

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
РУП «ИНСТИТУТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ И АГРОХИМИИ»
РУП «ИНСТИТУТ РАДИОЛОГИИ»

РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ВОЗДЕЛЫВАНИЮ КУКУРУЗЫ
НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ
СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ В УСЛОВИЯХ
РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ



НАЦИ

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСИ

**РЕСПУБЛИКАНСКОЕ НАУЧНОЕ ДОЧЕРНЕЕ
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ИНСТИТУТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ И АГРОХИМИИ»**

**РЕСПУБЛИКАНСКОЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ИНСТИТУТ РАДИОЛОГИИ»**

РЕКОМЕНДАЦИИ

**ПО ВОЗДЕЛЫВАНИЮ КУКУРУЗЫ НА ДЕРНОВО-
ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ В
УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

Минск 2009

УДК 633.15:631.438

ББК 40.40

Р36

Под редакцией академика И.М. Богdevича

Рекомендации рассмотрены, одобрены и утверждены Ученым советом РУП «Институт почвоведения и агрохимии» (протокол № 12 от 11 сентября 2008 г.), Ученым советом РНИУП «Институт радиологии» (протокол № 15 от 24 сентября 2008 г.)

Утверждены Научно-техническим советом Главного управления растениеводства Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь (протокол № 18 от 20 октября 2008 г.), Научно-техническим советом Департамента по ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (протокол №8 от 26 ноября 2008 г.)

Авторы:

И.М. Богdevич, В.В. Лапа, В.П. Жданович, Э.М. Батыршаев, И.И. Ивашкова, Л.Е. Одинцова (РУП «Институт почвоведения и агрохимии»), А.Г. Подоляк (РНИУП «Институт радиологии»)

Р36 **Рекомендации по возделыванию кукурузы на дерново-подзолистых супесчаных почвах в условиях радиоактивного загрязнения / под ред. И.М. Богdevича: Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2009. – 44 с.**

В рекомендациях обобщены и представлены результаты экспериментальных исследований по возделыванию кукурузы на зерно и зелёную массу на дерново-подзолистых супесчаных почвах загрязнённых радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr . Для подбора пригодных участков и прогноза накопления радионуклидов в зерне и зелёной массе кукурузы предложены коэффициенты перехода (K_p ^{137}Cs), дифференцированные по содержанию подвижного K_2O в почве и K_p ^{90}Sr , дифференцированные по степени кислотности почв $\text{pH}_{\text{КС}}$. Рекомендованы дозы минеральных удобрений, обеспечивающие снижение накопления радионуклидов в продукции кукурузы в два раза и окупаемость затрат прибавкой урожая с рентабельностью 50-70 % при возделывании на зелёную массу и 127-200 % при возделывании на зерно.

Рекомендации предназначены для руководителей и специалистов предприятий агропромышленного комплекса, преподавателей, аспирантов и студентов высших и средних учебных учреждений сельскохозяйственно-го профиля.

УДК 633.15:631.438

ББК 40.40

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, ЕДИНИЦ, ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
1. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ КУКУРУЗЫ	7
2. ПРОГНОЗ СОДЕРЖАНИЯ ^{137}Cs И ^{90}Sr В ЗЕРНЕ И ЗЕЛЕННОЙ МАССЕ КУКУРУЗЫ	10
2.1. ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ УРОВНИ (ПДУ) ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВ ^{137}Cs И ^{90}Sr ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КУКУРУЗЫ НА КОРМОВЫЕ ЦЕЛИ	13
2.2. ЗАВИСИМОСТЬ УРОЖАЙНОСТИ КУКУРУЗЫ ОТ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВ	14
3. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КУКУРУЗЫ В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕ	16
3.1. ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs И ^{90}Sr В ЗЕРНЕ И ЗЕЛЕННОЙ МАССЕ КУКУРУЗЫ	16
3.2. ПЕРЕХОД ^{137}Cs И ^{90}Sr В ЗЕЛЕНУЮ МАССУ И ЗЕРНО ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ	19
4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ ПОД КУКУРУЗУ НА ЗЕРНО И ЗЕЛЕНУЮ МАССУ	21
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	23
ЛИТЕРАТУРА	24
ПРИЛОЖЕНИЯ	26

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, ЕДИНИЦ, ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ

В рекомендациях приняты следующие термины и определения:

- **активность** – мера радиоактивности какого-либо количества радионуклида, находящегося в данном энергетическом состоянии на определенный момент времени;
- **Беккерель (Бк)** – единица активности, выраженная в виде одного ядерного превращения в секунду;
- **активность удельная (УА)** – отношение активности радионуклида в веществе к массе вещества (растение, почва и т.д.);
- **внутреннее облучение** – облучение организма, его отдельных органов и тканей излучением, испускаемым содержащимися в них радионуклидами;
- **загрязнение радиоактивное** – присутствие радиоактивных веществ на поверхности, внутри материала, в воздухе, в теле человека или в другом месте в количестве, превышающем уровни, принятые в установленном порядке;
- **контроль радиационный** – получение информации о радиационной обстановке в организации, в окружающей среде и об уровнях облучения людей (включает в себя дозиметрический и радиометрический контроль);
- **Кюри (Ки)** – внесистемная единица радиоактивности. Соответствует 3.7×10^{10} Бк в системе СИ;
- **коэффициенты перехода (Кп)** – отношение удельной активности радионуклида в растительном образце к плотности загрязнения почв;
- **радионуклид** – радиоактивные атомы с данным массовым числом и атомным номером, а для изомерных атомов – и с данным определенным энергетическим состоянием атомного ядра;
- **стронций (Sr)** – щелочноземельный металл второй группы периодической системы элементов. ^{90}Sr – радиоактивный изотоп стронция с периодом полураспада 28,8 года;
- **цезий (Cs)** – щелочной металл первой группы периодической системы элементов. ^{137}Cs – радиоактивный изотоп цезия с периодом полураспада 30 лет;
- **контрмера (защитное мероприятие)** – агрохимический или агротехнический прием, действие которого направлено на уменьшение накопления радионуклидов в конечной продукции.

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на то, что после катастрофы на ЧАЭС прошло более двадцати лет, проблема получения сельскохозяйственной продукции с допустимым содержанием радионуклидов остается актуальной. Радионуклиды цезий-137 и стронций-90 являются долгоживущими, их периоды полураспада составляют около 30 лет. Основная часть этих радионуклидов до настоящего времени находится в верхних, корнеобитаемых слоях почвы. Влиять на снижение содержания радионуклидов в продуктах питания можно на трех этапах: 1 – почва-растение; 2 – корм-животное; 3 – доработка и переработка сельскохозяйственного сырья. Ключевым в трофической цепи является звено «почва-растение». Контрмеры, применяемые на данном этапе, являются наиболее рациональными и оправданными [27, 32].

Кукуруза в Беларуси является важной сельскохозяйственной культурой, которая используется для производства зеленой массы, силоса и зернофуража. Обладая высоким потенциалом продуктивности, она дает высокие урожаи как во влажные, так и в засушливые годы. Кукуруза сравнительно хорошо выдерживает монокультуру и требует меньше затрат на защиту от болезней и вредителей. В экстремальных условиях весенне-летней засухи, когда основные зерновые резко снижают урожайность, кукуруза формирует урожай зерна в 1,5-3,0 раза выше колосовых культур. Есть и другие достоинства при выращивании кукурузы на зерно: возможность длительной уборки без потерь (до одного месяца) и отсутствие полегания на высоком фоне удобрений [9, 12, 13, 29].

По результатам последнего тура агрохимического и радиологического обследования установлено, что 597 тыс. га пахотных почв загрязнено радионуклидом ^{137}Cs с плотностью свыше 1 Ки/км². Значительная часть пашни (195 тыс. га) одновременно загрязнена и ^{90}Sr с плотностью 0,15–3,0 Ки/км². Производство нормативно чистой сельскохозяйственной продукции (соответствующей требованиям РДУ) без применения защитных мероприятий на таких землях практически невозможно. Основные площади (95%) пахотных земель, загрязненных ^{90}Sr , находятся в Гомельской области, природно-климатические условия которой наиболее благоприятны для возделывания кукурузы на зерно и позволяют не только полностью обеспечить регион семенным материалом, но и произвести его для других областей республики. Таким образом, есть потенциальная возможность исключить импорт дорогостоящих семян кукурузы. Однако урожайность кукурузы на зеленую массу и зерно в нашей стране продолжает оставаться невысокой и в среднем за 2002 – 2007 гг. составила, соответственно, 219 и 43,6 ц/га [10] (табл. 1).

Таблица 1. Площади посева и урожайность кукурузы в Республике Беларусь (среднее 2000–2007 гг.)

Область	Зеленая масса		Зерно	
	площадь посева, тыс. га	урожайность, ц/га	площадь посева, тыс. га	урожайность, ц/га
Брестская	88,9	258	5,3	46,1
Витебская	41,1	124	2,3	42,5*
Гомельская	78,2	175	19,8	40,4
Гродненская	57,1	355	5,1	53,9
Минская	85,4	300	17,0	43,7
Могилевская	67,1	103	4,9	35,1
Всего по РБ	417,8	219	54,4	43,6

* за 2007 г.

Проведение комплекса агрохимических и агротехнических защитных мероприятий (контрмер): известкование почв, внесение органических, минеральных и микроудобрений, подбор культур и сортов способствует уменьшению перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в растения и одновременно позволяет повысить урожайность возделываемых культур и плодородие почв.

Совершенствование основных элементов технологии возделывания кукурузы с учетом снижения величины перехода радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в продукцию, является актуальным и в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС. Необходимо, прежде всего, расширить и обновить базу данных коэффициентов перехода радионуклидов из почвы в зеленый корм и зерно кукурузы. Достоверность и надежность прогноза будет повышаться при использовании новых экспериментальных данных. Особенно актуально получение экспериментальных параметров перехода радионуклидов в зерно новых гибридов кукурузы, производимых в Беларуси, и импортируемых из Молдовы, России, Венгрии, Франции и других стран и используемых на загрязненных радионуклидами землях.

В рекомендациях представлены данные, необходимые для прогноза накопления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в зерне и зелёной массе основных районированных гибридов кукурузы в зависимости от содержания подвижного калия и реакции дерново-подзолистых супесчаных почв. Предложены агротехнические и агрохимические защитные мероприятия, апробированные в полевых опытах Гомельского территориального отдела сельскохозяйственной радиологии и отдела плодородия почв РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в рамках направления Государственной программы Республики Бела-

русь по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС: «Научное обеспечение реабилитации загрязненных радионуклидами территорий и защитных мероприятий в сельскохозяйственном производстве».

Выполнение данных рекомендаций в условиях производства обеспечит гарантированное получение полноценной кормовой продукции кукурузы и позволит сократить объемы производства зерна и зеленой массы данной культуры с превышением Республиканских допустимых уровней (РДУ).

1. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ КУКУРУЗЫ

Кукуруза – *Zea mays* L. – однолетнее растение семейства Злаковые (Graminaceae). Растение однодомное, раздельнополое, перекрестноопыляющееся. Корневая система – мочковатая, мощная. Основная масса корней находится в слое 0-40 см, а рабочая поверхность в виде тонких разветвлений и ризосферы – в слое 20-60 см.

Стебель высотой от 1,6 до 3,6 м и более, хорошо облиственный, заполнен губчатой сердцевинной, состоит из узлов и междоузлий в количестве 8-12 у раннеспелых форм и 24-40 – у позднеспелых. В пазухах листьев на 5-8-ом надземных узлах образуется от 1 до 4 женских соцветий (початков). Мужское соцветие – метелка образуется на продолжении верхнего междоузлия. Плод у кукурузы – зерновка, масса 1000 семян от 100-150 до 300-400 г, зерновка белого, кремового, желтого, оранжевого, красного, фиолетового, черного цветов. Початок в среднем имеет 500-600 зерен.

Кукуруза – теплолюбивая и светолубивая культура короткого дня. Она плохо переносит резкие колебания температуры почвы и воздуха. При достатке влаги в почве проросток семени пробуждается при температуре 6 °С, прорывает оболочку при 8 °С, а всходы появляются только при 10 °С. Температурный фактор сильное влияние оказывает также и на длину межфазных периодов развития. Минимальная температура для появления всходов, а осенью для наращивания массы и созревания зерна +10 °С. Хорошо растет кукуруза при среднесуточной температуре 15 °С. Кратковременные весенние заморозки до -2 – -3 °С (а на плодородных участках до -4 – -5 °С) не губят точку роста, и с наступлением тепла растение возобновляет свой рост. Заморозки в период цветения сокращают озерненность початков. При недостатке тепла рост и развитие растений сильно задерживаются, урожайность резко снижается. Растения кукурузы плохо переносят затенение. В загущенных посевах развитие их задерживается, и початки не образуются.

Родиной кукурузы считается Южная и Центральная Америка, чем и объясняется ее высокая потребность в тепле. Каждой группе спелости гибридов кукурузы соответствует определенная сумма эффективных температур, необходимая для достижения той или иной фазы спелости зерна (табл. 2) [29].

Таблица 2. Тепловой режим гибридов различных групп спелости (среднее за 2000 – 2007 гг.)

Группа спелости	ФАО	Сумма эффективных температур от сева до спелости зерна, °С			
		полной	восковой	молочно-восковой	молочной
Раннеспелые	131-180	820-870	770-820	720-770	670-720
Среднеранние	181-230	870-920	820-870	770-820	720-770
Среднеспелые	231-280	920-970	870-920	820-870	770-820
Среднепоздние	281-330	1080-1130	970-1020	880-930	820-870

В последние годы отмечается существенное увеличение сумм эффективных температур, что позволяет получать не только качественное силосное сырье, но и зрелое зерно раннеспелых гибридов даже в некоторых районах Витебской области. Сеют кукурузу во второй половине апреля – первой половине мая, при прогревании почвы до 8-10 °С, убирают до наступления заморозков. Максимальная продуктивность и сохранность питательных веществ достигается при уборке ее в восковой спелости.

Кукуруза – засухоустойчивое растение. Для нормального роста и развития требует оптимальной влажности почвы несколько ниже, чем у других культур – 60-70% от полной влагоёмкости. Однако при недостатке влаги в период интенсивного роста (10 дней до выбрасывания метелок и около 20 дней после него) резко сокращается урожайность. В то же время избыточное увлажнение задерживает рост и развитие растений.

Кукуруза является одной из культур, наиболее требовательных к условиям произрастания и минерального питания. Для возделывания кукурузы необходимы воздухопроницаемые, с глубоким гумусовым горизонтом, хорошо обеспеченные питательными веществами в доступных формах, слабокислые или с нейтральной реакцией (рН 5,5-7,0) почвы. Лучшими почвами для нее являются легко- и среднесуглинистые и супесчаные, подстилаемые мореной, почвы. Непригодны для возделывания кукурузы глинистые и переувлажненные почвы [30].

Лучшие предшественники для кукурузы – пропашные, зернобобовые, однолетние и многолетние бобовые травы, а также удобренные навозом зерновые. Однако для получения высокого урожая кукурузы

решающее значение имеют запасы питательных веществ в почве и ее влагообеспеченность. При выборе участка необходимо обращать внимание и на заселенность почвы проволочником – опасным для кукурузы вредителем. Его наличие лучше определять в предшествующий посеву кукурузы год и при заселенности более 5 шт./м² проводить обработку семян инсектицидами – гаучо (4-5 л/т), командор (7 л/т) и другими [22, 29]. Кукуруза дает высокие урожаи и при повторном возделывании. Такие посевы в течение 2 – 3 лет на одном участке позволяют легче подобрать пригодное поле по плодородию, упростить систему обработки почвы и борьбы с сорной растительностью, эффективно использовать органические удобрения, гербициды и получать высокую урожайность.

Кукуруза относится к кормовым культурам, сравнительно мало накапливающим радионуклиды. По накоплению ¹³⁷Cs в зеленой массе культуры располагаются в убывающий ряд: многолетние злаковые травы > люпин > рапс > многолетние > бобово-злаковые смеси > клевер > горох > горохо-овсяная и вико-овсяная смеси > **кукуруза**. Только картофель и кормовая свекла накапливают ¹³⁷Cs меньше, чем зеленая масса кукурузы.

По накоплению ⁹⁰Sr в зеленой массе культуры располагаются в следующем по убыванию порядке: клевер > люпин > горох > многолетние злаковые травы на пойменных землях > многолетние злаково-бобовые смеси > вика > рапс яровой > горохо-овсяные и вико-овсяные смеси > травы естественных сенокосов > травы на осушенных землях > травы на пахотных землях > **кукуруза**. Только в корнеплодах кормовой свеклы содержание ⁹⁰Sr меньше, чем в зеленой массе кукурузы, а клубнях картофеля меньше, чем в корнеплодах свеклы [32].

Кукуруза – важное сырье для производства крахмала, декстринов и спирта. Ее многосторонне используют в качестве сырья для пищевых продуктов.

Кукуруза возделывается, преимущественно, на фуражные цели. Занимая в мире 20% в структуре зернового клина, она обеспечивает 30% валовых сборов зерна. Это самая урожайная в мире и нашей стране зерновая культура. Средняя урожайность зерна кукурузы в мире приблизилась к 5 т/га. Во многих странах Западной Европы она в два и более раз превышает среднюю мировую урожайность. Из кукурузы заготавливают не только сочные, но и концентрированные корма с высокой концентрацией энергии. Это обуславливает превосходные качества корма для животных. Достоинством этой культуры является улучшение качества зелёной массы после фазы цветения с одновременным ростом урожая сухого вещества и выхода кормовых единиц. Ее питательная ценность в зависимости от фазы развития растений изменяется в пределах от 13-15 до 28-30 кормовых единиц

на 100 кг силосной массы, а общий сбор с гектара, по данным государственного сортоиспытания, приближается к 20 тыс. к. ед.

Зерно кукурузы имеет высокую энергетическую ценность: один килограмм приравнивается к 1,34 кормовым единицам, тогда как 1 кг ячменя – 1,26, ржи – 1,18, овса – 1,0. Кукурузное зерно – превосходный источник энергии, но оно бедно протеином (9-11%) [29].

Рассматривая динамику посевных площадей кукурузы на кормовые цели в Республике Беларусь за длительный период с 1961 по 2007 гг. [21], следует отметить её нестабильность (рис. 1).



Рис. 1. Динамика посевных площадей кукурузы в Республике Беларусь (по П.И. Никончику, 2008)

Это объясняется как повышенной требовательностью кукурузы к уровню плодородия почв, высоким дозам органических и минеральных удобрений, так и невысоким уровнем урожайности зеленой массы в результате нарушения технологических регламентов, особенно в годы с неблагоприятными погодными условиями. Стремительное удорожание энергоносителей делает экономически невыгодным возделывание кукурузы при низкой урожайности (менее 300 ц/га зеленой массы). По оценкам академика Л.В. Кукреша и профессора М.А. Кадырова, совокупные затраты энергии на формирование 1 ц кормовых единиц из клевера составляют только 98,2 Мдж, что в 4,5 раза меньше, чем при возделывании кукурузы на силос [14].

В последние годы в республике динамично развивается животноводство и увеличивается потребность в высококачественных кормах, что создает материально-технические предпосылки для повышения урожайности кукурузы и расширения ее посевных площадей. Создание отечественного семеноводства кукурузы в НПЦ НАН Беларуси по земледелию позволяет возделывать кукурузу на зерно на большой площади. Однако потенциал продуктивности новых гибридов кукурузы используется не полностью и урожайность зерна в большинстве хозяйств не превышает 50 ц/га. В то же время, в передовых хозяйст-

вах («Снов» Несвижского, «Прогресс», «Октябрь» Гродненского, «Дружба» Барановичского районов и ряде других) намолот зерна кукурузы достигает 100 и более центнеров с 1 га [29].

Расширение посевов кукурузы при возделывании ее на зерно позволяет пополнить кормовую базу в южных районах Беларуси, где посевы многолетних бобовых трав зачастую ограничиваются засушливыми периодами вегетации и высокой плотностью загрязнения почв радионуклидами [27].

2. ПРОГНОЗ СОДЕРЖАНИЯ ^{137}Cs И ^{90}Sr В ЗЕРНЕ И ЗЕЛЕННОЙ МАССЕ КУКУРУЗЫ

Для планирования мероприятий по уменьшению поступления ^{137}Cs и ^{90}Sr в организм человека используется прогноз радиоактивного загрязнения растениеводческой продукции на загрязнённых радионуклидами землях [23]. По результатам обследования почв используется информация по плотности загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr и агрохимическим показателям почв по каждому элементарному участку.

Для прогноза содержания радионуклидов в продукции кукурузы и оценки ее в сопоставлении с «Республиканскими допустимыми уровнями содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в сельскохозяйственном сырье и кормах» (приложение 1) необходимо располагать следующими данными:

- коэффициенты перехода (пропорциональности) – $K_{п}$ ^{137}Cs и ^{90}Sr для зеленой массы и зерна кукурузы (табл. 3 и 4);
- вид продукции (продовольствие, фураж);
- по результатам почвенного, агрохимического и радиологического обследования сельскохозяйственных земель хозяйства, представленным в агрохимических паспортах хозяйств и на картограммах областных проектно-изыскательских станций химизации:
 - тип почвы;
 - плотность загрязнения почвы ^{137}Cs и ^{90}Sr ;
 - содержание подвижных форм K_2O ;
 - степень кислотности почвы pH_{KCl} .

Расчет уровня загрязнения продукции производится по формуле:

$$\text{УА} = K_{п} \times П \times 37 \quad (1), \text{ где}$$

УА – удельная активность зерна, Бк/кг;

$K_{п}$ – коэффициент перехода (Бк/кг:кБк/м²) ^{137}Cs в зависимости от обеспеченности почв калием или ^{90}Sr – от реакции почвы (см. табл. 3 и 4);

П – плотность загрязнения почв, Ки/км².

Пример расчета:

Определить удельную активность зерна кукурузы ^{137}Cs при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве с плотностью загрязнения ^{137}Cs 925 кБк/м^2 (25 Ки/км^2) и содержанием подвижного калия 230 мг/кг почвы.

В табл. 3 находим значение K_p ^{137}Cs для зерна при обеспеченности почвы подвижным калием $201 - 300 \text{ мг/кг}$ почвы, который равен $0,03$. Прогнозируемая удельная активность зерна составит:

$$0,03 \times 25 \times 37 = 28 \text{ Бк/кг.}$$

Данное зерно может быть использовано на фуражные цели без ограничений, поскольку содержание радионуклида в нём не превышает установленный норматив – 180 Бк/кг (прил. 1). Более того, такое зерно пригодно для продовольственных целей (норматив – 90 Бк/кг) и для переработки на детское питание (55 Бк/кг).

Аналогичным образом производятся расчеты для прогноза содержания ^{90}Sr , при этом учитывается степень кислотности почвы (табл. 4).

Активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в зелёной массе кукурузы прогнозируется аналогично указанному выше расчету.

Параметры перехода радионуклидов из почв в сельскохозяйственные культуры отличаются весьма большой вариабельностью. Из всех физико-химических характеристик, оказывающих влияние на подвижность и доступность ^{137}Cs и ^{90}Sr , исследователями выделено около десяти основных, которые по возрастающей значимости можно расположить в следующий ряд: влажность, соотношение форм нахождения радионуклидов, гранулометрический состав, минералогический состав, содержание органического вещества, содержание подвижного K_2O , обменных CaO и MgO , емкость катионного обмена, величина обменной кислотности pH_{KCl} . Определение влияния отдельных почвенно-климатических факторов и агрохимических свойств на поступление радионуклидов в сельскохозяйственные культуры является сложной задачей, поскольку большинство из них тесно взаимосвязаны между собой, и изменение одного из них приводит к изменению всего комплекса показателей в целом [2, 5, 7, 11, 26].

В нормативных документах, действующих на территории Беларуси, России и Украины, в условиях производства для прогноза содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в сельскохозяйственных культурах и кормах на всех типах почв используются два агрохимических показателя: содержание подвижного калия для прогноза ^{137}Cs и величина обменной кислотности pH_{KCl} для прогноза ^{90}Sr [2, 11, 27].

На основании данных полевых опытов и исследований производственных посевов установлены корреляционные связи между величиной коэффициентов перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr для зеленой массы и

зерна кукурузы и основными агрохимическими свойствами дерново-подзолистых супесчаных почв. В производственных посевах на дерново-подзолистых супесчаных почвах с различным содержанием подвижных форм калия и различной степенью кислотности ($pH_{КС}$) наиболее загрязненных участков в Брагинском, Буда-Кошелевском, Ветковском, Добрушском, Калинковичском, Лоевском, Мозырском, Хойникском и Чечерском районах Гомельской области в 2003 – 2007 гг. проведён отбор сопряженных проб почвы и растений кукурузы со 113 учетных площадок.

Плотность загрязнения почвы обследованных производственных посевов под кукурузой составила для ^{137}Cs от 37 до 1480 кБк/м² (от 1,0 до 40,0 Ки/км²) и для ^{90}Sr – от 3,7 до 74 кБк/м² (0,1-2,0 Ки/км²). Удельная активность зеленой массы кукурузы варьировала в широких пределах за годы исследований. Содержание ^{137}Cs различалось от 2 до 42 Бк/кг, содержание ^{90}Sr – от 1 до 125 Бк/кг. По результатам исследований установлены дифференцированные коэффициенты перехода радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr для зерна и зелёной массы кукурузы (табл. 3 и 4).

Таблица 3. Коэффициенты перехода ^{137}Cs в зерно и зеленую массу кукурузы в зависимости от содержания подвижного калия в дерново-подзолистых супесчаных почвах

Вид корма	Содержание K_2O , мг/кг почвы				
	<80	81-140	141-200	201-300	>300
Зерно (влажность 14%)	-	0,09	0,06	0,03	0,03
Зеленая масса (влажность 82%)	-	0,12	0,08	0,04	0,03

Кукуруза характеризуется сравнительно невысокими параметрами накопления ^{137}Cs как в зерне, так и в зеленой массе кукурузы. Коэффициенты перехода ^{137}Cs для продукции кукурузы существенно снижаются (до 3 раз) по мере повышения содержания подвижного калия в дерново-подзолистых супесчаных почвах в диапазоне от 100 до 300 мг K_2O на кг почвы (рис.2).

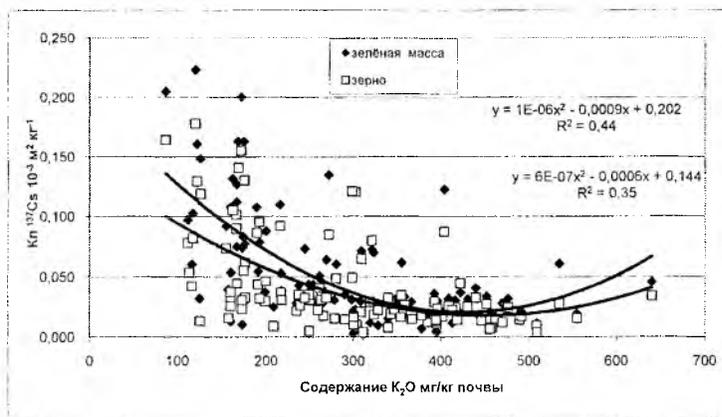


Рис. 2. Зависимость перехода ^{137}Cs в зерно и зеленую массу кукурузы от содержания подвижного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве

Дальнейшее повышение подвижного калия в почве до уровня 400-450 мг/кг сопровождается незначительным уменьшением коэффициента перехода ^{137}Cs для продукции кукурузы. При избыточном содержании K_2O в диапазоне 450-650 мг/кг почвы наблюдается повышение перехода ^{137}Cs , особенно в зеленую массу кукурузы.

Установлено заметное (до 2 раз) снижение параметров перехода ^{137}Cs в зеленую массу и зерно кукурузы по мере нейтрализации реакции супесчаных почв от сильнокислой до нейтральной в диапазоне pH_{KCl} 4,5-6,5. Однако последние показатели коррелируют менее тесно, чем в зависимости перехода ^{137}Cs в продукцию от содержания подвижного калия в почве.

Кукуруза отличается более высоким накоплением ^{90}Sr , чем ^{137}Cs в продукции. При равной плотности загрязнения почвы кукуруза накапливает ^{90}Sr в зеленой массе и в зерне на порядок больше, чем ^{137}Cs . Известно, что переход ^{90}Sr в сельскохозяйственные растения в наибольшей мере снижается по мере насыщения поглощающего комплекса почвы кальцием и смещения реакции от кислой до нейтральной. Это можно видеть и на примере проведенных исследований 2003-2007 гг. на производственных посевах кукурузы (рис. 3).

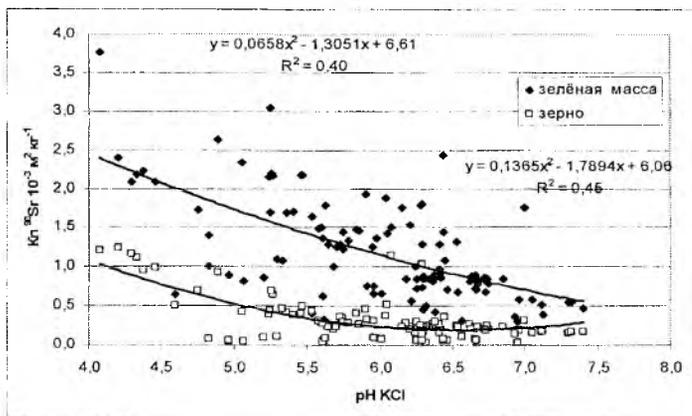


Рис. 3. Зависимость перехода ^{90}Sr в зерно и зеленую массу кукурузы от степени кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы

При нейтрализации кислотности супесчаной почвы от pH 4,5 до 7,0 переход ^{90}Sr в зеленую массу кукурузы снижается втрое, а в зерно – в четыре раза. Для удобства прогноза в табл. 4 приведены средние коэффициенты перехода ^{90}Sr в зеленую массу и зерно кукурузы по группам кислотности супесчаных почв.

Таблица 4. Коэффициенты перехода ^{90}Sr в зерно и зеленую массу кукурузы в зависимости от реакции дерново-подзолистых супесчаных почв

Вид корма	рН _{КСl}					
	<4,5	4,6-5,0	5,1-5,5	5,6-6,0	6,1-7,0	>7,0
Зерно (влажность 14%)	0,89	0,64	0,43	0,28	0,20	0,17
Зеленая масса (влажность 82%)	2,22	1,90	1,57	1,28	0,91	0,62

Повышение содержания подвижного калия в почве в диапазоне 100-300 мг K_2O на кг почвы в меньшей степени, но также способствует снижению в 1,7-2 раза перехода ^{90}Sr в зеленую массу и зерно кукурузы.

При необходимости прогноза накопления ^{90}Sr в зеленой массе и зерне кукурузы возделываемой на суглинистых почвах необходимо использовать понижающий коэффициент к параметрам табл. 4 и умножить их на 0,7. Для кукурузы возделываемой на песчаных почвах, наоборот, коэффициенты перехода указанные в табл.4 увеличиваются в 1,3 раза.

2.1. ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ УРОВНИ (ПДУ) ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВ ^{137}Cs И ^{90}Sr ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КУКУРУЗЫ НА КОРМОВЫЕ ЦЕЛИ

Для ограничения поступления радионуклидов в организм человека, а, следовательно, и доз внутреннего облучения населения в республике разработаны «Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция – 90 в сельскохозяйственном сырье и кормах (РДУ)» (приложение 1).

В соответствии с законом Республики Беларусь «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС» сельскохозяйственное производство разрешено при плотности загрязнения почв ^{137}Cs до 1480 кБк/м^2 (40 Ки/км^2) и ^{90}Sr до 111 кБк/м^2 (3 Ки/км^2) [27].

Для того, чтобы определить предельно допустимые уровни (ПДУ) загрязнения почвы радионуклидами, при которых удельная активность полученной продукции будет соответствовать РДУ для использования на заданные цели, необходимо разделить нормативную предельно допустимую величину загрязнения кормов (зеленой массы или зерна из приложения 1) на коэффициент перехода ^{137}Cs или ^{90}Sr из табл. 3 и 4.

Не имеется ограничений по плотности загрязнения супесчаных почв ^{137}Cs при возделывании зерна кукурузы на корм скоту. Только для производства продовольственного зерна кукурузы с допустимым содержанием ^{137}Cs менее 90 Бк/кг имеется ограничение по плотности загрязнения почвы менее 1059 кБк/м^2 (менее $28,6 \text{ Ки/км}^2$) при низком содержании подвижного калия, менее $140 \text{ мг К}_2\text{О}$ на кг почвы. При более высоком содержании подвижного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве возделывание продовольственного зерна кукурузы не ограничивается высокой плотностью загрязнения ^{137}Cs .

Ограничения по плотности загрязнения почв ^{90}Sr при подборе пригодных участков для получения продовольственного зерна кукурузы существенно зависят от степени кислотности почв (табл. 5).

Например, на сильнокислой супесчаной почве ($\text{pH} < 4,5$) продовольственное зерно кукурузы можно получить только при плотности загрязнения ^{90}Sr менее $0,3 \text{ Ки/км}^2$. Даже на почвах с нейтральной реакцией ($\text{pH} 6,1-7,0$) плотность загрязнения ^{90}Sr должна быть менее $1,5 \text{ Ки/км}^2$, чтобы вырастить продовольственное зерно. Пригодное кормовое зерно по содержанию ^{90}Sr можно получать на всех загрязненных супесчаных почвах, где разрешено ведение сельскохозяйственного производства.

При возделывании кукурузы на зеленый корм и силос для получения цельного молока имеются существенные ограничения по плотности загрязнения ^{90}Sr и степени кислотности почв (табл. 5).

Таблица 5. ПДУ загрязнения дерново-подзолистых супесчаных почв ^{90}Sr для получения зерна и зеленой массы кукурузы, соответствующих требованиям РДУ

Продукция	^{90}Sr , кБк/м ² (Ки/км ²) при степени кислотности рН _{КС}					
	<4,5	4,6-5,0	5,1-5,5	5,6-6,0	6,1-7,0	>7,0
Продовольственное зерно, содержание ^{90}Sr < 11 Бк/кг	12,4 (0,33)	17,2 (0,46)	25,6 (0,69)	39,3 (1,06)	55,0 (1,49)	64,7 (1,75)
Зерно на корм для производства цельного молока, содержание ^{90}Sr < 100 Бк/кг	<111 (<3,0)	<111 (<3,0)	<111 (<3,0)	<111 (<3,0)	<111 (<3,0)	<111 (<3,0)
Зеленая масса для производства цельного молока, содержание ^{90}Sr < 37 Бк/кг	16,7 (0,45)	19,5 (0,53)	23,3 (0,64)	28,9 (0,78)	40,8 (1,10)	59,3 (1,60)

2.2. ЗАВИСИМОСТЬ УРОЖАЙНОСТИ КУКУРУЗЫ ОТ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВ

Агрохимические свойства почв не только определяют переход радионуклидов в растения и накопление их в продукции, но и в значительной мере влияют на величину урожайности. В наших исследованиях урожайность кукурузы варьировала в широких пределах: от 99 до 934 ц/га зеленой массы и от 12 до 149 ц/га зерна. В табл. 6 приведены результаты учетов урожая кукурузы сгруппированные с интервалом 200 ц/га зеленой массы в сопоставлении со средними показателями агрохимических свойств почв.

Таблица 6. Агрохимические свойства дерново-подзолистых супесчаных почв на учетных площадках с различной урожайностью кукурузы (2003-2007 гг.)

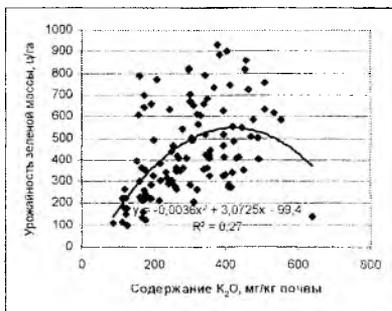
Группы по урожайности зеленой массы, ц/га	Количество учетов	Урожай зерна, ц/га	Агрохимические свойства почв					
			рН _{КС}	Гумус, %	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO
<200	10	22,7	4,90	1,61	262	184	51	454
201-400	44	38,6	6,05	1,99	308	253	152	709
401-600	29	54,0	6,14	2,20	339	366	149	752
601-800	23	84,8	6,12	2,19	342	321	147	747
>800	7	93,2	6,19	2,99	357	382	181	933
По совокупности	113	53,9	6,00	2,11	322	298	143	719

Известно, что урожайность кукурузы зависит от множества факторов, включая уровень плодородия почв, удобрения, комплекс защиты растений от сорняков, болезней и вредителей, метеорологические условия, уровень материально-технического обеспечения хозяйства и организации труда. Была получена урожайность более 600 ц/га зеленой массы (более 80 ц/га зерна) на участках с оптимальными агрохимическими показателями плодородия почв. В данной совокупности учетных площадок урожайность зерна была в тесной корреляционной связи с урожайностью зеленой массы и описывалась уравнением $Y(\text{зерно ц/га}) = 8,5 + 0,1x$, $R^2 = 0,98$, где x – урожайность зеленой массы.

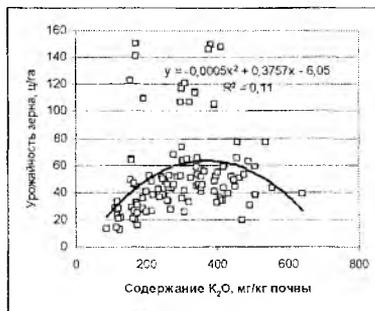
В целом, в исследуемой совокупности учетов урожайность зеленой массы (Y , ц/га) находилась в достоверной множественной корреляционной зависимости от следующих факторов: степени кислотности почв, pH (X_1); содержания гумуса, % (X_2); содержания подвижных фосфатов P_2O_5 , мг/кг (X_3); содержания подвижных форм калия, K_2O мг/кг (X_4) и описывалась производственной функцией: $Y = -87, 1 + 35, 1 X_1 + 53, 2 X_2 + 0,122 X_3 + 0,561 X_4$. Предложенная функция характеризуется множественным коэффициентом $R=0,50$ и является устойчивой ($F=8,9$ при $< 1\%$ значимости). Ее можно учитывать при прогнозе урожайности зеленой массы, изменчивость которой на 25% определяется комплексом агрохимических свойств почв.

Из агрохимических свойств почв содержание подвижного калия в почвах наиболее тесно коррелирует с урожайностью кукурузы (рис.4). Зависимость урожайности зеленой массы и зерна кукурузы от содержания подвижных форм калия в почвах описывается параболической кривой. Расчетный максимум урожайности зеленой массы соответствует содержанию K_2O 427 мг/кг, а зерна – 376 мг/кг почвы. Однако характерен большой разброс данных и наиболее высокие уровни урожайности свыше 600 ц/га зеленой массы и свыше 100 ц/га зерна получены в достаточно широком диапазоне содержания K_2O 170-427 мг/кг почвы.

Результаты исследований показали, что наиболее высокие уровни урожайности свыше 600 ц/га зеленой массы и свыше 100 ц/га зерна получены в достаточно широком диапазоне содержания K_2O 170-427 мг/кг почвы. Однако, очевидно, что содержание подвижного калия на уровне свыше 400 мг/кг почвы сопровождается снижением урожайности вследствие избыточной концентрации почвенного раствора. Это говорит о необходимости усиления контроля за соблюдением рекомендованных доз калийных удобрений и предотвращения неэффективного их использования.



а)



б)

Рис. 4. Зависимость урожайности зеленой массы **а)** и зерна **б)** кукурузы от содержания подвижных форм калия в дерново-подзолистых супесчаных почвах

Кукуруза отличается повышенной отзывчивостью на обеспеченность почв органическими веществами (рис. 5), хотя наиболее высокая урожайность зеленой массы наблюдалась в широком диапазоне содержания гумуса – от 1,5 до 3,5%.

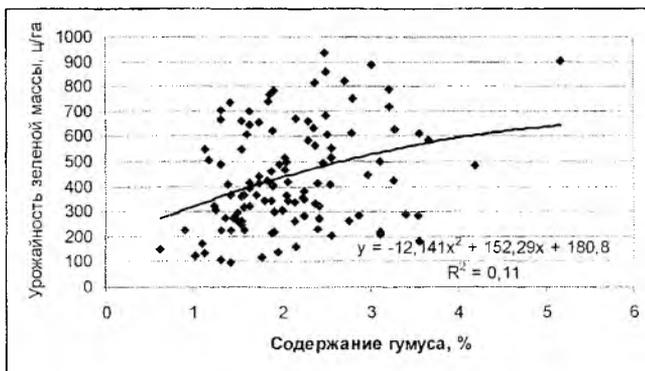


Рис.5. Зависимость урожайности зеленой массы кукурузы от содержания гумуса в дерново-подзолистых супесчаных почвах

Таким образом, приведенные результаты исследований подтверждают целесообразность тщательного подбора окультуренных участков дерново-подзолистых почв для размещения посевов кукурузы. Для гарантии получения свыше 500 ц зеленой массы или 60 ц зерна с

гектара кукурузу следует размещать на хорошо окультуренных дерново-подзолистых связно- и рыхлосупесчаных почвах, подстилаемых моренными суглинками, с повышенным содержанием гумуса (>2%), подвижных форм P_2O_5 и K_2O (200-400 мг/кг), близкой к нейтральной реакцией (pH_{KCl} 5,6-7,0). При этом особо важная роль отводится системе удобрений, обеспечивающей как формирование высокой урожайности кукурузы, так и улучшение агрохимических показателей плодородия почв.

3. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КУКУРУЗЫ В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

В настоящее время в Беларуси имеется обширная научно-методическая литература по интенсивной технологии возделывания кукурузы на зерно и зелёную массу в полевых и специализированных кормовых севооборотах [6, 21, 22, 29, 31, 33]. В целом технология возделывания кукурузы на зерно и зелёную массу, применяемая в Республике Беларусь, полностью пригодна и на загрязнённых радионуклидами землях. Для снижения удельной активности радионуклидов в продукции кукурузы рассмотрим некоторые особенности в применении удобрений и подбор гибридов для загрязнённых земель.

3.1. Влияние удобрений на урожайность и накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr в зеленой массе и зерне кукурузы

Известно, что кукуруза использует много питательных веществ. При урожайности 500–600 ц/га зеленой массы с 1 га она выносит в среднем из почвы (кг): азота – 160-200, фосфора – 60-75, калия – 200-250 [9]. Исходя из этого, чтобы получать высокий урожай кукурузы, необходимо возмещать вынос элементов минерального питания с органическими и минеральными удобрениями [15, 33]. Более того, внесение органических и минеральных удобрений является одной из эффективных контрмер, снижающих переход радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в сельскохозяйственную продукцию [27, 30, 32].

Влияние удобрений на урожайность зеленой массы и зерна кукурузы и накопление в них ^{137}Cs и ^{90}Sr исследовали в полевых опытах в КСУП «Дубовый Лог» Добрушского района Гомельской области (2005 – 2007 гг.). Почва экспериментального участка – дерново-подзолистая супесчаная, подстилаемая моренным суглинком с глубины до 1 м. Агрохимические показатели пахотного горизонта следующие: содержание гумуса – 1,55-2,10%; величина обменной кислотности pH_{KCl} – 5,3-6,3; гидролитическая кислотность по Каппену Нг – 1,5-1,7 с⁺ моль/кг; подвижный P_2O_5 по Кирсанову – 138-265 мг/кг; подвижный K_2O по Кирсанову – 156-258 мг/кг; обменный CaO – 629-858 мг/кг; обменный MgO – 185-258. Плотность загрязнения почвы

радионуклидами: ^{137}Cs – 565-989 кБк/м² (15,3-26,7 Ки/км²); ^{90}Sr – 15,2-21,5 кБк/м² (0,41-0,58 Ки/км²).

Сбалансированное применение минеральных удобрений в дозах N₁₂₀P₉₀K₂₁₀ в комплексе с 60 т/га навоза (навоз вносился 1 раз при монокультуре) позволило в среднем за 3 года вдвое повысить урожайность зеленой массы, с 274 до 585 ц/га, а урожайность зерна – с 19,0 до 70,3 ц/га, или в 3,7 раза (табл. 7).

Таблица 7. Влияние минеральных удобрений и навоза на урожайность зеленой массы и зерна кукурузы (среднее 2005–2007 гг.)

Варианты удобрений	Без навоза			Навоз 60 т/га		
	Урожай, ц/га	Прибавка урожая		Прибавка урожая		
		± к контролю, ц/га	на 1 кг NPK, кг продукции	от навоза, ц/га	на 1 т навоза, кг продукции	на 1 кг NPK, кг продукции
Зеленая масса						
Контроль	274	-	-	81	136	-
N ₁₂₀	332	58	48	73	122	41
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	377	103	34	147	244	56
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₅₀	411	137	38	141	235	55
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₂₁₀	447	173	41	138	229	55
N ₁₂₀ *P ₉₀ K ₁₅₀	434	160	44	144	240	62
HCP ₀₅		23,2		23,2		
Зерно						
Контроль	19,0	-	-	10,7	18	-
N ₁₂₀	30,8	11,8	9,8	6,9	12	6,7
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	41,1	22,1	7,4	15,9	27	9,1
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₅₀	45,1	26,1	7,3	13,2	22	7,9
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₂₁₀	52,2	33,2	7,9	18,1	30	9,7
N ₁₂₀ *P ₉₀ K ₁₅₀	53,8	34,8	9,7	10,5	17	9,6
HCP ₀₅		1,63		1,63		

Примечание: *N в форме медленнодействующего карбамида, с добавкой гуматов.

Кукуруза весьма отзывчива на органические удобрения. Каждая тонна навоза обеспечивала прибавку урожайности зеленой массы от 122 до 244 кг или 12-30 кг зерна, в зависимости от варианта доз минеральных удобрений. На безнавозном фоне наибольшую прибавку урожайности зеленой массы (173 ц/га) получили в варианте N₁₂₀P₉₀K₂₁₀, при окупаемости 1 кг внесенных питательных веществ 41 кг зеленого корма. Азотное удобрение было внесено весной, в форме стандартного карбамида. Только в варианте 6 использован медленнодействующий карбамид с добавкой гуматов, который оказался заметно более эффективным. Он повысил окупаемость 1 кг суммы NPK прибавкой урожайности зеленой массы и зерна, соответственно на 16

и 33% на безнавозном фоне и на 13 и 22% на фоне навоза, по сравнению с аналогичным вариантом 4, со стандартным карбамидом.

Фосфорное удобрение было внесено в форме аммофоса, калийное – в виде гранулированного хлористого калия. Повышение дозы калия с 90 до 210 кг K_2O на гектар посева было обоснованным, так как сопровождалось прибавкой урожайности на 1 кг K_2O 58 кг зеленой массы на безнавозном фоне и 52 кг – на фоне навоза. Окупаемость 1 кг внесенного калия прибавкой урожайности зерна, наоборот, была больше на фоне навоза по сравнению с безнавозным фоном и составила, соответственно, 11,0 кг и 9,3 кг зерна. В целом, окупаемость оптимальных доз минеральных удобрений на фоне навоза повышалась на 23-34%.

Одностороннее удобрение кукурузы азотом в дозе 120 кг/га было малоэффективным с точки зрения повышения урожайности, а более того, сопровождалось заметным повышением накопления радионуклидов в продукции (табл. 8).

Таблица 8. Влияние удобрений на накопление радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в продукции кукурузы (в среднем за 2005–2007 гг.)

Варианты удобрений	Активность продукции, Бк/кг							
	зеленой массы				зерна			
	^{137}Cs		^{90}Sr		^{137}Cs		^{90}Sr	
	Бк/кг	Кп	Бк/кг	Кп	Бк/кг	Кп	Бк/кг	Кп
Без навоза								
Контроль	21,4±1,9	0,041	33,1±6,2	3,11	10,4±3,6	0,018	5,5±2,2	0,34
N_{120}	38,4±2,3	0,056	39,8±7,5	3,74	11,3±4,3	0,019	4,9±1,7	0,36
$N_{120}P_{90}K_{90}$	29,6±2,8	0,039	36,4±7,1	3,35	15,3±3,1	0,020	2,9±1,3	0,18
$N_{120}P_{90}K_{150}$	24,2±2,3	0,032	33,4±6,3	3,09	11,2±3,0	0,016	2,3±1,0	0,14
$N_{120}P_{90}K_{210}$	19,3±1,9	0,026	26,3±6,9	2,43	11±3,7	0,016	2,0±0,9	0,12
$N_{120}^*P_{90}K_{150}$	13,3±1,3	0,025	16,0±5,3	1,48	10,2±3,5	0,014	1,6±0,7	0,10
Навоз, 60т/га								
Контроль	31,4±2,4	0,046	57,3±8,3	2,27	11,0±3,7	0,022	4,12±1,3	0,26
N_{120}	32,0±2,6	0,044	44,9±7,8	2,18	12,1±4,3	0,023	4,91±1,9	0,35
$N_{120}P_{90}K_{90}$	23,0±1,7	0,032	29,6±5,3	1,78	11,6±2,6	0,018	3,11±1,5	0,21
$N_{120}P_{90}K_{150}$	19,4±1,9	0,031	27,7±6,0	1,58	11,1±2,9	0,014	1,92±0,9	0,12
$N_{120}P_{90}K_{210}$	21,1±1,8	0,027	26,2±5,8	1,49	10,9±3,8	0,014	1,55±0,8	0,10
$N_{120}^*P_{90}K_{150}$	20,2±2,0	0,025	22,8±5,5	1,30	11,8±3,4	0,015	1,83±0,8	0,10

Примечание: *N в форме медленнодействующего карбамида, с добавкой гуматов.

Наименьший переход радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в растение кукурузы наблюдался при внесении $N_{120}^*P_{90}K_{150}$ и $N_{120}P_{90}K_{210}$. Замена стандартного карбамида на медленнодействующую форму с добавкой гуматов в дозе N_{120} приводила к существенному уменьше-

нию перехода ^{90}Sr в зеленую массу (на 18-52%) и зерно (на 17-29%). Следует отметить также снижение на 20-40% перехода ^{90}Sr в зерно и зеленую массу кукурузы при внесении 60 т/га навоза.

При внесении $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{210}$ переход ^{137}Cs снижался на 37-41% в зеленой массе и на 12-36% в зерне по сравнению с контрольным вариантом без удобрений. Снижение перехода ^{90}Sr в зеленую массу и зерно на этом же варианте удобрений составило, соответственно, 22-34 и 62-65%. Повышение доз калия в диапазоне 90-210 кг/га сопровождалось снижением накопления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr как в зеленой массе, так и в зерне.

Таким образом, применение под кукурузу сбалансированных доз минеральных удобрений на фоне 60 т/га навоза позволяет получить высокую урожайность зеленой массы и зерна кукурузы и одновременно, примерно вдвое снизить накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr в продукции. Очевидно также необходимость использования на загрязненных радионуклидами землях медленнодействующей формы карбамида с добавкой гуматов, вместо стандартного карбамида, что позволит на 20-30% снизить поступление радионуклидов в продукцию кукурузы.

3.2. Переход ^{137}Cs и ^{90}Sr в зеленую массу и зерно гибридов кукурузы

Известно, что сортовые особенности отдельных культур оказывают заметное влияние на степень накопления радионуклидов [2, 5, 16, 23, 27]. Кукуруза в этом плане остается малоизученной культурой. В связи с интенсивной сортосменой в производство приходят новые гибриды кукурузы [17, 18, 25]. В Беларуси в настоящее время районировано более 60 гибридов кукурузы белорусско-молдавской, венгерской, российской, югославской, французской и немецкой селекции. Много новых гибридов отечественной и зарубежной селекции находится в Государственном сортоиспытании. Продуктивность этих гибридов в южной части республики достигает 90–110 ц/га сухой массы. Многие из них, помимо силоса, выращиваются и на зерно [25, 29, 33].

В 1995-1997 гг. были исследованы гибриды французской селекции на накопление в продукции ^{90}Sr в полевом опыте в экспериментальной базе «Стреличево» Хойникского района Гомельской области на дерново-подзолистой супесчаной почве [3]. Было установлено, что биологические особенности гибридов кукурузы сказались не только на продуктивности растений, но и на концентрации ^{90}Sr в зеленой массе. Однако, не отмечено существенных различий в содержании ^{90}Sr в зерне кукурузы.

В 2005-2007 гг. изучение накопления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr продукцией гибридов кукурузы разной интродукции проводили в полевых опытах в КСУП «Дубовый Лог» Добрушского района Гомельской области. Почва экспериментального участка – дерново-подзолистая

супесчаная, подстилаемая моренным суглинком с глубины до 1 м. Агрехимические и радиологические характеристики опытного участка указаны выше, при описании опыта с удобрениями. Сорты высевались в соответствии с требованиями отраслевого регламента по зерновой технологии на фоне минеральных удобрений в дозе $N_{120}P_{90}K_{150}$ [22].

В среднем за годы исследований (2005 – 2007 гг.) девять средне-спелых гибридов несильно различались по урожайности зеленой массы (табл. 9). Наименьшей урожайностью характеризовался гибрид Евростар (285 ц/га), наибольшей – Росс 197 МВ (429 ц/га).

Таблица 9. Урожайность зеленой массы различных гибридов кукурузы и коэффициенты перехода ^{137}Cs для дерново-подзолистой супесчаной почвы

Гибриды	Урожайность, ц/га	^{137}Cs Кп $10^{-3} \text{ м}^2 \text{ кг}^{-1}$				
		2005	2006	2007	среднее	CV %
Полесский 195	333	0,029	0,043	0,071	0,048±0,021	45,1
Ивелин	329	0,028	0,045	0,099	0,057±0,037	65,1
Росс 197 МВ	429	0,041	0,070	0,061	0,057±0,015	25,8
Полесский 212	329	0,026	0,051	0,098	0,058±0,037	62,9
Берег	340	0,041	0,065	0,088	0,065±0,023	36,3
Мускат	316	0,031	0,048	0,127	0,069±0,051	74,1
Белиз - контроль	373	0,030	0,058	0,133	0,074±0,053	72,2
Веритис	378	0,042	0,059	0,143	0,081±0,054	66,3
Евростар	285	0,047	0,081	0,162	0,097±0,059	61,0
среднее	346	0,035	0,058	0,109	0,067±0,039	56,5
CV %	12,1	22,3	21,8	31,3		

По переходу радионуклида ^{137}Cs из почвы в зеленую массу исследованные гибриды различались вдвое. Наибольший коэффициент перехода ^{137}Cs (Кп 0,097) был у малоурожайного гибрида Евростар, наименьший (Кп 0,048) у гибрида белорусской селекции Полесский-195. Следует отметить большое варьирование коэффициентов перехода ^{137}Cs по годам практически для всех изучаемых гибридов (средний CV 56,5%), что вдвое превышало варьирование коэффициентов перехода между гибридами по каждому году (CV 21,8-31,3). Это говорит о низкой устойчивости во времени ранжирования гибридов по накоплению ^{137}Cs в зеленой массе. Например, на супесчаной почве с плотностью загрязнения ^{137}Cs 555 кБк/м² (15 Ки/км²) при возделывании гибрида Полесский можно прогнозировать активность зеленой массы в диапазоне 15-39 Бк/кг, гибрида Белиз в диапазоне 12-70 Бк/кг, а гибрида Евростар в диапазоне 21-87 Бк/кг. Можно уверенно сказать лишь о том, что зеленую массу всех исследованных гибридов

кукурузы можно скармливать дойному стаду для производства цельного молока.

Урожайность зерна исследуемых гибридов сравнительно больше различалась, в диапазоне от 70,5 для гибрида Белиз (контроль) до 42,5 ц/га для гибрида Евростар (табл. 10).

Таблица 10. Урожайность зерна гибридов кукурузы и коэффициенты перехода ^{137}Cs из дерново-подзолистой супесчаной почвы

Гибриды	Урожай- ность, ц/га	^{137}Cs Кп $10^{-3} \text{ м}^2 \text{ кг}^{-1}$				
	2005-2007	2005	2006	2007	среднее	CV %
Полесский 195	47,8	0,012	0,017	0,037	0,022±0,011	50,0
Ивелин	59,9	0,005	0,017	0,028	0,017±0,009	55,6
Росс 197 МВ	46,1	0,018	0,035	0,048	0,034±0,012	35,8
Полесский 212	58,2	0,011	0,025	0,026	0,021±0,007	33,0
Берег	55,5	0,009	0,027	0,038	0,025±0,012	49,1
Мускат	57,5	0,016	0,023	0,086	0,042±0,031	74,6
Белиз - контроль	70,8	0,010	0,026	0,074	0,036±0,027	74,2
Веритис	58,4	0,018	0,025	0,069	0,037±0,022	59,5
Евростар	42,5	0,019	0,023	0,074	0,039±0,025	63,9
среднее	55,2	0,013	0,024	0,053	0,030±0,017	55,1
CV %	15,5	37,4	22,7	42,2		

Средний переход радионуклида ^{137}Cs в зерно кукурузы различался между гибридами в 2,5 раза, от Кп 0,017 для гибрида Ивелин до Кп 0,042 для гибрида Мускат. Гибриды отечественной селекции Полесский-212 и Полесский-195 также характеризовались минимальными коэффициентами перехода ^{137}Cs (0,021-0,022). Различия гибридов по переходу ^{137}Cs в зерно кукурузы не имеют принципиального практического значения в связи с невысокой концентрацией радионуклида в конечной продукции. Практически зерно исследованных гибридов кукурузы отечественной селекции можно использовать даже для продовольственных целей.

Исследованные гибриды кукурузы сравнительно меньше (в 1,5 раза) различаются по накоплению ^{90}Sr в зеленой массе (табл. 11). Минимальные коэффициенты перехода ^{90}Sr из почвы в зеленую массу характерны для белорусского гибрида Белиз. Возделывание его при плотности загрязнения почвы ^{90}Sr 37 кБк/м² позволяет ожидать активность зеленой массы 86 ± 39 Бк/кг, это значит в диапазоне от 47 до 125 Бк/кг. При возделывании гибрида Полесский-195 активность зеленой массы по ^{90}Sr будет в пределах от 87 до 139 Бк/кг.

Таблица 11. Переход ^{90}Sr из дерново-подзолистой супесчаной почвы в зеленую массу различных гибридов кукурузы

Гибриды	^{90}Sr Кп 10^{-3} м ² кг ⁻¹				
	2005	2006	2007	среднее	CV %
Белиз - контроль	1,48	1,98	3,50	2,32±1,05	45,4
Веритис	2,50	2,60	2,55	2,55±0,05	2,0
Берег	2,65	3,08	2,25	2,66±0,41	15,5
Росс 197 МВ	2,74	3,18	2,94	2,95±0,22	7,6
Евростар	2,78	3,53	3,44	3,25±0,41	12,5
Мускат	3,34	4,37	2,20	3,31±1,08	32,8
Ивелин	2,82	3,96	3,39	3,39±0,57	16,8
Полесский 212	2,93	3,65	3,77	3,45±0,45	13,1
Полесский 195	2,90	4,27	3,48	3,55±0,69	19,3
среднее	2,69	3,40	3,06	3,05±0,35	11,5
CV %	18,8	23,2	19,3		

Коэффициенты перехода ^{90}Sr в зерно кукурузы также различаются в 1,5 раза между гибридом Белиз с минимальным накоплением радионуклида и гибридом Ивелин с максимальной концентрацией ^{90}Sr (табл. 12.).

Таблица 12. Переход ^{90}Sr из дерново-подзолистой супесчаной почвы в зерно различных гибридов кукурузы

Гибриды	^{90}Sr Кп 10^{-3} м ² кг ⁻¹				
	2005	2006	2007	среднее	CV %
Белиз - контроль	0,19	0,14	0,40	0,24±0,14	57,1
Веритис	0,31	0,38	0,24	0,31±0,07	22,2
Берег	0,36	0,41	0,23	0,33±0,09	27,9
Росс 197 МВ	0,33	0,33	0,40	0,35±0,04	10,8
Евростар	0,31	0,31	0,29	0,30±0,01	4,4
Мускат	0,32	0,34	0,13	0,26±0,11	43,2
Ивелин	0,33	0,35	0,41	0,37±0,04	11,0
Полесский 212	0,26	0,34	0,46	0,36±0,10	28,2
Полесский 195	0,29	0,30	0,36	0,31±0,04	11,3
среднее	0,30	0,32	0,32	0,32±0,01	24,0
CV %	16,5	23,8	33,2		

Несовпадение характеристик гибридов по минимуму и максимуму накопления ^{90}Sr и ^{137}Cs , а также большая вариабельность накопления радионуклидов в продукции в различные годы затрудняет практическое ранжирование гибридов кукурузы по пригодности для возделывания на радиоактивно загрязненных землях.

4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ ПОД КУКУРУЗУ НА ЗЕРНО И ЗЕЛЕНУЮ МАССУ

Оценка экономической эффективности исследуемых в опыте удобрений проведена из расчета стоимости 1 т кормовых единиц зеленой массы 130 тысяч рублей (по эквиваленту стоимости 1 т фуражного овса) и закупочной стоимости 1 т зерна кукурузы 430 тысяч рублей (табл. 13).

Таблица 13. Экономическая эффективность удобрений под кукурузу на зеленую массу и зерно на дерново-подзолистой супесчаной почве (в среднем за 2005–2007 гг.)

№ п/п	Варианты удобрений	Содержание к.ед. ц/га	Затраты, тыс. руб./га	Чистый доход, тыс. руб./га	Рентабельность, %
Кукуруза на зеленую массу (при 82 % стандартной влажности)					
1	Контроль	49,3	380,5	260,4	68
2	Навоз 60 т/га - фон	71,1	607,5	316,8	52
3	Фон+N ₉₀₊₃₀ P ₉₀ K ₉₀	102,0	859,6	466,4	54
4	Фон+N ₉₀₊₃₀ P ₉₀ K ₁₅₀	118,5	906,5	634,0	70
5	Фон+N ₉₀₊₃₀ P ₉₀ K ₂₁₀	121,3	924,1	652,8	71
6	Фон+N ₉₀₊₃₀ P ₉₀ K ₁₅₀	119,8	921,8	635,6	69
Кукуруза на зерно (при 14% стандартной влажности)					
1	Контроль	19,0	380,5	436,5	115
2	Навоз 60 т/га - фон	29,7	561,5	715,6	127
3	Фон+N ₉₀₊₃₀ P ₉₀ K ₉₀	50,4	813,4	1353,8	166
4	Фон+N ₉₀₊₃₀ P ₉₀ K ₁₅₀	51,6	860,3	1358,5	158
5	Фон+N ₉₀₊₃₀ P ₉₀ K ₂₁₀	60,3	877,9	1715,0	195
6	Фон+N ₉₀₊₃₀ P ₉₀ K ₁₅₀	61,0	875,6	1747,4	200

Примечание: *N в форме медленнодействующего карбамида, с добавкой гуматов.

Возделывание кукурузы на зеленую массу на среднекультуренной дерново-подзолистой связносупесчаной почве, подстилаемой моренным суглинком с глубины до 1 м, обеспечило небольшой чистый доход 260,4 тыс. руб. с гектара посева на контрольном варианте без удобрений при урожайности 274 ц/га (49,3 ц/га к.ед.). Внесение под кукурузу 60 т/га навоза (на 3 года) повысило выход кормовых

единиц с гектара до 71,1 ц, при общей стоимости дополнительных затрат 540 тыс. руб., или 180 тыс. руб. в год. В результате чистый доход с гектара посева повысился до 316,8 тыс. руб. Внесение оптимальных доз минеральных удобрений на фоне навоза позволило удвоить чистый доход при рентабельности около 70%.

Производство зерна кукурузы оказалось более выгодным, и сопровождалось при оптимальных дозах удобрений возрастанием прибыли с гектара посева в 1,7-2,7 раза, по сравнению с уборкой на зеленый корм. Следует подчеркнуть, что при возделывании кукурузы на зерно количество радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr , поступающих в корм животных многократно сокращается по сравнению с уборкой кукурузы на зеленую массу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для прогноза накопления радионуклидов в зерне и зеленой массе кукурузы на дерново-подзолистых супесчаных почвах в отдаленный период после аварии целесообразно использовать коэффициенты перехода ($K_{п\ ^{137}\text{Cs}}$), дифференцированные по содержанию подвижного K_2O в почве и $K_{п\ ^{90}\text{Sr}}$, дифференцированные по степени кислотности почв $\text{pH}_{\text{КСЛ}}$.

2. Ограничений по плотности загрязнения супесчаных почв ^{137}Cs при возделывания зерна кукурузы на корм скоту не имеется. При среднем и высоком содержании подвижного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве возделывание продовольственного зерна кукурузы не ограничивается высокой плотностью загрязнения ^{137}Cs .

3. Кукуруза отличается на порядок более высоким накоплением ^{90}Sr , чем ^{137}Cs в продукции. Имеются жесткие ограничения в подборе пригодных участков под кукурузу в зависимости от плотности загрязнения ^{90}Sr и степени кислотности почв для производства зеленой массы на корм дойному стаду и для зерна на переработку на пищевые цели. При нейтрализации кислотности супесчаной почвы от pH 4,5 до 7,0 переход ^{90}Sr в зеленую массу кукурузы снижается втрое, а в зерно – в четыре раза. Коэффициенты перехода ^{137}Cs в продукцию кукурузы существенно снижаются (до 3 раз) по мере повышения содержания подвижного калия в дерново-подзолистых супесчаных почвах в диапазоне от 100 до 300 мг K_2O на кг почвы и до 2 раз по мере нейтрализации сильнокислой реакции почвы.

4. Установлено, что по мере улучшения агрохимических свойств почв урожайность зеленой массы и зерна кукурузы может повышаться до 4 раз. Для гарантии получения свыше 500 ц зеленой массы или 60 ц зерна с гектара кукурузу следует размещать на хорошо окультуренных дерново-подзолистых связно- и рыхлосупесчаных почвах,

подстилаемых моренными суглинками, с повышенным содержанием гумуса (>2%), подвижных форм P_2O_5 и K_2O (200-400 мг/кг), близкой к нейтральной реакцией (pH_{KCl} 5,6-7,0).

5. Ведущая роль должна отводиться системе применения удобрений, обеспечивающей формирование высокой урожайности кукурузы, улучшение качества продукции и воспроизводство плодородия почв. Рекомендуется применение минеральных удобрений под кукурузу в дозах N_{120} (медленнодействующая форма с добавкой гуматов) $P_{90}K_{150-210}$ на фоне 60 т/га навоза. Удобрения обеспечивают повышение урожайности зеленой массы в 2 раза, зерна – до 3,7 раз, а также позволяют, одновременно, примерно вдвое снизить накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr в продукции.

6. Затраты на органические и минеральные удобрения хорошо окупаются прибавкой урожайности кукурузы с рентабельностью 50-70% при возделывании на зеленую массу и 127-200% при возделывании на зерно.

7. Для возделывания на зеленую массу и зерно на загрязненных землях пригодны все районированные раннеспелые и среднеспелые гибриды кукурузы. Предпочтение следует отдавать наиболее высокоурожайным гибридам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь. – Минск: РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси», 2006. – 288 с.
2. Алексахин, Р.М. Рекомендации по ведению растениеводства на радиоактивно загрязненных территориях России / Под. ред. Р.М. Алексахина, А.Н. Ратникова, Т.Л. Жигаревой. – М., 1997. – 115 с.
3. Богдевич, И.М. Влияние сортовых особенностей кукурузы на урожайность и накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr в зерне и зеленой массе на дерново-подзолистой супесчаной почве / И.М. Богдевич [и др.] // Земляробства і ахова раслін. – 2007. – №2. – С. 39-42.
4. Богдевич, И.М. Повышение окультуренности почв – основной путь снижения загрязнения кормов радионуклидами / И.М. Богдевич, А.Г. Подоляк // Земляробства і ахова раслін. – 2003. – №6. – С. 14 – 16.
5. Бондарь, П.Ф. Влияние почвенно-климатических условий на накопление ^{90}Sr растениями из почвы и прогнозирование уровня загрязнения урожая / П.Ф. Бондарь // Агрохимия. – 1983. – № 7. – С. 69–79.
6. Босак, В.Н. Урожай зерна кукурузы на дерново-подзолистых легкосуглинистой и рыхлосупесчаной почвах в зависимости от применения минеральных и органических удобрений / В.Н. Босак [и др.] // Земляробства і ахова раслін. – 2008. – №2. – С. 67-68.

7. Дергунов, И.Д. Прогнозирование накопления ^{90}Sr в урожае сельскохозяйственных культур по физико-химическим свойствам почв / И.Д. Дергунов, В.Д. Мороз, Г.В. Рябова // Почвоведение. – 1982. – № 5. – С. 22-25.

8. Жданович, В.П. Сравнительная оценка новых гибридов кукурузы по продуктивности и накоплению ^{137}Cs и ^{90}Sr в зерне и зеленой массе на загрязненных радионуклидами землях / В.П. Жданович, А.Г. Подоляк // Проблемы и пути повышения эффективности растениеводства в Беларуси: тезисы Юбилейной междунар. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию образования Института земледелия; 29 июня 2007 г., г. Жодино / РУП «Научно-практический центр НАН по земледелию». – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – С. 85-87.

9. Интенсивная технология возделывания кукурузы на зерно: рекомендации / Гомельский областной агропромышленный комитет; сост. В.Н. Шлапунов, Н.Ф. Надточаев, З.М. Глушина, В.Н. Логвин [и др.]; под ред. А.М. Певнева. – Гомель: Полеспечать, 1988. – 65с.

10. Информация по кукурузе [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: <http://www.mshp.minsk.by/disp/cxcvod.htm>.

11. Кашпаров, В.О. Ведення сільського господарства в умовах радіоактивного забруднення території України внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС на період 1999-2002 рр.: Метод. реком. / В.О. Кашпаров, М.М. Лазарев, Л.В. Перепелятнікова та ін. / Мін АПК України, МНС України, УНДІСГР. – Київ, 1998. – 104 с.

12. Коренев, Г.В. Интенсивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур / Г.В. Коренев [и др.]; под ред. Г.В. Коренева. – М.: Агропромиздат, 1988. – 301с.

13. Кукуруза / В.А. Щербаков [и др.]; под общ. ред. В.А. Щербакова. – Минск: Беларуская навука, 1998. – 200 с.

14. Кукреш, Л.В. Кормопроизводство в Беларуси: агро-зоо-экономический анализ / Л.В. Кукреш, М.А. Кадыров // Земляробства і ахова раслін. – 2005. – №4. – С. 3-6.

15. Лукашевич, Н.П. Перспективы селекции и семеноводства кукурузы в Беларуси: Метод. реком. по возделыванию кукурузы в хозяйствах Гомельской обл. / Н.П. Лукашевич. – Гомель, 2000. – С. 3-8.

16. Маликов, В.Г. Видовые и сортовые различия растений в накоплении радиостронция и радиоцезия из почвы / В.Г. Маликов, Л.В. Перепелятнікова, Б.И. Жуков // Агрехимия. – М., 1981. – № 8. – С. 94-98.

17. Надточаев, Н.Ф. Гибриды кукурузы на полях Беларуси / Н.Ф. Надточаев, М.А. Мелешкевич, Р.К. Янкелевич. Метод. реком. по возделыванию кукурузы в хозяйствах Гомельской обл. – Гомель, 2000. – С. 22-26.

18. Надточаев, Н.Ф. Доступные резервы повышения эффективности выращивания кукурузы / Н.Ф. Надточаев, Н.С. Степаненко // Земляробства і ахова раслін. – 2008. – №1. – С. 41-45.

19. Надточаев, Н.Ф. Кукуруза – не только силосная культура / Н.Ф. Надточаев, А.М. Тетеркина // Земляробства і ахова раслін. – 2006. – № 1. – С. 22-25.
20. Никончик, П.И. Агрэоэканамічныя асновы сістэм іспользавання зямлі / П.И. Никончик. – Мінск: Беларус. Наўка, 2007. – 532 с.
21. Никончик, П.И. Дынаміка павесных плошчаў многалетніх трав і кукурузы в сельскагаспадарчых арганізацыях Рэспублікі Беларусь / П.И. Никончик // Земляробства і ахова раслін. – 2008. – №3. – С. 52-54.
22. Арганізацыйна-тэхналагічныя нарматывы возделывания сельскагаспадарчых культур: Сборы атрааслевых регламентаў / Ін. аграр. эканомікі НАН Беларусі; В.Г. Гусаков [і др.]. – Мінск. Бел. наўка, 2005. – 460 с.
23. Подоляк, А.Г. Прогноз накоплення ^{137}Cs і ^{90}Sr в урожае озимо-го трітыкале / А.Г. Подоляк, В.П. Ждановіч, Н.Н. Половков. «Агрэоэкалогія»: сб. наўч. трудов УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия». – Вып. 1. «Проблемы сельскохозяйственной радиологии и пути их решения». – Горки, 2004. – С. 161-163.
24. Подоляк, А.Г. Производство кукурузы в условиях радиоактивного загрязнения почв: Преодоление последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС: состояние и перспективы/ А.Г. Подоляк, В.П. Ждановіч: Сб. наўч. тр. II Междунард. наўч.-практыч. конф. / Под ред. В.Е. Шевчука, В.Л. Гурачевского, Э.К. Капитоновой. – Мінск, 2004. – С. 160-162.
25. Районированные сорта – основа высокіх уражаев: Кат. районированных сортов по Беларусі / Отв. ред. А.М. Старовойтов. – Мінск: Ураджай, 1997. – 176 с
26. Рак, М.В. Применение некорневых подкормок сельскагаспадарчых культур мікроудобрениями на загрязненных радионуклидами почвах: рекомендации / М.В. Рак [і др.]. Мінск, 2004. – 18 с.
27. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь / И.М. Богдевич [і др.]: М-во сельскаго хоз-ва и продовольствия РБ, Комитет по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете Министров РБ, РУП «Институт почвоведения и агрохимии». – Мінск, 2003. – 72 с.
28. Смян, Н.И. Оценка плодородия почв Белоруссии / Н.И.Смян [і др.] – Мінск: Ураджай, 1989. – 359 с.
29. Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларусі: сб. наўч. материалов, 2-е изд., доп. и перераб. / РУП «НПЦ НАН Беларусі по земледелию». – Мінск: ИВЦ Минфина, 2007. – 448 с.
30. Справочник агрохимика / В.В. Лапа [і др.]; под ред. В.В. Лапа. – Мінск: Беларус. наўка, 2007. – 390 с.

31. Технологические приемы оптимизации минерального питания сельскохозяйственных культур: рекомендации / РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси»; В.В. Лапа [и др.] – Минск, 2005. – 15 с.

32. Чернуха, Г.А. Радиационная безопасность: учеб. пособие для студентов сельскохозяйственных высших учебных заведений / Г.А. Чернуха, Н.В. Лазаревич, Т.В. Лаломова. – Горки: БГСХА, 2005. – 176 с.

33. Шлапунов, В. Важнейшие вопросы эффективного выращивания кукурузы в Беларуси: Мет. рек. по возделыванию кукурузы в хозяйствах Гомельской области. / В. Шлапунов, В. Щербаков, Д. Шпаар. – Гомель, 2000. – С. 9-21.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

РЕСПУБЛИКАНСКИЕ ДОПУСТИМЫЕ УРОВНИ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ЦЕЗИЯ-137 И СТРОНЦИЯ-90 В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ СЫРЬЕ И КОРМАХ

Нормируемые величины. Для переработки на пищевые цели допускается прием на перерабатывающие предприятия:

Продукция	Содержание, Бк/кг	
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Молоко для переработки на:		
сливочное масло;	370	18
цельномолочные продукты, сыры, творог;	100	3,7
молоко сухое и концентрированное	30	3,7
Мясо:		
говядина, баранина;	500	не нормируется
свинина, птица	180	не нормируется
Растительное сырье:		
овощи	100	не нормируется
фрукты	40	не нормируется
садовые ягоды	70	не нормируется
зерно	90	11
зерно на детское питание	55	3,7
Прочее сырье	370	не нормируется

Допустимые уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в основных видах кормов предусмотрены для получения различных видов конечной продукции:

- цельного молока (и молока сырья для переработки на сыры и творог);
- молока сырья для переработки на масло,
- мяса (говядины и свинины, заключительная стадия откорма).

Виды кормов	Содержание, Бк/кг				
	¹³⁷ Cs			⁹⁰ Sr	
	Молоко цельное*	Молоко сырье для переработки на масло	Мясо (заключительный откорм КРС)	Молоко цельное	Молоко сырье
Сено	1300	1850	1300	260	1300
Солома	330	900	700	185	900
Сенаж	500	900	500	100	500
Силос	240	600	240	50	250
Корнеплоды	160	600	300	37	185
Зерно на фураж, комбикорм	180	600	480	100	500
Зеленая масса	165	600	240	37	185
Хвойная, травяная мука, дробина пивная, жом, патока, барда, мясокостная мука	900				
Мезга, молочные продукты (обрат)	600				
Прочие виды кормов	900				

Примерная технологическая схема возделывания кукурузы на силос

Почва - супесчаная

Площадь- 100 га

Предшественник - зерновые

Урожайность зеленой массы - 350, к.ед. - 110 ц/га

34

Технологические операции	Количественные показатели	Календарный срок	Ед. измерения	Объем работ	Состав агрегата (энерг. средство + с.-х. машина)
1. Основная обработка почвы и внесение удобрений					
Подвоз воды	100 л/га	1-5.IX	т	10	МТЗ-80+РЖТ-4
Приготовление раствора и заправка опрыскивателя	100 л/га	1-5.IX	т	10	МТЗ-80+АПЖ-12
Обработка посева гербицидом	Раундап, 3-4 л/га	1-5.IX	га	100	МТЗ-80+ОП-2000
Погрузка минеральных удобрений (P ₄₀ K ₉₀) в смеситель-загрузчик	2,5 ц/га	15-30.IX	т	25	МТЗ-80+ПФ-0,8
Смешивание минеральных удобрений и погрузка в разбрасыватели	2,5 ц/га	15-30.IX	т	25	МТЗ-80+ИСУ4-А
Транспортировка и внесение минеральных удобрений		15-30.IX	т	25	МТЗ-80+МВУ-5А
Погрузка органических удобрений	40 т/га	1-15.X	т	4000	
Транспортировка и внесение органических удобрений		1-15.X	т	4000	МТЗ-1522+ПРТ-11
Запашка органических удобрений	18-22 см	1-15.X	га	100	МТЗ-1522+ПКГ-5-40В
Осенняя культивация с боронованием	8-10 см	15-30.X	га	100	МТЗ-1522+2КПС-4 + 8БЗТС-1
2. Весенняя обработка почвы, внесение удобрений и посев					
Транспортировка и внесение жидких минеральных удобрений. N ₉₀	3 ц/га	20-25.IV	т	30	МТЗ-80+АПЖ-12
Культивация с боронованием	6-8 см	20-25.IV	га	100	МТЗ-1522+2КПС-4+8БЗТС-1
Предпосевная подготовка почвы	4-6 см	25.IV-4.V	га	100	МТЗ-1522+АКШ-7.2
Погрузка и транспортировка семян и удобрений (P ₂ O ₅)	30 +60 кг/га	25.IV-5.V	т	9	МТЗ-80+2ПТС-4
Посев	3-5 см	25.IV-5.V	га	100	МТЗ-80+СТУ-8

Продолжение приложения 2

35

Технологические операции	Количественные показатели	Календарный срок	Ед. измерения	Объем работ	Состав агрегата (энерг. средство + с.-х. машина)
3. Уход за посевами					
Довсходовое боронование	5-6 км/ч	1-10.V	га	100	МТЗ-80+АБ-12
Подвоз воды, приготовление раствора гербицида и заправка опрыскивателя	1,5 л/га гербицида примэкстра голд	15-20.V	т	вода-20 гер.0,15	МТЗ-80+АПЖ-12
Междурядная обработка с одновременным ленточным внесением гербицида	8-10 см	15-20.V	га	100	МТЗ-80+КРН-5,6-02+ АВПУ-12
Вторая междурядная обработка при необходимости с внесением КАС (N ₃₀)	6-8 см	10-15.VI	га	100	МТЗ-80-НКРН-5,6 + оборудование для внесения КАС
4. Уборка на силос					
Скашивание и измельчение зеленой массы		5-20.IX	га	100	УЭС-250А «Поле-сье»
Транспортировка к месту силосования	350 ц/га	5-20.IX	т	3500	МТЗ-80+ПСЕ-12,5Б
Разравнивание и трамбовка		5-20.IX	т	3500	Т-150+ПФП-2
Оформление и укрытие траншеи пленкой	650-750кг/м ³	5-20.IX	м ²	3000	Вручную
Укрытие траншеи землей		1-10.IX	м ³	350	МТЗ-80+БН-100А

Технологическая схема возделывания кукурузы на зерно

Почва супесчаная на морене

Предшественник - кукуруза, удобренная навозом

Урожайность зерна 14%-ой влажности 50 ц/га

Технологические операции	Количес- венные показате- ли	Кален- дарный срок	Еди- ница изме- рения	Объем работ	Состав агрегата (энергетическое сред- ство + с/х машина)
1. Осенняя обработка почвы					
Чизелевание	10-14 см	10-20.X	га	100	МТЗ-1522+КЧ-5,!
2. Весенняя обработка почвы, внесение удобрений и посев					
Погрузка минеральных удобрений (K ₁₂₀) в смеситель-загрузчик	2 ц/га	10-15.IV	т	20	МТЗ-80+ПФ-0,8
Транспортировка и внесение удобрений	2 ц/га	10-15.IV	га	100	МТЗ-80+МВУ-5А
Транспортировка и внесение КАС-30	195 л/га	10-15.IV	т	25	МТЗ-80+АПЖ-12
Культивация с боронованием	6-8 см	10-15.IV	га	100	МТЗ- 1 522+2КПС-4+ 8БЗТС- 1
Предпосевная подготовка почвы	4-6 см	20-30.IV	га	100	МТЗ-1522+АКШ-7,2
Погрузка и транспортировка семян и удобрений (P ₂₀)	25+60 кг/га	20-30.IV	т	8,5	МТЗ-80+2ПТС-4
Посев	2-3 см	20-30.IV	га	100	МТЗ-80+СТУ-8
3. Уход за посевами					
Подвоз воды	200 л/га	25.IV-5.V	т	20	МТЗ-80+РЖТ-4
Приготовление раствора и заправка опрыскивателя	200 л/га	25.IV-5.V	т	20	МТЗ-80+АПЖ-12
Обработка посева гербицидом		25.IV 5.V	га	100	МТЗ-80+ОП-2000
Транспортировка КАС-30	120 л/га	1-15.VI	т	15	МТЗ-80+АПЖ-12
Междурядная обработка с внесением КАС	8-10 см	1-15.VI	га	100	МТЗ-80+КРН-5,6 + обо- рудование для внесе- ния КАС
4. Уборка на зерно (с отделением початков и силосованием листостебельной массы)					
Уборка кукурузы с отделением початков влажностью 40%	140 и 210ц/га	20-30.IX	га	100	Херсонец-200
Транспортировка початков	140 ц/га	20-30.IX	т	1400	МТЗ-80+2ПТС-4

Продолжение приложения 3

Технологические операции	Количес- венные показате- ли	Кален- дарный срок	Еди- ница изме- рения	Объем работ	Состав агрегата (энергетическое сред- ство + с/х машина)
Измельчение початков (2-3 мм)		20-30.IX	т	1400	ИРМ-50
Разравнивание и трамбовка	800-850 кг/м ³	20-30.IX	т	1400	Т-150+ПФП-2
Оформление и укрытие траншеи пленкой		20-30.IX	м ²	1200	вручную
Укрытие траншеи землей		20-30.IX	м ³	140	МТЗ-80+БН-100А
Транспортировка листостебельной массы к месту силосования	210 ц/га	20-30.IX	т	2100	МТЗ-80+ПСЕ-12,5Б
Разравнивание и трамбовка	650-750 кг/м ³	20-30.IX	т	2100	Т-150+ПФП-2
Оформление и укрытие траншеи пленкой		20-30.IX	м ²	1800	вручную
Укрытие траншеи землей		20-30.IX	м ³	210	МТЗ-80+БН-100А
5. Уборка с обмолотом зерна					
Уборка зерна влажностью менее 35%	70 ц/га	30.IX-20.X	т	700	КЗР-10
Транспортировка зерна		30.IX - 20.X	т	700	МТЗ-80+2ПТС-6

**Химические средства и методы борьбы в посевах кукурузы:
а) с сорняками**

Вид сорняка	Сроки и условия проведения обработки	Препарат, норма расхода (кг/га, л/га)
Многолетние злаковые и двудольные	В период активного роста сорняков до посева культуры	Глифосат, 36% в.р. - 4-6 и препараты на его основе
Однолетние злаковые и двудольные	До всходов кукурузы с заделкой в почву	Трофи, 90% к.э. - 2-2,5; харнес, 90% к.э. - 2-3; харнес плюс, 79% к.э. - 2,5-3,8; дуал, 96% к.э. - 1,6-2,1; дуал голд, КЭ-1,6;
	До всходов кукурузы	Фронтьер, 90% к.э. - 1,1 -1,7; лазурит, СП-0,8-1; лазурит, СП-0,5 +0,3-0,5 в фазу 3-5 листьев кукурузы
Однолетние двудольные		Каллисто, СК- 0,25
Однолетние двудольные и злаковые		Мерлин, 75% в.г. -0,1-0,16, мерлин экстра, КС- 1,2 - без заделки в почву Стомп, 33% к.э. -3-6; рейсер, 25% к.э. -1-2
	1-3 листа культуры	Примэстра голд, 72% к.с. -3-3,5
Некоторые двудольные	3-5 листьев кукурузы	2,4-Д, 50% в.р. -0,9- 1,7; Деэормон, 60% в.к. -0,7-1; элант, КЭ -0,8-1,2; эстерон, к.э. -0,8
Однолетние двудольные, в т.ч. устойчивые к 2,4-Д	-«-	Базагран, 48% в.р. - 2-4; бюктрил Д, 45% к.э. -1,2-1,5; диален, 40% в.р. - 1,9-3; диален супер, 46% в.р. - 1-1,5; дикопур Ф, 60% в.к. - 0,7-1; камбио, 41% в.к. - 2-2,5; круг, 12,5% в.р. - 0,4; хармони, 75% с.т.с. - Юг/га + ПАВ; церто плюс, ВДГ - 0,2+1 ПАВ Даш; прима, СК - 0,4-0,6; каллисто, СК-0,15-0,25 + 1 ПАВ Корвет или Атплюс
Однолетние и некоторые многолетние двудольные	-«-	Фенагон, 42% к.э. - 0,7-0,9; секатор, ВДГ - 0,15-0,2; чисталан, КЭ - 0,75-1

Однолетние двудольные и злаковые	-«-	Ладдок, 40% к.э. - 3-4; ладдок новый, 30% к.э. - 3-4; лентаран комби, 36% к.с. - 3-4
Многолетние и однолетние злаковые	-«-	Титус, 25%с.т.с.-40-50 г/га + ПАВ, 200мл/га Тренд;
То же + однолетние двудольные	-«-	Милагро, 4% с.к.-1-1,5; базис, 75% в.р.г. - 20 г/га; МайсТер, ВДГ - 0,1-0,125 + БиоПауэр -1
Многолетние и некоторые однолетние двудольные	-«-	Лонтрел 300, 30% в.р.-0,3-1

б) с вредителями

Вредители	Сроки и условия проведения обработки	Препарат, норма расхода (л/га, г/га)
Проволочники и ложнопроволочники	Наличие на 1 м ² пахотного слоя более 3 личинок. Внесение в почву с семенами.	Каунтер, 10% г. -15
Шведская муха	Опрыскивание растений в фазе 1-2 листьев при наличии вредителя. Возможна только краевая обработка.	Каратэ, 5% к.э. (в.р.г.) - 0,2; децисэкстра, 2,5% к.э. - 0,1
Кукурузный мотылек	Опрыскивание растений в период кладки яиц бабочками на посевах, предназначенных для получения зерна.	Каратэ, 5% к.э. (в.р.г.) - 0,2; децисэкстра, 12,5% к.э. - 0,1

**Перечень районированных гибридов кукурузы
в Республике Беларусь**

Название гибрида	ФАО	Год регистрации	Области районирования					
			Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Бемо 172СВ	170	1999	ЗС	ЗС	ЗС	ЗС	ЗС	ЗС
Порумбень 170АСВ	170	1997	ЗС	ЗС	ЗС	ЗС	ЗС	
Немо216СВ	180	1998	ЗС	ЗС	ЗС	ЗС	ЗС	ЗС
Порумбень 175СВ	180	2004	ЗС	С	ЗС	ЗС		
Порумбень 174СВ	190	2003	ЗС	С	ЗС	ЗС	ЗС	С
Порумбень 2 12СВ	200	2001	ЗС			ЗС	С	С
Мускат	200	2002	ЗС		С	ЗС	ЗС	
Бемо210СВ	210	1997	ЗС	ЗС	ЗС	ЗС	ЗС	ЗС
Молдавский 257СВ	210	1987	С	С	С	С	С	С
Бемо 182СВ	210	2004	С	С	С	С	С	С
Порумбень 223СВ	230	2002	ЗС	С	ЗС	ЗС	ЗС	С
Молдавский 330 МВ	300	1987	С	С	С	С	С	С
Порумбень 348МВ	350	2003	С	С	С	С	С	С
Белиз	210	2003	ЗС	С	ЗС	ЗС	ЗС	С
Полесский 212СВ	210	2004	С	С	С	С	С	С
Камерад	170	2004	ЗС	С	З	С		С
Хедин	190	1998					С	
Лофт	190	1998			З			
Триумф	190	2001	З			ЗС		
Таргет	190	2003		С	С	С	С	
Гусар	200	1998					ЗС	
Клад	200	2000	ЗС		ЗС	ЗС		С
Алеся	200	2002	ЗС	С	ЗС	ЗС	ЗС	С
Алмаз	200	2002	ЗС	С	ЗС	З	ЗС	
Пернель	200	2003	ЗС	С	ЗС	З	ЗС	
Валадар	200	2004	С	С	С	С	С	С
Брат (КХ 11 22)	200	2005	ЗС	С	ЗС	ЗС	ЗС	С
Кавалер (КХ 1339)	210	2005	ЗС	С	ЗС	ЗС	ЗС	С
Вереск МВ	200	2003	ЗС	С	ЗС			

Адонис 224СВ	210	2004	ЗС					
Берег МВ	220	2002	ЗС	С	ЗС	ЗС	ЗС	С
Коллективный 210АСВ	220	2002	ЗС	С		ЗС	С	С
Адонис 180СВ	220	2004	ЗС		ЗС			
Берест МВ	230	2002	ЗС	С	ЗС	ЗС	ЗС^	С
Коллективный 225АМВ	230	2002	ЗС			С	С	С
Днепровский 195СВ	230	2004	ЗС			З		С
РМ 992 (Евро-стар)	220	2003	ЗС	С	ЗС	ЗС	ЗС	С
РМ 997 (Санто-рин)	220	2003	ЗС		ЗС	ЗС	ЗС	
РМ 20 (Дельфин)	220	2005	ЗС	С	ЗС	ЗС	ЗС	С
РМ011 (Эрли-стар)	210	2004	З	С	ЗС	ЗС	ЗС	
РМ 996 (Гомера)	210	2004	ЗС	С	ЗС	ЗС	ЗС	
Родник 180СВ	210	2005	ЗС		ЗС	ЗС		
Каскад 195 СВ	220	2005	С	С	С	С	С	С
РОСС 199 МВ	230	2000	С				С	
РОСС 197 МВ	230	2004	С	С	С	С	С	С
Краснодарский 194МВ	230	2004	С	С	С	С	С	С
Кубанский 247 МВ	250	2000	С	С	С	С	С	С
Краснодарский 298 МВ	300	2001	С	С	С	С	С	С
ПР39Г12	200	2005	ЗС	С	ЗС	ЗС	ЗС	С
Корн 180	160	2000	З		З	З	З	С
ТК178	180	1998			ЗС		ЗС	
ТК181	200	1998	З		ЗС	З	ЗС	
Либеро	230	1999	С	С	С			С
Авантаж	250	1999	С	С	С	С	С	С
Оптимис	200	2001	З		З	С	С	
Маэстрис	200	2001			ЗС			
Антарес	220	1999			З		З	
Делитоп	210	2005	ЗС	С	ЗС	ЗС	С	С
Бахия	220	1999	С		С			С
Азтек	230	1999	ЗС		ЗС		ЗС	
Олдхам	180	2004	ЗС	С	ЗС	ЗС	С	С

Примечание: З - зерно, С - силос.

Производственно-практическое издание

**Богдевич Иосиф Михайлович
Лапа Виталий Витальевич
Жданович Владимир Павлович и др.**

**Рекомендации
по возделыванию кукурузы на дерново-подзолистых
супесчаных почвах в условиях радиоактивного
загрязнения**

Ответственная за выпуск Н.Ю. Жабровская

Подписано в печать 02.03.2009. Формат 60×84 1/16.
Бумага типографская. Гарнитура "Arial".
Печать ризографическая. Усл. печ. л. 2,56.
Тираж 315 экз. Заказ 16.
Полиграфическое исполнение
Государственное предприятие «Институт системных
исследований в АПК НАН Беларуси»
ЛП № 02330/0150416 от 04.09.2008.
220108, Минск, ул. Казинца, 103.