

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИМ ПРЕПАРАТОМ БИСОЛБИСАН В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ КАДМИЕМ

Л. Н. Ульяненко, А. С. Филипас, Н.Н. Лой, С. В. Круглов, Н.С. Степанчикова,

***В.К. Чеботарь**

*ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии» РАСХН
249032 Обнинск, Калужская область, Россия*

** ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
сельскохозяйственной микробиологии» РАСХН
196608 Санкт-Петербург, Пушкин, шоссе Подбельского д. 3, Россия*

Изучено влияние микробиологического препарата Бисолбисан (БСБ) на рост и развитие яровой пшеницы сорта Энита при выращивании растений на почве с фоновым и повышенным (5 и 50 мг/кг почвы) содержанием Cd в почве. Показано, что обработка семян и растений пшеницы препаратом способствует уменьшению негативного эффекта, обусловленного фитотоксичностью Cd. Выявлено снижение накопления металла в зерне яровой пшеницы за счет предпосевной обработки семян БСБ.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время в сельскохозяйственной практике все большее внимание уделяется внедрению современных средств защиты растений, позволяющих поддерживать стабильность агроценозов. Их применение направлено как на увеличение урожая, так и на повышение устойчивости растений к биотическим и абиотическим факторам. Такие химические вещества (активаторы защитных реакций растений, индукторы устойчивости, защитно-стимулирующие составы и т.п.), как правило, являются физиологически активными и, различаясь по цели действия и/или приему использования, воздействуют на метаболические процессы в растениях, способствуя реализации генетического потенциала растений.

Множество не имеющих природных аналогов синтетических регуляторов роста растений (РРР) и новые биопрепараты на основе живых микроорганизмов обладают ростстимулирующими свойствами, имеют антистрессовую и иммуностимулирующую активность, в том числе контролируют устойчивость растений к фитопатогенной инфекции [1, 2]. Вместе с тем, применение препаратов с рострегулирующей функцией на загрязненных почвах может привести к изменению поглощения корневой системой химических токсикантов или радионуклидов и (или) к перераспределению их между различными частями сельскохозяйственных культур [3].

Переход тяжелых металлов (ТМ) из почвы в растительные организмы является начальным и наиболее значимым звеном их миграции по пищевым цепям. Интенсивность процесса определяется химическими свойствами и физико-химическим состоянием элементов, свойствами почв и биологическими особенностями растений, а также условиями их выращивания. Загрязнение природной среды ТМ, обусловленное техногенными выбросами промышленных комплексов, представляет реальную угрозу получения экологически безопасной продукции, поэтому задача снижения поступления химических токсикантов в урожай сельскохозяйственных культур остается актуальной.

Целью исследования являлось изучение влияния предпосевной обработки семян яровой пшеницы микробиологическим препаратом Бисолбисан на рост, формирование

продуктивности и качество урожая культуры при выращивании растений на почве с фоновым и повышенным содержанием Cd.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объекта исследования была выбрана яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Энита. Использовали дерново-подзолистую среднесуглинистую почву с агрохимическими характеристиками: pH (KCl) 6,3; Нг 0,4 мг-экв/100г; гумус 1,79 %, емкость катионного обмена 20,4 смоль/кг; содержание P₂O₅ 67; K₂O 15,1 мг/100 г почвы.

Минеральные удобрения (NPK) вносили в почву в виде водных растворов солей NH₄NO₃, KCl и KH₂PO₄ в дозах: N-0,2; P₂O₅-0,14 и K₂O-0,14 г/кг почвы. Выбранные дозы NPK являются оптимальными для роста, развития и получения урожая зерновых культур на дерново-подзолистой почве. Cd добавляли в виде водного раствора соли Cd(NO₃)₂·4H₂O в концентрациях 5 и 50 мг (Cd₅ и Cd₅₀) металла на кг почвы соответственно. ПДК для дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы по ориентировочным данным разных авторов составляет около 2-х мг металла на 1 кг почвы. Выбранные концентрации Cd превышали ПДК в 2,5 и 25 раз, что моделировало слабое и интенсивное химическое загрязнение почвы.

Закладку вегетационного опыта проводили по общепринятой методике [4]. В просеянную через сито с отверстиями 2 мм и увлажненную дистиллированной водой до 60% от полной влагоемкости (ПВ) почву при тщательном перемешивании вносили в заданных дозах минеральные удобрения и ТМ. Почву набивали в полиэтиленовые сосуды объемом 5 л и инкубировали при комнатной температуре в течение 14 суток. Семена высевали в количестве 25 штук на сосуд. Пшеницу выращивали до полной спелости (3,5 месяца) при температуре 18-20 °С в условиях постоянной влажности почвы (60% от ПВ почвы). Размещение вегетационных сосудов меняли ежедневно по определенной схеме, обеспечивающей равномерную освещенность растений.

В соответствующих вариантах опыта семена пшеницы перед посевом обрабатывали препаратом Бисолбисан (вариант БСБ (с)) из расчета 1 л/т зерна при норме расхода рабочего раствора 10 л/т, и опрыскивали вегетирующие растения в фазу кущения (вариант БСБ (р)) 1%-ным раствором БСБ (расход 400 л/га). Обработку семян для вегетационного и лабораторного опытов проводили на лабораторной роторной установке типа RVO-64.

Препарат Бисолбисан (БСБ) разработан ООО «Бисолби-Интер», зарегистрирован в 2007 г. Россельхознадзором РФ в качестве протравителя семян озимой и яровой пшеницы. Он представляет чистую бактериальную культуру (штамм *Bacillus subtilis* Ч-13) в форме жидкой суспензии с содержанием биоагента не менее 100 млн. КОЕ в 1 мл препарата. В процессе своего роста бактерии препарата способны выделять вещества, подавляющие развитие фитопатогенных грибов и бактерий - возбудителей болезней корней системы зерновых культур. Кроме того, они синтезируют соединения, являющиеся природными ростостимуляторами. Действительно, большинство микроорганизмов способны синтезировать все важнейшие фитогормоны - ауксины (индолил-3-уксусная кислота ИУК), гибберелины, цитокинины, этилен и др., оказывая активное влияние на рост растения [5]. Поселяясь на корнях растений, *Bacillus subtilis* усиливают их иммунитет и устойчивость к стрессам, таким как заморозки и засуха. За счет активной колонизации корней растений полезными бактериями препарата Бисолбисан улучшается развитие корневых волосков, увеличивается их поглотительная способность, что способствует более эффективному поглощению питательных элементов из почвы и приводит к возможности сокращения доз внесения минеральных удобрений в почву при сохранении или даже увеличении урожайности культуры [6].

Контролем в опыте с пшеницей служил вариант (К) без обработок препаратом и без внесения ТМ. Повторность опыта 4-кратная.

В течение всего вегетационного периода вели наблюдение за развитием растений, отмечали время наступления фенофаз, измеряли высоту растений (см), рассчитывали площадь листовой поверхности - ПЛП (см²). Определяли сырую и абсолютно сухую (после высушивания растительного материала при температуре 105°С в течение 6 часов) массу растений. Растения убирали и определяли показатели структуры урожая.

После уборки урожая проводили оценку поражения растений пшеницы фитопатогенами (возбудители *Helminthosporium sativum* Pam., King et Bakke и *Fusarium graminearum* Shwabe.) [7].

Для оценки динамики поглощения ТМ пшеницей в процессе вегетации растения отбирали на 25 сутки и в фазу полной спелости (100 суток). Содержание Cd в почвенных вытяжках (при последовательной экстракции почвы растворами 1М CH₃COONH₄ (рН 4,8) и 1М HCl при соотношении почва: раствор = 1:10), а также в растениях, зерне и соломе (после мокрого озоления измельченного растительного материала смесью кислот HNO₃ и HClO₄ в соотношении 3:1) определяли методом атомной абсорбции (в расчете на абсолютно сухую массу) в пламенном варианте на приборе Varian Spectr AA 250+ [8].

При проведении лабораторных опытов обработанные БСБ (за 1 сутки до закладки опыта) и контрольные (ничем не обработанные) семена пшеницы в рулонах фильтровальной бумаги помещали в стеклянные стаканы емкостью 1 л с 50 мл дистиллированной воды [9] или раствора, содержащего Cd (5 или 50 мг/л) и инкубировали в термостате при 24°С в течение 7 суток.

Влияние БСБ на ростовые процессы, приращение биомассы и накопление Cd в растениях оценивали по отклонению усредненных для варианта значений соответствующих показателей от их значений в контроле. Достоверность различий между вариантами устанавливали на основе парного двухвыборочного t-теста для средних.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обработка семян яровой пшеницы сорта Энита БСБ перед проращиванием в рулонах в термостате в дистиллированной воде или в растворе Cd (концентрация 5 мг/л) стимулировала рост главного зародышевого корня (табл. 1) и практически не влияла на развитие ростка. Выявлено уменьшение деградации длины главного зародышевого корня при использовании БСБ только на более низкой концентрации Cd (вариант Cd₅+БСБ(с) по сравнению с вариантом Cd₅). Аналогичное селективное действие РРР отмечено, например, и для хитозана. Его применение для обработки семян гречихи также приводило к разнонаправленным эффектам – увеличению всхожести растений при высоких концентрациях нитрата кадмия (4 ПДК) и даже снижению показателя при низкой концентрации токсиканта – 1 ПДК [10].

Таблица 1. Морфометрические показатели 7-ми суточных проростков яровой пшеницы

Вариант	ЛВ, %	СР, %	Длина (см):		Масса 1 проростка (г):	
			ростка	корешка	сырая	сухая
Контроль	99	97	14,4	20,3	0,217	0,0226
Cd ₅	100	98	12,8*	17,5*	0,214	0,0215
Cd ₅₀	100	97	13,5*	14,8*	0,210	0,0220
БСБ (с)	98	97	15,2	21,8*	0,214	0,0215
Cd ₅ +БСБ(с)	98	95	12,8*	18,3*Δ	0,206	0,0215
Cd ₅₀ +БСБ (с)	98	97	13,6*	15,5*	0,198	0,0186*
НСР ₀₅	4,89	6,49	0,8	0,8	0,020	0,0027

ЛВ - лабораторная всхожесть; СР – сила роста семян

Здесь и далее: * - различия по сравнению с контролем значимы при $p=0.95$; Δ - различия по сравнению с тем же вариантом, но без обработки БСБ значимы при $p=0.95$

Повышенное содержание Cd в почве (5 мг/кг почвы), моделирующее слабое загрязнение, практически не отражалось на времени наступления и прохождения фенофаз растениями в течение вегетационного периода (до полного созревания урожая). Увеличение концентрации Cd до 50 мг/кг почвы, отражающее интенсивное почвенное загрязнение, приводило к задержке прохождения фенофаз на начальных стадиях развития растений (всходы – кущение) на 1-2 суток.

Повышенное содержание металла отрицательно сказывалось на росте растений только в период кущения, при этом, чем выше было загрязнение почвы Cd (5 и 50 мг/кг почвы), тем более выраженным было торможение роста растений. При выращивании пшеницы на загрязненной Cd почве высота растений в фазу кущения была ниже, чем в контроле (при загрязнении 50 мг/кг – различия с контролем достоверны на уровне $p=0.05$), хотя в последующем (в период цветения и далее вплоть до созревания урожая) эти различия нивелировались.

Предпосевная обработка семян БСБ при выращивании растений на почве с фоновым содержанием ТМ способствовала более интенсивному росту пшеницы на стадии конец выхода в трубку и сохранялось вплоть до созревания урожая. При комплексном применении препарата (обработка семян и последующее опрыскивание растений в фазу кущения) отмечено существенное увеличение высоты растений в фазы цветения и полной спелости.

Известно, что предпосевная обработка семян зерновых культур является эффективным, экономически выгодным и экологически безопасным технологическим приемом, способным защитить сельскохозяйственные культуры от болезней и вредителей и оптимизировать фитосанитарную обстановку [1, 2]. В условиях техногенного загрязнения почв использование приема инкрустации семян дает возможность снизить нагрузку на агробиоценозы за счет сокращения числа обработок вегетирующих растений [11]. Кроме того, в ряде случаев применение биологически активных веществ уменьшает поступление загрязняющих веществ в хозяйственно значимую часть урожая [3].

Применение Бисолбисана по-разному влияло на рост растений при их выращивании на загрязненной Cd почве. Более эффективным, с точки зрения снижения негативного влияния Cd, было комплексное применение препарата: высота пшеницы в этом варианте опыта превышала высоту растений без применения микробиопрепарата в среднем на 12%, начиная от фазы выхода в трубку и до конца вегетации.

Выявлено снижение площади листовой поверхности 25-суточных растений пшеницы, выращенных на загрязненной Cd (50 мг/кг) почве (на 35%), тогда как содержание Cd в почве в дозе 5 мг/кг значимо не влияло на этот показатель (табл. 2).

Таблица 2. Динамика площади листовой поверхности 25-ти суточных растений яровой пшеницы

Вариант	Площадь листьев (см ²):					Общая площадь листьев 1 растения, см ²
	1 лист	2 лист	3 лист	4 лист	5 лист	
К	1,6	4,9	9,7	9,3	2,9	28,4
Cd ₅	1,4	4,4	8,8	8,1	4,9	27,7
Cd ₅₀	0,9	3,0*	5,6*	6,6*	2,2	18,2*
БСБ (с)	1,7	4,8	10,1	8,4	4,0	29,0
БСБ (с+р)	1,6	5,1	9,9	10,3	6,2*	33,0
Cd ₅ +БСБ (с)	1,6	4,3	8,2	8,2	3,8	26,1
Cd ₅ +БСБ (с+р)	1,3	4,6	9,9	9,7	4,1	29,5
Cd ₅₀ +БСБ (с)	1,2	3,2*	5,5*	4,6*	0*	14,8*
Cd ₅₀ +БСБ (с+р)	1,4Δ	4,3Δ	8,0*Δ	8,0	2,7	24,1
НСР ₀₅	0,4	0,9	1,6	2,4	2,3	6,8

Обработка семян БСБ не оказывала стимулирующего влияния на формирование фотоассимиляционного аппарата, тогда как комплексное применение препарата

вызывало снижение ингибирующего влияния Cd, и величина ПЛП практически достигала контрольных значений.

Повышенное содержание Cd в почве (25 ПДК для дерново-подзолистой почвы) приводило к значительному снижению сырой и сухой массы 25-суточных растений (на 42 – 51 и 37 – 47%, соответственно по сравнению с контрольными значениями). При этом только при загрязнении почвы Cd в максимальной дозе комплексное применение БСБ нивелировало негативное влияние токсиканта на накопление биомассы растений.

Анализ показателей структуры урожая яровой пшеницы сорта Энита свидетельствует о стимулирующем влиянии БСБ. Отмечено увеличение урожайности растений, масса зерна с 1 растения возрастала на 30-39%. Наиболее выраженное влияние препарат оказывал на формирование урожая главного колоса (табл. 3).

Таблица 3. Структура урожая яровой пшеницы

Вариант	Кол-во стеблей, шт.	Кол-во продуктивных стеблей, шт.	Кoeffициент продуктивной кустистости	Высота растения с колосом, см	Масса соломы с 1 растения, г	Главный побег		Подгоны			Масса зерна с 1 растения, г	Масса 1000 зерен, г
						длина колоса, см	число зерен, шт.	масса зерна, г	число зерен, шт.	масса зерна, г		
К (контроль)	1,5	1,3	0,9	66,0	0,78	9,0	22,8	0,6	3,8	0,10	0,70	26,46
Cd ₅	1,5	1,3	0,9	63,6	0,81	9,0	24,5	0,77*	5,0	0,11*	0,87*	29,66*
Cd ₅₀	1,1*	1,0*	0,9	71,5	0,69	9,1	21,8	0,56	0*	0*	0,56*	25,54
БСБ (с)	1,3	1,1*	0,8	71,9	0,75	9,2	28,0*	0,94*	0,9*	0,02*	0,97*	33,47*
БСБ (с+р)	1,6	1,2*	0,8	75,4*	0,82	9,4	25,8	0,85*	2,5	0,07	0,91*	32,21*
Cd ₅ +БСБ (с)	1,2*	1,1*Δ	0,9	70,0	0,76	9,3	30,5*	1,09*Δ	0,9*Δ	0,03*Δ	1,12*Δ	35,52*Δ
Cd ₅ +БСБ(с+р)	1,0*	1,0*Δ	1,0	78,4*Δ	0,72	9,5	27,0*Δ	0,84*	0*Δ	0*Δ	0,84*	30,94*
Cd ₅₀ +БСБ(с)	1,1*	1,1*Δ	1,0	69,4	0,64*	8,5Δ	25,6Δ	0,77*Δ	1,0*	0,03*	0,80*Δ	30,09*Δ
Cd ₅₀ +БСБ(с+р)	1,2*	1,0*	0,8	73,2*	0,63*	8,7	25,1Δ	0,74*Δ	0*	0*	0,74Δ	29,33*Δ
НСР ₀₅	0,3	0,1	0,2	6,2	0,10	0,6	3,3	0,12	2,5	0,06	0,10	2,63

Кoeffициент продуктивной кустистости – отношение количества продуктивных к общему количеству стеблей

Высокие концентрации Cd в почве (50 мг/кг почвы) приводили к снижению общей (на 20-27%) и продуктивной (на 15-23%) кустистости. Масса зерна и соломы в этих вариантах по сравнению с контролем уменьшалась, и при более высоком содержании химического токсиканта в почве отмечено более выраженное снижение продуктивности.

Применение БСБ снижало фитотоксичность Cd и стимулировало формирование продуктивности пшеницы как в случае минимального (2,5 ПДК), так и максимального (25 ПДК) загрязнения почвы токсикантом. Обработка семян и комплексное применение препарата обеспечивало достоверное увеличение массы зерна (в расчете на 1 растение). Урожай зерна при обработке семян, а также комплексном применении БСБ и выращивании растений на загрязненной Cd (5 и 50 мг/кг) почве увеличивался на 29% и 32-42% соответственно по сравнению с теми же вариантами, но без применения БСБ.

Как правило, наибольшее количество ТМ локализуется в корнях, значительно меньше в надземных органах растений, особенно в генеративных, то есть наблюдается акропетальное распределение в результате существования нескольких барьеров, ограничивающих поступление ТМ с восходящим током веществ [12, 13]. Иммунизация ТМ в корневой системе может происходить за счет неметаболического необратимого связывания их ограниченным числом участков, расположенных на поверхности клеточной стенки и вдоль симпласта корней [14, 15]. В случае обратимого связывания иона компонентами клеточной стенки путем обменной физико-химической сорбции, он

может пассивно диффундировать в симпласт при наличии концентрационного градиента, что обеспечивает транспорт иона по растению.

Повышение продуктивности пшеницы при использовании БСБ обусловлено, по-видимому, индуцированной бактериями препарата активацией ферментных систем, связанных с поглощением минеральных веществ корнями растений, и стимуляцией ростовых процессов, в том числе при подавлении патогенной инфекции [2, 6]. В пользу этого свидетельствуют и результаты данного эксперимента о снижении на 20% степени развития и распространения пораженности корней пшеницы гельминтоспориозом (возбудитель *Helminthosporium sativum*) после уборки урожая в варианте БСБ (с+р)+Cd₅₀.

Применение БСБ для предпосевной обработки семян пшеницы или при обработке семян и растений не влияло на поступление Cd из почвы в растения при фоновом содержании металла в почве.

Известно, что в транспорте элементов в растения важную роль играют почвенные микроорганизмы, образующие растворимые лиганды с высоким сродством к Cd, а также хелатирующие агенты, которые могут либо повышать растворимость и поглощение Cd растениями, либо делать его недоступным для растений [16]. Предпосевная обработка семян БСБ независимо от уровня загрязнения почвы Cd (5 или 50 мг/кг почвы) приводила к снижению содержания металла в сухой массе 25-суточных растений, соломе и зерне, однако только на 25-е сутки наблюдения различия с контролем были достоверными. Отмечено значимое уменьшение поступления Cd в 25-суточные растения при комплексном применении препарата при выращивании растений на почве, загрязненной металлом в дозе 50 мг/кг.

Коэффициенты накопления (Кн) Cd в биомассе 25-ти суточных растений и соломе были близкими, тогда как в зерне – в 2-3 раза ниже (табл.4). Переход Cd из почвы в растения при выращивании ячменя на загрязненной почве был в 2-3 раза выше, чем в условиях фонового содержания.

Таблица 4. Коэффициенты накопления Cd растениями яровой пшеницы из почвы

Вариант	Кн (25-ти сут растения)	Кн (солома)	Кн (зерно)
К	3,5	2,5	1,3
БСБ (с)	3,1	2,7	0,9
БСБ (с+р)	3,1	1,8	0,9
НСР ₀₅	0,82	1,5	0,7
Cd ₅	2,6	2,6	0,8
Cd ₅ +БСБ (с)	1,8*Δ	1,8	0,6
Cd ₅ +БСБ(с+р)	2,6	2,4	0,6
НСР ₀₅	0,5	1,3	0,3
Cd ₅₀	1,1	1,1	0,2
Cd ₅₀ +БСБ(с)	0,9*Δ	0,9	0,2
Cd ₅₀ +БСБ(с+р)	0,9*Δ	1,1	0,2
НСР ₀₅	0	0,3	0,03

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что независимо от условий выращивания, использование микробиологического препарата Бисолбисан способствовало формированию более высокой продуктивности яровой пшеницы сорта Энита.

Применение Бисолбисана влияло как на снижение фитотоксического эффекта, обусловленного повышенным содержанием Cd в почве (фиксируемого по показателям роста и развития растений), так и проявлялось в изменении накопления металла в растениях в онтогенезе, особенно на ранних этапах развития ячменя. Эффективность Бисолбисана по снижению фитотоксического действия Cd в значительной мере определялась способом его применения (предпосевная обработка семян из расчета 1

л/т зерна (при норме расхода рабочей жидкости 10 л/т) или совместно с обработкой вегетирующих растений 1% раствором (400 л/га), этапом развития растений (фаза кущения, полная спелость) и содержанием металла в почве (фоновое или повышенное в 2,5-25 раз по сравнению с ПДК для дерново-подзолистой почвы).

Потенциальная возможность микробиологического препарата Бисолбисан снижать поступление Cd в урожай пшеницы может быть использована для разработки технологий возделывания зерновых культур на техногенно загрязненных территориях с целью ограничения поступления тяжелых металлов в урожай сельскохозяйственных культур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фитосанитарный щит для продовольствия России. / Под ред. В.А. Захаренко и К.В. Новожилова. М. СПб.: Интрейд корпорейшн, 1998. 140 с.
2. Чеботарь В.К., Завалин А.А., Кипрушкина Е.И. Эффективность применения биопрепарата экстрасол. М.: ВНИИА, 2007. 216 с.
3. Ульяненко Л.Н., Круглов С.В., Филипас А.С., Пименов Е.П., Лой Н.Н., Арышева С.П. Особенности накопления токсичных веществ (тяжелые металлы, радионуклиды) сельскохозяйственными культурами при использовании химических средств защиты растений // Труды регионального конкурса научных проектов в области естественных наук. Калуга. 2004. Вып. 6. С. 330-343.
4. Журбицкий З.И. Теория и практика вегетационного метода. - М.: Наука, 1968.- 206 с.
5. Frankenberger W.T., Arshad M. Phytohormones in soil: microbial production and function // New York. Marcel Dekker. 1995. 503 p.
6. Завалин А.А., Тарасов А.Л., Чеботарь В.К., Казаков А.Е. Эффективность применения под яровую пшеницу биопрепарата *Bacillus subtilis* Ч-13 при нанесении на гранулы аммиачной селитры // Агрохимия. 2007. №7. С. 32-36.
7. Гешеле Э.Э. Методическое руководство по фитопатологической оценке зерновых культур. Одесса. 1971. 180 с.
8. Методические указания по определению тяжелых металлов в кормах и растениях и их подвижных соединений в почвах. М.: ЦИНАО, 1993. С. 40.
9. Семена сельскохозяйственных культур. а) Методы определения качества. Часть 2. Государственные стандарты Союза ССР. ГОСТ 12038 – 84. М.: 1991. С. 44 – 101.
10. Рейзвих С.В. Влияние хитозана, гуминовых и фульвиновых кислот на фитотоксичность абиогенных металлов на ранних стадиях онтогенеза льна * и гречихи // Автореф. канд. дис. Барнаул. 2007. 23 с.
11. Ульяненко Л.Н., Филипас А.С., Тараненко В.В., Степанчикова Н.С. Повышение устойчивости агроценозов и улучшение качества растениеводства * продукции на радиоактивно загрязненных территориях // Мониторинг загрязнения почв сельскохозяйственными пестицидами и адсорбционные методы де * сикации: Матер. Всерос. науч. симпозиума. Краснодар, 26-28 октября 1993. Краснодар. 1993. С. 113 -114.
12. Ильин В.Б., Степанова М.Д. Распределение свинца и кадмия в растениях пшеницы, произрастающей на загрязненной этими металлами почвах // Агрохимия. 1980. №5. С. 114-120.
13. Ильин В. Б. Поступление тяжелых металлов в растения при их повышенном содержании в почве // Изв. СО АН СССР. Сер. биол. наук. 1981. № 10. Вып. 2. С. 49-56.
14. Cutler J.M., Rains D.W. Characterisation of cadmium uptake by plant tissue // Plant Physiology. 1974. Vol. 54. P. 67-71.
15. Petit C.M., van de Geijn S.C. In vivo measurements of cadmium (^{115m}Cd) transport and accumulation in steams of intact tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill). I. Long distance transport and local accumulation // Planta. 1978. Vol. 138. P. 137-143.
16. Cataldo D.A., Wildung R.C. Soil and plant factors influencing the accumulation of heavy metals by plants // Environ. F * erspect. 1978. Vol. 27. P. 149-159