

УДК (57.018.8:581.526.33)(285.3)

Г. А. Карпова

**ФИТОМАССА ТРОСТНИКА ОБЫКНОВЕННОГО КАК
ИНДИКАТОР ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА
ВОДОЕМОВ**

Показано, что имеется положительная корреляция между биомассой тростника и концентрацией биогенных элементов в воде ($N_{\text{общ}}$, $P_{\text{общ}}$). В озерах Волынского Полесья с увеличением их трофического статуса наблюдается возрастание продукционных показателей тростника. Были установлены интервалы величин фитомассы макрофита для водоемов различной трофности.

Ключевые слова: трофический статус водоема, фитомасса, тростник обыкновенный, биогенные элементы.

Трофический статус водоема является важной интегральной характеристикой водной экосистемы. Концепция, выдвинутая Э. Науманном [30] (цит. по [25]), сводилась к определению трофического состояния озер на основании степени развития (продукции) водорослей. Было сделано утверждение, что химические характеристики водосборного бассейна играют при этом детерминирующую роль, а величина продукции зависит от комплекса факторов, среди которых концентрации азота и фосфора являются первичными, определяющими продукцию. К настоящему времени разработаны системы оценки трофности водоемов по отдельным абиотическим показателям: фосфорной нагрузке [22], концентрации биогенных элементов в воде [33, 26], прозрачности воды по диску Секки [19, 27]; по показателям развития биотических компонентов экосистемы: фитопланктона [18, 4], зоопланктона [1, 15], бактерий [16]. В некоторых системах используют мультивариантные индексы [23, 24, 12, 3].

На современном этапе для оценки трофического статуса водоемов не используют структурно-функциональные показатели макрофитов. В частности, несмотря на активное изучение продукции макрофитов водоемов различных типов, работ по выявлению зависимости продукционных характеристик макрофитной растительности от основных влияющих на них факторов среды чрезвычайно мало. Так, имеются данные о зависимости продуктивности видов водных растений от типов грунта [2, 8], биотопов [14], колебаний уровня воды [5], солнечной радиации [9], а также проективного покрытия видов от концентрации биогенных элементов [28].

© Карпова Г. А., 2012

Макрофиты, как первопроductенты органического вещества, напрямую зависящие от концентрации биогенных элементов, по-видимому, могут адекватно отражать степень биогенной нагрузки на водоем и, наряду с микроскопическими водорослями, использоваться для определения его трофического статуса. Кроме того, в некоторых типах водоемов эта группа растений является основным продуцентом, и их вклад в общую первичную продукцию намного превышает вклад фитопланктона. Однако, как показали исследования, не все экологические группы макрофитов адекватно реагируют на увеличение биогенной нагрузки на водоем и, следовательно, изменения его трофики. Для группы погруженных макрофитов было показано [32], что на их биомассу не влияло дополнительное внесение биогенных элементов. Только при достижении уровня концентрации 60 г N/м^2 и $2,4 \text{ г P/м}^2$ отмечалось изменение структуры этой макрофито-доминантной системы. При этом заросли макрофитов полностью не исчезали, а система переходила в альтернативное состояние с доминированием сообществ фитопланктона [31]. Таким образом, положительной корреляции между биомассой погруженных макрофитов и увеличением биогенной нагрузки на водоем не было отмечено вследствие того, что растения этой экологической группы в озерных экосистемах находятся в сложных конкурентных отношениях с фитопланктоном (за свет, биогенные элементы). С увеличением биогенной нагрузки и интенсивным развитием фитопланктона вплоть до уровня «цветения» воды, от затенения некоторые виды макрофитов угнетаются и биомасса их падает, а другие даже элиминируются из состава зарослей [29]. При этом показано, что разные виды погруженных макрофитов по-разному реагируют на увеличение биогенной нагрузки [21]. Так, дополнительное обогащение азотом и фосфором не оказывало существенного влияния на биомассу сообществ с доминированием евтрофного вида *Potamogeton pectinatus*, в то же время биомасса сообществ с доминированием олиготрофного вида *Chara globularis* значительно уменьшалась. В отношении растений с плавающими листьями (*Potamogeton natans*) был отмечен незначительный отрицательный ответ на увеличение концентрации биогенных элементов.

Целями исследований было: установить, существует ли положительная корреляция между величиной надземной фитомассы тростника обыкновенного и содержанием биогенных элементов ($N_{\text{общ}}$, $P_{\text{общ}}$) в воде озер. Если таковая имеется, то установить величину фитомассы тростника для водоемов различного трофического статуса.

Материал и методика исследований. Исследования проводили в Шацком национальном природном парке (Волынское Полесье), для ландшафта которого характерно наличие большого количества озер, различающихся по генезису, комплексу морфометрических и гидробиологических характеристик, а также трофическому статусу. Был изучен состав макрофитной растительности пяти разнотипных озер парка (Свитязь, Песочное, Перемут, Люцимер, Большое Черное). Укосы тростника отбирали по общепринятой методике [7] в ненарушенных экотопах, исключая экотонные участки зарослей. При выборе площадок для продукционных исследований необходим предварительный осмотр всего водоема, так как в озерах имеются трансформированные участки мелководий (места впадения мелиоративных каналов, зона рекреации, водопой скота), в которых локально может отмечаться

повышенное содержание биогенных элементов. Укосы отбирали в литоральной зоне с пологим берегом и небольшим нарастанием глубин, на глубине 0,8—1,0 м, в период развития максимальной фитомассы (июль), фитомасса определена в воздушно-сухом состоянии побегов. Размер укосной площадки составлял 0,5 м², число укосов для каждого озера — 9—10.

Проведение продукционных исследований в границах небольшого региона позволяет считать величину солнечной радиации, которая, наряду с концентрацией биогенных элементов, является одним из основных факторов, влияющих на продукционные характеристики автотрофного компонента, одинаковой для всех изученных водоемов.

Результаты исследований и их обсуждение

Экологические группы макрофитов принимают различное участие в зарастании изученных озер. Растительность с плавающими листьями представлена преимущественно сообществами рдеста плавающего (*Potamogeton natans* L.) и кувшинки чисто-белой (*Nymphaea candida* J. et C. Presl.), встречается фрагментарно и занимает крайне незначительные площади. Наибольшие площади во всех озерах занимала погруженная растительность, однако степень развития, видовой состав и доминантный комплекс очень различались по водоемам. Так, в озерах Свитязь и Песочном в зарастании доминировали олиго-мезотрофные виды харовых водорослей; в оз. Перемут — рдесты пронзеннолистный и длиннейший (*Potamogeton perfoliatus* L., *P. praelongus* Wulf.), телорез алоеvidный (*Stratiotes aloides* L.); в оз. Люцимер — рдесты пронзеннолистный и гребенчатый (*P. perfoliatus*, *P. pectinatus* L.), в оз. Большом Черном — уруть мутовчатая (*Myriophyllum spicatum* L.), роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum* L.), рдест сплюснутый (*Potamogeton compressus* L.). Воздушно-водная растительность не занимает больших площадей, приурочена к береговой линии водоемов и представлена преимущественно сообществами тростника обыкновенного (*Phragmites australis* Cav. Trin. ex Steud.), рогоза узколистного (*Typha angustifolia* L.), камыша озерного (*Scirpus lacustris* L.), болотницы болотной (*Eleocharis palustris* (L.) Roem. et Schult.). Сообщества тростника были характерны для всех исследованных озер и формировали значительные по площади заросли, занимая большую часть береговой зоны. В связи с этим объектом наших исследований был выбран тростник обыкновенный.

Согласно исследованиям [6], озера Свитязь, Песочное и Перемут являются светловодными крупными водоемами с высокой прозрачностью воды (более 4 м). Для них характерна низкая минерализация воды, незначительная концентрация биогенных элементов, слабый антропогенный пресс (табл. 1). Озеро Люцимер — слабоцветное, высокоминерализованное, с относительно высоким содержанием биогенных элементов, характеризуется низкой прозрачностью воды (около 1,0 м). Озеро Большое Черное — гумифицированное, с очень низкой прозрачностью воды (до 0,5 м), высокой минерализацией и концентрацией биогенных элементов. Оба эти водоема находятся в черте пгт Шацк и испытывают значительное антропогенное воздействие.

1. Гидрохимические показатели озер в период исследований [3]

| Озера | Прозрачность, м | Цветность, град. | $N_{\text{общ}}$, мг/дм ³ | $P_{\text{общ}}$, мг/дм ³ | pH |
|----------------|-----------------|------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----|
| Песочное | 4,2 | 10 | 0,41 | 0,028 | 7,2 |
| Свитязь | 4,2 | 7 | 0,61 | 0,034 | 7,3 |
| Перемут | 4,3 | 13 | 0,55 | 0,028 | 7,7 |
| Люцимер | 1,0 | 22 | 0,83 | 0,046 | 8,0 |
| Большое Черное | 0,4 | 40 | 1,07 | 0,076 | 8,2 |

2. Фитомасса тростника и трофический статус Шацких озер

| Озера | Фитомасса тростника, г/м ² | Трофический статус водоема [13] |
|----------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| Песочное | 540 – 820 | Мезотрофный |
| | 700 ± 100 | |
| Свитязь | 590 – 830 | Мезотрофный |
| | 720 ± 80 | |
| Перемут | 620 – 920 | Мезо-евтрофный |
| | 754 ± 107 | |
| Люцимер | 630 – 1150 | Евтрофный — мезо-евтрофный |
| | 927 ± 174 | |
| Большое Черное | 1470 – 1820 | Евтрофный |
| | 1648 ± 114 | |

Примечание. Над чертой — интервал значений, под чертой — средняя величина.

Значения воздушно-сухой фитомассы тростника в озерах находились в интервале 540—1820 г/м² (табл. 2). Самые низкие средние значения фитомассы отмечены в озерах Песочном, Свитязь, Перемут, наиболее продуктивные заросли тростника (как средние величины фитомассы, так и интервал величин) наблюдались в оз. Большом Черном. Была установлена зависимость фитомассы тростника от содержания биогенных элементов в воде ($N_{\text{общ}}$, $P_{\text{общ}}$) (рис. 1, 2). Исходя из полученных данных можно заключить, что имеется положительная связь (для $N_{\text{общ}}$ $r = 0,9885$, для $P_{\text{общ}}$ $r = 0,9995$) экспоненциального характера для изученного диапазона концентраций азота (0,41—1,07 мг N/дм³) и фосфора (0,028—0,076 мг P/дм³), с одной стороны, и фитомассой тростника — с другой.

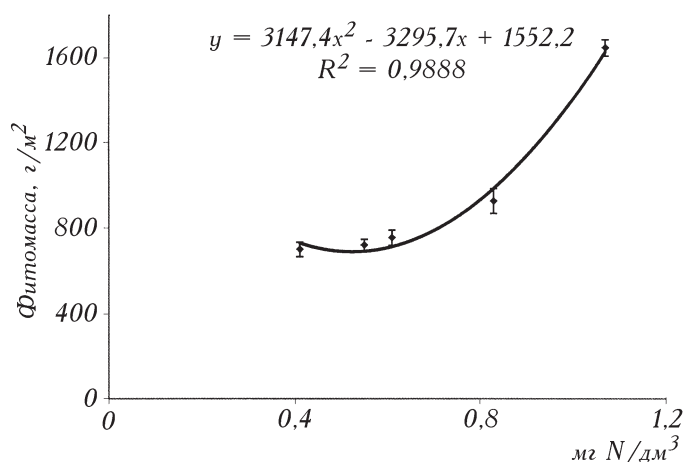
Проведенные комплексные гидробиологические исследования позволили установить трофический статус изученных озер по 15 трофо-сапробиологическим показателям [13, 17, 20] (см. табл. 2). Исходя из этого, озера Свитязь и Песочное характеризуются как мезотрофные. Весной в них отмечается некоторое снижение трофического уровня в сторону олиго-мезотрофной категории, осенью — смещение в область мезо-евтрофной. Озера Перемут и Люцимер являются переходными: если первое характеризуется как мезо-евтрофное со смещением осенью в евтрофную область, то второе — евтрофное с отклонением в мезо-евтрофную область. К типично евтрофным

водоемам относится оз. Большое Черное. Таким образом, на основании полученных данных по фитомассе тростника для Шацких озер различного трофического статуса установлено, что средняя фитомасса тростника в период максимального развития менее 750 г/м^2 отвечает уровню мезотрофного водоема, свыше 930 г/м^2 — евтрофного, а интервал значений $750\text{—}930 \text{ г/м}^2$ соответствует переходному мезо-евтрофному уровню.

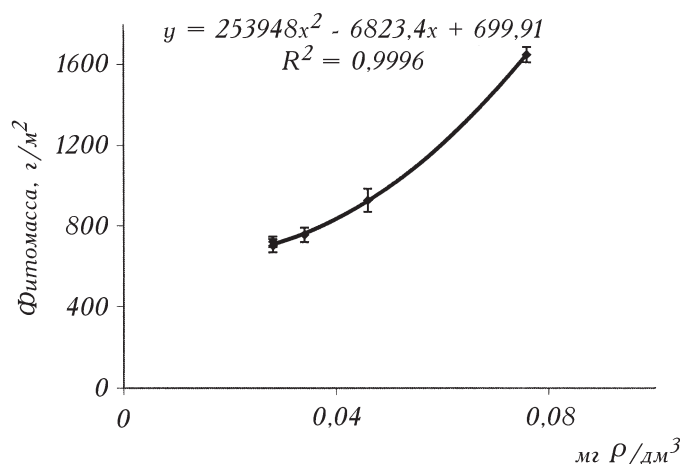
Выявленная закономерность увеличения фитомассы тростника с ростом концентрации биогенных элементов в воде, по-видимому, справедлива для водоемов не только Полесского региона. С увеличением набора эмпирических данных возможно более корректно установить интервалы соответствия фитомассы тростника уровню трофности водоемов различных физико-географических зон и использовать этот показатель как индикаторный.

Заключение

В качестве индикатора трофического статуса водоема предлагается использовать продукционные показатели водных макрофитов, в частности фитомассу тростника. Установлено, что имеется положительная корреляция между биомассой тростника и концентрацией биогенных элементов ($N_{\text{общ}}$, $P_{\text{общ}}$) в воде. Выяв-



1. Зависимость фитомассы тростника (г/м^2) от содержания $N_{\text{общ}}$ (мг N/дм^3) в воде Шацких озер.



2. Зависимость фитомассы тростника от содержания $P_{\text{общ}}$ (мг P/дм^3) в воде Шацких озер.

лено, что для Полесского региона Украины значения средней фитомассы тростника ниже 750 г/м^2 отвечают уровню мезотрофного водоема, свыше 930 г/м^2 — евтрофному, а интервал значений $750\text{—}930 \text{ г/м}^2$ соответствует переходному мезо-евтрофному уровню.

**

Як індикатор профічного статусу водойми пропонується використовувати продукційні показники водних макрофітів, а саме — фітмасу очерету. Встановлено, що існує позитивна кореляція між біомасою очерету та концентрацією біогенних елементів ($N_{\text{общ}}$, $P_{\text{общ}}$) у воді. Виявлено, що для Поліського регіону України значення середньої біомаси очерету нижче 750 г/м^2 відповідають рівню мезотрофної водойми, вище 930 г/м^2 — евтрофному, а інтервал значень $750\text{—}930 \text{ г/м}^2$ відповідає переходному мезо-евтрофному рівню.

**

*The reed bed (*Phragmites australis*) biomass of the different type lakes of the same region was studied. It was stated that increase of nutrients (N, P) concentration in water led to growth of the reed bed biomass. Trophic status of these lakes, determined by set of indicators, enabled to establish macrophytes biomass intervals for the different lake types.*

**

1. Андришкова И.Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. — СПб.: Наука, 1996. — 189 с.
2. Артеменко В.И. К биологии *Potamogeton perfoliatus* L. // Флора и растительность водоемов верхней Волги: Тр. ИБВВ. — 1979. — Вып. 42 (45). — С. 137—139.
3. Бульон В.В. Закономерности первичной продукции в лимнических экосистемах. — СПб.: Наука, 1994. — 222 с.
4. Бульон В.В. Закономерности первичной продукции планктона и их значение для контроля и прогнозирования трофического состояния водных экосистем // Биология внутр. вод. — 1997. — № 1. — С. 13—22.
5. Васильева Н.В. Влияние колебания уровня воды на динамику биомассы и продукцию частухи подорожниковой // Современные проблемы биологии и химии: Регион. сб. науч. тр. молодых ученых, Ярославль: Изд-во Яросл. ун-та, 2000. — С. 177—182.
6. Дробкова В.Г., Кузнецов В.К., Трифонова И.С. Оцінка стану озер Шацького національного природного парку // Шацький національний природний парк. — Світязь, 1994. — С. 52—79.
7. Катанская В.М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. Методы изучения. — Л.: Наука, 1981. — 145 с.
8. Луцицина Л.И., Жукова Г.А. О росте камыша озерного (*Scirpus lacustris* L.) на разных типах грунта // ИБВВ: Информ. бюл. — 1971. — № 9. — С. 18—22.
9. Макиевский К.А., Распопов И.М., Рычкова М.А. Первичная продукция погруженных макрофитов и ее зависимость от солнечной радиации //

- Растительные ресурсы Ладожского озера. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1968. — С. 229—231.
10. *Методика* екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. — К.: СИМВОЛ-Т, 1998. — 28 с.
 11. *Михеева Т.М.* Отношение численности к биомассе фитопланктона как возможный показатель эвтрофирования вод // Антропогенное эвтрофирование природных вод: Тез. докл. III Всесоюз. симп. — Черноголовка, 1983. — С. 69—72.
 12. *Оксиук О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П. и др.* Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. — 1993. — Т. 29, № 4. — С. 62—76.
 13. *Оксиук О.П., Якушин В.М., Тимченко В.М.* Трофо-сапробиологическая характеристика Шацких озер // Там же. — 1997. — Т. 33, № 1. — С. 24—36.
 14. *Папченков В.Г., Довбня И.В.* О продуктивности сусака зонтичного в разных биотопах // Четвертая Всерос. конф. по вод. растениям: Тез. докл. — Борок, 1995. — С. 63—64.
 15. *Семенова А.С., Александров С.В.* Потребление первичной продукции зоопланктоном и использование его структурно-функциональных характеристик для оценки трофности водоема // Биология внутр. вод. — 2009. — № 4. — С. 57—63.
 16. *Сорокин Ю.И.* Бактериальная продукция в водоемах // Итоги науки и техники. Общая экология. Биоценология. Гидробиология. — М.: Наука, 1973. — 1. — С. 47—101.
 17. *Тимченко В.М., Якушин В.М., Олейник Г.Н. и др.* Гидроэкологическая характеристика Шацких озер. — Киев, 1993. — 120 с. — Рук. деп. в ВИНТИ, № 2188-И93.
 18. *Трифопова И.С., Павлова О.А.* Оценка трофического состояния притоков Ладожского озера и Невы по фитопланктону // Вод. ресурсы. — 2004. — № 6. — С. 732—741.
 19. *Хендерсон-Селлерс Б.* Инженерная лимнология. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — 336 с.
 20. *Якушин В.М., Гош Р.И., Тимченко В.М.* Оцінка якості води Шацьких озер за еколого-санітарними показниками // Шацький національний природний парк. Наукові дослідження 1983—93 рр. — Світязь. — 1994. — С. 96—107.
 21. *Bakker E.S., Van Donk E., Declerck S.A.J. et al.* Effect of macrophyte community composition and nutrient enrichment on plant biomass and algal blooms // Basic and Appl. Ecology. — 2010. — Vol. 11, N 5. — P. 432—439.
 22. *Beeton A.M., Edmondson W.T.* The eutrophication problem // J. Fish. Res. Board. of Canada. — 1972. — Vol. 29. — P. 673—682.
 23. *Carlson R.E.* A trophic state index for lakes // Limnol. Oceanogr. — 1977. — Vol. 22 (2). — P. 361—369.
 24. *Carlson R.E.* Using trophic state indices to examine the dynamics of eutrophication / Proc. of the Intern. symp. on Inland Waters and Lake Restoration.

- U.S. Environmental Protection Agency. EPA 440/5-81-010. — 1981.— P. 218—221.
25. *Carlson R.E., Simpson J.A.* Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods. — North American Lake Management Society, 1996. — 96 p.
 26. *Downing J.A., E. McCauley.* The nitrogen: phosphorus relationship in lakes // *Limnol. Oceanogr.* — 1992. — Vol. 37(5). — P. 936—945.
 27. *Håkanson L., Boulion V.V.* Regularities in primary production, Secchi depth and fish yield and a new system to define trophic and humic state indices for lake ecosystems // *Intern. Rev. Hydrobiol.* — 2001. — Vol. 86, N 1. — P. 23—62.
 28. *Mäkelä S., Huitu E., Arvola L.* Spatial patterns in aquatic vegetation composition and environmental covariates along chains of lakes in the Kokemäenjoki watershed (S. Finland) // *Aquatic Botany.* — 2004. — Vol. 80, N 4. — P. 253—269.
 29. *Mulligan H.F., Baranowski A., Johnson R.* Nitrogen and phosphorus fertilization of aquatic vascular plants and algae in replicated ponds. I. Initial response to fertilization // *Hydrobiol.* — 1976. — Vol. 48(2). — P. 109—116.
 30. *Naumann E.* The scope and chief problems of regional limnology // *Intern. Rev. ges. Hydrobiol.* — 1929. — Vol. 21. — P. 423.
 31. *Scheffer M.* Multiplicity of stable states in freshwater systems // *Hydrobiol.* — 1990. — Vol. 200/201. — P. 475—486.
 32. *Verhoeven J.T.A., Beltman B., De Caluwe H.* Changes in plant biomass in fens in the Vechtplassen area, as related to nutrient enrichment // *Netherlands J. of Aquatic Ecology.* — 1996. — Vol. 30. — P. 227—237.
 33. *Vollenweider R.A.* Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing water with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication // *Tech. Rep. Organiz. Econom. Cooper. Devel.* — 1968. — Vol. 27. — 159 p.