



24 формаций 8 групп формаций. Вполне вероятно, что дальнейшее изучение растительности малых искусственных водоемов данной территории в ближайшее время позволит вновь пересмотреть и расширить имеющуюся информацию.

Список литературы

1. Закурдаева М. В., Седова О. В., Шишкина Е. С. Флора и растительность малых искусственных водоемов

города Саратова // Вестн. КрасГАУ. 2013. Вып. 4(79). С. 63–69.

2. Катанская В. М. Высшая водная растительность континентальных водоёмов СССР : методы изучения. Л. : Наука. Ленингр. отд-е, 1981. 187 с.
3. Папченков В. Г. Растительный покров водоёмов и водотоков Среднего Поволжья. Ярославль : ЦМП МУБиНТ, 2001. 213 с.
4. Папченков В. Г. Картирование растительности водоёмов и водотоков // Гидробиотика : методология, методы. Рыбинск, 2003. С. 132–136.

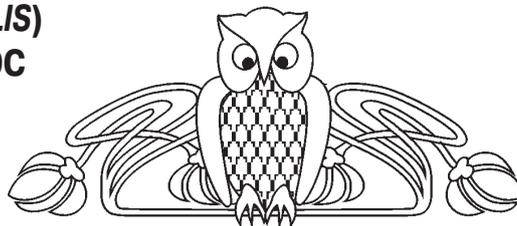
УДК [582.542.11:581.174.1](282.247.416)

СОСТОЯНИЕ ВЫСШЕЙ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ ТРОСТНИКА ЮЖНОГО (*PHRAGMITES AUSTRALIS*) ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ БАЛАКОВСКОЙ АЭС

Е. А. Танайлова¹, К. Г. Грищенко¹, М. Ю. Воронин²

¹Государственный научно-исследовательский институт промышленной экологии, Саратов

²Саратовский государственный университет
E-mail: voroninmj@yandex.ru



Высшая водная растительность водоема-охладителя Балаковской АЭС в основном представлена одноярусными монодоминантными (*Phragmites australis*) фитоценозами. Продукционные характеристики фитоценозов тростника южного и состояние его фотосинтетических пигментов свидетельствуют об эффективной адаптации к существованию в антропогенно трансформированной экосистеме водоема-охладителя Балаковской АЭС.

Ключевые слова: водоем-охладитель, высшая водная растительность, *Phragmites australis*, фотосинтетические пигменты.

State of Highest Water Vegetation and Photosynthetic Pigments of Common Reed (*Phragmites australis*) of the Balakovo NPS Cooling Reservoir

Е. А. Tanailova, K. G. Grishchenko, M. Yu. Voronin

Higher aquatic vegetation of the Balakovo NPS cooling reservoir is mainly represented by the single-stage plant communities with a predominance of *Phragmites australis*. Production characteristics phytocenoses of *Phragmites australis* and state of its photosynthetic pigments show the effective adaptation to the substantially transformed ecosystem of the Balakovo NPS cooling reservoir.

Key words: cooling reservoir, higher aquatic vegetation, *Phragmites australis*, photosynthetic pigments.

В водных экосистемах ключевым звеном трофической цепи является высшая водная рас-

тительность. Макрофиты способны аккумулировать биогенные элементы (главным образом азот и фосфор), делая их недоступными для низших водных растений, тем самым предотвращая бурное размножение зеленых и сине-зеленых водорослей [1], вызывающих эвтрофикацию водоема и снижающих пригодность воды для технических целей. Прибрежно-водные и водные растения задерживают взвешенные и слабо растворимые органические вещества, эффективно аккумулируют многие загрязнители, в том числе тяжелые металлы, повышают количество растворенного кислорода в воде, что в условиях сильной антропогенной нагрузки приобретает особую важность [2].

Экологическая пластичность растений определяется комплексом морфофизиологических приспособлений, использование которых позволяет растительным организмам выживать в техногенных условиях. Один из адаптационных механизмов растений предполагает перестройку и изменение структуры хлоропласта и его компонентов, в связи с чем состояние пигментной системы может служить надежным показателем для диагностики нарушения состояния клетки [3].



Целью данной работы была оценка состояния высшей водной растительности и пигментного комплекса тростника южного (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) в водоемоохладителе Балаковской АЭС (БАЭС) как показателей адаптации растений к существованию в антропогенно трансформированной экосистеме.

Материал и методы исследования

Водоем-охладитель БАЭС создан на участке Саратовского водохранилища; его размеры составляют – 7.6×3.3 км, площадь – 26.1 км^2 , объем – 150 млн м^3 . Пуски энергоблоков БАЭС состоялись с декабря 1985 г. по май 1993 г.

Характер трансформации химического состава воды обычен для замкнутых водоемов-охладителей – повышение pH, жесткости воды и содержания минеральных солей [4].

Внутри водоема-охладителя существует выраженный градиент температур. Исследованные площадки располагались в тепловодной зоне (отводящий канал) водоема-охладителя (№ 1–3). В период исследований (1–4.07.13 г.) температура воды составляла $26\text{--}29^\circ\text{C}$. В холодноводной зоне (приводящий канал) на площадках №№ 4–6, температура воды была $24\text{--}25^\circ\text{C}$. Температура воды, зафиксированная в это же время на площадках Саратовского водохранилища № 7, № 8, составила $22\text{--}23^\circ\text{C}$ (рисунок).

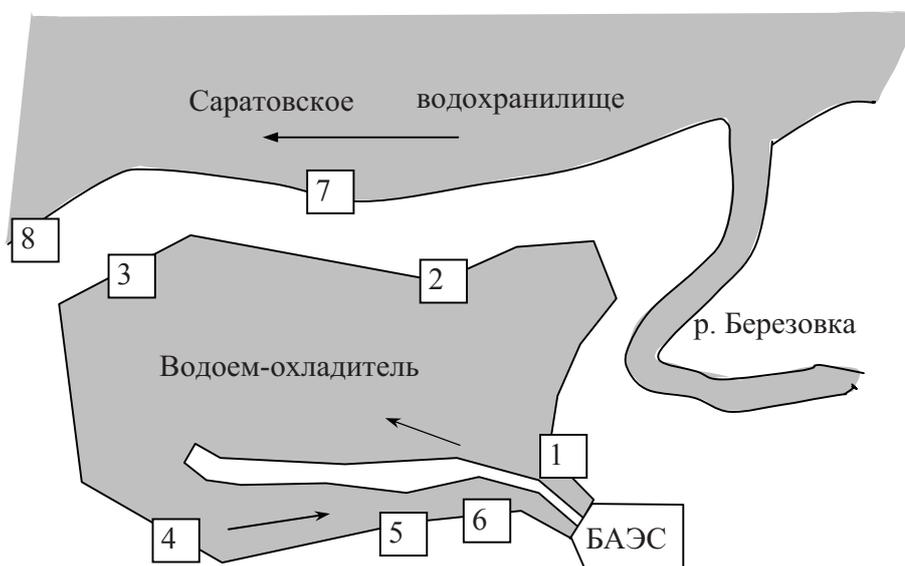


Схема расположения площадок на акватории водоема-охладителя БАЭС (№ 1–6), на Саратовском водохранилище (№ 7, 8)

Изучение флоры и растительности проводилось на площадках № 1–8 путем детально-маршрутного исследования с подробным описанием водных и прибрежно-водных фитоценозов [5]. Определение фитомассы выполнено на учетных площадках квадратной формы размером 0.25 м^2 . На каждой пробной площади укосы брались в трехкратной повторности. Укосы взвешивали в сыром, а впоследствии в воздушно-сухом состоянии. До абсолютно сухой массы пробы доводили в сушильном шкафу при 105°C . По массе высушенной навески определяли абсолютно сухую массу всего укоса. Для определения продуктивности по максимальной фитомассе был использован коэффициент 1.2 [6]. Первичным показателем продуктивности принята надземная абсолютно-сухая фитомасса (г/м^2). Для вы-

ражения продукции в органическом веществе применен коэффициент 0.92 [6]. Доля углерода в органическом веществе водных растений принята равной 46.4% [7].

На этих же площадках отбирали растения тростника южного для определения содержания пигментов спектрофотометрическим методом. С каждого растения отбирали по одному, четвертому от флагового, листу, проводили экстракцию пигментов ацетоном и по оптической плотности определяли содержание хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов в трехкратной повторности [8]. Количество пигментов выражали в миллиграммах в расчете на грамм сырой массы листа. Для статистического анализа данных применялся непараметрический критерий Манна – Уитни (U) [9].



Результаты и их обсуждение

За период исследований в составе высшей водной растительности водоема-охладителя БАЭС и мелководий Саратовского водохранилища вблизи дамбы водоема-охладителя зарегистрировано 22 вида водных и прибрежно-водных растений, относящихся к 17 семействам, двум классам (Двудольные и Однодольные) и двум отделам (Покрытосеменные и Хвощевидные). Ценотический состав высшей водной растительности в водоеме-охладителе представлен тремя ассоциациями, относящимися к двум формациям. Растительность мелководий Саратовского водохранилища представлена четырьмя ассоциациями, относящимися к трем формациям.

Водоем-охладитель БАЭС

Тип растительности

Водная растительность – *Aquiphytosa*

А. Группа классов прибрежно-водная растительность – *Aquiherbosa vadosa*

І. Класс формаций. Воздушно-водная (гелофитная) растительность – *Aquiherbosa helophyta*

1. Группа формаций высокотравных гелофитов – *Aquiherbosa helophyta procera*

1.1. Формация тростника южного – *Phragmiteta australis*

Асс.: 1) *Phragmites australis*; 2) *Phragmites australis* + *Typha laxmannii*.

1.2. Формация рогоза Лаксмана – *Typheta laxmannii*.

Асс.: 1) *Typha laxmannii* + *Calamagrostis epigeios*.

Саратовское водохранилище

Тип растительности

Водная растительность – *Aquiphytosa*

А. Группа классов настоящая водная растительность – *Aquiphytosa genuina*

І. Класс формаций настоящая водная (гидрофитная) растительность – *Aquiphytosa genuina*

1. Группа формаций погруженных укореняющихся гидрофитов – *Aquiherbosa genuina submersa radicans*

1.1. Формация рдеста пронзеннолистного – *Potameta perfoliati*.

Асс.: 1) *Potamogeton perfoliatus*; 2) *Potamogeton perfoliatus* + *Potamogeton pectinatus*;

1.2. Формация рдеста гребенчатого – *Potameta pectinati*.

Асс.: 1) *Potamogeton pectinatus*.

Б. Группа классов прибрежно-водная растительность – *Aquiherbosa vadosa*

ІІ. Класс формаций. Воздушно-водная (гелофитная) растительность – *Aquiherbosa helophyta*

1. Группа формаций высокотравных гелофитов – *Aquiherbosa helophyta procera*

1.1. Формация тростника южного – *Phragmiteta australis*

Асс.: 1) *Phragmites australis*.

Из воздушно-водной растительности доминируют и являются фоновыми для всего водоема-охладителя сообщества тростника южного. В тепловодной части водоема-охладителя (пл. № № 1 – 3) ширина пояса гелофитов в среднем составляет 40–60 м, местами до 150–200 м. В холодноводной части (пл. №№ 4 – 6) прерывистый пояс гелофитов занимает в среднем 5–7 м, на значительном протяжении прибрежной полосы отсутствует, однако местами достигает 50 м. Высота тростника составляет 2–3.5 м, в отдельных куртинах до 5 м. Сообщества приурочены к глубинам до 0.5–1 м (иногда 2.5 м) и выше уреза воды. Сообщества гидрофитов в водоеме-охладителе БАЭС практически отсутствуют. Отсутствие гидрофитной растительности вероятнее всего объясняется биомелиоративными мероприятиями – зарыблением водоема растительными видами рыб.

Для растительности мелководий Саратовского водохранилища вблизи дамбы водоема-охладителя (пл. № 7, №8) характерно наличие обширного (50–200 м) пояса гидрофитов, сформированного более или менее разреженными сообществами рдеста пронзеннолистного и рдеста гребенчатого. Ширина пояса гидрофитов зависит, по-видимому, от размера мелководной полосы водохранилища. Выше уреза воды и до глубины 1 м находится прерывистый пояс гелофитов шириной 1–5 м (редко до 10 м), доминантом которого является тростник южный.

Фитомасса и продукция тростника максимальны в тепловодной части водоема-охладителя (табл. 1). В холодноводной зоне показатели фитомассы на тех площадках, где тростник присутствует, не отличаются от значений тепловодной зоны ($U = 22$, $p = 0.56$), однако, средние показатели по холодноводной зоне ниже за счет прерывистости пояса гелофитов. По показателю чистой первичной продукции сообщества тростника водоема-охладителя БАЭС являются очень высокопродуктивными [10], что в целом характерно для этого типа фитоценозов.



Таблица 1

Средние значения фитомассы и продукции *Phragmites australis* в различных температурных зонах

№ точки	Сухая масса, г/м ²	Чистая первичная продукция, г/м ²	Общая продукция органического вещества, г/м ²	Продукция углерода, г/м ²	Продукция энергии, ккал/м ²
Тепловодная часть водоема-охладителя БАЭС					
1	2920	3504	3224	1496	14958
2	3688	4426	4072	1889	18892
3	3660	4392	4041	1875	18749
Среднее	3423	4107	3779	1753	17533
Холодноводная часть водоема-охладителя БАЭС					
4	3876	4651	4279	1986	19855
5	0	0	0	0	0
6	3520	4224	3886	1803	18031
Среднее	2465	2958	2721	1263	12629
Саратовское водохранилище					
7	1428	1713	1577	732	7315
8	1388	1666	1532	711	7110
Среднее	1408	1690	1555	722	7213

Сообщества тростника мелководий Саратовского водохранилища по сравнению с тепловодной и холодноводной зонами водоема-охладителя характеризуются достоверно меньшими значениями фитомассы ($U = 0$, $p = 0.01$ и $U = 0$, $p = 0.003$ соответственно), что соотносится с незначительной шириной пояса гелофитов. Эти фитоценозы являются высокопродуктивными. Возможно, причиной угнетения развития сообществ тростника на мелководьях Саратовского водохранилища является сильная ветровая и волновая нагрузка.

Состояние пигментной системы, динамика и соотношение ее компонентов, по мнению ряда авторов, может служить надежным показателем степени адаптации растений ко многим факто-

рам [11, 12]. Количественные характеристики пигментного комплекса характеризуют состояние как отдельных растений, так и фитоценоза в целом. В результате проведенных исследований отмечено, что в листьях тростника южного, отобранных с растений, произрастающих на холодноводной и тепловодной зонах водоема-охладителя БАЭС, достоверного различия в содержании хлорофилла *a* ($U = 35$, $p = 0.62$), хлорофилла *b* ($U = 30$, $p = 0.35$) и каротиноидов ($U = 34$, $p = 0.13$) не выявлено (табл. 2). Соотношение двух типов зеленых пигментов находится в пределах 2.6–2.7, что свидетельствует о доминировании хлорофилла *a*, общее содержание хлорофиллов превышает количество каротиноидов в 6 раз.

Таблица 2

Средние значения содержания пигментов и их соотношение в листьях *Phragmites australis* в различных температурных зонах

Исследованные зоны водоемов	Хлорофилл, мг/г			Каротиноиды, мг/г	Хл./кар.
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a/b</i>		
Тепловодная часть водоема-охладителя БАЭС	1.08*	0.42*	2.6	0.25*	6.0
Холодноводная часть водоема-охладителя БАЭС	1.1*	0.41*	2.7	0.25*	6.3
Саратовское водохранилище	0.84	0.31	2.8	0.19	6.1

Примечание. * – различия достоверны по сравнению с исследованным участком Саратовского водохранилища ($p \leq 0.05$).

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях тростника, произрастающего в при-

брежной зоне Саратовского водохранилища, достоверно отличается от показателей водо-



ема-охладителя. Содержание всех трех типов пигментов было достоверно меньше, чем на тепловодной (для хлорофиллов a и b $U = 0$, $p = 0.001$; для каротиноидов $U = 1.5$, $p = 0.002$) и на холодноводной (для хлорофилла a $U = 0$, $p = 0.001$, для хлорофилла b и каротиноидов $U = 4.5$, $p = 0.008$) зонах водоема-охладителя. Однако соотношение хлорофилла a и хлорофилла b , общего числа хлорофиллов и каротиноидов составляет 2.8 и 6.1 соответственно, т.е. практически не отличается от водоема-охладителя.

Существующий в водоеме-охладителе градиент температур не оказывает влияние на пигментный комплекс тростника южного. Отмечены различия в содержании пигментов между растениями водоема-охладителя БАЭС и участка Саратовского водохранилища. Соотношение пигментов свидетельствует о нормальном ходе фотосинтетических реакций, характеризующую структурную и функциональную адаптацию фотосинтетического аппарата тростника к условиям среды.

Выводы

Высшая водная растительность водоема-охладителя Балаковской АЭС в основном представлена одноярусными монодоминантными фитоценозами тростника южного. Отсутствие гидрофитной растительности, а также низкое видовое разнообразие изученных фитоценозов объясняются применением мероприятий по сокращению численности водных растений в водоеме-охладителе. Фитомасса и продукция сообществ тростника южного в водоеме-охладителе достоверно выше, чем на изученном участке Саратовского водохранилища.

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях тростника южного, произрастающего на водоеме-охладителе, достоверно выше, чем у растений изученного участка Саратовского водохранилища. Соотношение ассимиляционных пигментов в изученных местообитаниях свидетельствует о стабильном состоянии пигментного комплекса.

Продукционные характеристики фитоценозов тростника южного и состояние его фо-

тосинтетического аппарата, как абсолютного доминанта сообществ, свидетельствуют об эффективной адаптации к существованию в существенно антропогенно трансформированной экосистеме, какой является водоем-охладитель Балаковской АЭС.

Список литературы

1. Матвеев В. И. Экология водных растений : учеб. пособие. Самара : Изд-во Самар. науч. центра РАН, 2005. 282 с.
2. Гунин П. А., Серпокрьлов Н. С., Лейкин Ю. А. Влияние Волгодонской АЭС на водоем-охладитель // Вестн. ТГУ. 2010. Т.15, вып. 5. С. 1602–1609.
3. Рубин А. Б. Биофизика фотосинтеза и методы экологического мониторинга // Технология живых систем. 2005. Т. 2. С. 47–68.
4. Сайт Балаковской АЭС. URL: <http://www.balnpp.gosenergoatom.ru/> (дата обращения: 08.10.2013).
5. Катанская В. М. Высшая водная растительность континентальных водоёмов СССР : методы изучения. Л. : Наука, Ленингр. отд-е, 1981. 187 с.
6. Кокин К. А. Экология высших водных растений. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1982. 160 с.
7. Lieth H. Ökologische Fragestellungen bei der Untersuchung der biologischen Stoffproduktion. 1 Einführung, Definitionen und Wachstumsanalysen // Qualit. Planter. Et Mater. Vegetab. 1965. Vol. 2, № 3. P. 241–261.
8. Практикум по физиологии растений. М. : Агропромиздат, 1990. 271 с.
9. Давиденко Т. Н., Давиденко О. Н., Пискунов В. В., Болдырев В. А. Математические методы в экологии. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2006. 34 с.
10. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. М. : Прогресс, 1980. 326 с.
11. Петренко С. Г., Берштейн Б. И., Волкова Н. В., Оканенко А. С., Островская Л. К., Рейнгард Т. А., Семенюк И. И., Ясников А. А. О механизме участия каротиноидов в образовании АТФ в хлоропластах // Физиология и биохимия культурных растений. 1970. Т. 2, вып. 2. С. 137–141.
12. Кириченко Н. Н., Терлеева П. С. Влияние техногенного загрязнения территории на содержание фотосинтетических пигментов в листьях лекарственных растений // Проблемы современной аграрной науки : материалы междунар. заоч. науч. конф. Красноярск : КрасГАУ, 2009. С. 50–54.