

ISSN 2224-5227

2015 • 5

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ
БАЯНДАМАЛАРЫ

ДОКЛАДЫ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

REPORTS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ЖУРНАЛ 1944 ЖЫЛДАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1944 г.
PUBLISHED SINCE 1944



Бас редактор
ҚР ҰҒА академигі **М.Ж. Жұрынов**

Редакция алқасы:

хим.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әдекенов С.М.** (бас редактордың орынбасары), эк.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әділов Ж.М.**, мед. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Арзықұлов Ж.А.**, техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Бишімбаев У.К.**, а.-ш.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Есполов Т.И.**, техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Мұтанов Г.М.**, физ.-мат.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Өтелбаев М.О.**, пед. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Пралиев С.Ж.**, геогр.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Северский И.В.**; тарих.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Сыдықов Е.Б.**, физ.-мат.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Тәкібаев Н.Ж.**, физ.-мат.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Харин С.Н.**, тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбүсейітова М.Х.**, экон. ғ. докторы, проф., ҰҒА корр. мүшесі **Бейсембетов И.К.**, биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Жамбакин К.Ж.**, тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Кәрібаев Б.Б.**, мед. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Локшин В.Н.**, геол.-мин. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Өмірсеріков М.Ш.**, физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Рамазанов Т.С.**, физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Садыбеков М.А.**, хим.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Сатаев М.И.**; ҚР ҰҒА құрметті мүшесі, а.-ш.ғ. докторы, проф. **Омбаев А.М.**

Редакция кеңесі:

Украинаның ҰҒА академигі **Гончарук В.В.** (Украина), Украинаның ҰҒА академигі **Неклюдов И.М.** (Украина), Беларусь Республикасының ҰҒА академигі **Гордиенко А.И.** (Беларусь), Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Дука Г.** (Молдова), Тәжікстан Республикасының ҰҒА академигі **Илолов М.И.** (Тәжікстан), Қырғыз Республикасының ҰҒА академигі **Эркебаев А.Э.** (Қырғызстан), Ресей ҒА корр. мүшесі **Величкин В.И.** (Ресей Федерациясы); хим.ғ. докторы, профессор **Марек Сикорски** (Польша), тех.ғ. докторы, профессор **Потапов В.А.** (Украина), биол.ғ. докторы, профессор **Харун Парлар** (Германия), профессор **Гао Энджун** (КХР), филос. ғ. докторы, профессор **Стефано Перни** (Ұлыбритания), ғ. докторы, профессор **Богуслава Леска** (Польша), философия ғ. докторы, профессор **Полина Прокопович** (Ұлыбритания), профессор **Вуйцик Вольдемар** (Польша), профессор **Нур Изура Удзир** (Малайзия), д.х.н., профессор **Нараев В.Н.** (Ресей Федерациясы)

Главный редактор
академик НАН РК **М.Ж. Журинов**

Редакционная коллегия:

доктор хим. наук, проф., академик НАН РК **С.М. Адекенов** (заместитель главного редактора), доктор экон. наук, проф., академик НАН РК **Ж.М. Адилов**, доктор мед. наук, проф., академик НАН РК **Ж.А. Арзыкулов**, доктор техн. наук, проф., академик НАН РК **В.К. Бишимбаев**, доктор сельскохоз. наук, проф., академик НАН РК **Т.И. Есполов**, доктор техн. наук, проф., академик НАН РК **Г.М. Мутанов**, доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **М.О. Отелбаев**, доктор пед. наук, проф., академик НАН РК **С.Ж. Пралиев**, доктор геогр. наук, проф., академик НАН РК **И.В. Северский**; доктор ист. наук, проф., академик НАН РК **Е.Б. Сыдыков**, доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Н.Ж. Такибаев**, доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **С.Н. Харин**, доктор ист. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Х. Абусейтова**, доктор экон. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **И.К. Бейсембетов**, доктор биол. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **К.Ж. Жамбакин**, доктор ист. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Б.Б. Карибаев**, доктор мед. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **В.Н. Локшин**, доктор геол.-мин. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Ш. Омирсериков**, доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.С. Рамазанов**, доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.А. Садыбеков**, доктор хим. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.И. Сатаев**; почетный член НАН РК, доктор сельскохоз. наук, проф., **А.М. Омбаев**

Редакционный совет:

академик НАН Украины **Гончарук В.В.** (Украина), академик НАН Украины **И.М. Неклюдов** (Украина), академик НАН Республики Беларусь **А.И.Гордиенко** (Беларусь), академик НАН Республики Молдова **Г. Дука** (Молдова), академик НАН Республики Таджикистан **М.И. Илолов** (Таджикистан), член-корреспондент РАН **Величкин В.И.** (Россия); академик НАН Кыргызской Республики **А.Э. Эркебаев** (Кыргызстан), д.х.н., профессор **Марек Сикорски** (Польша), д.т.н., профессор **В.А. Потапов** (Украина), д.б.н., профессор **Харун Парлар** (Германия), профессор **Гао Энджун** (КНР), доктор философии, профессор **Стефано Перни** (Великобритания), доктор наук, профессор **Богуслава Леска** (Польша), доктор философии, профессор **Полина Прокопович** (Великобритания), профессор **Вуйцик Вольдемар** (Польша), профессор **Нур Изура Удзир** (Малайзия), д.х.н., профессор **В.Н. Нараев** (Россия)

«Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан» ISSN 2224-5227

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5540-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год. Тираж: 3000 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г.Алматы, ул.Шевченко, 28, ком.218-220, тел. 272-13-19, 272-13-18

<http://nauka-nanrk.kz>, reports-science.kz

Адрес типографии: ИП «Аруна», г.Алматы, ул.Муратбаева, 75

©Национальная академия наук Республики Казахстан, 2015 г.

E d i t o r i n c h i e f

M.Zh. Zhurinov, academician of NAS RK

Editorial board:

S.M. Adekenov (deputy editor in chief), Doctor of Chemistry, prof., academician of NAS RK; **Zh.M. Adilov**, Doctor of Economics, prof., academician of NAS RK; **Zh.A. Arzykulov**, Doctor of Medicine, prof., academician of NAS RK; **V.K. Bishimbayev**, Doctor of Engineering, prof., academician of NAS RK; **T.I. Yespolov**, Doctor of Agriculture, prof., academician of NAS RK; **G.M. Mutanov**, Doctor of Physics and Mathematics, prof., academician of NAS RK; **M.O. Otelbayev**, Doctor of Physics and Mathematics, prof., academician of NAS RK; **S.Zh. Praliyev**, Doctor of Education, prof., academician of NAS RK; **I.V. Seversky**, Doctor of Geography, prof., academician of NAS RK; **Ye.B. Sydykov**, Doctor of Historical Sciences, prof., academician of NAS RK; **N.Zh. Takibayev**, Doctor of Physics and Mathematics, prof., academician of NAS RK; **S.N. Kharin**, Doctor of Physics and Mathematics, prof., academician of NAS RK; **M.Kh. Abuseitova**, Doctor of Historical Sciences, prof., corr. member of NAS RK; **I.K. Beisembetov**, Doctor of Economics, prof., corr. member of NAS RK; **K.Zh. Zhambakin**, Doctor of Biological Sciences, prof., corr. member of NAS RK; **B.B. Karibayev**, Doctor of Historical Sciences, prof., corr. member of NAS RK; **V.N. Lokshin**, Doctor of Medicine, prof., corr. member of NAS RK; **M.Sh. Omirserikov**, Doctor of Geology and Mineralogy, prof., corr. member of NAS RK; **T.S. Ramazanov**, Doctor of Physics and Mathematics, prof., corr. member of NAS RK; **M.A. Sadybekov**, Doctor of Physics and Mathematics, prof., corr. member of NAS RK; **M.I. Satayev**, Doctor of Chemistry, prof., corr. member of NAS RK; **A.M. Ombayev**, Honorary Member of NAS RK, Doctor of Agriculture, prof.

Editorial staff:

V.V. Goncharuk, NAS Ukraine academician (Ukraine); **I.M. Neklyudov**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.I. Gordienko**, NAS RB academician (Belarus); **G. Duca**, NAS Moldova academician (Moldova); **M.I. Iolov**, NAS Tajikistan academician (Tajikistan); **A.E. Erkebayev**, NAS Kyrgyzstan academician (Kyrgyzstan); **V.I. Velichkin**, RAS corr.member (Russia); **Marek Sikorski**, Doctor of Chemistry, prof. (Poland); **V.A. Potapov**, Doctor of Engineering, prof. (Ukraine); **Harun Parlar**, Doctor of Biological Sciences, prof. (Germany); **Gao Endzhun**, prof. (PRC); **Stefano Perni**, Doctor of Philosophy, prof. (UK); **Boguslava Leska**, dr, prof. (Poland); **Pauline Prokopovich**, Doctor of Philosophy, prof. (UK); **Wójcik Waldemar**, prof. (Poland), **Nur Izura Udzir**, prof. (Malaysia), **V.N. Narayev**, Doctor of Chemistry, prof. (Russia)

Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

ISSN 2224-5227

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of Information and Archives of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan N 5540-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 2000 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of.219-220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,

<http://nauka-nanrk.kz/> reports-science.kz

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2015

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ISSN 2224-5227

Volume 5, Number 303 (2015), 128 – 138

UDC 581.14 631.524

***Miscanthus x giganteus* – promising bioenergetic phytoremediant**

A.Nurzhanova¹, V.Pidlisnyuk², Y.Sailaukhanyly³, S.Kalugin³,
V.Mursalieva¹, T.Stefanovska⁴, L.Erickson⁵
gen_asil@mail.ru

¹Institute Plant Biology and Biotechnology SC MES RK, Almaty

²Matej Bel University, Faculty of Natural Sciences, Department of the Environmental Management, Banska Bystrica, Slovakia.

³Kazakh National University name after al-Pharabi, Almaty

⁴National University of Life and the Environmental Sciences, Faculty of Plant Protection, Department of Entomology, Kiev, Ukraina

⁵Kansas State University, Center for Hazardous Substance Research, Kansas, USA

Key words: phytoremediation, miscanthus, biofuel

Abstract. The article analyzes the possibility of using highly productive bioenergetics phytoremediant *Miscanthus x giganteus*, having an ability to grow on marginal and degraded of anthropogenic pollutants lands. It is of highly productive, non-food perennial plant with a high content of lignin and cellulose in stem. It is used in many countries for phytostabilisation polluted soils with persistent xenobiotics. The high productivity of biomass *M.xgiganteus* on the contaminated degraded lands can turn the phytoremediation technology into a profitable bioenergy industry in our country.

УДК 581.14 631.524.

**MISCANTHUS X GIGANTEUS – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ
БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФИТОРЕМЕДИАНТ**

А.А.Нуржанова¹, В.В.Пидлиснюк², Е.Сайлауханулы³, С.Н.Калугин³,
В.К.Мурсалиева¹, Т.Р.Стефановская⁴, L.Erickson⁵
gen_asil@mail.ru

¹Институт биологии и биотехнологии растений МОН РК.

²Matej Bel University, Faculty of Natural Sciences, Department of the Environmental Management, Banska Bystrica, Slovakia.

³Казахский национальный университет им аль-Фараби

⁴National University of Life and the Environmental Sciences, Faculty of Plant Protection, Department of Entomology, Kiev, Ukraina

⁵Kansas State University, Center for Hazardous Substance Research, Kansas, USA

Ключевые слова: фиторемедиация, мискантус, биотопливо

Аннотация. В статье проанализирована возможность использования высокопродуктивного биоэнергетического фиторемедианта *Miscanthus x giganteus*, обладающей способностью произрастать на маргинальных и деградированных антропогенными загрязнителями землях. Это высокопродуктивное, непродовольственное, многолетнее растение с высоким содержанием лигнина и целлюлозы, используется во многих странах мира для фитостабилизации почв, загрязненных стойкими ксенобиотиками. Высокая продуктивность биомассы *M. x giganteus* на загрязненных деградированных землях превращает технологию фиторемедиации в прибыльную отрасль биотехнологии и биоэнергетической промышленности.

Поиск эффективных методов ремедиации почв, загрязненных ксенобиотиками – важная экологическая проблема в мире и в Казахстане. Актуальность проблемы связана с загрязнением почвы ксенобиотиками вокруг предприятий агропромышленного и нефтегазового комплекса,

горнорудной и перерабатывающей промышленности, военно-испытательных полигонов. Почвы вокруг этих территории загрязнены нефтяными углеводородами, полициклическими ароматическими углеводородами, галогенированными углеводородами, радионуклидами, пестицидами, металлами [1-3]. Особую опасность представляют для окружающей среды и человека тяжелые металлы и стойкие органические пестициды. Накапливаясь в почве, они медленно выводятся из нее: период полураспада цинка – 500 лет, кадмия – до 1100 лет, меди – до 1500 лет, свинца – от 740 до 5900 лет, ДДТ, ГХЦГ – до 70 лет [2]. Тяжелые металлы и стойкие органические пестициды в почве проявляют

мутагенный и канцерогенный эффекты, обладают способностью к биоаккумуляции и биомагнификации. Они способны переноситься на большие расстояния в атмосфере, выпадать совместно с осадками на удаленных территориях и загрязнять подземные воды [4]. Поэтому загрязнение природной среды химическими загрязнителями носит глобальный характер.

Одним из необходимых шагов на пути предотвращения токсического действия загрязнителей на окружающую среду и человека является ремедиация загрязненных почв. Традиционные технологии очистки загрязненных почв, чрезвычайно энергоемки и требуют больших капиталовложений. К примеру, высокотемпературная кремация в высокотехнологичных печах является весьма дорогой процедурой. Захоронение в могильниках также требует значительных финансовых затрат. Кроме того, загрязнители за долгие годы нахождения под открытым небом в больших концентрациях впитываются в почву и, следовательно, необходимо удалять не только собственно пестициды, но и огромные объемы грунта. Микроорганизмы не способны удалять из почвы и воды вредные для здоровья тяжелые металлы – например, мышьяк, кадмий, медь, ртуть, селен, свинец, а также стойкие пестициды и радионуклиды. Поэтому биотехнологические методы ремедиации являются малоэффективными для них из-за медленной деградации их микроорганизмами [5]. Как показывает мировая практика, одним из наиболее действенных приемов защиты окружающей среды от химических загрязнителей среды является технология фиторемедиации.

Методологические подходы для разработки фиторемедиационной технологии

Фиторемедиационная технология – это восстановление загрязненной ксенобиотиками почвы с помощью растений и применяется непосредственно в районе загрязнения *in situ* [6-11]. Применение растений для фиторемедиации загрязненных почв имеет большие перспективы, особенно для регионов, которые имеют минимальные ресурсы для внедрения других технологий.

Термин «фиторемедиация» – включает в себя целый ряд различных методов [6, 9, 10]: фитоэкстракцию (поглощение и накопление загрязнителей из почвы в надземную часть); фитостабилизацию (использование растений для задержки или иммобилизации загрязнителя в почве или в грунтовых водах); фитодеградацию (разложение органических загрязнителей с помощью растительных ферментов или вторичных метаболитов до нетоксичных молекул); ризоремедиацию (разложение органических загрязнителей с помощью ассоциации «растение-микроорганизмы»).

Фиторемедиационная технология состоит из следующих этапов [12-14]:

- оценка степени загрязнения почв вокруг участка;
- разработка оптимальной схемы фиторемедиации (подбор видового состава растений, определение схемы посадки, выбор необходимых агротехнических мероприятий);
- выращивание растений (подготовка семенного материала, подготовка почвы, внесение минеральных удобрений);
- уборка биомассы растений;
- мониторинг участка (оценка аккумуляционной и детоксикационной способности растений, определение снижения концентрации загрязнителя в ризосферной зоне);
- утилизация собранной биомассы с загрязненной почвы либо складирование биомассы в специальные контейнеры для последующей утилизации методом захоронения их в специальных могильниках.

Основными механизмами ремедиации загрязненных органическими ксенобиотиками почв являются фитоэкстракция и фитостабилизация [11]. Фитоэкстракция загрязнителей из среды зависит от гидрофобности ксенобиотика. Степень гидрофобности ($\log K_{ow}$) во многом пред-

определяет эффективность поглощения и передвижения загрязнителя в растениях [15]. Основными недостатками технологии фитоэкстракции являются продолжительность процесса восстановления, утилизация либо сжигание загрязненной фитомассы. Залогом успешной очистки почв, с помощью фитоэкстракции является правильный подбор растений-фиторемедиантов.

Существуют две стратегии использования растений для фитоэкстракции загрязненных почв. Первая стратегия – использование гипераккумуляторов. Растения гипераккумуляторы являются эндемичными для загрязненных ксенобиотиками сайтов и не конкурируют с другими видами на незагрязненных участках. Известно около 400 видов растений-гипераккумуляторов, произрастающих на богатых металлами территориях в тропиках и средних широтах, Доминируют растения-гипераккумуляторы (около 320 видов) из семейства *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Violaceae*, *Flacourtiaceae*, *Cunoniaceae* и *Euphorbiaceae* [16]. Вторая стратегия направлена на поиск растений, обладающих способностью накапливать загрязнители в надземной части. Выбор растений для этой технологии определяется их способностью выносить на поверхность почвенные воды за счет эвапотранспирации, расщеплять загрязняющие соединения при помощи своих ферментов и накапливать эти соединения в биомассе, а также скоростью роста и накоплением биомассы. Кроме этого растения должны быть адаптированными к конкретным почвенно-климатическим условиям. Интродукция видов растений-гипераккумуляторов из других стран требует дополнительных затрат, поэтому ученые уделяют большое внимание поиску эндемичных растений, обладающих способностью извлекать избыток загрязнителя из почвы и мигрировать их через корневую систему в надземную часть растительного организма.

В последние годы обсуждается вопрос о возможном использовании фитостабилизации, как технологии для почв, загрязненных веществами, у которых K_{ow} больше, чем 3.5. Фитостабилизация используется, главным образом, для очистки почв, осадков сточных вод и зависит от способности корней растений ограничивать подвижность и биодоступность загрязнителя в почве. Фитостабилизация осуществляется посредством сорбции, осаждения и комплексации загрязнителя. Растения снижают количество воды, просачивающейся через загрязненную почву, что предотвращает эрозионные процессы, проникновение растворенных загрязнителей в поверхностные и грунтовые воды и их распространение на незагрязненные участки. Преимущество фитостабилизации заключается в том, что этот метод не требует удаления загрязненной растительной биомассы. Однако и главным его недостатком является сохранение ксенобиотика в почве, в связи с чем применение данного способа очистки должно сопровождаться постоянным мониторингом за содержанием и биодоступностью ксенобиотика. Для данной технологии используют многолетние виды, т.к. произрастая на загрязненных участках, они не только снижают попадание ксенобиотиков в пищевые цепи, но и восстанавливают места, где не хватает естественной растительности, тем самым уменьшая риск водной и ветровой эрозии. Кроме этого такие растения (их иначе называют эксклюдеры) могут быть использованы как корм для скота из-за низкого накопления ксенобиотика в надземных органах [16, 17].

Особенностью фиторемедиации является ее специфичность, т.е. использование растений в одних почвенно-климатических условиях не гарантирует их успешного применения в других. Поэтому расширение спектра растительных видов-фиторемедиантов и выяснение закономерностей самого процесса являются основой успешного распространения и применения данной технологии. Одним из обсуждаемых в мировой практике, в качестве перспективных видов для фиторемедиации загрязненных ксенобиотиками почв являются непродуктивные многолетние представители рода мискантус (*Miscanthus*).

Что такое мискантус? Мискантус (*Miscanthus Andress*) – растения C4 типа фотосинтеза, относится к роду Мискантус (*Miscanthus*), входит в подсемейство Просовые (*Panicoideae*), семейство Злаки (*Poaceae*). Впервые мискантус был привезен в 1935 году из Йокогамы (Япония) и интродуцирован в Дании, как декоративный вид для садоводства. Род мискантус содержит более 20 видов, произрастает во всех странах Азии, Европы и в Северной Америке [18, 19]. Некоторые представители из рода мискантус широко культивируются для садоводства: *Miscanthus sinensis* Andersson (мискантус китайский), *Miscanthus sacchariflorus* Hack (мискантус сахароцветный), *Miscanthus floridulus* (Labill.) Warb. ex K. Schum. Laut. *Miscanthus lutarioriparius*, *Miscanthus transmorrisonensis* и гибрид *Miscanthus* x *giganteus* Greef et Deu и другие [20-22]. В Европе наибольший экономический интерес представляют высокопродуктивные виды: *M.giganteus*, *M.*

sinensis и *M. Sacchariflorus*, но наиболее широко культивируемой является гибрид *M. giganteus* [23]. На Дальнем Востоке России встречаются три вида мискантуса: *M. sacchariflorus*, *M. purpurascens*, *M. sinensis*. Изучена биология их развития, а также физиологические и биохимические свойства в условиях Новосибирской области [24].

Кариотип мискантуса $n=19$ [25, 26]. Представители рода мискантус имеют разную ploидность либо они диплоиды, либо тетраплоиды. Например вид *M. sacchariflorus* это тетраплоидный вид ($2n = 4x = 76$), а вид *M. sinensis* – диплоидный вид ($2n=38$). Изучена геномика *M. sinensis*, создана полная генетическая карта и показана высокая степень сродства генома *M. sinensis* с геномом *Sorghum bicolor* [23,24]. Аллотриплоидный гибрид *M. giganteus* получен в результате скрещивания диплоидного *M. sinensis* с триплоидным с *M. Sacchariflorus*. Кариотип мискантуса гигантского представлен 57 хромосомами ($2n = 3x = 57$). Мискантус гигантский имеет собственную таксономическую классификацию из-за обильного роста и развития, не характерных для других видов [27, 28].

Представители рода мискантус могут произрастать в предгорьях, горах и прибрежных регионах. Многие представители рода мискантус могут произрастать на высоте 2400 м над уровнем моря, а некоторые эндемичные виды Азии – только на высоте 600 и 3500 м над уровнем моря [29]. Высота растений может достигать 1,5-4 м, диаметр соломы – до 2 см, а высота некоторых видов *M. floridulus* и *M. lutarioriparius* – 6-7 м [30]. Длина листьев может варьировать у данных видов от 20 до 100 см, а ширина – от 1 до 3 см [31]. Растения мискантуса образуют рыхлую дернину с ползучими корневищами (ризомы). Ризома зимуют в почве, а весной дают новые побеги, в результате происходит постепенная колонизация пространства.

При определении химического состава различных представителей рода мискантуса установлено, что стебли содержат высокий процент целлюлозы от 43 до 58%, гемицеллюлозы от 16 до 34% и лигнина от 9 до 17% по сравнению с другими биоэнергетическими видами растений. К примеру, сорго содержит целлюлозы 26%, гемицеллюлозы 20% и лигнина 7%, тополь – 40, 23 и 20% соответственно. На основании исследований сделаны следующие выводы: целлюлоза с ее уникальной структурой формируют каркас и является главным ресурсом гемицеллюлозы; лигнин включает в себя три трехмерных полимера, которые обеспечивают жесткость структуры, целостность и предотвращают набухания лигноцеллюлоз [32, 33].

При определении химического состава новой формы *M. sinensis* (возраст плантации 1-9 лет) с плантации Новосибирской области и города Бийска установлено, что большая доля нецеллюлозных компонентов содержится в листе, а целлюлоза сосредоточена в стебле. Российские ученые разработали способы (гидротропный, азотнокислый, комбинированный, гидротермобарический) получения целлюлозы и продуктов ее химической модификации для внедрения новой формы *M. sinensis* в хозяйственную деятельность [34]. Азотнокислым способом получена целлюлоза из *M. sinensis* в лабораторных 61% в пересчете на нативную целлюлозу и опытно-промышленных условиях – 52% [34]. Данный вид, в связи с морозостойкостью и высокой урожайностью сухой биомассы в Сибири активно рассматривается, как новый для России сырьевой источник целлюлозы.

В настоящее время виды *M. sinensis* и *M. giganteus* 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 [35, 36]. По данным N.Voersma [37] в журналах с импакт-фактором Thomson Reuters' Web of Science в 2004 году было опубликовано 31 работа, в 2012 году 245 работ, то в 2013 году – 245 работ, посвященных мискантусу, в частности к виду *M. giganteus*.

Высокое содержание целлюлозы в стеблях *M. giganteus* позволяет использовать его для производства биоэтанола второго поколения [38]. Энергетическая стоимость сжигания стебля *M. giganteus* составляет 17,7 МДж/кг сухого вещества [39]. В настоящее время *M. giganteus* является доминирующим биоэнергетическим растением в США [47]. Разработаны технологии и коммерциализированы во многих странах ЕС и США производство топливных гранул в виде пеллет из стеблей *M. giganteus* [40]. Соломы мискантуса гигантского используются в животноводстве в качестве подстилки для домашней птицы и крупного рогатого скота, для сохранения влажности почвы, ингибирования роста сорняков и предотвращения эрозии почвы и в строительстве [38]. Например, в Дании, Ирландии и Великобритании с 1990 года были инициированы проекты для

строительства экологически чистых домов из соломы мискантуса [36].

Важным качеством мискантуса является способность произрастать на маргинальных и заброшенных залежных землях, на которой сохраняет свою продуктивность. Например *M. sinensis* может произрастать на нейтральной и кислотнo-сульфатной почве (pH = 4-6) с высоким уровнем алюминия [38], также на песчаной, суглинистой почве с высоким содержанием органических загрязнителей (pH = 5,5-7,5) [35]. Исследования, проведенные L.Kilpatrick [41] подтвердили, что *M. giganteus* при произрастании на маргинальной почве (< pH и гумуса) на юге штата Огайо США сохраняет высокую продуктивность. В работе Islam M. с коллегами [42] также отмечается об их высокой продуктивности при произрастании на маргинальных землях. В настоящее время *M. giganteus* успешно культивируют для получения биомассы на загрязненных и непригодных для продовольственных культур землях в Словакии и Украине [43, 44].

Энергетическая эффективность выращивания мискантуса гигантского, как источника для получения биомассы, используемой в целях выработки биотоплива второго поколения, показывают перспективность и необходимость научно-обоснованных исследований этой культуры и в условиях резко континентального климата. Актуальность этих исследований для Казахстана связано с тем, что республика для вхождения в пятерку мировых лидеров по производству альтернативных видов топлива проявляет интерес к развитию биотопливных технологий. В Республике Казахстан, как и в других странах мира, создаются благоприятные условия развития рынка биотоплива, что позволит уменьшить энергетическую зависимость страны от нефтяных и газовых ресурсов и снизит выделение вредных веществ в атмосферу. Некоторые представители рода мискантус завезены в Казахстан, ризомы продаются в спецмагазинах. При средней температуре до -2°C зимой в южных регионах страны, в частности в Алматы они не погибают, высота *M. sinensis* достигает 1,5 м, а *M.giganteus* – 2 м. Они могут быть приоритетными видами для биотопливной технологии при интродукции их в южных регионах страны для чего необходимо изучить физиологические и агрономические особенностей их в условиях резко континентального климата Казахстана.

Перспективы применения биоэнергетических видов второго поколения для фиторемедиации почв, загрязненных ксенобиотиками

Схема производства биоэнергии из энергетически ценных культур, используемых для фиторемедиации загрязненных почв, была предложена Ginneken L.V с сотрудниками в 2007 году [45]. Необходимость развития технологии фиторемедиации загрязненных почв с использованием энергетически ценных культур была обусловлена длительностью процесса фиторемедиации. В качестве аккумуляторов было предложено использовать древесные и масличные культуры, пшеницу и кукурузу, а для повышения биодоступности загрязнителей и повышения их биомассы использовать хелатирующие агенты. Среди древесных растений использовали быстрорастущий тополь, как перспективный вид для фитоэкстракции. Тополь имеет большую биомассу и способен аккумулировать ионы Cd и Zn [46], а среди травянистых видов – аккумулятор ионов Cd и Cu табак и аккумулятор ионов Cd и Zn кукурузу [47]. Ионы Cd и Zn накапливались преимущественно в корнях кукурузы [48]. Относительно высокое содержание ионов Pb было выявлено в надземной биомассе горчицы, райграсса, амаранта и подсолнечника [49] (Классен и др. 2000). Подсолнечник экстрагировал в надземной биомассе ионы Cu, а амаранта – ионы As и Zn. Степень распределения загрязнителей листья > стебель > корень [50].

Пахотные земли могут находиться в загрязненных районах, непригодных для производства продуктов питания. Выращивание энергетических культур на загрязненных сельскохозяйственных районах может привести к чрезмерной концентрации металлов в тканях растений и повторных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу во время сжигания биомассы. Выбор культур для производства биомассы для целей биоэнергетики должен быть проведен, принимая во внимание почву и климат региона и технические возможности фермеров. Для видов при производстве энергетических культур должны быть характерны: высокий выход биомассы, низкие затраты на производство; высокая адаптация к местным условиям окружающей среды [51].

В последние годы возрос интерес к непродовольственным многолетним видам в качестве фиторемедианта, в частности, к представителям рода мискантус. Для устойчивого производства биомассы мискантуса на загрязненных землях необходимо было изучить рост и продуктивность их

на маргинальных загрязненных землях; провести мониторинг качества биомассы, в соответствии с требованиями биотопливной промышленности; оценить стоимость производства биотоплива.

Литературных данных о ремедиационной способности представителей рода мискантус незначительно. В основном эксперименты были проведены в лабораторных условиях и незначительное количество работ в полевых условиях. Это вероятно связано с тем, что это новая культура, поэтому основные исследования были направлены на изучение генетических, адаптивных, агрономических и физиологических свойств мискантуса на незагрязненных сельскохозяйственных землях. При изучении влияния тяжелых металлов на ростовые показатели представителей рода мискантуса в лабораторных условиях установлено, что они реагируют на загрязнители по-разному. Выявлено, что при высоких концентрациях ионов тяжелых металлов подавляется рост и накопление биомассы у некоторых представителей рода мискантус. Выявлено, что у саженцев *M.transmorrisonensis* и *M.floridulus* при высоких концентрациях ионов Cd (1 мМ), Cu (0,6 мМ), Hg (2 мМ), Pb (2 мМ) в культуральной среде ингибируются ростовые показатели. У вида *M.floridulus* снижался рост саженца на 70%, 66-85%, 11-69%, 11-25% и 70% соответственно. В отличие от данного вида ионы Pb в дозе 2 мМ не влияли на рост *M.transmorrisonensis* и данный вид был более устойчив к действию металлов, чем вид *M.floridulus*. Аналогичные опыты продемонстрировали при изучении влияния Al в разной концентрации (от 0 до 5,930 мМ, экспозиция 42 дня) на ростовые показатели *M.sinensis* и *M.sacchariflorus* в условиях гидропоники. Выявлено, что вид *M.sinensis* аккумулировал больше ионов Al, чем вид *M.sacchariflorus*. Биомасса *M.sinensis* снижалась при дозе 185 мМ ионов Al в среде, а *M.sacchariflorus* – 74 мМ. При концентрации 1,480 мМ ионов Al в среде растения погибали. Полученные данные свидетельствуют о том, что концентрация 1,480 мМ ионов Al в среде является пороговой дозой для *M.sinensis* и *M.sacchariflorus*. Установлено, что высокие концентрации ТМ влияют на рост *M.giganteus*, *M.sinensis* и *M.sacchariflorus* за счет повреждения корней и понижения минерального питания, особенно N и P. Однако в полевых условиях (два сезона) *M.giganteus* прекрасно произрастал на промышленно-загрязненных землях [52, 53]. Вид *M.sinensis*, который доминировал в кислых почвах Японии был более толерантен к ионам Al, чем *M.sacchariflorus*, произрастающей в прибрежных регионах [54]. Виды *M.transmorrisonensis* и *M.floridulus* собранные из загрязненных участков были более устойчивы к ионам Pb, Zn, Cd, и Hg, чем собранные из незагрязненных участках [55]. Эти данные свидетельствуют о том, что виды растений взаимодействуют с питательной средой по-разному, и уровни сопротивления к стрессам зависят от условий выращивания и могут отличаться у разных видов и популяций [56].

Исследования о фитоэкстракционных и фитостабилизационных способностях представителей рода мискантус свидетельствуют о том, что одни виды мискантуса обладают способностью аккумулировать ионы тяжелых металлов из загрязненной почвы в корневой системе и далее транслоцировать их в надземную часть, а другие – накапливать их в корневой системе (таблица 1).

Выявлено, что в пределах различных тканей растительного организма ионы тяжелых металлов распределяются в следующем порядке: ризомы > стебли > листья. Например, *M.floridulus* аккумулировал, как в подземных, так и надземных частях ионы As, Cr, Pb, Zn и Cd. Вид *M.sinensis* накапливал ионы As, Cr, а вид *M.giganteus* – ионы As и Cd только в корневой системе. Эти виды могли аккумулировать ионы Zn более 400 мг/кг в надземной части при высокой концентрации их в почве. При этом коэффициент транслокации ионов Cr и Pb в системе «почва – корень – надземная часть» у вида *M.floridulus* был ближе к 1, чем у видов *M.giganteus* и *M.sinensis*. Это означает что вид *M.floridulus* обладает фитоэкстракционным потенциалом, а виды *M.giganteus* и *M.sinensis* – фитостабилизационными потенциалами.

Польские ученые выращивали *M.giganteus* на экспериментальных участках в течение пяти лет (2007-2011 годы). Экспериментальные участки были расположены в непосредственной близости

Таблица 1 – Аккумуляция ионов тяжелых металлов из загрязненной почвы в вегетативных органах мискантуса [28, 30, 43, 45, 46, 57]

ТМ	Концентрация, мг/кг	pH	Надземная часть	Подземная часть	КБП	Кт
<i>M.floridulus</i>						
As	3.7-1.605	5.1-5.5	5.6-659	1.4-333	0.21-0.38	0.25-0.51
Cd	4.7-51.7	5.1-5.8	1.1-56	0.1-3.8	0.02-0.07	0.07-0.09
Cu	7.7-95.9	5.1-5.8	13.6-179	1.8-7.5	0.08-0.23	0.04-0.13

Pb	88-2.582	5.1-5.8	17.2-519	36-254	0.1-0.41	0.21-0.5
<i>M. giganteus</i>						
As	78	8.5	0.4-0.7		≤0.01	0
Cd	13.7	5.2	2.3-5.3			
Pb	271	6.8		0.36	≤0.0	0
Zn	365	6.8		48	0.13	0
Cu	130			2.3	0.02	0
<i>M. sinensis</i>						
As	418.7	6		0.45	≤0.01	0.01
Cr	95.2	6		9.9	0.10	0.68
Примечание: ТМ – тяжелые металлы; КБП – коэффициент биологического поглощения, Кт – коэффициент транслокации						

от горно-обогатительного комбината (Бытом, южный регион Польши). Уровень загрязнения почвы: Pb (547 мг/кг), Cd (20,84 мг/кг) и Zn (2174,5 мг/кг). Авторы показали, что вид *M. giganteus* устойчив к высоким концентрациям тяжелых металлов в почве. Из незагрязненной почвы данный вид накапливал ионы Pb до 2 мг/кг, ионы Cd до 0,3 мг/кг, ионы Zn до 25 мг/кг, а на загрязненной почве – ионы Pb до 200 мг/кг, ионы Cd до 1,5 мг/кг и ионы Zn до 700 мг/кг [58].

Аналогичные результаты были получены французскими исследователями, они показали, что гибрид *M. giganteus* более устойчив к высоким концентрациям ионов Pb в почве по сравнению с другими видами [59]. Румынские ученые С.Н. Varbu с соавторами выращивали *M. giganteus* на Pb и Cd-загрязненной почве в Румынии течение двух лет [60]. Уровень загрязнения почвы: Pb – 682.50 мг/кг (0-20 см глубина) и Cd – 13.47 мг/кг (0-20 см). Определили содержание ТМ в вегетативных органах в сентябре 2008 и апреле 2009 году. В первый год, гибрид *M. giganteus* накапливал Pb из загрязненной почвы в ризоме 382.7±111.0 мг/кг, в стебле – 4.38±2.67 мг/кг, в листьях – 10.54±4.55 мг/кг и Cd – в ризоме 4.90±2.27 мг/кг, в стебле – 2.07±0.77 мг/кг, в листьях – 1.22±0.34 мг/кг. На следующий год растение аккумулировало Pb из загрязненной почвы в ризоме 452.7±145.5 мг/кг, в стебле – 2.62±0.82 мг/кг, в листьях – 7.33±3.09 мг/кг, и Cd – в ризоме 5.62±2.34 мг/кг, в стебле – 1.62±0.56 мг/кг, в листьях – 0.75±0.12 мг/кг. Концентрация ионов Cd в вегетативных органах *M. giganteus* превышало ПДК (0,1 мг/кг). Авторы сделали вывод, что для промышленного использования можно культивировать *M. giganteus* только на Pb-загрязненной почве. При этом авторы отмечают, что коэффициент биологического поглощения и накопление ионов Pb в надземной части растительного организма зависит от возраста растительного организма и концентрации загрязнителя в почве. Трехлетний *M. giganteus* при произрастании на Pb-загрязненной почве (400-630 мг/кг, pH-5.2) аккумулировал в надземной биомассе ионы загрязнителя в пределах ПДК (10-30 мг/кг), коэффициент биологического поглощения варьировал в пределах от 0.03 до 0.05. Четырехлетний *M. giganteus* при произрастании на Pb-загрязненной почве (271 мг/кг, pH 6,5) аккумулировал в надземной биомассе ионы загрязнителя ниже ПДК (0,36 мг/кг), коэффициент биологического поглощения был ≤0.0 [60].

Наряду со способностью *M. giganteus* к фиторемедиации загрязненных тяжелыми металлами почв установлено, что растение обладает потенциалом деградировать органические загрязнители, в частности, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Показано, что корневые экссудаты *M. giganteus* обладают деструкционной способностью, они разлагают пирен и фенантрен [61-63]. Выявлено, что полифенольные соединения (галлловая, хлорогеновая и кофейная кислоты), флавоноиды (кверцетин, рутин, катехин) присутствующие в ризосфере *M. giganteus* стимулируют рост микроорганизмов, утилизирующие ПАУ [64].

Эти данные свидетельствуют о необходимости изучения физиологических и биохимических особенностей вида *M. giganteus* в условиях загрязнения почв не только неорганическими, но и органическими ксенобиотиками. Вид *M. giganteus* может быть не только удобной моделью для изучения механизма поглощения, аккумуляции и детоксикации ксенобиотиков в почве, но решить проблему восстановления почв, загрязненных токсикантами техногенного происхождения. Перспективность разработки технологии размножения *M. x giganteus*, изучение биологии развития и роста, агрономические и физиологические свойства в условиях загрязнения не вызывает сомнения, а использование залежных и загрязненных земель для интродукции данного вида представляется многообещающим

Для биотопливной промышленности одним из важных факторов при производстве продукции

является ее экологичность. В связи с этим возникает вопрос, является ли продукция *M. giganteus* экологически чистой, при выращивании на загрязненных землях по сравнению с другими биоэнергетическими видами? Лабораторные исследования румынских ученых при сравнительном анализе двух биоэнергетических видов (*Sida hermophradita* и *M. giganteus*) показали, что *S. hermophradita* накапливает ионы тяжелых металлов не только в корневой системе, но и в надземной части в отличие от *M. giganteus*. Выращивание их проводили на искусственно Рb-загрязненной (в концентрации 600 и 700 mg.kg⁻¹) и Zn-загрязненной (в концентрации 900 и 1100 mg.kg⁻¹) субглинистой и песчаной почве. *S. hermophradita* используют в качестве возобновляемого источника энергии для производства биотоплива, в виде дробленки, брикетов, пеллет и пробки. Продукция, полученная из *S. hermophradita* при выращивании их на загрязненной почве является источником вторичного загрязнения [65]. Все эти данные свидетельствуют о том, что *M. giganteus* имеет потенциал для фитостабилизации ТМ-загрязненных почв, тем самым может предотвратить дальнейшую миграцию загрязнителя в грунтовые воды либо воздух.

В обзоре V. Pidlisnyuk с соавторами [66-68] представлены данные ученых ЕС и США о возможности культивирования представителей рода мискантус на загрязненных тяжелыми металлами землях. Авторами отмечено, что наибольший интерес в качестве фиторемедианта привлекает внимание ученых высокопродуктивный гибрид *M. giganteus*, так как обладает высокой продуктивностью на ТМ-загрязненных почвах и способностью к фитостабилизации загрязненных почв. Интерес к фитостабилизатору *M.x giganteus* связан с тем, что отпадает проблема утилизации загрязненной фитомассы, так как они накапливают ионы тяжелых металлов в корневой зоне; отсутствует необходимость каждый год собирать и высаживать семена, так как растение стерильное; растение может произрастать на одном участке более 20 лет. Аналогичный обзор проведен F.Nsanganwimana с коллегами [56], авторы отмечают что последние десятилетия возрос интерес в высокопродуктивных представителях рода мискантус во всем мире, благодаря своей способности аккумулировать ионы тяжелых металлов в корнях и способностью деградировать органические ксенобиотики в ризосфере они обладают свойством фитостабилизатора загрязненных почв. Авторы считают, что среди представителей рода мискантус вид *M.x giganteus* из-за высокой продуктивности является приоритетным видом для фитотехнологии.

Итак, стремительно расширяющееся производство биотоплива ведет к уничтожению природных экосистем и утере биологического разнообразия [69]. В связи с этим возникает вопрос о рациональном использовании маргинальных и деградированных антропогенными загрязнителями земель. Выращивание «биоэнергетических» растений в качестве фиторемедиантов на этих землях позволит снизить уровень загрязнения с одной стороны, а с другой стороны повысить агрономическую ценность загрязненных почв. Практическое использование *M.x giganteus*, как фиторемедианта, и как источника твердого биотоплива выглядит многообещающим с экономической точки зрения, по сравнению с другими биотопливными видами второго поколения. Высокая продуктивность биомассы *M. giganteus* на загрязненных землях может превратить технологию фиторемедиации в прибыльную отрасль для биоэнергетической промышленности. Растение вырастает до 4 м и более, урожай с него можно собирать в течение 30 лет, не распахивая и непересеивая поля. При этом *M. giganteus* не истощает землю, поглощает углекислый газ и останавливает глобальное потепление. Специалисты утверждают, что если засадить 10% полей Европы мискантусом, то можно будет дополнительно выработать до 9% электроэнергии.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Панин М.С. Влияние техногенных факторов и агрохимической деятельности человека на содержание миграцию тяжелых металлов в системе “почва-растение” // Состояние и рациональное использование почв республики Казахстана. –1998. – С. 76-79.
- [2] Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. –1989. – М.: Мир. –439 с.
- [3] Damalas C. A. Understanding benefits and risks of pesticide use // Science Research Essay. – 2009. – Vol.4(10). – P.945-949.
- [4] Rajaganapathy, V., Xavier, F., Sreekumar, D., Mandal, P.K. Heavy metal contamination in soil, water and fodder, and their presence in livestock and products: a review // J. Environ. Sci. Technol. – 2011. – Vol.4. – P 234-249.
- [5] Lunney A.I., Zeeb B.A., Reimer K.J. Uptake of DDT weathered in vascular plants: potential for phytoremediation//Environmental Science Technology – 2004. –Vol.38.–P.6147-6154.
- [6] Cunningham S.D., Ow D.W. Promises and Prospects of Phytoremediation // Plant Physiol. – 1996. – Vol. 110. – P. 715-719.

- [7] Baker A.J., McGrath S.P., Reeves R.D. Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biochemical resource for phytoremediation of metal polluted soils // Contaminated soil and water. – 2000. – Boca-Raton, FL, USA: Lewis Publishers. – P. 85-107.
- [8] Tsao D.T. Overview of phytotechnologies // Advances in Biochemical Engineering /Biotechnology Phytoremediation – 2003. – Springer-Verlag: Berlin – Vol. 78. – 50 p.
- [9] Прасад М.Н. Практическое использование растений для восстановления экосистем, загрязненных металлами // Физиология растений – 2003. – Т. 50. – № 5. – С. 764-780.
- [10] Karthikeyan R, Davis L.C., Erickson L.E., Al-Khatib K., Kulakow P.A., Barnes P.L., Hutchinson S.L., Nurzhanova A.A. Potential of plant-based remediation of pesticide contaminated soil and water using non-target plants such as trees, shrubs and grasses // Plant Sciences. – США, 2004. – Vol. 23, №. 1. – P. 1-11.
- [11] Sophie Pascal-Lorber, François Laurent. Phytoremediation Techniques for Pesticide Contaminations // Alternative Farming Systems, Biotechnology, Drought Stress and Ecological Fertilisation, Sustainable Agriculture Reviews 6. E. Lichtfouse (ed.). – 2011. – Springer Science + Business Media. – P. 77-105.
- [12] Нуржанова А.А., Kulakow P., Жамбакин К.Ж. и др. Фиторемедиация загрязненных пестицидами почв – Алматы, 2008 – 160 с.
- [13] Нуржанова А.А., Калугин С.Н., Жамбакин К.Ж. Рекомендации по фиторемедиации почв, загрязненных пестицидами – Алматы, 2011 – 54 с.
- [14] Атабаева С.Д., Сарсенбаев Б.А. Фиторемедиация почв, загрязненных тяжелыми металлами – Алматы: ТОО «TST-Company», 2010 – 165 с.
- [15] Alexander M. Aging, bioavailability, and overestimation of risk from environmental pollutants // Environ. Science Techn. – 2000. – Vol. 34. – P. 4259-4265.
- [16] Dickinson, N., Baker, A., Doronila, A., Laidlaw, S., Reeves, R., Phytoremediation of inorganics: realism and synergies // Int. J. Phytorem. – 2009. – Vol. 11. – P. 97-114.
- [17] Hulster A., Muller J.F., Varschner H. Soil – plant transfer of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans to vegetables of the cucumber family (*Cucurbitaceae*) // Environ. Science Technology. – 1994. – Vol. 28. – P. 1110-1115.
- [18] Lewandowski I., Clifton-Brown J.C., Scurlock J.M.O., Huisman W. *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop // Biomass Bioenergy. – 2000. – Vol. 19. – P. 209-227.
- [19] Clifton-Brown J.C., Lewandowski I. Screening *Miscanthus* genotypes in field trials to optimize biomass yield and quality in Southern Germany // Eur. J. Agron. – 2002. – Vol. 16. – P. 97-100.
- [20] Anderson E., Arundale R., Maughan M., Oladeinde A., Wycislo A., Voigt T., Growth and agronomy of *Miscanthus x giganteus* for biomass production // Biofuels. – 2011. – Vol. 2. – P. 167-183.
- [21] Deuter M. Breeding Approaches to Improvement of Yield and Quality in *Miscanthus* Grown in Europe // European *Miscanthus* Improvement (EMI) Project. – 2000. – 25 p.
- [22] Acikel H. The use of *miscanthus* (*Giganteus*) as a plant fiber in concrete Production // Sci. Res. Essays. – 2011. – Vol. 6. – P. 2660-2667.
- [23] Zub H.W., Brancourt-Hulmel M. Agronomic and physiological performances of different species of *Miscanthus*, a major energy crop. A review // Agron. Sustain. – 2010. – Dev. 30, – P.201-214.
- [24] 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 // Adv. in Biosci. and Biotech. – 2010. – Vol. 1. – P.167-170.
- [25] Rayburn A., Crawford J., Rayburn C., Juvik J. Genome size of three *Miscanthus* species // Plant Mol Biol Report. – 2009. – Vol. 27. – P.184–188.
- [26] Swaminathan K., Alabady M.S., Varala K., De Paoli E., Ho I., Rokhsar D.S., Arumuganathan A.K., Ming R., Green P.J., Meyers B.C., Moose S.P., Hudson M.E. Genomic and small RNA sequencing of *Miscanthus* (*times giganteus*) shows the utility of sorghum as a reference genome sequence for *Andropogoneae* grasses // Genome Biol. – 2010. – Vol.11. – P.12-19
- [27] Barling A., Swaminathan K., Mitros T., James B.T., Morris J., Ngambona O., Hall M.P., Kirkpatrick J., Alabady M.S., Varala K., Hudson M.E., Rokhsar D.S., Moose S.P. A comprehensive expression study of the *Miscanthus* genus reveals changes in the transcriptome associated with the rejuvenation of spring rhizomes // BMC Genomics. – 2013. – Vol.14. – P.864. <http://www.biomedcentral.com/1471-2164/14/864>
- [28] Hodkinson T.R., Chase M.W., Renvoize S.A. Characterization of a genetic resource collection for *Miscanthus* (*saccharinae*, and *ropogoneae*, *poaceae*) using AFLP and ISSR PCR // Ann Bot. – 2002. – Vol. 89. – P. 627–636.
- [29] Chou C.H. *Miscanthus* plants used as an alternative biofuel material: the basic studies on ecology and molecular evolution // Renew. Energy. – 2009. – Vol. 34. – P.1908-1912.
- [30] Yan J., Chen W.L., Luo F., Ma H.Z., Meng A.P., Li X.W., Zhu M., Li S.S., Zhou H.F., Zhu W.X., Han B., Ge S., Li J.Q., Sang T. Variability and adaptability of *Miscanthus* species evaluated for energy crop domestication // GCB Bioenergy. – 2012. – Vol. 4. – P.49-60.
- [31] Sun Q.A., Lin Q., Yi Z.L., Yang Z.R., Zhou F.S. A taxonomic revision of *Miscanthus* (*Poaceae*) from China // Bot. J. Linn. Soc. – 2010. – Vol. 164. – P.178-220.
- [32] Byrt C.S., Grof C.P.L., Furbank R.T. C4 plants as biofuel feedstocks: optimising biomass production and feedstock quality from a lignocellulosic perspective // J. Integr. Plant Biol. – 2011. – Vol. 53. – P.120-135.
- [33] Brosse N., Dufour A., Meng X., Sun Q., Raquaskas A. *Miscanthus* a fast –growing crop for biofuels and chemicals products // Biofuels Bioprod. Bioref. – 2012. – Vol. 6. – P.580-598.
- [34] Будаева В.В., Гисматулина Ю.А., Злдутихин В.Н., Сакович Г.В., Вепрев С.Г., Шумный В.К. Показатели качества целлюлозы, полученной азотнокислым способом в лабораторных и опытно-промышленных условиях из мискантуса // Ползуновский Вестник. – 2013. – № 3. – P.162-168.

- [35] Picco D. Technical assistance for the development and improvement of technologies, methodologies and tools for enhanced use of agricultural biomass residues: Energy plants production on unfavorable soils. Energy plant // Report. Central European Initiative. –2010. Italy. – 53 p.
- [36] 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.
- [37] Boersma N. The influence of propagation method and stand age on *Miscanthus x giganteus* performance in Iowa, USA –2013. –Graduate Theses and Dissertations. – Paper 13588. – 125 p
- [38] Han M., Choi G.W., Kim Y., Koo B.C. Bioethanol production by *Miscanthus* as a lignocellulosis biomass: focus on high efficient conversion to glucose and ethanol //BioResources. – 2011. – Vol. 6. – P.1939-1953.
- [39] Collura S., Azambre B., Finqueneise, G., Zimny T., Weber J.V. *Miscanthus giganteus* straw and pellets as sustainable fuels. Combustion and emission tests // Environ. Chem. Lett. –2006. – Vol. 4. – P. 75-78.
- [40] Heaton E.A., Dohleman F.G., Miguez A.F., Juvik J.A., Lozovaya V., Widholm J., Zobotina O.A., Mcisaac G.F., David M.B., Voigt T.B., Boersma N.N., Long S.P. *Miscanthus*: a promising biomass crop // Adv. Bot. Res. –2010. – Vol. 56. – P. 75-137.
- [41] Kilpatrick L.A. Sustainable growth of *Miscanthus* on marginal lands amended with flue gas desulfurization gypsum and sewage biosolids //Paper.–2012. – N 12-133766124, ASABE. – P. 37. www.asabe.org.
- [42] Islam K.R., Kilpatrick L.A., Reeder R.C., Raut T., Coppole A., Michel F.C. Growing miscanthus for biofuels on marginal land amended with sewage sludge and gas desulfurization (FGD) gypsum //http://sungrant.tennessee.edu/NR/rdonlyres/DOA5701F-E268-43A9-B312-DACB BA937BO/3680/38Islam_Khandarar.pdr
- [43] Los L.V., Zinchenko L.V., Zajoronovskyi V.P. Growing and gasification of biofuels as effective direction for solving energetic and ecological problems: case of *Miscanthus x giganteus* //Release of Zytomir National Agroecological university. – 2011. – Vol. 29, part 1. – P. 46-57.
- [44] Pidlisnyuk V.V. Expanding the potential of second generation biofuel crops for phytoremediation of sites contaminated by heavy metals: laboratory stage //Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – 2012. –Вип. 4 (75). – P.104-108.
- [45] Ginneken L.V., Meers E., Guisson R , Ruttens A., Elst K ., Tack F. M. G., Vangronsveld J, Diels L., Dejonghe W. Phytoremediation for heavy metal contaminated soils combined with bioenergy production // J. Environ. engineering and landscape management. – 2007. – Vol XV, № 4. – P. 227–236.
- [46] Pulford I.D.; Watson C. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees. A review // Environ. Int. – 2003.– Vol 29. – P. 529– 540.
- [47] Wenger K., Gupta S.K., Furrer G., Schulin R. Zinc extraction potential of two common crop plants, *Nicotiana tabacum* and *Zea mays* // Plant Soil. – 2002.– Vol 242. – P. 217– 225.
- [48] Bricker T.J., Pichtel J., Brown H.J., Simmons M. (2001): Phytoextraction of Pb and Cd from a superfund soil: Effects of amendments and croppings // J. Environ. Sci. Health. – 2001.– Vol 36. – P. 1597– 1610.
- [49] Klassen S.P., McLean J.E., Grossl P.R., Sims R.C. Fate and behaviour of lead in soils planted with metal-resistant species (*River Birch* and *Smallwing Sedge*) // J. Environ. Qual. – 2000.– Vol 29. – P. 1826– 1834.
- [50] Jonnalagadda S.B., Nenzou G. Studies on arsenic rich mine dumps. II. The heavy element uptake by vegetation // J. Environ. Sci. Health. – 1997.– Vol A32. – P. 455– 464.
- [51] Majtkowski W. Problemy powstania rynku biomasy w Polsce // Problemy Inżynierii Rolniczej. – 2007.– Vol 1. – P. 155– 162.
- [52] Lord R., Atkinson J., Lane A., Scurlock J., Street G. Biomass, remediation, re generation (BioReGen Life Project): reusing brownfield sites for renewable energy crops // GeoCongress. – 2008.– Vol 177. – P. 527– 534.
- [53] Pogrzeba M., Krzyzak, J., Sas-Nowosielska A. Environmental hazards related to *Miscanthus x giganteus* cultivation on heavy metal contaminated soil. In: E3S Web Conference. 2013. <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/20130129006>.
- [54] Kayama M. Comparison of the aluminum tolerance of *Miscanthus sinensis* Anderss and *Miscanthus sacchariflorus* Bentham in hydroculture // Int. J. Plant Sci. – 2001.– Vol 162. – P. 1025– 1031.
- [55] Hsu F.H., Chou C.H. 1992. Inhibitory effects of heavy metals on seed germination and seedling growth of *Miscanthus* species // Bot. Bull. Acad. Sin. – 1992.– Vol 33. – P. 335- 342.
- [56] Nsanganwimana F., Pourrut B., Mench M., Douay F. Suitability of *Miscanthus* species for managing inorganic and organic contaminated land and restoring ecosystem services. A review //J. Environ. Management. – 2014. – Vol.143. –P.123-134.
- [57] Lewandowski I., Scurlock J.M.O., Lindvall E., Christou M. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe // Biomass Bioenergy. –2003. – Vol. 25.– P.335-361.
- [58] Pogrzeba M., Krzyzak J., Sas-Nowosielska A. Environmental hazards related to *Miscanthus x giganteus* cultivation on heavy metal contaminated soil // Environmental Heavy Metal Pollution and Effects on Child Mental Development/ Risk Assessment and Prevention Strategies. – 2011. Springer Science/ Business Media B.V. – P. 213-225.
- [59] Cadoux S., Vanderdriessche V., Machet J.M., Mary B., Beakdouin N., Lemaire G., Gosse G. Potential yield and main limiting factors of *Miscanthus x giganteus* in France, identification of the needs for further research // In 16-th European biomass conf. and exhibition. – 2008. Valencia. Spain.
- [60] Barbu C. Pavel B., Sand C., Pop M., Moise C. Promising results *Miscanthus sinensis giganteus* cultivation on soil polluted with heavy metals // Acta universitatis cibiniensis, agricultural sciences –2009. – Vol. 1, N 1(9). – P. 23-26
- [61] Techer D., Laval-Gilly P., Bennisroune A., Henry S., Martinez-Chois C., D'Innocento M., Falla J. An appraisal of *Miscanthus giganteus* cultivation for fly ash revegetation and soil restoration // Ind. Crops Prod.. –2012. – Vol. 36. – P. 427-433.
- [62] Techer D., Laval-Gilly P., Henry S., Bennisroune A., Formanek P., Martinez-Chois C., D'Innocenzo M., Muanda F., Dicko A., Rejsek K., Falla J. Contribution of *Miscanthus giganteus* root exudates to the biostimulation of PAH degradation: an *in vitro* study // Sci. Tot. Environ. Ind. Crops Prod. –2011. – Vol. 409. – P. 4489-4495.
- [63] Techer D., Martinez-Chois C., Laval-Gilly P., Bennisroune A., Formanek P., D'Innocenzo M., Fall, J. Assessment of *Miscanthus giganteus* for rhizoremediation of long-term PAH contaminated soils // Appl. Soil. Ecol. –2012. – Vol. 62. – P. 42-63.

[64] Techer D., D'Innocenzo M.C., Laval-Gilly P., Henry S., Bennisroune A., Martinez-Chois C., Falla J. Assessment of *Miscanthus giganteus* secondary root metabolites for the biostimulation of PAH-utilizing soil bacteria // Appl. Soil. Ecol. – 2012. – Vol. 62. – P. 142-146.

[65] Kocon A., Matyka M., Phytoextractive potential of *Miscanthus giganteus* and *Sida hermaphrodita* growing under moderate pollution of soil with Zn and Pb // J. Food Agri. Environ. – 2012. – Vol. 10. – P. 1253-1256.

[66] Pidlisnyuk B., Erickson L., Kharchenko S., Stefanovska T. Sustainable Land Management: Growing *Miscanthus* in Soils Contaminated with Heavy Metals // Journal of Environmental Protection, Special Issue in Environmental Remediation. – 2014. – Vol. 5. – P. 723-730.

[67] Pidlisnyuk V., Stefanovska T., Lewis E., Erickson L., Davis L. *Miscanthus* as a Productive Crop for Phytoremediation // Critical Reviews in Plant Sciences. – 2014. – Vol. 33. – P. 1-19.

[68] Pidlisnyuk V.V., Soloshich I.A. Bioenergy as a perspective direction for implementation sustainability // In a Book: Socioekonomické a Environmentální aspekty udržitelného rozvoje – 2013. – Marie Heskova a kol., Vysoká škola Evropských Studií, České Budějovice: Czech Republic – P.191-195.

[69] Гиляров А. Экологически безопасное биотопливо начинает угрожать дикой природе // <http://elementy.ru/news?theme>. 2008

Miscanthus x giganteus – қасиеті бар биоэнергетикалық фиторемедиант

А.Нуржанова¹, V.V.Pidlisnyuk², Е.Сайлауханулы³, С.Н.Калугин³, В.К.Мурсалиева¹, Т.Р.Стефановская⁴,
L.Erickson⁵
gen_asil@mail.ru

¹ Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты ҚР БҒМ, Алматы қаласы.

² Matej Bel University, Faculty of Natural Sciences, Department of the Environmental Management, Banska Bystrica, Slovakia.

³ аль-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы қаласы

⁴ National University of Life and the Environmental Sciences, Faculty of Plant Protection, Department of Entomology, Kiev, Ukraina

⁵ Kansas State University, Center for Hazardous Substance Research, Kansas, USA

Кілтгі сөздер: фиторемедиация, мискантус, биоотын

Аннотация. Мақалада маргинальді және антропогенді ластағыштармен деградияланған жерлерде өсуге қабілетті жоғары өнімді, биоэнергетикалық *Miscanthus x giganteus* фиторемедианттын қолдану мүмкіндігі сарапталған. Бұл түр – азық-түліктік өнімге жатпайтын, жоғарғы өнімді, құрамында жоғары мөлшерде лингин және целлюлозасы бар көпжылдық өсімдік. Көптеген елдерде тұрақты ксенобиотиктермен ластанған жерлердің фитостабилизациясы үшін қолданылады. *M. x giganteus*-тің жоғарғы өнімді болуы ластанған және деградияланған жерлерді фиторемедиациялау технологиясы еліміздің биотехнология саласымен биоэнергетикалық өндірісін тиімді өнеркәсібіне айналдыруы мүмкін.

Сведения об авторах

1 Нуржанова Асыл, главный научный сотрудник, доктор биологических наук; профессор.

Место работы: Институт биологии и биотехнологии КН МОН РК, ул. Тимирязева, 45, Алматы, 050040, Казахстан. Тел. +7 (727)3947550. Факс +7 (727) 3947562. E-mail: gen_asil@mail.ru

2 Pidlisnyuk Valentina, доктор химических наук; профессор.

Место работы: Matej Bel University, Faculty of Natural Sciences, Department of the Environmental Management, Banska Bystrica, Slovakia. E-mail: pidlisnyuk@gmail.com.

3 Сайлауханулы Ерболат, PhD, научный сотрудник

Место работы: Казахский национальный университет им аль-Фараби, аль-Фараби пр-кт, 71, Алматы, 050040, Казахстан. E-mail: s.erbolat@mail.ru

4 Калугин Сергей, доктор химических наук; профессор.

Место работы: Казахский национальный университет им аль-Фараби, аль-Фараби пр-кт, 71, Алматы, 050040, Казахстан. E-mail: kalugin_sn_org@mail.ru.

4 Мурсалиева Валентина, кандидат биологических наук; заведующей лаборатории

Место работы: Институт биологии и биотехнологии КН МОН РК, ул. Тимирязева, 45, Алматы, 050040, Казахстан. Тел. +7 (727)3947550. Факс +7 (727) 3947562. E-mail: gen_mursal@mail.ru.

5. Стефановская Татьяна, PhD; профессор.

Место работы: National University of Life and the Environmental Sciences, Faculty of Plant Protection, Department of Entomology, Kiev, Ukraina E-mail: stefat@hotmail.com

5. Erickson Larry, Professor and Director Center for Hazardous Substance Research

Место работы: Kansas State University, Center for Hazardous Substance Research, Kansas, USA, lerick@ksu.edu.

Поступила 24.08.2015 г.

**PUBLICATION ETHICS AND PUBLICATION MALPRACTICE
IN THE JOURNALS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the originality detection service Cross Check <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www:nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

<http://www.reports-science.kz/index.php/ru/>

Редакторы *М. С. Ахметова, Д. С. Аленов, Т.А. Апендиев*
Верстка на компьютере *С.К. Досаевой*

Подписано в печать 08.10.2015.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

14,2 п.л. Тираж 2000. Заказ 4.