

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

© М.Н. Кислицина

Представлены материалы исследований по оценке влияния поллютантов сточных вод целлюлозно-бумажного комбината на параметры фотосинтетического аппарата погруженных (*Elodea canadensis* Michx., *Potamogeton gramineus* L.) и прибрежно-водных растений (*Alisma plantago-aquatica* L., *Sagittaria natans* Pall.). Показано, что в условиях загрязнения структурно-функциональные характеристики у растений различных экологических групп существенно изменялись. Установлено, что фотосинтетический аппарат прибрежно-водных растений лучше приспособлен к успешному функционированию в условиях загрязнения.

Ключевые слова: водные растения, загрязнение, фотосинтетический аппарат, фотосинтетические пигменты.

**Введение.** Загрязнение гидросистем токсичными веществами, попадающими в водные объекты в результате хозяйственной деятельности человека, способно привести к необратимым изменениям в биоценозах, к резкому увеличению генетического груза в популяциях, к изменению численности и структуры видов или даже их вымиранию [1]. В связи с этим актуальны вопросы прогнозирования последствий влияния промышленных стоков на водные растения – важнейший средообразующий компонент водных экосистем, от которого зависит функционирование гидроценоза в целом. Выживание растений в техногенно нарушенной среде возможно при их успешной адаптации к комплексу изменяющихся условий. При исследовании адаптивных возможностей растений большое значение имеет изучение пластичности фотосинтетического аппарата, его способности приспособливаться к изменяющимся внешним условиям [2].

В связи с этим цель данного исследования – оценка влияния промышленных стоков целлюлозно-бумажного предприятия на фотосинтетический аппарат водных растений.

**Материалы и методы исследования.** Объектами исследования были погруженные

(*Elodea canadensis* Michx., *Potamogeton gramineus* L.) и прибрежно-водные растения (*Sagittaria natans* Pall., *Alisma plantago-aquatica* L.), собранные в р. Ляля Свердловской области в окрестностях Новолялинского целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК).

Вода в р. Ляля после производственных стоков ЦБК по химическому составу варьируется от «очень загрязненной» до «грязной». Основной источник загрязнения – фенольные соединения, поступающие со стоками Новолялинского ЦБК. Среднегодовая концентрация фенолов в р. Ляля ниже г. Новая Ляля по данным за 2011 г. составила 16,3 предельно-допустимой концентрации для объектов рыбохозяйственного назначения [3].

Растения отбирали из речных вод фонового участка (выше по течению от комбината) и импактного участка (ниже впадения производственных сточных вод). В листьях растений определяли площадь поверхности и объем хлоропластов, их количество на клетку, а также содержание фотосинтетических пигментов (хлорофиллов и каротиноидов).

Анатомические показатели листьев гидрофитов исследовали на растительном материале, который фиксировали в 3,5% растворе глутарового альдегида, приготовленном на фосфатном буфере (рН 7,2), согласно методике [4].

Количество хлорофиллов и сумму каротиноидов определяли спектрофотометрическим методом в суммарной вытяжке пигментов в 80% ацетоне, согласно методике [5]. Соотношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* (*a/b*), отношение суммы хлорофиллов к каротиноидам ( $(a+b)/\text{каротиноиды}$ ) определяли расчетным путем.

**Результаты и обсуждение.** Результаты определения параметров фотосинтетического аппарата водных растений представлены в табл. 1.

О степени функциональности фотосинтетического аппарата, как правило, судят по отношению хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* (*a/b*). Это отношение характеризует активность хлорофилла *a*: чем оно больше, тем интенсивнее фотосинтез. В норме этот показатель должен соответствовать 2,2–3,0 [2; 6].

Отношение  $(a+b)/\text{каротиноиды}$  играет не менее важную роль при характеристике

работы фотосинтетического аппарата. Это соотношение в норме стабильно и очень чувствительно реагирует на изменения различных факторов среды [2; 6] (табл. 2).

Согласно нашим исследованиям, количество хлоропластов *E. canadensis* из импактного участка реки было меньше по сравнению с фоновым участком. Отношение хлорофиллов *a/b* в листьях *E. canadensis* из импактного участка реки составило 1,47, что существенно ниже нормы и может указывать на наличие определенных нарушений в фотосинтетических процессах. Уменьшение соотношения  $a+b/\text{каротиноиды}$  у *E. canadensis* может свидетельствовать о снижении светособирающей способности пигментного комплекса под воздействием неблагоприятных условий.

У *P. gramineus* хлоропласты растений из импактного участка русла отличались меньшими размерами по сравнению с растения-

Таблица 1

Параметры фотосинтетического аппарата водных растений из фонового и импактного участков р. Ляля

Параметр	Участок русла	<i>Elodea canadensis</i>	<i>Potamogeton gramineus</i>	<i>Sagittaria natans</i>	<i>Alisma plantago-aquatica</i>
Площадь хлоропластов, $\text{мкм}^2$	Фоновый	43,6±3,2	45,5±3,1	39,3±3,1	20,1±2,4
	Импактный	40,5±2,9	32,6±1,9	38,1±2,2	36,8±4,7
Объем хлоропластов, $\text{мкм}^3$	Фоновый	12,0±1,0	30,3±2,9	24,8±2,9	9,6±3,1
	Импактный	10,8±0,9	18,2±1,5	22,9±1,9	24,5±4,7
Количество хлоропластов на клетку, шт.	Фоновый	62,8±3,7	9,0±0,4	16,3±1,0	28,1±2,8
	Импактный	50,6±3,8	8,3±0,5	22,4±1,2	29,7±3,2

Таблица 2

Содержание фотосинтетических пигментов и их соотношение в водных растениях из фонового и импактного участков р. Ляля

Параметр	Участок русла	<i>Elodea canadensis</i>	<i>Potamogeton gramineus</i>	<i>Sagittaria natans</i>	<i>Alisma plantago-aquatica</i>
Хлорофилл <i>a</i> , $\text{мг/г}$ сухой массы	Фоновый	2,46±0,39	2,49±0,15	1,56±0,36	2,39±0,29
	Импактный	2,98±0,36	1,94±0,19	1,94±0,19	2,53±0,26
Хлорофилл <i>b</i> , $\text{мг/г}$ сухой массы	Фоновый	1,58±0,27	1,18±0,04	0,65±0,12	1,10±0,14
	Импактный	2,03±0,30	1,02±0,12	1,50±0,18	1,48±0,16
Каротиноиды, $\text{мг/г}$ сухой массы	Фоновый	0,43±0,15	0,79±0,08	0,73±0,20	0,79±0,12
	Импактный	0,57±0,14	0,84±0,09	1,11±0,21	0,78±0,11
Отношение <i>a/b</i>	Фоновый	1,60	2,10	2,40	2,20
	Импактный	1,47	1,91	1,29	1,71
Отношение $a+b/\text{каротиноиды}$	Фоновый	9,34	4,62	3,23	4,41
	Импактный	8,84	3,52	4,34	5,15

ми из фоновой зоны. Отношение хлорофиллов  $a/b$  и  $a+b$ /каротиноиды также было меньше в растениях из импактного участка.

Уменьшение размеров указанных параметров погруженных растений из импактной зоны могло быть связано с токсичным действием поллютантов сточных вод и недостаточной освещенностью в условиях заиленности органической взвесью.

Растения *S. natans* из импактного участка реки характеризовались возрастанием количества хлоропластов, суммы хлорофиллов  $a+b$  и соотношения  $a+b$ /каротиноиды. В связи с этим можно заключить, что данные особенности фотосинтетического аппарата повышают устойчивость *S. natans* к воздействию промышленных стоков ЦБК.

У *A. plantago-aquatica* в условиях техногенной нагрузки повышалась площадь фотосинтезирующей поверхности (за счет увеличения площади и объема хлоропластов), сумма хлорофиллов  $a+b$  и соотношение  $a+b$ /каротиноиды, что могло привести к увеличению интенсивности фотосинтеза. Это, в свою очередь, способствует ускорению синтеза углеводов, которые при дыхании служат источником аденозинтрифосфорной кислоты, необходимой для обеспечения энергией процессов репарации в условиях загрязнения.

Таким образом, прибрежно-водные растения оказались более адаптированными к поллютантам сточных вод ЦБК.

**Выводы.** Показано, что водные растения способны приспосабливаться к условиям техногенного загрязнения за счет пластичности фотосинтетического аппарата. В большинстве случаев для прибрежно-водных растений из им-

пактного участка реки были характерны более высокие значения изучаемых показателей по сравнению с погруженными. Погруженные растения испытывали большее негативное влияние поллютантов на фотосинтетический аппарат. Усиление техногенных воздействий будет неблагоприятно отражаться на продуктивности погруженных водных растений, а также на состоянии водной экосистемы реки в целом.

*Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение № 14.А18.21.0203 «Молекулярно-генетические и морфофизиологические подходы к оценке разнообразия и устойчивости биологических систем».*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Павленко В.В., Трубачева Л.Я. Мутагенное действие монофенолов и дифенолов на штамм 15В-П4 дрожжей-сахаромицетов // Влияние фенольных соединений на гидробионтов. Иркутск, 1981. С. 40–52.
2. Титова М.С. Содержание фотосинтетических пигментов в хвое *Picea abies* и *Picea koraiensis* // Вестник ОГУ. 2010. № 12 (118).
3. Доклад об экологической ситуации в Свердловской области в 2011 году. Екатеринбург: Правительство Свердловской области. 2012. 116 с.
4. Мокроносов А.Т., Борзенкова Р.А. Методика количественной оценки и функциональной активности фотосинтезирующих тканей и органов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции ВНИИ растениеводства. 1978. Т. 61, вып. 3. С. 119–133.
5. Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Большой практикум по фотосинтезу. М., 2003. 256 с.
6. Яцко Я.Н. Пигментный аппарат вечнозеленых растений на Севере: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2010. 23 с.

## RESEARCH ON THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS IN AQUATIC PLANTS UNDER CONTAMINATION

© M.N. Kislitsina

The article presents the materials of investigations to assess how pollutants produced by the pulp and paper industry affect the photosynthetic apparatus parameters in submerged aquatic vegetation (*Elodea canadensis* Michx., *Potamogeton gramineus* L.) and riverside plants (*Alisma plantago-aquatica* L., *Sagittaria natans* Pall.). Structural and functional characteristics are shown to be essentially changed under contamination in aquatic plants of different ecological groups. It is found that the photosynthetic apparatus in riverside plants is better adapted to successful functioning under contamination.

Key words: aquatic plants, contamination, photosynthetic apparatus, photosynthetic pigments.