

*На правах рукописи*

*Халиева*

**ХАЛИЕВА Анна Сергеевна**

**ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ И  
УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРОЦЕССЫ РОСТА  
ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ И ФИТОРЕМЕДИАЦИЮ ИМИ ПОЧВ  
ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И НЕФТЕПРОДУКТОВ**

**Специальность 03.02.08 – экология (биология)**

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук**

**Пенза – 2013**

Работа выполнена в Энгельском технологическом институте (филиале) ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» на кафедре «Экология и охрана окружающей среды».

Научный руководитель – доктор химических наук, профессор  
**Ольшанская Любовь Николаевна.**

Официальные оппоненты: **Иванов Александр Иванович,**  
доктор биологических наук, профессор,  
ФГБОУ ВПО «Пензенская  
государственная сельскохозяйственная  
академия», заведующий кафедрой  
«Биология и экология»;  
**Бабусенко Елена Сергеевна,**  
кандидат биологических наук, доцент,  
ФГБОУ ВПО «Российский химико-  
технологический университет имени  
Д.И. Менделеева», доцент кафедры  
«Биотехнология».

Ведущая организация – ФГБОУ ВПО «Волгоградский  
государственный университет»,  
г. Волгоград.

Защита состоится 25 декабря 2013 г. в 13 часов 30 минут на заседании диссертационного совета ДМ 212.337.02 на базе ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный технологический университет» по адресу: г. Пенза, пр. Байдукова / ул. Гагарина, д. 1а/11, корпус 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный технологический университет».

Автореферат разослан 25 ноября 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Яхкинд Михаил Ильич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Загрязнение почв нефтепродуктами и тяжелыми металлами приобретает характер глобальной экологической угрозы и все сильнее привлекает внимание ученых всего мира, так как эти поллютанты относятся к приоритетным загрязняющим веществам, наблюдения за которыми обязательны во всех средах. Большинство известных физико-химических способов очистки почв от ионов тяжелых металлов и нефтепродуктов, являются дорогостоящими и сложными в исполнении. Для минимизации отрицательного воздействия поллютантов на биосферные комплексы в России и за рубежом эффективно внедряются новые технологии. Приоритет по эффективности и рентабельности признается за методом фиторемедиации, основанном на поглощении растительной клеткой токсичных веществ за счет создаваемой на клеточной мембране разности электрических потенциалов. Затраты на этот способ не превышают 20 % от затрат на альтернативные технологии. Недостатками метода являются сезонность, длительность процесса и невысокая эффективность очистки. Эффективными, рациональными и экологичными могут стать способы очистки, основанные на сочетании применения энергии внешних физических полей и способности высшей растительности аккумулировать токсиканты. Эти работы являются *актуальными*, имеют большое *научное и практическое* значение.

**Цель диссертационной работы** – исследование влияния природы и длительности воздействия внешних физических полей, природы и концентрации ионов тяжелых металлов и нефтепродуктов на процессы роста и развития высших растений и фиторемедиации ими почвы от поллютантов.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Провести анализ данных мониторинга почв Саратовской области с целью выявления основных загрязнителей.

2. Исследовать длительность воздействия постоянного магнитного поля и ультрафиолетового излучения, природы и концентрации ионов тяжелых металлов ( $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Pb}^{2+}$ ) и нефтепродуктов, совместного влияния поллютантов и внешних физических полей на динамику роста и развития высших растений (фасоль, соя, листовой салат).

3. Исследовать длительность воздействия внешних физических полей, природы и концентрации катионов металлов и нефтепродуктов, совместное влияние поллютантов и внешних физических полей на процессы извлечения ионов тяжелых металлов и нефтепродуктов из загрязненных почв.

4. Дать эколого-экономическое обоснование и рассчитать предотвращенный ущерб почвам при использовании метода фиторемедиации.

**Объектами исследования** являются растения-фиторемедианты (фасоль обыкновенная, соя, листовой салат), водные вытяжки (элюаты) из почв, содержащие ионы  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  и нефтепродукт (моторное масло).

**Предмет исследования** – влияние постоянного магнитного поля и ультрафиолетового излучения на процессы всхожести, роста и развития

высших растений и извлечения ими тяжелых металлов и нефтепродуктов из загрязненных почв.

В ходе работы над диссертацией использованы следующие **методы исследований**: спектрофотометрия, ионометрия, рН-метрия, оптическая микроскопия, инверсионная хроновольтамперометрия.

#### **Научная новизна работы:**

✓ Впервые проведены исследования постоянного магнитного поля и ультрафиолетового излучения на процессы фиторемедиации загрязненных почв от ионов тяжелых металлов и нефтепродуктов с помощью высших растений.

✓ Показано, что обработка семян растений постоянным магнитным полем с напряженностью 2 кА/м и ультрафиолетовым излучением с длиной волны 290 нм при выбранных условиях стимулируют всхожесть, рост, развитие растений, увеличивают их адсорбционную емкость и эффективность извлечения ими ионов тяжелых металлов и нефтепродуктов из загрязненных почв.

✓ Определены оптимальные значения основных параметров: времени обработки семян фитосорбентов в постоянном магнитном поле, времени облучения фитосорбентов ультрафиолетом, обеспечивающие достижение максимальных значений адсорбционной емкости растений и эффективности процесса фиторемедиации почв от ионов тяжелых металлов и нефтепродуктов.

✓ Установлено, что скорость и полнота поглощения ионов тяжелых металлов растениями-фитосорбентами выше для ионов  $Pb^{2+}$ , чем для ионов  $Cu^{2+}$ , и определяются химико-биологической природой металла.

✓ Установлено, что эффективность извлечения поллютантов из почв растениями без предварительного воздействия внешних физических полей уменьшается в ряду: листовая салат>фасоль>соя, а обработанными внешними физическими полями – в ряду: фасоль>соя>листовая салат.

#### **Практическая значимость результатов работы:**

Показана возможность усовершенствования технологии фиторемедиации с применением разработанного подхода к очистке почв от поллютантов с помощью внешних физических воздействий на растения-фитосорбенты.

Полученные в диссертации результаты по влиянию внешних физических полей на процессы фиторемедиации почв могут быть использованы при решении задач мелиорации для реабилитации почв и повышения их плодородия.

Доказана перспективность очистки загрязненных почв от поллютантов методом фиторемедиации с применением энергии постоянного магнитного поля и ультрафиолетового излучения для минимизации антропогенного загрязнения почвенных комплексов.

### **На защиту выносятся:**

1. Установленные закономерности роста и развития растений-фитосорбентов (фасоль, соя и листовой салат) при наличии в почве ионов тяжелых металлов и нефтепродуктов без предварительной обработки семян растений и после их обработки в постоянном магнитном поле и ультрафиолетовым излучением.

2. Рекомендации по выбору оптимальных условий воздействия на семена растений внешних физических полей для повышения эффективности процесса фиторемедиации загрязненных почв от тяжелых металлов ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ) и нефтепродукта (машинное масло).

3. Установленные зависимости величин адсорбционной емкости растений-фитосорбентов от длительности воздействия физических полей, природы и концентрации катионов тяжелых металлов.

4. Эколого-экономическое обоснование и расчет предотвращенного ущерба почвам Саратовской области при использовании метода фиторемедиации.

**Реализация и внедрение результатов работы.** Работа проводилась в соответствии с основными научными направлениями СГТУ по заданию Министерства образования и науки РФ в рамках АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (2009–2011 гг.); планом НИР СГТУ по направлению 14 В. 03 «Разработка энергосберегающих технологий, способов контроля, очистки и обеззараживания воды, почвы, переработки и утилизации техногенных образований и отходов в товары народного потребления».

Разработанные научные положения диссертации апробированы и внедрены на предприятиях области: ФГБНУ «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации» (г. Энгельс), ЗАО «Стройматериалы. Энгельсский кирпичный завод» и используются в учебном процессе ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А. по дисциплинам: «Науки о Земле», «Химия окружающей среды», «Техника защиты окружающей среды», «Промышленная экология», «Прикладная экология», при курсовом и дипломном проектировании.

**Личный вклад автора.** Все результаты, составляющие содержание диссертации, получены автором самостоятельно. Научному руководителю принадлежит разработка концепции решаемой проблемы и постановка задач исследования. Автор лично проводил экспериментальные исследования, обрабатывал, интерпретировал и обобщал полученные результаты, формулировал выводы.

**Публикации и апробация работы.** По теме диссертационной работы опубликовано 15 статей, включая 4 статьи в журналах из перечня ВАК и три статьи в зарубежных изданиях. Результаты работы докладывались и обсуждались на 9 международных и всероссийских форумах, конгрессах и конференциях.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов, списка литературных источников из 231 наименования и приложений. Работа изложена на 167 страницах, содержит 19 таблиц и 47 рисунков.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, отражены научная новизна и практическая значимость, приведены основные положения, выносимые на защиту, описаны структура, объем и внедрение результатов работы.

### **Глава 1. Литературный обзор**

В главе рассмотрены основные проблемы загрязнения почв тяжелыми металлами, нефтью и продуктами ее переработки и др. Показано, что значительная часть тяжелых металлов (ТМ), оказавшись в почве, не подвергается биodeградации и переходит в поверхностные и подземные воды, поглощается обитателями почв и водоемов, различными видами растений. Проанализированы существующие методы очистки почв от ТМ; систематизированы и обобщены результаты исследований особенностей использования высших растений и сообществ микроорганизмов–растения. Рассмотрены последствия нефтяного загрязнения почвенного покрова (замедление роста растений, нарушение функций фотосинтеза и дыхания, морфологические нарушения, изменения корневой системы, листьев, стеблей и репродуктивных органов). Показано, что наиболее действенными приемами устранения нефтезагрязнений являются технологии фиторемедиации с использованием широкого спектра культур, что позволяет не только устранить нефтяное загрязнение, но и в сочетании с другими приемами рекультивации частично или полностью восстановить почвенное плодородие.

Проанализированы и систематизированы данные по механизмам влияния различных физических полей (постоянное магнитное и геомагнитное поля, ультрафиолетовое, инфракрасное, лазерное излучения), на живые организмы, семена и ростовые характеристики растений.

### **Глава 2. Анализ данных мониторинга состояния почв Саратовской области**

Саратовская область является крупным аграрно-промышленным регионом России, где отходы промышленных предприятий, энергетических установок, транспорта и сельского хозяйства привели к значительному загрязнению окружающей среды.

Проведенный анализ состояния почв области показал, что по результатам агрохимического обследования почвы с низким содержанием гумуса занимают 49 % площади пахотных земель. Истощение запасов гумуса отрицательно влияет на агрофизические, физико-химические свойства и биологическую активность почвы, ухудшает ее водно-воздушный, тепловой и пищевой режимы, уменьшает способность почвы противостоять процессам подкисления и засоления. В последние годы наблюдается снижение содержания в почве подвижного фосфора и обменного калия.

Проведенные проверки загрязнения почвогрунтов на промышленных площадках предприятий области: ОАО «Электроисточник» (г. Саратов), ОАО «Сигнал-недвижимость» (г. Энгельс), «Саратовский нефтеперераба-

тывающий завод», ОАО «Завод автономных источников тока» (г. Саратов), позволили установить, что основными загрязнителями почв являются тяжелые металлы (свинец, никель, цинк, кадмий, медь и др.) и нефтепродукты (нефть, бензин, моторное масло).

### Глава 3. Методика эксперимента

Глава посвящена описанию объектов и методов исследования.

Объектами исследования являются: 1) фитосорбенты: фасоль обыкновенная (*Phaseolus vulgaris*), соя (*Glycine max*), листовая салат (*Lactuca sativum*); 2) вытяжки из почв (средний суглинок, характерный для Саратовской области), содержащие катионы тяжелых металлов ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ) и нефтепродукт (моторное масло марки МТ – 4з/8ДС).

Выбор трех видов растений-фитомелиорантов, два из которых относятся к семейству бобовых (фасоль обыкновенная и соя) и один вид – к семейству крестоцветных (листовая салат) обусловлен тем, что для фиторемедиации обычно используют две группы растений: высокопродуктивные культуры (фасоль, соя, кукуруза сахарная (*Zea mays*), горчица сарептская (*Brassica juncea*) и др.) и растения-гипераккумуляторы (листовая салат, ярутка лесная (*Thlaspi caerulescens*), алиссум вульфена (*Alyssum wulfenianum*) и др.). В вопросе о том, какая способность растений более важна для фиторемедиации: гипераккумуляция поллютантов или продуцирование значительной фитомассы – мнение ученых неоднозначно.

В работе изучено влияние длительности воздействия внешних физических полей (ВФП) на процессы роста и развития растений-фитосорбентов и фиторемедиации ими металлов и нефтепродукта из загрязненных почв. Для этого семена растений фасоли, сои и листового салата подвергали в течение 1, 6 и 24 часов воздействию постоянного магнитного поля (ПМП) и ультрафиолетового (УФ) облучения, после чего высаживали в предварительно подготовленные почвы (средний суглинок) по 50 семян на 1 кг почвосмеси (с солями металлов, нефтепродуктом). В течение 28 дней контролировали рост, развитие растений и содержание в почвах остаточного количества ионов тяжелых металлов (ИТМ) и нефтепродукта (НП).

Приведены методики приготовления растворов:  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ , красителя (дитизон) и др. из реактивов марок «х.ч.» и «ч.д.а.».

Дано описание используемых в работе физико-химических (спектрофотометрия, ионометрия, рН-метрия, оптическая микроскопия) и электрохимических (инверсионная хроновольтамперометрия) методов исследования. Представлены приборы и установки для обработки семян растений (магнитная установка, создающая ПМП с напряженностью 2 кА/м; бактерицидная лампа марки СБПе 3х30 Вт с постоянным УФ-излучением длиной волны 290 нм), для проведения измерений (роботизированный комплекс «Экспертиза ВА-2D» с электродом «3 в 1», фотоэлектроколориметр КФК-3-01, концентратомер нефти КН-2М, спектрофотометр ПЭ 5300В, микроскоп

«Минимед 502» и др.), которые позволили достаточно полно изучить закономерности процессов, протекающих при извлечении ИТМ и НП высшими растениями из почв.

Приведены основные уравнения и методики расчета эффективности очистки, содержания тяжелых металлов в фитомассе растения-фитосорбента. Обработка результатов эксперимента производилась методом наименьших квадратов.

#### **Глава 4. Влияние ВФП на процессы роста, развития высших растений и эффективность фиторемедиации почв от тяжелых металлов и нефтепродуктов**

В последние десятилетия обнаружены многочисленные факты, свидетельствующие о высокой чувствительности растений к воздействию внешних полей различной природы (ПМП, УФ-, ИК-излучение и др.), которые создают дополнительные электрические токи в биообъектах, и, изменяя величины мембранного потенциала клетки, могут управлять течением процессов роста и развития, оказывая как стимулирующее, так и тормозящее влияние. Это воздействие зависит от характеристик внешних физических полей: длины волны, частоты колебаний электромагнитных излучений, интенсивности и длительности.

Применение ультрафиолетового, лазерного облучений и обработка магнитными полями семян является прогрессивным способом их подготовки к посеву, позволяющим не только вывести семена из состояния покоя, но и активизировать работу разнообразных биологических катализаторов – ферментов, обеспечивающих быстрый рост и развитие растений. В клеточной стенке имеются белки, пектины, фосфолипиды, микрофибриллы целлюлозы и др., содержащие фиксированные отрицательно заряженные группы (прежде всего – карбоксильные). Они определяют катионно-обменную способность и влияют на накопление ионов в клетке. Транспорт ионов, крупных полярных молекул и др. обеспечивается, преимущественно, посредством специальных интегральных белков. Кроме того, на межклеточной мембране генерируется потенциал величиной от –60 до –260 мВ, за счет которого происходит транспорт заряженных частиц внутрь клетки. При этом благодаря диффузионно-химическому механизму проницаемости клеточных мембран растений происходит извлечение катионов тяжелых металлов из почвенного раствора высшими растениями. Растительная клетка при этом является природным биоэлектрохимическим нанореактором, способным эффективно извлекать и утилизировать ТМ.

##### **4.1. Влияние тяжелых металлов и совместное влияние ИТМ+ВФП на процессы роста, развития растений и фиторемедиацию почвы**

Проведенные исследования влияния природы и концентрации ИТМ ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ) и совместного воздействия ИТМ+ВФП на общую всхожесть семян растений представлены в табл.1 и на рис. 1.



Таблица 1. Количество всходов фитосорбентов (%) в почве: контроль (числитель), при содержании свинца 10 ПДК (знаменатель)

Растения	Количество всходов, % (от 50 шт.)								
	Дни роста	1–4	6	8	10	12	15	18	22
Листовой салат	–	<u>32</u>	<u>52</u>	<u>56</u>	<u>62</u>	<u>76</u>	<u>62</u>	<u>44</u>	–
		26	42	46	58	66	56	38	22
Фасоль	–	<u>26</u>	<u>62</u>	<u>70</u>	<u>84</u>	<u>98</u>	<u>94</u>	<u>92</u>	<u>86</u>
	–	22	33	58	68	78	78	56	42
Соя	–	<u>26</u>	<u>54</u>	<u>64</u>	<u>74</u>	<u>80</u>	<u>90</u>	<u>84</u>	<u>90</u>
		14	42	50	66	78	72	60	30

Установлено, что по сравнению с контрольным экспериментом (без воздействия на семена ВФП и при отсутствии ИТМ в почвах), количество всходов в почвах, содержащих ионы металлов, изменилось. Влияние ионов металлов на процессы всхожести семян растений различно и определяется природой металла. Так, по сравнению с контролем, в почвах, содержащих медь при концентрациях 5 и 10 ПДК, всхожесть семян растений увеличилась, а при 15 и 20 ПДК – осталась практически такой же, как в контрольном эксперименте. Это обусловлено довольно высокой устойчивостью растений к действию этого металла, который не только не ингибировал прорастание, но и оказал стимулирующее действие.

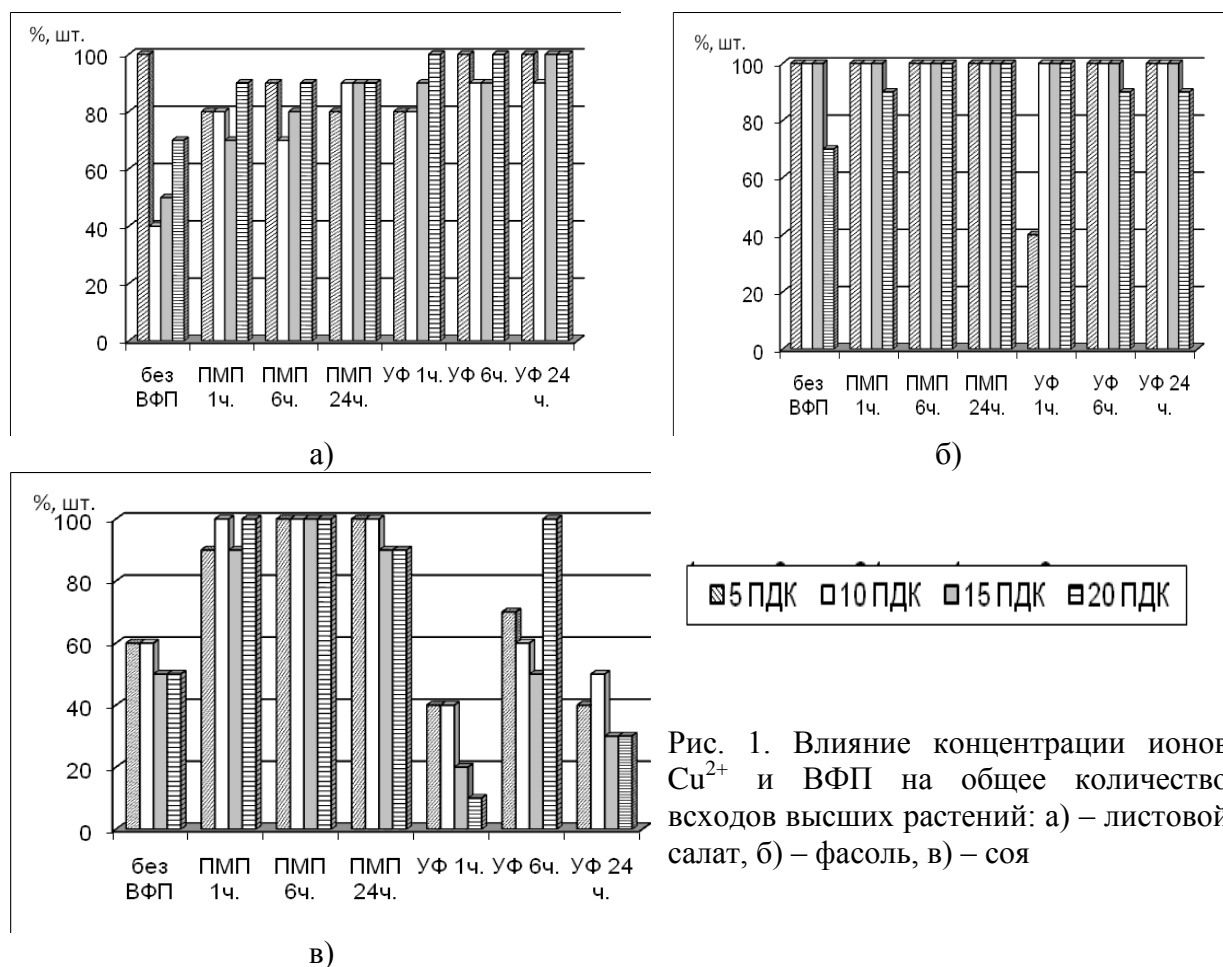


Рис. 1. Влияние концентрации ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и ВФП на общее количество всходов высших растений: а) – листовой салат, б) – фасоль, в) – соя

Присутствие в почвах токсичного свинца оказало незначительное влияние на всхожесть семян растений. Количество всходов было близко к контролю и к количеству всходов в присутствии в почве  $\text{Cu}^{2+}$ . Это может быть связано с тем, что при высоких концентрациях в почве свинец переходит в малоподвижное состояние и замедляется его поступление в растения. Растения листового салата в этих условиях оказались менее устойчивыми и приспособленными к воздействию тяжелых металлов.

Анализ влияния УФ-облучения на всхожесть и ростовые характеристики растений-фиторемедиантов показал его положительное воздействие на салат и фасоль (рис. 1).

Проведенные исследования по влиянию природы и концентрации ТМ на рост и развитие растений (табл. 2) показали, что по истечении 14–18 суток у фитосорбентов начали проявляться признаки угнетения роста и отмирание листьев. С увеличением концентрации токсикантов эти процессы усиливались, особенно при загрязнении почвы свинцом. Практически во всех пробах с загрязненной почвой растения отставали в росте и развитии по сравнению с контролем. В пробах с максимальным содержанием (20 ПДК)  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Pb}^{2+}$  салат практически не рос, и в конце эксперимента, по истечении 28 дней, он мало отличался от недельной рассады. Это обусловлено тем, что салат сразу реагирует на присутствие ТМ в почве. Фенологические наблюдения показали, что уровень загрязнения почвы ионами меди в меньшей степени оказывает влияние на рост и развитие фасоли и сои, и в наибольшей – листового салата.

Таблица 2. Влияние природы и концентрации ИТМ на рост и развитие растений

Фасоль: длина листа, мм ( $\text{Cu}^{2+}/\text{Pb}^{2+}$ )						Фасоль: высота растения, мм ( $\text{Cu}^{2+}/\text{Pb}^{2+}$ )				
Дни	К*	5 ПДК	10 ПДК	15 ПДК	20 ПДК	К*	5 ПДК	10 ПДК	15 ПДК	20 ПДК
7	40	36/36	35/35	35/33	34/30	231	234/226	232/223	230/220	231/217
14	46	44/42	43/40	40/40	40/36	314	256/241	244/238	282/234	283/228
21	54	49/47	48/44	46/41	45/40	389	350/439	338/301	359/298	359/276
28	61	57/55	55/52	55/49	53/46	516	479/449	483/397	417/365	420/329
Салат: длина листа ( $\text{Cu}^{2+}/\text{Pb}^{2+}$ )						Салат: высота растения, мм ( $\text{Cu}^{2+}/\text{Pb}^{2+}$ )				
7	9	8/6	8/6	7/5	7/4	57	51/45	50/45	50/42	49/40
14	11	9/7	8/7	8/6	8/5	75	58/49	58/48	56/46	53/43
21	13	10/8	9/7	7/–	–/–	81	64/56	63/54	61/–	58/–
28	16	10/10	9/9	6/–	–/–	84	68/61	66/58	–/–	–/–

Установлено, что содержание в почве ионов  $\text{Pb}^{2+}$  более 10 ПДК способствует уменьшению биомассы фитосорбентов в сравнении с медью. Полученный эффект обусловлен тем, что медь, являясь биогенным элементом, оказывает благоприятное воздействие на растения. Наиболее устойчивой к воздействию ИТМ оказалась фасоль. Это связано с тем, что бобовые обладают важной биологической особенностью – способностью противостоять поступлению в наземную часть токсичных веществ за счет их иммобилиза-

ции в корневой системе. Изучение влияния концентрации ИТМ и времени воздействия ПМП на высоту исследуемых растений позволило установить, что облучение семян фасоли и сои при малых концентрациях ионов  $Pb^{+2}$  отрицательно влияет на рост и развитие растений. Фитомасса увеличивалась лишь при концентрациях ионов свинца в очищаемой почве, равных 15 и 20 ПДК. Это, как указывалось выше, связано с тем, что при больших концентрациях в почве свинец переходит в малоподвижное состояние и замедляется его поступление в растения. Однако и в этом случае растения фасоли отставали по параметрам длины листьев и высоты растений от контрольного образца, и наблюдалось их незначительное увеличение при проведении эксперимента без облучения семян магнитным полем.

В почве, загрязненной ионами  $Cu^{+2}$ , наблюдалась другая тенденция. Растения фасоли и сои, семена которых подвергались воздействию ПМП с напряженностью 2 кА/м, достигали более высоких показателей роста, чем растения в контрольном эксперименте и в эксперименте без предварительной обработки семян. Так как фасоль и соя не относятся к группе растений-гипераккумуляторов, то высота растений, а следовательно, и их фитомасса прямо пропорционально зависят от накопления в ней ионов биогенных элементов, к которым относится медь.

Для оценки влияния ИТМ и сочетанного влияния ИТМ+ВФП на процессы фиторемедиации почв от тяжелых металлов проводили определение остаточных концентраций ИТМ в почве по ГОСТ 17.4.3.01-83 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб».

Готовили почвенные вытяжки и анализировали содержание в них остаточных концентраций металлов фотометрическим на приборе КФК-3-01 и вольтамперометрическим на роботизированном комплексе «Экспертиза ВА-2D» с электродом «3 в 1» методами. Определение концентраций проводили по методу добавок стандартного раствора исследуемого металла. Содержание ИТМ рассчитывали по величинам аналитических сигналов вольтамперограмм анализируемого раствора пробы и анализируемого раствора пробы с добавками стандартных растворов металлов.

Результаты расчетов эффективности очистки почв ( $\mathcal{E}_{оч} = \{(C_n - C_k) / C_n\} \cdot 100, \%$ ) от ионов свинца и меди растениями-фитомелиорантами, семена которых были обработаны в ПМП с напряженностью 2 кА/м в течение различного времени, представлены на рис. 2 и в табл. 3.

Установлено (рис. 2), что лучшую эффективность очистки почв от ионов свинца показали растения фасоли. При этом следует отметить, что при низких концентрациях  $Pb^{+2}$  (5 ПДК) с увеличением времени воздействия ПМП на семена эффективность очистки почв растениями фасоли снижалась.

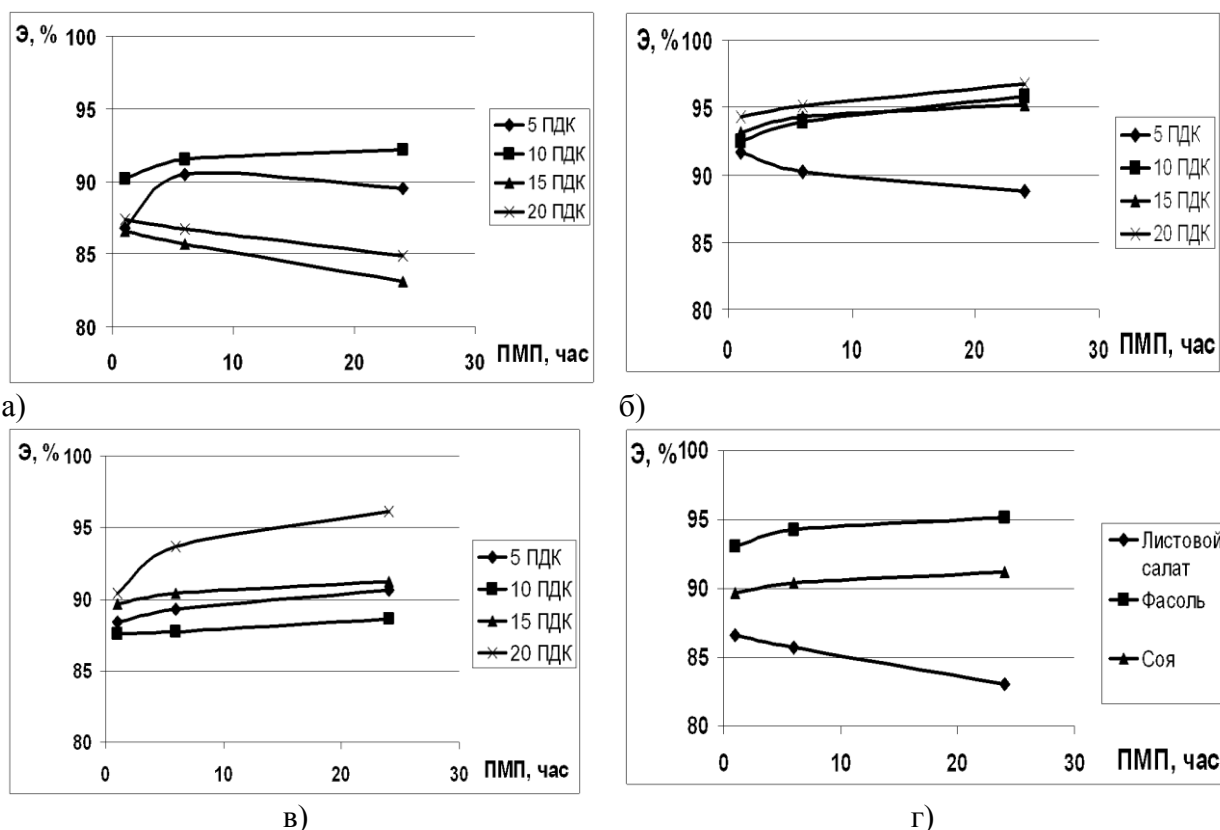


Рис. 2. Влияние концентрации ионов  $Pb^{2+}$  и длительности воздействия ПМП 2 кА/м на эффективность очистки почвы: а) – листовой салат, б) – фасоль, в) – соя; г) – сравнительные данные по эффективности очистки почвы при концентрации  $Pb^{2+}$  15 ПДК

Фасоль проявила лучшую эффективность очистки при концентрации свинца в почве, равной 10 ПДК, и длительности воздействия ПМП на семена 24 ч. У растений листового салата наблюдалась та же тенденция, что и у растений фасоли. Лучше всего листовый салат извлекал свинец из загрязненной почвы при концентрациях  $Pb^{+2}$  в ней, равных 10 и 15 ПДК. Наибольшая эффективность очистки почв достигалась при концентрации свинца 10 ПДК и длительности воздействия ПМП 24 ч. У растений сои отмечалось увеличение эффективности очистки почв от ИТМ с увеличением времени воздействия на ее семена ПМП. Наибольшая эффективность очистки почв растениями сои, как и в случае с листовым салатом, достигалась при концентрации свинца 20 ПДК и времени воздействия на семена 24 ч. При любых из исследуемых концентраций ионов  $Pb^{+2}$  эффективность очистки почвы без предварительной обработки семян в ПМП гораздо ниже, чем при воздействии ПМП, что доказывает его положительное влияние на процесс очистки почв, загрязненных ионами свинца.

Показано (табл. 3), что эффективность очистки почв от ионов  $Cu^{2+}$  с помощью растений сои снижалась, хотя и незначительно, с увеличением времени обработки семян. Это свидетельствует о том, что для эффективной очистки почв от ионов меди с помощью растений не обязательно применять воздействие ПМП на семена в течение длительного времени, хороших результатов можно добиться и при обработке в течение 1 часа.

Таблица 3. Результаты анализа почв по извлечению  $\text{Cu}^{+2}$  фасолью в течение 28 дней при различной длительности воздействия на семена ПМП напряженностью 2 кА/м

Растение	С <sub>н</sub> , ПДК и (мг/кг)	Э <sub>оч</sub> , %			Э <sub>оч</sub> , % К*	
	Воздействие ПМП	1	6	24	$\text{Cu}^{+2}$	$\text{Pb}^{+2}$
Листовой салат	5 (15)	81	84	82	50	69
	10 (30)	84	85	83	67	83
	15 (45)	82	85	76	78	89
	20 (60)	85	84	87	85	91
Фасоль	5 (15)	85	83	85	60	67
	10 (30)	84	90	91	66	83
	15 (45)	86	90	93	77	88
	20 (60)	89	91	92	84	90
Соя	5 (15)	83	84	80	56	63
	10 (30)	84	85	81	62	74
	15 (45)	85	83	80	71	82
	20 (60)	86	83	80	78	85

К\* – контроль по эффективности извлечения свинца и меди без воздействия ПМП

Для растений фасоли наблюдалась обратная тенденция, особенно при концентрациях  $\text{Cu}^{+2}$  в почве, равных 15 и 20 ПДК.

Эффективность очистки почв с помощью растений листового салата колеблется в районе 81÷87 % при концентрации ионов меди в почве от 5 до 15 ПДК для любого времени воздействия на семена магнитным полем. При концентрации  $\text{Cu}^{+2}$  в почве, равной 20 ПДК, наблюдалось увеличение эффективности ее очистки с ростом времени воздействия ПМП на семена растений до 24 ч. Эффективность очистки почв от ионов меди растениями без предварительной обработки семян ПМП (см. К\* табл. 3) оказалась ниже по сравнению с обработанными растениями, что свидетельствует о положительном влиянии ПМП на рост и развитие растений и процесс фиторемедиации почв, загрязненных ионами  $\text{Cu}^{+2}$ . При этом достигалось наиболее полное извлечение меди при всех значениях длительности воздействия ПМП (Э≈76÷93 %).

Эффект влияния ПМП обусловлен тем, что оно воздействует на объемные электрические заряды за счет энергии, накапливающейся в ходе реакций в клетке. Магнитные поля влияют на белковые образования растительного происхождения, способствуя перемещению электронов к поверхности клеточных мембран, увеличивая отрицательный заряд и способствуя тем самым формированию слоя с высоким значением разности потенциалов на границе клетка/раствор. В этом случае ускоряется подвод положительно заряженных ИТМ к отрицательно заряженной поверхности мембраны и ускоряется их проникновение вглубь клетки.

Анализ воздействия УФ-облучения на процессы очистки почв показал его положительное влияние при обработке семян растений в течение 1 и 6

часов (рис. 3). Более длительное его воздействие или не оказывало влияния (чаще всего в случае с ионами  $\text{Cu}^{2+}$ ), или же сказывалось отрицательно. Такая тенденция наблюдалась для всех исследованных растений-фиторемедиантов.

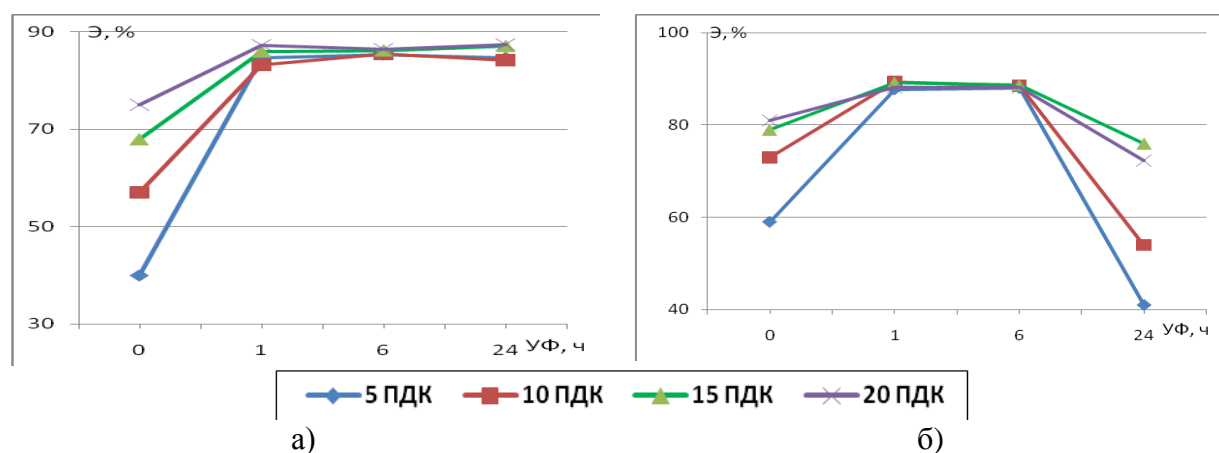


Рис. 3. Влияние концентрации ИТМ и длительности воздействия УФ на эффективность очистки почвы листовым салатом: а) –  $\text{Cu}^{2+}$ ; б) –  $\text{Pb}^{2+}$

Известно, что увеличение длительности облучения способствует усилению действия УФ за счет проявления фотоэлектрического эффекта, при котором наблюдается отщепление электронов от белковых образований. Это приводит к изменению «ионной конъюнктуры» в клетках, электрических свойств коллоидов, величины потенциала на клеточных мембранах растения, к увеличению проницаемости клеточных мембран и ускорению обменных процессов между клеткой и окружающей средой. Часть поглощенной лучистой энергии превращается в теплоту, способствуя ускорению физико-химических и биологических процессов, что приводит к ускорению тканевого и общего обмена. Установлено, что в сравнении с процессами без облучения УФ растительные клетки поглощали большее количество ионов металла. Вместе с тем полученные данные подтвердили возможность возникновения стрессового состояния у растений при длительном воздействии (24 ч) коротковолнового УФ-облучения, которое обладает высокой энергией и способностью к разрыву химических связей. Известно, что при этом белки перестают выполнять свои функции, а нуклеиновые кислоты подвергаются мутациям, в связи с чем функции клетки нарушаются. Эффективность извлечения  $\text{Pb}^{2+}$  листовым салатом в этих условиях уменьшилась до 40 % (рис. 3, б).

Полученные сравнительные результаты по эффективности очистки почв от ИТМ (как без обработки, так и при воздействии ВФП) показали, что для ионов  $\text{Cu}^{2+}$  она оказалась на 5–8 % ниже, чем для более токсичных ионов свинца. Это свидетельствует об избирательности фитомелиорантов: медь принимает участие в жизненно важных биохимических процессах в клетках растений, и поэтому ее концентрация в фитомассе «отслеживается

и контролируется» растением, а ионы свинца, депонируемые в вакуоли или межклеточное пространство, могут накапливаться в больших количествах.

Адсорбционную емкость растений  $A_i$  (табл. 4, рис. 4) определяли по количеству поглощенного ими металла после сушки и мокрого озоления фитомассы (в расчете на абсолютно сухой вес растений). Установлено, что с увеличением концентрации свинца в почве адсорбционная емкость салата (без воздействия ВФП) увеличилась с 3,2 мг/кг (5 ПДК) до 16,4 мг/кг (20 ПДК).

Таблица 4. Адсорбционная емкость растений по истечении 28 дней без воздействия ВФП и при обработке семян ПМП и УФ в течение 6 ч

Растение	ПДК	$A_i$ , мг/кг без ВФП		$A_i$ , мг/кг ПМП		$A_i$ , мг/кг УФ	
		$\text{Cu}^{2+}$	$\text{Pb}^{2+}$	$\text{Cu}^{2+}$	$\text{Pb}^{2+}$	$\text{Cu}^{2+}$	$\text{Pb}^{2+}$
Листовой салат	5	2,2	3,2	3,0	3,4	2,4	2,9
	10	6,2	8,3	6,4	7,4	4,4	6,7
	15	13,1	14,3	11,1	12,0	7,6	10,9
	20	15,3	16,4	11,3	12,1	8,6	10,6
Фасоль	5	1,4	4,1	2,9	4,9	2,5	3,3
	10	3,8	6,3	6,8	9,3	5,4	6,9
	15	6,3	9,6	12,2	13,9	9,2	11,3
	20	6,1	9,8	11,6	14,6	8,9	13,1
Соя	5	1,1	1,7	2,8	3,6	2,5	4,3
	10	1,6	2,8	6,6	8,1	4,7	9,5
	15	3,1	4,2	11,7	12,6	8,1	11,3
	20	2,6	5,1	11,3	12,8	8,7	11,2

Следует отметить, что в этих условиях адсорбционная емкость растений по ионам меди оказалась ниже, чем для более токсичных ионов свинца. Это, как показано выше – результат селективной избирательности фитомелиорантов: роль меди как микроэлемента в растениях тесно связана с процессами фотосинтеза и образования сложных органических соединений, она стабилизирует содержание хлорофилла, предохраняя его от разрушения и др. Установленные величины адсорбционной емкости без воздействия ВФП показали, что сорбируемость растениями ИТМ изменяется в ряду: салат>фасоль>soя. Установлено, что в случае сочетанного воздействия ИТМ и физических полей этот ряд изменился: фасоль>soя>салат, лучшее воздействие ВФП оказали на фасоль, а, следовательно, для нее было получено более высокое значение сорбционной емкости (рис. 4, б), особенно при воздействии ПМП, менее сорбционно-емким оказался листовой салат. Его сорбционные параметры при высоких концентрациях ИТМ (15 и 20 ПДК) и действии УФ оказались ниже, чем без воздействия ВФП (рис. 4, а), что может быть связано с защитными механизмами метаболических процессов этого растения.

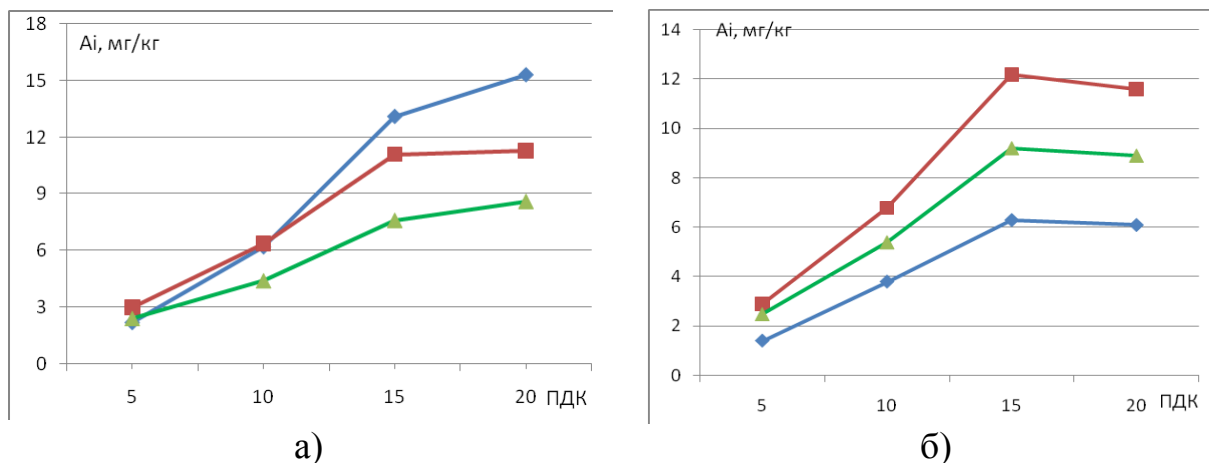


Рис. 4. Зависимость величины адсорбционной емкости от концентрации ионов меди без воздействия ВФП и при сочетанном воздействии  $\text{Cu}^{2+}$ +ВФП при времени облучения 6 ч: а) – листового салата, б) – фасоли

В целом следует отметить тенденцию к увеличению сорбционной емкости по извлечению ИТМ при воздействии ВФП. Полученные данные подтверждают, что ВФП в определенных условиях проявляют свое влияние как стимулирующий фактор, под действием которого достигается изменение биологической активности клетки, ее энергетического потенциала, что, как следствие, способствует ускорению извлечения катионов металлов из почв.

#### 4.2. Влияние НП и совместное влияние ВФП+НП на процессы роста, развития растений и фиторемедиацию нефтезагрязненной почвы

Загрязнение нефтью и нефтепродуктами чрезвычайно опасно для почв. Отработанные нефтяные масла – существенный источник загрязнения окружающей среды, способствующий накоплению микроскопических грибов, вызывающих цитоплазмоллиз и некроз растений.

Нами проведены исследования влияния концентрации НП (моторное масло марки МТ – 4з/8ДС) на количество всходов растений, высоту и длину листьев, определение эффективности поглощения НП растениями.

Установлено, что наилучшая всхожесть в более ранние сроки (7 и 14 дней) и наибольшая продолжительность роста (21...28 дней) наблюдались у фасоли при концентрациях НП, равных 1 и 5 г/кг. Для салата лучшие параметры были установлены при проведении контрольного эксперимента. Всхожесть салата в присутствии НП в почве уменьшалась, а высота растений и длина листа были наибольшими при концентрации 1 г/кг. Соя, также как и фасоль, имела лучшую всхожесть и ростовые характеристики при концентрациях НП в почве, равных 1 и 5 г/кг. Это обусловлено тем, что, в соответствии с литературными данными, нефтяное загрязнение может оказывать стимулирующее действие на прорастание семян и луковиц, формирование листьев и корней, содержание пигментов фотосинтеза.

Воздействие ПМП при обработке семян растений оказало наибольшее влияние на всхожесть, ростовые параметры и эффективность очистки почв фасолью и соей, а УФ-облучение активизировало развитие листового салата.



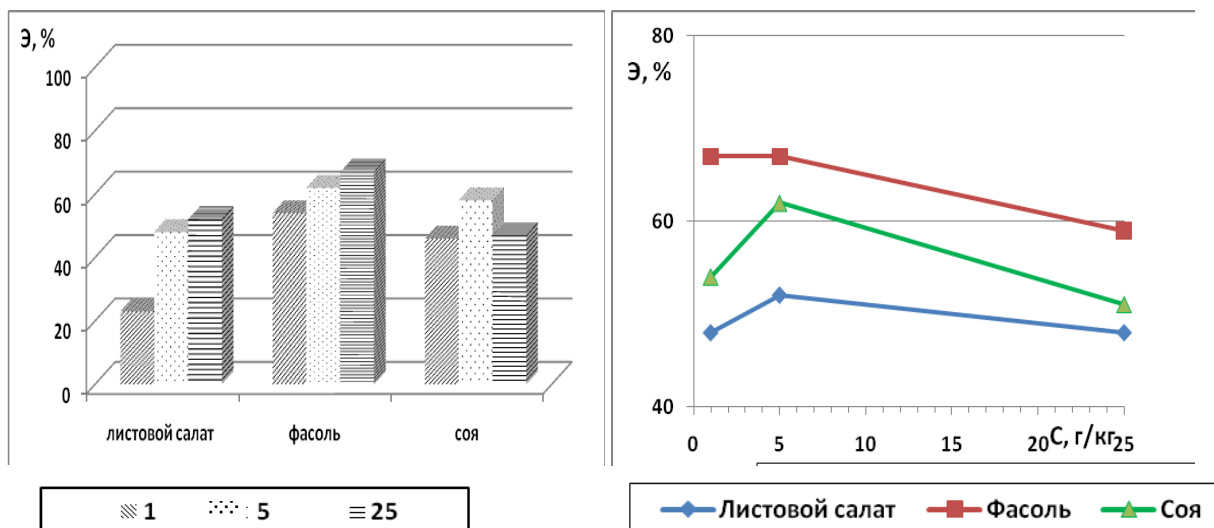


Рис. 5. Эффективность извлечения НП растениями без воздействия ВФП

Рис. 6. Эффективность извлечения НП растениями при воздействии ПМП 6 ч.

Исследование влияния НП на процессы фиторемедиации почв (рис. 5) позволяет сделать следующие заключения: концентрация нефтепродукта в почве влияет на всхожесть, рост и развитие высших растений; наибольшую толерантность к НП проявили растения фасоли и сои – наблюдалось более быстрое увеличение их фитомассы по сравнению с листовым салатом; эффективность процесса фиторемедиации почвы от нефтепродуктов уменьшалась в ряду фитосорбентов: фасоль>соя>салат.

Исследование совместного влияния НП и ВФП на процессы фиторемедиации почв (рис. 6) показало, что воздействие физических полей в целом благоприятно сказывается на энергии роста и развития семян и растений и протекании процессов фиторемедиации почвы от НП.

#### 4.3. Гистохимические исследования локализации тяжелых металлов в тканях и органах растений

Вопрос о локализации тяжелых металлов в растительном организме имеет большое значение при изучении их токсического действия и механизмов устойчивости растений. Разные органы, ткани и даже различные клетки внутри одной ткани растения по-разному накапливают металлы; их распределение в целом организме может быть крайне неравномерным. В настоящее время разработаны простые в использовании гистохимические методы, которые позволяют оценить распределение, накопление и пути передвижения металлов в растениях. В их основе лежит наблюдение за образованием окрашенных комплексов исследуемого металла и подобранного к нему реагента в клетках и тканях растения.

Нами исследовано распределение свинца в тканях фасоли и сои. Срез растения фасоли накрывали покровным стеклом и анализировали на микроскопе «МИНИМЕД-502» при 100-кратном увеличении. Фотографии препаратов (рис. 7) делали с помощью цифрового фотоаппарата. Масштаб определяли с помощью объект-микрометра отраженного света ОМО. Снимки обрабатывались на компьютере с использованием программы Gimp 2.8.

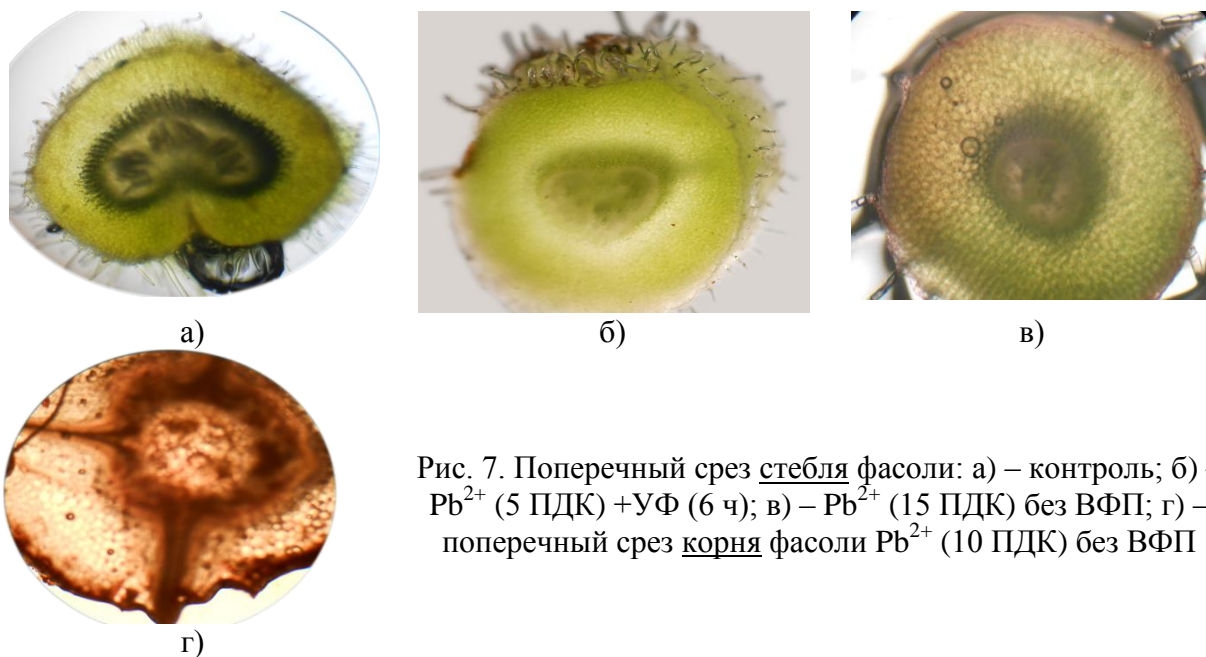


Рис. 7. Поперечный срез стебля фасоли: а) – контроль; б) –  $Pb^{2+}$  (5 ПДК) +УФ (6 ч); в) –  $Pb^{2+}$  (15 ПДК) без ВФП; г) – поперечный срез корня фасоли  $Pb^{2+}$  (10 ПДК) без ВФП

Было отмечено окрашивание корневых волосков, ризодермы, паренхимы корня. В тканях стебля свинец практически не обнаружен. Полученные результаты свидетельствуют о том, что локализация свинца происходит преимущественно в корне растения, ткани которого выполняют барьерную функцию (эндодерма), защищая стебли и листья, а также генеративные органы от загрязнителя, что согласуется с литературными данными. Воздействие ВФП (при одинаковых концентрациях ионов  $Pb^{2+}$ ) привело к большей жизнеспособности растений и содержанию в них большего количества влаги, а следовательно, и большего количества клеточного электролита, необходимого для эффективного протекания биоэлектрохимических процессов в клетках и тканях растений.

#### **4.4. Эколого-экономическое обоснование предотвращенного ущерба почвам при использовании метода фиторемедиации**

Предотвращенный экологический ущерб земельному фонду на территории Саратовской области с учетом субъекта РФ определен исходя из размеров снижения отрицательного воздействия и величины показателя удельного экологического ущерба, наносимого единицей приведенной массы загрязнения по конкретному виду природных ресурсов и объектов.

Величина предотвращенного ущерба земельным ресурсам области при применении метода фиторемедиации составит ~ 95 тыс. рублей за 1 гектар очищенной почвы.

### **ВЫВОДЫ**

1. Анализ данных мониторинга почв Саратовской области показал, что основными загрязнителями являются тяжелые металлы (свинец, никель, цинк, кадмий, медь и др.) и нефтепродукты (нефть, бензин, моторное масло), воздействие которых отрицательно сказывается на почвенном плодородии.

2. Изучено влияние природы и содержания тяжелых металлов (меди и свинца) на процессы всхожести семян, роста и развития высших растений и фиторемедиации почвы. Установлено, что с увеличением концентрации ионов тяжелых металлов в почве, сильнее проявляется их токсическое действие на растения-фиторемедианты. При высоких концентрациях тяжелых металлов растения имеют более низкие показатели всхожести семян, роста и развития и, как следствие, более низкую адсорбционную емкость и эффективность очистки почв.

3. Показано, что воздействие внешних физических полей на семена способствует ускорению роста, развития растений и улучшению показателей процесса фиторемедиации почвы от ионов тяжелых металлов. Постоянное магнитное поле при времени воздействия 1, 6 и 24 ч и ультрафиолетовое облучение при времени воздействия 1 и 6 ч на семена растений проявили себя как стимулирующие факторы, приводящие к изменению биологической активности клеток (их размножение и фотосинтетическая активность); улучшению ростовых характеристик растений (особенно в присутствии в почве  $\text{Cu}^{2+}$ ), повышению на 10–12 % эффективности фиторемедиации почвы. Более длительная обработка ультрафиолетом приводит растения в стрессовое состояние, при котором нарушаются функции клеток и растения теряют свои накопительные свойства.

4. Анализ полученных данных показал, что свинец оказывает большее токсическое воздействие на растения по сравнению с медью. Вместе с тем эффективность очистки почв (76–93 %), загрязненных ионами  $\text{Cu}^{+2}$ , оказалась ниже, чем эффективность очистки почв (84–95 %), загрязненных ионами  $\text{Pb}^{+2}$ , при любых из исследуемых концентраций и любой длительности воздействия внешних физических полей. Это обусловлено тем, что медь, в отличие от свинца, является микроэлементом, необходимым для роста и развития растений, и ее концентрация в фитомассе контролируется.

5. Установлено, что при всех исследуемых концентрациях ионов  $\text{Pb}^{+2}$  и  $\text{Cu}^{+2}$  в почве эффективность ее очистки без предварительной обработки семян растений оказалась на 5–12 % ниже, в сравнении с результатами, полученными при воздействии внешних физических полей. Это свидетельствует о положительном влиянии физических полей на процесс фиторемедиации почв, загрязненных катионами металлов. Эффективность очистки почв от загрязнений и адсорбционная емкость растений без воздействия внешних физических полей уменьшались в ряду: листовая салат > фасоль > соя, а при воздействии – в ряду фасоль > соя > листовая салат.

6. Показано, что адсорбционная емкость растений ( $2 \div 15$  мг/кг) по металлам зависит от природы фитосорбентов, природы и концентрации ионов металлов, длительности воздействия постоянного магнитного поля и ультрафиолетового облучения. Более высокие значения адсорбционной емкости получены для ионов  $\text{Pb}^{2+}$  при воздействии внешних физических полей.

7. Концентрация исследованного нефтепродукта в почве влияет на всхожесть семян, рост и развитие высших растений. Наибольшую толе-

рантность к нефтепродуктам проявили растения фасоли и сои – наблюдалось более быстрое увеличение их фитомассы по сравнению с листовым салатом. Эффективность процесса фиторемедиации почвы (42÷72 %) от нефтепродуктов уменьшалась в ряду фитосорбентов: фасоль>соя>салат. Внешние физические поля оказали стимулирующее воздействие на ростовые параметры и фиторемедиационную активность растений.

8. Показано, что локализация свинца происходит преимущественно в корнях растений, ткани которых выполняют барьерную функцию, защищая стебли и листья, а также генеративные органы от воздействия поллютантов. При воздействии на семена внешних физических полей растения оказываются более жизнеспособными и содержат большее количество влаги (клеточный электролит), необходимой для эффективного протекания биохимических процессов.

9. Рассчитан предотвращенный экологический ущерб земельным ресурсам Саратовской области при использовании метода фиторемедиации. Величина предотвращенного экологического ущерба составила ≈ 95 тыс. руб. за 1 гектар земли.

## **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### ***В изданиях, рекомендованных ВАК:***

1. Халиева, А.С. Влияние меди и свинца на развитие высших растений и фиторемедиацию почвы [Текст] / Л.Н. Ольшанская, А.С. Халиева, О.В. Титоренко, Н.А. Ефремова // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2013. – Т. 56. – Вып. 4. – С. 127–130.

2. Халиева, А.С. Влияние нефтепродуктов на рост, размножение высших растений и фиторемедиацию ими почвы [Текст] / Л.Н. Ольшанская, О.В. Титоренко, А.С. Халиева // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2013. – № 7. – С. 39–41.

3. Халиева, А.С. Влияние обработки семян в постоянном магнитном поле на процессы роста и развития растений и фиторемедиацию ими почвы от катионов меди и свинца [Текст] / Л.Н. Ольшанская, А.С. Халиева, А.А. Кузнецова, О.В. Титоренко, И.Г. Шайхиев // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16. – № 13. – С. 154–158.

4. Лазуткина (Халиева), А.С. Высшие растения для очистки высококонцентрированных сточных вод [Текст] / Ю.А. Тарушкина, Л.Н. Ольшанская, О.Е. Мечева, А.С. Лазуткина // Экология и промышленность России. – 2006. – май. – С. 36–39.

### ***В зарубежных изданиях:***

5. Халиева, А.С. Воздействие тяжелых металлов на развитие растений и фиторемедиацию ими почвы [Текст] / А.С. Халиева, Л.Н. Ольшанская, О.В. Титоренко, А.А. Кузнецова // Эколого-правовые и экономические аспекты техногенной безопасности регионов: Материалы VII Международной научно-практической конференции (г. Харьков, 17–19 октября 2012 г.). – Харьков: ХНАДУ, 2012. – С. 221–223.

6. Халиева, А.С. Влияние кислотности почвы на рост, размножение наземных растений и извлечение ионов тяжелых металлов [Текст] / А.С. Халиева, О.В. Титоренко, Л.Н. Ольшанская, Д.М. Геворкян // Эколого-правовые и экономические аспекты техногенной безопасности регионов: Материалы VI Международной научно-практической конференции (г. Харьков, 19–21 октября 2011 г.). – Харьков: ХНАДУ, 2011. – С. 340–343.

7. Халиева, А.С. Влияние внесения осадков сточных вод на урожайность кормовых культур [Текст] / О.В. Титоренко, А.С. Халиева, Л.Н. Ольшанская // Эколого-правовые и экономические аспекты техногенной безопасности регионов: Материалы VI Международной научно-практической конференции (г. Харьков, 19–21 октября 2011 г.). – Харьков: ХНАДУ, 2011. – С. 337–339.

***В других изданиях:***

8. Халиева, А.С. Влияние природы внешних физических полей и загрязнений нефтепродуктами на процессы ремедиации почв высшими растениями [Текст] / А.С. Халиева, О.В. Титоренко, Л.Н. Ольшанская // Экология и рациональное природопользование агропромышленных регионов: Материалы Международной молодежной научной конференции (г. Белгород, 12–14 октября 2013 г.). – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013. – Ч. 2. – С. 168–170.

9. Халиева, А.С. Использование фиторемедиационных технологий в решении проблем загрязнения биосферных комплексов тяжелыми металлами [Текст] / Л.Н. Ольшанская, М.Л. Русских, О.В. Титоренко, А.С. Халиева // Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов «ELPIT–2013»: Международный научно-технический конгресс (г. Тольятти, 18–21 сентября 2013 г.). – Тольятти: ТГУ, 2013. – Т. 2. – С. 167–173.

10. Халиева, А.С. Влияние внешних физических полей и загрязнений тяжелыми металлами (никель, цинк) на процессы фиторемедиации почв [Текст] / О.В. Титоренко, А.С. Халиева, Л.Н. Ольшанская, О.В. Майорова // Промышленная экология и безопасность: Материалы VIII Межрегиональной научно-практической конференции (г. Казань, 6 сентября 2013 г.). – Казань: МЭ и ПР Республики Татарстан, 2013. – С. 84–87.

11. Халиева, А.С. Влияние концентрации моторного масла и природы фитомелиоранта на рост, развитие растений и извлечение нефтепродукта [Текст] / Л.Н. Ольшанская, О.В. Титоренко, А.С. Халиева, Л.А. Булкина // Актуальные дискуссионные проблемы современной науки: Материалы Международной научной конференции (г. Энгельс, 14 января 2013 г.). – Энгельс: РИЦ ПКИ, 2013. – С. 302–305.

12. Халиева, А.С. Влияние нефтепродуктов на рост, размножение растений и фиторемедиацию почвы [Текст] / А.С. Халиева, О.В. Титоренко, Л.Н. Ольшанская, Н.В. Залеская // Энергосбережение и экология в жилищно-коммунальном хозяйстве и строительстве городов: Материалы Между-

народной научно-практической конференции (г. Белгород, ноябрь 2012 г.). – Белгород: БГТУ им. В.Г.Шухова, 2012. – С. 376–381.

13. Халиева, А.С. Исследование процесса фиторемедиации почв от тяжелых металлов [Текст] / О.В. Титоренко, Л.Н. Ольшанская, А.С. Халиева // Энергосбережение и экология в жилищно-коммунальном хозяйстве и строительстве городов: Материалы Международной научно-практической конференции (г. Белгород, ноябрь 2012 г.). – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2012. – С. 374–376.

14. Халиева, А.С. Исследование влияния фитосорбента, природы и концентрации тяжелых металлов на процесс фиторемедиации почв [Текст] / А.С. Халиева, О.В. Титоренко, Л.Н. Ольшанская // Экологические проблемы горно-промышленных регионов: Материалы Международной молодежной конференции (г. Казань, 11–12 сентября 2012 г.). – Казань: КГХТУ, 2012. – С. 202–204.

15. Халиева, А.С. Загрязнение почв тяжелыми металлами [Текст] / Л.Н. Ольшанская, О.В. Титоренко, А.С. Халиева // Актуальные проблемы электрохимической технологии: Материалы Международной конференции (г. Энгельс, 25–28 апреля 2011 г.). – Саратов: СГТУ, 2011. – Т. 2. – С. 309–313.

**ХАЛИЕВА Анна Сергеевна**

**ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ И  
УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРОЦЕССЫ РОСТА  
ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ И ФИТОРЕМЕДИАЦИЮ ИМИ ПОЧВ  
ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И НЕФТЕПРОДУКТОВ**

Специальность 03.02.08 – экология (биология)

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук**

Компьютерная верстка Т.А. Антиповой

Сдано в производство . . . Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Бумага типогр. № 1. Печать трафаретная. Шрифт Times New Roman Cyr.  
Усл. печ. л. , . Уч.-изд л. , . Заказ № . Тираж 100.

---

Пензенский государственный технологический университет.  
440039, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ул. Гагарина, 1<sup>а</sup>/11

