

УДК 628.581:13.577.7.15

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ АККУМУЛЯЦИИ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ВОДНЫМИ РАСТЕНИЯМИ И РОЛИ ЛИПИДОВ В АДАПТАЦИИ К НИМ

© 2006 О.А. Розенцвет

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

Изучены особенности аккумуляции ионов тяжелых металлов (ТМ) - (Al^{+3} , Cu^{+2} , Cd^{+2} , Pb^{+2} , Zn^{+2}) - водным растением *Potamogeton perfoliatus*. Степень накопления ионов ТМ зависела от экзогенных факторов (концентрации, времени экспозиции, природы ТМ) и эндогенных (разных органов растения, возраста). Выявлено, что действие ионов ТМ приводит к изменениям в липидном метаболизме: изменение соотношения липидных классов, индивидуальных фосфо- и гликолипидов.

Проблема повышенного содержания тяжелых металлов (ТМ) в окружающей среде с каждым годом приобретает все большую актуальность. Металлы представляют серьезную угрозу для биоты вследствие их острой токсичности для организмов и постепенного накопления их в окружающей среде до опасного уровня. Уровень, при котором они становятся действительно опасными, зависит не только от степени загрязнения ими окружающей среды, но и от химических особенностей металла и его биохимического цикла [1].

В отличие от других факторов среды, влияние которых на живые объекты, равно как и ответные реакции живого на эти факторы, хорошо изучены, эколого-биохимические механизмы адаптации к воздействию ТМ исследованы в меньшей степени. Особенно это касается водных экосистем и водных обитателей, поскольку вопросы адаптации водных организмов к загрязнению окружающей среды имеют в настоящее время первостепенное значение [2].

Учитывая опасность ТМ для здоровья человека, исследование механизмов токсичности ТМ на объекты различного уровня организации проводятся во многих лабораториях мира [3-7]. При этом усилия исследователей направлены как на решение фундаментальных задач, связанных с изучением механизмов адаптации растительных организмов

к изменениям условий обитания, так и прикладных задач, таких как фиторемедиация загрязненных территорий [8].

Целью данной работы было сравнительное изучение особенностей аккумуляции ионов ТМ водным растением *Potamogeton perfoliatus* (рдест пронзенолистный), а также роли одного из важнейших компонентов жизнедеятельности клетки – липидов в процессах адаптации данного вида растений к этому виду загрязнений окружающей среды.

Результаты и их обсуждение

При изучении влияния загрязнения водных источников солями тяжелых металлов и их влияния на водные растения было использовано натурное моделирование с применением мезокосмов, устанавливаемых непосредственно в водоеме. Использование этого метода позволяло наиболее полно учесть всю совокупность абиотических и биотических факторов, определяющих поведение ТМ в целостной гидросистеме [9]. Согласно этой методике, в мезокосмы (в нашем случае, цилиндрические окрашенные емкости объемом 250 л, отграничивающие до дна несколько растений вместе с корнями), изолирующие участок материнской экосистемы с сохранением ее основных параметров, вводили заданные порции ТМ в виде нитратных солей. Контролем служили растения, отобранные до начала эксперимента из каждой емкости, рас-

тения, помещенные в емкости (мезокосмы), в которые не добавляли нитрат кадмия, и растения, растущие свободно вне емкостей (фон).

В качестве исследуемых металлов были выбраны соли следующих металлов: Cu, Cd, Pb, Zn и Al. Выбор этих элементов обусловлен несколькими причинами. Во-первых, среди тяжелых металлов приоритетными загрязнителями считаются Hg, Pb, Cd, As, Zn, главным образом потому, что по различным источникам их техногенное накопление в окружающей среде идет высокими темпами [9]. Из этого списка приоритетных загрязнителей нами выбраны три металла – Cd, Pb, Zn, как наиболее распространенные и актуальные для акваторий Саратовского и Куйбышевского водохранилищ. Кроме этих металлов, в воду р. Волга сбрасываются в виде различных соединений медь, железо, никель, хром и алюминий [10]. Поскольку с химической точки зрения Cd, Pb, Zn представляют собой двухвалентные металлы, относящиеся ко второй группе таблицы Менделеева, то при изучении влияния ТМ на выбранный вид растений представляло интерес провести сравнительное исследование ионов ТМ, относящихся к разным группам. Из списка металлов, так или иначе, попадающих в Волгу, было отдано предпочтение меди, как металлу переменной валентности, и алюминию, как трехвалентному металлу.

С химической точки зрения ТМ являются металлами, имеющими свободные *d*-орбитали. С этих позиций такие металлы, как, например, Zn и Al, не являются тяжелыми металлами, а Zn еще является и жизненно важным элементом, поскольку входит в состав многих ферментов [11]. Тем не менее, эти металлы рассматриваются многими исследователями как ТМ. При воздействии на растительные организмы в избыточных концентрациях эти металлы способны оказывать токсический эффект, аналогичный эффекту действительному ТМ. В этом смысле химическое и биологическое понятия ТМ имеют различное толкование. Однако одинаковые последствия как тяжелых металлов, так и нетяжелых, но токсических металлов, позволяют

объединить металлы в одну большую группу, называемую ТМ.

По данным литературных источников накопление ТМ в макрофитах отличается от высших наземных растений. В наземных растениях аккумулирование металлов в листьях определяется их оттоком из корней [12, 13]. У водных погруженных растений растворенные элементы поглощаются из воды всей поверхностью и аккумуляция определяется доступностью и общей концентрацией металла в воде. В наших экспериментах добавление токсиканта непосредственно в воду давало возможность быстро оценить аккумуляцию и токсическое действие при краткосрочных экспозициях, имитирующих внезапные промышленные сбросы.

Одной из задач, на решение которой было направлена данная работа, была оценка аккумуляции ионов используемых металлов в различных органах исследуемого водного растения. Данные одного из типичных опытов по динамике поступления ТМ в листья исследуемого растения приведены в табл. 1. Исходя из представленных результатов, отметим, что время инкубации растений рдеста в присутствии ТМ в течение трех суток было достаточным для аккумулирования металла. Через три дня содержание меди составило 74,4, кадмия – 33,0 цинка – 25,3 мг/г сухой массы при максимально использованной концентрации ТМ, равной 1000 мкмоль/л. Как видно из данных табл. 1, количество накапливаемого металла зависело от его природы. Исследуемый вид рдеста наиболее активно накапливает ионы меди. Это подтверждало мнение исследователей о способности водных растений поглощать ТМ [14-16].

Анализ динамики накопления ТМ показывает, что содержание ионов металлов в листьях возрастает с увеличением концентрации соли ТМ в среде и времени экспозиции. Максимальные скорости поглощения обнаруживались в первые двое суток. Скорость поглощения металла при высоких концентрациях и длительной экспозиции снижалась, что говорит о том, что поглотительная способность листьев рдеста уменьшалась со временем.

Таблица 1. Динамика аккумуляции ионов ТМ в листьях *Potamogeton perfoliatus* по результатам атомно-адсорбционного анализа

Концентрация металла в водной среде, мкмоль/л	Концентрация металла в листьях, мг на г сухой массы		
	Время экспозиции, сут.		
	1	2	3
Cd 1	0,3	0,5	0,7
Cd 10	1,0	1,1	3,7
Cd 100	12,4	22,3	24,7
Cd 1000	15,3	32,5	33,0
Cu 1	0,1	0,1	0,2
Cu 10	1,0	2,2	4,4
Cu 100	11,5	23,7	24,6
Cu 1000	44,3	68,0	74,4
Zn 10	0,3	0,4	0,6
Zn 100	4,2	13,3	15,7
Zn 1000	11,3	25,2	25,3
Pb 100	2,8	3,5	3,9
Al 100	3,2	3,6	4,4

Было проанализировано также накопление металлов в разных органах *Potamogeton perfoliatus* (корнях, стеблях, листьях) и в листьях разного возраста (табл. 2). При этом разделение листьев на разные возрастные категории проводились следующим образом. Листья розетки, обычно 1-4 ярус, принимались за молодые листья, листья 5-9 ярусов – за листья среднего возраста и листья ниже 9 яруса – за старые листья.

Таблица 2. Содержание ионов металлов в разных частях растения *Potamogeton perfoliatus* через одни сутки воздействия при начальной концентрации солей металлов в воде 100 мкмоль/л

Часть растения	Cu	Cd	Zn	Pb	Al
Молодые листья	3,7	11,1	2,3	3,9	3,6
Зрелые листья	8,3	6,9	5,6	3,8	3,6
Старые листья	17,8	6,9	6,2	2,9	2,5
Стебли	0,6	6,6	0,5	0,5	8,0
Корни	0,3	1,6	0,2	0,3	1,8

Данные табл. 2 показывают, что не только листья, но и стебли и корни, аккумулировали металлы. Причем степень накопления в раз-

ных органах растения зависела от природы металла. Так, медь максимально накапливалась в ранее сформированных старых листьях, кадмий и свинец – в молодых макушечных листьях, а алюминий – в стеблях. Корни растения менее всего аккумулировали ионы ТМ.

Таким образом, несмотря на то, что в водных растениях воздействию металлов подвергаются все органы одновременно, распределение ионов металлов в этих органах оказалось весьма неравнозначным и зависело от природы металла.

Сравнительное исследование роли липидов в ответных реакциях на воздействие ионов ТМ проводили по следующим показателям: по количеству общих липидов, соотношению липидных классов, соотношению индивидуальных фосфо- и гликолипидов. В табл. 3 приведены данные по содержанию общих липидов (ОЛ) через трое суток воздействия всех испытанных металлов при начальных концентрациях 10 и 100 мкмоль/л. Из этих данных видно, что действие ионов ТМ приводило к снижению количества ОЛ в той или иной степени. Но наиболее токсичными для липидов растения оказались ионы меди и кадмия, которые, по-видимому, блокировали синтез новых липидов, в результате чего разрушение липидов не восполнялось вновь синтезированными липидами и количество ОЛ снижалось в 1,5-2 раза.

Таблица 3. Зависимость изменения количества общих липидов в листьях *Potamogeton perfoliatus* от природы ТМ, время экспозиции – трое суток

Концентрация металла в водной среде, мкмоль/л	Содержание общих липидов, мг/г сырого веса
Фон	22,4± 1,8
Контроль	20,1±1,6
Cu 10	9,4 ± 1,3
Cu 100	7,7 ± 0,8
Cd 10	13,5 ± 1,1
Cd 100	9,3 ± 0,8
Zn 10	16,8± 0,8
Zn 100	14,9 ± 1
Pb 10	15,8 ± 3,4
Pb 100	12,1 ± 2,1
Al 100	18,5±0,9

Таким образом, первый «ответ» липидов растений на присутствие ионов металлов в среде был связан со снижением количества синтезируемых липидов.

Дальнейшее определение содержания основных классов липидов в данных условиях показывало на перестройку метаболизма липидов, проявляющейся в изменении соотношения гликолипидов (ГЛ), фосфолипидов (ФЛ) и нейтральных липидов (НЛ). При этом разные металлы и разные концентрации этих металлов имели различный эффект на состав липидов. Сравнительное исследование влияния всех исследованных металлов в равных условиях на соотношение липидных классов приведено в табл. 4. Данные этой таблицы показывают, что действие каждого металла имеет разную направленность. Если ионы меди при 100 мкмоль/л и кадмия при 10 и 100 мкмоль/л действовали таким образом, что снижалось содержание полярных липидов, как ФЛ, так ГЛ, то действие ионов свинца при двух испытанных концентрациях (10 и 100 мкмоль/л) было направлено на снижение синтеза хлоропластных ГЛ. Ионы цинка вызывали меньшие изменения в соотношении липидных классов, хотя при концентрации 100 мкмоль/л наблюдалось снижение содержания ФЛ по сравнению с контрольными образцами. Но это снижение содержания ФЛ было заметно меньше в сравнении со снижением количества ФЛ, наблюдаемое при действии ионов кадмия и меди.

Таблица 4. Соотношение нейтральных (НЛ), глико- (ГЛ) и фосфолипидов (ФЛ) в листьях *Potamogeton perfoliatus* в зависимости от концентрации и природы ТМ. Время экспозиции – трое суток

Концентрация солей, мкМ	Содержание липидов, % от суммы		
	НЛ	ГЛ	ФЛ
Фон	28,5 ± 2,3	41,0 ± 3,9	30,5 ± 2,4
Контроль-1	30,0 ± 1,7	41,6 ± 4,9	28,4 ± 0,7
Cu-10	29,9 ± 0,8	38,8 ± 0,5	31,3 ± 0,8
Cu-100	53,0 ± 7,3	28,1 ± 3,3	18,8 ± 1,9
Cd -10	48,6 ± 1,4	36,0 ± 2,8	15,2 ± 2,8
Cd-100	57,9 ± 4,1	26,4 ± 0,2	15,8 ± 1,5
Zn-10	27,2 ± 2,2	43,2 ± 3,8	29,5 ± 4,3
Zn-100	35,4 ± 1,6	40,5 ± 3,1	23,8 ± 3,6
Pb-10	32,7 ± 4,5	35,6 ± 4,2	31,6 ± 2,8
Pb-100	35,0 ± 0,1	30,9 ± 2,1	34,0 ± 2,2
Al-100	26,4 ± 2,5	34,1 ± 2,8	39,8 ± 4,2

Из полученных результатов можно предположить, что, по-видимому, в зависимости от специфики металла затрагиваются разные линии синтеза полярных липидов.

Поскольку полярные липиды становились главной мишенью воздействия ионов ТМ, то более подробно был исследован состав индивидуальных ФЛ под воздействием ионов ТМ. В наших предыдущих исследованиях было показано, что ФЛ данного вида растения состоят из фосфатидилхолина (ФХ), фосфатидилэтаноламина (ФЭ), фосфатилглицерола (ФГ), фосфатидилинозитола (ФИ) и фосфатидной кислоты (ФК) [17]. Главными в количественном отношении являются ФХ, ФЭ и ФГ. Динамика изменения главных ФЛ при одинаковой концентрации 100 мкмоль/л разных металлов приведены на рис. 1-3.

Все ионы исследуемых ТМ в данной концентрации мало влияли на количество ФХ, за исключением ионов кадмия, действие которых приводило к снижению его уровня. В отличие от ФХ содержание ФЭ под действием некоторых металлов менялось драматически. Причем в изменении данного липида особенно четко проявилась специфика каждого из исследуемых ТМ. Если динамика изменения этого липида под действием ионов цинка не отличалась от контроля, то под действием ионов алюминия количество ФЭ увеличивалось. Но действие ионов меди, кадмия и свинца было направлено на снижение количества ФЭ вплоть до полного исчезновения из состава ФЛ. Специфичность воздействия разных ТМ проявилась и в изменении содержания ФГ. Ионы цинка и алюминия были индифферентны к ФГ, действие ионов меди и кадмия приводило к увеличению вклада ФГ, а ионов свинца – к его уменьшению.

Таким образом, на примере главных ФЛ выявлены устойчивые и чувствительные линии синтеза индивидуальных ФЛ в зависимости от специфики металла и действующей концентрации этих металлов.

Одной из мишеней при атаке иона металла становятся хлоропластные липиды, о чем свидетельствует увеличение доли ФГ – фосфолипида, который стабилизирует светособирающий комплекс ФС II. Это подтверждается

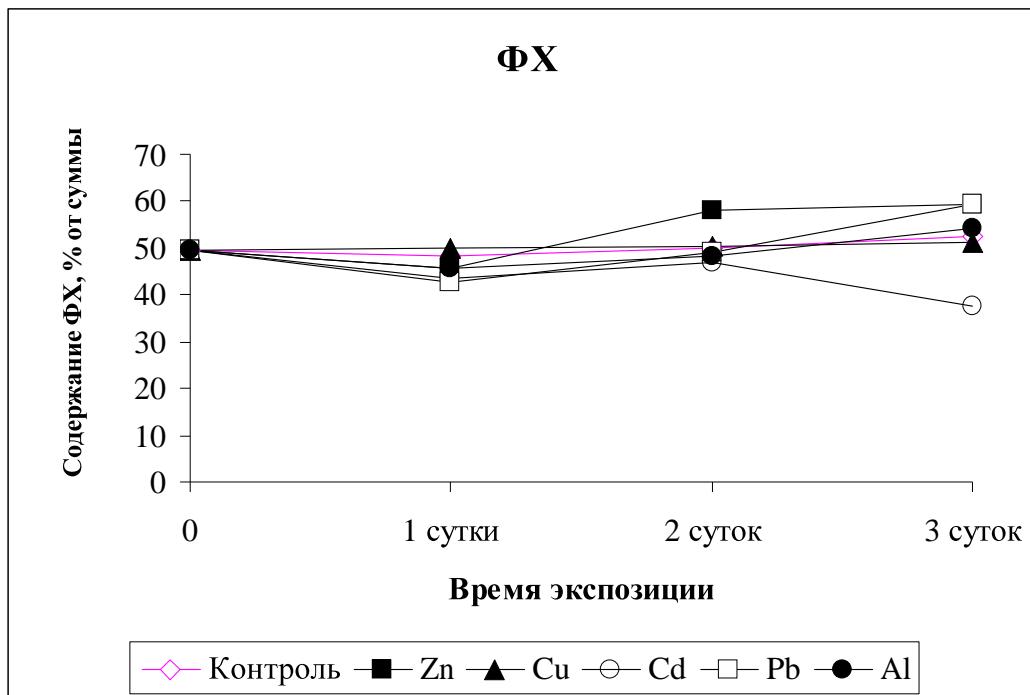


Рис. 1. Динамика изменения содержания фосфатидилхолина в листьях *Potamogeton perfoliatus* при воздействии исследованных ионов ТМ в концентрации 100 мкмоль/л в течение 3-х суток

ется и соотношением липидных классов (табл. 4) и соотношением галактолипидов (ГЛ) (рис. 4-6). Сравнительный анализ влияния ионов всех изученных ТМ при равных условиях проведен по отдельным гликолипи-

дам. Уровень МГДГ в контроле находился в пределах 49,0-54,5% от суммы ГЛ. При воздействии ионов цинка в течение трех суток уровень МГДГ варьировал в интервале 44,1 -59,7%, ионов кадмия - 41,7-35,5%, ионов

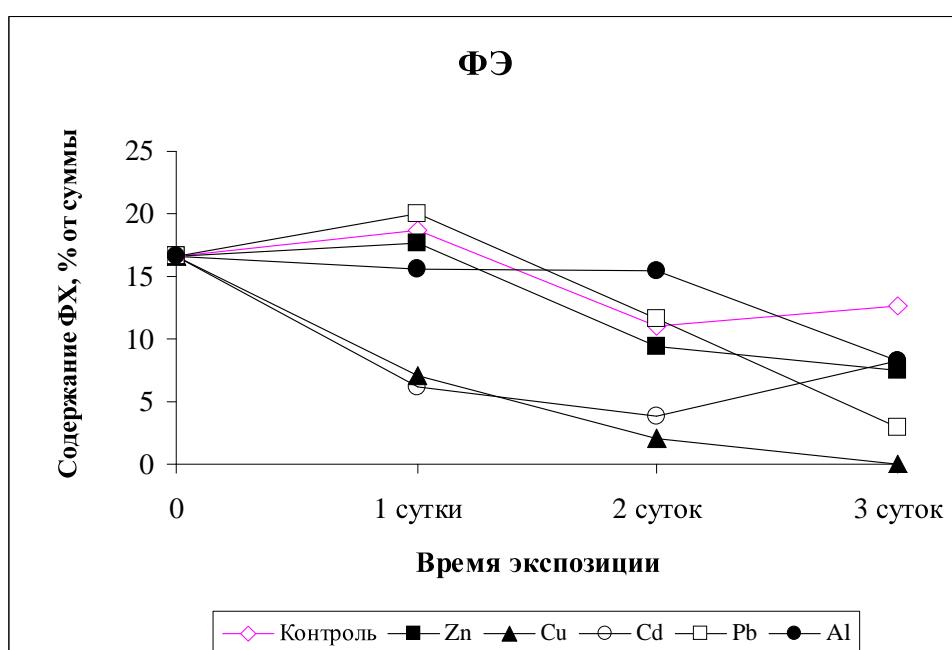


Рис. 2. Динамика изменения содержания фосфатидилэтаноламина в листьях *Potamogeton perfoliatus* при воздействии исследованных ионов ТМ в концентрации 100 мкмоль/л в течение 3-х суток

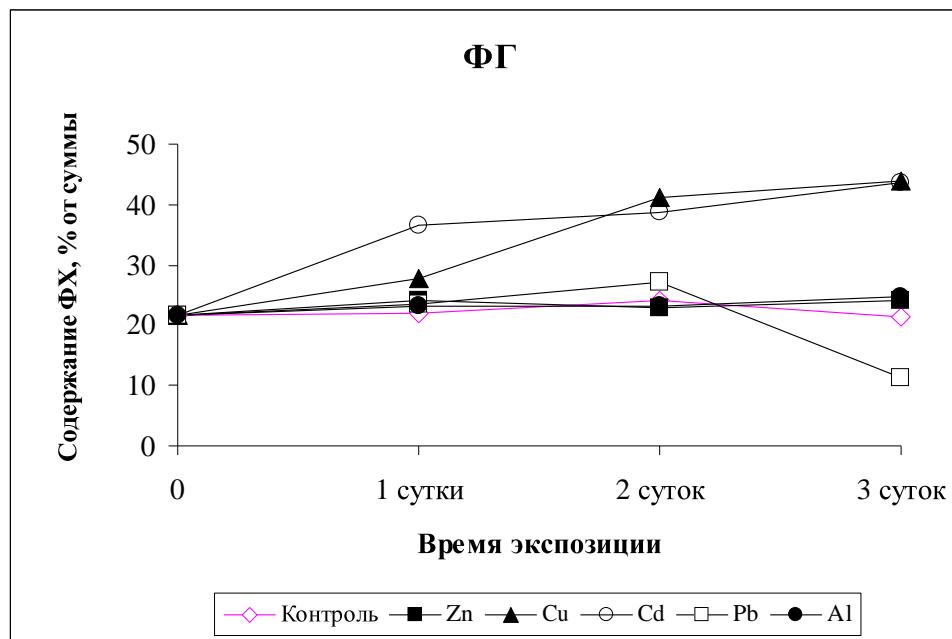


Рис. 3. Динамика изменения содержания фосфатидилэтаноламина в листьях *Potamogeton perfoliatus* при воздействии исследованных ионов ТМ в концентрации 100 мкмоль/л в течение 3 суток

меди – 48,2-60,8%, ионов свинца – 39,2-52,4%, ионов алюминия - 48,6-49,1% от суммы ГЛ. Из этих результатов следует, что действие ионов алюминия не оказывало влияния на МГДГ. Ионы цинка и кадмия действовали в направлении снижения, а ионы меди – увеличения количества МГДГ (рис. 4).

В отношении второго галактолипида ДГДГ

можно отметить, что его количественный вклад в состав ГЛ варьировал от 33,6% до 36,3% от суммы ГЛ в контрольных экспериментах в течение трех суток. При воздействии разных концентраций нитрата цинка за этот же период времени изменение данного липида находились в интервале 32,9-36,0%, что соответствует контрольным значениям. Ионы

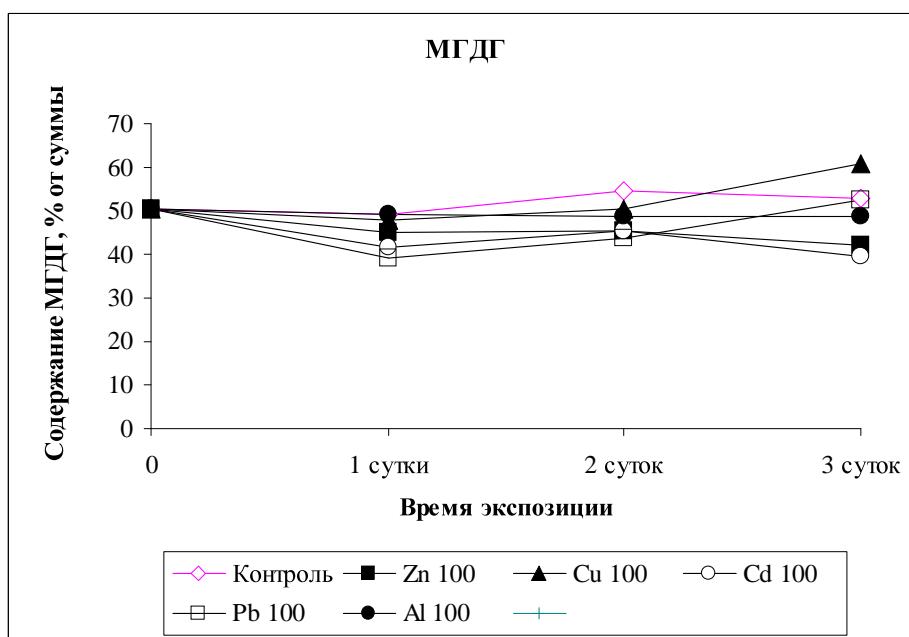


Рис. 4. Динамика изменения содержания МГДГ в листьях *Potamogeton perfoliatus* при воздействии исследованных ионов ТМ в концентрации 100 мкмоль/л

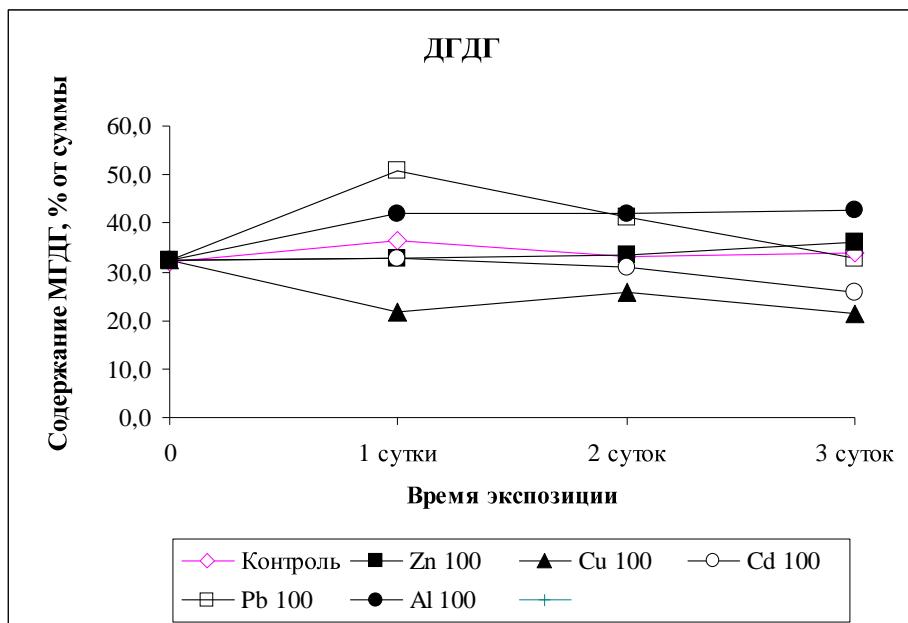


Рис. 5. Динамика изменения содержания ДГДГ в листьях *Potamogeton perfoliatus* при воздействии исследованных ионов ТМ в концентрации 100 мкмоль/л

алюминия вызывали небольшой рост количества ДГДГ за время экспозиции. При действии ионов кадмия пределы изменения количества ДГДГ были 24,6-34,0%, ионов меди – 20,7-29,4%, ионов свинца – 32,9-50,9%, ионов алюминия – 41,8-42,8% от суммы ГЛ. Следовательно, ионы кадмия и меди действовали в направлении снижения количества ДГДГ. Реакция ионов свинца была таковой,

что в первые сутки содержание ДГДГ возрастило, а затем снижалось до уровня контрольных экспериментов (рис. 5).

Количество сульфолипида СХДГ возрастило под действием ионов кадмия, меди, свинца и снижалось под действием ионов алюминия (рис. 6).

Таким образом, в реакциях гликолипидов на воздействие ионов ТМ, так же как и в слу-

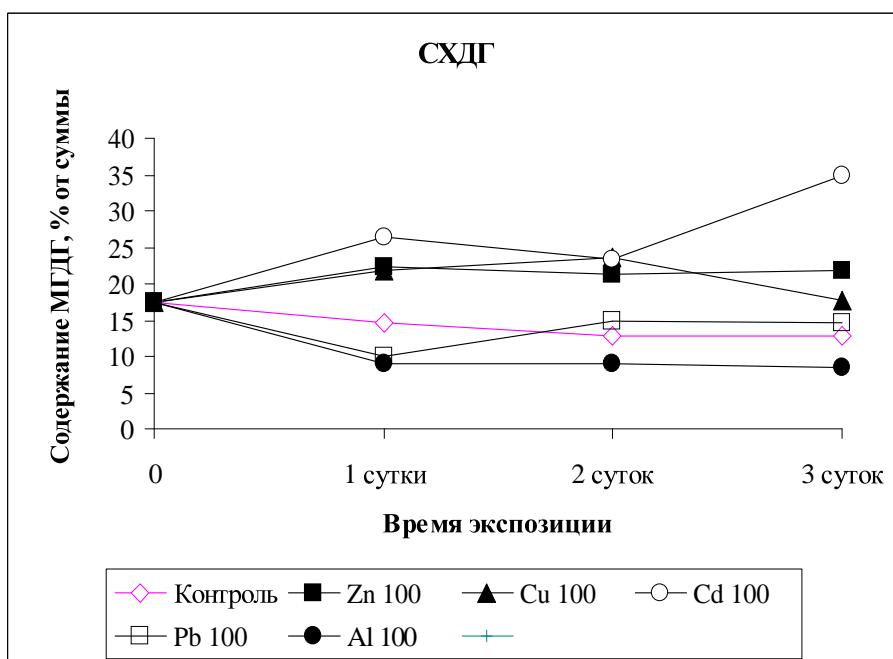


Рис. 6. Динамика изменения содержания СХДГ в листьях *Potamogeton perfoliatus* при воздействии исследованных ионов ТМ в концентрации 100 мкмоль/л

чае с фосфолипидами, выявлен специфический отклик на воздействие разных ТМ.

Таким образом, изучены особенности аккумуляции ионов тяжелых металлов (Al^{+3} , Cu^{+2} , Cd^{+2} , Pb^{+2} , Zn^{+2}) водным растением *Potamogeton perfoliatus*. Степень накопления ионов ТМ зависела от экзогенных факторов (концентрации, времени экспозиции, природы ТМ) и эндогенных (разных органах растения, возраста). На примере одного вида водных растений показана роль липидов в ответных реакциях на воздействие ионов ТМ как одного из неблагоприятных абиотических факторов антропогенного характера. Несмотря на разную направленность действия ионов ТМ, общая роль липидов заключается в изменении соотношения липидных классов, индивидуальных липидов и жирных кислот. Аналогичные изменения были характерны для растений при встрече с другими стрессовыми воздействиями (низкая температура, соленость, гипоксия и т.д.) [18]. Это говорит о том, что механизмы адаптации (реагирования) живой системы на внешние воздействия на биохимическом уровне являются достаточно однотипными и рациональными. В то же время из полученных результатов можно сделать вывод, что растительная клетка имеет в своем арсенале набор приспособительных механизмов, которые она реализует, даже к тем неблагоприятным факторам, которых она ранее не встречала.

Объекты и методы исследования

На мелководном участке акватории Саратовского водохранилища с обильными зарослями рдеста пронзенолистного (*Potamogeton perfoliatus* L.) были установлены емкости, ограничивающие до дна 10-12 растений вместе с корнями. В емкостях поддерживали объем природной воды 135-140 л. В течение трех суток через каждые 24 ч в емкости добавляли $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ для поддержания концентраций - 1, 10, 100 и 1000 мкмоль/л. Для ана-

лизов использовали листья, стебли и корни. Отобранные для анализа образцы растительного материала тщательно промывали в проточной воде, подсушивали фильтровальной бумагой, взвешивали и использовали для анализа содержания липидов. Полученные данные, приведенные в таблицах и на рисунках, представляют средние значения трех биологических повторностей.

Экстракцию липидов проводили по методу Блайя и Дайера [19]. Липиды разделяли методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) на пластинках (10x10 см и 6x6 см) с закрепленным слоем силиказоля (эстонская фирма «Хаапсалу»). Для анализа гликолипидов использовали систему растворителей: ацетон – бензол – вода (91:30:8). Фосфолипиды анализировали двумерной ТСХ с применением систем растворителей: хлороформ – метанол – бензол – аммиак (130:60:20:12) – первое направление и хлороформ – метанол – бензол – ацетон – уксусная кислота (140:60:20:10:8) – второе направление. Общее количество липидов определяли гравиметрическим способом. Количественное определение фосфолипидов проводили методом Васьковского [20], гликолипидов – по содержанию галактозы с аントроновым реагентом [21].

Определение содержания ТМ в тканях растений проводили по методу Голубкиной [22]. Навеску воздушно-сухого растительного материала (30-50 мг) заливали смесью концентрированной азотной (1,5 мл) и хлорной (0,8 мл) кислот и оставляли на сутки. Затем с помощью термостата пробы прогревали по 1 часу последовательно при 120⁰C, 150⁰C и 180⁰C и после охлаждения до 150⁰C вносили в них по 5-6 капель концентрированной H_2O_2 . Через 10 мин к пробам приливали 1 мл 6 М раствора HCl и выдерживали их 10 мин при температуре 110⁰C. После обесцвечивания растворов концентрацию ТМ измеряли на атомно-абсорбционном спектрофотометре Hitachi-207 (Япония).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бингам Ф.Т., Коста М., Эйхенбергер Э. и др. Некоторые вопросы токсичности ионов

- металлов / Под ред. Х. Зигель, А. Зигель. М.: Мир, 1993.
- Ипатова В.И. Адаптация водных растений к стрессовым абиотическим факторам сре-

- ды. М.: «Графикон-принт», 2005.
3. *Maksymiec W., Russa R., Urbanik-Sypniewska T., Baszynski T.* Changes in acyl lipid and fatty acid composition on thylakoids of copper non-tolerant spinach exposed to excess copper // *J. Plant Physiol.* 1992. V. 140.
 4. *Küpper H., Küpper F., Spiller M.* In situ detection of heavy metal substituted chlorophylls in water plants // *Photosynthesis Res.*, 1998. V.
 5. *Rama Deli S., Prasad M.N.V.* Membrane lipid alteration in exposed plants // Heavy metal stress in plants. From molecules to ecosystems. Berlin: Springer, 1999.
 6. *Stefanov K., Kimenov G., Popova I., et al.* Lipid and sterol changes in plants and invertebrates caused by environmental pollution // *Bulgarian Chemical Comm.* 1992. V. 25.
 7. *Guilizzoni P.* The role of heavy-metals and toxic materials in the physiological ecology of submersed macrophytes // *Aquatic Botany*. 1991. V. 41, № 1-3.
 8. *Демидчик В.В., Соколик А.И., Юрин В.М.* Токсичность избытка меди и толерантность к нему растений // Успехи совр. биол. 2001. Т. 121, № 5.
 9. *Ильин В.Б.* Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука, 1991.
 10. *Холодова В.П., Волков К.С., Кузнецов Вл.В.* Адаптация к высоким концентрациям солей меди и цинка растений хрустальной травки и возможность их использования в целях фиторемедиации // Физиология растений. 2005. Т. 52, № 6.
 11. *Селезнев В.А., Рубцов М.Г., Купер В.Я., Розенберг Г.С.* Оценка пространственной неоднородности качества вод Саратовского водохранилища // Изв. СНЦ РАН. 1999, № 2.
 12. *Maksymiec W.* Effects of copper on cellular processes in higher plants // *Photosynthetica*. 1997. V. 34, № 3.
 13. *Лукина Л.Ф., Смирнова Н.Н.* Физиология высших водных растений. Киев: Наук. думка, 1988.
 14. *Христофорова Н.К.* Химико-экологическая характеристика Кандалашского залива Белого моря по содержанию тяжелых металлов в моллюсках и водорослях // *Биология моря*. 1994. Т. 20, № 2.
 15. *Прасад М.Н.* Практическое использование растений для восстановления экосистем загрязненных металлами // *Физиология растений*. 2003. Т. 50, № 35.
 16. *Розенцвет О.А., Мурзаева С.В., Гущина И.А.* Роль мембранных липидов в устойчивости *Potamogeton perfoliatus* L. к избытку Кадмия в воде // Изв. РАН. Сер. биол., 2004. № 6.
 17. *Смоляков Б.С., Жигула М.В., Рыжих А.П., и др.* Поведение различных форм меди (II) в пресноводной экосистеме // Водные ресурсы. 2004. Т. 31, № 1.
 18. *Bligh E.G., Dyer W.J.* A rapid method for total lipid extraction and purification // *Can. J. Biochem. Physiol.* 1959. V. 37.
 19. *Vaskovsky V.E., Latyshev L.A.* Modified Jungnickel's reagent for detecting phospholipids and other phosphorus compounds on thin-layer chromatography // *J. Chromatogr.* 1975. V. 115.
 20. *Северин С.Е., Соловьева Г.А.* Практические работы в биохимии. М.: Изд-во Моск. у-та. 1989.
 21. *Голубкина Н.А.* Флуорометрический метод определения селена // *Журн. аналит. химии*. 1995. Т. 50.

STUDYING OF FEATURES OF ACCUMULATION OF IONS OF HEAVY METALS BY WATER PLANTS AND ROLES ЛИПИДОВ IN ADAPTATION TO HEAVY METALS

© 2006 O.A. Rozentsvet

Institute of Ecology of the Volga River Basin of the Russian Academy of Science, Togliatty

Are investigated features of accumulation of ions of heavy metals (TM) (Al^{+3} , Cu^{+2} , Cd^{+2} , Pb^{+2} , Zn^{+2}) by water plant *Potamogeton perfoliatus*. The degree of accumulation of ions TM depend экзогенных factors (concentration, time of an exposition, nature TM) and эндогенных (different bodies of a plant, age). It is revealed, that action of ions TM results in changes in липидном a metabolism: change of a parity(ratio) липидных classes, individual фосфо-and гликолипидов.