

УДК 581.526.32 (470.55)

РОЛЬ ВОДНЫХ МАКРОФИТОВ В КРУГОВОРОТЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПРЕДГОРНОМ ОЗЕРЕ БОЛЬШОЕ МИАССОВО (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© 2013 В.А. Мухин¹, Е.И. Вейсберг², Н.Б. Куянцева², Н.В. Золотарева¹,
Е.Н. Подгаевская¹

¹ Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург

² Ильменский государственный заповедник УрО РАН, г. Миасс

Поступила в редакцию 17.05.2013

Исследованы показатели продукции доминантов модельных фитоценозов водной растительности озера Большое Миассово. Оценен вклад представителей различных экологических групп макрофитов в синтезе органического вещества. Показано, что макрофитная растительность играет большую роль в круговороте углерода в экосистеме озера, являющегося относительно ненарушенным эталоном группы предгорных озер Южного Урала.

Ключевые слова: *макрофитная растительность, Южный Урал, предгорные озера, круговорот углерода*

В отечественной и зарубежной литературе уделяется большое внимание исследованию продуктивности водной макрофитной растительности, ее вклада в общую валовую продукцию водных и переувлажненных биоценозов в зависимости от природных и антропогенных факторов [2, 9, 11, 13, 25-27]. Актуальность данной темы несомненна, так как особенности продуцирования и деструкции органического вещества служат показателем энергетической эффективности, устойчивости водных экосистем [14, 15, 20, 21, 24]. Важнейшей особенностью продукционно-деструкционного цикла водных экосистем является то, что в них конечным продуктом разложения органики является метан – до половины объема органического углерода, поступающего в донные осадки, выделяется в форме метана [16]. Показано, что высшая водная растительность активно участвует в образовании и эмиссии метана. Так, установлено возрастание эмиссии метана в период массового отмирания макрофитов в воде для мелководной части Рыбинского водохранилища [3] и показано, что около 75% метана, выносимого из литорали озер, удаляется водными растениями путем транспорта через аэренхимную ткань [18, 22]. Наиболее интенсивно из всех групп сосудистых растений газ выделяется прикрепленными

гидрофитами с плавающими листьями. Например, в оз. Red Rock (США, штат Колорадо) объем выносимого метана в зарослях *Nuphar lutea* в оказался в 4 раза выше, чем на участках с открытой водой [23].

Таким образом, водные и, в частности, озерные экосистемы являются значимыми источниками биогенного метана, а объемы его эмиссии связаны с продуктивностью водных макрофитов, соединяющих анаэробный и аэробный компартменты озерной экосистемы. Однако этот аспект экологии данной группы организмов еще остается слабо изученным. В этой связи в 2012 г. нами были начаты работы по изучению эволюции вещества в аквальных и субаквальных условиях с целью оценки роли в этих процессах водных макрофитов. Настоящая статья является первой из запланированного цикла работ, посвященных этим вопросам, и ней впервые представлены данные, характеризующие первичную продукцию доминирующих видов макрофитов заповедного озера Большое Миассово.

Цель работы: оценка вклада доминантов наиболее распространенных сообществ водных макрофитов в общую продукцию в экосистемах озер восточных предгорий Южного Урала (на примере озера Б. Миассово).

Материал и методика. Озеро Б. Миассово, находящееся на территории Ильменского государственного заповедника, является центральным звеном Кисегач-Миассовской озерно-речной системы, приуроченной к восточному склону Южного Урала (рис. 1). Данная территория характеризуется расчлененным рельефом. В геоботаническом отношении она относится к подзоне сосново-березовых лесов лесной зоны [5]. Водоем тектонического происхождения отличается сложной формой котловины, изрезанной береговой линией и разнообразием грунтов.

Мухин Виктор Андреевич, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией биоразнообразия растительного мира и микобиоты. E-mail: victor.mukhin@ipae.uran.ru

Вейсберг Елена Ивановна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник. E-mail: veisberg@mineralogy.ru

Куянцева Надежда Борисовна, кандидат биологических наук, научный сотрудник. E-mail: borisovna@mineralogy.ru

Золотарева Наталья Валерьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник. E-mail: nvr@ipae.uran.ru

Подгаевская Елена Николаевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник. E-mail: epr@ipae.uran.ru

Площадь водного зеркала составляет $11,4 \text{ км}^2$, максимальная глубина – 25 м, средняя – 11,2 м, длина береговой линии – 34,1 км, коэффициент изрезанности – 2,9. Водная макрофитная растительность озера хорошо развита в литоральной зоне, особенно в мелководных заливах. Площадь, на которой встречаются макрофиты, составляет до 30% от общей площади зеркала, максимальная глубина их распространения – 5-6 м. На прибрежных участках с пологим уклоном образуются сплавины и заболоченные участки с гигрофильной растительностью [1, 7, 17].



Рис. 1. Схема расположения предгорных озер Южного Урала

В анализ включены доминанты растительных формаций в понимании доминантно-детерминантной классификации [10], относящиеся к классам проективного покрытия 30-100%: *Aquiherbosa helophyta procera* (группа формаций высокотравных гелофитов), *Aquiherbosa helophyta humilis* (группа формаций низкотравных гелофитов), *Aquiherbosa genuina radicans foliis natantibus* (группа формаций прикрепленных гидрофитов с плавающими листьями), *Aquiherbosa genuina submersa radicans* (группа формаций погруженных прикрепленных гидрофитов). При отборе проб использовалась стандартная методика [4, 6, 13]. Производились укосы в сообществах видов-ценообразователей в период максимального развития в 10-кратной повторности, при этом выбирались разнообразные типы местообитаний. Для определения показателей годовой продукции применялась последовательность расчетов, общепринятая в мировой и отечественной практике при

балансовых исследованиях потоков вещества и энергии в экосистемах [8, 9, 12, 13, 19, 27]. Определение площадей фитоценозов основывалось на собственной экспертной оценке, с применением топографической основы (масштаб 1:50000) и оригинальных схем растительности оз. Б. Миассово.

Результаты и обсуждение. Как показывают наши данные (табл. 1), наиболее высоко продуктивным видом водных макрофитов в оз. Б. Миассово является высокотравный гелиофит *Typha latifolia*, биомасса которого достигает почти 1400 г/м^2 в воздушно-сухом состоянии. На втором месте по этому показателю находится высокотравный гелиофит *Phragmites australis* (517 г/м^2) и прикрепленный гидрофит с плавающими листьями *Nuphar lutea* (374 г/м^2). Продуктивность *Stratiotes aloides* (погруженный прикрепленный гидрофит), *Butomus umbellatus* (низкотравный гидрофит), *Potamogeton lucens* (погруженный прикрепленный гидрофит), *Scirpus lacustris* (высокотравный гелиофит) существенно ниже и не превышает 200 г/м^2 . Наименьшей продуктивностью характеризуются *Eleocharis mamillata*, *Sagittaria sagittifolia* (низкотравные гелиофиты), *Potamogeton perfoliatus* (погруженный прикрепленный гидрофит), биомасса которых составляет от 75 до 118 г/м^2 .

Как видно из табл. 2, наибольшим распространением отличается *Phragmites australis*, произрастающий на площади около 26 га, что составляет более 50% всей площади занимаемой макрофитами. В 3-5 га оценивается площадь, занимаемая *Nuphar lutea*, *Potamogeton lucens*, *Potamogeton perfoliatus*, *Stratiotes aloides*, *Typha latifolia*. Площадь, занимаемая другими видами, крайне мала и не превышает 0,3-0,5 га, суммарно около 3% от площади занимаемой всеми макрофитами. Это и определяет, в конечном счете, вклад разных видов макрофитов в их общую годовую продукцию, оцениваемую в 260 т воздушно-сухой массы (табл. 2). Основным продуцентом из числа водных макрофитов в озерной экосистеме Б. Миассово является высокотравный гелиофит *Phragmites australis*, на долю которого приходится почти 60% годовой продукции органического вещества. Содоминирующим видом в этом процессе выступает также высокотравный гелиофит *Typha latifolia*. Его доля в годовой продукции органического вещества составляет около 26%. Достаточно высокий вклад в общегодовую продукцию вносит и прикрепленный гидрофит с плавающими листьями *Nuphar lutea* – около 8%. Данные три вида, как было отмечено нами выше, отличаются и высокой биологической продуктивностью. Остальные виды выступают как минорные продуценты и на их долю суммарно приходится лишь около 6% общегодовой продукции органического вещества водными макрофитами. Все они отличаются и относительно невысокой биологической продуктивностью.

Таблица 1. Продуктивность доминантных видов водных макрофитов оз. Б. Миассово*

Доминант	B_{bc} г/м ²	P_1 / P_2 г/м ²	P_3 г/м ²	P_4 С г/м ²	P_5 ккал/м ²
<i>Potamogeton lucens</i> L.	162,22±15,23	194,7/181,1	153,9	70,8	708
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	74,5±8,83	89,4/83,2	70,7	32,8	328
<i>Stratiotes aloides</i> L.	196,5±16,43	235,8/219,3	186,4	86,5	865
<i>Nuphar lutea</i> (L.) Smith	373,8±126,4	448,2/416,8	375,1	174,1	1741
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	517,3±66,63	620,76/577,3	571,1	265,0	2650
<i>Scirpus lacustris</i> L.	165,8±21,38	198,86/184,9	183,0	84,9	849
<i>Typha latifolia</i> L.	1360±191,13	1632/1517,8	1501,4	696,6	6966
<i>Butomus umbellatus</i> L.	169±25,75	388,7/361,5	357,6	165,9	1659
<i>Sagittaria sagittifolia</i> L.	78,9±17,4	181,47/168,8	167,0	77,5	775
<i>Eleocharis mamillata</i> Lindb. fil.	118,2±17,22	271,86/252,8	250,1	115,1	1151

*Примечания: B_{bc} – средняя фитомасса (воздушно-сухой вес); P_1 – чистая первичная продукция надземных органов (воздушно-сухой вес); P_2 – чистая первичная продукция надземных органов (абсолютно сухой вес); P_3 – общая продукция органического вещества; P_4 – общая продукция органического вещества в углеродном эквиваленте; P_5 – общая продукция в энергетическом эквиваленте

Таблица 2. Годовая продукция макрофитов оз. Б. Миассово*

Доминант	S, га	$P_{год}(B_{ac})$, т	$P_{орг}$, т	$C_{год}$, т	$E_{год}$, ккал.
<i>Potamogeton lucens</i> L.	4	7,24	6,15	2,83	$2,83 \times 10^7$
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	3	2,50	2,12	0,98	$9,8 \times 10^6$
<i>Stratiotes aloides</i> L.	4,8	10,53	8,95	4,15	$4,15 \times 10^7$
<i>Nuphar lutea</i> (L.) Smith	5,2	21,67	19,51	9,10	$9,1 \times 10^7$
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud	25,8	148,94	147,34	68,37	$6,837 \times 10^8$
<i>Scirpus lacustris</i> L.	0,4	0,74	0,73	0,34	$3,4 \times 10^6$
<i>Typha latifolia</i> L.	4,3	65,27	64,56	29,95	$2,995 \times 10^8$
<i>Butomus umbellatus</i> L.	0,4	1,45	1,43	0,66	$6,6 \times 10^6$
<i>Sagittaria sagittifolia</i> L.	0,5	0,84	0,83	0,39	$3,9 \times 10^6$
<i>Eleocharis mamillata</i> Lindb. fil.	0,3	0,76	0,75	0,35	$3,5 \times 10^6$
Итого	48,7	259,94	252,37	117,12	$1,1712 \times 10^9$

*Примечания: S – занимаемая площадь; $P_{год}(B_{ac})$ – годовая продукция, (абсолютно сухой вес); $P_{орг}$ – годовая продукция органического вещества; $C_{год}$ – годовая продукция в углеродном эквиваленте; $E_{год}$ – годовая продукция энергии

Выводы: водные макрофиты в экосистеме оз. Б. Миассово обладают высокой биологической продуктивностью, особенно такие виды как *Typha latifolia*, *Phragmites australis* (высокотравные гелиофиты) и *Nuphar lutea* (прикрепленный гидрофит с плавающими листьями). Годовая продукция органического вещества макрофитами оценивается в 250 т или 117 т углерода. Наибольший вклад в этот процесс вносят наиболее продуктивные и распространенные виды – *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *Nuphar lutea*, *Stratiotes aloides* – на долю которых суммарно приходится свыше 90% продуцируемого макрофитами органического вещества. Именно эти виды определяют основные особенности продукционных процессов в исследуемой озерной экосистеме, а также осадконакопления и деструкции органического вещества, в том числе, как можно полагать, и процессы, связанные с образованием и выносом метана.

Работа выполнена при поддержке Президиума УрО РАН (проект №12-М-45-2051).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Вейсберг, Е.И. Структура и динамика сообществ макрофитов озер Ильменского заповедника. – Миасс, 1999. 122 с.
2. Винберг, Г.Г. Первичная продукция водоемов. – Минск: Изд-во АН БССР, 1960. 330 с.
3. Дзюбан А.Н. Метан и микробиологические процессы его трансформации в воде верхневолжских водохранилищ // Водные ресурсы. 2002. Т. 29, № 1. С. 68-78.
4. Катанская, В.М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. Методы изучения. – Л.: Наука, 1981. 187 с.
5. Колесников, Б.П. Очерк растительности Челябинской области // Флора и лесная растительность Ильменского государственного заповедника им. В.И. Ленина / Тр. Ильм. гос. заповед. им. В.И. Ленина. Вып. VIII. – Свердловск, 1961. С. 105-129.
6. Корелякова, И.Л. Растительность Кременчугского водохранилища. – Киев: Наукова Думка, 1977. 200 с.
7. Куянцева, Н.Б. Прибрежно-водная растительность озер Ильменского заповедника (Южный Урал) // Гидробиотика: методология, методы. – Рыбинск, 2003. С. 169-171.
8. Лавренко, Е.М. Основные вопросы изучения биологической продуктивности наземных растений и их сообществ / Е.М. Лавренко, В.М. Понятовская // Бот. журн. 1967. Т. 52, № 11. С. 1549-1562.

9. Папченков, В.Г. Продукционные исследования в работах гидробиологов. Тез. докл. V Всеросс. конф. по водным растениям «Гидробиотика-2000». – Борок, 2000. С. 105-108.
10. Папченков, В.Г. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. – Ярославль: ЦМП МУБиНТ, 2001. 200 с.
11. Распопов, И.М. Высшая водная растительность больших озер Северо-Запада СССР. – Л., 1985. 200 с.
12. Распопов, И.М. Высшая водная растительность Ладожского озера // Тр. лаборатории озераедения Ленинградского университета. 1968. № 21. С. 16-72.
13. Распопов, И.М. Продукция макрофитов водоемов с замедленным водообменном: основные понятия, методы изучения // Гидробиотика: методология, методы: Материалы Школы по гидробиотике (п. Борок, 8-12 апр. 2003 г.). – Рыбинск: ОАО «Рыбинский Дом печати», 2003. С. 146-150.
14. Романенко, В.И. Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоемах. – Л.: Наука, 1985. 295 с.
15. Россолимо, Л.Л. Олиготрофия озер Южного Урала / Л.Л. Россолимо, Е.И. Фёдорова // Антропогенный фактор в развитии озер. – М., 1967. С. 5-44.
16. Садчиков, А.П. Гидробиотика: Прибрежно-водная растительность / А.П. Садчиков, М.А. Кудряшов. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. 240 с.
17. Экология озера Большое Миассово. Под редакцией А.Г. Рогозина, В.А. Ткачева. – Миасс: ИГЗ УрО РАН, 2000. 318 с.
18. Dacey, J.W.H. Methan efflux from lake sediments through water lilies / J.W.H. Dacey, M.J. Klug // Science. 1979. 203. P. 1253-155.
19. Hutchinson, G.E. A treatise on Lymnology. III / Lymnological botany // New York, London, Sydney, Toronto: Jhon Wiley & Sons, 1975. 660 p.
20. Hooper, F. Eutrophication indices and their relations to other indices of ecosystem change // Eutrophication: causes, consequences, correctives. – Wisconsin, 1969. P. 225-235.
21. Kamp-Nielsen, L. Nutrient balance for Lake Esrom. Joint Lake Research Project. Final Report. – Hillerod, Denmark, 1974. P. 63-72.
22. Sebachner, D.I. Metane emissions to the atmosphere through aquatic plants / D.I. Sebachner, R.C. Harris, K.B. Barlett // J. Environ. Qual. 1985. 14. P. 40-46.
23. Smith, L.K. Seasonality of methane emissions from the lakes and associated wetlands of the Colorado Rockies / L.K. Smith, W.M. Lewis // Global geochemical cycles. 1992. Vol. 6, № 4. P. 323-328.
24. Ohle, W. Der Stoffhaushalt der Seen als Grundlage einer allgemeinen Stoffwechsel-dynamik der Gewässer // Kieler Meeresforsch. 1962. 18(3). P. 107-120.
25. Wetzel, R.G. Primary productivity of aquatic macrophytes // Int. Verein Lymnol. 1964. Bd. 15. P. 426-436.
26. Wetzel, R.G. Techniques and problems of primary productivity measurements in higher aquatic plants and periphyton // Primary productivity in aquatic environments. University of California press. 1969. Berkeley CA P/ 249-261.
27. Westlake, D.F. The production ecology of wetlands / D.F. Westlake, J. Kvet, A. Szepanski. – Cambridge: Cambridge University Press, 1998. 568 p.

THE ROLE OF AQUATIC MACROPHYTES IN ORGANIC SUBSTANCE CIRCULATION IN THE FOOTHILL LAKE BIG MIASSOVO (SOUTH URAL)

© 2013 V.A. Mukhin¹, E.I. Veysberg², N.B. Kuyantseva², N.V. Zolotareva¹,
E.N. Podgayevskaya¹

¹ Institute of Plant and Animal Ecology UrB RAS, Ekaterinburg

² Ilmen State Nature Reserve UrB RAS, Miass

Production indicators of dominant model phytocenoses of aquatic vegetation in Big Miassovo lake are investigated. The contribution of representatives of various ecological groups of macrophytes in synthesis of organic substance is estimated. It is shown that macrophyte vegetation plays large role in carbon circulation in the lake ecosystem being rather undisturbed standard of group of foothill lakes in South Ural.

Key words: macrophyte vegetation, South Ural, foothill lakes, carbon circulation

Viktor Mukhin, Doctor of Biology, Professor, Chief of the Biodiversity of Flora and Mycobiota Laboratory. E-mail: victor.mukhin@ipae.uran.ru
Elena Veisberg, Candidate of Biology, Senior Research Fellow. E-mail: veisberg@mineralogy.ru
Nadezhda Kuyantseva, Candidate of Biology, Research Fellow. E-mail: borisovna@mineralogy.ru
Nataliya Zolotareva, Candidate of Biology, Senior Research Fellow. E-mail: nvp@ipae.uran.ru
Elena Podgayevskaya, Candidate of Biology, Research Fellow. E-mail: enp@ipae.uran.ru