

**ОТВЕТНЫЕ РЕАКЦИИ *ELODEA CANADENSIS* НА ДЕЙСТВИЕ
ВОЗРАСТАЮЩИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТНО-
АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ**

Щукина Д.А., Иванова Т.С., Малева М.Г., Борисова Г.Г.

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный государственный университет им. первого
Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия
e-mail: postnikdaria@rambler.ru

Ключевые слова: СПАВ, детергенты, моющее средство «Fairy», элодея канадская, фитотоксичность, удельная электропроводность, выход электролитов, общий азот и фосфор

*В модельных условиях проведено исследование фитотоксических эффектов моющего средства «Fairy», содержащего синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ). Изучены ответные реакции погруженного макрофита *Elodea canadensis* Michx. (выход электролитов, содержание общего азота и фосфора) на действие «Fairy» в градиенте концентраций (0,5 %, 1,0 % и 5,0 %). Показано, что добавление детергента в дистиллированную воду повышало величину удельной электропроводности и значение pH среды. Под действием возрастающих концентраций «Fairy» у *E. canadensis* повышался уровень выхода электролитов из клеток и снижалось содержание общего азота и фосфора в побегах. С увеличением концентрации СПАВ наблюдалось усиление фитотоксических эффектов.*

**RESPONSES OF *ELODEA CANADENSIS* TO THE EFFECT OF INCREASING
CONCENTRATIONS OF SYNTHETIC SURFACE ACTIVE SUBSTANCES**

Shchukina D.A., Ivanova T.S., Maleva M.G., Borisova G.G.

First President of Russia B.N. Yeltsin Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia
e-mail: postnikdaria@rambler.ru

Keywords: surfactants, detergents, dish detergent «Fairy», *Elodea canadensis*, phytotoxicity, electrical conductivity, electrolytes output, total nitrogen and phosphorus.

*The phytotoxicity of surfactant-containing dish detergent «Fairy» has been studied in model solutions. The responses of the submerged macrophyte *Elodea canadensis* Michx. (electrolyte output, total nitrogen and phosphorus content) to impact from «Fairy» were studied in concentrations of 0.5%, 1.0%, and 5.0%. It was shown that the addition of detergent to distilled water increased the value of the electrical conductivity and the pH value of the medium. The level of electrolyte output increased and the content of total nitrogen and phosphorus decreased in *E. canadensis* under the influence of «Fairy». An increase in phytotoxic effects was observed with an increase in the concentration of dish detergent.*

Широкомасштабное использование моющих средств, или детергентов, способно оказывать сильное воздействие на водные экосистемы. Одним из важнейших компонентов моющих средств являются синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), чья концентрация в сточных водах с каждым годом только увеличивается [1]. По сравнению с другими ксенобиотиками СПАВ медленнее разрушаются в окружающей среде, в связи с чем многие водные объекты характеризуются их повышенным содержанием [2].

На современном этапе развития химической промышленности анионные СПАВ получили наибольшее распространение: их доля в сточных водах во многих странах составляет около 65 % от всех сбрасываемых детергентов [3]. Поступление в

гидроэкосистемы анионных СПАВ в значительном количестве вызывает необходимость изучения их токсического влияния на гидробионты.

На сегодняшний день не существует единого мнения о фитотоксичности СПАВ. Известно, что на токсичность СПАВ влияет целый ряд абиотических и биотических факторов среды. К абиотическим факторам относятся такие, как физико-химические свойства воды (рН, жесткость, содержание растворенного кислорода и взвешенных веществ) и физико-химические свойства самих СПАВ (тип, размер алифатической цепи, абсорбционная способность и концентрация). К биотическим факторам обычно относят [4–7]: возраст особей видов, испытывающих действие СПАВ, степень чувствительности, адаптация к низким концентрациям детергента.

К настоящему времени накоплены данные, свидетельствующие о негативном воздействии СПАВ на разные группы гидробионтов [8–10]. Тем не менее, многие исследователи не относят детергенты к числу опасных загрязнителей, поскольку механизмы их токсического действия на живые организмы изучены недостаточно.

Цель работы – выявление ответных реакций *Elodea canadensis* Michx. на действие возрастающих концентраций анионных СПАВ, входящих в состав моющего средства «Fairy».

Погруженное водное растение *E. canadensis* (элодея канадская) относится к числу активно расселяющихся представителей адвентивной фракции флоры. На территории России этот макрофит является одним из самых широко распространенных инвазивных видов [11]. Растение хорошо адаптировано к широкому спектру условий окружающей среды и содержит аллелохимические вещества, которые активны против аборигенных видов. При этом благодаря наличию высокой тирозиназной, лактазной и пероксидазной активности и способности к быстрому размножению данный вид может выступать в роли биоремедиатора загрязненных водных экосистем [12, 13].

Отбор растительного материала осуществляли в сентябре 2020 г. из пруда Авиатор (Свердловская область, г. Екатеринбург). Побеги элодеи канадской помещали на 24 часа в модельные сосуды (объемом 2 л), наполненные дистиллированной водой с добавлением СПАВ-содержащего моющего средства «Fairy» в концентрациях 0,5%, 1,0% и 5,0%. Согласно информации производителя, в его состав входит до 15% анионных СПАВ, в то время как на неионогенные СПАВ приходится менее 5%. Контролем являлись растения, инкубированные на дистиллированной воде без добавления «Fairy».

Значение рН и удельной электропроводности водной среды определяли с использованием рН-метра/кондуктометра (Hanna Instruments, Germany) в начале эксперимента и через сутки. Степень повреждения клеток под действием СПАВ определяли кондуктометрическим методом по величине выхода электролитов из клеток побегов элодеи [14]. Содержание общего азота и фосфора в побегах *E. canadensis* определяли стандартным колориметрическим методом после мокрого озоления растительного материала смесью кислот – $H_2SO_4:HClO_4$ (10:1). Определение общего азота проводили с реактивом Несслера, а общего фосфора – с молибдатом аммония в кислой среде.

В результате проведенных исследований установлено, что удельная электропроводность раствора коррелировала с концентрацией «Fairy» в среде ($r = 0,95–0,97$). При этом через сутки она была немного выше, чем исходная (табл. 1). В модельных системах с растениями электропроводность среды была достоверно выше. Вероятно, это связано с увеличением выхода электролитов через нарушенные мембраны клеток.

Величина водородного показателя раствора (рН) также зависела от концентрации «Fairy». Через сутки значения рН среды изменялись незначительно. Существенного влияния на кислотность среды растения не оказывали. Однако во всех случаях растворы с добавлением СПАВ-содержащего средства отличались повышенной величиной рН по сравнению с контролем.

Одним из проявлений ответных реакций клеток на любое внешнее воздействие является изменение проницаемости плазмалеммы и увеличение диффузии органических и минеральных веществ во внешнюю среду [14]. Выявлено, что под действием СПАВ-

содержащего средства у *E. canadensis* повышался уровень выхода электролитов из клеток (рис. 1). Также отмечена линейная зависимость интенсивности выхода электролитов из клеток элодеи от концентрации «Fairgu» в растворе. При максимальной концентрации СПАВ (5,0%) выход электролитов увеличивался в 23 раза от контроля. Вероятно, данный процесс связан с доказанной способностью СПАВ вызывать повреждения структуры мембран, что приводит к нарушению их нормального функционирования [15].

Табл. 1. Изменение удельной электропроводности и величины рН среды в течение суток при добавлении возрастающих концентраций СПАВ

Вариант опыта	Электропроводность, $\mu\text{S}/\text{cm}$			Величина рН		
	Исходная	Через сутки		Исходная	Через сутки	
		Без растений	С растениями		Без растений	С растениями
Контроль	$1,0 \pm 0,02$	$1,0 \pm 0,02$	$10,1 \pm 0,2$	$6,0 \pm 0,01$	$5,8 \pm 0,01$	$5,6 \pm 0,01$
Fairy 0,5%	$558,2 \pm 12,7$	$560,3 \pm 13,1$	$711,2 \pm 14,0$	$7,3 \pm 0,01$	$6,0 \pm 0,01$	$6,2 \pm 0,02$
Fairy 1,0%	$794,7 \pm 16,9$	$800,0 \pm 17,3$	$965,1 \pm 19,6$	$8,9 \pm 0,02$	$8,5 \pm 0,02$	$8,2 \pm 0,02$
Fairy 5,0%	$1980,1 \pm 39,3$	$2020,2 \pm 40,4$	$2150,2 \pm 43,2$	$9,0 \pm 0,01$	$8,6 \pm 0,01$	$8,5 \pm 0,01$

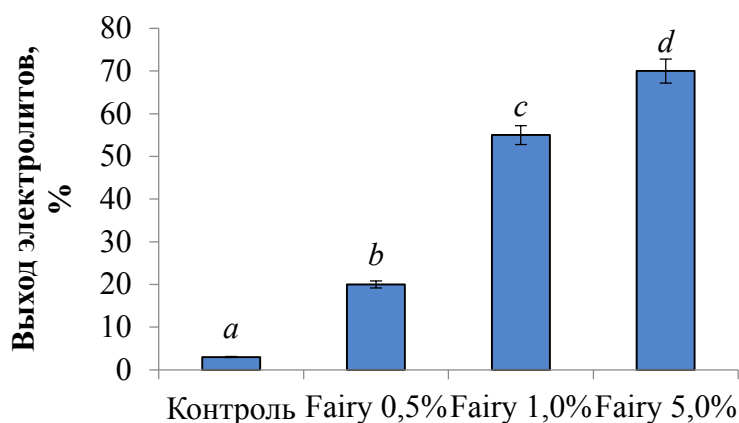


Рис. 1. Выход электролитов из клеток элодеи канадской под действием СПАВ-содержащего средства в градиенте концентраций. Разными буквами обозначены достоверные различия между вариантами при $p < 0,05$.

Установлено влияние СПАВ на содержание общего азота и фосфора в побегах водного макрофита. При инкубировании растений с добавлением «Fairgu» содержание общего азота снижалось в среднем на 20 % по сравнению с контролем (табл. 2). Аналогичная тенденция наблюдалась и по содержанию общего фосфора, которое при инкубировании растений на СПАВ уменьшалось в среднем в 2 раза.

Очевидно, уменьшение общего содержания азота и фосфора в побегах *E. canadensis* вызвано нарушением проницаемости биологических мембран при действии детергента. Не исключено, что одной из причин значительного снижения содержания фосфатов в растениях являются процессы их обмена на анионные компоненты «Fairgu».

Табл. 2. Содержание общего азота и фосфора в побегах *E. canadensis* после инкубирования в среде при добавлении возрастающих концентраций СПАВ

Вариант опыта	Содержание общего азота, % от сухой массы	Содержание общего фосфора, % от сухой массы
Контроль	$4,32 \pm 0,10$	$0,64 \pm 0,03$
Fairy 0,5%	$3,50 \pm 0,07$	$0,37 \pm 0,04$
Fairy 1,0%	$3,46 \pm 0,10$	$0,33 \pm 0,05$
Fairy 5,0%	$3,45 \pm 0,06$	$0,30 \pm 0,05$

Таким образом, адвентивный макрофит *Elodea canadensis* продемонстрировал высокую чувствительность к действию синтетических поверхностно-активных веществ, находящихся в составе моющего средства «Fairyl». Установлено, что эти компоненты способны повышать выход электролитов из растительных клеток и вызывать снижение содержания общего азота и фосфора, что может в дальнейшем негативно отразиться на жизнедеятельности растений. С выходом электролитов из клеток связано и увеличение удельной электропроводности среды. Отмечено, что увеличение концентрации СПАВ приводит к усилению их фитотоксичности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2019. 844 с.
2. Поклонов В.А. Изучение устойчивости пресноводных растений к СПАВ-содержащему смесевому препарату // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2017. № 2(58). С. 28–38.
3. Поклонов В.А., Котелевцев С.В., Остроумов С.А. Фитотоксичность синтетических моющих средств, содержащих поверхностно-активные вещества, при биотестировании на проростках растений // Успехи наук о жизни. 2013. № 6. С. 71–78.
4. Gheorghe S., Lucaciu I., Paun I., Stoica C., Stanescu E. Ecotoxicological Behavior of Some Cationic and Amphoteric Surfactants (Biodegradation, Toxicity and Risk Assessment) // Biodegradation – Life of Science. Rijeka, Croatia: InTech, 2013. P. 83–114.
5. Lewis M.A. Chronic toxicities of surfactants and detergent builders to algae: a review and risk assessment // Ecotoxicology and environmental safety. 1990. № 20(2). С. 123-140.
6. Želimira P., Vidaković-Cifrek Ž, Puntarić D. Toxicity of surfactants to green microalgae *Pseudokirchneriella subcapitata* and *Scenedesmus subspicatus* and to marine diatoms *Phaeodactylum tricorneratum* and *Skeletonema costatum* // Chemosphere. 2005. № 61(8). P. 1061-1068.
7. Tomislav I., Hrenović J. Surfactants in the environment // Archives of Industrial Hygiene and Toxicology. 2010. № 61(1). P. 95–110.
8. Гахраманов С.Г.О., Торгашкова О.Н., Беликов А.С., Никифорова Е.Н. Воздействие водных сред с растворенными СПАВ-содержащими препаратами на водные растения // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. 2020. № 1. С. 85–89.
9. Макарова И.А. Влияние поверхностно-активных веществ на морфометрические показатели и содержание фотосинтетических пигментов в водных растениях // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Мат-лы XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Кн. 1. (г. Киров, 2–3 декабря 2014 г.). Киров: ООО «Веси», 2014. С. 117–119.
10. Остроумов С.А., Соломонова Е.А. Фитотоксичность ПАВ-содержащего препарата для макрофитов // Экологическая химия. 2012. № 21(2). С. 112–116.
11. Vinogradova Y., Pergl J., Essl F., Hejda M., van Kleunen M. REGIONAL CONTRIBUTORS, Pyšek P. Invasive alien plants of Russia: insights from regional inventories // Biological Invasions. 2018. № 20. P. 1931–1943.
12. Erhard D., Pohnert G., Gross E.M. Chemical defense in *Elodea nuttallii* reduces feeding and growth of aquatic herbivorous Lepidoptera // Journal of Chemical Ecology. 2007. Т. 33. № 8. P. 1646–1661.
13. Аниськина М.Б., Яковлева Е.В. Особенности деструкции бенз[а]пирена элодеей канадской в водной среде // Теоретическая и прикладная экология. 2016. № 3. С. 82–88.
14. Грищенкова Н.Н., Лукаткин А.С. Определение устойчивости растительных тканей к абиотическим стрессам с использованием кондуктометрического метода // Поволжский экологический журнал. 2005. № 1. С. 3–11.
15. Коваль С.Ф., Шаманин В.П. Растение в опыте. Омск: Омскбланкиздат, 1999. 204 с.