

<https://doi.org/10.3176/biol.1981.3.09>

Ану МИЛИУС

УДК 577.472/28/475

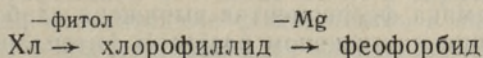
СОДЕРЖАНИЕ ФЕОПИГМЕНТОВ ФИТОПЛАНКТОНА В МАЛЫХ ОЗЕРАХ ЭСТОНИИ

Определение содержания хлорофиллов в фитопланктоне признано в настоящее время единственным быстрым методом оценки биомассы водорослей и находит широкое применение при исследовании первичной продукции фитопланктона. По содержанию основного из них — хлорофилла *a* — можно судить о фотосинтетической способности фитопланктона. Сведения об относительном содержании феопигментов — продуктов распада хлорофилла — необходимы для установления той части измеренного хлорофилла, которая способна участвовать в фотосинтезе, и дает более корректную оценку живой биомассы водорослей. Наличие разрушенных форм хлорофилла снижает точность определения фотосинтетически активного пигмента с помощью стандартной спектрофотометрической техники. Присутствием дериватов хлорофилла *a* не всегда можно пренебречь. В настоящей статье продукты распада хлорофилла *a* (феопигменты) рассмотрены в разнотипных малых озерах Эстонии.

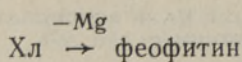
Наблюдения за содержанием хлорофилла *a* и феопигментов проводились в 1975—1979 гг. Детальный обзор содержания хлорофилла *a* в водоемах Эстонии дан ранее (Милиус, 1981). Сезонные наблюдения проводились на эвтрофированных олиготрофных озерах Вийтна Пиккъярв и Линаярв (1975—1976 гг.), Нохипалу Валгеярв (1977—1979 гг.), на мезотрофном озере Саадъярв (1975—1979 гг.), на дисэвтрофном озере Мянникъярв (1976 г.) и на дистрофных озерах Нохипалу Мустьярв и Лоосалу (1977—1978 гг.). Пробы воды отбирались ежемесячно в период открытой воды и один или два раза во время ледостава на глубоководной станции; в зависимости от глубины озера 3—6 проб.

Помимо сезонных наблюдений проводился отбор проб воды для анализа еще на 46 озерах в 1978—1979 гг. во время зимней и летней стагнаций и весенней и осенней циркуляций с горизонта 1 м. Хлорофилл *a* и феопигменты определялись в одном и том же метаноловом экстракте (95%). Экстинкцию экстракта определяли на спектрофотометре СФ-4А при длинах волн 665, 750 нм и после подкисления соляной кислотой при этих же длинах волн. Концентрации хлорофилла *a* и феопигментов рассчитывались по формулам А. Ф. Х. Маркера (Marker, 1872).

В настоящее время не вызывает сомнения необходимость учета продуктов распада хлорофилла при спектрофотометрическом методе его определения. Последовательность разрушения хлорофилла можно выразить следующей упрощенной схемой:



и (или)



Атом Mg и, возможно, фитол утрачиваются в кислой среде. Фитол отщепляется также с помощью энзима хлорофиллазы, причем не только в естественных условиях, но нередко и в процессе сбора и экстрагирования пигментов (Patterson, Parson, 1963).

Спектры поглощения хлорофилла и его дериватов сходны, поэтому измерение оптической плотности экстрактов в красном свете приводит к переоценке концентрации хлорофилла. Если в пробе присутствуют феопигменты — феофитин и феофорбид, то измеренное содержание хлорофилла *a* будет выше истинного, но ниже общего содержания форбинов (хлорофилл *a* + феофитин *a* + феофорбид *a*). Некоторое представление о содержании феопигментов можно получить измерением оптической плотности нейтральных и подкисленных экстрактов. Изменение оптической плотности после подкисления отражает разницу между количеством пигментов, содержащих и утративших атом Mg.

Переход хлорофилла в феопигменты в природных условиях может происходить, по-видимому, разными путями. Из литературы известно, что в этом процессе являются важными световые условия. На свету содержание феопигментов резко падает до следовых количеств (Yentsch, 1965; Lerenzen, 1967), а темнота действует наоборот. Световой фактор играет решающую роль в характере вертикального распределения феопигментов. Следует отметить, что потребление фитопланктона животными, по-видимому, является одной из причин образования дериватов хлорофилла в водоемах (Curgie, 1962; Blumer, Thomas, 1965; Glooschenko и др., 1972). Растительный зоопланктон потребляет значительное количество водорослей, которые при прохождении через пищеварительный тракт животных трансформируются в результате кислотного катализа до дериватов и затем включаются в фекальные массы.

Из других факторов существенное влияние имеют рН воды, температура и биогенные элементы. Уменьшение рН воды, наблюдаемое обычно в нижних горизонтах, может являться дополнительной причиной увеличения количества феопигментов при увеличении глубины водоема. С повышением температуры воды относительное содержание феопигментов увеличивается, как это отмечено в Ивановском водохранилище, куда сбрасываются подогретые воды (Пырина и др., 1975).

В литературе часто приводятся данные по относительному содержанию феопигментов в общем форбине. Наиболее частые средние величины показателя $\frac{\text{феопигменты}}{\text{феопигменты} + \text{хлорофилл}} \times 100$ для пресных водоемов составляют 20—30% (табл. 1). Пределы колебания содержания феопигментов сравнительно большие.

По нашим сезонным наблюдениям следует (табл. 2), что средние величины относительного содержания феопигментов хорошо согласуются с литературными данными. Более высокое содержание феопигментов отмечено в мелководных озерах (Мяникъярв и Вийтна Линаярв), где с водой перемешиваются илы и детрит — основные источники феопигментов. Это также хорошо согласуется с данными о Рыбинском водохранилище, где определенное на мелководных станциях относительное содержание феопигментов выше (40—50%), чем на глубоководных станциях (12—25%).

Сезонная динамика феопигментов выражена слабо, но можно отметить, что весной при интенсивном развитии фитопланктона содержание

Таблица 1

Относительное содержание феопигментов в пресных водоемах

Водоем	Феопигменты, %	Дата	Глубина	Литература
Иваньковское водохранилище	14—34 (5—71)	1970 г. май — ноябрь	0,2 м	Елизарова, 1976
Рыбинское водохранилище	12—25 (0—39)	1971 г. лето	Глубоководн. 10—12 м	Елизарова, Сигарева, 1976
	40—50 (6—61)	1972 г. весна, лето	мелководн. 0—1 м	
Оз. Большой Харбей	18—25	1969 г. июль — август	Для фотической зоны	Елизарова и др., 1976
Оз. Байкал	22 (12—35)	1975 г. август	На поверхности	Бульон, 1976
Оз. Онтарио	16—56 (0—100)	1970 г. январь — декабрь	1 м + 5 м	Glooschenko и др., 1972
Оз. Эри	0—67	1970 г. весна, лето, осень	На поверхности	Glooschenko и др., 1974
	8—50			
	20—67			

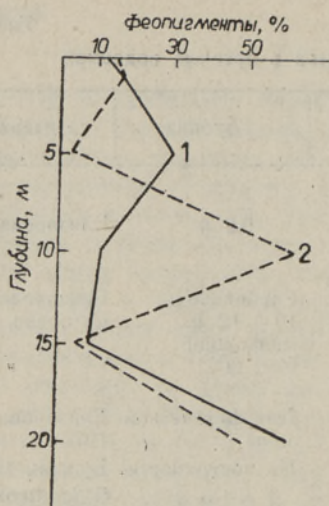
Таблица 2

Относительное содержание феопигментов в разнотипных озерах Эстонии

Озеро	Феопигменты, %	Дата	Глубина для столба воды, м
Нохипалу Валгеярв	18 (5—39)	1977 — 1979 гг.	0—9
Вийтна Пиккъярв	22 (8—32)	1976 г.	0—4
Саадъярв	20 (7—60)	1975 — 1979 гг.	0—20
Вийтна Линаярв	43 (13—75)	1975 — 1976 гг.	0—4
Мяникъярв	34 (13—52)	1976 г.	0—2
Лоосалу	26 (5—39)	1977 — 1978 гг.	0—3
Нохипалу Мустъярв	30 (6—54)	1977 — 1978 гг.	0—7

их сравнительно невысокое (пределы колебания от 4 до 27% у исследованных 46 озер), летом оно повышается (6—42%), особенно в мелководных озерах, а осенью опять уменьшается (4—24%). Летом в высокоэвтрофных озерах Вяйке Кодиярв и Криймани (при температуре воды 25 °С) содержание феопигментов может достигать 70—85% на глубине 1 м.

В зависимости от глубины озера различно и распределение содержания феопигментов по вертикали. В мелководных озерах, в которых стратификация отсутствует, распределение содержания феопигментов равномерное по всей вертикали (например, оз. Вийтна Пиккъярв). По-видимому, феопигменты не могут аккумулироваться на разной глубине по той причине, что отмирающие клетки фитопланктона достигают дна быстрее, чем это требуется для конверсии хлорофилла до феофитина, и в связи с перемешиванием воды детритный хлорофилл распределяется равномерно. Иная картина распределения феопигментов наблюдалась в мелководных озерах, для которых характерна устойчивая термическая стратификация в течение летнего периода. В таких водоемах в этот период концентрация феопигментов и характер их изменения в столбе воды в значительной мере определяются выходом феопиг-



Относительное содержание феопигментов в фитопланктоне оз. Саадъярв: 1 — на глубине двойной прозрачности воды по диску Секки (прозрачность воды 2,35 м), 2 — в термоклине.

ментов из донных отложений, содержащих водорослевый детрит. Это показывают и наши исследования, проведенные на оз. Вийтна Линаярв (глубина 4 м). Содержание феопигментов было особенно высоким в слое термоклина (3—4 м) и ниже его, достигая 80—90%. На этой глубине кислород оказывается почти израсходованным (0,2—0,6 мг O_2 /л или 2,2—7,3% насыщения) и там происходят сильные процессы разложения. Такое относительно высокое содержание феопигментов в придонных слоях объясняется ресуспензией осевшего материала, которая особенно четко проявляется в мелководных озерах (Nicholls, 1976).

В глубоком озере (например, оз. Саадъярв) характер вертикального распределения содержания феопигментов немного иной. В содержании феопигментов здесь отмечены два максимума — в фотической зоне на глубине равной приблизительно двойной прозрачности воды по диску Секки или в термоклине во время стратификации и в придонном слое (рисунок). В глубоких водоемах ресуспензия феопигментов из донных отложений в верхние слои воды почти исключена, процесс перемешивания воды не распространяется так глубоко, поэтому относительное содержание феопигментов невелико. Оседание клеток фитопланктона здесь ведет к тому, что детритный хлорофилл накапливается в термоклине и на больших глубинах.

Таким образом, для точной оценки живой биомассы водорослей и ее фотосинтетической активности по содержанию хлорофилла *a* в планктоне озер следует ввести поправку на присутствие феопигментов. Введение такой поправки особенно необходимо в случае изучения мелководных водоемов, где наблюдается ресуспензия феопигментов из донных отложений, или в случае, когда пробы отбираются из афотической зоны.

ЛИТЕРАТУРА

- Булъон В. В. Содержание органического вещества и фотосинтетических пигментов в планктоне озера Байкал. — В кн.: Гидробиологические основы самоочищения. Л., 1976, 60—68.
- Елизарова В. А. Содержание пигментов фитопланктона в Ивановском водохранилище по наблюдениям 1970 г. — В кн.: Биология, морфология и систематика водных организмов. Л., 1976, 82—90.
- 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.

- Елизарова В. А., Сигарева Л. Э. Содержание пигментов фитопланктона в мелководной зоне Рыбинского водохранилища. — В кн.: Гидробиологический режим прибрежных мелководий верхневолжских водохранилищ. Ярославль, 1976, 133—147.
- Милиус А. Содержание хлорофилла *a* фитопланктона в малых разнотипных озерах Эстонии. — Изв. АН ЭССР. Биол., 1981, 30, 147—157.
- Пырина И. Л., Девяткин В. Г., Елизарова В. А. Экспериментальное изучение влияния подогрева на развитие и фотосинтез фитопланктона. — Тр. ИБВВ АН СССР, 1975, 30, 67—84.
- Blumer, M., Thomas, D. W. Phytadienes in zooplankton. — *Science*, 1965, 147, 3662, 1148—1149.
- Currie, R. J. Pigments in zooplankton faeces. — *Nature*, 1962, 193, 4819, 956—957.
- Glooschenko, W. A., Moore, J. E., Vollenweider, R. A. The seasonal cycle of pheo-pigments in Lake Ontario with particular emphasis on the role of zooplankton grazing. — *Limnol. Oceanogr.*, 1972, 17, 597—605.
- 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, 265—274.
- Lorenzen, C. J. Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equations. — *Limnol. Oceanogr.*, 1967, 12, 343—346.
- Marker, A. F. H. The use of acetone and methanol in the estimation of chlorophyll in the presence of phaeophytin. — *Freshwat. Biol.*, 1972, 2, 361—385.
- Nicholls, H. K. Nutrient-phytoplankton relationships in the Holland Marsh, Ontario. — *Ecol. Monogr.*, 1976, 46, 179—199.
- Patterson, J., Parsons, T. R. Distribution of chlorophyll *a* and degradation products in various marine materials. — *Limnol. Oceanogr.*, 1963, 8, 355—356.
- Yentsch, C. S. Distribution of chlorophyll and phaeophytin in the open ocean. — *Deep-Sea Res.*, 1965, 12, 653—666.

Институт зоологии и ботаники
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
29/VII 1980

Анн МИЛИУС

FÜTOPLANKTONI FEOPIGMENTIDE SISALDUS EESTI VÄIKEJÄRVEDES

Artiklis on aastail 1975—1979 kogutud materjali põhjal esitatud lühiülevaade 54 Eesti väikejärve fütoplanktoni klorofüllil laguneproductide — feopigmentide sisaldusest. Sesooniti on siin muutused väikesed, küll aga esineb erineva troofsusega järvedes erinevusi feopigmentide vertikaaljaoituses.

Анн МИЛИУС

PHEOPIGMENT CONTENT IN THE PHYTOPLANKTON OF SMALL ESTONIAN LAKES

The paper is a brief review on chlorophyll degradation products — the pheopigment — content in 54 small Estonian lakes, based on the material collected in 1975—1979. The mean pheopigment content was 20—30% in small lakes. The seasonal variation was weak, but the vertical distribution of pheopigments varied in different lake types.