

ПРОДУКТИВНОСТЬ *PHRAGMITES AUSTRALIS* TRIN. EX STEUD В ОЗЕРАХ ХАКАССКОЙ СТЕПИ

В данной работе рассмотрены продукционные характеристики тростника в соленых озерах Хакасской степи. Проведено сравнение фотосинтетических параметров листьев *Ph. australis* всех ярусов с помощью РАМ флуориметра.

Высокая продукция отмечена для сообщества *Phragmites australis*, расположенного в соленой части озера Шира. Наименее продуктивными были сообщества тростника в опресненной части озера устья реки Сон.

Ключевые слова: *Phragmites*, продуктивность, флуоресценция, соленые озера, Хакасия.

E. A. Ivanova, N.I. Shevchenko,
N.A. Gaevski, Yu.A. Spiridonova

PHRAGMITES AUSTRALIS TRIN. EX STEUD PRODUCTIVITY IN THE KHAKASS STEPPE LAKES

The cane production characteristics in the Khakass steppe salt lakes are considered in the article. Comparison of the *Ph. australis* leaf photosynthetic parameters on all layers by means of PAM fluorometer is conducted. High production is registered for the *Phragmites australis* community which is located in the Shira lake salt part. The cane communities in the lake desalt part in the Son river mouth were least productive.

Key words: *Phragmites*, productivity, fluorescence, salt lakes, Khakassia.

Введение. Высшие водные растения представляют начальное звено в круговороте веществ и энергии как первичные продуценты органического вещества, вовлечены в разнообразные процессы, играют огромную роль в поддержании сложившегося естественного равновесия в водоемах и в природных ландшафтах в целом. Определение первичной продукции высшей водной растительности (макрофитов) – одна из приоритетных задач изучения водоемов современной гидроэкологии. В степных озерах со значительной долей литорали продукция высших водных растений может быть значительной. Изучение продуктивности макрофитов обычно строится на определении зеленой (наземной) массы [2, 4]. Из-за отсутствия достаточного количества данных по продуктивности макрофитов многие исследователи [1] считали возможным принять за годовую продукцию их максимальную фитомассу, которая у большинства видов растений наблюдается в период цветения. Известно, что высокопродуктивными являются заросли *Ph. australis* [9]. По данным В. Г. Папченко [6], у тростника максимальная биомасса отмечается в начале июля – во время появления соцветий. Целью работы явилось изучение продуктивности тростника южного в двух соленых озерах Хакасской степи.

Материалы и методы исследования. Исследования проводили на озерах Шира и Шунет (Республика Хакасия) в конце июля – начале августа 2009–2011 годов, так как в условиях Хакасии появление соцветий у тростника южного приходится на это время. Определение продуктивности тростника проводили на основе укосов фитомассы с учетных площадок с помощью геоботанической рамки размером 50x50 см [2]. Пробы отбирали в наиболее типичных участках фитоценозов в трехкратной повторности. Укосы разбирали по видам растений и взвешивали в сыром и в воздушно-сухом состоянии (растения высушивались в сушильном шкафу при 105°C).

В работе использовались поправочные коэффициенты, учитывающие особенности экологических групп водных и прибрежно-водных макрофитов [2, 5]. Для расчета чистой первичной продукции надземных органов (P_1 , г/м²; кг/м²) по их максимальной надземной воздушно-сухой фитомассе ($B_{вс}$, г) использовался коэффициент (K_p). Для высокотравных гелофитов он равен 1,2

$$P_1 = K_p \cdot B_{вс}.$$

Далее рассчитывали общую продукция органического вещества от абсолютно сухого (P_2 , г/м²):

$$P_2 = K_{орг} \cdot P_1,$$

где $K_{орг}$ – поправочный коэффициент для расчета содержания органического вещества в общей продукции наземных органов (для гелофитов – 0,92).

Затем рассчитали продукцию углерода (С) на единицу площади (P_3 , г/м²) и переводили продукцию макрофитов в энергетические единицы (P_4 , ккал/м²):

$$P_3 = (P_2 \cdot 46,4\%) / 100\%,$$

$$P_4 = P_3 \cdot 10 \text{ ккал/м}^2.$$

Фотосинтетические параметры у листьев *Ph. australis* всех ярусов исследовали с помощью ПАМ-флуориметра (JUNIOR-PAM, Walz, Германия) в режиме регистрации «быстрой световой кривой» фотосинтетического транспорта электронов [8]. Интенсивность светового потока была от 30 до 1500 мкмоль фотонов \times м² \times с⁻¹, время световой экспозиции на заданном уровне интенсивности – 10 с. Параметры световой кривой – угол наклона (α), максимальную скорость транспорта электронов (ETR_{max}), насыщающую интенсивности света (I_k) определяли на основе регрессионного анализа, используя выражение

$$ETR = ETR_{max} \times \tanh(\alpha \times I / ETR_{max}).$$

Скорость электронного транспорта, регистрируемую ПАМ в мкмольх электронов \times м⁻² \times с⁻¹, переводили в скорость фотосинтетической фиксации углекислого газа (Γ CO₂ \times м⁻² \times ч⁻¹), принимая квантовый расход ФС2 при выделении 1 молекулы O₂ равным 4, а стехиометрическое отношение CO₂/O₂ при фотосинтезе – равным 1. Флуоресценцию регистрировали без отделения листа от растения, что позволяло снизить возможный устьичный контроль фотосинтеза [3]. В каждой изученной выборке *Ph. australis* анализировали по 4 растения.

Результаты и их обсуждение. Минерализованные озера Ширы и Шунет находятся на территории северной части Республики Хакасия. Озеро Ширы – место расположения курорта республиканского значения (входит в состав курортов Российской Федерации) и детского санатория. Юго-восточная часть озера Ширы, включающая приозерные террасы и заболоченную долину, по которой протекает впадающая в озеро Ширы река Сон, принадлежит государственному природному заповеднику «Хакасский» [7]. Слабосоленое озеро Ширы расположено в неглубокой горной впадине, в 340 км от Красноярска, в 160 км от г. Абакана. Его окружает лесостепь с мягкими очертаниями дальних предгорий. Максимальная глубина озера – 21 м, длина озера – 9,35 км, ширина – 5,3 км, площадь зеркальной поверхности – 35,9 км², длина береговой линии – 24,5 км. Минерализация воды в озере Ширы колеблется от 17,3 до 30 г/л в зависимости от глубины забора проб. Вода щелочная с рН 8,9–9,2. По составу озерная влага слабощелочная, сульфатно-хлоридная, натриево-калиевая, с повышенным содержанием магния. Содержание солей в воде на протяжении всего озера неодинаково, наиболее высокое в центральной части [10]. Пробы макрофитов отбирали на двух станциях: станция 1 (солонная часть озера) – в литорали озера, 1 км южнее курортной зоны и станция 2 – устье реки Сон (опресненная часть озера).

Озеро Шунет расположено в 10 км юго-западнее озера Ширы и является грязевым источником лечебного сырья и местом отдыха туристов. Это небольшой водоем, имеющий длину 0,9 км, расположен в узкой горной впадине. Площадь водного зеркала составляет 0,46 км², длина береговой линии – 2,9 км, максимальная глубина достигает 3,0 м. Вода озера отнесена к рассолам со слабощелочной реакцией (рН=8,4). Уровень минерализации воды оставляет 61,3 г/л. Оба озера характеризуются упрощенной трофической цепью (они безрыбные) и наличием придонного сероводородного слоя [7; 10].

В литорали соленых озер (глубиной от 0,5 до 1,5 м) было выявлено всего два вида высших водных растений, относящиеся к отделу Magnoliophyta: гидрофит – рдест гребенчатый *Potamogeton pectinatus* L., и геллофит – тростник южный, или обыкновенный *Phragmites australis* Trin. ex Steud. Эти два вида чаще всего образовывали разорванные чистые ассоциации, чередуясь между собой, или по периферии зарослей тростника южного отмечено небольшое вкрапление рдеста гребенчатого. В сублиторали озера Шунет обнаружен еще *Juncus filiformis* L.

Значения воздушно-сухой фитомассы тростника южного в течение трех лет значительно варьировали по станциям озера Ширы и изменялись в пределах от 320,1 до 1497,6 г/м². Наибольшая биомасса тростника зарегистрирована в 2010 на станции 1 озера Ширы. Несколько ниже (различия недостоверны), были значения фитомассы на станции 2 (опресненная часть озера). В озере Шунет в 2010 году выявлена самая низкая фитомасса тростника (102,4 г/м²), в то же время в 2011 году воздушно-сухая фитомасса была достаточно высокой (табл.).

Величины максимальной скорости фотосинтетической фиксации CO₂, угла наклона световой кривой и интенсивности насыщения у листьев *Ph. australis* на исследованных участках достоверно не различались (см. табл.). Средняя величина максимальной скорости фотосинтетической фиксации CO₂ составляла в 2011 году 1,32 \pm 0,01 г CO₂ \times м⁻² \times ч⁻¹, угла наклона световой кривой – 0,0021 \pm 0,0002, насыщающей интенсивности света – 638 \pm 72 мкмоль фотонов \times м⁻² \times с⁻¹. Можно предположить, что в отсутствии достоверных различий параметров световой кривой фотосинтеза решающими для первичной продукции у *Ph. australis* могут стать морфологические и анатомические особенности листьев.

Из литературных источников известно, что сплошной одинаковый рост *Phragmites* и его большая высота делает тростниковые сообщества высокопродуктивными. Для некоторых экосистем пресноводных и со-

лоноватоводных экосистем Северной Америки уровень надземной биомассы тростника изменяется в диапазоне 980–2642 г/м² сухой массы в пресноводных болотистых экосистемах, 727–3663 г/м² сухой массы в солоноватых местообитаниях [9]. Полученные нами результаты фитомассы тростника южного имеют более низкие показатели, чем сообщества в солоноватых экосистемах Северной Америки.

Продуктивные характеристики *Ph. australis* в озерах Шира и Шунет в 2009–2011 гг.

Показатель	Шира						Шунет	
	Станция 1			Станция 2			2010	2011
	2009	2010	2011	2009	2010	2011		
Воздушно-сухая фитомасса (105°C), г/м ²	506,7± 87,7	1497,6± 306,6	508,0± 97,5	402,2± 62,1	320,1± 34,1	533,5± 19,3	102,4± 21,7	898,3± 231,4
Чистая первичная продукция надземных органов (P ₁ , г/м ²)	759,9± 131,5	2246,4± 459,9	762,0± 146,2	603,2± 93,2	480,2± 51,1	800,2± 28,9	153,6± 32,5	1347,4± 347,1
Общая продукция органического вещества (P ₂ , г/м ²)	699,2± 121,0	2066,7± 423,1	701,0± 134,5	554,9± 85,7	441,8± 46,9	736,2± 26,6	141,3± 29,9	1239,6± 319,4
Продукция углерода (С) на единицу площади, (P ₃ , г/м ²)	324,4± 56,1	958,9± 196,3	325,3± 62,4	257,5± 39,8	207,9± 24,8	341,6± 12,4	65,6± 13,9	575,2± 148,2
Продукция энергии на единицу площади, P ₄ , ккал/м ² год	3244,2± 561,4	9889,4± 1963,3	3252,8± 624,3	2575,1± 397,8	2049,9± 218,0	3415,9± 123,6	655,7± 138,7	5751,8± 1481,8
Скорость фотосинтетической фиксации CO ₂ , г CO ₂ × м ⁻² × ч ⁻¹	н/д	н/д	1,43± 0,21*	н/д	н/д	1,21± 0,18*	н/д	1,30± 0,35*
Угол наклона световой кривой фотосинтеза, α (×10 ⁻²)	н/д	н/д	0,21± 0,03*	н/д	н/д	0,24± 0,03*	н/д	0,19± 0,05*
Интенсивность насыщения световой кривой, мкмоль фотонов × м ⁻² × с ⁻¹	н/д	н/д	702± 108*	н/д	н/д	493± 48*	н/д	718± 228*

Примечание: н/д – нет данных, * - показано стандартное отклонение.

Чистая первичная продукция надземных органов, общая продукция органического вещества, продукции углерода и энергии имеют тот же характер распределения по годам и водоемам (см. табл.). Однако, если сравнить продуктивные характеристики тростника южного озер Шира и Шунет с литературными данными, то они более высоки, чем показатели по *Ph. australis* в слабо-соленом водно-болотном урочище Донгузлы (Южный Урал) [5].

Выводы. Таким образом, при относительно невысокой фитомассе 102,4–1497,6 г/м² сухого вещества, продукционные характеристики сообщества *Ph. australis* в соленых озерах Хакасской степи достигают высоких показателей за год (от 655,7 до 9889,4 ккал/м²).

Литература

1. Боруцкий Е.В. Материалы по динамике биомассы макрофитов озер // Тр.ВГБО АН СССР. – Л., 1950. – Т. 2. – С. 43–68.
2. Катанская В.М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. Методы изучения. – Л.: Наука, 1981. – 187 с.
3. Воронин П. Ю., Федосеева Г. П. Устьичный контроль фотосинтеза у отделенных листьев древесных и травянистых растений // Физиология растений. – 2012. – Т. 59. – № 2. – С. 309–315.
4. Корелякова И.Л. Растительность Кременчугского водохранилища. – Киев: Наук. думка, 1977. – 200 с.

5. Куянцева Н.Б., Исакова Н.А. Продукционная характеристика растительности водно-болотного урочища Донгузлы (Южный Урал) // Изв. Челябинского научного центра. – 2008. – Вып. 1 (39). – С. 61–66.
6. Палченков В.Г. К изучению сезонной динамики накопления растительной массы гелофитов // Бот. журн. – 1985. – Т. 70. – № 2. – С. 208–214.
7. Энциклопедия Республики Хакасия / Правительство Республики Хакасия. – Красноярск: Поликом, 2008. – Т. 2. – 320 с.
8. Genty B., Briantais J.-M., Baker N.R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence // Biochim. Biophys. Acta. – 1989. – V. 990. – P. 87–92.
9. A comparison of *Phragmites australis* in freshwater and brackish marsh environments in North America / L.A. Meyerson [et al.] // Wetlands Ecology and Management. – 2000. – № 8. – P. 89–103.
10. Parnachev V.P., Degermendzhy A.G. Geographical, geological and hydrochemical distribution of saline lakes in Khakasia, Southern Siberia // Aquatic ecology. – 2002. – V.36. – № 2. – P.107–122.



УДК 505.2

Ю.М. Дмитриева, С.Э. Бадмаева

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКОЛОГО-ЛАНДШАФТНОГО АНАЛИЗА В ОРГАНИЗАЦИИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

В статье рассмотрены основные принципы природопользования. Установлено, что ландшафтный подход к природопользованию позволяет определить направленность обмена веществ и энергии на территории. Эколого-ландшафтный анализ отражает пространственное расположение природных образований.

Ключевые слова: ландшафт, экология, территория, природопользование, принцип сохранности.

Yu. M. Dmitrieva, S.E. Badmaeva

METHODOLOGICAL BASES OF THE ECOLOGICAL LANDSCAPE ANALYSIS USE IN THE PROCESS OF NATURE MANAGEMENT ORGANIZATION

The basic principles of nature management are considered in the article. It is determined that the landscape approach to nature management allows to characterize the direction of metabolism and energy on the territory. Ecological and landscape analysis reflects the natural feature spatial location.

Key words: landscape, ecology, territory, nature management, principle of safety.

В настоящее время под природопользованием понимается совокупность всех форм эксплуатации природно-ресурсного потенциала и мер по его сохранению. Так как использование природных ресурсов служит удовлетворению материальных и культурных потребностей общества, оно должно осуществляться с соблюдением следующих принципов:

Принцип рационального природопользования, который как система деятельности призван обеспечить экономную эксплуатацию природных ресурсов и условий в наиболее эффективном режиме их воспроизводства.

Принцип сохранности природных ресурсов, который основывается на законе ограниченности природных ресурсов и подразумевает, что существует предел изъятия любого природного ресурса.

Принцип права собственности на природные ресурсы, который учитывает фактор государственной, муниципальной и частной собственности на конкретные природные объекты.

Рациональное природопользование предусматривает возможность воспроизводства природных ресурсов для обеспечения потребностей будущих поколений [1].

Основным моментом природопользования является непосредственно сама эксплуатация природных ресурсов, их вовлечение в хозяйственный оборот. При этом неминуемо происходят изменения окружающей среды с преобразованием природных экосистем. Сделать это преобразование менее болезненным, обеспе-