

УДК 504.062.2; 631.8; 631.95

УТИЛИЗАЦИЯ БИОГЕННЫХ МЕТАЛЛОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

© 2016 Е.А. Крылов, У.Е. Четкина, Н.И. Машин, Е.А. Черняева, Л.Л. Моисеева,
И.С. Белякова, А.И. Речкин, В.В. Новиков

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского

Статья поступила в редакцию 25.05.2016

Разработана ионообменная технология получения микроэлементсодержащих композиций для сельскохозяйственного растениеводства с утилизацией ионов микроэлементов и производных лигнина ряда промышленных отходов. Предложен способ придания композициям фунгицидных свойств путем введения в них штамма бактерий *Bacillus subtilis* Ч-13. Приведены характеристики композиций и результаты их применения в сельскохозяйственном растениеводстве.

Ключевые слова: микроэлементы, промышленные отходы, ионообменная технология, бактерии, биологическая модификация, бактериомикроэлементные композиции

Обязательным условием для раскрытия растениями своего биологического потенциала является сбалансированное питание их различными эссенциальными микроэлементами, так как они участвуют в ключевых метаболических событиях [1, 2]. При дисбалансе микроэлементного питания развитие растений нарушается, что приводит к их заболеваниям и даже гибели. В конечном итоге, растения не реализуют своих биологических возможностей и дают низкий и не всегда качественный урожай. Поэтому в сельскохозяйственном растениеводстве нарастает применение микроэлементных удобрений. Если в 2013 г. мировой рынок микроудобрений составлял около 4,4 млрд. долларов, то к 2020 г. он составит около 7,6 млрд. долларов. Среднегодовой же прирост его с 2014 по 2020 гг. ожидается на уровне 8,2% (доклад «Transparency Market Research», 2014 г.). Недостаточная экономическая доступность сдерживает их более активное использование. Высокая стоимость присутствующих на мировом рынке микроудобрений обусловлена, главным образом, производством их из дорогостоящего синтетического сырья. Вместе с тем с различными промышленными отходами теряется огромное количество солей микроэлементов (цинка, меди, марганца, железа и др.), которое могло бы стать недорогим и дефицитным сырьем для синтеза микроудобрений [3]. При этом образование и накопление солей микроэлементов в водоемах служит причиной многих экологических проблем. Но необходимы технологии, обеспечивающие получение экологически безопасного продукта

из указанных отходов. В то же время в мировой практике отсутствуют микроэлементные препараты с фунгицидными свойствами, которые, кроме реализации присущих им функций, решали бы задачу защиты растений от грибковых заболеваний, снижая одновременно, нагрузку на окружающую среду, связанную с применением химических фунгицидов.

Цель работы: разработка высокоэффективных микроэлементных композиций, обладающих выраженным фунгицидным действием и получаемых с утилизацией промышленных отходов.

Материалы и методика исследования. Для синтеза микроэлементсодержащих композиций использовали водные растворы производных сульфированного лигнина (лигносульфонат натрия – побочный продукт целлюлозно-бумажного производства) с молекулярной массой 60000-100000 и водные растворы неорганических солей марганца, кобальта, меди, цинка и железа (побочные продукты ряда химических производств) Селективное извлечение ионов микроэлементов (Mn^{++} , Co^{++} , Cu^{++} , Zn^{++} , Fe^{++}) и введение их в сульфокислые группы лигносульфоната натрия проводили ионообменным путем [3, 4]. Содержание микроэлементов и возможных примесных металлов определяли с использованием рентгенофлуоресцентного анализатора EDX-720 и атомно-абсорбционного спектрометра AA-6800 фирмы Shimadzu с погрешностью 1-5 %.

Содержание воды и солей лигносульфоната в образцах композиций определяли гравиметрически, путем высушивания их в вакууме при 330 ± 5 К с погрешностью не более 0,1 масс. % [3]. С помощью газохроматографического анализа установлено, что после сушки в указанных выше условиях содержание остаточной воды в образцах составляло не более 0,3 масс. %. Количество органических веществ в водных растворах неорганических солей микроэлементов устанавливали хроматографически с погрешностью не хуже 5%.

Для биологической модификации микроэлементных композиций использовали штамм ризосферных бактерий *Bacillus subtilis* Ч-13 [5]. Внедрение бактерий в микроэлементсодержащую матрицу проводили путем распределения в ней соответствующей водной суспензии. Содержание *Bacillus subtilis* Ч-13 определяли по числу колониеобразующих единиц.

Крылов Евгений Алексеевич, доктор химических наук, ведущий научный сотрудник. E-mail: Krylov_Evg@list.ru
Четкина Ульяна Евгеньевна, ведущий инженер кафедры молекулярной биологии и биомедицины. E-mail: kmb@bio.unn.ru
Машин Николай Иванович, доцент кафедры фотохимии и спектроскопии. E-mail: mashin@chem.unn.ru
Черняева Екатерина Алексеевна, аспирантка
Моисеева Лариса Леонидовна, студентка
Белякова Ирина Сергеевна, студентка
Речкин Александр Иванович, кандидат биологических наук, доцент кафедры молекулярной биологии и биомедицины. E-mail: kmb@bio.unn.ru
Новиков Виктор Владимирович, доктор биологических наук, заведующий кафедрой молекулярной биологии и биомедицины. E-mail: mbre@mail.ru

Идентификацию проводили с использованием световой микроскопии и биохимических тестов. Исследование фунгицидной активности и ростостимулирующих свойств получаемых композиций проводили по традиционным методикам [5, 6].

Экспериментальная часть. Ионообменная схема получения микроэлементсодержащих композиций приведена на рис. 1 и включает следующие основные стадии [3, 4]: очистка сырья – отходов соответствующих производств (водных растворов) от механических примесей; извлечение ионов микроэлементов из водных растворов их солей (отходов ряда химических производств) ионообменным сорбентом (реакция ионного обмена: $2RNa + Me^{++} = R_2Me + 2Na^+$, где R – элемент матрицы сорбента, Me^{++} – ионы меди, цинка, марганца, кобальта, железа); регенерация сорбента, насыщенного ионами микроэлементов, водным раствором лигносульфоната натрия (отхода целлюлозно-бумажного производства) с получением микроэлементсодержащих композиций «МиБАС» (реакция ионного обмена: $R_2Me + 2R'Na = R_2Me + 2RNa$, где R' – элемент матрицы

лигносульфоната). Концентрированные микроэлемент-содержащие отходы (отработанные электролиты процессов гальванического цинкования, меднения и др.) предварительно разбавлялись водой до содержания 10 кг/м^3 . В случае использования разбавленных по катионам микроэлементов растворов (например, промывных вод от процессов гальванического цинкования или меднения) непосредственно на предприятиях проводилось концентрирование их с помощью кассетных установок (рис. 2). Кассетная установка [3, 4] подключается к ванне промывки гальванической линии так, чтобы создать замкнутый водооборот: промывная вода из ванны для промывки деталей (с концентрацией по металлу-микроэлементу – до $5 \times 10^{-2} \text{ кг/м}^3$) поступает на установку и с помощью ионообменного сорбента очищается, а затем очищенная вода (содержащая не более $3 \times 10^{-4} \text{ кг/м}^3$) возвращается в ванну промывки. После насыщения ионообменного сорбента (заполняющего кассеты) ионами микроэлементов он регенерируется по ранее приведенной схеме (рис. 1).

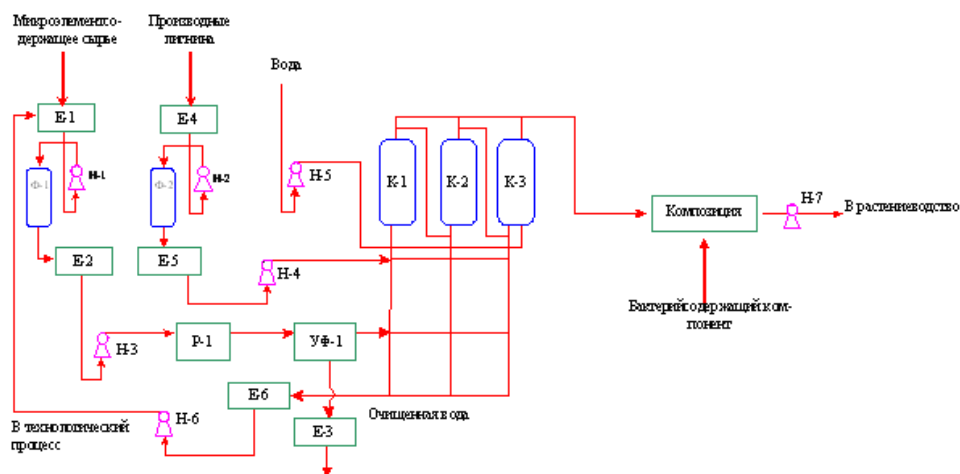


Рис. 1. Принципиальная схема получения микроэлементсодержащих композиций с утилизацией металлов-микроэлементов промышленных отходов (водных растворов): Е – емкость; Н – дозировочный насос; Ф – фильтр механической очистки; Р – ресивер; УФ – блок ультрафильтрации; К – ионообменный блок

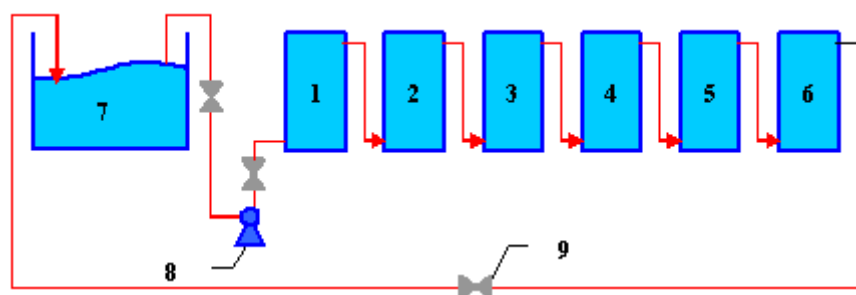


Рис. 2. Принципиальная схема кассетной установки:

1, 6 – блок очистки от механических примесей; 2 – блок очистки от органических примесей; 3-5 – блок ионообменного извлечения и концентрирования ионов биогенных металлов; 7 – промывная ванна гальванической линии; 8 – насос; 9 – вентиль

В случае присутствия в растворах органических примесей (поверхностно-активных веществ и др.) последние поступают на ультрафильтрацию (рис. 1, блок УФ) через пористые ацетатцеллюлозные мембраны (марка «Владипор», тип УАМ). Очищенные таким образом растворы солей микроэлементов (с содержанием не более 1.0×10^{-4} масс. % органических веществ) подаются в ионообменный блок. В указанной схеме в качестве ионообменного сорбента могут быть использованы промышленные иониты. Однако их

применение приводит к удорожанию процесса. Поэтому применялся гранулированный ионообменный сорбент-катионит КС-1, синтезированный путем поликонденсации лигносульфоновых кислот [3, 4]. По своим характеристикам (табл. 1) такой сорбент не уступает промышленному поликонденсационному иониту КУ-1, наиболее дешевому и часто используемому при ионообменной очистке промышленных сточных вод.

После регенерации и отмывки ионита водой

раствор (на выходе из ионообменного блока он содержит не более 1×10^{-5} кг/м³ ионов металлов – микроэлементов, что ниже предельно допустимой концентрации их в промышленных стоках) собирается в приемную емкость (рис. 1, Е-6) и возвращается в процесс получения микроэлементных композиций «МиБАС».

Таблица 1. Некоторые характеристики катионита КС-1

Катионит	Состав матрицы	Ионообменные группы	ПОЕ*, 10^{-3} , кг-экв./кг
КС-1	Продукт поликонденсации лигносульфоновых кислот	-SO ₃ H -COOH -OH	1.9 0.4 2.4

Примечание: * ПОЕ – полная обменная емкость катионита

Для придания композициям «МиБАС» выраженных фунгицидных свойств проводили их биологическую модификацию. С этой целью использован штамм ризосферных бактерий *Bacillus subtilis* Ч-13, способный стимулировать рост растений и подавлять развитие фитопатогенных грибов и бактерий [5]. Введение бактерий в «МиБАС» проводили на конечной стадии процесса (рис. 1) путем распределения их в композиции в составе водной суспензии. Некоторые характеристики получаемых таким образом бактериомикроэлементных композиций представлены в табл. 2.

Таблица 2. Некоторые физико-химические характеристики бактериомикроэлементных композиций

Наименование показателя	Показатель
1. Внешний вид, цвет	Жидкость темно-коричневого цвета
2. Содержание микроэлемента, кг/м ³ , не более	
- медь	5.0
- цинк	5.0
- кобальт	0.1
- марганец	2.0
- железо	5.0
3. Массовая концентрация токсичных элементов, кг/м ³ , не более	
- свинец, 10^{-6}	1.0
- ртуть, 10^{-6}	-
- кадмий, 10^{-6}	1.0
- мышьяк, 10^{-6}	-
4. Содержание производных сульфированного лигнина, масс. %	32 ± 5
5. Содержание бактерий <i>Bacillus subtilis</i> Ч-13 в 1 кг, не менее	1.0×10^{11}

Анализ, обобщение и разъяснение полученных данных.

1. Микроэлементсодержащие композиции «МиБАС». Отличительной особенностью микроэлементных композиций «МиБАС» является то, что основой их служат производные лигнина, в функциональные группы которых введены катионы микроэлементов (Mn⁺⁺, Co⁺⁺, Cu⁺⁺, Zn⁺⁺, Fe⁺⁺). При нанесении такой композиции на поверхность семян различных зерновых культур (с помощью стандартных протравочных агрегатов ПС-10) вследствие поликонденсации лигносульфоновых кислот образуется тонкая (толщина около

50 микрон) полимерная пленка, которая при температурах выше 248 К находится в высокоэластическом состоянии [3, 7, 8]. Это во многом определяет высокую технологичность композиций. В частности, они легко совмещаются с химическими фунгицидами за счет встраивания в структуру образующейся на поверхности семян микроэлементсодержащей полимерной пленки, что сводит к минимуму (не более 10%) потери фунгицидов из-за их осыпаемости (при традиционном способе потери достигают 58%, пример – табл. 3 [6, 9]). Это повышает эффективность использования химических фунгицидов, открывает возможность снизить дозы их применения (в 1,5-2 раза) и, соответственно, уменьшить загрязнение ими почвы и сельскохозяйственной продукции, улучшить санитарно-гигиенические условия труда обслуживающего персонала (при обработке, затаривании, транспортировке и посеве семян), что особенно важно в случае централизованной обработки семян на калибровочных заводах [6, 9-11].

Таблица 3. Осыпаемость фундазол с поверхности семян

Культура	Вариант	Степень осыпаемости фунгицида (%) после 4-х часов испытания*
пшеница	Фундазол	57.5
	Фундазол + «МиБАС»	4.5
ячмень	Фундазол	58.7
	Фундазол + «МиБАС»	4.0

Примечание: * Погрешность определения – не более 5%

Проведенные многолетние агрохимические испытания микроэлементных композиций показали их достаточно высокую эффективность. Применение их в различных почвенно-климатических зонах страны и на разных зерновых культурах приводит к увеличению урожайности на 10-25%, улучшению ряда качественных характеристик получаемой продукции (содержания клейковины в зерне – на 2-6%, белка – на 1,8-2,5% и др.) и не вызывает накопление элементов – ксенобиотиков в сельскохозяйственной продукции [10-12]. В качестве иллюстрации в табл. 4 и 5 приведены некоторые результаты испытаний композиций в хозяйствах «Искра» Богородского района и им. Разумовского Чкаловского района Нижегородской области.

Указанная схема получения микроэлементных композиций (рис. 1) позволяет производить конкурентную по стоимости продукцию, так как в качестве сырья используются отходы различных промышленных производств. При этом образующиеся побочные продукты (промывная вода, разбавленные по производным лигнина и солям металлов-микроэлементов водные растворы) в основном используются в технологическом процессе. Поэтому данная схема обеспечивает создание экологически безопасного производства.

2. Бактериомикроэлементные композиции. Как уже отмечено выше применение микроэлементных композиций «МиБАС», совмещенных с химическими фунгицидами, открывает возможность для снижения доз применяемых химических фунгицидов. К тому же композиции «МиБАС» сами по себе обладают слабой фунгицидной активностью [6-8]. Однако это не решает проблему возможного загрязнения химическими фунгицидами почв и сельскохозяйственной продукции. Поэтому схема получения композиций (рис. 1)

предусматривает введение в них штамма ризосферных бактерий *Bacillus subtilis* Ч-13, способного подавлять развитие фитопатогенных грибов и бактерий, а также стимулировать рост растений [5]. Получаемые таким

образом бактериомикроэлементные композиции (табл. 2) могут стать средством для принципиального решения указанной проблемы.

Таблица 4. Урожайность и некоторые качественные показатели зерна озимой пшеницы и ячменя (средние результаты за три года)

№ п/ п	Варианты опыта	Урожай- ность, ц/га	Абсо- лютно сухое веще- ство, %	Содержание в абсолютно сухом веществе, %			
				N	P	K	Белок
озимая пшеница, сорт «Янтарная 50»							
1.	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ – Фон (контроль)	26.6	90.9	1.90	0.42	0.39	11.9
2.	Фон + лигнинная основа «МиБАС»	27.1	90.9	1.89	0.42	0.39	11.9
3.	Фон + «МиБАС» с Cu	30.4	91.1	2.00	0.52	0.34	12.5
4.	Фон + «МиБАС» с Zn	33.0	91.2	2.02	0.41	0.39	12.6
5.	Фон + «МиБАС» с Co	32.1	91.1	2.02	0.48	0.41	12.6
6.	Фон + «МиБАС» с Cu, Zn	33.5	90.9	2.03	0.49	0.39	12.7
7.	Фон + «МиБАС» с Cu, Zn, Co	33.8	92.2	2.18	0.47	0.42	13.6
ячмень, сорт «Зазерский-85»							
1.	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ - Фон	22.4	85.3	1.87	0.47	0.71	11.7
2.	Фон + лигнинная основа «МиБАС»	22.5	85.8	1.87	0.42	0.70	11.7
3.	Фон + «МиБАС» с Cu	24.5	86.4	1.90	0.47	0.74	11.9
4.	Фон + «МиБАС» с Zn	26.8	85.8	1.97	0.48	0.69	12.3
5.	Фон + «МиБАС» с Co	26.7	86.1	1.92	0.48	0.69	12.0
6.	Фон + «МиБАС» с Cu, Zn	27.3	86.4	2.08	0.51	0.75	13.0
7.	Фон + «МиБАС» с Cu, Zn, Co	27.9	86.6	2.11	0.51	0.83	13.2

Таблица 5. Содержание ряда элементов в зерне озимой пшеницы сорта "Янтарная-50", кг/т

№ п/п	Варианты опыта	Элементы*					
		Zn, 10 ⁻³	Cu, 10 ⁻³	Co, 10 ⁻³	Cd, 10 ⁻⁶	Pb, 10 ⁻⁶	Hg, 10 ⁻⁶
1	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ – Фон	9	2.0	0.07	9	79	7.1
2	Фон + лигнинная основа "МиБАС"	10	2.1	0.07	10	78	6.4
3	Фон + "МиБАС" с Cu	10	2.5	0.07	10	70	6.5
4	Фон + "МиБАС" с Zn	12	2.0	0.06	10	71	6.0
5	Фон + "МиБАС" с Co	10	2.0	0.06	10	71	5.4
6	Фон + "МиБАС" с Cu, Zn	10	2.1	0.07	10	69	5.6
7	Фон + "МиБАС" с Cu, Zn, Co	10	2.0	0.07	10	71	6.0

Примечание: *Средние результаты за три года

Предпосевную обработку семян проводили также как и в случае микроэлементных композиций. Образование полимерной пленки на поверхности семян обеспечивало равномерное распределение и устойчивое удержание бактериальной составляющей препарата. Проведенные предварительные испытания композиции с Cu, Zn и Co показали, что при обработке ей семян яровой пшеницы их всхожесть увеличилась на 3 %, сохранность растений к концу

вегетации возросла на 5% (табл. 6). Наблюдалось снижение поражения корневыми гнилями, как в фазе кушения (на 5%), так и в фазе колошения (на 37%). Этот эффект был существенно больше, чем для случая микроэлементной композиции «МиБАС». Таким образом, предпосевная обработка семян бактериомикроэлементной композицией обеспечивает лучшие стартовые условия для роста и развития яровой пшеницы.

Таблица 6. Влияние обработки семян бактериомикроэлементной композицией на всхожесть семян яровой пшеницы и поражение растений корневыми гнилями

Вариант	Лабораторные испытания		Полевые испытания				Поражение расте- ний корневыми гнилями	
			Всхожесть		Сохранность к уборке			
	энергия прораста- ния, %	всхо- жесть, %	растений, шт/м²	%	растений, шт/м²	%	кущение	колоше- ние
Контроль	92	95	231	77	236	102	25	70
Композиция «МиБАС» с Cu, Zn, Co	-	-	-	-	-	-	22	55
Композиция бактериомик- роэлементная с Cu, Zn, Co	94	96	236	80	253	107	17	33

Наблюдалось снижение поражения корневыми гнилями как в фазе кушения (на 5%), так и в фазе колошения (на 37%). Этот эффект был существенно

больше, чем для случая микроэлементной композиции «МиБАС». Таким образом, предпосевная обработка семян бактериомикроэлементной композицией

обеспечивает лучшие стартовые условия для роста и развития яровой пшеницы.

Выводы и рекомендации:

1. Разработана не имеющая аналогов в мировой практике схема получения экологически безопасных микроэлементных и бактериомикроэлементных композиций с использованием в качестве сырьевого ресурса ряда промышленных отходов.

2. Апробация микроэлементных композиций в сельскохозяйственном растениеводстве Нижегородской области и в других регионах страны показала высокую эффективность и конкурентную способность микроэлементных композиций.

3. Предложенная схема и успешная апробация микроэлементных композиций позволяют сформировать ресурсосберегающую концепцию, рассматривающую отходы одной отрасли как сырьевой источник для другой отрасли.

4. Наиболее перспективным направлением развития указанных исследований является биологическая модификация микроэлементных композиций с получением и применением в сельскохозяйственном растениеводстве бактериомикроэлементных композиций. С целью достижения синергетического действия их микроэлементной и бактериальной составляющих, необходимо проведение цикла исследования по определению оптимального соотношения ионов микроэлементов, бактерий и лигнинной основы в композициях, влиянию на усвоение азота из азотных удобрений и почвы, повышению устойчивости растений к заморозкам и засухе, снижению экологической нагрузки на почву и сельскохозяйственную продукцию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. 439 с.
2. Ионы металлов в биологических системах / под ред. Х. Зигель. – М.: Мир, 1982. 168 с.
3. Крылов, Е.А. Термодинамика гидратации органических катионообменных полимеров и получение на их основе биологически активных композиций. Дис. ... д.х.н. – Нижний Новгород: НГТУ, 1997. 280 с.
4. Крылов, Е.А. Производство и применение в сельском хозяйстве микроэлементсодержащих соединений / Е.А. Крылов, Б.А. Ягодин, А.Н. Косариков и др. // Химическая промышленность сегодня. 2004. № 6. С.9-17.
5. Чеботарь, В.К. Эффективность применения препарата экстрасол / В.К. Чеботарь, А.А. Завалин, Е.Н. Кипрушкина. – М.: ВНИИА, 2007. 230 с.
6. Потапенко, В.Н. Действие предпосевной обработки семян микроэлементсодержащими удобрениями «МиБАС» на продуктивность и качество зерновых культур. Дис. ... канд. с-х. наук. – М., ТСХА, 1998. 148 с.
7. Пат.2284705 Российская Федерация: МПК A23K 3/00, A01N 65/00, C05F 11/00. Высокоэластичная полимерная композиция для удобрений с фунгицидным действием / Крылов Е.А., Полищук О.В.; заявитель и патентообладатель ООО «Единая экологическая стратегия». – № 2004132937; заявл. 12.11.2004; опубл.10.10.2006, Бюл. №28. 5 с.
8. Пат.2326099 Российская Федерация: МПК C05F 11/08, A01N 65/00. Высокоэластичная полимерная композиция для защиты растений / Крылов Е.А., Полищук О.В.; заявитель и патентообладатель Крылов Е.А., Полищук О.В. – № 2005140711; заявл. 12.11.2004; опубл.10.06.2008, Бюл. №16. 5 с.
9. Потапенко, В.Н. Предпосевная обработка семян препаратом «МиБАС» / В.Н. Потапенко, Е.А. Крылов, О.Д. Шафранов, Б.А. Ягодин // Агрохим. вестник. 1998. №2. С. 30-32.
10. Ягодин, Б.А. Обеспечение сельскохозяйственного производства микроэлементами / Б.А. Ягодин, Е.А. Крылов // Агрохимия. 2000. № 12. С. 53-58.
11. Крылов, Е.А. Агрофизиологические основы действия микроэлементов и решение проблемы обеспечения ими агропромышленного комплекса / Е.А. Крылов, И.Б. Рабинович, В.И. Георгиевский и др. // Агрохим. вестник. 2003. № 2-3. С. 67-69.
12. Крылов, Е.А. /Обеспечение микроэлементным питанием сельскохозяйственных растений, животных и птицы / Е.А. Крылов, Н.И. Машин, Н.И. Сироткин и др. / Проблемы и перспективы развития агропромышленного производства. Монография, под общ. ред. Л.Б. Винничек. – Пенза: РИО ПГСХА. 2014. С. 137-158.

UTILIZATION OF BIOGENOUS METALS FROM INDUSTRIAL WASTES FOR PRODUCTION AND APPLICATION THE MICROELEMENT COMPOSITIONS IN AGRICULTURAL PLANT GROWING

© 2016 E.A. Krylov, U.E. Chechetkina, N.I. Mashin, E.A. Chernyaeva, L.L. Moiseyeva, I.S. Belyakova, A.I. Rechkin, V.V. Novikov

National Research Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevskiy

The ion-exchange technology of obtaining the microelement containing compositions for agricultural plant growing with utilization the microelement ions and lignin derivatives at number of industrial wastes is developed. The method of giving to compositions of fungicide properties by injection in them bacteria of *Bacillus subtilis* Ch-13 is offered. Characteristics of compositions and results of their application are provided in agricultural plant growing.

Key words: microelements, industrial wastes, ion-exchange technology, bacteria, biological modification, bacteria microelement compositions

Evgeniy Krylov, Doctor of Chemistry, Leading Research Fellow. E-mail: Krylov_Evg@list.ru; Ulyana Chechetkina, Leading Engineer at the Department of Molecular Biology and Biomedicine. E-mail: kmb@bio.unn.ru; Nikolay Mashin, Associate Professor at the Department of Photochemistry and Spectroscopy. E-mail: mashin@chem.unn.ru; Ekaterina Chernyaeva, Post-graduate Student; Larisa Moiseeva, Student; Irina Belyakova, Student; Alexander Rechkin, Candidate of Biology, Associate Professor at the Department of Molecular Biology and Biomedicine. E-mail: kmb@bio.unn.ru; Viktor Novikov, Doctor of Biology, Head of the Department of Molecular Biology and Biomedicine. E-mail: mbre@mail.ru