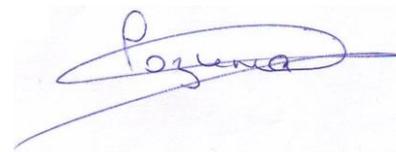


На правах рукописи



РОЗИНА СВЕТЛАНА АЛЕКСЕЕВНА

**ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ ВЫСШЕГО ВОДНОГО
РАСТЕНИЯ *CERATORHYLLUM DEMERSUM* НА ДЕЙСТВИЕ
ГИПЕРТЕРМИИ И ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

Специальности:

03.02.08 – экология (биология)

03.01.05 – физиология и биохимия растений

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Тольятти 2018

Работа выполнена на кафедре биохимии, биотехнологии и биоинженерии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва»

Научный руководитель: **Макурина Ольга Николаевна,**
доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры биохимии, биотехнологии и биоинженерии Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва (г. Самара)

Официальные оппоненты: **Соловьёва Вера Валентиновна,**
доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры биологии, экологии и методики обучения Самарского государственного социально-педагогического университета (г. Самара)

Кулагин Андрей Алексеевич,
доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и природопользования Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы (г. Уфа)

Ведущая организация: **Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург)**

Защита диссертации состоится **15 ноября 2018 г. в 10⁰⁰ ч.** на заседании диссертационного совета Д 002.251.02 при Институте экологии Волжского бассейна РАН по адресу: 445003, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Комзина, 10; тел.: 8(8482) 489977, E-mail: ievbras2005@mail.ru

Диссертационный совет Д 002.251.02 при ИЭВБ РАН:
тел: 8 (8482) 48-91-69, E-mail: dissovetievb@mail.ru

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ИЭВБ РАН, на сайте ИЭВБ РАН по адресу <http://www.ievbras.ru> и на сайте ВАК <http://www.vak.ed.gov.ru>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.Л. Маленёв

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. Одна из острых современных экологических проблем – загрязнение биосферы тяжёлыми металлами (ТМ) и синтетическими поверхностно-активными веществами (СПАВ), которые включаются в природные циклы миграции и в большинстве случаев накапливаются в гидросфере (Брагинский, 1998; Долгоносков, 2003; Rosen et al., 2001; Ying et al., 2006; Zeng et al, 2006; Филенко и др., 2007; Вишневецкий и др., 2009; Warniment et al, 2010; Новикова и др., 2013; Морачевский, 2014). С середины 60-х гг. XX века наблюдается потепление в Северном полушарии, обусловленное как изменением солнечной активности и вулканической деятельностью, так и парниковым эффектом (Serreze et al., 2000; Минин, 2000; Заварзин, 2001; Roetzer et al, 2001; Шмидт, 2012; Владимиров и др., 2014; Байрамова, 2015).

В отечественных работах исследованы биологические эффекты различных видов ТМ (Капитонова, 2002; Розенцвет и др., 2005; Розенцвет, 2006; Мурзин и др., 2010) и СПАВ на ряд высших наземных и водных растений (Остроумов, 2001, 2004), приведены механизмы действия и выдвинута идея самоочистки сточных вод с помощью водных макрофитов (Вайсман и др., 2006; Быкова и др., 2009; Лазарева и др., 2009; Остроумов, 2012). Влияние гипертермии исследовалось отечественными учёными в рамках оценки состояния водоёмов-охладителей АЭС и ТЭЦ (Жутов и др., 2010; Капитонова и др., 2011; Марчюленене и др., 2013). Однако недостаточно изучены эффекты комбинированного влияния гипертермии и химических факторов на состояние водных растений и реабилитационные возможности макрофитов.

Цель настоящей работы – анализ эколого-физиологических реакций высшего водного погруженного растения *Ceratophyllum demersum* на действие гипертермии и антропогенных факторов химической природы.

Задачи исследования:

1. Выявить наиболее существенные эколого-физиологические реакции *C. demersum*, свидетельствующие об устойчивости и адаптации к действию антропогенных факторов различной природы.
2. Изучить индивидуальное и комбинированное влияние гипертермии и химических факторов антропогенной природы на эколого-физиологические характеристики *C. demersum*.
3. Исследовать возможность реабилитации макрофитов *C. demersum* после снятия действия неблагоприятных факторов.

Научная новизна.

1. Впервые проведен анализ комплекса эколого-физиологических показателей *C. demersum* в условиях воздействия комбинации гипертермии и химических факторов и в постстрессовый период.

2. Выявлены стадии протекания стрессовой реакции у *C. demersum*: стадия первичной стрессовой индукции (развивается в течение первых суток воздействия фактора), стадия адаптации (развивается с первого по третий день влияния фактора), стадия реабилитации (развивается после исключения воздействия фактора). Обнаружено, что стадия первичной стрессовой индукции протекает сходно в случае влияния любого индивидуального фактора или их сочетания, а фазы адаптации и реабилитации зависят от природы воздействующего фактора.

3. Исследованы специфические защитные реакции *C. demersum*, связанные с изменением активности работы антиоксидантной системы и содержания водорастворимых и мембраносвязанных белков, с повышением содержания каротиноидов и увеличением аскорбинатоксидазной и полифенолоксидазной активностей.

Теоретическая значимость работы. Результаты диссертационной работы расширяют представления о механизмах влияния ТМ, катионных СПАВ, гипертермии и их различных сочетаний на высшие водные растения, а также позволяют оценить границы устойчивости *C. demersum* к действию исследуемых поллютантов.

Практическая значимость результатов. Материалы диссертации, сформулированные в ней научные положения и выводы могут найти применение в модернизации технологий фиторемедиации сточных вод с участием водных растений.

Положения, выносимые на защиту:

- макрофиты *C. demersum* способны адаптироваться к эффектам индивидуального и комбинированного влияния гипертермии и химических факторов за счёт эколого-физиологических реакций: увеличения содержания каротиноидов, водорастворимых и мембраносвязанных белков, повышения ферментативной активности антиоксидантной системы и полифенолоксидазной активности;

- комбинированное влияние факторов оказывает большее повреждающее действие на организм *C. demersum*, чем индивидуальное;

- в постстрессовый период водные растения *C. demersum* могут восстанавливаться благодаря компенсаторным эколого-физиологическим реакциям:

повышению содержания пигментов, утилизации активным форм кислорода ферментами антиоксидантной системы, увеличению содержания защитных белков и фенольных соединений.

Связь темы диссертации с плановыми исследованиями. Тема диссертации связана с плановыми исследованиями кафедры биохимии, биотехнологии и биоинженерии Самарского университета по теме: «Деятельность биологических систем и механизмы их регуляции» («Влияние физических и химических факторов на живые системы»).

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы были представлены на 49, 50 Международных научных студенческих конференциях «Студент и научно-технический прогресс» (Новосибирск, 2011, 2012), 12-й Международной конференции «Актуальные проблемы современной науки» (Самара, 2012), Международных научно-практических конференциях «Теоретические и прикладные проблемы современной науки и образования» (Курск, 2012, 2013), Международной конференции «Биодиагностика – 2013» (Москва, 2013), Всероссийских научно-практических конференциях с международным участием «Экология родного края: проблемы и пути решения» (Киров, 2012, 2013, 2014, 2016, 2018), Международной научно-практической конференции «Медико-биологические вопросы адаптации» (Сухум, 2012), 18-й международной Пущинской школе-конференции молодых учёных «Биология – наука XXI века» (Пущино, 2014), Третьей Международной конференции «Инновационные подходы к обеспечению устойчивого развития социо-эколого-экономических систем» (Тольятти, 2016).

Декларация личного участия автора. Настоящая диссертационная работа является результатом исследований, выполненных лично автором в 2011-2015 гг. Автором диссертации проведены планирование экспериментов, выбор объекта и методов исследования, обработка и анализ лабораторных материалов, разработаны основные теоретические положения диссертационной работы, выводы и практические рекомендации. Доля личного участия автора в совместных публикациях пропорционально числу соавторов.

Публикации. По материалам диссертации опубликованы 22 печатные работы, в том числе 4 статьи в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из «Введения», 3 глав, «Выводов», «Списка литературы» и десяти «Приложений». Библиографический указатель включает 191 источник, в том числе 51 – на

иностранном языке. Работа изложена на 118 страницах и содержит 42 рисунков и 12 таблиц.

Благодарности. Автор благодарит за помощь в сборе и обработке материалов магистранта ФГБОУ ВПО СамГУ Гончарук А.С. Особую признательность автор выражает научному руководителю профессору, д.б.н. Макуриной О.Н. и главному научному сотруднику ИЭВБ РАН, д.б.н. Розенцвет О.А. за огромную помощь и поддержку в работе.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Глава 1. Ответные реакции растительных организмов на действие экологических факторов (обзор литературы)

В главе рассмотрено понятие стресса в фитофизиологии. Обозначены источники поступления ТМ и СПАВ в окружающую среду и причины повышения температуры воды в водоёмах. Перечислены основные повреждающие эффекты гипертермии и химических факторов. Описаны адаптационные эколого-физиологические реакции растительных организмов на действие неблагоприятных факторов.

Глава 2. Материалы и методы исследования

Объектом исследований служил роголистник тёмно-зелёный *C. demersum*, собранный в верховьях р. Сок и культивируемый в лаборатории.

Биохимические методы исследования проводили с использованием общепринятых методик: пероксидазную активность определяли колориметрически (Бояркин, 1951); каталазную активность – колориметрически (Королюк и др., 1988); полифенолоксидазную активность – спектрофотометрически (Ермаков и др., 1972); аскорбинатоксидазную активность – спектрофотометрически (Ермаков и др., 1987), содержание фотосинтетических пигментов – колориметрически (Бриттон, 1986); содержание малонового диальдегида – спектрофотометрически (Лукаткин и др., 1988.); содержание фенольных соединений – спектрофотометрически (Swain et al., 1958); содержание водорастворимых и мембраносвязанных белков – колориметрически (Bradford, 1976).

Схема эксперимента.

Растения были разделены на группы, различающиеся составом среды и условиями выращивания (табл. 1). На основании результатов отечественных и зарубежных исследований (Капитонова и др., 2001; Серёгин и др., 2001; Малёва и др., 2003; Некрасова и др., 2009; Косицына и др., 2010; Мурзин и др., 2010, 2011) было выявлено, что наиболее значимые эколого-физиологические реакции у водных

растений развиваются при концентрации ионов свинца 100 мкМоль/л и при концентрации катионных СПАВ 1%. Выбор температуры +36°C обусловлен сходными условиями в водоёмах-охладителях АЭС и ТЭЦ (Капитонова, 2011), что позволяет сравнивать полученные результаты с данными других авторов.

Таблица 1

Экспериментальные группы растений

Экспериментальные группы	Среда выращивания
1 группа, контроль	Отфильтрованная водопроводная вода, +20°C
2 группа	100 мкМоль/л ионов свинца, +20°C
3 группа	1% раствор катионных СПАВ, +20°C
4 группа	Отфильтрованная водопроводная вода, +36°C
5 группа	100 мкМоль/л ионов свинца + 1% раствор катионных СПАВ, +20°C
6 группа	100 мкМоль/л ионов свинца, +36°C
7 группа	1% раствор катионных СПАВ, +36°C
8 группа	100 мкМоль/л ионов свинца + 1% раствор катионных СПАВ, +36°C

На основе работ в области стресса растений (Тарчевский, 1993; Чиркова, 2002; Ипатова, 2005) были определены контрольные точки эксперимента, которые отражают фазы протекания стрессовой реакции. Длительность эксперимента составила 8 суток. На 1, 2, 4, 12 и 72 час часть растений из каждой группы отбирали для дальнейшего анализа следующих эколого-физиологических показателей: каталазная, пероксидазная, полифенолоксидазная и аскорбинатоксидазная активность; содержание фотосинтетических пигментов, малонового диальдегида, фенольных соединений, водорастворимых и мембранносвязанных белков. Другую часть растений каждой опытной группы помещали в емкости с отфильтрованной водой при температуре воды +20°C, где она находилась в течение 192 часов на реабилитации, после чего проводили повторное определение исследуемых показателей.

Каждый эксперимент повторяли пять раз. Аналитические измерения ферментативной активности и содержания фотосинтетических пигментов, малонового диальдегида, фенольных соединений, водорастворимых и мембранносвязанных белков проводили трижды. Полученные данные обрабатывали в программе Excel методами параметрического анализа и учитывали отличие опытных значений от контрольных, за критерий достоверности брали $p \leq 0,05$.

Глава 3. Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведенных нами исследований были выявлены временные интервалы протекания фаз стресса у растений *C. demersum*. В первые сутки влияния факторов развивалась фаза первичной стрессовой индукции, по своим эколого-физиологическим характеристикам не зависящая от природы действующего фактора. В фазу адаптации, развивающуюся с первого по третий день инкубации, у растений *C. demersum* протекают эколого-физиологические реакции, направленные на защиту и восстановление компонентов клетки, повреждённых специфическим действием негативного фактора. Фаза реабилитации, протекающая после исключения действия фактора, отражает возможность макрофитов возвращаться к контрольному состоянию эколого-физиологических характеристик.

3.1. Влияние ионов свинца на эколого-физиологические характеристики *C. demersum*

Было выявлено, что растения *C. demersum* испытывают стресс в ответ на действие ионов свинца. После 12 часов инкубации в среде с поллютантом у макрофитов наблюдались признаки хлороза, которые нарастали с увеличением экспозиции. Динамика содержания фотосинтетических пигментов отражена в таблице 2.

Таблица 2

Влияние ионов свинца, катионных СПАВ и гипертермии на содержание пигментов в тканях *C. demersum* в условиях инкубации и реабилитации (мг/г сырого материала)

	100 мкМоль/л ионов свинца			гипертермия (+36°C)			100 мкМоль/л ионов свинца, 1% раствор катионных СПАВ и гипертермия (+36°C)		
	хл <i>a</i>	хл <i>b</i>	каротиноиды	хл <i>a</i>	хл <i>b</i>	каротиноиды	хл <i>a</i>	хл <i>b</i>	каротиноиды
Контроль	1,350	0,500	0,281	1,450	0,540	0,285	1,290	0,480	0,255
12 часов инкубации	0,878*	0,340*	1,040*	0,290*	0,092*	0,086	0,284*	0,082*	0,010*
72 часа инкубации	2,255*	0,710*	0,166*	1,885*	0,686*	0,653	0,722*	0,259*	0,153*
Контроль	1,300	0,520	0,271	1,350	0,490	0,275	1,300	0,480	0,265
Реабилитация от 12 часов	1,313	0,556	0,585*	1,404	0,510	0,399*	0,442*	0,043*	0,133*
Реабилитация от 72 часов	0,403*	0,156*	0,350*	0,932	0,255*	0,385*	1,287	0,480	0,254

* обозначены статистически значимые различия опыта с контролем ($p < 0,05$)

Токсическое действие ионов свинца в фазу первичного индуктивного стресса привело к снижению содержания фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a* и *b*) и повышению содержания каротиноидов. Предположительно, это связано с неблагоприятным влиянием ионов свинца на фотосинтез, приводящим к нарушению ультраструктуры хлоропластов, ингибирующим синтез пигментов и ферментов цикла Кальвина (Stobart et al., 1985; Vavilin et al., 1995). Мы предполагаем, что повышение содержания каротиноидов обусловлено их протекторной ролью (Красиков и др., 2013). На наш взгляд, увеличение содержания пигментов после 72 часов инкубации в среде с ионами свинца вызвано такими адаптационными реакциями растительного организма, как стабилизация повреждённых мембран и энергетическое субсидирование, связанное с усиленной работой хлоропластов и митохондрий (Брагинский, 1998; Жиров и др., 2006).

Как правило, фаза адаптации характеризуется снижением активности катаболических реакций и усилением процессов синтеза (Тарчевский, 1993). Это подтверждается нашими данными по увеличению содержания водорастворимых белков на третьи сутки в тканях растений опытной группы (рис. 1) и снижению каталазной и пероксидазной активности (рис. 2). Изменение содержания водорастворимых белков предположительно связано с индукцией синтеза стрессовых белков, участвующих в защитных реакциях в ответ на внесение ТМ в среду, что подтверждается данными литературных источников (Siesko et al., 1997; Prasad, 2004; Cuypers et al., 2005; Mishra et al., 2006; Косаковская, 2008).

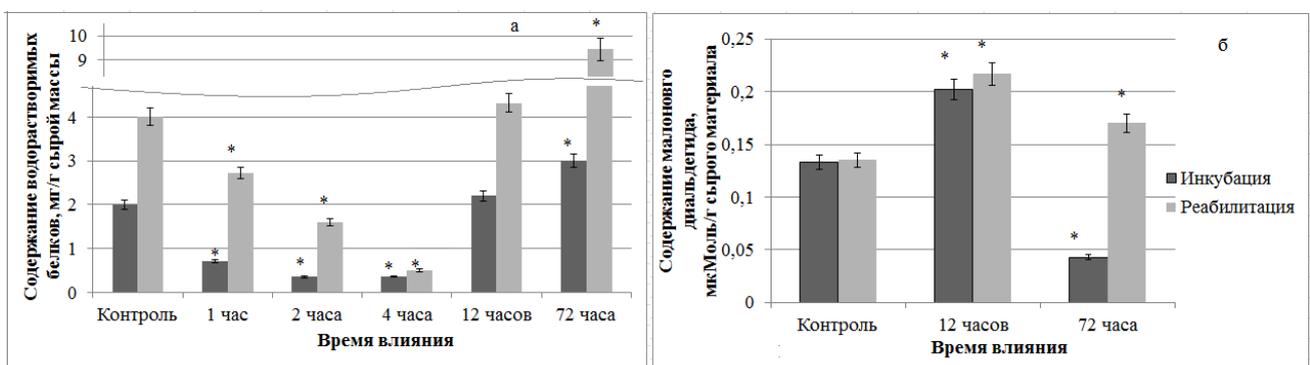


Рис. 1. Динамика содержания водорастворимых белков (а) и малонового диальдегида (б) в тканях *C. demersum* в условиях инкубации с добавлением 100 мкМоль/л ионов свинца с последующей реабилитацией; * обозначены статистически значимые различия опыта с контролем ($p < 0,05$)

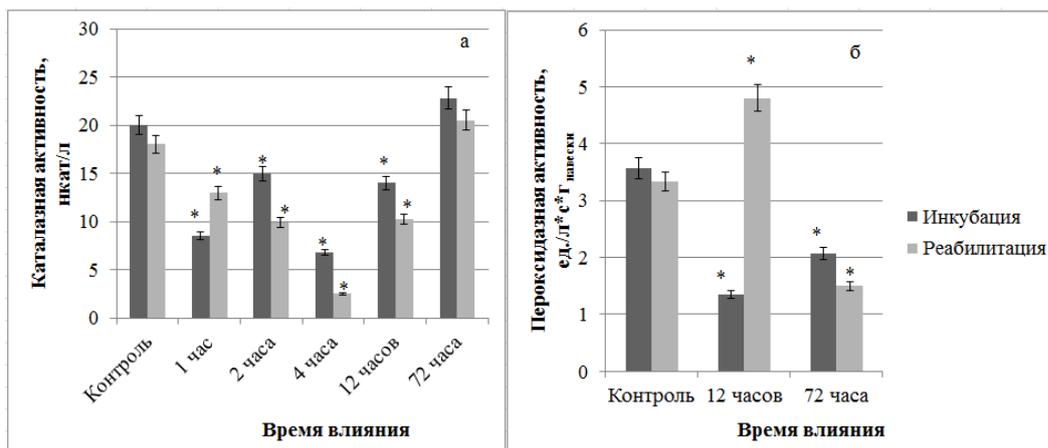


Рис. 2. Динамика каталазной (а) и пероксидазной (б) активности в тканях *C. demersum* в условиях инкубации с добавлением 100 мкМоль/л ионов свинца с последующей реабилитацией; * обозначены статистически значимые различия опыта с контролем ($p < 0,05$).

Эколого-физиологические показатели растения в период реабилитации (72-192 часа) свидетельствуют об остаточном действии ионов свинца и незавершённости процессов восстановления: повышенное содержание МДА как индикатора ПОЛ, снижение активности ферментов АОС и содержания хлорофиллов *a* и *b*, повышенное содержание таких протекторных соединений как каротиноиды и некоторые группы водорастворимых белков.

3.2. Влияние катионных СПАВ на эколого-физиологические характеристики *C. demersum*

Было отмечено, что 1% раствор катионных СПАВ с экспозицией продолжительностью в 72 часа приводит к дефолиации и почти полной фрагментации растения *C. demersum*. Реабилитация от токсического действия поллютанта в данном эксперименте для исследуемого растения оказалась невозможна.

Негативное влияние детергента на мембранные структуры приводит к дезинтеграции внутриклеточных компартментов и связыванию водорастворимых белков, в результате чего содержание свободных водорастворимых белков снижается к 72 часу инкубации в среде с поллютантом (рис. 3) (Helenius et al., 1975; Vincenzini et al., 1985; Hanke et al., 1999; Seddon et al., 2004). На наш взгляд, снижение каталазной и пероксидазной активности (рис. 4) на фоне снижения содержания МДА (рис. 3) отражает развивающиеся к 72 часу инкубации деградационные процессы в тканях *C. demersum*.

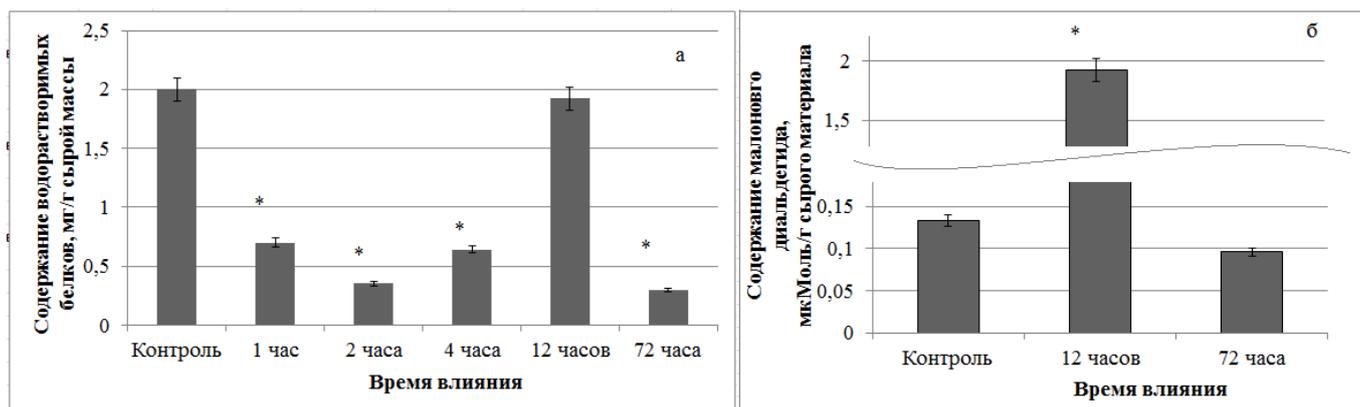


Рис. 3. Динамика содержания водорастворимых белков (а) и малонового диальдегида (б) в тканях *C. demersum* в условиях инкубации с добавлением 1% раствора катионных СПАВ; * обозначены статистически значимые различия опыта с контролем ($p < 0,05$).

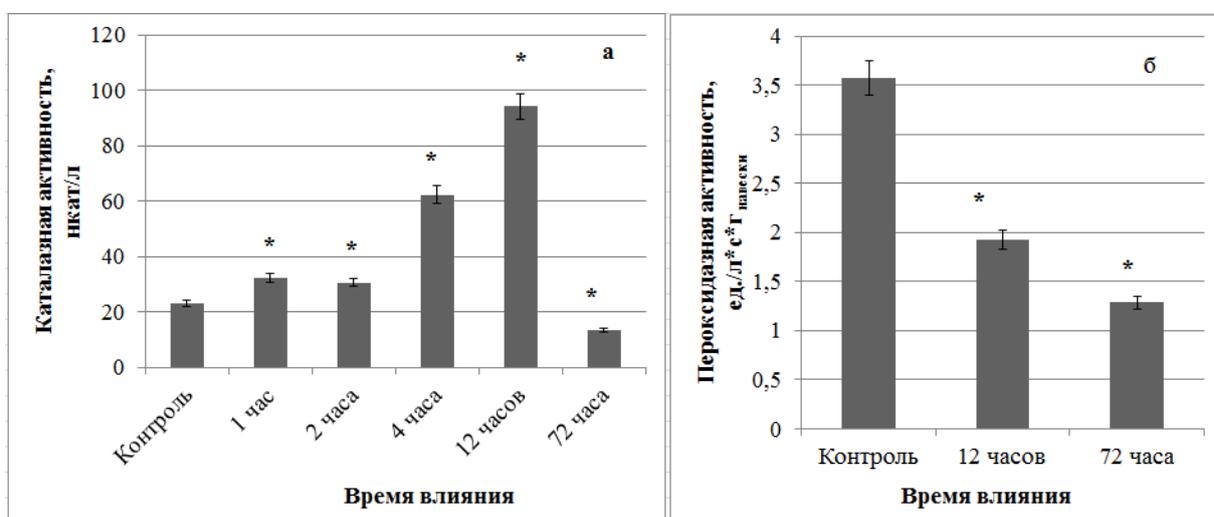


Рис. 4. Динамика каталазной (а) и пероксидазной (б) активности в тканях *C. demersum* в условиях инкубации с добавлением 1% раствора катионных СПАВ; * обозначены статистически значимые различия опыта с контролем ($p < 0,05$).

Полученные данные позволяют сделать вывод, что адаптационные возможности макрофитов *C. demersum* к действию 1% раствора исследуемого поллютанта не развиты.

3.3. Влияние гипертермии на эколого-физиологические характеристики *C. demersum*

Многokратное снижение содержания хлорофилла *a* и *b* (табл. 2) в тканях растений опытной группы после 12 часов инкубации в условиях гипертермии (+36°C) указывает на силу действующего фактора. Из литературных данных известно, что повышение температуры приводит к увеличению текучести мембран, повреждению белковых структур и развитию окислительного стресса, о чём свидетельствует повышение содержания МДА и снижение содержания

мембранносвязанных белков в первые 12 часов (рис. 5). В фазу адаптации (12-72 часа) у макрофитов развиваются защитные эколого-физиологические реакции: повышение ферментативной активности АОС, в частности, каталазной активности, для ликвидации продуктов окислительного стресса (рис. 6), в результате которой снижается содержание МДА (рис. 5); укрепление мембран, что подтверждается нашими данными по увеличению содержания мембранносвязанных белков; модификации хлоропластов и повышение содержания хлорофилла *a* и *b* (Iba, 2002; Suzuki et al., 2006; Vahid et al., 2007).

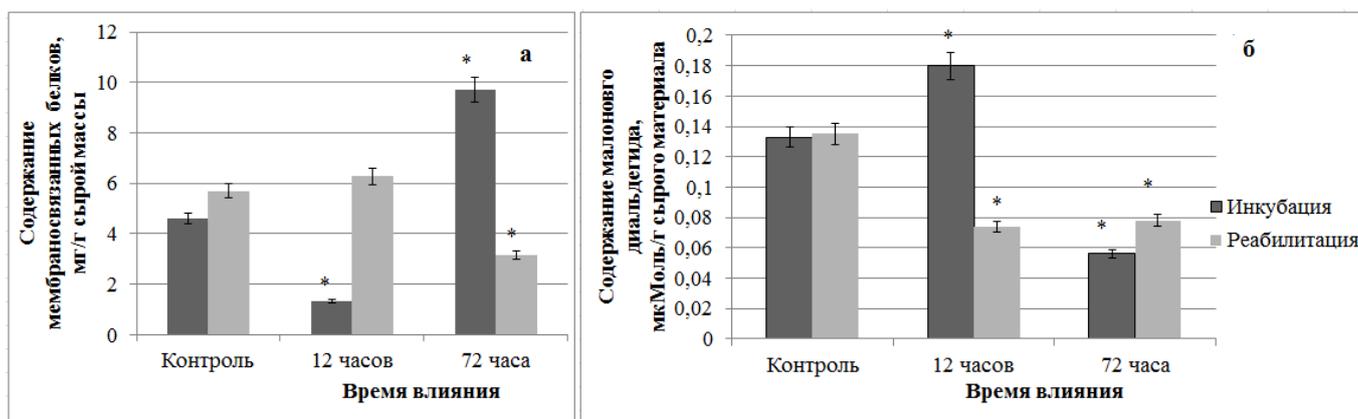


Рис. 5. Динамика содержания мембранносвязанных белков (а) и малонового диальдегида (б) в тканях *C. demersum* в условиях инкубации при гипертермии (+36°C) с последующей реабилитацией; * обозначены статистически значимые различия опыта с контролем ($p < 0,05$).

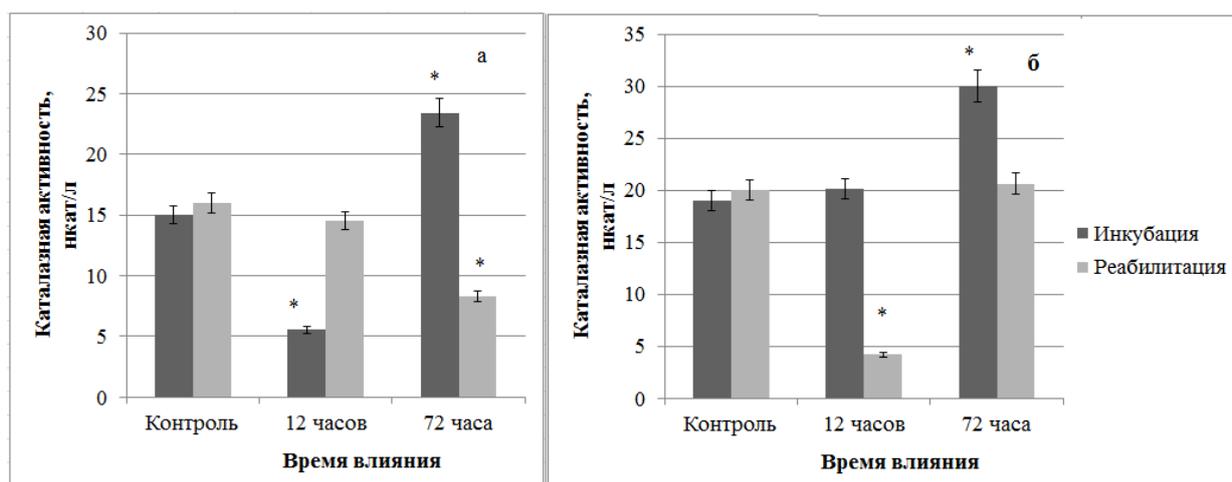


Рис. 6. Динамика каталазной активности в тканях *C. demersum* в условиях инкубации при гипертермии (+36°C) (а) и при гипертермии (+36°C) с добавлением 100 мкМоль/л ионов свинца и 1% раствора катионных СПАВ с последующей реабилитацией (б); * обозначены статистически значимые различия опыта с контролем ($p < 0,05$).

Снижение содержания хлорофилла *b* и мембранносвязанных белков, каталазной активности в постстрессовый период указывает на незавершённость

процессов реабилитации организма высшего водного растения *C. demersum* от влияния гипертермии.

3.4. Влияние сочетания ионов свинца, раствора катионных СПАВ и гипертермии на эколого-физиологические характеристики *C. demersum*

В эксперименте с влиянием комбинации всех исследуемых факторов наблюдались внешние повреждения растений *C. demersum*: частичная дефолиация, небольшой хлороз, а степень выраженности морфологических повреждений была меньше, чем в случае токсического действия поллютантов по отдельности или в комбинации ионы свинца и катионные СПАВ. Снижение содержания пигментов (табл. 2) на протяжении всего эксперимента, повышение каталазной активности (рис. 6) и снижение содержания водорастворимых белков (рис. 7) после 72 часов инкубации указывает на силу действия комбинации факторов и недостаточность трёх суток для адаптации макрофитов.

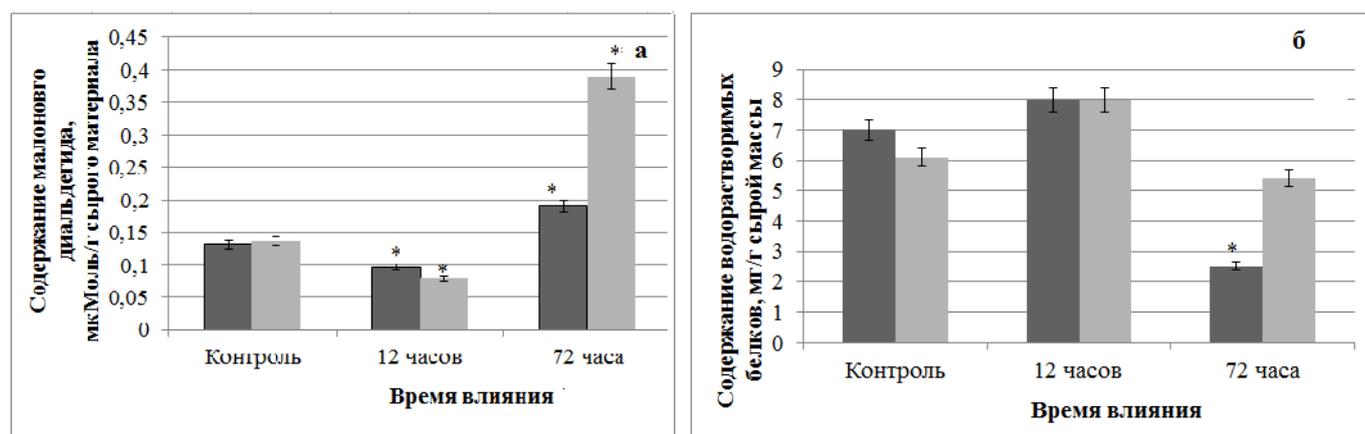


Рис. 7. Динамика содержания малонового диальдегида (а) и водорастворимых белков (б) в тканях *C. demersum* в условиях инкубации при гипертермии (+36°C) с добавлением 100 мкМоль/л ионов свинца и 1% раствора катионных СПАВ с последующей реабилитацией; * обозначены статистически значимые различия опыта с контролем ($p < 0,05$).

Повышение содержания МДА (рис. 7) и каталазной активности (рис. 6) в постстрессовый период указывают на продолжающийся окислительный стресс и незавершённость процессов реабилитации растений *C. demersum* от эффектов влияния комбинации факторов.

ВЫВОДЫ

1. У роголистника темно-зеленого *C. demersum* выявлены эколого-физиологические реакции, свидетельствующие об устойчивости и адаптации к действию антропогенных факторов различной природы: изменение активности

работы антиоксидантной системы для ликвидации продуктов окислительного стресса; повышение содержания защитных водорастворимых и мембраносвязанных белков для стабилизации и укрепления мембран; увеличение содержания каротиноидов как протекторных соединений; повышение аскорбинатоксидазной активности для подачи сигнала стресса и запуска ответной реакции растительного организма; увеличение полифенолоксидазной активности для интенсификации дыхания и компенсации недостатка энергии вследствие снижения процессов фотосинтеза.

2. Адаптационные возможности макрофитов *C. demersum* наиболее выражены по отношению к действию комбинаций факторов, а индивидуальное действие раствора катионных СПАВ приводит к гибели водных растений. Обнаружено, что в комбинации эффектов влияния гипертермии и химических факторов преобладают эффекты влияния гипертермии: многократное снижение содержания фотосинтетических пигментов, повышение полифенолоксидазной активности и содержания фенольных соединений.

3. Реабилитация после воздействия 1% раствора катионных СПАВ для макрофитов *C. demersum* оказалась невозможна. Реабилитационные процессы по отношению ко всем остальным исследованным факторам и их комбинациям занимают более пяти дней.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Макурина, О.Н. Влияние ксенобиотиков на ферментативную активность в тканях водного погружённого растения *Ceratophyllum demersum* / О.Н. Макурина, С.А. Розина // Вестник Самарского государственного университета. – 2012. – № 9 (100). – С. 200-210.

2. Розина, С.А. Влияние ксенобиотиков на полифенолоксидазную и аскорбинатоксидазную активность в тканях водного погружённого растения *Ceratophyllum demersum* / С.А. Розина, О.Н. Макурина, А.С. Гончарук // Поволжский экологический журнал. – 2013. – № 4. – С. 427-432.

3. Розина, С.А. Токсические эффекты поллютантов на пигментный состав *Ceratophyllum demersum* / С.А. Розина, О.Н. Макурина // Теоретическая и прикладная экология. – 2014. – №3. – С. 88-93.

4. Макурина, О.Н. Динамика ферментативной активности и пигментного состава в тканях водного погруженного растения *Ceratophyllum demersum* в

условиях воздействия ксенобиотиков и последующей реабилитации / О.Н. Макурина, С.А. Розина, О.А. Розенцвет // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17. №4-5. – С. 1000-1007.

Статьи, опубликованные в других изданиях:

5. Гончарук, А.С. Динамика ферментативной активности и содержания малонового диальдегида в тканях водного погружённого растения *Ceratophyllum demersum* в условиях воздействия тяжёлых металлов и последующей реабилитации / А.С. Гончарук, С.А. Розина, О.В. Алексеева, О.Н. Макурина // Естественные науки, экология, труды 12-й Международной конференции. – Самара: СамГТУ, 2012. – С. 23-28.

6. Розина, С.А. Воздействие ионов свинца и катионных поверхностно-активных веществ на пероксидазную активность в тканях водного погружённого растения *Ceratophyllum demersum* / С.А. Розина, А.С. Гончарук, О.Н. Макурина // Теоретические и прикладные проблемы современной науки и образования. – Курск: Курский ин-т соц. обр-я (филиал) РГСУ, 2012. – С. 128-134.

7. Розина, С.А. Динамика аскорбатоксидазной активности в тканях водного погружённого растения *Ceratophyllum demersum* под влиянием катионных поверхностно-активных веществ и ионов свинца / С.А. Розина, А.С. Гончарук, О.Н. Макурина // Теоретические и прикладные проблемы современной науки и образования. Курск: Курский ин-т соц. обр-я (филиал) РГСУ, 2012. С. 134-138.

8. Розина, С.А. Влияние катионных поверхностно-активных веществ на полифенолоксидазную и аскорбатоксидазную активность в тканях водного погружённого растения *Ceratophyllum demersum* / С.А. Розина, О.Н. Макурина // Теоретические и прикладные проблемы современной науки и образования. – Курск: Курский ин-т соц. обр-я (филиал) РГСУ, 2012. – С. 138-143.

9. Макурина, О.Н. Влияние ионов свинца на полифенолоксидазную и аскорбатоксидазную активность в тканях водного погружённого растения *Ceratophyllum demersum* / О.Н. Макурина, С.А. Розина // Теоретические и прикладные проблемы современной науки и образования. – Курск: Курский ин-т соц. обр-я (филиал) РГСУ, 2012. – С. 143-147.

10. Розина, С.А. Исследование влияния ионов свинца на пероксидазную активность в тканях *Ceratophyllum demersum* / С.А. Розина, А.С. Гончарук, О.Н. Макурина // Адаптационные реакции живых систем на стрессорные воздействия.

Материалы Всероссийской молодёжной конференции. – Киров: Изд-во ООО «Лобань», 2012. – С. 42-44.

11. Розина, С.А. Влияние ксенобиотиков на полифенолоксидазную активность и содержание фенольных соединений в тканях водного погружённого растения *Ceratophyllum demersum* / С.А. Розина, О.Н. Макурина // Медико-биологические вопросы адаптации. Материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой 80-летию Абхазского Государственного Университета. – Сухум: Абх. гос. ун-т, 2012. – С.121-125.

12. Розина, С.А. Фитотоксическое действие катионных поверхностно-активных веществ на пигментный состав в тканях водного растения *Ceratophyllum demersum* / С.А. Розина, А.С. Гончарук, О.В. Алексеева, Е.А. Ерахтина, О.Н. Макурина // Медико-биологические вопросы адаптации. Материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой 80-летию Абхазского Государственного Университета. – Сухум: Абх. гос. ун-т, 2012. – С.126-128.

13. Розина, С.А. Влияние поллютантов на ферментативную активность и содержание водорастворимых белков в тканях водного погружённого растения *Ceratophyllum demersum* / С.А. Розина, А.С. Гончарук, О.В. Алексеева, Е.А. Ерахтина, О.Н. Макурина // Медико-биологические вопросы адаптации. Материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой 80-летию Абхазского Государственного Университета. – Сухум: Абх. гос. ун-т, 2012. – С.129-139.

14. Розина, С.А. Влияние ионов свинца, высокой температуры и их сочетанного воздействия на каталазную активность в тканях водного погружённого растения *Ceratophyllum demersum* / С.А. Розина, А.С. Гончарук, О.В. Алексеева, Е.А. Ерахтина, О.Н. Макурина // Медико-биологические вопросы адаптации. Материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой 80-летию Абхазского Государственного Университета. – Сухум: Абх. гос. ун-т, 2012. – С.140-144.

15. Розина, С.А. Влияние сочетанного воздействия ионов свинца и катионных поверхностно-активных веществ на полифенолоксидазную и аскорбатоксидазную активность в тканях водного погружённого растения *Ceratophyllum demersum* / С.А. Розина, О.Н. Макурина // Медико-биологические вопросы адаптации. Материалы Международной научно-практической

конференции, посвящённой 80-летию Абхазского Государственного Университета. – Сухум: Абх. гос. ун-т, 2012. – С.145-148.

16. Макурина, О.Н. Динамика полифенолоксидазной активности и содержания фенольных соединений в тканях водного погружённого растения *Ceratophyllum demersum* при воздействии ксенобиотиков и последующей реабилитации/ О.Н. Макурина, С.А. Розина, А.С. Гончарук // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. Материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Киров, 4-5 декабря 2012). – Киров: ООО «Лобань», 2012. – С. 229-232.

17. Розина, С.А. Сравнение эффектов воздействия катионных синтетических поверхностно-активных веществ, температурного стресса и их сочетанного воздействия на ферментативную активность тканей высшего водного растения *Ceratophyllum demersum* / С.А. Розина // Теоретические и прикладные проблемы современной науки и образования. Материалы международной научно-практической конференции. – Курск: Курский ин-т соц. обр-я (филиал) РГСУ, 2013. – С.276-283.

18. Розина, С.А. Сравнение эффектов воздействия ионов свинца, температурного стресса и их сочетанного воздействия на ферментативную активность тканей высшего водного растения *Ceratophyllum demersum* / С.А. Розина // Теоретические и прикладные проблемы современной науки и образования. Материалы международной научно-практической конференции. – Курск: Курский ин-т соц. обр-я (филиал) РГСУ, 2013. – С.283- 292.

19. Розина, С.А. Влияние ПАВ и ионов свинца на пигменты в тканях водного погруженного растения *Ceratophyllum demersum* / С.А. Розина, Т.В. Константинова, О.Н. Макурина // Теоретические прикладные проблемы современной науки и образования: материалы Международной научной практической конференции (Курск, 27-28 марта 2014 г.): I КИСО (Филиал) РГСУ. – Курск: Курский ин-т соц. обр-я (филиал) РГСУ, 2014. – С.113-117.

20. Розина, С.А. Влияние катионных поверхностно-активных веществ на полифенолоксидазную и аскорбатоксидазную активность в тканях водного погружённого растения *Ceratophyllum demersum* / С.А. Розина // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Киров: ООО «Веси», 2014. – С. 114-117.

21. Розина, С.А. Эффекты влияния ионов свинца и катионных синтетических поверхностно-активных веществ на пигментный состав в тканях высшего водного растения *Ceratophyllum demersum* / С.А. Розина, О.Н. Макурина, О.А. Розенцвет // Экология родного края: проблемы и пути решения. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Киров, 28-29 апреля 2016г.). – Киров: Изд-во ООО «Радуга-ПРЕСС», 2016. – С. 297-300.

22. Макурина, О.Н. Эффекты влияния сочетанного действия физико-химических факторов на эколого-физиологические реакции высшего водного растения *Ceratophyllum demersum* / О.Н. Макурина, О.А. Розенцвет, С.А. Розина // Карельский научный журнал. – 2016. – Т. 5. – №3 (16). – С. 77-80.

Список используемых сокращений:

АОС – антиоксидантная система.

МДА – малоновый диальдегид.

ПОЛ – перекисное окисление липидов.

СПАВ – синтетические поверхностно-активные вещества.

ТМ – тяжёлые металлы.