

На правах рукописи

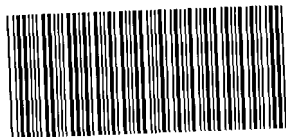
Поклонов Владислав Александрович

**МУТАГЕННЫЕ КСЕНОБИОТИКИ, ТЯЖЁЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И
ПОВЕРХНОСТНО – АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА В ПОЧВАХ И
ВЫСШИХ ВОДНЫХ РАСТЕНИЯХ**

03.02.08 – экология

03.02.07 – генетика

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата биологических наук



005538299

14 НОЯ 2013

Москва 2013

Работа выполнена на экологическом факультете негосударственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Международный независимый эколого-политологический университет им. Моисеева» и в лаборатории физико-химии биомембран биологического факультета федерального бюджетного государственного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова».

Научные руководители:

Котелевцев Сергей Васильевич

доктор биологических наук, профессор
ведущий научный сотрудник
лаборатории физико-химии биомембран
МГУ им. М.В. Ломоносова.

Остроумов Сергей Андреевич

доктор биологических наук,
ведущий научный сотрудник
лаборатории физико-химии биомембран
МГУ им. М.В. Ломоносова.

Официальные оппоненты:

Чернышов Владислав Иванович

Доктор биологических наук, профессор
Российского университета дружбы народов.

Терехова Вера Александровна

Доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник
Института проблем экологии
и эволюции им. А.Н. Северцова РАН.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей генетики
им Н.И. Вавилова РАН Российской академии наук.

Защита состоится 5 декабря в 16 00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.203.17 в
Российском университете дружбы народов по адресу: 115093, г. Москва, Подольское шоссе, д. 8/5,
экологический факультет РУДН.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского университета дружбы народов по
адресу: 117923, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6.

Автореферат разослан 31 октября 2013 года

Ученый секретарь диссертационного совета:

Кандидат биологических наук, доцент

Карпухина Е.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Проблемы на решение которых направлено исследование

В области контроля химического загрязнения биосферы имеется две крупных приоритетных проблемы: первая - оценка экологической опасности химического загрязнения и конкретных химических веществ-поллютантов и вторая – поиск методов и технологий снижения концентрации поллютантов в объектах окружающей среды.

Для решения этих проблем необходимо проводить регулярный анализ и контроль опасности накопления различных поллютантов, в том числе мутагенных ксенобиотиков, тяжёлых металлов и поверхностно-активных соединений (ПАВ) в почвах и высших водных растениях пресноводных водоёмов.

Методы для мониторинга мутагенных соединений в почвах и высших водных растениях пока в отечественной научной литературе практически отсутствовали. Недостаточно исследовалось совместное действие нескольких загрязняющих веществ, - в частности, не исследовано совместное действие загрязнителей различных типов на высшие растения.

В качестве перспективного подхода к контролю загрязнения окружающей среды нередко рассматривают фиторемедиацию (фитотехнологии), однако исследования обычно ограничиваются относительно узким кругом видов высших растений.

Фиторемедиационный потенциал высших водных растений, выходящих за рамки этого относительно узкого круга видов, изучен недостаточно.

Актуальность темы

Загрязнение окружающей среды является одной из основных причин нарушения экосистем, опасных не только для популяций растений и животных, но и для человека. По пищевым цепям тяжёлые металлы и ксенобиотики (органические соединения, не вступающие в организме ни в пластический, ни в энергетический обмен) поступают в живые организмы, накапливаются, и становятся причиной роста заболеваний растений, животных и человека. Причинами поступления в биосферу тяжёлых металлов и органических загрязнителей являются различные виды антропогенного (техногенного) загрязнения среды, а местом их накопления – многие компоненты биосферы, в том числе водные экосистемы, почвы и высшие растения.

Среди опасных загрязнителей экосистем выделяют тяжёлые металлы, поверхностно – активные вещества (ПАВ), канцерогенные и мутагенные соединения.

По пищевым цепям эти соединения могут поступать в организмы, накапливаются, вызывают мутации и являются причиной роста числа заболеваний, связанных с загрязнением окружающей среды: аллергии, канцерогенез и др.

К сожалению, исследований комплексного воздействия различных загрязнителей на экосистемы проводится крайне мало. Однако совместное действие токсикантов существенно отличается от действия на экосистемы их отдельных групп. В реальных экологических системах присутствуют различные классы загрязнителей. В связи с этим для эколого-токсикологического анализа весьма актуально применять как методы биотестирования, так и методы аналитической химии. Это позволяет выявить присутствие в экосистемах различных групп токсикантов и, с помощью методов биотестирования, оценить опасность, а также определить последствия их действия.

Ксенобиотики, обладающие мутагенным и канцерогенным эффектами, являясь одними из наиболее опасных загрязнителей окружающей среды. Несмотря на систему мер по охране окружающей среды, поступление этих соединений в почву и водные объекты не прекращается, и даже усиливается.

Исследование опасности наличия ксенобиотиков в компонентах окружающей среды, в том числе в почве, и в водных экосистемах является весьма актуальной задачей.

Не менее актуальной задачей является исследование накопления мутагенных соединений в организмах в присутствии других токсикантов, и в первую очередь ПАВ. Эти загрязнители обладают мембранотропным эффектом, и по-видимому, могут способствовать накоплению других ксенобиотиков в тканях растений.

Особой актуальностью обладают проблемы, связанные с фиторемедиационным потенциалом высших водных растений.

Среди химических веществ, загрязняющие биосферу, выделяются два больших класса – неорганические вещества и органические вещества. Интерес для исследований представляют оба этих больших класса. В качестве конкретных представителей этих классов поллютантов в данном исследовании были взяты представители неорганических веществ (тяжелые металлы) и представители поллютантов, содержащих органические вещества (детергенты, или моющие средства, содержащие поверхностно-активные вещества, ПАВ). Вопросы контроля опасности индивидуальных ПАВ и ПАВ-содержащих детергентов исследовались в диссертациях и публикациях С.А.Остроумова и Е.А.Соломоновой. В данной работе были продолжены эти исследования на новых примерах детергентов (синтетических моющих средств, СМС).

Цели и задачи научного исследования

Цель исследования: внести вклад в изучение вопросов контроля химического загрязнения на примерах некоторых конкретных загрязняющих веществ (металлов и органических веществ, включая ПАВ, а также ПАВ-содержащих смесевых веществ). В том числе: получить новые данные о накоплении мутагенных ксенобиотиков в высших водных растениях и почвах; предложить методы для мониторинга мутагенных соединений в тканях высших

водных растений и почвах; оценить возможность усиления накопления мутагенов растениями в присутствии ПАВ; исследовать фиторемедиационный потенциал высших водных растений.

Для достижения указанных целей были поставлены следующие задачи:

1. Получить новые данные о контроле химического загрязнения на основе инструментального анализа содержания химических поллютантов в компонентах экосистем.

2. Получить новые данные о биосистемах, которые способны внести вклад в контроль химического загрязнения и снижения содержания поллютантов в водной среде.

3. Провести определение наличия мутагенных и канцерогенных соединений в высших водных растениях (на конкретных примерах растений в экосистеме Можайского водохранилища).

4. Определить наличие мутагенных и канцерогенных соединений в почвах на примере Орловской области и государства Мали.

5. Анализировать накопление ПАВ и тяжёлых металлов в высших водных растениях.

6. Изучить накопление мутагенных соединений в проростках растений в присутствии ПАВ.

7. Провести анализ фиторемедиационного потенциала высших водных растений нескольких видов, ранее не изученных в этом отношении.

Научная новизна работы

В работе проведены исследования совместного действия поверхностно активных веществ (ПАВ) (компоненты моющих средств и пр.), поступающих в водоемы, не обладающих мутагенным эффектом, и стандартных мутагенов на системы детоксикации и метаболической активации. Ранее таких экспериментов не проводилось.

Впервые проведен анализ накопления и метаболической активации мутагенных ксенобиотиков в прилегающих почвах, и в тканях высших водных растений Можайского водохранилища.

Впервые проведено биотестирование на проростках нескольких ПАВ-содержащих смесевых препаратов.

Впервые обнаружен фиторемедиационный потенциал нескольких видов водных макрофитов в условиях одновременного загрязнения водной среды четырьмя тяжелыми металлами.

Практическая значимость работы.

Практическое значение работы определяться предложением биологических тест-систем для биотестирования, а также для мониторинга генотоксичности почв и пресноводных экосистем.

Основные положения, выносимые на защиту

- 1) Реализованные в исследовании методы биоиндикации и биотестирования позволяют проводить оценку действия детергентов и ПАВ на высшие растения. Предложенные методы экстракции токсикантов из почв позволяют анализировать накопление промутагенных и мутагенных соединений в почвах.
- 2) Хромато – масс – спектрометрия выявляет конкретные загрязнители, обладающие мутагенным эффектом.
- 3) Присутствие в экосистемах ПАВ может усиливать накопление мутагенных соединений в высших растениях.

Апробация работы и публикации

Результаты работы были доложены и обсуждены на следующих конференциях.

1. Экосистемы, организмы, инновации - 11. Дата проведения: 24 июня 2009. Биологический факультет МГУ. Тема: Изучения взаимодействий тяжелых металлов с водными макрофитами.

2. Дом ученых РАН, Москва. Секция экологии, 1 марта 2009. Конференции: Экологический механизм самоочищения воды. Тема: О роли высших водных растений в экологических механизмах очищения воды: изучение конкретного примера.

3. III научно-практическая конференция «Перспективы развития инноваций в биологии», 11-13 ноября 2009. Тема: Влияние меди на различные растения в различных концентрациях в разных условиях. Биологический факультет МГУ.

4. Третья международная научная конференция молодых ученых и талантливых студентов – Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность. 16-18 декабря 2009 года. Тема: Изучение взаимодействий неорганических и органических поллютантов с водными растениями. Институт водных проблем РАН, Москва.

5. Ломоносов – 2010. 12-15 апреля 2010 г. Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых.

Тема: О роли высших водных растений в экологических механизмах очищения воды от тяжелых металлов: изучение микрокосмов с *Cu* и *Echinodorus quadricostatus*. Биологический факультет МГУ.

6. Экосистемы, организмы, инновации -12. 23-24 июня 2010 г. Тема: В условиях лабораторных микрокосмов изучали взаимодействие тяжелых металлов *Cu*, *Zn*, *Cd*, *Pb* с водными макрофитами. Биологический факультет МГУ.

7. Четвертая международная научная конференция молодых ученых и талантливых студентов – Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность. 6-8 декабря 2010 года. Тема: Изучение взаимодействий

неорганических и органических поллютантов с водными и почвенными растениями. Институт водных проблем РАН, Москва.

8. Пятая международная научная конференция молодых ученых и талантливых студентов – Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность. 23-25 ноября 2011 года. Тема: Изучение взаимодействий неорганических и органических загрязняющих веществ с водными и наземными растениями в условиях биотестов.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 работ, в том числе шесть статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав: 1) Обзор литературы, 2) Материал и методы, 3) Результаты и обсуждение, 4) Выводы. Диссертация изложена на 242 страницах, включает 6 рисунков и 99 таблиц. Список литературы содержит около 300 наименований работ, из них более 150 на иностранных языках.

Основное содержание работы.

Обзор литературы.

В обзоре литературы внимание уделено биотестированию мутагенных и канцерогенных соединений, таким, как стойкие органические загрязняющие вещества, тяжелые металлы, синтетические поверхностно – активные вещества и детергенты (моющие средства).

В обзоре литературы диссертации говорится о нахождении в природных средах и об источниках поступления в окружающую среду этих веществ.

Описано несколько методов измерения концентраций этих химических веществ, как в природных средах, так и в искусственно созданных микрокосмах в лабораторных условиях.

Материалы и методы исследования.

В работе использовались следующие методы исследования. Образцы растений и почв экстрагировались хлористым метилом. Растворитель выпаривался на плёночном испарителе, после чего растворяли в ДМСО (для теста Эймса сальмонелла/микросомы).

Хромато – масс – спектрометрию проводили на хроматомасс – спектрометре Pegasus 4D фирмы LECO. Энергия ионизации – 70 эВ, капиллярная силиконовая колонка DB-5 (30м), температурный режим: 50°C (2 мин.) – 20°C/мин – 280°C (10 мин.), сканируемые массы 29-450 Дальтон.

При измерении неорганических загрязняющих веществ в воде и почве использовали методы атомно – абсорбционной спектрометрии, инверсионной вольтамперометрии, нейтронно – активационного анализа. Мутагенность

веществ определялась в модифицированном тесте Эймса сальмонелла/микросомы (Фонштейн и др.1971). Проводилось биотестирование на проростках зернобобовых культур для выявления токсичности детергентов с использованием метода измерения условной средней длины, предложенного и разработанного С.А.Остроумовым (2001). Достоинством этого метода является получение объединенной информации о негативном воздействии тестируемого препарата и на прорастание семян, и на удлинение проростков, причем информация об обоих биологических эффектах интегрируется в одном показателе. Достоверность полученных результатов определялась в программе «Statistica 6» с использованием критерия Стьюдента.

1.1. Загрязнение тяжёлыми металлами высших водных растений Можайского водохранилища

Для исследования содержания мутагенных соединений в высших водных растениях Можайского водохранилища (Московская область) были выбраны два типичных для этого водоёма вида: элодея канадская (*Elodea canadensis*) и телорез алоэвидный (*Stratiotes aloides*).

Образцы высших водных растений отбирались в непосредственной близости от берега в районе посёлков Ильинское, Красновидово и вблизи гидроузла. Растения отбирались в трех точках на расстоянии не менее 20 метров друг от друга. Растения высушивались на берегу в течении суток и затем доставлялись в лабораторию для экстракции. Данные по содержанию тяжёлых металлов в элодеи канадской представлены в таблице 1.

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов в водных растениях (элодея канадская), собранных в районе гидроузла Можайского водохранилища (мг/кг сухой массы)

Элемент	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni
	107,9	345	2,8	9,3	0,72	4,8	8,5
	112,6	326	2,4	9,4	0,57	4,4	7,7
	117,7	312	2,6	9,6	0,69	4,6	8,6
Среднее значение	112,73	327,67	2,60	9,43	0,66	4,60	8,27
Среднее квадратичное отклонение	48,0	548,6	0,08	0,04	0,01	0,08	0,48

Допустимая граница содержания в кормах: ртуть-0,05-0,1; кадмий-0,2-0,4; свинец-2-5; медь-30-80; цинк-50-100; никель-1-3; хром-0,5-2 мг/кг. (med.znate.ru/docs/index-60861.html)

Для воды (ПДК для рыбохозяйственных водоёмов) предельно допустимые количество кадмия-0,001мг/л, свинца-0,03, ртути-0,0005, никеля-

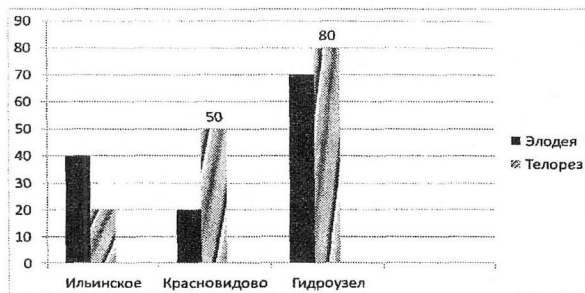
0,1, меди-1,00, цинка-5,00, марганца-0,1 мг/л. (med.znate.ru/docs/index-60861.html)

В растениях из Можайского водохранилища наблюдается превышение содержания металлов по никелю, а также по кадмию (таблица 1).

Значения по другим металлам (кроме никеля и кадмия) ниже ПДК для кормов сельскохозяйственных животных. Однако, присутствие тяжёлых металлов (и прежде всего такого токсичного металла как кадмий), совместно с другими загрязнителями может играть существенную роль в эколого-токсикологическом состоянии исследуемой экосистемы.

Результаты анализа содержания мутагенных соединений в экстрактах высших водных растений Можайского водохранилища приведены на рис.1.

Рис.1. Процент проб экстрактов высших водных растений (из 10 отобранных) проявивших мутагенный эффект в тесте Эймса сальмонелла/микросомы



50, 80 – $p < 0,01$

Наиболее часто мутагенные соединения встречались в районе гидроузла. Эти образцы были исследованы методом хроматомасс-спектрометрии.

В исследованных образцах пестициды и другие, особо опасные экотоксиканты не были обнаружены, но идентифицированы нефтяные углеводороды: полициклические ароматические соединения – нафталин и его алкильные производные, фенантрен и метилбифенил, (суммарно 1,7 мкг/г); алкилбензолы (2,4 мкг/г); алканы и алкены (17мкг/г); нафтены (4,7 мкг/г). Всего нефтепродуктов 26 мкг/г.

Таблица 2. Приоритетные загрязняющие вещества в экстрактах растений.

Загрязняющие вещества	Элодея канадская (мкг/г сухого веса)	Телорез алоэвидный (мкг/г сухого веса)
полициклические ароматические соединения – нафталин и его алкильные производные, фенантрен и метилбифенил,	1,7 ± 0,08	2,3 ± 0,07
алкилбензолы	2,4 ± 0,06	4,6 ± 1,11
алканы и алкены	17 ± 1,60	32 ± 2,05
нафтенны	4,7 ± 0,09	6,9 ± 0,09
Всего нефтепродуктов	26 ± 2,78	44 ± 3,44

В незначительных количествах определены дибутилфталат, эфиры бензойной кислоты и 2,4-дитретбутилнитрофенол. Из мутагенных соединений определялись фенантрен и антрацен. Эти последние, как и нефтепродукты вносят вклад в мутагенный эффект.

1.2. Загрязнение почв Мали и Орловской области.

На общую экологическую обстановку в выбранных для обследования районах, в настоящее время оказывают влияние содержащиеся в почве таких загрязняющих веществ техногенного происхождения, как химические средства защиты растений (и в первую очередь – пестициды) и продукты их распада. Не менее важно, что токсические свойства пестицидов значительно возрастают при их переходе в комплексы с металлами. Девять проб почв были отобраны в 9 пунктах 6 районов Орловской области в период 12-15 мая 2010 года. Координаты мест отбора проб почвы приведены в таблицах и рисунках.

Для отбора проб почв выбирали плоский участок целинной – ранее не паханной земли на пологом склоне. Как правило, с уклоном местности к реке, дороге или пруду. Угол наклона колебался от 5 до 10 градусов. Пробы почв отбирали «конвертом» (К.П. Махонько, 1990), со стороны 100 м. Все 5 уколов произвели пробоотборником диаметром 0,10 м на глубину 0 – 0,10 м.

Для зоны Офиса Нигера пробы отбирались в 2 точках: Ламинибугу (Laminibougou) и Минимана (Minimana), сельскохозяйственная коммуна Сирибаль (Siribali), префектура Нноно (Niono) и в одной точке в зоне выращивания хлопка Уре (Ure), сельскохозяйственная коммуна Знатиебугу (Znatiebougou), префектура Бугуни (Bougouni). Анализировались следующие образцы.

Почва 1: поле Салифа Сангара (Salif Sangara), Бугуни (Bougouni), зона Малийской компании для выращивания хлопка.

Почва 2: поле Якубы Думбии (Jakub Dombia), Бугуни (Bougouni), зона малийской компании для развития текстиля.

Почва 3: поле Сидики Сангаре (Sidique Sangare), Бугуни (Bougouni), зона малийской компании для выращивания хлопка (Уре).

Почва 4: поле Малу Диарры (Madou Diarra), Нионо (Niono), зона Офиса Нигера.

Почва 5: поле Модибо Диарры (Modibo Diarra), зона Офиса Нигера. (подробное описание почв и координаты отбора образцов приведены в диссертации). Отбор проб осуществлялся профессором университета Мали (Бомак) Виталом Траоре (Vital Traore).

В Орловской области отбор проб почв осуществлялся под руководством Андрияшиной Т.В.

Практически все образцы почв проявили прямую мутагенную активность на штамме ТА98. Самой высокой прямой мутагенной активностью обладает проба Лубянки, пахота. Эта проба показала средний прямой мутагенный эффект. Образцы почв, отобранные на площадках Красная Слободка, целина и Ёлочка не проявили прямой мутагенной активности. Вещества, содержащиеся в экстрактах образцов почв, как правило являлись промутагенами. Так, например, в результате метаболической активации мутагенный эффект, проявляемый вытяжкой образца Лубянки повышается как на штамме ТА100, так и ТА98. В ряде экспериментов установлено, что метаболиты проявляли себя как более генотоксичными соединения, чем исходные загрязняющие вещества. Во многих случаях выявлен эффект типа сдвига рамки считывания.

Анализ на мутагенность образцов почв Мали представлен в таблице 3.

Таблица 3. Анализ экстрактов образцов почв Мали в тесте Эймса (сальмонелла/микросомы). +МА – с системой метаболической активации, –МА – без системы метаболической активации.

№ образца	Штамм ТА 98		Штамм ТА 100	
	- МА	+МА	-МА	+ МА
Диметилсульфоксид	1	1	1	1
Аминоантрацен(положительный контроль, 0,5 мкг/на чашку)	-	13,5-	-	5,7
1	1,4	<u>2,3</u>	1,1	<u>2,0</u>
2	1,2	<u>2,6</u>	1,3	<u>2,7</u>
3	1,1	1,5	1,0	<u>1,6</u>
4	1,5	<u>3,2</u>	1,7	<u>3,0</u>
5	1,7	<u>4,0</u>	1,6	<u>3,8</u>

Интересно отметить, что на штамме TA100 пробы целинной земли, как с площадки Кр. Слободка, так и с площадки Лубянки в отличие от пахотных проявляют как мутагенные, так и промутагенные свойства. На штамме TA 98 – наоборот, генотоксическое состояние пахотных почв хуже, чем целинных.

Результаты представлены в виде отношения числа колоний в опыте к контролю (ДМСО). Выделены цифры мутагенного индекса, показывающие присутствие в образцах мутагенных соединений ($p < 0,001$).

В образцах 4 и 5 обнаружено больше мутагенных соединений, чем в образцах почв 1–3. Эти образцы (4,5) были собраны в зонах выращивания риса. Здесь в качестве гербицидов использовались Herbextra, Roundup 450, Aroclor 1254.

Все образцы были подвергнуты хромато–масс–спектрометрии.

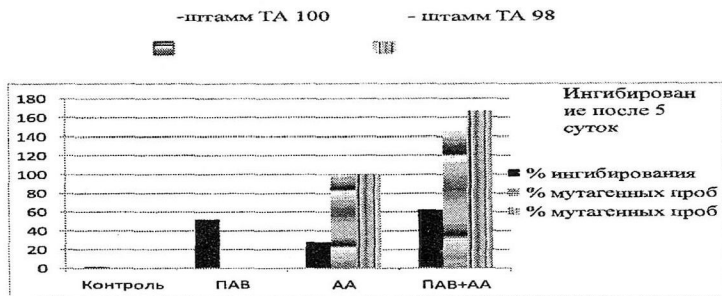
В результате обзорного скрининга в образцах почвы были обнаружены: фенол, нитробензол, анизол (очень много во всех образцах), 3 изомера дихлорбензола, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – все эти вещества являются приоритетными экотоксикантами и, как правило, обладают мутагенными и канцерогенными свойствами.

Кроме этого, были определены вещества нефтяного происхождения – алкилбензолы (гексилбензол – очень много во всех образцах), алканы, ПАУ, бифенилы, производные тиафена. Во всех образцах почвы присутствуют фталаты, фосфаты и парабы.

Таким образом, как почвы из Орловской области, так и почвы республики Мали содержат мутагены. По-видимому, мутагены в той или иной степени содержатся во всех почвах и контроль за их содержанием и накоплением необходим.

1.3. Совместное действие ПАВ и мутагенных соединений на проростки высших растений.

Рис.2. Ингибирование роста проростков (*Vigna radiata*) и мутагенность выраженная накоплением АА в проростках при совместном действии ПАВ и АА



В почвах, в водных растениях, так же как в донных отложениях и других компонентах экосистем, накапливаются различные экотоксиканты. Однако исследований, при которых бы изучалось совместное действие экотоксикантов на различные биологические объекты очень мало.

Мы предприняли попытку в модельном эксперименте исследовать совместное влияние ПАВ и АА (аминоантрацен) на бобы мунг (*V. radiata*) и исследовали при этом накопление мутагенов в развивающихся проростках, как в норме, так и в присутствии ПАВ. АА незначительно ингибирует развитие проростков (на 20-28%), в то время как ПАВ и ПАВ совместно с АА существенно ингибируют это развитие. Изучение экстрактов проростков после 5 суток инкубации показало, что в присутствии концентрации 250 мг/л ПАВ (додецилсульфат натрия) АА накапливается в проростках в более значительных количествах (рис.2).

Естественно, что результаты модельного эксперимента нельзя прямо переносить на события, происходящие в экосистемах. Однако, полученные результаты дают возможность сделать следующее предположение. В загрязнённых различными токсикантами экосистемах накопление мутагенных соединений может зависеть от присутствия в воде или почве других токсикантов и в том числе ПАВ.

2. Контроль опасности химического загрязнения объектов биосферы с использованием биологических методов.

2.1. Тестирование на проростках

На растительных организмах *Vigna radiata* и *Lens culinaris* проводили биотестирование синтетических моющих средств (СМС) и жидких моющих средств (ЖМС). В экспериментах действовали следующие вещества: порошковый СМС Persil Color Plus, порошковый СМС E Color, порошковый СМС Lask Automat Intensive, порошковый СМС Dosia Color, порошковый СМС Пемоллокс, порошковый СМС Comet, ЖМС Fairy, ЖМС Агау, смесевой препарат Lenor. Всего было проведено 54 эксперимента по выявлению ингибирования проростков.

Отметим, что при тестировании всех изученных в этой работе СМС на обоих видах растений выявляются общие закономерности:

А) Все детергенты проявили способность подавлять проростки обоих видов растений.

Б) Повышение концентрации СМС влечет снижение условной средней длины проростков.

В) В 63% случаев коэффициент вариации условной средней длины выше при воздействии СМС, чем в контроле.

Г) При самых малых из исследованных концентраций СМС 0,05 г/л в 76% случаев наблюдалось снижение прорастания семян по сравнению с контрольными чашками.

Все детергенты проявили способность подавлять проростки обоих видов растений.

При тестировании СМС Losk Automat Intensive, СМС Dosia Color и СМС Пемолукс на обоих видах растений выявляются закономерности:

Повышение концентрации СМС влечет снижение условной средней длины проростков.

Повышение концентраций СМС вызывает увеличение коэффициента вариации условной средней длины.

Информация о биотестировании конкретных химических препаратов приведена ниже (примеры).

2.1.1. Изучали воздействие порошкового СМС Persil Color Plus на проростки *Lens culinaris*.

При проведении биотестирования каждую из концентраций тестировали в двух чашках Петри. Опыты повторяли по 3 раза в каждой концентрации. В каждом опыте – по 8 чашек Петри соответственно (три концентрации 0,05; 0,5; 5 г/л и контроль 0 г/л, по 2 чашки). В каждой чашке по 22 семени. В каждую чашку вносили 25 мл тестируемого раствора или (в контроле) отстоянной водопроводной воды (ОВВ). Результаты тестирования даны в таблицах 3-5.

Таблица 3. Условная средняя длина проростков *Lens culinaris* при воздействии СМС Persil Color Plus. Опыт 1.

n – количество семян в двух чашках Петри.

Длительность инкубации 115 часов.

Вещество	t°C	Кон- цент- рация, г/л	Сред- нее ариф- мети- ческое	Стан- дартное отклоне- ние	Кoeffи- циент вариации, %	n	Степень ингибиرو- вания, %
СМС Persil Color Plus	15±1	0 (конт- роль)	28,4	19,8	69,7	22	0
		0,05	1,1	1,9	172,7	22	99,7
		0,5	0	0	0	22	100
		5	0	0	0	22	100

Таблица 4. Условная средняя длина проростков *Lens culinaris* при воздействии СМС Persil Color Plus. Опыт 2.

n – количество семян в двух чашках Петри.

Длительность инкубации 115 часов.

Вещество	t°C	Кон- цент- рация, г/л	Сред- нее ариф- мети- ческое	Стан- дартное отклонение	Ко- эффи- циент вариа- ции, %	n	Степень ингибиро- вания, %
СМС Persil Color Plus	15±1	0 (конт- роль)	30,4	17,0	55,9	22	0
		0,05	0,9	2,0	222,2	22	99,8
		0,5	0	0	0	22	100
		5	0	0	0	22	100

Таблица 5. Условная средняя длина проростков *Lens culinaris* при воздействии СМС Persil Color Plus. Опыт 3.

n – количество семян в двух чашках Петри.

Длительность инкубации 115 часов.

Вещество	t°C	Кон- цент- рация, г/л	Сред- нее ариф- мети- ческое	Стан- дартное отклоне- ние	Кoeffи- циент вариации, %	n	Степень ингибиро- вания, %
СМС Persil Color Plus	15±1	0 (конт- роль)	31,9	12,8	40,1	22	0
		0,05	0,5	1,1	220,0	22	99,9
		0,5	0	0	0	22	100
		5	0	0	0	22	100

Во всех трех опытах, во всех концентрациях было показано выраженное ингибирующее воздействие СМС Persil Color Plus на удлинение проростков *Lens culinaris*.

Наряду со стандартными, широко распространенными порошковыми детергентами, в работе изучали и некоторые другие смесевые препараты.

2.1.2. Тестировали жидкий смесевой препарат Lenor. В отличие от других испытанных веществ его особенность в том, что в него входят КПАВ.

Изучали воздействие смесового препарата Lenor на проростки *Vigna radiata*.

При проведении биотестирования каждую из концентраций тестировали в двух чашках Петри. Опыты повторяли по 3 раза в каждой концентрации. В каждом опыте – по 8 чашек Петри соответственно (три концентрации 0,05; 0,5;

5 г/л и контроль 0 г/л, по 2 чашки). В каждой чашке по 30 семян. В каждую чашку вносили 25 мл тестируемого раствора или (в контроле) отстоянной водопроводной воды (ОВВ) (Таблицы 6-8).

Таблица 6. Условная средняя длина проростков *Vigna radiata* при воздействии смесового препарата Lenor. Опыт 1.

n – количество семян в двух чашках Петри.

Длительность инкубации 120 часов.

Вещество	t°C	Концентрация, г/л	Среднее арифметическое	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %	n	Степень ингибирования, %
Смесовой препарат Lenor	24±1	0 (контроль)	116,4	29,0	24,9	30	0
		0,05	32,1	33,4	104,0	30	73,3
		0,5	29,1	27,3	93,8	30	75,0
		5	6,2	11,7	188,7	30	94,7

Таблица 7. Условная средняя длина проростков *Vigna radiata* при воздействии смесового препарата Lenor. Опыт 2.

n – количество семян в двух чашках Петри.

Длительность инкубации 120 часов.

Вещество	t°C	Концентрация, г/л	Среднее арифметическое	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %	n	Степень ингибирования, %
Смесовой препарат Lenor	24±1	0 (контроль)	75,7	35,5	46,8	30	0
		0,05	93,4	64,1	68,6	30	-23,3
		0,5	27,5	28,1	102,1	30	63,7
		5	1,8	4,7	261,1	30	97,7

Таблица 8. Условная средняя длина проростков *Vigna radiata* при воздействии смесового препарата Lenor. Опыт 3.

n – количество семян в двух чашках Петри.

Длительность инкубации 120 часов.

Вещество	t°C	Концентрация, г/л	Среднее арифметическое	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %	n	Степень ингибирования, %
Смесевой препарат Lenor	24±1	0 (контроль)	120,3	34,1	28,3	30	0
		0,05	65,3	56,9	87,1	30	45,8
		0,5	51,2	49,3	96,2	30	57,5
		5	3,4	7,0	205,8	30	97,8

Таким образом, в концентрациях 0,5 и 5 г/л было установлено ингибирующее воздействие СМС смешанного препарата Lenor на удлинение проростков *Vigna radiata*. В концентрации 0,05 г/л в одном случае не было ингибирования, в остальных двух было.

В опытах по биотестированию на проростках, наблюдалось снижение роста и гибель растений, в зависимости от концентраций. *Vigna radiata* обладал относительно более высокой устойчивостью к воздействию СМС, чем *Lens culinaris*. Итог опытов, проведенных в данной работе – то, что *L. culinaris* чувствительна к сравнительно небольшим концентрациям СМС. При сравнении воздействия детергентов на *Vigna radiata* и чечевицу видно, что на чечевицу промежуточная концентрация СМС (0,5 г/л) действовала сильнее.

2.2. Использование микрокосмов с макрофитами.

Для выяснения роли макрофитов как факторов фиторемедиации необходимо изучение систем с загрязняющими веществами, в том числе с такими приоритетными поллютантами, как тяжелые металлы и синтетические поверхностно – активные вещества. Многие тяжелые металлы оказывают негативное воздействие на организмы, в том числе воздействуют на клеточные мембраны.

2.2.1. Использование микрокосмов для получения информации о возможности ремедиации среды с помощью макрофитов.

Проводили оценку способности растений вносить вклад в очищение воды, улучшения ее качества. Изложение этой работы далее дается в разделах, посвященных следующим вопросам:

1. Системы с макрофитами *Ceratophyllum demersum* и тяжелыми металлами (медь, цинк, кадмий, свинец).

Интересно сопоставить динамику снижения концентраций металлов, выявляемых в воде, и динамику состояния растений *Ceratophyllum demersum*. Начальное снижение концентрации металлов выявлено в течение периода

жизнеспособности растений. Однако, и после наступления явного неблагополучия в состоянии растений (отделение листовых пластинок от стеблей) выявляемые концентрации металлов в воде продолжали снижаться.

2. Системы с *Elodea canadensis* и тяжелыми металлами (медь, цинк, кадмий, свинец).

Общий итог проведенных опытов согласуется с предположением, что в присутствии элодеи может ускоряться снижение концентрации в воде поллютантов (ионов металлов Cd, Zn, Cu, Pb).

3. Системы с *Utricularia gibba*, *Echinodorus quadricostatus*, *Synnema triflorum*, *Hydrotriche hottoniiflora*, *Lilaeopsis* sp. и тяжелыми металлами (медь, цинк, кадмий, свинец).

Как показывают результаты биотестирования, после инкубации в течение 96 час (4 сут) проявляются заметные признаки неблагополучия, причем растения одного из видов (*Echinodorus quadricostatus*), по – видимому, к этому времени погибли.

4. Системы с *Ludwigia repens*, *Micranthemum micranthemoides*, *Micranthemum umbrosum* и тяжелыми металлами (медь, цинк, кадмий, свинец). Выявлена фитотоксичность этих тяжелых металлов для данных видов растений.

Результаты опытов согласуются с результатами по другим видам *Ceratophyllum demersum* (сем. Роголистниковые), *Elodea canadensis* (сем. водокрасовые) и др.

5. Системы с *Utricularia gibba* и *Lilaeopsis brasiliensis* и тяжелыми металлами (медь, цинк, кадмий, свинец).

Присутствие макрофитов способствовало снижению концентрации металлов. После двух суток инкубации в микрокосмах с *L. brasiliensis* концентрация меди снижалась на 90,2%, концентрация свинца снижалась на 92,3. В микрокосмах с *Utricularia gibba* концентрация меди снижалась на 88,8%, концентрация свинца на 91,5%.

Известно, что металлы находятся в воде во многих формах. Исползованный метод (анодная инверсионная вольтамперометрия, АИВ) выявляет так называемые «свободные» ионы металлов и комплексы, способные диссоциировать в диффузионном слое вблизи поверхности электрода (Таблица 9).

Таблица 9. Средние значения концентраций металлов в водной среде микрокосмов после двух суток инкубации.

Результаты опытов согласуются с результатами по другим видам *Ceratophyllum demersum* (сем. Роголистниковые), *Elodea canadensis* (сем.

№ Микрокосма	Вид растения	Единицы измерения	Концентрация тяжелых металлов мг/л			
			Cu	Zn	Pb	Cd
1,2	Контроль	мг/л	2,6	1,47	0,085	0,095
3,4	<i>Ludwigia repens</i>	мг/л	0,095	1,33	0,007	0,024
5,6	<i>Micranthemum micranthemoides</i>	мг/л	0,32	0,27	0,01	0,0135
7,8	<i>Micranthemum umbrosum</i>	мг/л	0,575	0,95	0,0075	0,0095
1,2	Контроль	% от контроля (остаток)	100	100	100	100
3,4	<i>Ludwigia repens</i>	% от контроля (остаток)	3,6	90,5	8,2	25,3
5,6	<i>Micranthemum micranthemoides</i>	% от контроля (остаток)	12,3	18,3	11,7	14,2
7,8	<i>Micranthemum umbrosum</i>	% от контроля (остаток)	22,1	64,6	8,8	10

водокрасовые) и др.

2.2.2. Использование микрокосмов для получения информации о негативном воздействии химических веществ.

Метод микрокосмов для изучения взаимодействия загрязняющих веществ из классов ПАВ и СМС с макрофитами был успешно использован в

диссертации Е.А.Соломоновой (2009, Остроумов С.А. – научный руководитель). В данной работе было продолжено использование этого подхода.

Системы с макрофитами *Ceratophyllum demersum* и додецилсульфатом натрия ($C_{12}H_{25}SO_4Na$).

Первый эксперимент с участием роголистника длился 24 месяца при температуре от 13 до 24°C. В микрокосмы 3, 4, 5, 6 каждую неделю делали дополнительную добавку ДСН.

В микрокосмы 7, 8, 9, 10 была сделана только одна добавка ДСН 13.10.08; дополнительных добавок не делалось. Концентрация добавляемого раствора ДСН 2 г/л. Общий объем водной среды в одном микрокосме 1000 мл. Микрокосмы 3, 4 – объем добавки 2,5 мл каждую неделю. Микрокосмы 5, 6 – объем добавки 5 мл каждую неделю.

Данные опыты указывают на проявление фитотоксичности ДСН по отношению с *C. demersum* в микрокосмах 9 и 10. Добавление 25 мл (исходного раствора 2 г/л) в водную среду 1000 мл приводило к конечной концентрации ДСН 50 мг/л. Этот опыт показал, что при конечной концентрации ДСН в 10 раз меньше, в микрокосмах 7 и 8, заметной фитотоксичности через 1 неделю не проявляется, однако при более длительной инкубации заметно проявление фитотоксичности по сравнению с контролем.

Был поставлен еще один опыт по этой схеме, но при этом максимальную тестируемую концентрацию ДСН уменьшили и сделали ее путем добавления 10 мл исходного раствора ДСН. Длился опыт 14 месяцев при температуре от 13 до 27°C.

Начало второго опыта 13.07.10. Все добавки ДСН сделаны 13.07.10. В микрокосмы 3, 4, 5, 6, 7, 8. Сосуды 3, 4 – объем добавки 2,5 мл каждую неделю. Сосуды 5, 6 – объем добавки 5 мл каждую неделю. Сосуды 7, 8 – объем добавки 10 мл каждую неделю.

При добавке 10 мл (микрокосмы 7 и 8) проявлялась заметная фитотоксичность ДСН. Через 6 дней наблюдалась полная гибель всех растений. Концентрация ДСН в этих вариантах была: 20 мг/л. Видно, что при разовой добавке 5 мл (конечная концентрация ДСН 10 мг/л) в микрокосмы 5 и 6, проявляются признаки фитотоксичности, 25 – 30% побегов погибли через 6 дней.

Таким образом, эти опыты показали фитотоксичность ДСН для *C. demersum* при концентрации ДСН 20 мг/л и выше (для 10 мл) погибали 100% растений, через неделю инкубации. Признаки фитотоксичности наблюдались при добавке ДСН 5 мл (в микрокосме это составило 10 мг/л). При добавке ДСН 2,5 мл (в микрокосме это составило 5 мг/л) отличий от контроля не наблюдалось. Добавки проводились на протяжении 63 недель.

Итак, опыты с микрокосмами дали возможность получить новую информацию и об опасности загрязнения среды для водных растений, и о фиторемедиационном потенциале ряда видов макрофитов.

Выводы

1. Экстракты высших водных растений, отобранных в различных местах Можайского водохранилища проявляли мутагенный эффект в тесте Эймса сальмонелла/микросомы на штамме TA 100 и TA 98 только под действием системы метаболической активации. Наиболее сильный мутагенный эффект проявлялся в районе гидроузла.

2. Методом хроматомасс – спектрометрии в экстрактах высших водных растений, отобранных в районе гидроузла, были выявлены органические загрязняющие вещества, включая нефтепродукты, и ПАУ (полициклические ароматические углеводороды), обладающие мутагенным эффектом.

3. Испытанные в тесте Эймса ПАВ не проявляли мутагенности, но снижали активность системы метаболической активации (система цитохром Р-450).

4. При исследовании совместного действия ПАВ (додецилсульфат натрия) и мутагенного соединения аминокантрацена на развивающиеся проростки растений показано, что ПАВ усиливает накопление мутагенного соединения в проростках растений.

5. Впервые были апробированы для целей биотестирования загрязняющих веществ высшие растения маш *Vigna radiata* и чечевица *Lens culinaris*. Показана применимость биотеста на основе этих видов растений для оценки экологической опасности на примере ПАВ и детергентов. Установлена фитотоксичность для этих объектов ряда детергентов (Persil color, E color, Losk automat intensive, Dosia color, Fairy, Пемолукс, Comet, Arau и ПАВ-содержащего смесового прспарата кондиционера Ленор). Выявлено ингибирование условной средней длины проростков этих видов при воздействии детергентов в концентрации 0,5 г/л и выше.

6. При исследовании фиторемедиационного потенциала систем с высшими водными растениями (*Utricularia gibba*, *Echinodorus quadricostatus*, *Synnema triflorum*, *Hygrophila difformis*, *Hydrotriche hottoniiflora*, *Ceratophyllum demersum*, *Lilaeopsis brasiliensis*, *Ludwigia repens*, *Micranthemum micranthemoides*, *Micranthemum umbrosum*, *Elodea canadensis*, *Lilaeopsis sp.*) показано, что снижение концентрации тяжелых металлов в водной среде происходило быстрее в микрокосмах с макрофитами, чем в микрокосмах без растений. Для семи видов макрофитов фиторемедиационный потенциал был выявлен впервые.

7. Присутствие ПАВ в системе метаболической активации снижало монооксигеназную активность.

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

Журналы, входящие в перечень ВАК:

1. Остроумов С.А., Т.В. Шестакова, С.В. Котелевцев, Е.А. Соломонова, Головня В.А. Поклонов В.А. Присутствие макрофитов в водной системе ускоряет снижение концентраций меди, свинца и других тяжелых металлов в воде. //Водное хозяйство России, №2, 2009 г., стр.58-66.
2. Поклонов В.А., Глазер В.М., Садчиков А.П., Полякова О.В., Котелевцев С.В. Мутагенные и канцерогенные ксенобиотики в высших водных растениях Можайского водохранилища. Доклады московского общества испытателей природы. М.: ООО «ПКЦ Альтекс», с.177 – 180, 2012.
3. Траоре В., Поклонов В.А., Глазер В.М., Полякова О.В., Садчиков А.П., Котелевцев С.В. Мутагенные ксенобиотики в антропогенно – преобразованных почвах. Доклады московского общества испытателей природы. М.: 2012, Том 53, с. 41 – 51, 2012.
4. Поклонов В.А., Котелевцев С.В., Остроумов С.А. О воздействии детергентов на *Vigna radiata* и *Lens culinaris* в условиях биотеста // Токсикологический вестник. 2012, № 5, стр.49.
5. Остроумов С.А., Поклонов В.А., Котелевцев С.В., Шестакова Т.В. Изучение фиторемедиационного потенциала водных растений *Lilaeopsis brasiliensis* и *Utricularia gibba* // Вода: химия и экология, 2012, № 5, с. 66-69.
6. Остроумов С.А., Поклонов В.А., Котелевцев С.В., Шестакова Т.В., Демина Л.Л., Шелейковский В.Л. Среодоулучшающие фитотехнологии: *Micranthemum umbrosum* и другие водные макрофиты как фактор снижения содержания в воде тяжелых металлов // Технологии живых систем, 2013, том 10, № 1, с. 53-57.

Статьи:

1. Остроумов С.А., Котелевцев С.В., Шестакова Т.В., Колотилова Н.Н., Поклонов В.А., Соломонова Е.А., Головня Е.Г. Водные макрофиты способствуют снижению измеряемой концентрации кадмия и других металлов в воде // Экосистемы, организмы, инновации (Ecological Studies, Hazards, Solutions), vol.14, стр. 67, 2009.
2. Остроумов С.А., Поклонов В. А., Шелейковский В.Л., Шестакова Т.В., Котелевцев С.В., Козлов Ю.П. Методические вопросы и оценка фитотоксичности смеси тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Cd) для пяти видов макрофитов (*Utricularia gibba* и другие) в условиях микрокосмов // Экосистемы, организмы, инновации (Ecological Studies, Hazards, Solutions), vol.15, стр. 87-91, 2010.

3. Остроумов С.А., Поклонов В. А., Шелейковский В.Л., Шестакова Т.В., Котелевцев С.В., Козлов Ю.П. Фиторемедиационный потенциал пяти видов макрофитов (*Utricularia gibba* и другие) в условиях микрокосмов и внесения в воду смеси тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Cd) // Экосистемы, организмы, инновации (Ecological Studies, Hazards, Solutions), vol.15, стр. 91-94, 2010.

4. Остроумов С.А., Котелевцев С.В., Шестакова Т.В., Колотилова Н.Н., Поклонов В.А., Соломонова Е.А. Новое о фиторемедиационном потенциале: ускорение снижения концентраций ионов тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Cd) в воде в присутствии элодеи // Экологическая химия 2009, 18(2): 111-119

5. Поклонов В. А., Остроумов С. А., Шестакова Т. В. Изучение химико-биотических взаимодействий макрофитов (*Utricularia gibba*, *Echinodorus quadricostatus*, *Synnema triflorum*, *Hydrotriche hottoniiflora*, *Lilaeopsis* sp.) с тяжелыми металлами (Zn, Cu, Pb, Cd), загрязняющими окружающую среду // Всероссийский журнал научных публикаций, 2011, стр.10-12.

6. Остроумов, С.А., Колесов Г.М., Поклонов В.А., Котелевцев С.В. Водный макрофит как фактор потенциального концентрирования: взаимодействие с наночастицами металла // Экологическая химия 2009, 18(4): 222-228.

7. Остроумов С.А., Шестакова Т.В., Поклонов В.А. Методические вопросы и оценка фитотоксичности смеси тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Cd) для пяти видов макрофитов (*Utricularia gibba* и другие) в условиях микрокосмов, а также фиторемедиационный потенциал этих макрофитов // Сила сомнения – радость познания. М.: издательство МНЭПУ (сборник), 2010, выпуск 6. Стр. 80-87.

8. Поклонов В.А., Котелевцев С.В., Остроумов С.А., Шестакова Т.В., Соломонова Е.А. О взаимодействиях неорганических и органических поллютантов с растениями // Успехи наук о жизни, №3, с. 124-127, 2011.

9. Поклонов В.А., Котелевцев С.В., Демина Л.Л., Шестакова Т.В., Шелейковский В.Л., Остроумов С.А. Изучение взаимодействий неорганических загрязняющих веществ с растениями в условиях водных микрокосмов // Успехи наук о жизни, №3, с. 121-123, 2011.

Поклонов Владислав Александрович

Россия

Мутагенные ксенобиотики, тяжёлые металлы и поверхностно – активные вещества в почвах и высших водных растениях

В диссертации представлены результаты исследования почв, высших водных растений и воды на содержание в них мутагенных ксенобиотиков, тяжёлых металлов и поверхностно – активных веществ. Экстракты высших водных растений, отобранных в различных местах Можайского водохранилища, проявляли мутагенный эффект в тесте Эймса сальмонелла/микросомы на штамме TA 100 и TA 98 только под действием системы метаболической активации. В Можайском водохранилище были обнаружены неорганические (тяжелые металлы) и органические загрязняющие вещества, включая нефтепродукты, и ПАУ, обладающие мутагенным эффектом. Впервые были апробированы для целей биотестирования загрязняющих веществ маш *Vigna radiata* и чечевица *Lens culinaris*. Показана применимость биотеста на основе этих видов растений для оценки экологической опасности на примере ПАВ и детергентов. Был проведен долгосрочный опыт по воздействию ДСН на *Ceratophyllum demersum* in vitro. При исследовании фиторемедиационного потенциала систем с высшими водными растениями in vitro показано, что снижение концентрации тяжелых металлов в водной среде происходило быстрее в микрокосмах с макрофитами, чем в микрокосмах без растений. Для семи видов макрофитов фиторемедиационный потенциал был выявлен впервые.

Poklonov Vladislav Alexandrovich

Russia

Mutagen xenobiotics, heavy metals and it is surfactants in soils and the highest water plants

In the thesis results of research of soils, the higher water plants and water are presented. Attention was given to mutagen xenobiotics, heavy metals and is surfactants. Extracts of the highest water plants which have been selected in various places of the Mozhaisk reservoir showed mutagen effect in Ames's test of a salmonella \microsome on a strain TA 100 and TA 98 only under the influence of system of metabolic activation. In the Mozhaisk reservoir were found inorganic (heavy metals) and organic polluting substances, including oil products, and polycyclic aromatic hydrocarbons possessing mutagen effect. For the first time *Vigna radiata* and *Lens culinaris* were approved for biotesting of polluting substances. Applicability of bioassay on the basis of these species of plants for the assessment of ecological danger on the example of surfactants and detergents. Long-term experiment on impact of detergent (Sodium dodecyl sulfate) on *Ceratophyllum demersum* in vitro was made. At research of capacity of systems with the highest water plants of in vitro it is shown that decrease in concentration of heavy metals in the water environment happened quicker in microcosms with macrophytes, than in microcosms without plants. For seven types macrophytes fitoremediation potential was revealed for the first time.

Подписано в печать: 29.10.2013

Заказ № 8991 Тираж - 100 экз.

Печать трафаретная.

Типография «11-й ФОРМАТ»

ИНН 7726330900

115230, Москва, Варшавское ш., 36

(499) 788-78-56

www.autoreferat.ru