

УДК 581.526.325.2:547.979.7

Б. В. Адамович<sup>1,2</sup>, А. А. Жукова<sup>2</sup>

**СВЯЗЬ СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРОФИЛЛА *a* С  
НЕКОТОРЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ  
ФИТОПЛАНКТОНА В РЫБОВОДЧЕСКИХ ПРУДАХ  
И СВЯЗАННЫХ С НИМИ ВОДОТОКАХ<sup>1</sup>**

Проведен анализ взаимосвязи показателей фитопланктона (биомасса, таксономическая структура и размерный состав) и содержания хлорофилла *a* в рыбководческих прудах рыбхоза «Вилейка» и связанных с ними водотоках — малой р. Смердии и более крупной р. Вилии.

**Ключевые слова:** фитопланктон, биомасса, размерный состав, хлорофилл.

Уровень развития фитопланктона — один из основных гидробиологических показателей, характеризующих состояние водных экосистем в исследованиях экологической, санитарной и рыбохозяйственной направленности. Связь уровня развития фитопланктона с концентрацией фотосинтетических пигментов в воде давно известна [1, 3, 10]. Причем в последнее время метод оценки развития фитопланктона по содержанию хлорофилла *a* становится все более популярным [14].

В литературе существует много работ, описывающих взаимосвязь биомассы фитопланктона и содержания хлорофилла *a* в природных водоемах и водотоках [1, 3, 9, 10, 12, 19, 20]. Однако подобного рода исследования для рыбководческих прудов крайне немногочисленны. Основным отличием рыбководческих прудов от других поверхностных водоемов является повышение их продуктивности путем внесения органических и минеральных удобрений, а также рыбных кормов, то есть имеет место целенаправленная эвтрофикация [2, 7, 16].

Цель работы — изучить взаимосвязь показателей биомассы, таксономической структуры и размерного состава фитопланктона, содержания хлорофилла *a* и сестона в воде прудов рыбководческого хозяйства и связанных с ним водотоков, оценить возможность расчета биомассы фитопланктона по содержанию хлорофилла *a*.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке БРФФИ (грант Б10М-034).

**Материал и методика исследований.** Исследования проводили в 2010—2011 гг. на трех прудах рыбоводческого хозяйства «Вилейка» Минской обл. (двух нагульных и одном выростном) и реках Вилии и Смердии. Рыбоводческие пруды, служащие полигоном исследований, имеют площадь 0,1—0,3 км<sup>2</sup>; р. Смердия — левый приток р. Вилии — малая река длиной 14 км; р. Вилия — более крупная река на территории Белоруссии и Литвы длиной 498 км, правый приток р. Неман. Пруды рыбхоза «Вилейка» имеют каскадное расположение, в весенний период они заполняются водой из р. Смердии, а при недостатке воды — также из р. Вилии. В течение сезона происходит постоянная подпитка прудов водой из этих рек и ее сброс в р. Смердию, а затем в р. Вилию.

На р. Смердии пробы отбирали на четырех створах: одном — выше рыбхоза и трех — ниже (сброс, 0,5 км ниже сброса и 2,7 км ниже сброса, перед впадением в р. Вилию). На р. Вилии отбор проб осуществляли в 2010 г. на двух створах, расположенных на водозаборе и ниже впадения р. Смердии. В 2011 г., кроме того, пробы отбирали выше Вилейского водохранилища (45 км выше рыбхоза), а также выше и ниже г. Сморгонь (32 и 40 км ниже рыбхоза). Отбор проб воды осуществляли один раз в месяц в течение вегетационного сезона (апрель — октябрь) с подповерхностного горизонта. В прудах и р. Вилии использовали трубу Ляхновича — Щербакова, позволяющую «вырезать» метровый слой воды.

Пробы фитопланктона объемом 0,5 дм<sup>3</sup> фиксировали по Утермелю в модификации Т. М. Михеевой [4] и концентрировали осадочным методом. Численность фитопланктона устанавливали, используя камеру Фукс — Розенталя, а биомассу — объемно-весовым методом, приравнивая клетки к геометрическим фигурам [5, 13]. Среднюю индивидуальную массу клеток водорослей рассчитывали как отношение общей биомассы фитопланктона к его численности. Содержание взвешенных веществ определяли гравиметрически, путем фильтрации проб воды через ядерные фильтры (диаметр пор 1 мкм) с последующим их высушиванием до постоянной массы при 70°C. На такие же фильтры собирали взвесь для определения содержания хлорофилла *a* (без коррекции на присутствие феопигментов). Анализ проводили спектрофотометрическим методом, с экстракцией пигментов в 90%-ном ацетоне [8, 18]. Определение содержания sestона и хлорофилла *a* осуществляли в 3—6 повторностях для каждой станции.

Статистический анализ данных проводили при помощи MS Excel и Statistica 8.0. Так как многие данные не подчинялись закону нормального распределения, для оценки степени связанности признаков рассчитывали ранговый коэффициент корреляции Спирмена. Уровень значимости, при котором взаимозависимость признаков считали статистически достоверной, принят равным 0,05.

### *Результаты исследований и их обсуждение*

Уровень развития фитопланктона в рыбоводческих прудах рыбхоза был существенно выше, чем в основном водоисточнике — р. Смердии (табл. 1). В р. Вилии его биомасса была такой же, как и в интенсивно эксплуатируемых

### 1. Структура фитопланктона и содержание сестона и хлорофилла *a* в изученных водоемах и водотоках

Показатели	Пруды ( <i>n</i> = 12—25)	Река Смердия ( <i>n</i> = 16—30)	Река Вилия ( <i>n</i> = 21—33)
Биомасса ( <i>B</i> ), мг/дм <sup>3</sup>	7,6/6,8/4,99	2,8/1,3/5,1	6,3/4,6/4,4
Chlorophyta, %	53,6/57,5/28,0	35,1/33,8/28,1	4,8/3,0/6,1
Суанophyta, %	19,9/9,1/23,9	14,5/8,3/22,4	30,4/31,7/28,9
Bacillariophyta, %	14,5/6,3/19,3	25,6/20,1/24,4	53,0/59,1/32,0
Прочие, %	12,0/5,6/19,6	24,8/21,0/26,7	11,8/1,9/19,9
Численность ( <i>N</i> ), млн. кл/дм <sup>3</sup>	35,5/22,0/40,9	6,0/3,3/6,9	3,9/3,6/2,4
Средняя индивидуальная масса клеток водорослей ( <i>B/N</i> , 10 <sup>-9</sup> г)	0,5/0,5/0,3	0,6/0,3/0,6	2,0/1,6/1,5
Сестон, мг/дм <sup>3</sup>	16,8/15,9/6,9	9,9/5,4/11,6	10,1/8,9/4,5
Хлорофилл <i>a</i> , мкг/дм <sup>3</sup>	80,6/70,6/53,3	17,0/5,8/22,5	21,2/18,4/11,1
Хлорофилл <i>a</i> в сестоне, %	0,4/0,4/0,2	0,2/0,1/0,1	0,2/0,2/0,1
Хлорофилл <i>a</i> в биомассе, %	1,2/0,7/1,4	0,8/0,6/0,8	0,4/0,4/0,3

П р и м е ч а н и е. Приведены средние/медианы/стандартные отклонения для всех станций за вегетационный сезон.

рыбоводческих прудах. Вариабельность этого показателя оказалась самой высокой для р. Смердии (при низких среднесезонных величинах биомассы), что закономерно для такой динамичной лотической системы, как малая река.

Таксономическая структура биомассы фитопланктона существенно различалась во всех трех исследуемых экосистемах. В прудах основу биомассы практически всегда составляли зеленые водоросли — в среднем за период исследования их доля достигала 54%, меньший вклад вносили синезеленые (20%) и диатомовые (около 15%). При этом уровень развития зеленых водорослей был высоким на протяжении всего сезона, максимум развития диатомовых приходился на период заливания и зарыбления прудов в апреле-мае, синезеленых — на летние месяцы. В р. Смердии распределение биомассы по отделам было более равномерным, при некотором преобладании зеленых водорослей. В р. Вилии в первой половине сезона доминировали диатомовые — типичные представители фитопланктона речных экосистем; во второй половине сезона, вследствие возрастающей биогенной нагрузки и высоких температур, зачастую преобладали синезеленые водоросли.

Численность фитопланктона в прудах была намного выше, чем в реках. При этом в прудах и р. Смердии индивидуальная масса организмов оказалась в несколько раз меньше, чем в р. Вилии, где преобладали крупноклеточные формы.

Содержание сестона в воде на исследованных створах колебалось от 1 до 30 мг/дм<sup>3</sup>, минимальные значения отмечены в августе в р. Смердии в районе сброса, максимальные — зафиксированы в прудах в августе-сентябре. В целом, содержание сестона было более низким в реках по сравнению с прудами (см. табл. 1).

Концентрация хлорофилла *a* характеризовалась более выраженным размахом колебаний: от 1 (р. Смердия, вток, июнь) до 162 мкг/дм<sup>3</sup> (нагульный пруд, сентябрь). При этом сезонная динамика содержания хлорофилла *a* в целом соответствовала таковой сестона. Оба показателя увеличивались к сентябрю. В среднем для сезона содержание хлорофилла в прудах оказалось гораздо выше, чем в реках Смердии и Вилии. Удельное содержание хлорофилла в сестоне и биомассе фитопланктона также было несколько выше в прудах по сравнению с реками.

Относительное содержание хлорофилла в биомассе фитопланктона, по данным разных авторов, колеблется в широких пределах — от 0,02 до 9,70% [3, 10]. Этот показатель для некоторых рек Белоруссии составляет 0,22—1,12%, причем отмечено, что он выше на более загрязненных створах [6]. Для рыбоводческих прудов существуют только отдельные исследования, когда хлорофилл и биомассу фитопланктона оценивали параллельно [2, 16, 20]. Так, содержание хлорофилла в органическом веществе водорослей составляло в выростных прудах 1,7—1,1%, в нагульных — 0,9—0,8% [2]. Из единственной работы для рыбоводческих прудов Белоруссии [7] рассчитанное содержание хлорофилла в единице биомассы фитопланктона составляло 0,09—0,46% (в среднем 0,26%), что значительно ниже, чем в наших исследованиях.

Анализ связи исследованных параметров показал, что для рек Смердии и Вилии биомасса фитопланктона статистически значимо коррелирует с содержанием хлорофилла (табл. 2), для прудов такая корреляция статистически не подтверждается. Для всего массива данных в целом прослеживается возрастание концентрации хлорофилла в воде с увеличением общей биомассы фитопланктона ( $r = 0,70$ ), однако оценка биомассы фитопланктона по содержанию хлорофилла для прудов проблематична.

Удельное содержание хлорофилла *a* в биомассе статистически значимо коррелирует с биомассой фитопланктона для обеих исследованных рек. Для прудов эта корреляция статистически незначима (см. табл. 2). При этом во всех трех случаях коэффициент корреляции является отрицательным, то есть наблюдается тенденция уменьшения удельного содержания хлорофилла с увеличением общей биомассы водорослей, что также отмечено многими авторами [1, 2, 9, 10, 20]. Для всего массива наших данных коэффициент корреляции был невысоким (-0,44), но являлся статистически значимым при  $p \leq 0,05$ .

В настоящее время нет однозначного мнения, чем обусловлены различия в удельном содержании хлорофилла в фитопланктоне. Наиболее часто предположения сводятся к изменениям таксономической структуры фитопланктона, то есть смене доминантов с большим или меньшим удельным содержа-

## 2. Коэффициенты корреляции между биомассой фитопланктона, содержанием хлорофилла *a* и сестона в изученных водоемах и водотоках

Показатели	Пруды ( <i>n</i> = 12)	Река Смердия ( <i>n</i> = 16)	Река Виляя ( <i>n</i> = 21)
Сестон / биомасса	0,07	0,45	0,52*
Хлорофилл <i>a</i> / биомасса	0,27	0,81*	0,62*
Хлорофилл <i>a</i> в биомассе/биомасса	-0,31	-0,54*	-0,60*
Хлорофилл <i>a</i> / сестон	0,83*	0,71*	0,85*
Хлорофилл <i>a</i> в биомассе/сестон	0,71*	0,20	0,19

\* Статистически значимые коэффициенты при  $p \leq 0,05$ .

нием хлорофилла [12, 19]. Считается, что содержание хлорофилла в зеленых водорослях в 4—6 раз превышает таковое в синезеленых и диатомовых, и преобладание в фитопланктоне водорослей этого отдела определяет высокое относительное содержание хлорофилла в общей биомассе фитопланктона [1, 3]. При этом целый ряд исследователей констатирует, что при изучении поверхностных водоемов такой зависимости обнаружить не удастся [9, 10, 15, 20], либо отмечают статистически значимое снижение содержания хлорофилла при 95%-ном доминировании синезеленых водорослей, но отсутствие корреляции с долей зеленых водорослей [16].

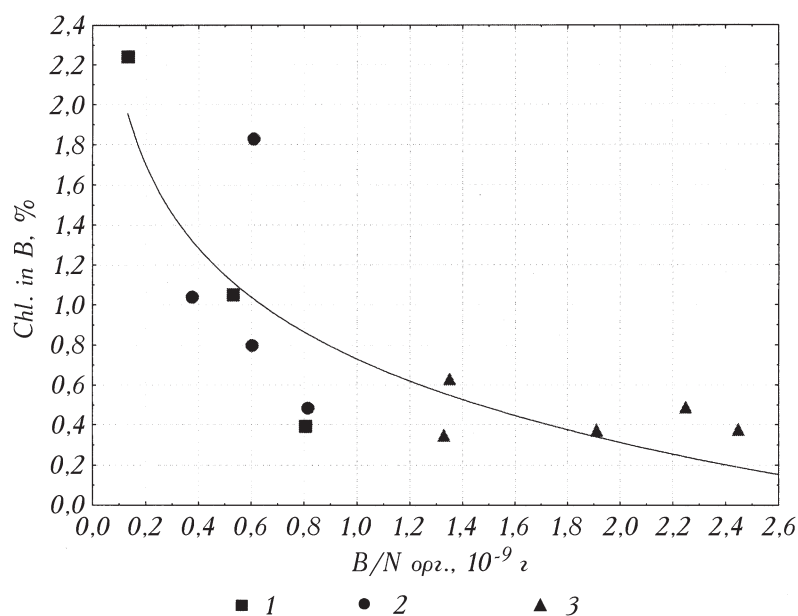
В изученных реках не отмечено статистически значимой корреляции между долей зеленых водорослей в биомассе фитопланктона и удельным содержанием хлорофилла. В прудах коэффициент корреляции между этими показателями является довольно высоким и статистически значимым, но при этом отрицательным ( $r = -0,60$ ), то есть была четко выражена обратная связь. Объяснить это можно тем, что отмеченная для всех изученных нами экосистем тенденция снижения удельного содержания хлорофилла с увеличением биомассы фитопланктона превалирует над изменением в таксономической структуре. В прудах, где основную биомассу на протяжении всего периода исследований (в среднем 54%) составляли зеленые водоросли, соответственно они же и обусловили обратную связь биомассы с относительным содержанием хлорофилла. В целом, в исследованных экосистемах не удалось выявить каких-либо четких закономерностей между таксономической структурой фитопланктона и удельным содержанием хлорофилла в биомассе водорослей. При этом в каждой из экосистем существовали два отдела водорослей, для которых увеличение доли одних статистически значимо сопровождалось уменьшением доли других. Для прудов это зеленые и синезеленые ( $r = -0,45$ ), для рек Смердии и Виляя — синезеленые и диатомовые (соответственно  $r = -0,37$  и  $-0,77$ ).

Существует также точка зрения, что удельное содержание хлорофилла в фитопланктоне зависит от различий в индивидуальных размерах его представителей и увеличение их размеров часто сопровождается уменьшением относительного содержания у них хлорофилла [2, 11, 12, 17].

### 3. Коэффициенты корреляции между средней индивидуальной массой клеток водорослей, биомассой фитопланктона и удельным содержанием хлорофилла *a* в биомассе

Показатели	Пруды ( $n = 12$ )	Река Смердия ( $n = 16$ )	Река Виляя ( $n = 21$ )
Средняя индивидуальная масса клеток водорослей / биомасса	0,01	0,79*	0,68*
Средняя индивидуальная масса клеток водорослей / хлорофилл <i>a</i> в биомассе	-0,61*	-0,81*	-0,22

\* Статистически значимые коэффициенты при  $p \leq 0,05$ .



1. Связь удельного содержания хлорофилла *a* в биомассе фитопланктона ( $Chl/B$ , %) со средней индивидуальной массой клеток водорослей ( $B/N$ ,  $10^{-9}$  г): 1 — пруды; 2 — р. Смердия; 3 — р. Виляя (средние по створам).

Рассчитанные коэффициенты корреляции между средней индивидуальной массой клеток водорослей и относительным содержанием хлорофилла (табл. 3) показали, что для прудов и для р. Смердии связь является обратной, довольно тесной и статистически значимой, и только для р. Вилии коэффициент корреляции, хоть и был также отрицательным, не был статистически значимым. Для всего массива данных наблюдалась тенденция уменьшения относительного содержания хлорофилла с увеличением средней индивидуальной массы клеток водорослей. При усреднении данных по каждому из 12 изученных створов эта зависимость хорошо аппроксимируется регрессион-

ной кривой (рис. 1) при коэффициенте корреляции 0,76 с высоким уровнем значимости ( $p = 0,0045$ ).

### Заклучение

Полученные данные свидетельствуют о том, что в изученных водотоках и рыбоводческих прудах удельное содержание хлорофилла уменьшается с увеличением биомассы фитопланктона. Оценку биомассы фитопланктона по содержанию хлорофилла в прудах следует применять с осторожностью, и эти два показателя стоит рассматривать скорее как взаимодополняющие характеристики уровня развития фитопланктона. Прослеживается четкое уменьшение удельного содержания хлорофилла в фитопланктоне при увеличении средней индивидуальной массы его клеток. При этом каких-либо значимых связей между изменением таксономической структуры фитопланктона и удельным содержанием хлорофилла в биомассе выявить не удалось.

\*\*

*Проведено аналіз взаємозв'язку показників фітопланктону (біомаса, таксономічна структура і розмірний склад) і вмісту хлорофілу а в рибницьких ставках рибгоспу «Вілейка» і пов'язаних з ними водотоках — малої річки Смердя і більш великої — р. Вілії.*

\*\*

*The analysis of the correlations between phytoplankton biomass, size and taxonomic structure and chlorophyll a concentration at the ponds of «Vileyka» fish-farm and connected with them rivers Smerdiya and Viliya is carried out.*

\*\*

1. Елизарова В.А. Хлорофилл как показатель биомассы фитопланктона // Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов / Отв. ред. И. Л. Пырина. — Спб.: Гидрометеоздат, 1993. — С. 126—131.
2. Кузьмичева В.И. Первичная продукция планктона при использовании минеральных удобрений в рыбоводных прудах: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Дмитров: ВНИИПРХ, 1970. — 24 с.
3. Минеева Н.М. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ / Отв. ред. В. Т. Комов. — М: Наука, 2004. — 156 с.
4. Михеева Т.М. Методы количественного учета нанофитопланктона (обзор) // Гидробиол. журн. — 1989. — Т. 25, № 4. — С. 3—21.
5. Михеева Т.М. Альгофлора Беларуси. Таксономический каталог. — Минск: Изд-во белорус. ун-та, 1999. — 396 с.
6. Михеева Т.М., Ганченкова А.П. Индикаторное значение и функциональная роль фитопланктона в реках с разной степенью загрязнения // Гидробиол. журн. — 1979. — Т. 15, № 1. — С. 53—60.
7. Просяник Л.В. Продуктивность прудового фитопланктона и ее регулирование // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси: сб. науч. трудов. — Минск, 1974. — Вып. 10. — С. 36—51.

8. *Сигарева Л.Е.* Спектрофотометрический метод определения пигментов фитопланктона в смешанном экстракте // Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов / Отв. ред. И. Л. Пырина. — СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. — С. 75—85.
9. *Сигелев С.И., Бабаназарова О.В.* Анализ связей пигментных и структурных характеристик фитопланктона высокоэвтрофного озера // Journal of Siberian Federal University. — 2008. — Biology, Vol. 2.— N 1. — С. 162—177.
10. *Трифонов И.С., Десортова Б.* Хлорофилл как мера биомассы фитопланктона в водоемах разного типа // Гидробиологические процессы в водоемах. — Л.: Наука, 1983. — С. 58—80.
11. *Chetelat J., Pick F.R., Hamilton P.B.* Potamoplankton size structure and taxonomic composition: Influence of river size and nutrient concentrations // Limnol. Oceanogr. — 2006. — N 51 (1, p. 2). — P. 681—689.
12. *Felip M., Catalan J.* The relationship between phytoplankton biovolume and chlorophyll in a deep oligotrophic lake: decoupling in their spatial and temporal maxima // J. Plankton Res. — 2000. — Vol. 22, N 1. — P. 91—106.
13. *Hillebrand H., Dürselen C.-D., Kirschtel D. et al.* Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae // J. Phycol. — 1999. — N 35. — P. 403—424.
14. *Lampert W., Sommer U.* Limnoecology. 2nd ed. — Oxford: Oxford University Press, 2007. — 324 p.
15. *Nicholls K.H., Dillon P.J.* An evaluation of phosphorus-chlorophyll-phytoplankton relationships for lakes // Int. Revue ges. Hydrobiol. — 1978. — N 2. — P. 141—154.
16. *Pereira E., Anne I., Fidalgo M. L., Vasconcelos V.* Phytoplankton and nutrient dynamics in two ponds of the Esmoriz wastewater treatment plant (Northern Portugal) // Limnetica. — 2001. — N 20 (2). — P. 245—254.
17. *Peters R.H.* The Ecological Implications of Body Size. — Cambridge: Cambridge University Press, 1983. — 329 p.
18. *SCOR-UNESCO Working group № 17.* Determination of photosynthetic pigments in sea-water // Monographs on Oceanologic Methodology. — UNESCO, Paris, 1966. — P. 9—18.
19. *Tolstoy A.* Chlorophyll a in relation to phytoplankton volume in some Swedish lakes // Arch. Hydrobiol. — 1979. — N 2. — P. 133—151.
20. *Voros L., Padisak J.* Phytoplankton biomass and chlorophyll-a in some shallow lakes in central Europe // Hydrobiologia. — 1991. — N 215.— P. 111—119.

<sup>1</sup> Республиканское унитарное предприятие

«Институт рыбного хозяйства»,

Минск, Беларусь

<sup>2</sup> Белорусский государственный университет,

Минск, Беларусь

Поступила 17.10.13