

¹А.А. Нуржанова , ²А.А. Мамирова ,
³V. Pidlisnyuk , ²Л.Б. Джансугурова 

¹Институт биологии и биотехнологии растений КН МОН РК, Казахстан, г. Алматы, e-mail: gen_asil@mail.ru

²Институт общей генетики и цитологии КН МОН РК, Казахстан, г. Алматы

³ Университет Яна Евангелисты Пуркине, Чехия, г. Усти-над-Лабем

ПРОБЛЕМА СОЗ-ПЕСТИЦИДОВ В КАЗАХСТАНЕ И СПОСОБЫ ИХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ НОВОГО ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ФИТОРЕМЕДИАНТА *MISCANTHUS SINENSIS* (на примере Талгарского района)

Аннотация. В статье представлены данные о мониторинге территории бывших складов химических средств защиты растений (на примере, пос. Кызыл-Кайрат, Талгарский район, Алматинская область) и способности нового биоэнергетического вида *Miscanthus sinensis* к восстановлению загрязненных СОЗ-пестицидами почв. Установлено, что почва вокруг бывших складов загрязнена стойкими органическими пестицидами (ГХБ, α -ГХЦГ, γ -ГХЦГ, β -ГХЦГ, δ -ГХЦГ, ДДТ, 4.4'ДДЭ, 2.4'ДДД, 4.4'ДДД, альдрин, гептахлор, гексабромбензол, гептахлорэпоксид, дельдрин, дибутилэндан, кельтан, метоксихлор, эндрин, эндрин альдегид, эндосульфат сульфат, эндосульфат, хлордан, хлорбензилат), концентрации которых превышали ПДК до 120 раз. Основными загрязнителями почвы были α -ГХЦГ, β -ГХЦГ, δ -ГХЦГ, ДДТ, 4.4'ДДЭ, 2.4'ДДД, альдрин, дельдрин, эндрин, гептахлорэпоксид, эндосульфат 1 и хлорбензилат. При выращивании *M. sinensis* на загрязненной СОЗ-пестицидами почве установлено, что растение обладает толерантностью (индекс толерантности 0.76); в результате адаптивной реакции ассимиляционного аппарата к действию загрязнителя происходит снижение содержания хлорофилла *a* и повышение вспомогательных пигментов – хлорофилла *b* и каротиноидов; растение обладает способностью экстрагировать из загрязненной почвы до 11 мкг метаболитов ДДТ. Полученные результаты свидетельствуют об адаптивности *M. sinensis* к высоким концентрациям СОЗ-пестицидов в почве и перспективе использования их при разработке технологии фиторемедиации.

Ключевые слова: СОЗ-пестициды, растение, продуктивность, фотосинтез, фиторемедиация, почва.

¹А.А. Nurzhanova *, ²А.А. Mamirova, V. Pidlisnyuk ³, ²Л.Б. Djansugurova

¹Institute of Plant Biology and Biotechnology, CS MES RK, Kazakhstan, Almaty, e-mail: gen_asil@mail.ru

²Institute of General Genetics and Cytology CS MES RK, Kazakhstan, Almaty

³Jan Evangelista Purkyne University, Czech Republic, Usti nad Labem

The problem of POP pesticides in Kazakhstan and methods for their restoration using the new high-efficient phytoremediant *Miscanthus sinensis* (on the example of the Talgar region)

Abstract. In the article has been shown results of the monitoring the territory of the former storehouse pesticides (vil. Kyzyl-Kairat, Talgar district, Almaty region) and assessing the remediation ability soil contaminated with POPs (persistent organic pesticides) of the new bioenergetic species *Miscanthus sinensis*. Established that the soil around the former warehouses contaminated with persistent organic pesticides (HCB, α -HCH, γ -HCH, β -HCH, δ -HCH, DDT, 4.4'DDE, 2.4'DDD, 4.4'DDD, aldrin, heptachlor, hexabromobenzene, heptachloroepoxide, deldrin, dibutylendan, keltan, methoxychlor, endrin, endrin aldehyde, endosulfan sulfate, endosulfan, chlordane, chlorobenzylate), the concentrations of which exceeded MAC up to 120 times. The main soil contaminants were pesticides – α -HCH, β -HCH, δ -HCH, DDT, 4.4'DDE, 2.4'DDD, aldrin, deldrin, endrin, heptachloroepoxide, endosulfan 1 and chlorobenzylate. *M. sinensis* was grown on the contaminated soil with pesticides was found that the plant has tolerance (tolerance index 0.76) and the ability to extract up to 11 μ g of DDT metabolites from contaminated soil. Revealed a decrease in the content of chlorophyll *a* and an increase of auxiliary pigments – chlorophyll *b* and carotenoids in the leaves, as the adaptive reaction of the photosynthetic apparatus to the action of a xenobiotic. The results obtained indicate on the adaptability of *M. sinensis* to

high concentrations of POPs pesticides in the soil and the prospect of their use for the development of phytoremediation technology.

Key words: POPs pesticides, plant, productivity, photosynthesis, phytoremediation, soil.

¹А.А. Нуржанова, ²А.А. Мамирова, ³V. Pidlisnyuk, ²Л.Б. Джансугурова

¹ҚР БҒМ Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты, Қазақстан, Алматы қ., e-mail: gen_asil@mail.ru

²ҚР БҒМ Жалпы генетика және цитология институты, Қазақстан, Алматы қ.

³Яна Евангелисты Пуркина Университеті, Чехия, Усти-над-Лабем қ.

Қазақстандағы ТОЛ-пестицидтер мәселесі және тиімділігі жоғары жаңа фиторемедиант *Miscanthus sinensis*-тің көмегімен оларды қайта қалпына келтіру әдістері (Талғар аймағының мысалында)

Аңдатпа. Мақалада өсімдіктерді химиялық заттардан қорғайтын бұрынғы қойманың аумағын мониторинг жүргізу кезіндегі мәліметтер алынған (Алматы облысы, Талғар ауданы, Қызыл-Қайрат ауылы) және *M. sinensis*-тің жаңа биоэнергетикалық түрлерінің қалпына келу қабілеті көрсетілген. Бақылау кезінде ТОЛ-пестицидтерімен (ГХБ, α -ГХЦГ, γ -ГХЦГ, β -ГХЦГ, δ -ГХЦГ, ДДТ, 4.4'ДДЭ, 2.4'ДДД, 4.4'ДДД, альдрин, гептахлор, гексабромбензол, гептахлор эпоксид, дельдрин, дибутилэндан, кельтан, метоксихлор, эндрин, эндрин альдегид, эндосульфат сульфат, эндосульфат, хлордан, хлорбензилат) ластанғандығы, олардың концентрациясы ШРК-дан 120 есе асып кеткендігі анықталды. Топырақтың негізгі ластаушылары – α -ГХЦГ, β -ГХЦГ, δ -ГХЦГ, ДДТ, 4.4'ДДЭ, 2.4'ДДД, альдрин, дельдрин, эндрин, гептахлорэпоксид, эндосульфат 1, хлорбензилат болғандығы көрсетілді. ТОЛ-пестицидтермен ластанған топырақта *M. sinensis*-ті өсіру кезінде өсімдіктің төзімділік қабілетіне ие екендігі (төзімділік индексі 0.76) және ластанған топырақтан ДДТның 11 мкг метоболиттерін бөлу мүмкіндігі бар екендігі анықталды; бейімделу реакциясын зерттеу кезінде, жапырақтардағы хлорофилл *a* мөлшерінің төмендеуі және көмекші пигменттердің – хлорофилл *b* және каротиноидтардың үлес салмағының жоғарылауы анықталды.

Алынған нәтижелер жоғары деңгейде ТОЛ-мен ластанған жерлерді тазарту үшін *M. sinensis* пайдаланудың тиімділігін көрсетеді.

Түйін сөздер: ТОЛ-пестицидтер, өсімдік, өнімділік, фотосинтез, фиторемедиация, топырақ.

Введение

Загрязнение почвы СОЗ-пестицидами является одной из важных экологических проблем в мире, Казахстане ввиду их токсичности и угрозы для человеческой жизни и окружающей среды. Широкое производство, крупная закупка пестицидной продукции правительствами, плохое управление запасами, нежеланием вносить изменения и использование их после запрета к применению привело к их накоплению. Тонны устаревших пестицидов накапливаются во всем мире и представляют опасность для здоровья человека и окружающей среды как на местном, так и на глобальном уровне [1]. Значительное количество устаревших пестицидов входит в группу СОЗ и вызывает особую обеспокоенность из-за их токсичности, стойкости, переноса на большие расстояния и накопления в жировых тканях людей и животных [2, 3]. Устаревшие запасы пестицидов не только представляют опасность для здоровья населения и окружающей среды, но также могут загрязнять природные ресурсы и препятствовать социально-экономическому развитию [4]. По данным International HCN & Pesticides Association, точное количество устаревших пестицидов в

странах бывшего Советского Союза, в том числе Казахстане, не установлено и сильно различается [5]. По данным IPEN, в Казахстане имеются запасы СОЗ-содержащих пестицидов, а также загрязненные территории. Очаги загрязнения почв отходами пестицидов, принадлежащих к СОЗ, многочисленны и распределены хаотично по всей территории страны. Инвентаризацией пестицидов со свойствами СОЗ охвачено только 20% территории страны [6].

СОЗ – это группа токсичных химических веществ, которые скапливаются в окружающей среде, аккумулируются в жировых тканях живых организмов и человека, нанося непоправимый ущерб здоровью. СОЗ-ы не разрушаются в окружающей среде в течение длительного времени, переносятся по воздуху и с водными массами на большие расстояния, далеко от первоначального источника загрязнения [7]. Согласно Стокгольмской конвенции к СОЗ относятся 12 химических веществ, из них 9 хлорорганических пестицидов, а именно: ДДТ, альдрин, дельдрин, эндрин, хлордан, гептахлор, мирекс и токсафен. Список СОЗ постоянно обогащается новыми веществами, например, на четвертом совещании Конференции Сторон,

состоявшемся в 2009 году, были включены 9 дополнительных химических веществ, из них 5 пестицидов (хлордекан, α -гексахлорциклогексан, β -гексахлорциклогексан, линдан, пентахлорбензол), а в 2015 году в список были включены бромированные антипирены и связанные с ними предшественники в качестве перфторированных алкилированных веществ [5]. Согласно Стокгольмской конвенции, вещества, отнесенные к СОЗ, должны быть уничтожены [2].

Одним из эффективных методов очистки почв, загрязненных неорганическими и органическими загрязнителями, в том числе устаревших пестицидов, является сжигание их в специальных высокотемпературных котлах. Однако этот метод требует больших капиталовложений. Применение технологии фиторемедиации является многообещающим, поскольку этот подход может удовлетворить требования очистки и достаточно рентабелен с экономической точки зрения. Фиторемедиационный метод обусловлен применением растительного материала для накопления, деградации или стабилизации загрязнителей окружающей среды в почве, отложениях, поверхностных или подземных водах [9-12]. Выбор растений по этой технологии определяется их способностью транспортировать воду на поверхность почвы путем суммарного испарения, расщеплять загрязняющие вещества с помощью ферментов. Успех фиторемедиации зависит от различных факторов и, прежде всего, от специфических, генетически определенных свойств растений: проявлять устойчивость и способность к накоплению металлов и формировать большую биомассу [11, 12].

Для рационального использования почв, загрязненных ксенобиотиками, привлекает внимание высокопродуктивный биоэнергетический многолетний вид *Miscantus*. Использование *Miscantus sinensis* Anders (мискантус) для фиторемедиации имеет ряд преимуществ. Это многолетнее биоэнергетическое растение является промышленно перспективным целлюлозо-содержащим сырьем для производства целлюлозы. Данный вид, в связи с морозостойкостью и высокой урожайностью сухой биомассы в Сибири активно рассматривается как новый для России сырьевой источник целлюлозы [13]. В настоящее время вид *M. sinensis* исследователи всего мира рассматривают в качестве перспективного промышленно значимого целлюлозосодержащего сырья для производства целлюлозы, биотоплива и химикатов из-за высокой их продуктивности, с целью сбережения лесного богатства [14, 15].

Растения мискантуса образуют рыхлую дернину с ползучими корневищами (ризомы). Ризомы зимуют в почве, а весной дают новые побеги, в результате происходит постепенная колонизация пространства. Процесс производства практически не требует удобрений и пестицидов и, кроме того, не истощает землю [16]. Важным качеством *M. sinensis* является способность произрастать на маргинальных и заброшенных залежных землях, на которой сохраняет свою продуктивность: на нейтральной и кислотно-сульфатной почве при рН – 4-6 с высоким уровнем алюминия [17], также на песчаной и суглинистой почве с высоким содержанием органических загрязнителей при рН – 5,5-7,5 [14]. Коммерческий интерес к мискантусу из года в год возрастает, так как выращивание их на деградированных загрязненных ксенобиотиками землях позволяет восстанавливать загрязненные участки и одновременно получать биомассу для производства целлюлозы [18].

Стратегия данного исследования заключалась в мониторинге территории бывшего хранилища химических средств защиты растений и оценке ремедиационной способности нового биоэнергетического вида второго поколения *M. sinensis*.

Материалы и методы

Для постановки эксперимента в качестве почвенной культуры использовали загрязненную почву из территории бывших хранилищ пестицидов (Талгарский район, пос. Кызыл-Кайрат) и незагрязненную почву (отобрана на расстоянии 2 км от источника загрязнения) в качестве контроля. Загрязненную и незагрязненную почву просеивали через сито (3 мм), а затем тщательно перемешивали. Каждый горшок был первоначально заполнен дренажом (массой 1 кг), песком (массой 1 кг) и почвой (массой 3 кг), его общая масса была 5 кг. Ризомы *M. sinensis* были посажены в каждый горшок. Эксперимент проводился в трех повторностях.

Посадку *M. sinensis* производили в один и тот же день, растение каждое утро поливали проточной водой. После окончания вегетационного периода растения вынимали из горшков и 4 раза промывали водой. Далее измеряли длину корневой системы, высоту надземной части растений; кроме того, определяли биомассу.

Концентрации 23 СОЗ наименований (ГХБ, α -ГХЦГ, γ -ГХЦГ, β -ГХЦГ, δ -ГХЦГ, ДДТ, 4.4' ДДЭ, 2.4' ДДД, 4.4' ДДД, альдрин, гептахлор, гексабромбензол, гептахлорэпоксид, дельдрин,

дибутилэндан, кельтан, метоксихлор, эндрин, эндрин альдегид, эндосульфат сульфат, эндосульфат, хлордан, хлорбензилат) определяли газовой хроматографией с масс-спектрометрическим детектированием 7890A/5973N (Agilent, США), оснащенной автосамплером Combi-PAL (CTC Analytics AG, Швейцария).

Все экспериментальные данные статистически обрабатывали общепринятыми методами, построение графиков, диаграмм проводили после обработки данных, с использованием компьютерной программы «Microsoft Excel». Суммарный показатель загрязнения рассчитывали по общепринятой методике. Математически обработанные результаты приводили в виде $M \pm SE$, где M – среднее арифметическое, SE – стандартное отклонение. Достоверность различий сравниваемых значений доказывали с использованием критерия Стьюдента с учетом уровней значимости (p), вычисленных для двух сравниваемых значений.

Коэффициент биоаккумуляции и коэффициент транслокации являются широко используемыми параметрами для характеристики процесса фиторемедиации загрязненных почв с помощью растений [19], которые можно разделить на три категории в зависимости от этих параметров: аккумулятор, эксклюдер и индикатор. Значение коэффициента биоаккумуляции (КБА) отражает способность растения поглощать загрязнители из почвы и транслоцировать элементы из почвы через корневую систему в надземную часть растительного организма. Коэффициент биоаккумуляции рассчитывали, как отношение содержания загрязнителя в надземных органах (стебель, листья) к валовому содержанию его в почве [20]. Коэффициент транслокации (КТ) рассчитывали, как отношение концентрации загрязнителя в надземной части, стебле и листьях к концентрации их в корне [21].

Результаты и их обсуждение

Мониторинговые исследования

На окраине поселка Кызыл-Кайрат у подножья горы находится бывшее хранилище химических средств защиты растений склада (рисунок 1).

По официальным данным Территориального управления Талгарского района, на территории склада до 1980 года находился инсектицид 12% ГХЦГ. При инвентаризации территории склада установлено, что устаревших пестицидов на территории нет. Хроматографический анализ пока-

зал, что почва вокруг территории бывшего склада загрязнена СОЗ-пестицидами (таблица 1). Общее содержание СОЗ в почве составила 120 569 мкг/кг. Основными загрязнителями почвы были 12 СОЗ-наименований (α -ГХЦГ, β -ГХЦГ, δ -ГХЦГ, ДДТ, 4.4'ДДЭ, 2.4'ДДД, альдрин, дельдрин, эндрин, гептахлорэпоксид, эндосульфат 1, хлорбензилат). Например, концентрация 4.4'ДДД превышала ПДК до 111 раз (11434 ± 7302 мкг/кг), ДДТ – до 100 ПДК (10023 ± 2471 мкг/кг). Высокие концентрации СОЗ-пестицидов в почве доказывают, что территория бывшего хранилища пестицидов является опасным источником для окружающей среды, человека.

Физиологические и ремедиационные параметры *M. sinensis* на СОЗ-загрязненной почве

Физиологические характеристики *M. sinensis* определяли в тепличных условиях. Установлено, что растение проходит полный цикл жизни как на СОЗ-загрязненной, так и незагрязненной почве (рисунок 2, таблица 2). Выявлено, что СОЗ-пестициды оказывали незначительное влияние на динамику роста и развития *M. sinensis* в течение вегетационного периода. Средняя высота растений, произрастающих на загрязненной почве, в период уборки достигала $45,82 \pm 0,46$ см (контроль $48,23 \pm 0,31$ см). При этом масса надземной части растительного организма снижалась относительно контроля до 23% (при $p < 0.001$, разность достоверна при 99% уровне вероятности относительно контроля). При этом следует отметить, что при произрастании мискантуса на загрязненной почве длина и масса корневой системы статистически значимо возрастали на 11% и 15% соответственно (при $p < 0.001$, разность достоверна при 99% уровне вероятности относительно контроля) по сравнению с контролем, что свидетельствует об ответной реакции растения к СОЗ-пестицидам (таблица 2).

Одним из важных показателей устойчивости растительного организма к токсикантам является индекс толерантности. Индекс толерантности подсчитали, как отношение надземной биомассы растений, произрастающих на загрязненной почве, к надземной биомассе растений, произрастающих на незагрязненной почве. Значение индекса толерантности ≥ 1 свидетельствует об устойчивости растений к ксенобиотикам [22]. Выявлено, что при произрастании *M. sinensis* на СОЗ-загрязненной почве индекс толерантности ближе к значению 1, и равен 0.76, что свидетельствует об относительной устойчивости растения к пестицидам.

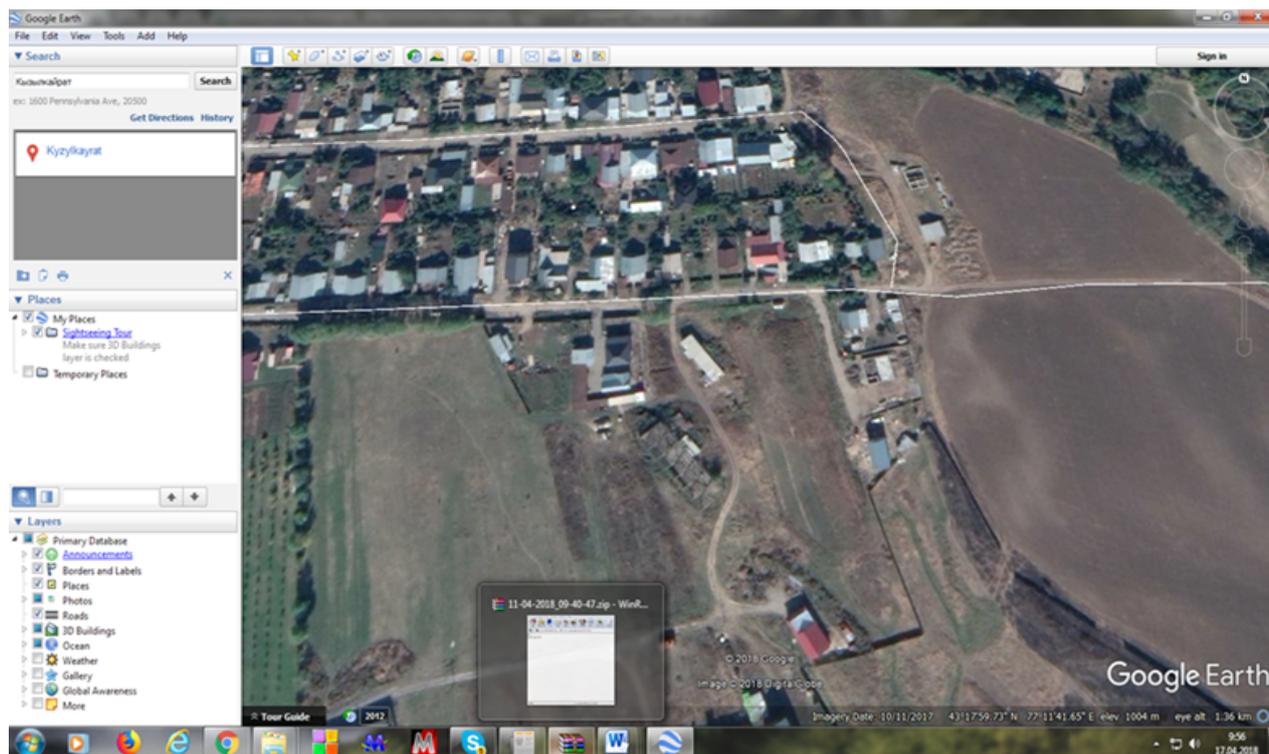


Рисунок 1 – Карта-схема расположения склада в поселке Кызыл-Кайрат

Таблица 1 – Содержание СОЗ в почве вокруг бывших хранилищ пестицидов (Кызылкайрат, Талгарский район, Алматинская область)

СОЗ	ПДК, мкг/кг	Остаточное количество СОЗ, мкг/кг	
		2018	2019
СОЗ-пестициды			
α-ГХЦГ	100	230 ± 59	132 ± 30
γ-ГХЦГ	100	48 ± 27	<0.1
β-ГХЦГ	100	32061 ± 12669	<0.1
δ-ГХЦГ	100	10023 ± 2471	2213 ± 762
ДДТ	100	777 ± 292	95 ± 43
4.4'ДДЭ	100	14072 ± 5239	124 ± 50
2.4'ДДД	-	11434 ± 7302	<0.1
4.4'ДДД	100	<0.1	<0.1
Альдрин	2,5	2134 ± 477	<0.1
Дельдрин	0,5	1087 ± 198	<0.1
Кельган	100	45 ± 19	<89
Эндрин	1	488 ± 52	< 32
Гептахлор	50	<0.1	<0.1
Хлордан	100	22 ± 6	<34
ГХБ	500	253 ± 163	<0.1
Хлорорганические пестициды			
Гексабромбензилат	-	118 ± 76	<0.1

Продолжение таблицы 1

СОЗ	ПДК, мкг/кг	Остаточное количество СОЗ, мкг/кг	
		2018	2019
Гептахлорэпоксид	50	44085 ± 17335	<55
Дибутилэндан	-	5 ± 2	<0.1
Метоксихлор	1600	25 ± 16	<23
Эндрин альдегид	-	67 ± 14	<0.1
Эндосульфат сульфат	-	179 ± 37	<215
Эндосульфат 1	100	3029 ± 1192	<183
Эндосульфат 2	100	201 ± 29	<0.1
Хлорбензилат	20	435 ± 81	<35

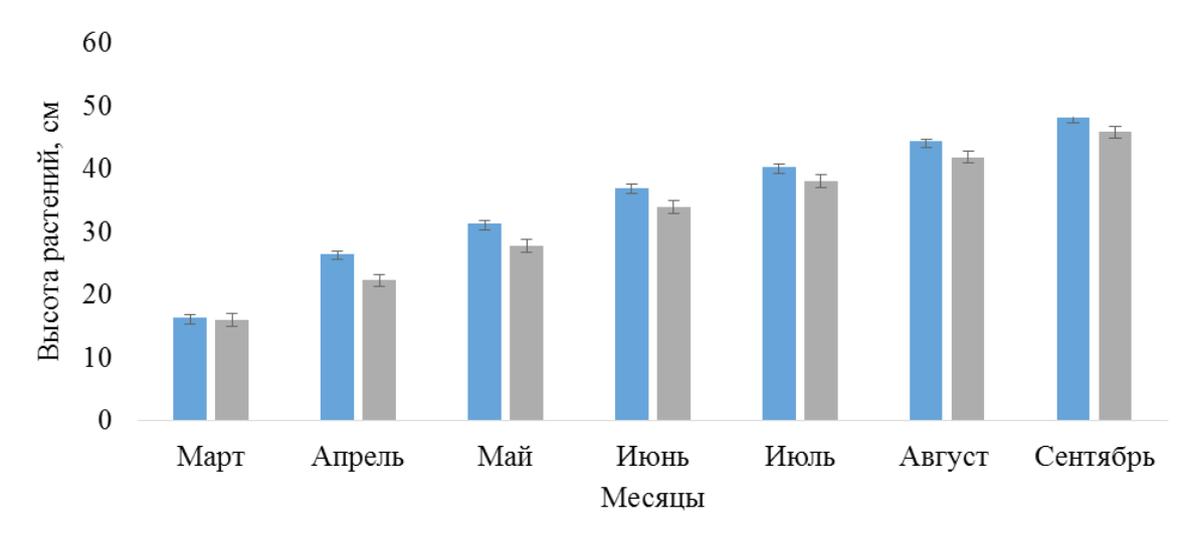


Рисунок 2 – Динамика роста и развития *M. sinensis*, произрастающих на СО₂-загрязненной и незагрязненной почвах, в течение вегетационного периода

Таблица 2 – Морфологические показатели *M. sinensis*, произрастающих на СО₂-загрязненной и незагрязненной почвах

Образцы	Незагрязненная почва	Загрязненная почва
Высота растений, см	48,23 ± 0,31	45,82 ± 0,46
Длина корня, см	16,47 ± 0,23**	18,25 ± 0,33
Масса надземной биомассы, г	7,53 ± 0,21**	5,79 ± 0,17
Масса корня, г	4,96 ± 0,20**	5,80 ± 0,12

Примечание: Вероятность различия между контрольным и экспериментальным вариантами, оцененными по t-критерию Стьюдента: ** 0,001 < p < 0,01. Повторность трехкратная (n = 3).

Маркерами антропогенного воздействия на физиологические процессы растительного организма являются соотношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* и суммы хлорофиллов к каротиноидам. При загрязнении среды первое соотношение уменьшается, а второе – наоборот, по-

вышается [23]. Основным фотосинтетическим пигментом растений является хлорофилл *a*. Уменьшение содержания хлорофилла *a* в листьях при стрессовом воздействии ионов тяжелых металлов, и увеличение доли вспомогательных пигментов – хлорофилла *b* и каротиноидов

рассматривают как адаптивную реакцию ассимиляционного аппарата к действию ксенобактерицида [24]. В связи с этим, для оценки устойчивости *M. sinensis* к СОЗ-пестицидам нами изучено содержание пигментов (хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов) в листьях растительного

организма и их соотношение. Установлено, что соотношение хлорофилла *a* и *b* и соотношение суммы хлорофиллов к каротиноидов в листьях *M. sinensis*, произрастающей на загрязненной и незагрязненной почвах, различаются между собой (таблица 3).

Таблица 3 – Соотношение пигментов в листьях *M. sinensis*, произрастающей на СОЗ загрязненной и незагрязненной почвах в условиях теплицы

Варианты опыта	<i>C a+b</i> (мг г ⁻¹)		<i>Ca/Cb</i>		<i>Ca+b/Ccar</i>	
	(M±SE)	% к контролю	(M±SE)	% к контролю	(M±SE)	% к контролю
Незагрязненная почва	22.68±0.10	100	4.17±0.10	100	4.12±0.10	100
Загрязненная почва	20.19±0.10	89	4.45±0.10	107	3.94±0.10	95

Общее содержание хлорофиллов *a* к *b* увеличилось на 7%, а соотношение суммы хлорофиллов к каротиноидам, наоборот, снизилось на 5% относительно контроля. При этом общее содержание хлорофиллов *a* и *b* снизилось на 11% относительно контроля. Вероятно, изменения пигментов в листьях растений связаны

с естественным механизмом защиты от СОЗ-пестицидов. Согласно литературным данным, одним из механизмов адаптации растений загрязнителям является изменение активности ряда ферментативных и неферментативных компонентов антиоксидантной защиты [25, 26].

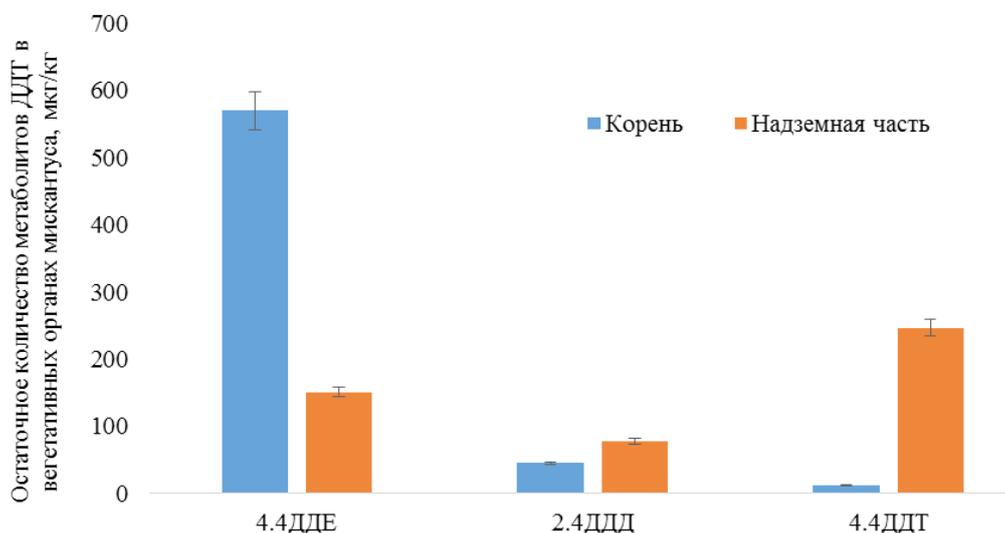


Рисунок 3 – Остаточное количество СОЗ-пестицидов в вегетативных органах *M. sinensis*

Для оценки ремедиационной способности *M. sinensis* загрязненной СОЗ-пестицидами почву оценили остаточное количество пестицидов в вегетативных органах и подсчитали коэффициент биоаккумуляции (КБА) и транслокации

(КТ). Значение КБА отражает способность растения поглощать загрязнители из почвы и способности транслоцировать элементы из почвы через корневую систему в надземную часть растительного организма. В наших исследованиях

отмечено, что растение обладает способностью накапливать СОЗ-пестициды из загрязненной почвы (рисунок 3).

Установлено, что *M. sinensis* накапливает в вегетативных органах 1103 мкг/кг метаболитов ДДТ, превышая ПДК до 55 раз (ПДК метаболитов ДДТ в растениях 20 мкг/кг). При подсчете фитоэкстракции метаболитов ДДТ в вегетативных органах растений относительно биомассы установлено, что *M. sinensis* экстрагирует из загрязненной почвы до 11 мкг пестицидов. Выявлено, что метаболит 4.4'ДДЕ накапливается в основном в корневой системе, а метаболиты 2.4'ДДД и 4.4'ДДТ – надземной части растительного организма. По отношению к высокогидрофобному метаболиту 4.4'ДДЕ *M. sinensis*, как эксклюдер (КБА, КТ ≤ 1) накапливает их исключительно в корневой системе, а по отношению к метаболитам 2.4'ДДД и 4.4'ДДТ – аккумулятор (КБА, КТ ≥ 1).

Итак, анализируя предварительные данные о возможности использования представителей рода мискантус в фиторемедиационной технологии загрязненных почв, выявлено, что вид *M. sinensis* в первый год вегетации обладает ремедиационной способностью.

Заключение

Почва из территории бывшего хранилища химических средств защиты растений (пос. Кызыл-Кайрат, Талгарский район Алматинская область) загрязнена СОЗ-пестицидами, концентрации

которых превышают ПДК в десятки-сотни раз. Почва загрязнена в основном изомерами ГХЦГ, метаболитами ДДТ, альдрином, дельдрином, эндрином, гептахлорэпоксидом, эндосульфамом I и хлорбензилатом. Данные участки представляют экологическую опасность для окружающей среды, человека. Для восстановления загрязненной СОЗ-пестицидами почвы рекомендуется новый фиторемедиант *M. sinensis*, так как растение обладает ремедиационным потенциалом. *M. sinensis* обладает способностью произрастать на почве при высокой концентрации СОЗ-пестицидов (до 120 ПДК. ПДК в почве 100 мкг/кг) и экстрагировать из загрязненной почвы до 11 мкг метаболитов ДДТ. Индекс толерантности равен 0.76, что свидетельствует об их относительной устойчивости растения к пестицидам. Следует заметить, что в Алматинской области находится 10 бывших хранилищ пестицидов с уровнем загрязнения почвы вокруг территории метаболитами ДДТ в концентрации 2 ПДК [27]. Выращивание биоэнергетического вида *M. sinensis* представляет интерес не только для восстановления почвы вокруг территории бывшего хранилища устаревших пестицидов, но и для использования их для производства целлюлозы.

Источник финансирования исследований: Работа выполнена при поддержке программы МОН РК BR05236379 «Комплексная оценка влияния неутрализованных и запрещенных к использованию пестицидов на генетический статус и здоровье населения Алматинской области».

Литература

- 1 FAO. A new deal to rid Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia of obsolete pesticides. – 2012. <http://www.fao.org/news/story/en/item/134629/icode>.
- 2 UNEP. The hazardous Chemicals and Waste Conventions. WHO/ UNEP/ FAO. 4 p. Available at: <http://www.pops.int/documents/background/hcwc.pdf>. Accessed March 5, 2013.
- 3 De Lurdes Dinis M, Fiuza A. Exposure assessment to hazardous pesticides- strategies to reduce human and environmental risks // In: Environmental Security Assessment and Management of Obsolete Pesticides in Southeast Europe. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Eds Simeonov L, Macaev F, Simeonova B, – Springer, Netherland, 2012. – P.69-84
- 4 Eqani S.A., Malik R.N., Cincineli A, Zhang G, Mohammad A, Qadir A, Rashid A, Bokhari H, Jones K.C., Katsoyiannis A. Uptake of organochlorine pesticides (OCPs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) by river water fish: the case of River Chenab // Science of the Total Environment. – 2013. – Vol. 450-451. – P. 83-91.
- 5 Weber R., Schlumpf M., Nakano T., Vijgen J. The need for better management and control of POPs stockpiles // Environmental Science and Pollution Research. – 2015. – Vol 22, № 19. – P. 14385-14390.
- 6 Обзор о выполнении обязательств Республики Казахстан по Стокгольмской конвенции о СОЗ. Аналитическое экологическое агентство «Greenwomen». 2018. – 131 с.
- 7 Bucchini, J. The development of a global treaty on persistent organic pollutants (POPs). In Persistent organic pollutants. – Springer: Berlin, Heidelberg, 2003. – P. 13-30.
- 8 UNEP. The hazardous Chemicals and Waste Conventions. WHO/UNEP/FAO Available at: <http://www.pops.int/documents/background/hewe.pdf>, 2013.

- 9 US EPA. National Water Quality Inventory: 1998 Report to Congress. EPA841-F00-006. – U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC. June. 2000.
- 10 White P.M., Wolf D.C., Thoma G.J., Reynolds C.M. Phytoremediation of alkylated polycyclic aromatic hydrocarbons in a crude oil-contaminated soil // *J. Water, Air, and Soil Pollution*. – 2006. – Vol. 169, № 1-4. – P.207-220.
- 11 Kelsey J.W., Colino A., Koberle M., White J.C. Growth conditions impact 2,2-bis (p-chlorophenyl)-1,1-dichloroethylene (p,p'-DDE) accumulation by *Cucurbita pepo* // *International Journal of Phytoremediation*. – 2006. – Vol. 8, № 3. – P. 261-271.
- 12 Zeeb B.A., Amphlett J.S., Rutter A., Reimer K.J. Potential for phytoremediation of polychlorinated biphenyl-(PCB)-contaminated soil // *International Journal of Phytoremediation*. – 2006. – Vol. 8, № 3. – P. 199-221..
- 13 Shumny V.K., Veprev S.G., Nechiporenko N.N., Goryachkovskaya T.N., Slynko N.M., Kolchanov N.A., Peltek S.E. A new form of *Miscanthus* (Chinese silver grass, *Miscanthus Sinensis* Andersson) as a promising source of cellulosic biomass // *Advances in Bioscience and Biotechnology*. – 2010. – Vol. 1. – P.167-170.
- 14 Jodice R. Technical assistances for the development and improvement of technologies, methodologies and tools for enhanced use of agricultural biomass residues. Report. 2010. Italy, Serbia. – 53 p.
- 15 Best practice guidelines. Applicants to DEFRA'S Energy Crops Scheme – Final report for DEFRA projects are available from DEFRA Chief Scientist's Group 1A Page Street London. – 2001. – 17 p.
- 16 Heaton E.A., Dohleman F.G., Miguez A.F., Juvik J.A., Lozovaya V., Widholm J., Zabolina O.A., McIsaac G.F., David M.B., Voigt T.B., Boersma N.N., Long S.P. *Miscanthus*: a promising biomass crop // *Advances in Botanical Research*. – 2010. – Vol. 56. – P. 75-137.
- 17 Han M., Kim Y., Koo B.C., Choi G.W. Bioethanol production by *Miscanthus* as a lignocellulosic biomass: focus on high efficient conversion to glucose and ethanol // *BioResources*. – 2011. – Vol. 6. – P.1939-1953.
- 18 Pidlisnyuk B., Erickson L., Kharchenko S., Stefanovska T. Sustainable Land Management: Growing *Miscanthus* in Soils Contaminated with Heavy Metals // *Journal Environment Protection, Special Issue in Environmental Remediation*. – 2014. – Vol. 5. – P. 723-730.
- 19 Zaier H, Ghnaya T, Lakhdar A, Baioui R, Ghabriche R, Mnasri M, Sghair S, Lutts S, Abdely Chendy. Comparative study of Pb-phytoextraction potential in *Sesuvium portulacastrum* and *Brassica juncea*: Tolerance and accumulation // *Journal of Hazardous Material*. – 2010. – Vol.183, № 1-3. – P. 609-615.
- 20 Amina H., Araina B.A., Abbasi M.S., Jahangir T.M., Amind F. Comparative study of Zn-phytoextraction potential in guar (*Cyamops tetragonoloba* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.): tolerance and accumulation // *Geology, ecology, and landscapes*. – 2018. – Vol. 2, №1. – P. 1-10
- 21 Zu Y.Q., Li Y., Chen J.J., Chen H.Y., Qin L., Schwartz C. Hyperaccumulation of Pb, Zn, and Cd in herbaceous grown on lead-zinc mining area in Yunnan, China // *Journal Environment International*. – 2005. – Vol 31, № 5. – P. 755–762.
- 22 Audet P., Charest C. Heavy metal phytoremediation from a meta-analytical perspective // *Journal Environmental Pollution*. – 2007. – Vol. 147, №1. – P. 231–237.
- 23 Вяль Ю.А., Дюкова Г.Р., Леонова И.Н., Хрянин В.Н. Адаптация фотосинтетического аппарата подростов широколиственных деревьев в условиях города // *Физиология растений*. – 2007. – Т. 54, № 1. – С.61-72.
- 24 Кириенко Н.Н., Терлеева П.С. Влияние техногенного загрязнения территории на содержание пигментов в листьях лекарственных растений // www.kgau.ru/img/konferenc2009/32/doc.
- 25 Кузнецов В. В., Дмитриева Г.А. Физиология растений: Учебник. – М.: Высш. шк., 2006. – 742 с.
- 26 Чиркова Т.В. Физиологические основы устойчивости растений. – СПб: Изд-во СПб ун-та, 2002. – 244 с.
- 27 Nurzhanova A., Kalugin S., Zhambakin K. Obsolete pesticides and application of colonizing plant species for remediation of contaminated soils in Kazakhstan // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2013. – Vol. 20, №4. – P. 2054-2063.

References

- 1 FAO. A new deal to rid Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia of obsolete pesticides. – 2012. <http://www.fao.org/news/story/en/item/134629/icode>. April 12, 2012.
- 2 UNEP. The hazardous Chemicals and Waste Conventions. WHO/ UNEP/ FAO. 4 p. Available at: <http://www.pops.int/documents/background/hcwc.pdf>. Accessed March 5, 2013.
- 3 De Lurdes Dinis, M., Fiuza, A. Exposure assessment to hazardous pesticides – strategies to reduce human and environmental risks. In *Environmental Security Assessment and Management of Obsolete Pesticides in Southeast Europe*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Eds Simeonov L, Macaev F, Simeonova B Springer, Netherland Press, 2012.
- 4 Eqani, S.A., Malik, R.N., Cincineli, A., Zhang, G., Mohammad, A., Qadir, A., Rashid, A., Bokhari, H., Jones, K.C., Katsoyiannis, A. “Uptake of organochlorine pesticides (OCPs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) by river water fish: the case of River Chenab”. *Science of the Total Environment*. 450-451, (2013): 83-91.
- 5 Weber, R., Schlumpf, M., Nakano, T., Vijgen, J. “The need for better management and control of POPs stockpiles”. *Environmental Science and Pollution Research*. 22, no 19 (2015): 14385-14390.
- 6 Обзор о выполнении обязательств Республики Казахстан по Стокгольмской конвенции о СОЗ. Аналитическое экологическое агентство «Greenwomen» [Overview of the implementation of the obligations of the Republic of Kazakhstan under the Stockholm Convention on POPs. In Environmental Agency “Greenwomen”] 2018. (in Russian).
- 7 Buccini, J. The development of a global treaty on persistent organic pollutants (POPs). In *Persistent organic pollutants*. Springer: Berlin, Heidelberg, 2003.

- 8 UNEP. The hazardous Chemicals and Waste Conventions. WHO/UNEP/FAO Available at: <http://www.pops.int/documents/background/hewe.pdf> . May, 2013.
- 9 US EPA. National Water Quality Inventory: 1998 Report to Congress. EPA841-F00-006. – U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC. June. 2000.
- 10 White, P., Wolf, D., Thoma, G. and Reynolds, C. “Phytoremediation of alkylated polycyclic aromatic hydrocarbons in a crude oil-contaminated soil” *Water, Air, and Soil Pollution*. 169, no 1-4 (2006): 207-220.
- 11 Kelsey, J., Colino, A., Koberle M., White, J. “Growth conditions impact 2,2-bis (p-chlorophenyl)-1,1-dichloroethylene (p,p'-DDE) accumulation by Cucurbita pepo” *International Journal of Phytoremediation*. 8, no 3 (2006): 261-271.
- 12 Zeeb, B., Amphlett, J., Rutter, A. and Reimer, K. “Potential for phytoremediation of polychlorinated biphenyl-(PCB)-contaminated soil.” *International Journal of Phytoremediation*. 8, no 3 (2006): 199-221.
- 13 Shumny, V., Veprev, S., Nechiporenko N., Goryachkovskaya T., Slynko N., Kolchanov N., Peltek S. “A new form of *Miscanthus* (Chinese silver grass, *Miscanthus Sinensis* Andersson) as a promising source of cellulosic biomass”. *Advances in Bioscience and Biotechnology*. 1, (2010): 167-170.
- 14 Jodice, R. Technical assistance for the development and improvement of technologies, methodologies and tools for enhanced use of agricultural biomass residues. Italy, Serbia, October 2009, June 2010.
- 15 Best practice guidelines. Applicants to DEFRA’S Energy Crops Scheme – Final report for DEFRA projects are available from DEFRA Chief Scientist’s Group 1A Page Street London. 2001.
- 16 Heaton, E., Dohleman, F., Miguez, F., Juvik J., Lozovaya, V., Widholm J., Zobotina, O., Mcisaac F., Silver, D., Voigt, T., Boersma N. and Long S. “*Miscanthus*: a promising biomass crop” *Advances in Botanical Research*. 56, (2010): 75-137.
- 17 Han, M., Kim, Y., Koo, B. and Choi, G. “Bioethanol production by *Miscanthus* as a lignocellulosis biomass: focus on high efficient conversion to glucose and ethanol” *BioResources*. 6, no 2 (2011): 1939-1953.
- 18 Pidlisnyuk V., Erickson L., Kharchenko, S., Stefanovska, T. “Sustainable Land Management: Growing *Miscanthus* in Soils Contaminated with Heavy Metals”. *Journal Environment Protection, Special Issue in Environmental Remediation*. 5, (2014): 723-730.
- 19 Zaier, H., Ghnay, T., Lakhdar, A., Baioui, R., Ghabriche, R., Mnasri, M., Sghair, S., Lutts, S. and Abdelly C. “A. Comparative study of Pb-phytoextraction potential in *Sesuvium portulacastrum* and *Brassica juncea*: Tolerance and accumulation”. *Journal of Hazardous Material*. 183, no 1-3 (2010): 609-615.
- 20 Amin, H., Araina, B., Abbasi, M., Jahangir, T. and Amin, F. “Comparative study of Zn-phytoextraction potential in guar (*Cyamops tetragonoloba* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.): tolerance and accumulation”. *Geology, Ecology, and Landscapes*. 2, no 1. (2018): 29-38.
- 21 Zu, Y., Li, Y., Chen, J., Chen, H., Qin, L. and Schwartz, C. “Hyperaccumulation of Pb, Zn, and Cd in herbaceous grown on lead-zinc mining area in Yunnan, China”. *Journal Environment International*. 31, no 5 (2005): 755–762.
- 22 Audet, P. and Charest, C. “Heavy metal phytoremediation from a meta-analytical perspective”. *Journal Environmental Pollution*. 147, no 1 (2007): 231–237.
- 23 Vyal, U., Dukova, G., Leonova, I. and Chryanin, V. “Adaptaciya fotosinteticheskogo apparata podrosta shirokolistvennyh derevyev v usloviyah goroda” [Photosynthetic apparatus adaptation during growth of broadleaf trees in the city conditions]. *Journal of Plant physiology*. 54, no.1 (2007): 61-72. (In Russian).
- 24 Kirienko, N., Terleeva P. “Vliyaniye tehnogennogo zagryazneniya territorii na sodержanie pigmentov v listyakh lekarstvennyh rastenii” [Influence of the sites technogenic pollution on the content of pigments in leaves of drug plants]. www.kgau.ru/img/konferenc2009/32/doc. (In Russian)
- 25 Kuznecov, V. and Dmitrieva, G. *Plant physiology*. Book. Moscow. High school. 2006. (In Russian).
- 26 Chirkova, T. *Physiological basics of plant resistances*. Book. Saint Petersburg: SPB University. 2002. (In Russian).
- 27 Nurzhanova, A., Kalugin, S. and Zhambakin, K. “Obsolete pesticides and application of colonizing plant species for remediation of contaminated soils in Kazakhstan”. *Journal of Environmental Science and Pollution Research*. 20, no 4 (2013): 2054-2063.