленных опубликованных трудов ученых разных школ внимание эстонских лимнологов привлекают работы Л. Россолимо и его сотрудников. Представители этой школы считают правильным исходить всегда из типологии озер, независимо от характера решаемой задачи лимнологических исследований. Согласно концепции учения Л. Россолимо (1967), типология должна основываться на особенностях режима озер и их связи с географическими условиями водоемов.

Этой точки зрения придерживается и автор данной статьи при изучении озер Эстонии. В соответствии с этим проведена гидрохимическая типизация озер Эстонии, основывающаяся на двух главных факторах, определяющих формирование важнейших гидрохимических свойств озер, — на характере водосбора и проточности водоемов. По такой типизации все озера Эстонии, различающиеся между собой главными гидрохимическими признаками, разделяются прежде всего по составу и содержанию органических и минеральных веществ в воде. Кроме того, учитывая широкую приспособляемость организмов к условиям среды обитания в соответствии с адаптивной эволюцией, предложенная гидрохимическая классификация отражает и закономерные различия в биологии озер (Симм, 1973). По этим данным составлена лимнологическая типология озер Эстонии (Mäemets, 1974). Выработку типологии озер Эстонии следует считать еще не завершенной, поскольку до сих пор в ней полностью не учтены аспекты антропогенного влияния.

Изменение качества вод под воздействием антропогенного фактора имеет место на протяжении нескольких веков. Однако факт значительного влияния человека на природные воды наблюдается только за последние десятилетия. В Эстонии это выражается в быстрой антропогенной эвтрофикации водоемов, обусловленной преимущественно расширением площади окультуренных земель с широким применением удобрений и развитием животноводства, а также интенсивным использованием берегов озер в качестве зон отдыха. Так как интенсивное воздействие человека парализует естественное развитие озер, этапами которого являются определенные их типы, то становится понятным, что типология озер Эстонии, основывающаяся на естественных факторах, должна быть пересмотрена.

В целях выяснения возможности регулирования эвтрофикации озер, а также уточнения типологии озер Эстонии в лаборатории геобиохимии Института зоологии и ботаники АН ЭССР продолжаются лимнологические работы по исследованию влияния антропогенного фактора на озера различного типа. При исследовании особого внимания заслуживают автохтонные процессы и наличие взаимосвязи между абиотическими и биотическими факторами в водоемах. Изучение охватывает и многие до сих пор не исследованные аспекты, как, например, химию донных отложений, биохимические показатели биопродуктивности водоемов и т. д.

Эти исследования были начаты на олиготрофных озерах. Выяснение антропогенного влияния на олиготрофные озера и принятие мер для их защиты имеют первостепенное значение, так как озера именно этого типа наиболее чувствительны к деятельности человека и в то же время встречаются в Эстонии редко (составляют менее 3% от всех озер).

Изученные олиготрофные озера — Нохипалу Валгеярв, Вийтна Пиккъярв и Линаярв — по природным условиям различаются между собой мало. Все они небольшие (4,5—16,3 га) глухие озера на песчаном, покрытом хвойным лесом водосборе, питающиеся грунтовой водой. Так как химический состав грунтовой воды, питающей озера, формируется путем инфильтрации атмосферных осадков через почво-грунты, бедные карбонатами и органическими веществами, то для этих озер в гидрохимическом отношении характерно крайне малое содержание минеральных веществ ($\Sigma_{\text{и.}} = 10\text{—}25 \text{ мг/л}$) и малая концентрация аллохтонных органических веществ в воде. По гидрохимической типизации озер Эстонии все эти озера относятся к типу С (Симм, 1973). По многим другим абиотическим признакам, а также по биологическим показателям исследованные озера, однако, различаются между собой. Так как природные условия формирования лимнологического режима в них весьма сходные, можно предполагать, что причиной наблюдаемых различий между озерами является различная антропогенная нагрузка.

Наименее нагружено оз. Валгеярв, хотя и оно все больше используется для купания и даже мытья автомобилей. Этому способствуют благоприятный доступ к озеру и созданные в 1960-х годах на берегу озера пляж и стоянка автомобилей (Kukk, 1969). Несмотря на это оз. Валгеярв является и в настоящее время наиболее олиготрофным озером Эстонии, о чем свидетельствуют многие абиотические и биотические признаки его.

В гидрохимическом отношении вода озера мало отличается от воды атмосферных осадков: сумма ионов колеблется сезонно между 10 и 14 мг/л, а содержание органического вещества наименьшее по сравнению с содержанием органического вещества в других изученных озерах Эстонии (перманганатная окисляемость 1,2—5,0, дихроматная — 5,2—16,8 мг O/л). Вода почти бесцветная (цветность 3—4°), прозрачность достигала 8,8 м даже летом.

Прибрежная растительность в озере почти отсутствует. Продуцентом органического вещества является главным образом подводная растительность, в особенности мох *Rhynchostegium* sp., покрывающий почти полностью дно озера. Кроме *Rhynchostegium* sp., встречаются в литорали типичные кальциофобные виды: сфагновые мхи и *Isoetes lacustris* и *Lobelia dortmanna*.

Видовой состав фитопланктона беден, доминирует сообщество *Chrysophyta-Pyrrophyta**. Его продуктивность в этом озере очень низка:

* Кываск В., Порк М. Фитопланктон и микробентос некоторых олиготрофных озер Эстонии. В кн.: Гидробиологические исследования VII (в печати).

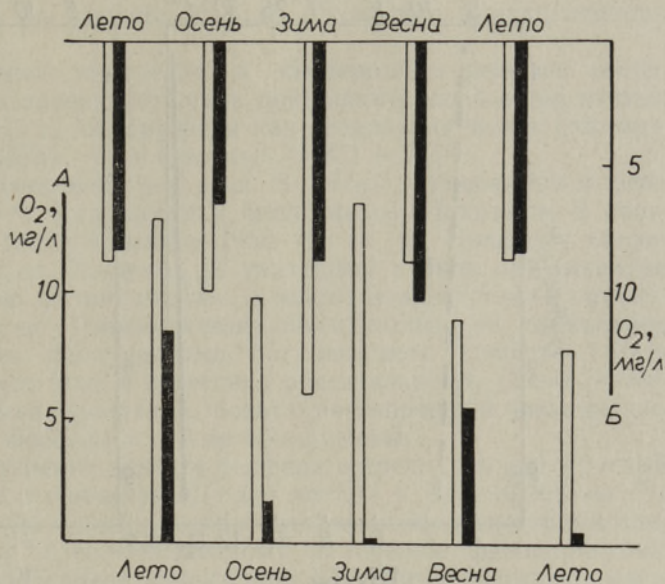


Рис. 1. Изменение содержания растворенного кислорода в придонном (по шкале А) и поверхностном (по шкале В) слоях воды оз. Валгеярв.

Белые столбцы — данные 1963—1964 гг., черные — 1972—1973 гг. (данные 1972—1973 гг. получены из картотеки сектора гидробиологии Института зоологии и ботаники АН ЭССР).

биомасса фитопланктона составляет в свободный ото льда период в среднем только $0,26 \text{ г/м}^3$. В сезонном изменении биомассы фитопланктона типично однократное весеннее повышение, обусловленное развитием хризифит.

Резервы питательных веществ малы и в донных отложениях, так как дно озера большей частью песчаное, отложения ила встречаются преимущественно в самом глубоком месте озера. Пелоген озера (20-сантиметровый верхний слой), образующийся главным образом из остатков водной растительности, содержит около 75% органического вещества и характеризуется крайне малой концентрацией кальция (0,62% CaO в абсолютно сухом веществе). В пелогене оз. Валгеярв обнаружено также меньше соединений фосфора (0,38% P_2O_5) и азота (2,5% N), чем в других изученных олиготрофных озерах Эстонии (Lindpere, 1977).

Незначительное количество питательных веществ, растворяющихся в воде при минерализации отмерших подводных растений, сразу вовлекается в круговорот веществ, вследствие чего до конца 1960-х годов в озерной воде фосфаты совсем не обнаруживались, а нитраты встречались только в следах. Все слои воды озера были круглый год богаты растворенным кислородом (7,9—14,0 мг $\text{O}_2/\text{л}$, рис. 1). Летом 1963 г. наблюдалось даже пересыщение придонного слоя воды кислородом (на глубине 10 м — 109% насыщения), обусловленное фотосинтезом погруженных растений и фитопланктона. Об этом свидетельствуют данные В. Кываск (1973), согласно которым весной и летом биомасса фитопланктона достигает максимума именно в придонных слоях, а вышележащие слои бедны фитопланктоном. В этот период прозрачность воды озера достигала 7—9 м.

В 1970-х годах отмечаются некоторые сдвиги в гидрохимическом, прежде всего в кислородном, режиме озера. Данные сезонного наблюдения 1972—73 гг. показывают, что придонный слой воды оз. Валгеярв круглый год беден кислородом. На глубине 10 м растворенный в воде кислород зимой совсем не обнаружен (рис. 1), весной его содержание составляло $5,5 \text{ мг } \text{O}_2/\text{л}$ и даже осенью (во время стагнации) только $1,6\text{—}1,8 \text{ мг } \text{O}_2/\text{л}$. Летом, в жаркие дни, наблюдалась стратифи-

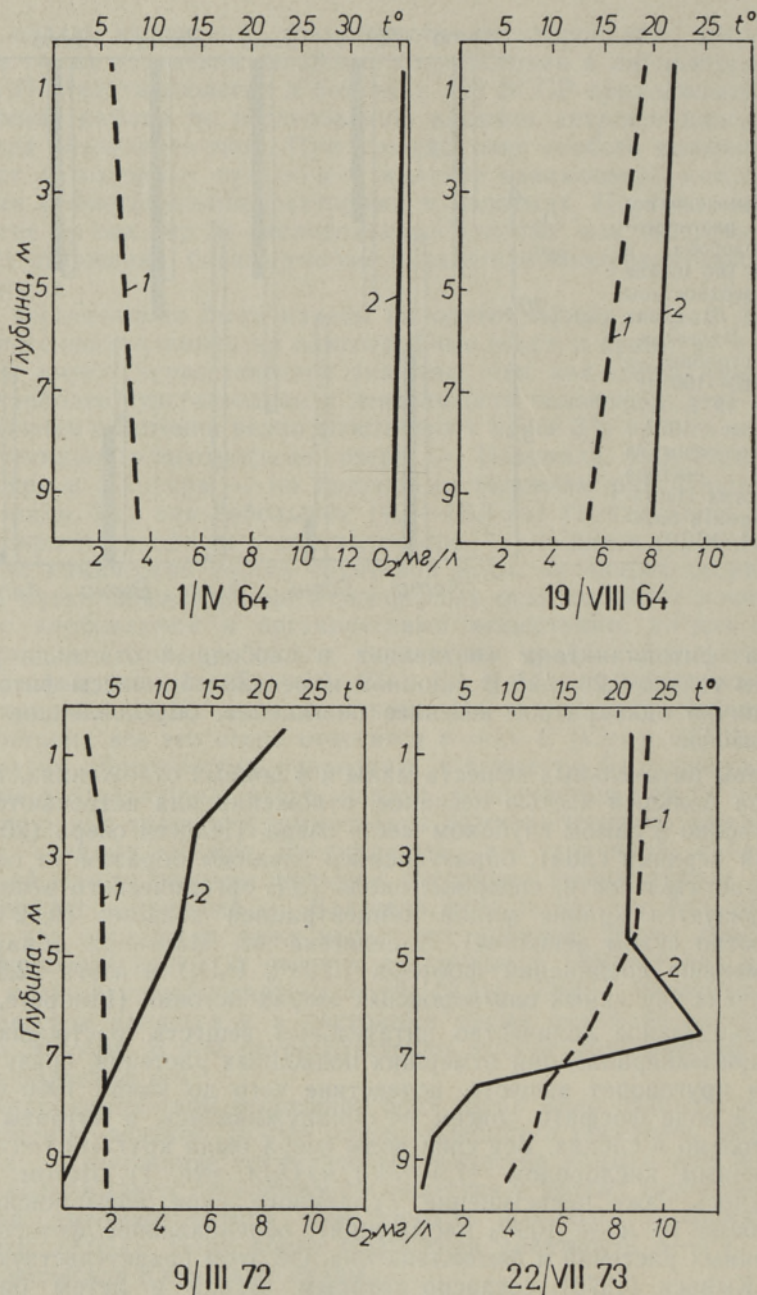


Рис. 2. Изменение температуры (1) и содержание растворенного кислорода (2) в воде оз. Валгеярв (данные 1972—73 гг. получены из картотеки сектора гидробиологии Института зоологии и ботаники АН ЭССР).

кация и резкое падение содержания кислорода в придонных слоях воды. Так, например, в июне 1973 г. (рис. 2) поверхностные слои воды озера были богаты кислородом, а на глубине 7 м даже перенасыщены кислородом (105% насыщенности) благодаря фотосинтезу фитопланктонных организмов. Начиная с глубины 8 м содержание кислорода

резко уменьшалось и на глубине 10 м он обнаружен в концентрации 0,5 мг O_2/l .

Кроме наблюдаемых изменений в кислородном режиме озера, в контрольных пробах поверхностного и придонного слоев воды, взятых в начале сентября 1974 г., обнаружены как соединения азота (соответственно 0,10 и 0,15 мг N/l), так и фосфаты (0,002 мг P/l).

Более заметные изменения, чем в оз. Валгеярв, отмечаются в течение последних 15 лет в гидрохимии и биологии оз. Пиккъярв. В соответствии с данными, полученными в 1956—57 гг., оз. Пиккъярв оказалось очень сходным с оз. Валгеярв. В указанный период оз. Пиккъярв отличалось скудностью фитопланктона и малой концентрацией органических веществ в воде (дихроматная окисляемость не превышала 12 мг O/l). Главными продуцентами органического вещества были покрывающие дно озеро мхи и береговая растительность (Eesti järved, 1968). Вода озера была прозрачна, богата растворенным кислородом, а соединения азота и фосфора в ней не обнаружены.

В 1971—72 гг. соединения азота и фосфора встречались уже круглый год по всему озеру в количестве 0,1—0,5 мг N/l и 0,02—0,008 мг P/l (Starast и др., 1974). Обогащение озера питательными веществами привело к качественному и количественному изменению фитопланктона. Доминирующее раньше в озере характерное для олиготрофных водоемов сообщество *Staurodesmus-Staurastrum* встречается в настоящее время очень редко в литорали; увеличилось и число видов протококковых и т. д.* Наблюдается и увеличение числа пиков биомассы фитопланктона: кроме весеннего, установлено и осеннее повышение биомассы (Milius, Kõvask, 1977). Количество фитопланктона приближается в настоящее время к среднему содержанию его в других исследованных озерах Эстонии.

Вследствие уменьшения прозрачности воды (от 4,0—4,4 до 2,5—3,2 м), подводная луга, которая раньше покрывала почти все дно озера, встречается теперь только местами. В то же время иловые отложения в озере постепенно утолщаются и расширяются.

Донные отложения являются в этом озере значительным запасом питательных веществ, так как по данным А. Линдпере (Линдпере, 1974; Lindpere, 1977) пелоген озера содержит много органического вещества (62—71% в абсолютно сухом веществе) и больше соединений азота (2,8—3,4%) и фосфора (0,45—0,54%), чем в оз. Валгеярв.

В зависимости от сказанного, наблюдается повышение содержания органического вещества в воде оз. Пиккъярв: дихроматная окисляемость в 1971—72 гг. часто превышала 15—20 мг O/l . Установленные здесь в 1971—72 гг. стратификация кислорода и уменьшение его количества зимой в придонном слое воды (на глубине 4—5 м) до 2 мг O_2/l (рис. 3) характерны для эвтрофирующего водоема.

Примером пагубного антропогенного действия на олиготрофные озера является оз. Линаярв, расположенное в 0,5 км от оз. Пиккъярв. Длительное использование озера для замачивания льна и стирки белья привело к обогащению его питательными веществами и способствовало разрастанию водной растительности, что в свою очередь содействовало скоплению толстого слоя ила на дне озера. В настоящее время количество фитопланктона, особенно сине-зеленых водорослей, круглый год обильно. В северной части озера много высших растений.

Толщина ила, богатого органическими и биогенными веществами, превышает 8 м (максимальный слой воды 5,1 м). Как показывают ре-

* Кываск В., Порк М. Фитопланктон и микробентос некоторых олиготрофных озер Эстонии. В кн.: Гидробиологические исследования VII (в печати).

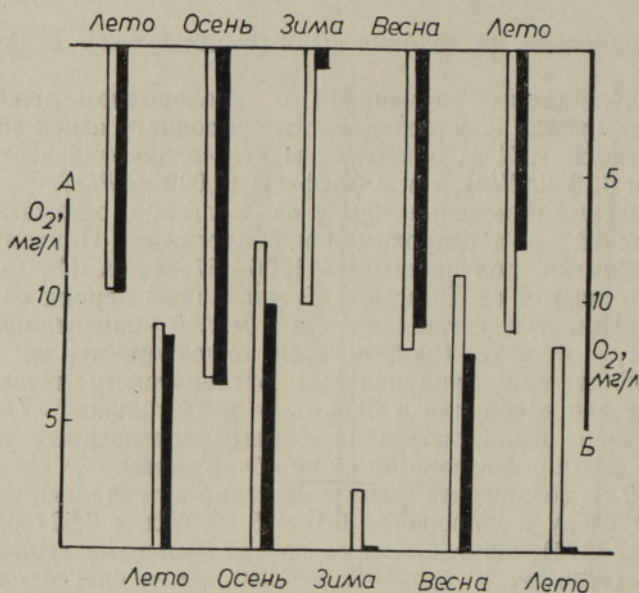


Рис. 3. Изменение содержания растворенного кислорода в придонном (по шкале А) и поверхностном (по шкале Б) слоях воды оз. Пиккъярв (белые столбцы) и оз. Линаярв (черные столбцы) в 1971—72 гг.

зультаты изучения донных отложений озер Эстонии (Lindpere, 1977), пелоген оз. Линаярв отличается от пелогена 10 изученных олиготрофных озер наибольшим содержанием органического вещества (77%), фосфора (0,79%) и азота (4,2%).

Накопившийся в иле резерв органических веществ обеспечивает постоянное обилие автохтонного органического вещества и биогенных элементов в воде озера (дихроматная окисляемость 21,0—48,6 мг О₂/л, 0,1—0,4 мг N/л, 0,002—0,015 мг P/л). О большой роли отмершей водной растительности и ее остатков в иле при обогащении воды питательными веществами говорит максимальное содержание органического вещества в воде озера и в иловой воде в конце вегетационного периода — осенью и зимой. Резерв фосфатов в иловой воде оказался особенно высоким зимой и ранней весной (Simm и др., 1975) и превышал содержание его в озерной воде (0,002—0,003 мг P/л) от десяти до тридцати раз (0,025—0,090 мг P/л).

Вследствие происходящих в иле и в воде окислительных процессов в период стратификации растворенный кислород в придонных слоях воды отсутствует (рис. 3, 4), а зимой дефицит кислорода охватывает все слои воды озера (в поверхностном слое только 2—4% насыщения). Прозрачность воды составляет обыкновенно 0,9—2,0 м, цветность 5—24°.

Из результатов исследования вытекает, что различия в нагрузках антропогенного действия на изученные олиготрофные озера отражаются в различиях их степени эвтрофирования.

В менее нагруженном оз. Валгеярв защищающим от быстрого эвтрофирования фактором является и его большая глубина (максимальная 12,5 м) по сравнению с глубиной других исследуемых озер (максимальная глубина оз. Пиккъярв 5,7 м и Линаярв 5,1 м).

Наблюдаемые на протяжении последних 10—15 лет изменения в кислородном режиме оз. Валгеярв указывают на начинающуюся эв-

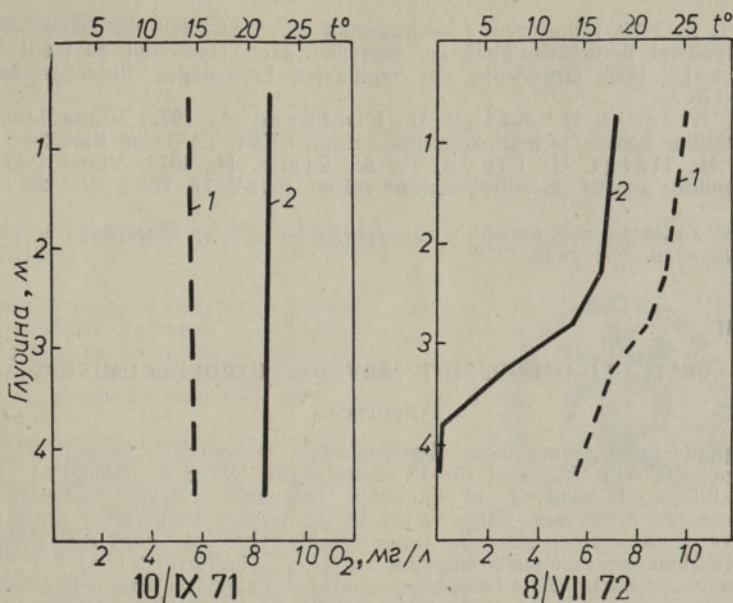


Рис. 4. Изменение температуры (1) и содержания растворенного кислорода (2) в воде оз. Линаярв.

рофикацию этого водоема. Об этом свидетельствует и обнаружение соединений фосфора и азота в его воде осенью 1974 г. Во флоре водорослей оз. Валгеярв отмечены уже ранее (Kukk, 1969) изменения в направлении эвтрофикации.

Оз. Пиккъярв можно считать эвтрофированным олиготрофным озером. Об этом свидетельствуют как качественные, так и количественные изменения в фитопланктоне, повышение в воде концентрации биогенных элементов и органических веществ, уменьшение прозрачности воды и господствующий в настоящее время газовый режим водоема.

По результатам изучения гидрохимического режима оз. Линаярв можно сделать вывод о неизбежной гибели этого озера. Дальнейшее увеличение водной растительности, накопление ила и постоянно углубляющийся дефицит кислорода в нем обеспечиваются уже природным круговоротом веществ. Все эти процессы ускорились после постройки на берегу озера мотеля и бань.

ЛИТЕРАТУРА

- Кываск В. О., 1973. О динамике фитопланктона олиго- и дистрофных озер Эстонии. В кн.: Лимнология Северо-Запада СССР 2. Таллин : 79—82.
- Линдпере А., 1974. Химический состав поверхностного слоя сапротеля озер Виитна. Изв. АН ЭССР. Биол. 23 : 343—347.
- Россолимо Л. Л., 1967. Антропогенный фактор в развитии озер. М. : 3—4.
- Симм Х. А., 1973. Гидрохимическая типизация малых озер Эстонии. Изв. АН ЭССР. Биол. 22 : 58—67.
- Eesti järved, 1968. Tln.: 420—421.
- Kukk, E., 1969. Mis saab Valgjärvest? Eesti Loodus 12 : 56.
- Lindpere, A., 1977. Madala bioloogilise produktiivsusega järvede setete keemilisest ja mineraloogilisest koostisest. ENSV TA Toim. Biol. 26 : 49—55.
- Milius, A., Kõvask, V., 1977. Seasonal variation of phytoplankton biomass, chlorophyll *a* and alkaline phosphatase activity in Lake Viitna Pikkjärv. ENSV TA Toim. Biol. 26 : 120—127.
- Mäemets, A. 1974. On Estonian Lake Types and Main Trends of Their Evolution. Estonian Wetlands and Their Life. Tln.: 29—62.

- Naumann, E., 1929. Einige neue Gesichtspunkte zur Systematik der Gewässertypen mit besonderer Berücksichtigung der Seetypen. Arch. Hydrobiol. 20 : 191—198.
- Naumann, E., 1932. Grundzüge der regionalen Limnologie. Binnengewässer. 11 : 1—176.
- Simm, H., Starast, H., Mälgä, U., Lindpere, A., 1975. Viitna Linajärve vee keemiline koostis ja hüdrokeemiline režiim. ENSV TA Toim. Biol. 24 : 295—308.
- Starast, H., Mälgä, U., Lindpere, A., Simm, H., 1974. Viitna Pikkjärve vee keemiline koostis ja hüdrokeemiline režiim. ENSV TA Toim. Biol. 23 : 164—176.

Институт зоологии и ботаники
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
21/XII 1976

Helle SIMM

EESTI OLIGOTROOFSETE JÄRVEDE EUTROFEERUMISEST

Resüme

Et selgitada inimtegevuse mõju oligotroofsetele veekeemilistele, korraldati 1972. ja 1973. aastal Valge-, Pikk- ja Linajärvel 10—15 aastat tagasi tehtud limnoloogilisi vaatlusi.

Uurimistulemused näitavad, et inimtegevuse koormuse erinevus peegeldub järvede eutrofeerumisastme erinevuses. Kõige väiksema koormusega Valgejärvel aeglustab eutrofeerumist ka tema suurem sügavus (maksimaalne 12,5 m), võrreldes teiste uuritud järvedega (Pikkjärve maksimaalne sügavus on 5,7 m, Linajärvel 5,1 m).

Viimase 10—15 aasta vältel täheldatud muutused Valgejärve hapnikurežiimis viitavad selle veekeemilise eutrofeerumise algusele. Seda tõendab ka fosfaatide ja lämmastikuühendite leidmine järve veest 1974. aasta sügisel. Valgejärve vetikaflooras täheldas E. Kukk (1969) juba mõni aasta tagasi muutusi eutrofeerumise suunas.

Pikkjärve võib pidada juba eutrofeerunud järveks. Seda tõendavad nii kvalitatiivsed kui ka kvantitatiivsed muutused fütoplanktonis, biogeensete elementide ja orgaanilise aine kontsentratsiooni suurenemine vees, vee läbipaistvuse vähenemine ja järve praegune hapnikurežiim.

Linajärve režiimi uurimisest järeldub, et järv on määratud hävima. Veetaimestiku ja muda edasise rohkenemise ning üha suureneva hapnikudefitsiidi põhjustab selles järves juba looduslik aineriing. Neid protsesse kiirendab järve kaldale ehitatud motelli ja saunade mõju.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Zooloogia ja Botaanika Instituut

Toimetusse saabunud
21. XII 1976

Helle SIMM

ON THE EUTROPHICATION OF ESTONIAN OLIGOTROPHIC LAKES

Summary

During 1950—60, after a lapse of 10—15 years, limnological observations were carried out on three oligotrophic lakes to investigate man-made eutrophication.

The differences in the degrees of man's influence were found to be reflected in the different degrees of eutrophication of the lakes. An essential factor decelerating the process of eutrophication in Lake Valgejärv, which shows the smallest rate of man's influence, is its depth (max. 12.5 m) as compared with Lake Pikkjärv (max. depth 5.7 m) and Lake Linajärv (max. depth 5.1 m).

The changes in the oxygen regime of L. Valgejärv observed during the last 10—15 years point to the beginning of its eutrophication. Finds of phosphates and nitrates in the water in the autumn of 1974 also testify to it. As early as 1969 E. Kukk had noticed some changes in the algal flora showing a tendency to eutrophication.

In L. Pikkjärv the process of eutrophication is more advanced. Qualitative and quantitative changes in the phytoplankton, an increase in the concentration of biogenic elements and organic matter, a decreased transparency of the water and the present oxygen regime of the lake give evidence of it.

The investigation of the regime of L. Linajärv showed that the lake is doomed to perish. A further increase in the amount of water-plants and mud, as well as a constantly growing oxygen deficiency are guaranteed by the natural circulation of matter in this seepage lake. These processes are accelerated by the influence of the motel and the saunas built on the shores.

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

Received
Dec. 21, 1976