

А. Г. Подоляк

В. В. Валетов

А. Ф. Карпенко

**ЭКОЛОГИЗАЦИЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА
НА ТОРФЯНО-БОЛОТНЫХ ПОЧВАХ
ЮГО-ВОСТОКА БЕЛАРУСИ**

МГТУ им. М.П. Шамякина

Министерство образования Республики Беларусь

Республиканское научно-исследовательское унитарное
предприятие «Институт радиологии»

Учреждение образования
«Мозырский государственный педагогический университет
имени И. П. Шамякина»

А. Г. Подоляк, В. В. Валетов, А. Ф. Карпенко

ЭКОЛОГИЗАЦИЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА
НА ТОРФЯНО-БОЛОТНЫХ ПОЧВАХ
ЮГО-ВОСТОКА БЕЛАРУСИ

Мозырь
МГПУ им. И. П. Шамякина
2018

УДК 631.95:633.3:631.445.12 (476)
ББК 40.3(4Бен)
П44

Печатается по решению научно-технического совета
УО МГПУ им. И. П. Шамякина (протокол № 5 от 19.10.2018)

Рецензенты:

В. В. Усеня, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент НАН РБ;

А. В. Шилевич, доктор технических наук, профессор;

С. Ф. Каморников, доктор физико-математических наук, профессор

Подоляк, А. Г.

П44 Экологизация растениеводства на торфяно-болотных почвах юго-востока Беларуси / А. Г. Подоляк, В. В. Валетов, А. Ф. Карпенко. – Мозырь : МГПУ им. И. П. Шамякина, 2018. – 218 с.
ISBN 978-985-477-661-3.

В монографии рассматриваются особенности использования торфяно-болотных почв юго-востока Беларуси. Анализируются защитные мероприятия в растениеводстве. Представлены данные о влиянии комплекса удобрений на перемещение радионуклидов из торфяных почв в урожай злаковых и бобово-злаковых травосмесей.

Монография адресована студентам, аспирантам, научным сотрудникам, практическим работникам сферы сельскохозяйственного производства, экономики и природопользования.

УДК 631.95:633.3:631.445.12 (476)
ББК 40.3(4Бен)

ISBN 978-985-477-661-3

© А. Г. Подоляк, В. В. Валетов,
А. Ф. Карпенко, 2018
© УО МГПУ им. И. П. Шамякина, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ БОЛОТ И ТОРФА	8
1.1. Водный режим Республики Беларусь	8
1.2. Роль болот в поддержании экологического равновесия	11
1.3. Направления использования торфа	16
1.4. Особенности торфяно-болотных почв	20
ГЛАВА 2. РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ	31
2.1. Населенные пункты	31
2.2. Мониторинг агрохимического состояния и радиоактивного загрязнения земель	40
ГЛАВА 3. ДОСТУПНОСТЬ ЦЕЗИЯ-137 И СТРОНЦИЯ-90 РАСТЕНИЯМ НА РАЗНЫХ ТИПАХ ПОЧВ	49
3.1. Механизмы поступления минеральных элементов почвы в растения	49
3.2 «Формы нахождения» техногенных радионуклидов в почвах	53
3.3. Переход радионуклидов из фиксированного в доступное для растений состояние	56
3.4. Факторы, определяющие уровни биологической доступности почвенного вещества	60
3.5. Факторы, влияющие на параметры перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в сельскохозяйственные культуры	65
3.6. Параметры перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в растения на почвах разного генезиса	68
3.7. Временная динамика биологической доступности ^{137}Cs и ^{90}Sr в агроэкосистемах	72
ГЛАВА 4. ВЕДЕНИЕ РАСТЕНИЕВОДСТВА НА ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ, ПОДВЕРЖЕННЫХ РАДИАЦИОННОМУ ВОЗДЕЙСТ- ВИЮ	76
4.1. Миграция радионуклидов в звене торфяно-болотные почвы-растения в отдаленный период после аварии на ЧАЭС	76
4.1.1. Накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr растениями на торфяных почвах	76
4.1.2. Показатели миграции радионуклидов в травы	82
4.1.3. Параметры миграции радионуклидов в полевые культуры	95
4.2. Влияние различных доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность и накопление цезия-137 и стронция-90 многолетними злаковыми и бобово-злаковыми травостоями	100
4.2.1. Радиоэкологическая эффективность применения удобрений	100
4.2.2. Урожайность многолетних травосмесей	110
4.2.3. Поступление радионуклидов в злаковые и бобово- злаковые травостои	118

4.2.4. Зоотехническое качество корма	120
4.2.5. Экономическая эффективность внесения удобрений	122
4.3. Структура посевных площадей сельскохозяйственных предприятий с высоким удельным весом торфяных почв	125
4.3.1. Обоснование необходимости проведения исследований	125
4.3.2. Подбор эффективных кормовых культур	130
4.3.3. Параметры накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в кормовых культурах и их зоотехническое качество.....	134
4.3.4. Оптимизация структуры посевных площадей.....	137
4.4. Получение травяных кормов в пределах республиканских допустимых уровней содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr	141
4.4.1. Состояние сенокосов и пастбищ	141
4.4.2. Прогнозирование содержания радионуклидов в кормах	144
4.4.3. Агрохимические и агротехнические приемы снижения поступления ^{137}Cs и ^{90}Sr в травяные корма	147
4.4.4. Экономическая и радиологическая эффективность возделывания многолетних трав.....	157
4.5. Возделывание донника и эспарцета в условиях радиоактивного загрязнения торфяных почв.....	159
4.5.1. Биологические особенности культур.....	159
4.5.2. Результаты экспериментальных исследований по изучению особенностей донника белого и эспарцета	162
4.5.3. Влияние доз и соотношений минеральных удобрений на урожай зеленой массы донника и эспарцета	168
4.5.4. Влияние доз и соотношений минеральных удобрений на накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr зеленой массой трав.....	174
4.5.5. Экономическая и энергетическая эффективность возделывания донника белого и эспарцета на кормовые цели.....	179
4.6. Совершенствование структуры многолетних трав.....	181
4.7. Многолетние травы как экологическое звено в сохранении плодородия торфяных почв.....	191
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	199
ЛИТЕРАТУРА	202

ВВЕДЕНИЕ

В структуре земельного фонда Беларуси более 40 % площадей занимают сельскохозяйственные земли, что свидетельствует о высокой степени сельскохозяйственной освоенности территории страны.

Основной качественной характеристикой земельных ресурсов, используемых в сельском хозяйстве, является плодородие почвы, которое обусловлено особыми свойствами самого верхнего слоя. Плодородие почв подразделяется на естественное и искусственное. Естественное плодородие зависит от общих запасов в почве питательных веществ и влаги, обусловлено такими природными составляющими, как содержание гумуса, механический состав и др. Искусственное плодородие создаётся человеком путем проведения агротехнических, агрохимических и мелиоративных мероприятий, поэтому зависит от культуры земледелия. Главным приемом регулирования запасов питательных веществ в почве, доступных растениям, является внесение минеральных и органических удобрений. Оптимальная влажность в почве достигается с помощью агро- и гидротехнических мероприятий.

Почвенный слой Беларуси имеет сложное строение. Из известных в агрономической науке более 100 типов почв, в стране выделено 11 типов. Под влиянием почвообразовательных процессов сформировались такие типы почв, как дерново-карбонатные (0,2 % территории), дерново-подзолистые (45,1 %), дерново-подзолистые заболоченные (9,0 %), торфяно-болотные (14,4 %), пойменные (8,4 %) (Шимова О.С., Соколовский Н.К., 2012). Из указанного перечня торфяные почвы относят к категории наиболее ценных, так как мелиорированные торфяно-болотные почвы обладают высоким потенциальным плодородием, балл которых составляет 70–80.

Известно, что рациональное землепользование может повышать естественное плодородие почв, улучшать состояние земельных ресурсов, увеличивать природный потенциал плодородия. И, напротив, неправильное, расточительное хозяйствование приводит к значительным потерям земельного фонда вследствие возникновения и развития процессов эрозии, заболачивания, загрязнения и т. п.

Одной из проблем Беларуси является наличие в почве некоторых районов радиоактивных элементов вследствие аварии на ЧАЭС. Почва обладает способностью накапливать радиоактивные вещества (стронций, цезий, плутоний и др.), которые затем вместе с питательными веществами переходят в сельскохозяйственные растения, животных, а через них – к человеку.

Радиоактивное загрязнение окружающей среды в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС в наибольшей мере затронуло Беларусь. В Беларуси более других пострадали Гомельская и Могилевская области.

К настоящему времени содержание цезия-137 в почве, по причине его естественного распада, значительно сократилось. Кроме того, происходило снижение количества подвижного цезия-137 вследствие перехода в

необменное состояние, что способствовало снижению его миграции из почвы в растения. В результате этого из радиационно опасных было исключено и возвращено в сельскохозяйственный оборот около 17 тыс. га земель (Седукова Г.В., Исаченко С.А., 2014). Вместе с тем до сих пор в Беларуси остаются загрязненными значительные площади сельхозугодий, среди которых большой удельный вес занимают торфяно-болотные почвы.

Организация растениеводства на этих почвах предусматривает, с одной стороны, повышение продуктивности угодий, с другой, – снижение накопления радионуклидов в растениях до уровней, гарантирующих производство продукции в соответствии с санитарно-гигиеническими нормативами. При проведении мероприятий на торфяных почвах основными принципами ведения зернового, пропашного и лугопастбищного хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения являются:

- дифференцированное использование угодий в зависимости от их типа, свойств почв, ландшафтной характеристики и радиоэкологической классификации;

- инвентаризация состояния пашни, пастбищных и сенокосных угодий, повышение их продуктивности, обеспечение оптимальной нагрузки животных при выпасе на пастбище;

- внедрение специализированных технологий улучшения.

В этой связи актуальной являлась разработка и изучение эффективных агрохимических защитных для торфяных почв, обеспечивающих получение нормативно чистых кормов в условиях радиоактивного загрязнения. Было установлено, что на данном типе почв значительно труднее получить урожай многолетних трав с низким содержанием радионуклидов, пригодных для скармливания скоту и получения качественного молока и мяса. Это обуславливалось как биологическими особенностями многолетних трав, которые накапливают радионуклиды больше, чем зерновые культуры, так и размещением трав на заболоченных землях, где наблюдается повышенный переход радионуклидов из почвы в растения.

Миграция радионуклидов по пищевым цепочкам от почвы до организма человека является, наряду с внешним облучением, основным путем формирования дозовых нагрузок на население. Известно, что главным звеном, определяющим поступление радионуклидов в организм человека, является система «почва – растение», параметры перехода в которой зависят как от плотности загрязнения, так и от типа почв, их гранулометрического состава и агрохимических свойств, режима увлажнения, а также биологических особенностей возделываемых культур. Параметры миграции радионуклидов в последующих звеньях пищевой цепочки являются постоянными и достаточно хорошо изучены. Отсюда следует, что прогноз дозы внутреннего облучения населения сводится главным образом к прогнозу параметров миграции радионуклидов в системе «почва – растение» (Валетов В. В., Дегтярева Е. И., 2013).

Подвергшиеся радиоактивному загрязнению торфяники представляют собой наиболее инерционное звено, интенсивное удерживание радионуклидов в котором в существенной мере определяет их поступление и перераспределение во всей экологической цепи. Это обусловлено тем, что природные свойства торфяных почв предполагают нахождение радионуклидов в состоянии доступном для поглощения корневыми системами и включения их в цепи миграции.

Исследование явлений, ответственных за перераспределение радионуклидов в торфяных системах, переход их в поровую влагу, миграцию по профилю горизонта, подвижность в системе «почва – растение» имеет важный научный и практический интерес с точки зрения прогнозирования возможных негативных последствий, разработки мероприятий, обеспечивающих оптимальный режим ведения сельскохозяйственных работ и безопасность населения, проживающего на загрязненных территориях.

Многочисленные исследования показывают, что в отличие от минеральных, на торфяно-болотных почвах складываются особые специфические условия, способствующие определенной биологической доступности радионуклидов. Значения коэффициентов перехода основных дозообразующих радиоизотопов из торфяно-болотных почв в растения зависят от многих параметров, основными из которых являются генетические особенности почв, связанные с условиями образования и результатами хозяйственной деятельности, режим увлажнения и климатические условия, а также физико-химические формы нахождения радионуклидов в почве и время, прошедшее после их выпадения.

В этой связи исследования особенностей ведения растениеводства на торфяно-болотных почвах представляет большой теоретический и практический интерес.

ГЛАВА 1. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ БОЛОТ И ТОРФА

1.1. Водный режим Республики Беларусь

Климатические условия, современный рельеф и почвообразующие породы Беларуси определяют водный режим территории и распределение на ней болот, рек и озер. Вместе с атмосферой и литосферой гидросфера относится к важнейшей составной части республики. Гидросфера объединяет все воды страны, включая атмосферные воды, подземные и поверхностные воды (реки, озера, болота) суши. Речная сеть республики принадлежит к Черноморскому и Балтийскому бассейнам. На её территории насчитывается примерно 20800 рек, общей протяженностью около 90,6 тыс. км. Самая крупная река Днепр начинается в Смоленской области, протекает по территории Беларуси и Украины. Общая протяженность Днепра составляет 2285 км, из них 720 км приходится на Беларусь. На территории республики Днепр получает около 60 % своего общего стока. Одним из наиболее крупных притоков Днепра является р. Припять, которая составляет около 26 % общего стока Днепра. В основном она течет в направлении с запада на восток в средней части Полесской низменности. Одним из больших притоков Припяти является Птичь. Кроме Припяти к крупным притокам Днепра относятся Березина, Сож, Друть. В водосборе Днепра протекает более 1,5 тыс. речек, общая длина которых превышает 28,0 тыс. км.

Реки выполняют роль водоприемников при осушении болот и заболоченных земель.

Республика Беларусь не имеет непосредственного выхода к морям и океанам, на её территории имеются только континентальные водоёмы. Среди них главными являются реки. Ресурсы поверхностных вод Беларуси оцениваются в 58 км³/год, по этому показателю она занимает восьмое место среди стран СНГ. Большая часть речного стока (34,0 км³) формируется в пределах Беларуси. Местный сток изменяется в соответствии с водностью года от 61 до 24 км³/год. Удельная обеспеченность стоком речных вод в Беларуси несколько выше, чем в среднем по странам СНГ, и составляет 279,4 тыс. м³/год на 1 км² (Шимова О.С., Соколовский Н.К., 2010).

Реки являются значительной частью ресурсов пресной воды. Вследствие непрерывной возобновляемости и легкой доступности речные воды наиболее пригодны для использования человеком. В развитии человеческого общества их роль чрезвычайно велика, так как хозяйственная деятельность без них практически невозможна. Реки служат путями сообщения, их используют для создания оросительных систем, они являются источниками механической энергии, водоснабжения и, особенно в последнее время, служат незаменимыми поставщиками пресной воды для промышленности.

Реки страны по водному питанию относятся к смешанному типу (атмосферное и грунтовое). Значительная доля его пополняется за счет грунтовой воды, но преимущественно преобладает снеговое питание.

Весновое половодье продолжается 2–2,5 месяца. Во время половодья в северных реках вода поднимается на 15–40 см, а в южных – на 15–20 см в сутки. В отдельные годы во время половодья реки с низкими берегами сильно разливаются и затапливают пойменные луга и болота. Особенно велики разливы рек в районе Пинска. После спада талых вод на реках устанавливается летняя межень, которая продолжается до трех месяцев. В этот период крупные и средние реки часто мелеют, а мелкие могут пересыхать. Во второй половине лета на реках Беларуси отмечаются дождевые паводки, а в октябре – ноябре могут происходить и осенние паводки.

По типу минерализации вод все реки Беларуси относятся к гидрокарбонатному классу из-за распространения извести в почвообразующих породах. Воды рек в среднем содержат от 200 до 500 мг/л минеральных элементов.

В пределах границ Беларуси насчитывается 10,8 тыс. озер. Их суммарная площадь составляет почти 2 тыс. км² или около 1% территории страны, а общий объем воды – около 6 км³. Наиболее глубокие, разнообразные по очертаниям живописные озера находятся в Белорусском Поозерье. Самое большое озеро Нарочь занимает площадь около 80 км². Озера играют важную экологическую роль в общей системе гидрографической сети республики. Они являются регуляторами стока рек, так как снабжают их водой в период межени.

Водохранилища относятся к искусственным водоемам с полным объемом задержанных водных масс более 1 млн м³, созданным с использованием водонапорных сооружений для накопления и сохранения воды, регулирования стока в соответствии с потребностями различных отраслей народного хозяйства.

Водохранилища создаются для использования гидроэнергии, для судоходных систем и для мелиоративных целей. Обычно для создания водохранилища ставится плотина на реке, и разлившиеся воды заливают часть суши. В водохранилищах часто размываются берега из-за мелководья и появления больших волн от ветра. Самые большие по площади – равнинно-речные водохранилища, но они же и самые мелководные. Горно-речные водохранилища обладают меньшей площадью, но они зато глубоководны. Самая большая глубина водохранилища у плотины и самая меньшая у верхнего речного участка. Учитывая то, что водохранилище несет на себе признаки как речного, так и озерного типа, флора и фауна их тоже занимает промежуточное положение.

На этапе становления экосистемы водохранилища в условиях слабого антропогенного воздействия гидрохимический режим нового водохранилища незначительно отличается от речного и формируется под действием выщелачивания почв и пород в зависимости от степени подготовки ложа и площади обводнения.

Показатели продуктивности фитопланктона (численность, биомасса, содержание хлорофилла, скорость фотосинтеза) в первые годы после

зарегулирования возрастают в соответствии с изменением проточности и колебаниями уровня, за счет поступления органических и биогенных веществ. Максимум биологической продуктивности достигается на третий год существования водохранилища. Трофический статус водоема соответственно меняется от мезотрофного к эвтрофному, а качества воды снижается от II класса к III, от «чистой» до «удовлетворительной чистоты».

На территории Беларуси сооружено около 160 водохранилищ различного хозяйственного назначения. Суммарный полный объем воды, которая задерживается водохранилищами, достигает $3,0 \text{ км}^3$, а полезный – $1,24 \text{ км}^3$. Общая площадь водного зеркала акватории водохранилищ составляет 740 км^2 или около 0,4 % территории. Самое крупное из них – Вилейское ($63,8 \text{ км}^2$). С созданием водохранилищ озерность Беларуси увеличилась с 0,6 до 1,4 % (Карпенко А.Ф., Крук А.В., 2017).

К числу искусственных водоемов относятся и пруды, которые аккумулируют местный сток для хозяйственно-бытового водообеспечения и иных целей. Их полный объем не превышает 1 млн м^3 . Прудовой фонд Беларуси насчитывает более 1500 единиц. Полный объем задержки водных масс в прудах составляет более $0,2 \text{ км}^3$, площадь водного зеркала – 140 км^2 . Кроме того имеется 19 рыбных хозяйств с полным объемом задержки воды $0,3 \text{ км}^3$ и площадью 179 км^2 .

Наиболее ценным ресурсом пресных вод являются подземные воды. В республике естественные ресурсы пресных подземных вод оцениваются в $18,1 \text{ км}^3/\text{год}$. Они распространены по всей территории Беларуси на глубинах от 100 до 450 м (Шимова О.С., Соколовский Н.К., 2010).

К ресурсам поверхностных вод следует отнести также болота. В Беларуси имеется более 9,0 тыс. болот. До периода осушения площади болот достигали 2,5 млн га. В результате осушения площади болот сократились на 1,35 млн га (54 %) и которые стали использоваться в народном хозяйстве. Под болотами в настоящее время сохраняется около 1,15 млн га. Если данную площадь разделить на численность болот, то их средний размер составляет около 127,8 га.

В результате исследований установлено, что мощность пласта торфа в болотах колеблется от 0,3 до 10 м, а его влажность достигает 80 % и выше. Среди болот Республики Беларусь наиболее распространены низинные, занимающие 81,2 % от всех площадей с мощностью торфа от 1 до 2 метров, поэтому для определения запаса воды в болотах республики можно принять в расчёт толщину торфа 1 м и влажностью 80 % в качестве средних величин. При таких условиях в толще болотной системы республики, занимающей площадь 1,15 млн га, может аккумулироваться не менее $9,2 \text{ км}^3$ количества воды.

Следовательно, водные ресурсы из всех основных источников в Беларуси формируются приблизительно на уровне $94,8 \text{ км}^3$, которые состоят из воды рек – 58 км^3 , воды озёр – 6 км^3 , воды водохранилищ – 3 км^3 , воды прудов – $0,2 \text{ км}^3$, воды рыбхозов – $0,3 \text{ км}^3$, пресных подземных вод – $18,1 \text{ км}^3$ и

воды болот – 9,2 км³. В целом по Беларуси возобновляемые ресурсы пресных поверхностных и подземных вод оцениваются как достаточные для удовлетворения потребностей страны (Карпенко А.Ф., Крук А.В., 2017).

После проведения мелиоративных работ и обустройства осушительных каналов на заболоченных и болотных площадях резко меняется режим заболоченных территорий.

Водный режим на территории Беларуси во многом зависит от количества выпадающих атмосферных осадков, распределение которых по поверхности зависит от рельефа и почвенно-грунтового поглощения. При переувлажнении, понижения рельефа могут развиваться процессы заболачивания почв. Непоглощенные почвой осадочные воды, особенно в период снеготаяния, могут стекать в понижения и тем самым, формировать поверхностный сток. По отдельным областям республики проявление поверхностного стока различается. Например, на юге выпадает меньше атмосферных осадков, а температура выше, что увеличивает испарение. Здесь же территория более выровненная, с преобладанием песчаных почв, что увеличивает инфильтрацию атмосферных вод в грунтовые и способствует уменьшению поверхностного годового стока.

Большинство атмосферных осадков на территории республики выпадает в теплый период года (около 70 %), с западными влажными ветрами. За период вегетации растений выпадает в среднем от 300 до 400 мм дождей. Причем наибольшее их количество выпадает в центральной части республики и наименьшее – на юге Гомельской области. Если по среднегодовому количеству осадков от 540 до 700 мм Беларусь относится к зоне достаточного увлажнения, то южная и юго-восточная части ее принадлежат к зоне неустойчивого увлажнения.

Однако и в этот период количество осадков может быть весьма неравномерным. Количество декадных и даже месячных сумм осадков под влиянием циркуляционного режима изменяется в больших пределах.

В целом можно сделать вывод, что климат Беларуси мягкий и благоприятный для развития процессов почвообразования, произрастания древесной и травянистой растительности и успешного возделывания сельскохозяйственных культур.

1.2. Роль болот в поддержании экологического равновесия

Болота Беларуси – избыточно увлажнённые участки земли со специфической растительностью, в результате жизнедеятельности и отмирания которой образуется торф.

Торф – это слабо разложившиеся растительные остатки, которые накапливаются в болотной экосистеме. Под микроскопом можно идентифицировать остатки растений по видам, сформировавшим торф. Болота разных типов формируют торф разной степени богатства минеральными и

органическими веществами. Наиболее богат минеральными веществами торф низинных болот, наиболее беден – верховых.

Болото – это постоянно переувлажненный участок суши, имеющий слой торфа не менее 30 см, покрытый специфической болотной растительностью. Почвенный покров на болотах образуется под влиянием торфообразования и оглеения (заболачивания). Образуются болота в результате переувлажнения атмосферными осадками, поверхностными или грунтовыми водами, а также в результате зарастания озер и речных стариц.

Болота относятся к сложным природным образованиям, возникновение и развитие их определяется геоморфологическими, почвенными, гидрологическими и климатическими условиями местности. Формирование болот происходит в течение длительного геологического времени. В основе функциональной структуры данных образований существует тесная связь и взаимодействие как между отдельными компонентами болотного комплекса, так и между торфом в целом и окружающей средой.

Торфяные болота тесным образом связаны с окружающим ландшафтом и выполняют существенные биосферные функции. Роль их в природе многофакторная. Например, об этом свидетельствует только уже то, что ресурсы торфа болот страны рассматриваются в качестве важнейшего национального богатства как с экологической, так и с экономической точек зрения (Валетов В.В., 2008).

В природе болота выполняют разнообразные и специфичные функции, такие как гидрологическая, геохимическая, климатическая, газорегуляторная, аккумулятивная, биологическая, ландшафтная, межкруговоротная и некоторые другие. Все эти функции относятся к биосферным, так как болота, оказывают существенное влияние на многие процессы, протекающие в биосфере.

Болота выполняют биосферные функции со времени возникновения жизни на земле и продолжают их выполнять сейчас. С развитием человеческой цивилизации, кроме биосферных, болота начали выполнять новые функции, весьма важные для человека: ресурсно-сырьевую, культурно-рекреационную и информационно-историческую.

Аккумулятивная функция свойственна только болотам, почвам, водоемам и является незаменимой. Но только в болотах накапливается такой природный продукт как торф, который нигде больше не накапливается. В почвах и водоемах аккумулируются другие природные вещества.

Биологическая функция болота также относится к категории незаменимых. Болота являются местообитаниями специфичной флоры и фауны, которые не могут существовать в других местообитаниях.

Ландшафтная функция болот заключается в том, что они образуют неповторимые болотные ландшафты, которые не могут быть заменены какими-либо другими ландшафтами. Вместе с прилегающими территориями образуют болотные комплексы, в которые, помимо болот, могут входить озера, поймы рек и склоны местных водоразделов т. д. В зависимости от

особенностей местности выделяются несколько типов природных болотных комплексов: озерно-болотные, пойменно-болотные, суходольно-болотные и сложные, состоящие из сочетания не менее двух вышеназванных типов. Отдельный тип имеет антропогенное происхождение и получил определение как мелиорированные болотные агроландшафты.

Межкруговоротная функция болот обусловлена переходом таких органогенных элементов, как углерод, азот и других из малого биогенного в большой геологический круговорот веществ на Земле. Происходит это из-за незамкнутости годичных биоциклов органического вещества в болотной среде, вследствие чего ежегодно продуцируемое органическое вещество полностью не разлагается и постепенно погребается последующими отложениями. По мере увеличения торфяных пластов нижележащие слои торфа переходят из торфогенного слоя, исключаются из биогенного круговорота и переходят в геологический. Аналогичные процессы свойственны и для озер, в которых органогенная масса откладывается в виде сапропеля или торфосапропеля.

Суть газорегуляторной функции заключается в том, что болотная растительность в процессе фотосинтеза выводит углекислый газ из атмосферы, связывает его в органическое вещество, которое после отмирания растений трансформируется в торф, превращающийся при наличии необходимых условий в бурый и каменный уголь. Из этого следует, что болота способны выводить из атмосферы углекислый газ и не возвращать его обратно в течение многих тысячелетий. Взамен выведенного углекислого газа в атмосферу выделяется эквивалентное количество кислорода. Газорегуляторная функция болот тесно связана с их аккумулятивной и межкруговоротной функциями.

Следующая функция болот – геохимическая. Она состоит в аккумуляции различных химических элементов, поступающих в болота с атмосферными осадками, пылью, паводковыми и подземными водами. Торф является безупречным природным сорбентом многих металлов, ионов аммония, служит барьером на путях миграции элементов с природными водами.

Гидрологическая функция болот состоит в поддержании водного режима не только на площади, занятой торфяными залежами, но и на прилегающих к ним территориях, озерах и реках.

Климатическая функция болот обусловлена их свойством сглаживать колебания температуры и влажности воздуха как на самих болотах, так и на прилегающих территориях. Из-за этого вокруг болот в меньшей степени проявляются весенние и осенние заморозки, в летний период – атмосферные засухи.

Болота являются источником таких важнейших ресурсов, как торф для топлива, удобрения для сельского хозяйства, сырье для химической промышленности, а также местом заготовки древесины, лекарственных растений, лечебных торфяных грязей и др. Одновременно болота являются

территориальным ресурсом, который используется для строительства и создания мелиорированных сельскохозяйственных угодий, лесопосадок. Во всем этом проявляется ресурсно-сырьевая функция болот.

К культурно-рекреационной функции болот относится то, что болота являются местами активного отдыха населения – сбора ягод, лекарственных растений, охоты, а также объектами экологического туризма и образования.

Торфяные залежи хранят в себе ценную информацию об истории развития растительного покрова местности и изменениях климата в прошедшие столетия. К носителям такой информации относят пыльцу и споры растений хорошо сохраняющиеся в торфяных залежах. На основании этого считают, что болота выполняют так называемую информационно-историческую функцию (Куликов Я.К., 2012).

Специфика болотных экологических систем заключается в преобладании накопления органической массы на поверхности земли над ее разложением, что позволяет отнести болота к особому типу аккумулятивных систем биосферы. Аккумулятивная функция болот относится к категории незаменимых, так как только в болотах образуется специфический природный продукт – торф, который нигде больше не накапливается.

Белорусским болотам принадлежит особая роль в поддержании экологического равновесия: в естественном состоянии они служат аккумуляторами влаги и перераспределения стока, поддерживают качество поверхностных вод, утилизируют углерод и продуцируют кислород, являются местообитаниями ценных лекарственных растений, ягодников и т. д. (Бамбалов Н.Н., Ракович В.А., 2004; Кухарчик Т.И., 1996).

Из-за антропогенного загрязнения воды в мире происходит уменьшение водных ресурсов, в результате чего нарушается экологический баланс целых географических территорий и отдельных экосистем, изменяется их состояние, снижается продуктивность биогеоценозов, ухудшаются условия для хозяйственной деятельности. Загрязнение естественных водоёмов различными промышленными и бытовыми отходами приводит к дефициту в чистой пресной воде. Потребление пресной воды на обеспечение физиологических функций одного человека в год составляет более 1 т, на удовлетворения его бытовых нужд – 36–180 т, а 1 м³ сточных вод загрязняют и делают непригодными для потребления от 40 до 60 м³ чистой воды. Следовательно, пресная вода является важнейшим природным компонентом, без которого невозможны почти все формы жизни.

Одним из рациональных путей использования водных ресурсов территории является вовлечение в хозяйственный оборот того объема воды, который может быть восполнен естественным путем. Данный объем во многом зависит от основных компонентов экологического ландшафта местности и особенностей хозяйственной деятельности.

При наличии на территории местности болот, то они, как правило, оказывают существенное влияние на водный баланс. Известно, что в 1 м³ торфа болота содержится 86–94 % воды и 6–14 % сухого вещества.

Одновременно к важным составляющим водного баланса территории следует отнести выпадение осадков в виде снега, града, дождя, росы и инея. Считается, что над болотами содержание влаги в атмосфере больше, чем над суходольными полями. Над болотами наблюдается более высокое испарение влаги по сравнению с другими видами угодий. Влияние болот на микроклимат местности связано еще с тем, что они задерживают местные осадки и их перераспределяют. Это происходит благодаря особенностям болотной растительности. Состав и структура растительного покрова благоприятствует снегонакоплению, а также вертикальному перехвату осадков. При выпадении дождя и снега осадки задерживаются листьями и стволами, часть их фильтруется в залежь, где и аккумулируется, а часть испаряется. Влагонакопительная способность болота зависит от водоудерживающих свойств залежи, рельефа местности, растительного покрова и фильтрационной способности подстилающего грунта. Расход запасов воды с болота происходит вследствие транспирации, испарения, поверхностного и грунтового стоков. В засушливый период болота способны длительное время поддерживать уровень грунтовых вод на прилегающих суходольных территориях. В начальной стадии засухи иссушение болота идет интенсивно, но в дальнейшем этот процесс затухает, и залежь способна в течение длительного периода удерживать большие запасы воды.

Болота характеризуются специфической флорой и фауной и весьма тесно связаны с прилегающими территориями. Флористическая особенность болот – преобладание закономерно распределенной болотной растительности, приспособившейся к обильному увлажнению, недостаточной аэрации корнеобитаемого слоя почвы, а также к повышенной кислотности и практически полному отсутствию минерального питания. Физико-химическая особенность болот заключается в слабом распаде органического вещества отмерших растений и торфообразовании, которое по своей природе является почвенным процессом. С болотами и сопутствующими им минеральными избыточно увлажненными землями тесно связано существование специфической фауны.

Торфяные месторождения выполняют важную экологическую роль в водном режиме окружающих их территорий путем поддержания уровней грунтовых вод. Наибольшие изменения уровней грунтовых вод, связанные с осушением болотных массивов, происходят в регионах, где минеральное дно торфяной залежи и грунты водосборной площади сложены водопроницаемыми породами. В условиях плоских заболоченных равнин с легкими по механическому составу почвами понижение уровня грунтовых вод на 0,2–0,5 м приводит к нарушению водного питания растений и тем самым к изменению видового состава растительных ассоциаций и их продуктивности.

Торфяные месторождения отличаются высокой биологической продуктивностью, а их роль в выделении кислорода – аналогичная или выше роли леса. Моховые болота поглощают до 40 % парниковых газов. Если в состав ландшафта входят болота, то они оказывают решающее влияние на

водный баланс территории и определяют сток малых речных систем. Общеизвестна исключительно важная роль торфяных месторождений в формировании местного климата и создании специфических условий для функционирования биологического разнообразия животного и растительного мира, которые в других местах не встречаются.

Торф является представителем органогенной породы и может содержать в своем составе до 50 % минеральных веществ. Он образуется в результате отмирания и неполного разложения болотной растительности в условиях повышенной влажности при недостатке кислорода. Первичная органическая продукция, синтезируемая растениями в болоте, почти не используется животными и практически полностью консервируется и накапливается. Также не происходит разрушение первичной биологической продукции бактериями и грибами.

Прирост торфяной залежи в неосушенном болоте идет непрерывно, но очень медленно. Если принять, что на ныне растущих торфяниках продуцируется в течение года в среднем около 3 т/га сухой органической массы, из которой образуется около 20 % торфа, то ежегодный прирост его составляет 0,6 т/га, т. е. метровый слой торфяной залежи накапливается лишь за 1,5–2,0 тыс. лет (Куликов Я.К., 2012).

У осушенных болот утрачиваются свойственные им в естественном состоянии функции аккумуляторов влаги и регуляторов стока, что сказывается на климатических условиях, водном и тепловом балансе района их размещения (Валетов В.В., 2009).

1.3. Направления использования торфа

Ресурсы торфа в Беларуси на период разведки составляли около 5,7 млрд т. Общая площадь торфяных болот до начала их интенсивного хозяйственного использования составляла 2,9 млн га (14 % территории). Торфяной фонд включал свыше 9 тысяч месторождений. Республика Беларусь в Европе считалась одной из наиболее обеспеченной запасами торфа. Основные площади торфяных месторождений были сконцентрированы в Белорусском Полесье, более половины – с мощностью торфа менее 1 м, практически повсеместно подстилаемые песчаными отложениями. Общие объемы добычи торфа в республике до 1975 года возрастали. В этом году было добыто максимальное количество торфа – 38,9 млн т, затем наметилась тенденция к сокращению объемов добычи торфа. Она объяснялась тем, что основные крупные торфяные месторождения низинного типа были выработаны, а на мелких месторождениях обеспечивать такие объемы добычи торфа уже было невозможно. По состоянию на 1 января 1978 года оставшиеся геологические запасы торфа снизились до 4,9 млрд т (при условной 40 %-ной влажности). Эти запасы находились на 7,05 тыс. торфяных месторождениях, площадь которых составляла около 2,5 млн га. Под сельскохозяйственными и лесными угодьями было занято 42,3 %

площадей, под промышленной разработкой – 17,3, под заповедниками, заказниками и др. – 10,3 и в естественном состоянии – около 30 % площадей торфяных месторождений. Добыча торфа в последующие годы привела к тому, что запасы торфа, возможные к извлечению, по состоянию на 1985 год оценивались в 633 млн т. Изменялись и направления использования торфа. Если в 1966 году более 50 % добываемого торфа шло на топливо, то в 1985 году 80 % его было использовано на удобрение (Тановицкий И.Г., Обуховский Ю.М., 1988).

Из-за высоких темпов и масштабов использования, имеющихся в республике торфяных ресурсов к настоящему времени уже более 50 % площади торфяных месторождений относятся к антропогенно нарушенным, а оставшиеся геологические запасы торфа составляют 4373,0 млн т, при этом общая площадь торфяного фонда сократилась до 2,4 млн га. Наибольшее количество остаточных запасов торфа сосредоточено в Минской (1,12 млрд т) и Витебской (1,16 млрд т) областях, наименьшее – в Могилевской (0,36 млрд т) и Гродненской (0,3 млрд т). Кроме этого имеется 523,8 тыс. га болот с площадью менее 1 га, которые не вошли в торфяной фонд и ресурсы торфа в которых пока не оценены (Белковский В.И. и др., 2001).

Болота и торфяные месторождения республики интенсивно используются во многих отраслях народного хозяйства для разнообразных целей: сельскохозяйственных, энерго-технологических, химико-технологических, медицинских и природоохранных. Основные объемы добываемого торфа приходятся на первые два направления. Наиболее ценные составляющие торфа (битумы, углеводный комплекс и другие органические соединения) могут извлекаться для получения таких материалов, как воск, кормовые дрожжи, углеродные сорбенты, торфощелочные реагенты, наполнители пластмасс, биологически активные соединения, органоминеральные удобрения и др. Сырьем для производства перечисленной продукции служат торфа месторождений верхового типа, существенно различающиеся по качеству. Верхние слои в них представлены торфом низкой степени разложения, в нижних слоях степень разложения гораздо выше. Поэтому запасы сырья таких месторождений условно подразделяют на торф со степенью разложения до 20 %, со степенью разложения от 20 до 30 % и свыше 30 %.

В Беларуси разработаны технологии для производства осахаренного торфа, торфо-амидо-концентрированных добавок и других кормовых продуктов для животных. Из верхового торфа со степенью разложения 30 % и более можно получать торфяной воск и сопутствующую продукцию.

Значительны перспективы рационального и комплексного использования торфа к применению в сельскохозяйственной практике для производства удобрений и стимуляторов роста. Среди различных видов удобрений на основе торфа предпочтительнее использование органоминеральных гранулированных удобрений. В результате их применения повышается эффективность использования торфа и минеральных удобрений, улучшаются условия хранения и снижаются потери питательных

веществ из удобрений, существенно сокращается расход торфа на удобрения, решается проблема дифференцированного питания растений, значительно снижается загрязнение окружающей среды минеральными удобрениями.

В республике налажено производство малотоннажной продукции из торфа для сельского хозяйства и населения: горшочки полые блочные и штучные, субстраты на основе торфа, брикеты питательные, удобрения в упаковках и др.

Имеются перспективы в использовании торфа для производства красителей древесины, химических волокон, тканей и кож, реагентов и смазок, изделий бытовой химии, косметики, полиграфии, производства строительных материалов и других продуктов. Торф как богатейший источник физиологически активных соединений в течение многих лет успешно используется в медицине, ветеринарии и животноводстве. Созданы новые препараты и лекарственные формы, разработаны оригинальные схемы бальнеологического лечения.

Следует отметить, что добытый торф является хорошим ионообменником и может успешно применяться для защиты и оздоровления окружающей среды. Среди составляющих торфа высокой активностью к ионообмену выделяются гумусовые вещества (более 50 %) и гемицеллюлозы (30–40 %).

Моховой торф хорошо адсорбирует из сточных вод поверхностно-активные вещества, красители, ртуть, сульфиды металлов и др. Преимуществом торфяных фильтров, применяемых для очистки промышленных и бытовых вод, является то, что они способны задерживать значительное количество взвешенных частиц. В течение часа с помощью 1 м² фильтрующей поверхности из торфа толщиной от 20 до 75 мм можно очистить 800 л воды от примеси металлов: алюминия, меди, церия, цинка, кобальта, никеля, железа, кадмия, магния, хрома, марганца, ртути, серебра, олова, свинца.

Большие перспективы открываются в возможности использования торфа для очистки от нефти водных пространств. Торф с его высокой поглотительной способностью может эффективно применяться для очистки водных акваторий от нефти. Одна весовая часть сухого торфа способна удержать 8–12 массовых частей нефти.

Велика роль торфа (торфяной подстилки) в утилизации экскрементов животных, так как животноводческие фермы в значительной степени загрязняют поверхностные воды. При утилизации навозной жижи торфом получают ценное удобрение, при этом создаются нормальные условия содержания животных и не загрязняется прилегающая территория.

Из торфа и песка можно приготовить фильтры для очистки сточных вод от фосфора, радиоактивных и нерастворимых взвешенных органических веществ. Известны также опыты по использованию торфяных месторождений в качестве последней ступени очистки сточных вод городов.

Сфагновые болота как природные фильтры очищают дождевые воды от вредных примесей атмосферы. На основе торфа возможно создание ионообменников и сорбентов с улучшенными свойствами, которые открывают перспективы использования торфа для улавливания из атмосферы вредных газообразных, жидких и твердых примесей, поступающих с выхлопными газами автотранспорта, а также от заводов, фабрик, котельных.

Таковы далеко не полные возможности использования торфа для защиты и оздоровления окружающей среды. Это еще раз подтверждает необходимость очень бережного, наиболее рационального использования торфа в народном хозяйстве и сохранения его запасов. Длительное время в Беларуси преобладало использование торфов для нужд сельского хозяйства, где ведущим направлением является возделывание сельскохозяйственных культур. Следует отметить, что и в обозримой перспективе преобладающим будет использование осушенных торфяных месторождений в качестве сельскохозяйственных земель (Бамбалов Н.Н., Ракович В.А., 2004).

Известно, что торфяные почвы имеют высокое потенциальное плодородие, которое оценивается в 75–80 баллов. Основным фактором высокого плодородия торфяных почв является органическое вещество, из которого они состоят почти на 85–90 %. Благодаря органическому составу данный тип почв обладает двумя важными элементами высокого потенциального плодородия: большими запасами воды (600 мм и более в метровом слое) и азота (3 % и более на сухую массу), что выгодно отличает от дерново-подзолистых почв. Высокое плодородие послужило основанием для осушения торфяных почвы с целью расширения сельскохозяйственных угодий.

Однако, как установлено, после осушения органическое вещество торфяных почв быстро разрушается, происходит уменьшению его природных запасов, что приводит к трансформации почв в более бедные по плодородию органоминеральные и минеральные почвенные разновидности. Одновременно с этим увеличивается контрастность почвенного покрова и плодородия, ухудшаются водно-физические, агрохимические и технологические свойства. Значительная часть осушенных для земельного фонда торфяных почв в Беларуси уже успела утратить свои болотные признаки и трансформировалась в антропогенные почвы, не имеющие своих аналогов в естественной природе (Белковский В.И. и др., 2001).

1.4. Особенности торфяно-болотных почв

Одной из характерных черт территории Беларуси является наличие большого количества болот и заболоченных земель. Распределены болотные почвы в пределах отдельных областей и районов неравномерно. Наибольшее количество торфяно-болотных почв расположено в Брестской, Минской и Гомельской областях.

Для торфяно-болотных почв присуще наличие избыточного увлажнения, которое возникает при застое на местности поверхностных и грунтовых вод. Все болотные почвы в зависимости от генезиса, условий залегания и характера растительности делятся на два типа: верховые (олиготрофные) и низинные (эвтрофные). Переходные (мезотрофные) торфяники занимают промежуточное положение и больше тяготеют к верховому типу.

В зависимости от условий формирования болот территорию Беларуси подразделяют на три основных района: 1) северный, или озерный, с преобладанием моренных и конечно-моренных отложений; 2) центральный повышено-равнинный район, сложенный моренными, флювиогляциальными и древнеаллювиальными отложениями; 3) южный низменный с преобладанием флювиогляциальных и аллювиальных отложений.

Во всех трех районах преобладают торфяно-болотные почвы низинного типа. В северной части Беларуси значительное место также занимают торфяники верхового типа. Верховые торфяники этого района имеют сложное строение с мощным верхним слоем слабо разложившегося обводненного сфагнового торфа. Низинные торфяники в этом регионе обычно располагаются в озерных котловинах с устойчивым водно-минеральным питанием. Сложены однородными торфами топяного типа, переходящими по периферии в лесные.

В центральной части Беларуси преобладают торфяники преимущественно низинного типа, сложенные торфами различного строения в зависимости от особенностей гидрохимического режима. Верховые торфяники встречаются здесь реже и приурочены к водоразделам и вторым надпойменным террасам. Они имеют слабовыпуклую поверхность и обычно комплексное строение при значительной мощности торфа. Доля торфяников в мелиоративном фонде заметно снижена, особенно в Могилевской и Гродненской областях (Мееровский А.С., Соловей И.Н., Афанасьев И.Н., 1974).

Известно, что основное количество болот республики расположено в пределах Полесской низменности, занимающей в республике около 6 млн га. В Полесской низменности преобладают низинные болота. На их долю приходится более 85 % площади болотных массивов. Наиболее крупные массивы представлены заросшими неглубокими водоемами или озеровидными понижениями, заполненные преимущественно тростниковым торфом. Для ландшафта Полесья характерно сочетание небольших по площади

мелкозалежных торфяников с минеральными заболоченными почвами и песчаными буграми. На данные бугры может приходиться от 12 до 15 % болотных площадей. Самые большие участки верховых и переходных торфяников отмечаются в пойме Припяти и меньшие по площади участки болот – в водоразделах питающих Припять рек. Существенная часть площадей переходных и верховых болот размерами до 1 га имеется среди лесов.

Торфяно-болотные почвы республики по содержанию и запасам органического вещества значительно превосходят все другие почвы. Оно является самым главным богатством торфяных почв, определяющим их потенциальное плодородие, а также важнейшие физические, физико-химические и агрохимические свойства. От 80 до 90 % торфа состоит из смеси полуразложившихся растений-торфообразователей и специфических гумусовых веществ, состав которых различается в зависимости от условий и характера торфообразования. Состав органического вещества торфяных почв колеблется в широких пределах по типам и видам торфа. Почвы низинных болот больше содержат углерода и азота и меньше кислорода, чем верховые торфа. В верховых торфах по мере увеличения степени разложения и снижения содержания кислорода наблюдается обогащение углеродом.

От состава органического вещества торфяных почв зависят различия между типами и видами торфа. Так, экстрактивных веществ, извлекаемых органическими растворителями, в низинных торфах травяной группы содержится от 2,77 до 4,40 %, в лесных – до 9,77 %. Наибольшее количество битумов содержит торф переходных болот, особенно с более высокой степенью разложения. Увеличение количества битумов происходит вследствие потери углеводной части растений, которое зависит от степени разложения торфа.

Низинные торфяные почвы отличаются от переходных и верховых более высоким содержанием гумусовых веществ, среди которых – гуминовых кислот. Гуминовые кислоты могут до 42 % накапливаться в тростниковых и древесных торфах средней и высокой степени разложения. Прямая зависимость между содержанием гуминовых кислот и степенью разложения торфа отмечается лишь в однородных по ботаническому составу торфах.

В верховых торфах с 5–10 % степенью разложения количество легкогидролизуемых веществ увеличено, а вот в низинных и переходных лесных торфах их содержание сравнительно низкое. Гумификация и минерализация органического вещества в верховых торфяных почвах развивается медленно и с преобладанием фульвокислот над гуминовыми. При переходе к низинным торфам характер гумусообразования меняется в сторону увеличения роли гуминовых кислот.

После мелиорации и сельскохозяйственного использования микробиологическое и биохимическое разложение органического вещества усиливается, что ведет к образованию гумусовых веществ разной степени подвижности. Если в первые годы преобладают легкоподвижные гумусовые

соединения, то с увеличением срока использования торфяно-болотных почв возрастает количество труднорастворимых гумусовых веществ.

Характерные особенности органического вещества торфяно-болотных почв отражает их химический состав, различающийся по типам и разновидностям (таблица 1.4.1.).

Таблица 1.4.1. – Химический состав торфяно-болотных почв (Мееровский А.С., Соловей И.Н., Афанасьев И.Н., 1974)

Показатель	Тип и вид почвы				
	низинные торфяники		переходный	верховой	
	пойменные	травяные			
Степень разложения, %	30–60	40–60	25–40	10–45	5–30
Зольность, %	8,0–34,0	13,0–25,0	7,0–20,0	5,0–10,0	1,0–5,0
Азот общий, %	2,8–3,8	3,0–4,5	2,0–4,0	1,4–2,5	0,5–2,0
P ₂ O ₅ , %	0,2–0,7	0,35–0,4	0,15–0,40	0,15–0,35	0,03–0,25
K ₂ O, %	0,05–0,3	0,1–,2	0,02–0,3	0,05–0,3	0,01–0,10
CaO, %	2,0–10,0	3,0–,5	1,0–6,0	0,15–2,5	0,1–0,5
K ₂ O ₃ , %	1,2–14,4	1,5–4,5	1,2–7,2	0,9–4,7	0,03–1,4
pH в KCl	4,2–7,1	5,2–6,2	4,5–6,0	3,5–5,3	2,6–4,2

Исследования химического состава низинных торфяно-болотных почв различной степени разложения и ботанического состава свидетельствуют о высоком содержании азота, которое может достигать 3 % и выше, в остальных – от 0,5 до 2,5 %.

Одним из важнейших показателей торфяных почв является их зольность. Зольный состав данных почв формируется из остатков растений-торфообразователей, осадка минеральных веществ, взвешенных и частично растворенных в поверхностных и грунтовых водах, из выпавших с атмосферными осадками частиц и приносимой ветром пылью. На зольность сильно влияет также интенсивность обработки почвы. Основными компонентами зольной части торфов являются кремний, кальций, фосфор, магний, железо и алюминий, составляющие 90–95 % остатка золы.

Содержание валового фосфора в торфяно-болотных почвах гораздо выше, чем в дерново-подзолистых. Однако запасы фосфора и калия весьма незначительны, если учесть объемный вес органических почв. Количество фосфора в золе еще не говорит о степени доступности его растениям. Фосфорная кислота, входящая в состав органических молекул, химически связана с белковыми веществами торфяных почв и до 80 % от общих запасов находится в поглощенном органическими коллоидами состоянии. Калий в торфяных почвах содержится в растворимых, усвояемых растениями соединениях. Болотные районы Полесья отличаются небольшим количеством калия в сравнении с торфяно-болотными почвами центральных районов, где оно несколько выше.

Торфяно-болотные почвы имеют катионную емкость обмена в 16–34 раза выше, чем дерново-подзолистые суглинистые, и в 20–50 раз больше, чем песчаные. Степень насыщенности основаниями у разных типов болотных почв неодинакова: в торфах низинных болот она достигает 70–80 и даже 100 %, а у верховых болотных почв не выше 15–20 %.

В составе практически всех торфяных почв к основным компонентам неорганической части относится кальций. Одновременно с питательной функцией кальций выполняет регулирующую роль почвенной среды. Благодаря высокой растворимости наличие кальция в торфяной почве в основном связано с химическими и биохимическими процессами. Среди форм нахождения кальция в почвенной среде определяют следующие: ионную в жидкой фазе торфа; сорбированную тонкодисперсными частицами органической и органо-минеральной природы; химически связанную с органическими молекулами при оторфовании растений; в составе сохранившихся растений, раковин пресноводных моллюсков; в обломочных минералах; в форме минеральных почвообразований, главным образом карбонатов (Лукашев К.И., Ковалев В.А., 1971).

К одним из важнейших химических показателей в характеристике торфа относится реакция среды этих почв. Из-за органогенного характера происхождения оценка их по кислотности весьма специфична, так же как своеобразна и природа кислотности торфяно-болотных почв.

Торфяные почвы бедны такими микроэлементами как медь, кобальт, бор, молибден и др. Среди них особое значение имеет медь. В исследованиях Лупиновича И.С. с сотрудниками (1970) установлено, что торфяно-болотные почвы низинного типа на территории Беларуси по содержанию меди можно разбить на три группы. К первой группе следует относить почвы с повышенным содержанием меди (до 25 мг/кг), но с низким уровнем ее подвижности (5–10 %); ко второй группе – с валовым содержанием меди примерно таким же, но с коэффициентом подвижности в 2–3 раза выше. В третью группу входят почвы с наименьшим валовым содержанием меди (10 мг/кг) и с коэффициентом её подвижности от 30 до 65 %.

Известно, что в формировании торфяно-болотных почв важнейшую роль выполняют ее живые организмы. В почве органическая масса торфа подвергается сложным биохимическим превращениям под влиянием разнообразных групп микрофлоры. При этом максимальное количество микроорганизмов содержится в верхнем горизонте хорошо разложившегося торфа, обычно в пределах его профиля на глубине от 20 до 60 см, где происходят основные процессы торфообразования (Вавуло Ф. П., 1972).

Торфообразование является результатом протекания преимущественно аэробных процессов, которые происходят в верхних слоях торфяной почвы в период ее подсыхания. В аэробных процессах участвуют грибы-гумификаторы и сопутствующие им бактерии. Превращение органических веществ происходит последовательно, с заменой одних групп микроорганизмов на

другие. Вначале активно развиваются плесневые грибы и неспороносные микроорганизмы. Потом в минерализации более стойких соединений участвуют спорообразующие бактерии. В это же время активизируется деятельность целлюлозных бактерий. Затем происходит нарастание численности актиномицетов, участвующих в биологических превращениях органических веществ почвы.

Продолжительное время торфяники в Беларуси рассматривались как источник ресурсов топлива. Для этого в них определялся ботанический состав, теплотворная способность, зольность, степень разложения. Затем их стали очень широко вовлекать в сельскохозяйственное использование. В связи с этим появилась необходимость в изучении тех их свойства, которые определяют и влияют на плодородие. К таким свойствам стали относить полевую влагоемкость, влажность замедления роста растений, влажность увядания, содержание CO_2 и O_2 , объемный вес, тепло- и температуропроводность, объемную теплоемкость и др.

После осушения и последующего освоения торфяников резко изменяются их свойства, особенно водные. Это обусловлено тем, что торф очень влагоемок. Влагоемкость торфа иногда достигает 1700 % и в зависимости от группы и вида, а также степени разложения колеблется от 700 до 1700 %. Влажность высокозольных торфов (зольность 12–50 %) ниже, чем у соответствующих нормально зольных торфов.

У осушенных торфяно-болотных почв, как правило, пористость аэрации вполне достаточна для нормального роста и развития сельскохозяйственных культур. Не лимитируют плодородие данных почв и водно-физические свойства. Лишь только в отдельных случаях наблюдается анаэробнозис (ранней весной, когда растения ещё не вегетируют). Установлено, что плодородие глубокоосушенных торфяно-болотных почв может снижаться из-за недостатка влаги.

Исследования о влиянии температуры почв на рост растений и урожай определенно свидетельствуют о наличии прямой взаимосвязи между этими параметрами. Установлено увеличение поступления воды и элементов питания к корням растений при повышении температуры почвы. Теплофизические свойства торфяно-болотной почвы зависят главным образом от ее влажности. В отличие от дерново-подзолистых данные почвы имеют в 1,5–2,0 раза большую объемную теплоемкость. А вот теплопроводность их, наоборот, в 2,5–3,0 раза, температуропроводность в 3–4 раза ниже, чем у дерново-подзолистых почв (Мееровский А.С., Соловей И.Н., Афанасьев И.Н., 1974).

Из-за высокой теплоемкости и низкой теплопроводности торфяные почвы слабо прогреваются, поэтому страдают в период ранних осенних и поздних весенних заморозков. Наибольшая продолжительность заморозков на осушенных болотах наблюдается при малых значениях теплоемкости и теплопроводности верхних слоев почв, то есть при низкой их влажности. Знание значений теплофизических свойств почв необходимо для их

регулирования в период выращивания растений. Например, уплотнение почвы увеличивает теплопроводность и температуру почвы, рыхление – наоборот, уменьшает скорость проникновения тепла в почву. При этом температура ее снижается. Температура почвы является одним из факторов, определяющих ее плодородие. Исследования показывают, что средние месячные температуры торфяно-болотной и дерново-подзолистой супесчаной почв в одном и том же месте могут достигать до 3°C, что весьма существенно.

Создать более благоприятные тепловые условия для роста и развития растений на торфяно-болотных почвах удастся путем проведения агротехнических приемов (Кухарчик Т.И., 1996). Эффективность агротехнических приемов на данных почвах во многом зависит от погодных условий. Например, в период теплой весны клубни картофеля высаживают на глубину 12–16 см, в период холодной – на 8–12 см. Мелкая посадка в условиях холодной весны способствует более раннему появлению всходов и цветению, так как клубни находятся в более прогретом слое почвы.

В жаркие годы для сохранения влаги и не доведения перегрева почвы, используется мелкое рыхление торфяно-болотной почвы в междурядьях на глубину 5–9 см и во влажные годы – глубокое окучивание, для испарения лишней влаги и поглощения почвой больше солнечной энергии. В результате проведения данных приемов повышается температура почвы.

Ширина междурядий и густота размещения растений также влияют на температуру почвы. Так, при ширине междурядий кукурузы 100 см почва поглощает в 1,4 раза больше энергии, чем при междурядьях 50 см. Соответственно повышается и температура почвы.

При размещении на гектаре 39 тыс. растений кукурузы температура почвы примерно в 1,5 раза выше, чем при густоте 78 тыс.

Кулисы из высокостебельных растений ослабляют теплообмен почв и повышают температуру воздуха от 2 до 3°C ночью и до 8–10° днем. Повышение температуры воздуха также ведет к повышению температуры почв. В настоящее время широко используются, особенно в овощеводстве, разнообразные синтетические пленки. Применение синтетических пленок способствует повышению температуры почв до 6–8°C. Агротехническими приемами также можно повысить температуру почв на 5–7°C. Это применяется при создании лучших условий и получении более высокого урожая.

В настоящее время в Беларуси особое внимание уделяется охране и рациональному использованию торфяных почв. В основе охраны и дальнейшего использования торфяных почв лежит требование обеспечить высокую продуктивность возделываемых культур при экономном расходовании органического вещества. Цель требования – сохранить органическое вещество почв на возможно более длительный период.

Поэтому структура посевных площадей на торфяных почвах строится с учетом удельного веса этих почв в землепользовании. Как правило, мощные и среднеспособные торфяные почвы в основном отводятся под культурные луга длительного пользования, а торфяные почвы с мощностью торфа менее 1 м исключаются из пашни и используются под многолетние злаковые и злаково-бобовые травы. При ненадлежащей работе мелиоративной системы площади торфяных почв исключаются из состава пахотных земель и отводятся под луга длительного пользования. Большие площади осушенных земель республики являются не только источником наиболее дешевых кормов для скота, но и выполняющие важные почвозащитные функции. Отсюда главное направление травосеяния и луговодства на осушенных торфяных почвах – максимально использовать биологический азот путем существенного включения в состав травостоев бобовых трав.

Известно, что на скорость минерализации торфа существенным образом влияют возделываемые культуры. Минимальные потери органического вещества почв отмечаются под многолетними травами, максимальные – при возделывании пропашных культур, в то время как зерновые культуры занимают промежуточное положение.

При наличии недостатков в сельскохозяйственной эксплуатации мелиорированных земель их состояние ухудшается. И, как следствие этого, значительные площади торфяные почвы могут превращаться в органоминеральные образования со сложным микрорельефом. Как установлено к настоящему времени, под воздействием процессов минерализации и дефляции площадь глубоководных торфяников в отдельных районах Беларуси сократилась и существенно возросла площадь деградированных торфяных почв.

По данным национального статистического комитета в настоящее время в пределах территории Беларуси общая площадь осушенных земель составляет 3,4 млн га, из них для сельскохозяйственных целей – 2,9 млн га (таблица 1.4.2). В сельскохозяйственном пользовании находится свыше 2,9 млн га угодий на торфяных почвах различной мощности, ботанического состава и уровней окультуренности. С 2011 по 2017 годы в республике количество сельскохозяйственных мелиорированных земель уменьшилось на 48,2 тыс. га. За данный период времени в структуре сельскохозяйственных мелиорированных земель количество пахотных земель увеличилось на 129,1 тыс. га или на 10,8 %. Увеличение произошло за счёт распаханности луговых земель, площади которых уменьшились на 187,8 тыс га.

Таблица 1.4.2. – Наличие мелиорированных земель в Беларуси на начало года, тыс. га

Показатели	Год наблюдений	
	2011	2017
Общая площадь мелиорированных земель	3 444,0	3 445,4
в том числе:		
осушенные	3 413,4	3 415,1
орошаемые	30,6	30,3
сельскохозяйственные земли	2 952,9	2 904,7
в том числе:		
осушенные	2 922,3	2 874,4
орошаемые	30,6	30,3
пахотные земли	1 289,6	1 428,7
в том числе:		
осушенные	1 265,1	1 404,2
орошаемые	24,5	24,5
луговые земли	1 658,5	1 470,7
в том числе:		
осушенные	1 652,7	1 465,2
орошаемые	5,8	5,5
Удельный вес мелиорированных земель в общей площади земель, в процентах	16,6	16,6
в том числе:		
осушенные	16,4	16,5
орошаемые	0,2	0,1

Удельный вес мелиорированных земель в общей площади земель республики составляет 16,6 % и практически со временем не меняется.

Анализ посевных площадей на осушенных землях свидетельствует об их увеличении в 2016 году на 112,8 тыс. га или на 8,5 % в сравнении с 2011 годом (таблица 1.4.3). В структуре посевных площадей в 2016 году зерновые и зернобобовые занимали 42,8 %, технические культуры – 4,3 %, картофель – 0,4 %, овощи – 0,09 %, кормовые культуры – 52,9 %.

Основные массивы таких почв (свыше 65 %) имеет мощность торфа до 1 м, а 90 % торфяных почв на Белорусском Полесье подстилаются рыхлыми песчаными отложениями. Деградации торфяных почв при осушении и последующем их сельскохозяйственном использовании связана с разложением торфа и сработкой его органического вещества.

Таблица 1.4.3. – Посевные площади сельскохозяйственных культур на мелиорированных землях в сельскохозяйственных организациях Беларуси в 2011 и 2016 годах

Показатели	Год наблюдений	
	2011	2016
Посевная площадь		
На осушенных землях, тыс. га	1 320,4	1 433,2
в процентах к общей посевной площади	25,7	27,1
На орошаемых землях, тыс. га	21,9	21,3
в процентах к общей посевной площади	0,4	0,4
Зерновые и зернобобовые культуры		
На осушенных землях, тыс. га	645,7	606,1
в процентах к общей посевной площади	25,7	26,9
На орошаемых землях, тыс. га	8,4	9,3
в процентах к общей посевной площади	0,3	0,4
Культуры технические		
На осушенных землях, тыс. га	75,0	61,1
в процентах к общей посевной площади	15,2	16,1
На орошаемых землях, тыс. га	1,5	0,7
в процентах к общей посевной площади	0,3	0,2
Картофель		
На осушенных землях, тыс. га	10,7	6,3
в процентах к общей посевной площади	18,0	17,7
На орошаемых землях, тыс. га	0,9	0,8
в процентах к общей посевной площади	1,5	2,2
Овощи		
На осушенных землях, тыс. га	3,8	1,4
в процентах к общей посевной площади	22,1	19,7
На орошаемых землях, тыс. га	1,4	0,7
в процентах к общей посевной площади	8,1	9,9
Культуры кормовые		
На осушенных землях, тыс. га	585,2	758,4
в процентах к общей посевной площади	28,6	29,0
На орошаемых землях, тыс. га	9,7	9,8
в процентах к общей посевной площади	0,5	0,4

Под так называемой сработкой принято понимать убыль в почве торфа в результате его минерализации, а также ветровой, водной, технической эрозий и вымывания. Как правило, ее выражают потерей торфа в тоннах на гектар в год или линейной величиной уменьшения мощности торфа в сантиметрах в год. Если сработку исчисляют в сантиметрах в год, то в нее могут также включать процесс физического уплотнения торфа при его обезвоживании под действием собственной массы и проходов сельскохозяйственной техники.

Установлено, что скорость сработки торфа на осушенных торфяных почвах в Беларуси колеблется в пределах 0,5–12 см/год, но наиболее характерными ее величинами для условий республики являются 1–4 см/год или 3–20 т/га и более (Куликов Я.К., 2012).

По мере длительности сельскохозяйственного использования сработка торфа уменьшается, но не прекращается, причем в первые годы она протекает более интенсивно, постепенно снижаясь в последующие годы.

При существующей системе земледелия на мелиорированных торфяниках, при которой на них размещаются пропашные культуры, выращивается значительная доля зерновых происходит быстрое уменьшение мощности торфяной залежи с выходом на поверхность подстилающих песков. И как следствие такого использования торфяных почв, к настоящему времени в Республике Беларусь их уже деградировано более 200 тыс. га, на которых слой торфа практически разрушен полностью. Согласно прогнозным расчетным данным, следует ожидать дальнейшее увеличение площади деградированных торфяных почв. Оно обусловлено следующими причинами. Во-первых, проведение широкомасштабной мелиорации привело к резкому изменению соотношения осушенных болот и болот, находящихся в естественном состоянии. Во-вторых, чрезмерное осушение, неудовлетворительное состояние водорегулирующих систем на фоне более частого и длительного по времени проявления, в последние десятилетия, засух и засушливых явлений, торфяные пожары внесли и вносят заметный вклад в деградацию торфяных почв. Установлено, что в большинстве случаев к основным причинам возникновения пожаров на торфяных болотах относятся: самовозгорание торфа; искры от транспорта и сельскохозяйственной техники; небрежное обращение с огнем и др. В-третьих, не до конца решенной проблемой Беларуси является использование выработанных торфяных месторождений, общая площадь которых оценивается в количестве более 330 тыс. га. В этой связи восстановление природоохранных и средоформирующих функций на основе научно обоснованных направлений их использования следует отнести к числу приоритетных мероприятий в борьбе с деградацией земель.

На этом основании, как уже и отмечалось выше, важным направлением в области охраны почв является оптимизация сельскохозяйственного использования земель Беларуси. Ее целью является исключение из активного использования низкокачественных, неустойчивых для земледелия земель, переориентация их на более экономически эффективное и экологически обоснованное использование.

Оптимизация площадей обрабатываемых земель это не только повышение эффективности земледелия незатратными методами, снижение числа рисков деградации земель, но и создание более экологически устойчивой системы землепользования.

Государственная стратегия использования торфяных почв и, прежде всего, маломощных ориентируется к тому, чтобы полностью вывести из севооборотов зерновые и пропашные культуры, оставив на них преимущественно луговые травы длительного использования. Следовательно, перед исследователями стоит задача обеспечить необходимой научной информацией развитие высокопродуктивного, экономически выгодного луговодства, считая его основой экологически безопасного земледелия.

Одним из направлений восстановления биосферных функций болот относят и считают перспективным заболачивание выработанных торфяных

месторождений. И к настоящему времени проведено повторное заболачивание на торфяных месторождениях в разных зонах Беларуси на площади более 30 тыс. га. Данная реабилитация болот позволяет обеспечить не только восстановление болото- и торфообразовательных процессов, но и биосферных функций болот. На восстановленных болотах предусматривается создание природоохранных зон, улучшающих состояние природной среды. Считается, что внедряемое направление использования выработанных торфяных месторождений может быть не только значительным территориальным ресурсом, но и эффективным средством стабилизации и поддержания благоприятной природной среды.

Например, идея использования возобновляемой биомассы болотных фитоценозов в энергетических целях возникла и разрабатывалась в Институте природопользования НАН Беларуси еще с восьмидесятых годов прошлого века. Ежегодно воспроизводимая биомасса болотных растений может перерабатываться в твердое, жидкое или газообразное топливо, компосты, картон, бумагу, упаковочные и другие материалы. В условиях умеренного климата разные болотные фитоценозы дают ежегодный прирост сухой биомассы от 2–5 до 10–20 т/га (Бамбалов В.В., 1991; Валетов В.В., 1992; Смоляк Л.П., 1985). К настоящему времени это направление энергетики начало, хотя и медленно, развиваться. В Беларуси первый опыт производства биомассы болотных растений в энергетических целях организован на непригодных для земледелия и лесного хозяйства участках выработанного торфяного месторождения Докудовское, являющегося сырьевой базой Лидского торфобрикетного завода (Ракович В.А., Бамбалов В.В., 2017).

Одновременно, к этому следует подчеркнуть актуальность образования в Беларуси новых охраняемых природных территорий, создания экологической сети и интеграции ее в общеевропейскую экологическую сеть, сохранения типичных и уникальных ландшафтов. Наряду с уже проводимыми в республике мерами еще одной мерой сохранения естественного разнообразия почв Беларуси может быть Красная книга почв. В нее могут быть включены основные виды почв, имеющие важное экологическое и научно-познавательное значение для Беларуси.

Известно, что после 26 апреля 1986 года время в Беларуси разделилось на доаварийное и послеаварийное. После катастрофы на ЧАЭС ситуация в аграрной сфере Беларуси самым серьезным образом обострилась вследствие многоизотопного радиоактивного загрязнения обширных территорий. Коснулось оно и значительных территорий сельскохозяйственных мелиорированных торфяных почв. В силу особенностей их морфологического состава и специфики загрязнения радионуклидами в послеаварийный период потребовались обширные и глубокие исследования путей миграции радионуклидов из почвы в растения и коренной пересмотр стратегии ведения сельского хозяйства на мелиорированных землях.

Мониторинг особенностей радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных угодий на белорусском следе выпадений рассматривается в следующей главе.

ГЛАВА 2. РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

2.1. Населенные пункты

В результате аварии на Чернобыльской АЭС суммарная активность выброса радионуклидов оценивается величиной порядка $1,85 \cdot 10^{18}$ Бк (50 МКи). Радиоактивное загрязнение было установлено на территории Беларуси, России и Украины на площади более 125 тыс. км². Анализируя пространственный характер чернобыльских выпадений, выделяются две особенности – масштабность радиоактивного загрязнения и неоднородность распределения радиоактивных веществ по территории. Высота выброса (до 2000 м) радиоактивных веществ определила глобальный характер загрязнения, а выпадение осадков в момент прохождения облака, мезо- и микрорельеф местности обусловили пестроту (пятнистость) загрязнения территорий (Израэль Ю.А., 2006).

В результате аэрального осаждения радионуклидами загрязнились как сельскохозяйственные земли, так и природные экосистемы (лесные, водные). При этом на огромных пространствах выпали такие долгоживущие и биологически значимые радионуклиды как ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr. Согласно действующему законодательству, одним из критериев отнесения территорий к зоне радиоактивного загрязнения является превышение плотности загрязнения ¹³⁷Cs величины 37 кБк/м². Такое превышение было установлено на 46,5 тыс. км² в 6 административных областях Беларуси.

Уровни загрязнения территории ⁹⁰Sr выше 5,5 кБк/м² (законодательно установленный критерий для отнесения территории к зоне радиоактивного загрязнения) обнаружены на площади 21,1 тыс. км² в Гомельской и Могилевской областях, что составило около 10 % от территории республики.

Выпадения на территории изотопов ^{238,239+240}Pu с плотностью более 0,37 кБк/м² (законодательно установленный критерий для зон загрязнения) охватило около 4,0 тыс. км² или примерно 2 % площади республики. Эти территории находятся преимущественно в Гомельской области (Брагинский, Наровлянский, Хойникский, Речицкий, Добрушский и Лоевский районы) и Чериковском районе Могилевской области.

Природные процессы распада радионуклидов за 32 года, прошедших после аварии на Чернобыльской АЭС, внесли существенные изменения в распределении радионуклидов на территории Беларуси. За этот период уровни и площади загрязнения ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr значительно сократились. Например, с 1986 по 2010 год площадь территории республики, загрязненной ¹³⁷Cs с уровнем выше 37 кБк/м² (выше 1 Ки/км²), уменьшилась с 46,5 до 30,1 тыс. км² (с 23 до 14,5%) или в 1,6 раза. В отношении ⁹⁰Sr установлено сокращение площадей с уровнем до 5,5 кБк/м² (0,15 Ки/км²) с 21,1 до 11,8 тыс. км² (с 10 до 5,6 %) или в 1,8 раза (рисунок 1).

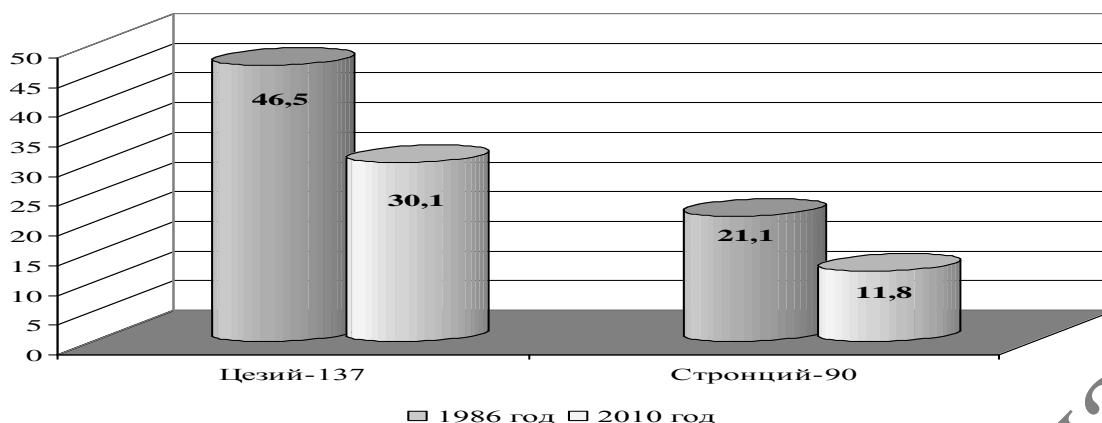


Рисунок 1. – Изменение площади территории Республики Беларусь, загрязненной ^{137}Cs и ^{90}Sr

Вместе с тем на обширных территориях выпадения продолжали сохраняться. Из общей площади загрязненной ^{137}Cs территории 20,86 тыс. км² (69 %) имели плотность 37–185 кБк/м² (1–5 Ки/км²), 6,60 тыс. км² (22%) – 185–555 кБк/м² (5–15 Ки/км²) и 2,64 тыс. км² – выше 555 кБк/м² (выше 15 Ки/км²). Как следует из данных Национального доклада Республики Беларусь (2011) загрязненными оставались 18,33 тыс. км² территории Гомельской области, 7,88 тыс. км² – Могилевской, 2,37 тыс. км² – Брестской. Это составляло соответственно 45,37 %, 27,08 % и 7,23 % территорий перечисленных областей (таблица 2.1.1.).

Таблица 2.1.1. – Загрязнение территории Республики Беларусь ^{137}Cs в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС (на 01.01.2010 г.)

Область	Всего загрязнено	В том числе загрязнено тыс. км ² с уровнем (в Ки/км ²)			
		1–5	5–15	15–40	>40
Брестская	<u>2,37</u> 7,23	2,3	0,07	–	–
Витебская	<u>0,01</u> 0,03	0,01	–	–	–
Гомельская	<u>18,33</u> 45,37	11,7	4,72	1,54	0,37
Гродненская	<u>0,61</u> 2,41	0,6	<0,01	–	–
Минская	<u>0,90</u> 2,25	0,9	<0,01	–	–
Могилевская	<u>7,88</u> 27,08	5,35	1,8	0,68	0,05
Республика Беларусь	<u>30,10</u> 14,5	20,86	6,60	2,22	0,42

Примечание: над чертой – площадь загрязнения в тыс. км², под чертой – в процентах к общей площади территории.

Сохранялись на территории страны и выпадения стронция-90. В республике из 11,95 тыс. км² загрязненной ^{90}Sr территории 8,62 тыс. км² (72 %) имели плотность 5,5–18,5 кБк/м² (0,15–0,5 Ки/км²), 2,49 тыс. км² (21 %) – плотность 18,5–74 кБк/м² (0,5–2,0 Ки/км²).

В Беларуси территории трех областей (Гомельской, Могилевской, Брестской) загрязнены ^{90}Sr . Однако основные площади их (10,11 тыс. км² или 85 %) сконцентрированы в Гомельской области. В этой области установлены также все площади, загрязненные радиостронцием с плотностью выше 18,5 кБк/м² (выше 0,5 Ки/км²) (таблица 2.1.2).

Таблица 2.1.2. – Загрязнение территории Республики Беларусь ^{90}Sr в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС (на 01.01.2010 г.)

Область	Всего загрязнено	В том числе загрязнено тыс. км ² с уровнем (в Ки/км ²)			
		0,15–0,5	0,5–2,0	2,0–3,0	>3,0
Брестская	$\frac{0,01}{<0,04}$	0,01	–	–	–
Гомельская	$\frac{10,11}{24,10}$	6,78	2,49	0,21	0,63
Могилевская	$\frac{1,83}{6,3}$	1,83	–	–	–
Республика Беларусь	$\frac{11,95}{5,6}$	8,62	2,49	0,21	0,63

Примечание: над чертой – площадь загрязнения в тыс. км², под чертой – в процентах к общей площади территории.

Широкомасштабное радиоактивное загрязнение сельскохозяйственных земель, определившее поступление радионуклидов в организм человека с продуктами питания и последующее его облучение, является одним из наиболее тяжелых радиоэкологических последствий чернобыльской катастрофы.

Цезий-137 и стронций-90 – основные радионуклиды, формирующие радиационный фон и радиоактивное загрязнение почв. Данные радионуклиды, являясь долгоживущими изотопами, на многие десятилетия определили радиоактивное загрязнение сельскохозяйственной продукции, продуктов питания и уровни дозовых нагрузок на население. Однако благодаря естественному распаду радионуклидов и их миграции радиологическая обстановка в экосистемах постепенно сдвигается в лучшую сторону.

По данным Национального статистического комитета (2011, 2017) в Беларуси, в послеаварийный период, происходит ежегодное снижение концентрации цезия-137 в почвах сельскохозяйственных угодий. В качестве примера, подтверждающего данное положение, можно указать на динамику распределения сельскохозяйственных земель по плотностям загрязнения в период с 1992 по 2011 годы (рисунок 2). За данный период времени общая площадь таких земель сократилась с 1480,0 до 1006,1 тыс. га или на 473,9 тыс. га (по состоянию на начало года).

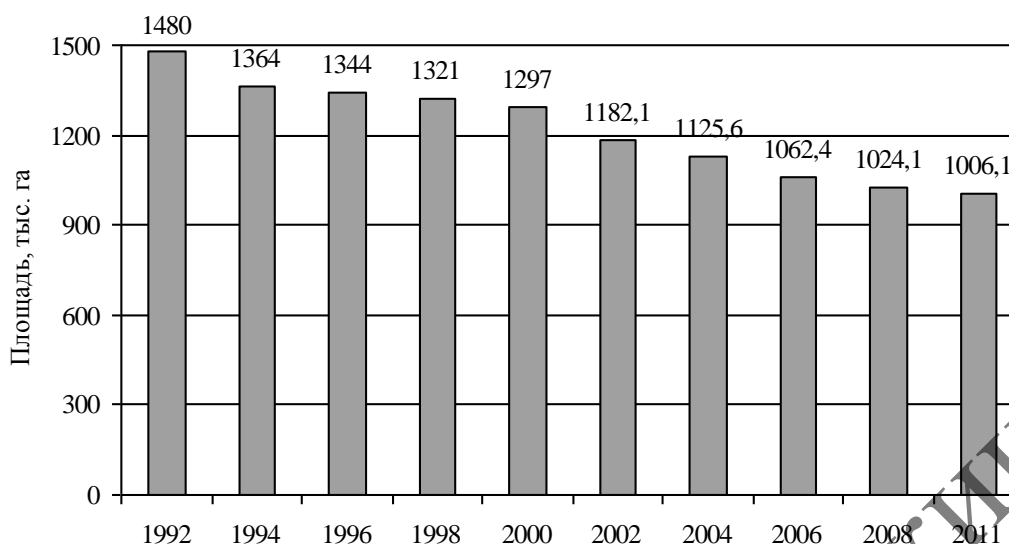


Рисунок 2. – Динамика сельскохозяйственных земель загрязненных ^{137}Cs с плотностью 37 кБк/м^2 и выше Республики Беларусь за период с 1992 года по 2011 год

Следует также добавить, что и за период с 2011 по 2016 гг. количество площадей данным радионуклидом уменьшилось на 95,6 тыс. га или на 9,6 % от уровня 2011 года (таблица 2.1.3) (по состоянию на конец года).

Таблица 2.1.3. – Площади сельскохозяйственных земель, содержащие цезий-137 и находящиеся в пользовании сельскохозяйственных организаций по областям, тыс. га

Область	Год наблюдений	
	2011	2016
Брестская	64,1	50,7
Витебская	0,3	0,2
Гомельская	575,5	533,3
Гродненская	26,8	18,3
Минская	57,4	46,9
Могилёвская	274,6	253,7
Республика Беларусь	998,7	903,1

Одновременно с распадом радионуклида уменьшается плотность загрязнения угодий. Все больше их площадей перемещаются в градации с более низкими плотностями (таблица 2.1.4).

Таблица 2.1.4. – Площади сельскохозяйственных земель, содержащие цезий-137 по градации плотностей на 1 января 2017 года, тыс. га

Область	Загрязнено		В том числе загрязнено с уровнем (в Ки/км ²)			
	Всего	в % к общей площади сельхозземель	1–5	5–15	15–40	>40
Брестская	50,7	3,7	49,1	1,6	0,0	–
Витебская	0,2	0,0	0,2	–	–	–

Продолжение таблицы 2.1.4

Гомельская	533,3	40,3	398,5	119,1	15,6	0,1
Гродненская	18,3	1,5	17,9	0,3	–	–
Минская	46,9	2,5	46,4	0,5	–	–
Могилевская	253,7	19,8	202,6	46,6	4,5	–
Республика Беларусь	903,1	10,6	714,8	168,2	20,1	0,1

Приведенные данные свидетельствуют о том, что, несмотря на прошедшие после аварии на ЧАЭС чуть более трех десятилетий, выпавшие в экосистемы республики радионуклиды будут сохраняться в природной среде еще не одно десятилетие. Так оказалось, что наиболее распространенным в выпадениях оказался цезий-137, имеющий период полураспада 30 лет, поэтому прежде чем он станет наименее опасным для живых организмов должно пройти не менее 6–10 периодов его полураспада.

В результате катастрофы на Чернобыльской АЭС в зоне радиоактивного загрязнения Беларуси оказалось около 3600 населенных пунктов, в том числе 27 городов, где проживало 2,2 млн человек. По официальным данным из 471 населенного пункта население эвакуировано или отселено (295 – в Гомельской области, 174 – в Могилевской области и 2 – в Брестской области). Всего было отселено 137,7 тыс. человек, в том числе эвакуировано в течение 1986 года 24,7 тыс. жителей из 107 наиболее пострадавших населенных пунктов и в последующие годы переселено 113 тыс. человек из 364 населенных пунктов.

В соответствии с требованиями Закона Республики Беларусь «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС» (статья 4) перечень населенных пунктов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения периодически обновляется (Ведамасці Вярхоўнага Савета Рэспублікі Беларусь, 1991).

Первоначальный перечень населенных пунктов и других объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения, был утвержден в 1992 году и далее пересматривался в 1996, 2002, 2004 и 2010 годах.

В послеаварийный период количество населенных пунктов в зонах радиоактивного загрязнения и проживающего в них населения менялось. Это обуславливалось, с одной стороны, переселением жителей из наиболее загрязненных населенных пунктов, а с другой стороны, – снижением уровней загрязнения территорий и доз облучения населения из-за перехода части населенных пунктов из более «жестких» зон в менее «жесткие» или даже выхода их из зон радиоактивного загрязнения. Так, например, к 2010 году количество населенных пунктов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения, уменьшилось с 3600 до 2402 или на 33 %. За данный период времени количество населения, проживающего в зонах радиоактивного загрязнения, сократилось с 2200 до 1141,3 тыс. человек или в 1,9 раза (рисунок 3).



Рисунок 3. – Динамика количества населенных пунктов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения, и проживающего в них населения

Согласно действующему Перечню населенных пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения (Минск, 2010), по состоянию на 2010 год в них находилось 2402 населенных пункта, в которых проживало 1141272 человека. По сравнению с Перечнем 2004 года количество загрязненных радионуклидами населенных пунктов уменьшилось на 211 с общим количеством населения 153408 человек. К этому времени удельный вес площадей, загрязненных ^{137}Cs , по зонам по отношению к площади территории республики составили: зона проживания с периодическим радиационным контролем – 10 %, зона с правом на отселение – 3,2 %, зона последующего отселения – 1,1 %, зона первоочередного отселения – 0,2 %.

Республиканским центром радиационного контроля и мониторинга окружающей среды Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды выполнен прогноз изменения количества населенных пунктов Республики Беларусь, плотность загрязнения которых ^{137}Cs и ^{90}Sr будет соответствовать значениям, определяющим отнесение их к зонам радиоактивного загрязнения (Амбражевич М.Л. с соавторами, 2008). На рисунке 4 приведены прогнозные данные на период до 2050 года (с интервалом в 10 лет) распределения населенных пунктов Республики Беларусь по зонам радиоактивного загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr . Ожидаемое уменьшение количества населенных пунктов Беларуси к 2050 году в результате снижения загрязнения цезием-137 составит около 2,0 раз, стронция-90 – около 3,1 раза, в сравнении в 2010 годом.

Известно, что в первый год после аварии доминирующим фактором формирования эффективной дозы являлось внешнее облучение человека от осевших на почву и растительность радионуклидов. С лета 1986 года и по

настоящее время доза внутреннего облучения формируется главным образом за счет поступления ^{137}Cs в организм жителей с пищевыми продуктами. Вклад ^{90}Sr в дозу внутреннего облучения населения составляет единицы процентов. Вклад, обусловленный поступлением изотопов $^{238,239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am , составляет доли процентов (Национальный доклад Республики Беларусь, 2011).

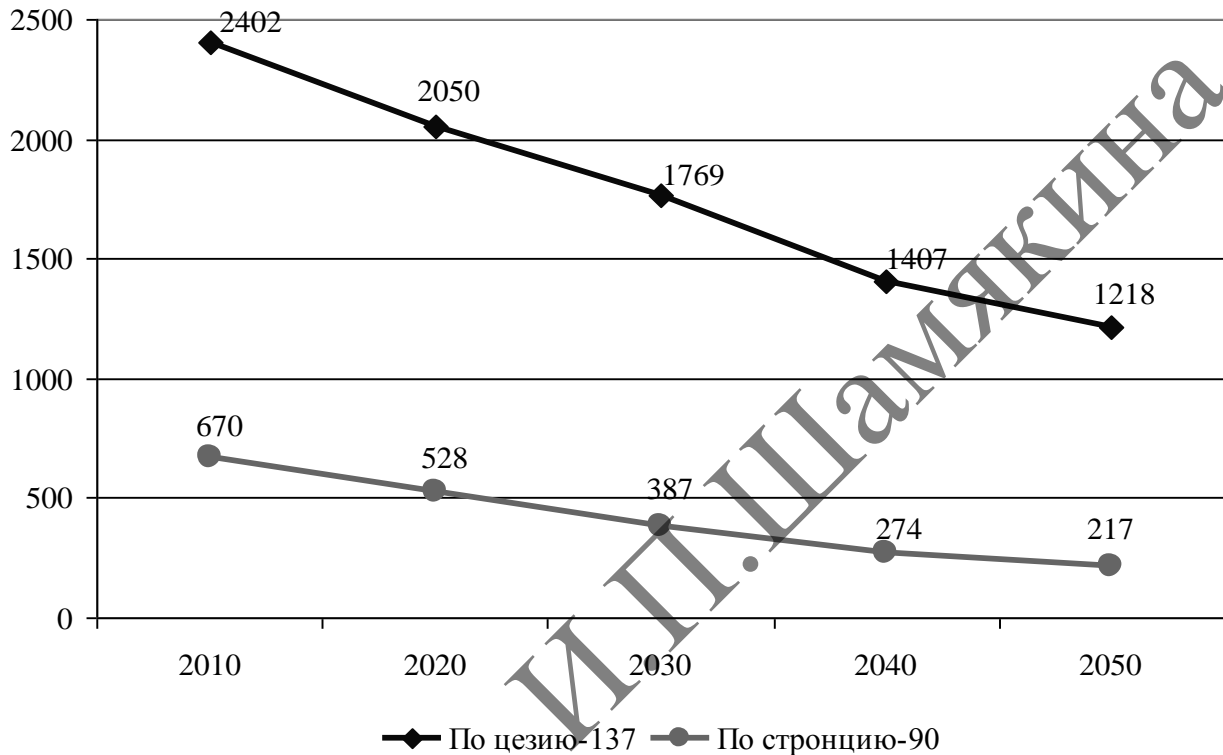


Рисунок 4. – Распределение населенных пунктов Республики Беларусь по зонам радиоактивного загрязнения с 2010 по 2050 годы

В соответствии с Законом Республики Беларусь «О социальной защите граждан, пострадавших от катастрофы на Чернобыльской АЭС, других радиационных аварий» (статья 5), проживание и трудовая деятельность населения на территории радиоактивного загрязнения не требуют каких-либо ограничений, если средняя годовая эффективная доза облучения населения не превышает 1 мЗв над уровнем естественного и техногенного радиационного фона. При превышении средней годовой эффективной дозы облучения населения 1 мЗв над уровнем естественного и техногенного радиационного фона проводятся защитные мероприятия.

На рисунке 4 приведены данные распределения населенных пунктов Республики Беларусь, расположенных в зонах радиоактивного загрязнения, в которых средняя годовая эффективная доза облучения населения не превышает и превышает 1 мЗв. Так, по данным Министерства здравоохранения в 2004 году средняя годовая эффективная доза облучения населения превышала 1 мЗв в 723 населенных пунктах республики, что составляло 28 % от общего количества (2613) населенных пунктов,

расположенных в зонах радиоактивного загрязнения. В этих населенных пунктах по состоянию на 2004 год проживало 162 тыс. человек или 12,5 % населения, проживающего на территории радиоактивного загрязнения (рисунок 5).

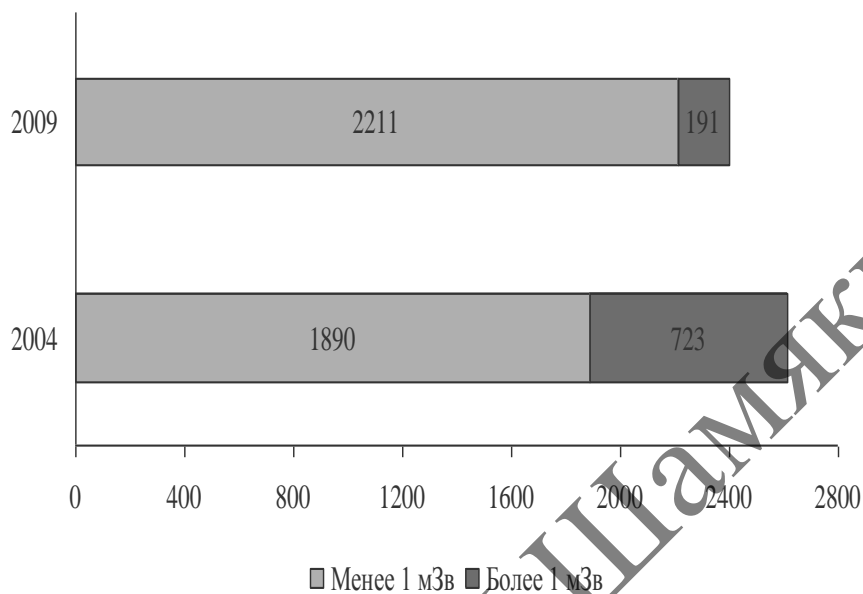


Рисунок 5. – Распределение населенных пунктов по диапазонам средней годовой эффективной дозы облучения > 1 мЗв и < 1 мЗв в 2004 и 2009 годах

Согласно Каталогу средних годовых эффективных доз облучения жителей Республики Беларусь в 2009 году средняя годовая эффективная доза облучения населения превышала 1 мЗв в 191 населенном пункте, что составляло 8 % от общего количества (2402) населенных пунктов, расположенных в зонах радиоактивного загрязнения.

В этих поселениях проживало 48,1 тыс. человек или 4,2 % от всего населения на территории радиоактивного загрязнения (рисунок 6).

В 2009 году ни в одном населенном пункте Беларуси годовая эффективная доза облучения не превысила 5 мЗв, тогда как в 2004 году таких населенных пунктов было 3. Данные населенные пункты расположены на территории с плотностью загрязнения ^{137}Cs выше 555 кБк/м² (выше 15 Ки/км²). К дополнительным факторам формирования повышенных доз облучения в этих населенных пунктах следует отнести близость зоны отчуждения, использование загрязненной продукции леса и фуража для скота (Жученко Ю.М., 1998).

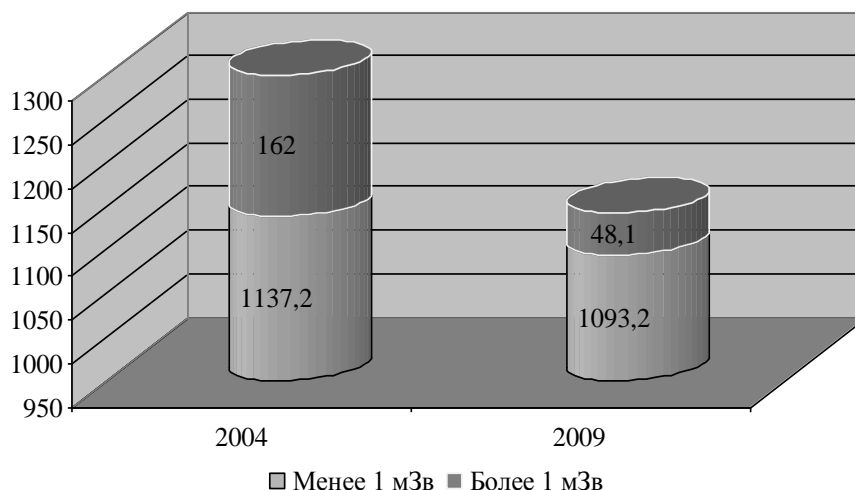


Рисунок 6. – Распределение количества жителей по населенным пунктам со средней годовой эффективной дозой облучения > 1 мЗв и < 1 мЗв в 2004 и 2009 годах

В постчернобыльский период на уровне государства потребовались для загрязненной территории управленческие, организационные, финансовые и другие решения. Для их системного применения все административные районы, в зависимости от удельного веса загрязненных земель распределили по 4 группам. В первую группу вошли районы, в которых доля затронутых Чернобылем земель не превышала 10 %, во вторую группу – районы с долей 11–25 %, в третью группу – с долей 26–50 % и в четвертую группу – районы с долей загрязненных земель >50 %. Как показывают данные, представленные в таблице 2.4.5, из 58 пострадавших районов в 24 удельный вес загрязненных ^{137}Cs сельскохозяйственных земель не превысил 10 %, в 11 районах такие земли занимали 11–25 %, в 10 районах – 26–50 % и в 13 районах – более 50 %.

Таблица 2.4.5. – Группировка административных районов республики по степени загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr сельскохозяйственных земель

Группа	Степень загрязнения	Градации по удельному весу загрязненных земель, %	Радионуклид	Площадь земель, тыс. га	Удельный вес земель, %	Всего районов
I	Слабая	До 10	^{137}Cs	45,7	4,5	24
			^{90}Sr	9,4	2,7	12
II	Средняя	11–25	^{137}Cs	151,5	15,1	11
			^{90}Sr	15,0	4,3	3
III	Сильная	26–50	^{137}Cs	242,8	24,1	10
			^{90}Sr	132,8	38,2	7
IV	Очень сильная	Более 50	^{137}Cs	566,2	56,3	13
			^{90}Sr	191,0	54,8	5

Такое распределение районов способствовало более правильному планированию и проведению защитных мероприятий на их территории и среди проживающего населения.

Таким образом, вышеприведенные данные анализа радиоактивного загрязнения территории и населенных пунктов республики свидетельствуют о постепенном улучшении со временем радиоэкологической обстановки.

2.2. Мониторинг агрохимического состояния и радиоактивного загрязнения земель

В производственном потенциале агропромышленного комплекса земля выступает как предмет труда во время обработки ее верхнего почвенного горизонта орудиями труда. Земля как средство производства отличается от всех остальных рядом существенных особенностей и, прежде всего, своим плодородием. Среди земельных ресурсов наиболее ценными являются сельскохозяйственные угодья, к которым относятся: пашня, залежи, многолетние насаждения, сенокосы, пастбища.

В настоящее время в силу разных причин динамика сельскохозяйственных угодий во всем мире имеет отрицательную направленность. С целью сохранения земельных ресурсов в Беларуси управление ими определяется проводимой государственной земельной политикой, целью которой является повышение эффективности использования и охраны земельных ресурсов. Для этого в республике принят Кодекс о земле. Кодекс РБ о земле регулирует земельные отношения и направлен на создание условий для рационального использования и охраны земель, воспроизводства плодородия почв, сохранения и улучшения природной среды, для равноправного развития всех форм хозяйствования.

В Беларуси на постоянной основе организован и проводится мониторинг земель – система наблюдений за использованием почв и состоянием земельного фонда, в том числе земель, расположенных в зонах радиоактивного и других видов загрязнений. Целью мониторинга является своевременное выявление изменения почв, определение их состояния, а также выработка мер по предупреждению и устранению последствий негативных воздействий.

Проведение мониторинга состояния сельскохозяйственных земель, в том числе и радиологического, в республике возложено на областные проектно-изыскательские станции химизации сельского хозяйства.

Изучением агрохимического состояния и радиоактивного загрязнения почв на территории Гомельской области занимается коммунальное унитарное предприятие «Гомельская областная проектно-изыскательская станция химизации сельского хозяйства», директором которой является один из авторов данной монографии. Вся производственная деятельность предприятия направлена на совершенствование эффективности агрохимического и радиологического обследования сельскохозяйственных земель, своевременную подготовку необходимой проектно-сметной документации для проведения известкования кислых почв, разработку мероприятий по внесению удобрений и анализ их эффективности. Кроме этого, предприятием осуществляется контроль содержания радионуклидов, остаточных количеств пестицидов в продукции растениеводства, тяжелых металлов в почве и т. д.

Вся эта работа направлена на повышение плодородия почвы в хозяйствах области.

В соответствии с программой работы в течение 2017 года продолжались, многолетние, начавшиеся сразу после катастрофы на ЧАЭС, исследования сельскохозяйственных земель Гомельской области на содержание радиоактивных веществ в почве и картирование обследованных угодий.

Работы выполнялись в следующих направлениях:

– Радиологическое обследование сельскохозяйственных земель области для определения плотности загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr .

– Контроль качества растениеводческой продукции на содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr .

Агрохимическое и радиологическое обследование земель проводилось в соответствии с методическими указаниями «Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь».

Методическое руководство осуществлялось РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси».

Запланированное совместное агрохимическое и радиологическое обследование сельскохозяйственных земель проводилось в Буда-Кошелевском, Кормянском, Лоевском, Мозырском и Чечерском районах Гомельской области, а также были завершены работы по определению плотности загрязнения ^{90}Sr Наровлянского района 2015 года обследования, Калинковичского, Добрушского и Речицкого районов 2016 года обследования. Об объемах выполненных работ в течение года по радиологическому обследованию земель можно судить по показателям таблицы 2.2.1.

Как видно из табличных данных, в 2017 году при радиологическом обследовании загрязненных радионуклидами земель сельскохозяйственных организаций вышеперечисленных районов отбор проб почвы проведен с площади 177504 га. Из них 168315 га приходилось на пашню, сад, улучшенные луговые земли, 9189 га – на естественные луговые земли.

Таблица 2.2.1. Показатели радиологического обследования земель Гомельской области в 2017 году

Район	Обследованная площадь, га			Количество отобранных проб почвы, ед.			Количество проанализированных проб, ед.	
	Всего	из них земель		Всего проб	С/х земли	Естеств. земли	^{137}Cs	^{90}Sr
		с/х	естеств. луговых					
Наровлянский								294
Калинковичский								1620
Добрушский								922
Речицкий								3792
Буда-Кошелевский	76330	73765	2565	7895	7451	444	7895	

Продолжение таблицы 2.2.1

Кормянский	39733	38190	1543	4049	3814	235	4049	
Лоевский	16338	14963	1375	1772	1573	199	1772	
Мозырский	11292	10444	848	1217	1078	139	1217	
Чечерский	33811	30953	2858	3601	3136	465	3601	
ВСЕГО	177504	168315	9189	18534	17052	1482	18534	6628

Всего было отобрано 18534 пробы почвенных образцов, которые все проанализированы на содержание ^{137}Cs и на содержание ^{90}Sr – 6628 проб почвы или 36 %. Определение содержания ^{90}Sr в остальных пробах перенесено на 2018 год. Полученные уточненные данные обследованных земель по плотности загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr представлены в виде картограмм плотности загрязнения и экспликаций площадей по районам в разрезе хозяйств и в целом по области. Экспликации представлены для планирования и проведения защитных мероприятий в Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС, в Министерство сельского хозяйства и продовольствия, в сектор по агрохимическому обслуживанию Комитета по сельскому хозяйству и продовольствию Гомельского облисполкома, в обследованные районы области. Картограммы плотности загрязнения после согласования с РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси» и с Минсельхозпродом (сектор сельхозрадиологии и охраны окружающей среды) передаются в Государственное учреждение «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторинга окружающей среды».

В результате радиологического обследования установлено, что площадь сельскохозяйственных и естественных луговых земель области, загрязненных цезием-137 с плотностью 1,0 и более $\text{Ки}/\text{км}^2$, составляет 529,0 тыс. га (таблица 2.2.2.).

Согласно экспликации обследованных площадей, только в Октябрьском районе плотность загрязнения цезием-137 не превышает $1,0 \text{ Ки}/\text{км}^2$. В Петриковском и Мозырском районах плотность загрязнения цезием-137 колеблется от менее $1,0 \text{ Ки}/\text{км}^2$ до $4,9 \text{ Ки}/\text{км}^2$. В Гомельском, Житковичском, Жлобинском, Калинковичском, Лельчицком, Речицком и Светлогорском районах плотность загрязнения цезием-137 находится в пределах от менее $1,0 \text{ Ки}/\text{км}^2$ до $9,9 \text{ Ки}/\text{км}^2$, в Рогачевском районе – от менее $1,0 \text{ Ки}/\text{км}^2$ до $14,9 \text{ Ки}/\text{км}^2$, в Ельском и Лоевском районах – от менее $1,0 \text{ Ки}/\text{км}^2$ до $29,9 \text{ Ки}/\text{км}^2$:

Таблица 2.2.2. – Экспликация площадей сельскохозяйственных и естественных луговых земель Гомельской области по плотности загрязнения ^{137}Cs (на 01.01.2018 года)

Наименование районов	Год обследования.	Всего земель,	в т.ч. загрязненных,	градации по плотности загрязнения ^{137}Cs (Ки/км ²)							не обл.
				<1,0	1,0–4,9	5,0–9,9	10,0–14,9	15,0–29,9	30,0–39,9	>40,0	
Брагинский	2015	50282	42143	5633	33983	6158	1281	599	50	72	2506
Б-Кошелевский	2017	85559	63638	16961	55574	5231	2072	757	4		4960
Ветковский	2014	40933	39690	22	18103	14698	4234	2647	8		1221
Гомельский	2014	68989	25563	41869	25204	359					1557
Добрушский	2016	70780	25129	45002	12996	5352	3063	3629	89		649
Ельский	2016	39119	34863	2628	29000	5526	325	12			1628
Житковичский	2015	49821	2500	46213	2439	61					1108
Жлобинский	2014	85346	19795	62916	19720	75					2635
Калинковичский	2015	86536	13641	70819	13555	86					2076
Кормянский	2013	40420	38850		18486	18403	1512	431	18		1570
Лельчицкий	2016	40706	13518	25366	13452	66					1822
Лоевский	2017	39676	7813	30927	6740	694	339	40			936
Мозырский	2017	37404	8233	28741	8233						430
Наровлянский	2015	18730	17076		2460	8756	3786	2035	39		1654
Октябрьский	1997	39830		39498							332
Петриковский	2015	70995	108	70767	108						80
Рогачевский	2014	101583	55912	45280	50336	5570	6				391
Речицкий	2016	96200	34226	58257	34030	196					3717
Светлогорский	2016	56045	1383	54637	1148	235					25
Хойникский	2015	41230	38817	402	20706	12314	3855	1935	7		2011
Чечерский	2013	37475	34872	27	19020	8789	3459	3568	36		2576
ИТОГО		1197619	517770	645965	385293	92569	23932	15653	251	72	33884
Фермерские хозяйства		27708	11259	14670	8385	2287	455	132			1779
ВСЕГО		1225327	529029	660635	393678	94856	24387	15785	251	72	35663
Распределение площадей в %				53,91 %	32,13 %	7,74 %	1,99 %	1,29 %	0,02 %	0,01 %	2,91 %

В остальных районах области плотность загрязнения составляет от менее 1,0 Ки/км² до 30–39,9 Ки/км², кроме Кормянского и Наровлянского районов, где плотность загрязнения всех сельскохозяйственных земель цезием-137, более 1,0 Ки/км².

Земли с плотностью загрязнения цезием-137, от 30 Ки/км² и выше 40 Ки/км² (всего 122 га) имеются в Брагинском районе, в Буда-Кошелевском, Ветковском, Добрушском, Кормянском, Наровлянском, Хойникском и Чечерском районах с плотностью загрязнения от 30–39,9 Ки/км² имеется 4 га, 8 га, 89 га, 18 га, 39 га, 7 га и 36 га соответственно.

Распределение площадей сельскохозяйственных земель области по плотности загрязнения цезием-137 в процентном отношении отображено на рисунке 7.

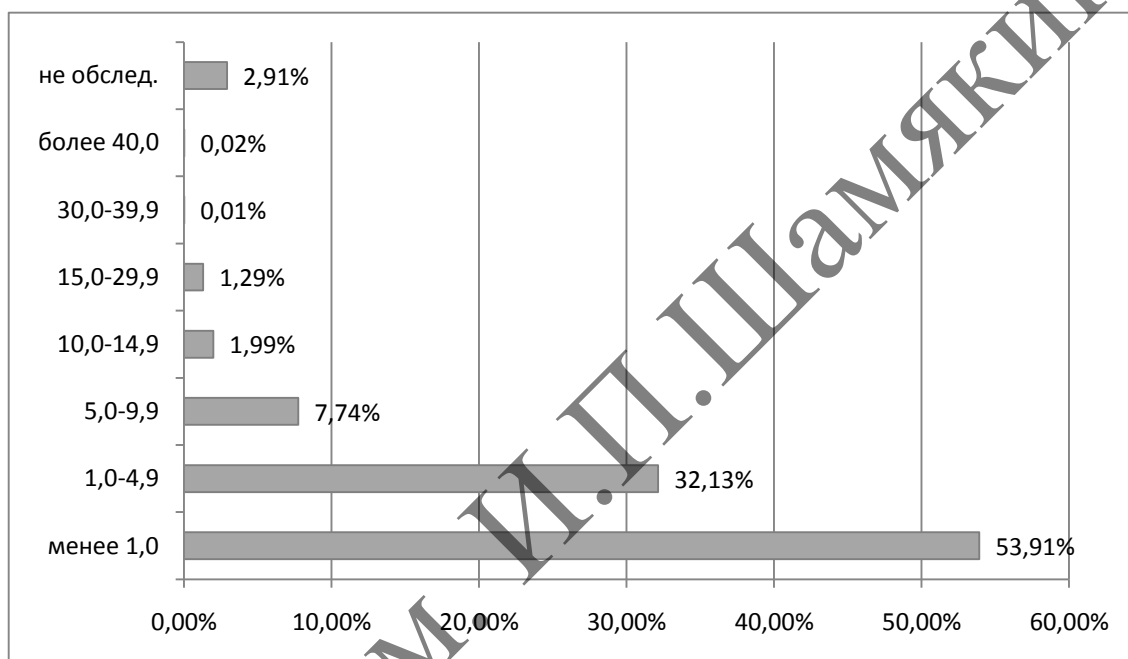


Рисунок 7. – Диаграмма плотности загрязнения ¹³⁷Cs сельскохозяйственных земель Гомельской области на 01.01.2018 года

В результате радиологического обследования было также установлено, что площадь сельскохозяйственных и естественных луговых земель области, загрязненных стронцием-90 с плотностью 0,15 и более Ки/км², составляет 289,7 тыс. га (таблица 2.2.3).

Загрязнение территории области стронцием-90 носит более местный характер. В Житковичском, Октябрьском, Петриковском и Светлогорском районах земли всех хозяйств по плотности загрязнения не превышают 0,15 Ки/км². В Жлобинском, Кормянском, Лельчицком, Мозырском и Рогачевском районах плотность загрязнения стронцием-90 составляет от менее 0,15 Ки/км² до 0,30 Ки/км², в Ельском районе – от менее 0,15 Ки/км² до 0,50 Ки/км², в остальных районах области плотность загрязнения колеблется от менее 0,15 Ки/км² до 1,00 Ки/км². На территории Брагинского, Добрушского, Наровлянского и Хойникского районов продолжают оставаться земли с плотностью загрязнения стронцием-90 от 1,01 Ки/км² до 2,00 Ки/км² (14510 га), выше 2,01 Ки/км² – в Брагинском и Хойникском районах (869 га) и более 3,0 Ки/км² – в Хойникском районе (38 га).

Таблица 2.2.3. – Экспликация площадей сельскохозяйственных и естественных луговых земель Гомельской области по плотности загрязнения ⁹⁰Sr (на 01.01.2018 года)

Наименование района	Год обследования	Всего земель, га	в т. ч. загрязненных, га	градации по плотности загрязнения ⁹⁰ Sr (Ки/км ²)							
				<0,15	0,15–0,30	0,31–0,50	0,51–1,00	1,01–2,00	2,01-2,99	>3,00	не обл.
Брагинский	2015	50282	46763	1013	6551	13426	21719	4945	122		2506
Б-Кошелевский	2013	85559	17643	60717	16185	1294	164				7199
Ветковский	2014	40933	23030	16682	16603	5666	761				1221
Гомельский	2014	68989	21450	45982	18740	2601	109				1557
Добрушский	2016	70780	18942	51189	10753	6035	2137	17			649
Ельский	2012	39119	7019	29345	6943	76					2755
Житковичский	2015	49821		48713							1108
Жлобинский	2014	85346	266	82445	266						2635
Калинковичский	2015	86536	19942	64518	14011	4637	1294				2076
Кормянский	2013	40420	2623	36227	2623						1570
Лельчицкий	2012	40706	52	38766	52						1888
Лоевский	2013	39676	13641	24119	11053	2317	271				1916
Мозырский	2013	37404	1787	34684	1787						933
Наровлянский	2015	18730	14338	2738	10997	2745	585	11			1654
Октябрьский	1997	39830		39498							332
Петриковский	2015	70955		70875							80
Рогачевский	2014	101583	228	100964	228						391
Речицкий	2012	96200	53942	36720	43682	10031	229				5538
Светлогорский	2012	56045		56020							25
Хойникский	2015	41230	39188	31	2659	8632	18643	8562	654	38	2011
Чечерский	2013	37475	8917	25982	5658	2747	512				2576
ИТОГО		1197619	289771	867228	168791	60207	46424	13535	776	38	40620
Фермерские хозяйства		27708	6372	19485	3469	572	1263	975	93		1851
ВСЕГО		1225327	296143	886713	172260	60779	47687	14510	869	38	42471
Распределение площадей, в %				72,37 %	14,06 %	4,96 %	3,89 %	1,18 %	0,07 %	0,00%	3,47 %

Распределение площадей сельскохозяйственных земель области по плотности загрязнения стронцием-90 в процентном отношении отображено на рисунке 8.

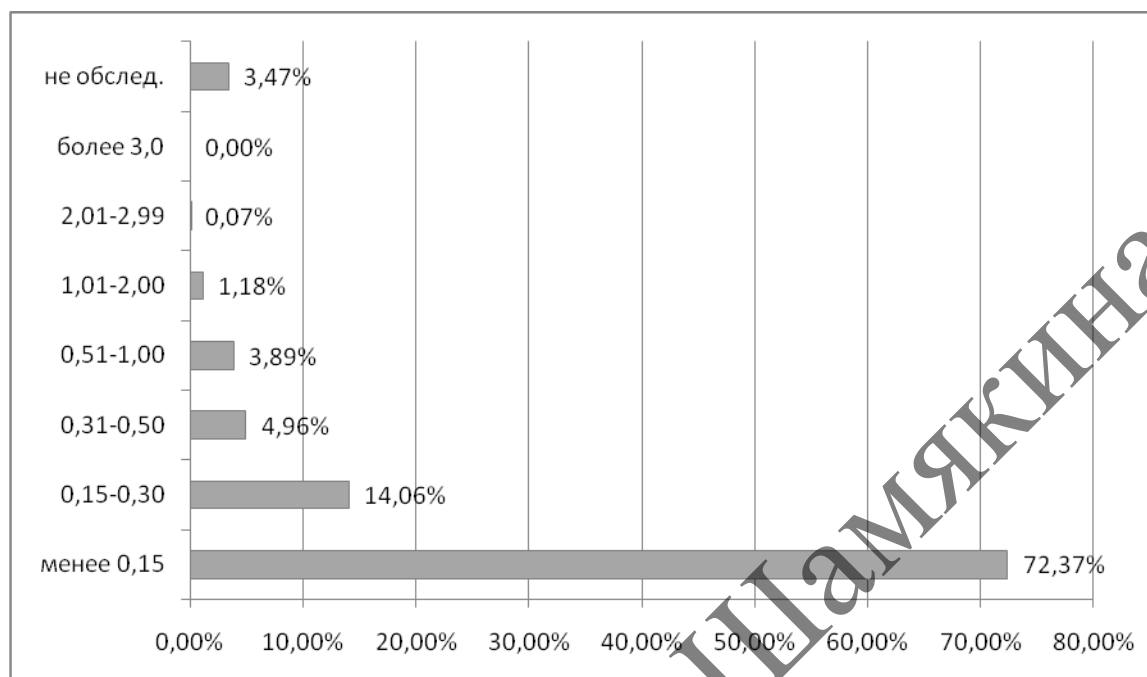


Рисунок 8. – Диаграмма плотности загрязнения Sr-90 сельскохозяйственных земель Гомельской области на 01.01.2018 года

Контроль качества растениеводческой продукции на содержание ^{90}Sr в 2017 году в период заготовки зерна, картофеля осуществлялся в области, кроме лаборатории радиологии ОПИСХ, также в Калинковичском ЦСМС, Гомельским ЦСМС, ГУ «ГОИСКЗР». На содержание ^{90}Sr вышеперечисленными лабораториями было проанализировано 805 проба зерна и 40 проб картофеля. Из них лабораторией радиологии ОПИСХ исследовано 95 проб зерна и 18 проб картофеля. Из всех проанализированных проб зерна в области только 45 проб (12769 тонн) превысило допустимые уровни содержания ^{90}Sr в сельскохозяйственном сырье на продовольственные цели, что составило 5,6 % от общего числа всех исследованных проб.

Таблица 2.2.4. – Результаты исследований загрязненности зерна ^{90}Sr в Гомельской области в 2017 году

Наименование района	Исследовано, проб	Выше РДУ		Выше РДУ %	Макс. результат, Бк/кг	Культура	Хозяйство
		тонн	проб				
Брагинский	31	2129	10	32,3	29,80	ячмень	им. Жукова
Б-Кошелевск.	50	400	1	2,0	11,90	овес	Андреевка
Ветковский	24	1000	2	8,3	14,30	ячмень	Агро-Ветка
Гомельский	35	–	–	–	–		

Продолжение таблицы 2.2.4

Добрушский	44	–	–	–	–		
Ельский	12	–	–	–	–		
Житковичский	22	–	–	–	–		
Жлобинский	87	–	–	–	–		
Калинковичск	77	300	1	1,3	12,83	овес	50 лет
Кормянский	32	–	–	–	–		
Лоевский	16	–	–	–	–		
Лельчицкий	39	–	–	–	–		
Мозырский	31	–	–	–	–		
Наровлянский	9	520	2	22,2	11,94	овес	Братство
Октябрьский	33	–	–	–	–		
Петриковский	36	600	2	5,6	26,93	овес	Полесье-Агроинвест
Речицкий	78	–	–	–	–		
Рогачевский	27	–	–	–	–		
Светлогорск.	47	–	–	–	–		
Хойникский	42	7820	27	64,3	83,80	овес	ППРЭЗ
Чечерский	33	–	–	–	–		
ВСЕГО:	805	12769	45	5,6			

Сравнительные данные за семь последних лет (2011–2017 гг.) исследований зерна на содержание ^{90}Sr в разрезе районов представлены в таблице 2.2.5. Анализ их показывает, что заметное снижение концентраций радионуклида в зерне Гомельской области произошло как в 2016, так и в 2017 годах. В эти годы удельное содержание стронция-90 выше РДУ составило соответственно 3,8 и 5,6 % от проверенного количества зерна.

Таблица 2.2.5. – Результаты исследований проб зерна по Гомельской области на содержание стронция-90 за период 2011–2017 гг.

Наименование района	2011			2012			2013		
	Всего	Выше РДУ	%	Всего	Выше РДУ	%	Всего	Выше РДУ	%
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Брагинский	44	7	15,9	50	15	30,0	52	18	34,6
Буда-Кошелевский	78	1	1,3	60	1	1,7	68	–	–
Ветковский	43	–	–	55	1	1,8	47	5	10,5
Гомельский	32	–	–	29	–	–	23	1	4,3
Добрушский	29	–	–	23	2	8,7	28	–	–
Ельский	28	–	–	27	–	–	16	–	–
Житковичский	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Жлобинский	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Калинковичский	53	–	–	47	–	–	50	4	8,0

Продолжение таблицы 2.2.5

Кормянский	35	–	–	25	–	–	30	–	–
Лоевский	40	1	2,5	51	3	5,9	50	1	2,0
Лельчицкий	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Мозырский	26	1	3,8	10	–	–	16	–	–
Наровлянский	23	–	–	7	–	–	14	–	–
Октябрьский	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Петриковский	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Речицкий	75	–	–	95	3	3,2	71	3	4,2
Рогачевский	7	–	–	11	–	–	9	–	–
Светлогорский	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Хойникский	87	78	89,7	81	71	87,6	125	95	76,0
Чечерский	20	1	5,0	29	–	–	33	3	9,1
Итого:	620	89	14,3	600	96	16,0	632	130	20,6

Из всех исследованных проб картофеля по области превышение норматива по содержанию ^{90}Sr выявлено в ОАО «Брагинка» и ОАО «Имени Жукова» Брагинского района.

В 2017 году лабораторией радиологии ОПИСХ осуществлялся контроль качества рапса согласно технического регламента Таможенного союза (ТР ТС 015/2011 «О безопасности зерна») (таблица 2.2.6.). Из проанализированных 24 проб рапса в 11 пробах отмечено превышение допустимого уровня содержания ^{90}Sr , что составило 45,8 % от числа проб.

Таблица 2.2.6. – Сведения о радиационном контроле почв и продукции растениеводства в 2017 году Гомельской ОПИСХ

Почва, проб		Продукция растениеводства, проб					
^{137}Cs	^{90}Sr	Зерно		Рапс		Картофель, овощи, фрукты	
		^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr
18699	6698	95	95	24	24	93	29

Таким образом, проведение постоянного ежегодного радиологического мониторинга сельскохозяйственных земель и производимой на них продукции позволяет не только оценивать состояние обстановки на загрязненной территории, но и на основе его результатов разрабатывать мероприятия по получению продукции в пределах установленных республиканских требований.

ГЛАВА 3. ДОСТУПНОСТЬ ЦЕЗИЯ-137 И СТРОНЦИЯ-90 РАСТЕНИЯМ НА РАЗНЫХ ТИПАХ ПОЧВ

3.1. Механизмы поступления минеральных элементов почвы в растения

Оценка и прогноз перехода радионуклидов из почвы в растения – важнейшие задачи современной сельскохозяйственной радиологии. Результаты решения этих задач составляют основу прогноза безопасности пищевых продуктов и продовольственного сырья, радиоэкологического мониторинга, планирования и осуществления защитных и реабилитационных мероприятий. Главная задача большинства радиоэкологических контрмер, направленных на снижение перехода техногенных радионуклидов из почвы в растения, состоит в том, чтобы перевести содержащийся в почве радионуклид в биологически недоступное состояние или в иные физико-химические формы, в которых он будет находиться в состоянии, обуславливающим его пониженную доступность растениям.

Доступность радионуклидов зависит от большого числа факторов, ключевыми среди которых являются: состав и свойства радиоактивных выпадений; время после выпадений; вид растений; тип почвы; технологии возделывания сельскохозяйственных культур. В зависимости от сочетания различных факторов параметры перехода радионуклидов могут изменяться в широких пределах. Высокая вариабельность данных определяет необходимость группировки основных факторов, влияющих на миграцию радионуклидов.

В послеаварийный период произошло существенное снижение биологической доступности ^{137}Cs вследствие необменной фиксации и уменьшения водорастворимых и обменных форм в почве. К середине текущего десятилетия K_p ^{137}Cs сократились на дерново-подзолистых почвах в зерновые культуры в 3,0–6,7 раза, в клубни картофеля – в 5,0–7,5 раза. На торфяных почвах доступность ^{137}Cs снизилась в среднем в 2,5 раза. Однако переход ^{137}Cs в растения на этих почвах в 2,7 раза выше, чем на дерново-подзолистых почвах. Параметры перехода ^{90}Sr в растения наиболее интенсивно снижались сразу после аварийных выпадений, в дальнейшем они стабилизировались. Более 50 % ^{90}Sr находилось в почве в обменной форме, что обуславливало его высокую подвижность. Поэтому переход его в сельскохозяйственные культуры существенно выше по сравнению с ^{137}Cs – в зерновые культуры более чем на порядок величины, в картофель – в среднем в 5 раз. Отсюда следует, что с учетом значений K_p ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в растения основные проблемы, связанные с получением нормативно чистой продукции растениеводства, имеют место на почвах, загрязненных ^{90}Sr , а также на торфяных почвах, загрязненных ^{137}Cs . На этом основании задача совершенствования приемов и методов прогноза поглощения питательных веществ из почвы растениями, представляет важнейшее направление

исследований агрохимии, агроэкологии, биогеоценологии, биогеохимии растений, изучающих закономерности проявления и параметры процессов, которые протекают в почвенной среде. Результаты решения этой задачи составляют основу планирования урожая и качества сельскохозяйственной продукции, определения доз внесения удобрений, расчета биогеохимического баланса элементов в экосистемах, а также прогнозной оценки перехода радионуклидов из почвы в растения.

Определение сути и значения понятия «биологическая доступность» в опубликованной научной литературе встречается в работах Мамихина С.В. (2004).

Многие исследователи в своих работах, при описании условий и количественных характеристик поглощения растениями радионуклидов из почвы, используют такие термины, как «доступность радионуклидов растениям», «биологическая подвижность радионуклидов», «поступление радионуклидов из почвы в растения», «накопление радионуклидов растениями». Имеется немало работ как отечественных, так и зарубежных, в которых словосочетание «биологическая доступность» активно используется или даже выносится в название (Погодин Р.И., 1973; Cline J., 1981; Бондарь П.Ф., Иванов Ю.А., Озорнов А.Г., 1991; Алексахин Р.М. и др., 2001; Подоляк А.Г., 2006, 2007, 2010, 2017).

Однако при ближайшем рассмотрении выясняется, что в этих работах речь идет преимущественно об условиях, закономерностях и уровнях транслокации (перемещения, перехода) в растения содержащихся в почве химических компонентов (радионуклидов, тяжелых металлов, облигатных компонентов питания растений). При этом за оценки уровня биологической доступности этого компонента обычно принимаются оценки уровня транслокации, основанные, как правило, на величинах коэффициентов перехода компонента из почвы в растения или на значениях содержания компонента в растениях. Однако содержание термина «биологическая доступность почвенного вещества» и соответствующего ему понятия, характеризующего свойство, качество или способность химического компонента почвы поглощаться растением, ни в одной из перечисленных работ даже не обсуждается.

Анализ процессов биологической доступности почвенного вещества требует рассмотрения современных представлений о механизмах, обуславливающих и регулирующих движение содержащихся в почве биологически активных ионов к корню растения. При описании этого движения используется термин «биологическая подвижность», без учета того, что в почвенной среде существуют и другие (небиологические) механизмы, способствующие поступлению к корням питательных веществ и иных химических компонентов. В нашем рассмотрении биологическая подвижность – это способность химических компонентов почвенного вещества перемещаться в почвенной среде под воздействием корневой системы растений.

На основании принятых условий, следует остановиться на основных положениях, характеризующих сущность и содержание понятия «биологическая подвижность», применительно к радионуклидам ^{137}Cs и ^{90}Sr , а также с их соотношением с химическими аналогами-макрокомпонентами К и Са. Известно, что катионогенные химические элементы (Na, K, Mg, Ca, Sr, Cs и др.), поглощаются корнем растения из водных растворов в виде моноэлементных свободных ионов, причем в многокомпонентном водном растворе только часть ионов этих элементов находится в свободном состоянии, поскольку существенная их доля оказывается связанной в составе различных ионных комплексов (Нобел П., 1973; Минкин М.Б., Ендовицкий А.П., Андреев А.Г., 1986; Матвеева Л.И., 1995). Анионное поглощение менее изучено, но, по мнению Минеева В.Г. (2004), в принципе оно аналогично катионному обмену.

Поскольку корень растения поглощает питательные элементы из почвы непрерывно, а вещество почвы не перемешивается подобно веществу питательного раствора, то количество доступных питательных элементов у поверхности корня постоянно убывает и не может полностью обеспечивать потребности развивающегося растения без дополнительного непрерывного поступления из окружающего корень объема почвы. Пополнение околор корневого пространства питательными веществами в почве осуществляется с помощью трех основных механизмов: 1) корневого перехвата; 2) массового потока; 3) диффузии (Барбер С.А., 1988).

Термин «перехват корнями» впервые использовали Барбер С. с соавторами (1963) для описания поглощения корнем растения питательных элементов почвы, которые находятся непосредственно на поверхности корня и поэтому им не нужно перемещаться к границе раздела корень/почва, чтобы оказаться доступными для поглощения. К числу таких элементов относятся и те, которые вначале не находятся в контакте с корнем, но приходят в соприкосновение с ним по мере его дальнейшего роста.

Общее представление о количестве питательных элементов, находящихся в контакте с поверхностью корня и способных поступать в корень по механизму перехвата, дают результаты экспериментов Альбрехта В. с соавторами (1942). Эти исследователи предприняли попытку рассчитать содержание питательных элементов на поверхности корня при условии, что она полностью соприкасается с глинистой почвой. Результаты расчета показали, что даже при условии, что с 1 см^3 почвы соприкасается от 1 до 25 см^2 поверхности корня, то только от 0,1 до 0,3 % глинистых минералов, присутствующих в почве, будут действительно соприкасаться с корнем.

Количество питательных элементов, поглощаемых растениями путем корневого перехвата, принято оценивать по их содержанию в таком объеме почвы, который соответствует общему объему корней растения. По данным Диттмера Х. (1940) и Барбера С.А. (1988), объем корней в верхнем 20-сантиметровом слое почвы составляет (в % от объема почвы): для кукурузы (*Zea mays* L.) – 0,4; для мятлика лугового (*Poa pratensis* L.) – 2,8; для озимой

ржи (*Secale cereale* L.) – 0,85; для овса (*Avena sativa* L.) – 0,55; для сои (*Glycine max* L.) – 0,4–0,91. Для однолетних культур объем корней в 20-сантиметровом слое почвы обычно составляет не более 1 % почвенного объема. Как следует из приведенных данных, по механизму корневого перехвата в корни большинства исследованных сельскохозяйственных растений поступает не более 1–3 % от всего количества поглощаемых ими питательных веществ. Исключение могут составлять ионы кальция и магния, содержание которых во многих почвах значительно превышает потребности растений.

Массовый поток питательных элементов к корням связан с движением их через почву с потоком воды (почвенного раствора), который вызван поглощением воды корневой системой растений. Интенсивность массового потока варьирует в широких пределах в зависимости от вида растения и водного режима почвы, которым регулируется водонасыщенность почвы и, следовательно, обеспеченность потребностей растения в водном питании. Обычно скорость поглощения воды корнями сельскохозяйственных растений находится в пределах $(2\div 5) \times 10^{-7}$ см³ в секунду на 1 см² корневой поверхности, следовательно, интенсивность массового потока зависит от толщины корней (Барбер С.А., 1988). Количество питательных элементов, поступающее к корням с массовым потоком почвенного раствора, зависит от количества воды, поглощаемой корнями, и от концентрации элементов в ней, и это количество можно рассчитать, умножая количество воды, которое поглощается растением, на концентрацию элемента в равновесном почвенном растворе. Массовый поток может обеспечивать потребности растений во всех питательных элементах, кроме фосфора и калия, и в меньшей степени азота.

Диффузия питательных элементов в почве по направлению к корню растения происходит вследствие того, что они непрерывно поглощаются корнем, и их концентрация у поверхности корня постоянно снижается. Это приводит к формированию градиента концентрации, направленного перпендикулярно поверхности корня. Возникает диффузионный поток питательных элементов из зоны с большей концентрацией в прикорневую зону, где концентрация понижена. Поскольку поглощение питательных элементов корнем непрерывно, то их концентрация у поверхности корня всегда ниже концентрации в почвенном растворе, который содержится в окружающем корень объеме почвы.

Возможности обеспечения потребностей растения калием за счет различных механизмов иллюстрируют результаты экспериментов Барбера С.А. и Олсена Р.А. (1968) с кукурузой, возделываемой на суглинке. Согласно данным этих авторов, с массовым потоком в растения кукурузы поступало в среднем около 18 % калия, корневым перехватом – около 2 % и более 80 % – за счет диффузии.

Диффузия является главным механизмом обеспечения растущих в почве корней калием и фосфором. Поступление азота в большей степени обеспечивается массовым потоком, при второстепенной роли диффузии. Следовательно, любое изменение водного статуса почвы, которое может

способствовать диффузии элементов питания или переноса их массовым потоком влаги, должно приводить к возрастанию количества ионов питательных элементов, поглощаемого корнем. Для кальция и магния, которые находятся в почвах в избытке, определяющим механизмом обеспечения корней растений является массовый поток. Доказательство существования массового потока и диффузии питательных элементов в почве по направлению к растущему корню доказано экспериментально с помощью радиографии.

Анализ полученных к настоящему времени результатов экспериментов, выполненных разными исследователями с целью выяснения процессов и механизмов, управляющих поглощением питательных веществ растениями из почвы, позволяют сделать следующие выводы:

1. Подавляющее большинство (около 97–99 %) химических компонентов – макроэлементов и микрокомпонентов (в том числе радионуклидов), поглощаемых растениями из почвы, поступает к корням с массовым потоком почвенного раствора или посредством диффузии.

2. Все химические компоненты поглощаются корнями из почвенного раствора в форме ионов, следовательно, биологически доступным является только тот химический компонент, который способен находиться в почвенном растворе в ионной форме.

3. Любое изменение водного статуса почвы, которое может способствовать реализации массового потока или диффузии должно приводить к возрастанию количества питательных элементов поглощаемых корнем.

3.2. «Формы нахождения» техногенных радионуклидов в почвах

Основным критерием прогнозной оценки величин перехода техногенных радионуклидов стронция и цезия из почвы в растение является степень их подвижности в почве.

Наиболее часто обсуждаются следующие «формы нахождения» радионуклидов в почве:

– водорастворимые;
– обменные (вытесняемые солями различного состава и концентрации);
некоторые исследователи выделяют легкообменные и труднообменные формы;

– необменные, или кислоторастворимые (вытесняемые кислотами различной концентрации);

– прочно фиксированные, которые не вытесняются никакими реагентами после обработки почв 6 н HCl.

Принято считать, что все «формы нахождения» радионуклидов в почве стремятся к состоянию динамического равновесия, в результате которого элемент, при снижении его концентрации в почвенном растворе, может переходить из труднорастворимых форм, содержащихся в веществе

почвенного субстрата, в подвижные формы, и наоборот (Марей А.Н., Бархударов Р.М., Новикова Н.Я., 1974; Рассел Р., 1971).

Определение количеств радионуклидов, находящихся в почве в различных «формах», представляет собой одну из стандартных исследовательских задач, однако ни одна из ныне существующих методик выделения «форм» не дает адекватного отражения реальных физико-химических процессов, протекающих в почвенной среде. Поэтому практически все способы оценки количества веществ, содержащихся в почве в составе той или иной из этих «форм», страдают неопределенностью и являются, как известно, предметом постоянных дискуссий (Гребенщикова Н.В. и др., 1992; Поляков Ю.А., 1970).

Например, при оценке количества водорастворимых «форм» радионуклидов в почве используется метод водных вытяжек, основанный, как известно, на использовании дистиллированной воды. Но в природных условиях в почве нет дистиллированной воды, а почвенный раствор существенно отличается от дистиллированной воды по целому ряду свойств, в том числе и по растворяющей способности. Кроме того, водные вытяжки получают, применяя высокие отношения растворителя (воды) и почвы: 5:1, 10:1, 20:1 и т. п., которые не встречаются в природных условиях. В результате оценки содержания водорастворимых веществ в водных вытяжках существенно отличаются от их реального содержания в почвенных растворах (Клечковский В.М., 1967; Федоров А.А., 2002).

Использование таких оценок допустимо при определении подвижности основных компонентов питания растений (макрокомпонентов), но при прогнозировании перехода радионуклидов из почвы в растения этот метод вряд ли может принести достаточно корректные результаты.

Один из характерных недостатков метода вытяжек наглядно иллюстрируют результаты работы Фирсаковой С.К. с соавторами (1996), суть которой заключалась в многостадийном выделении обменного ^{90}Sr из образцов двух почв. Традиционно оценка содержания обменного ^{90}Sr в почве производится путем однократного воздействия на почву вытесняющим реактивом, с последующим радиохимическим определением количества ^{90}Sr в полученном растворе. Вытесняющий раствор (1-нормальный водный раствор ацетата аммония) пропускали через навеску почвы, помещенную в емкость с сетчатым дном, непрерывно (в динамическом режиме), позволяя раствору стекать свободно (гравитационным путем). Каждая порция полученного таким образом раствора анализировалась на содержание ^{90}Sr . Выяснилось, что обменный стронций обнаруживается в уменьшающихся количествах в каждой последующей порции ацетатно-аммонийной вытяжки. Первая порция раствора содержит наибольшее количество обменного стронция по сравнению с каждой из последующих порций, однако это количество составляет лишь незначительную часть – менее половины – от его суммарного содержания в почве. При этом два типа почвы, взятые для опыта, по величине этой части существенно различаются. Это означает, что при определении обменного

стронция стандартным методом, т. е. по количеству, перешедшему в первую порцию раствора, невозможно достоверно оценить ни общее количество обменного стронция в почве, ни ту относительную часть общего количества, которая переходит в эту порцию. Можно полагать, что этот вывод распространяется и на результаты практически любых других стандартных методов количественной оценки «форм нахождения», основанных на однократном воздействии на почву десорбирующими реактивами.

Аналогичные данные получил Автушко М.И. с соавторами (1997) при определении обменного ^{137}Cs в малозольной торфяной почве, с применением в качестве экстрагента раствора ацетата аммония (по методу Масловой (ГОСТ 26210-91)). Экстрагент был выбран с намерением сопоставить полученные результаты с данными оценки обменных форм компонентов (калия и ^{137}Cs), полученной стандартным методом. Поэтому эксперимент выполнялся с приближением к условиям получения стандартной вытяжки: режим фильтрации регулировался с помощью перистальтического насоса таким образом, чтобы отношение объема реагента, прошедшего за время эксперимента через фильтрационную колонку, составлял 10:1, а контакт каждой порции реагента с почвой не превышал 1 час. Содержание ^{137}Cs в ацетатно-аммонийных вытяжках определялось на спектрометрическом комплексе «Canberra-Packard», содержание калия – на спектрофотометре ААС-3.

Полученные в эксперименте данные показывают, что на первых шагах десорбции содержание компонентов в последовательных ацетатно-аммонийных вытяжках резко падает, а по достижении некоторого минимального уровня остается практически неизменным. Показательно, что темпы десорбции калия заметно превышают темпы десорбции ^{137}Cs . После истощения оперативного запаса компонентов в почве в вытяжку переходят лишь незначительные их количества. Суммарное количество «обменных форм» ^{137}Cs и К, извлекаемое из торфяной почвы за 8 шагов динамической десорбции, в 8–10 раз превышает количество, оцениваемое стандартным методом (однократной вытяжкой).

Различия в темпах десорбции компонентов приводят к тому, что в определенный момент величина отношения $^{137}\text{Cs}/\text{K}$ в вытяжках становится аномально высокой. Подтверждение выявленных эффектов в реальных почвенных условиях, где «десорбирующим» фактором является поглощающая деятельность растений, а «десорбентом» – почвенный раствор, позволило бы объяснить некоторые характерные особенности перехода ^{137}Cs в растения из торфяных почв и обосновать эффективные практические способы регулирования этого перехода.

Поиски приемлемого соответствия между реальной биологической доступностью элементов-радионуклидов и оценками их подвижности в почве, также основанными преимущественно на данных, полученных с помощью стандартных агрохимических методов, составляют очевидную методическую проблему, актуальность которой находит отражение в ряде публикаций. Так,

Гребенщикова Н.В. с соавторами (1992), подводя итоги своей работы, посвященной исследованию закономерностей поведения радиоцезия в почвах, отметили: «Полученные материалы позволяют заключить, что исследование поведения радиоцезия в почве с помощью метода почвенных вытяжек не дает полного представления о механизме перехода радионуклида в растения и о факторах, определяющих его биологическую доступность. Лабораторные условия, в которых проводится экстракция, существенно отличаются от природных, и этот метод, позволяющий определить степень прочности связи радионуклида с почвой, должен быть модифицирован или дополнен, с тем, чтобы найти другие, более тесно связанные между собой параметры, характеризующие биологическую доступность радионуклида в звене почва – растение». Иначе говоря, требуется усовершенствование методик определения форм радионуклидов в почвах.

3.3. Переход радионуклидов из фиксированного в доступное для растений состояние

Исходя из данных о параметрах сорбции-десорбции макроэлементов в почвах при определенных сезонно-климатических условиях скорость перехода (десорбции) радионуклидов из прочнофиксированного в биологически доступное состояние может быть достаточно высокой и стать фактором, регулирующим параметры их перехода из почвы в растения. При этом может наблюдаться полное отсутствие ожидаемых положительных связей между количеством техногенных радионуклидов, находящихся в почвах в обменном и в «подвижном» состоянии, и параметрами перехода их в растения. По данным исследований сотрудников РНИУП «Институт радиологии» в мелиорированных торфяных почвах, по сравнению с почвами иных типов (дерновыми, дерново-подзолистыми), содержится минимальное количество обменного (0,6–0,9 %) и подвижного (28 %) цезия-137. (При этом доля подвижного стронция-90 колеблется в пределах 44–91 % от его общего количества в почвах всех типов, т. е. по содержанию подвижного стронция торфяные почвы ничем не выделяются). В дерново-подзолистых почвах доля подвижного цезия существенно выше и составляет 14–38 %. Тем не менее, переход цезия в растения на торфяных почвах близок по величине к переходу стронция и в среднем в 8–10 раз превышает переход цезия на дерново-подзолистых почвах (явление «цезиевого парадокса»).

Исследования Гребенщиковой Н.В. и Фирсаковой С.К. (1992) показали, что в почвах восьми реперных участков, расположенных на территории Гомельской области, содержание подвижного цезия в течение трех лет наблюдений обнаруживало тенденцию к увеличению, тогда как накопление радионуклида травостоем снизилось в 2–5 раз.

Из приведенных данных следует, что способность (свойство) почвы необменно фиксировать техногенные радионуклиды обусловлена особенностями ее вещественного состава: состава почвенной органики, минерального состава, состава и количественных соотношений тех или иных

химических элементов и соединений и т. п. Иначе говоря, свойство почвы в определенной мере регулирует биологическую доступность радионуклидов. В описанном выше случае с торфяными почвами таким фактором является, по-видимому, многократно ускоренная, по сравнению с естественным состоянием, минерализация органических веществ корнеобитаемого слоя мелиорированных торфяных почв. При минерализации происходит непрерывное восполнение поглощаемых растениями подвижных катионов радионуклидов вследствие естественного перехода их из состояния необменной фиксации в биологически доступное состояние.

Особое место в исследованиях, посвященных различным аспектам биологической доступности и биологической подвижности вещества почвы, занимают работы американского ученого Барбера С. и его сотрудников (1962, 1963, 1968, 1988). Наиболее известная его работа, переведенная на русский язык, так и называется «Soil nutrient bioavailability» («Биологическая доступность питательных веществ в почве») (1988). В ней приводится расширенное определение термина «доступный питательный элемент», чрезвычайно важное для формирования представления о сущности и значении биологической доступности почвенного вещества: «биологически доступный элемент – это такой элемент, который присутствует в определенном фонде ионов в почве и может двигаться к корням растущего растения, если корни расположены достаточно близко. Доступный элемент должен быть в форме, в которой он может поглощаться корнями. Это диффундирующий ион, для которого значение эффективного коэффициента диффузии в почве превышает $10\text{--}12\text{ см}^2/\text{с}$ ».

Из этого определения следует, что химический элемент из почвы может быть поглощен растением лишь когда находится в почве в состоянии, доступном корням. То есть, если он может двигаться к корням и скорость этого движения достаточна, чтобы достигнуть корня за время его жизнедеятельности.

По мнению Автушко М.И. (2014), биологическая доступность почвенного вещества – это способность вещества (химических компонентов почвы) быть поглощенным растениями в течение вегетационного периода.

Для количественной оценки биологической доступности радионуклидов в международной практике используются различные параметры, из которых наиболее распространены коэффициент накопления – отношение активности радионуклида в единице массы растений к активности в единице массы почвы, и коэффициент перехода – отношение удельной активности радионуклидов в растениях к плотности загрязнения почвы. В документах МАГАТЭ для характеристики перехода радионуклидов из почвы в растения используются в качестве количественных параметров – коэффициенты накопления (КН). В практике радиологических исследований в Беларуси более широко применяется другой параметр – коэффициент перехода (КП), который используется для прогнозных оценок загрязнения растениеводческой продукции в руководствах и рекомендациях по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель.

КП компонентов почвенного вещества в растения – это расчетные параметры, показывающие отношение содержания компонента в растениях к его валовому содержанию в почве. Значение КП какого-либо компонента почвы само по себе не дает никакого представления об уровне его биологической доступности. Использование КП в качестве оценочного параметра биодоступности имеет смысл лишь тогда, если его можно сравнивать с другими значениями, например, с эталонным (или справочным) значением для определенного типа почвы или для определенных видов растений; со значениями, характеризующими различные почвы, разные виды растений или различные условия культивирования растений (уровни влагообеспеченности, дозы внесения удобрений и т. д.), то есть, если имеется возможность сравнивать величины КП. Такое сравнение позволяет оценить интенсивность транслокации компонента, которая может быть разной как для различных растений на одной и той же почве, так и для одного и того же растения на разных почвах. В первом случае, когда сравниваются КП для различных растений, культивируемых на одной почве, представляется возможным вычленить и оценить влияние биологических особенностей растений на накопление ими изучаемого почвенного химического компонента. Во втором случае, когда одна и та же культура выращивается на разных почвах, мы можем получить сравнительную оценку биодоступности компонента как функции почвы, поскольку разные типы почв существенно отличаются по биодоступности вследствие различий в минералогическом и механическом составе, в содержании органического вещества, в агрофизических свойствах, агрохимических и других характеристиках.

Значения КП отражают одновременно и способность растения извлечь из почвы определенное количество компонента, и способность почвы отдавать этот компонент в почвенный раствор в биологически доступном состоянии. Однако количественно определить содержание биологически доступного компонента в почве с помощью КП не представляется возможным, поскольку этот параметр представляет собой относительную величину и дает только относительную оценку биологической доступности. Особое значение и смысл использования величин КП заключается в том, что они дают возможность производить сравнительную характеристику поглощения и накопления растениями химических компонентов почвы в зависимости от влияния различных факторов, как природно-генетических, так и антропогенных, на уровень биологической доступности.

В обычных условиях компоненты питания в почве содержатся в избытке по отношению к тому количеству, которое растения способны поглотить в течение вегетационного периода. Но если даже содержание компонента недостаточно для полноценного развития растения, то и в этом случае по завершении вегетационного периода выясняется, что в почве сохраняется некоторое количество биологически доступных форм этого компонента. Следовательно, решение задачи определения всего количества (абсолютной величины содержания) биологически доступного компонента в почве является заветной мечтой агрохимика.

Представляет особый интерес подход к определению параметров биологической доступности, описанный в работах Бондаря П.Ф. с соавторами (1989, 1991). Предложенная ими система оценок биологической доступности радионуклидов почвы основана на представлении, что за абсолютную (100 %) биологическую доступность принимается доступность радионуклида, если он находится в водном растворе, а его установленная биологическая доступность в конкретных почвенных условиях оценивается в процентах по отношению к доступности в растворе.

К настоящему времени разработано множество способов и моделей, направленных на решение задачи определения абсолютной величины биодоступности, как для облигатных компонентов, так и для микроэлементов, в том числе для радионуклидов (Фрид А.С., 1999; Коноплев А.В., Коноплева И.В., 1999; Малкина-Пых И.Г., 1996; Мамихин С.В., 2004). Многие авторы полагают, что наиболее достоверные методы установления биодоступности элементов в почвах – это методы, основанные на их концентрациях в почвенных растворах, а не на определении запаса растворимых или способных к обмену форм (Жукова Л.А. и др., 2001).

При определении биологической доступности радионуклидов очень важны специфические свойства растений, которые сильно варьируют в зависимости от условий почвы и состояния растений. Многочисленные примеры из сельскохозяйственной практики и из результатов научных исследований показывают, что существующие почвенные и растительные тесты неудовлетворительно предсказывают биологически доступный баланс элементов для сельскохозяйственных культур, что может вызвать ошибки и при определении доз внесения удобрений, и при решении радиоэкологических задач сельскохозяйственного производства. Поэтому для эффективной оценки запаса биологически доступных количеств радионуклидов в почве целесообразно совместно применять методики, основанные на анализе состава почвенных растворов и на данных анализа растений (Храмченкова О.М., 1999).

Критерием достоверности оценки абсолютной биологической доступности почвенного химического компонента, наряду с другими, может служить такой показатель, как отзывчивость растений на величину содержания этого компонента в почве. Однако пока использованию этого показателя для указанной цели препятствует отсутствие единого понимания его смысла и значения. Существует два подхода к оценке отзывчивости растений на количество компонента, содержащегося в почве. Агрохимический подход в качестве критерия отзывчивости использует величину урожайности агрокультуры. Однако использование растениями облигатных компонентов питания (НРК), как известно, лимитируется необходимостью сохранения оптимального для растений соотношения основных питательных компонентов (Минеев В.Г., 2004; Федоров А.А., 2002). Вследствие этого использование величины урожая для оценки отзывчивости растений на уровень содержания компонента в почве практически никогда не дает достоверных результатов из-за многообразия и высокой вариабельности факторов, способных оказывать влияние на поглощение растениями элементов питания из почвы.

Однозначную оценку отзывчивости растений, оцениваемую по величине урожая, на изменение содержания компонента в почве порой не удается получить даже в условиях контролируемого эксперимента (Дерюгин И.П., Прокошев В.В., 1997; Забавская К.М., Чебан В.Л., Ваулин Г.И., 1978; Янишевский П.Ф., 1997).

Более удовлетворительный результат может давать биогеохимический подход, основанный на использовании в качестве критерия отзывчивости растений на содержание компонента в почве по его содержанию в растении.

3.4. Факторы, определяющие уровни биологической доступности почвенного вещества

Поглощение радионуклидов растениями, как и любого питательного элемента, зависит от ряда факторов. Результаты исследований Юдинцевой Е.В. и Гулякина И.В. (1968), Анненкова Б.Н. и Юдинцевой Е.В. (1991) дают основание объединить все факторы, обуславливающие поступление радионуклидов (в том числе ионов Cs⁺, Sr⁺) в сельскохозяйственные растения, в 4 основные группы: 1) химические свойства радионуклидов; 2) агрохимические характеристики почвы; 3) биологические особенности растений; 4) природно-климатические условия (таблица 3.4.1.).

Таблица 3.4.1. – Факторы, определяющие подвижность радионуклидов в почве и их поступление в растения

Группа факторов	Факторы
Свойства радионуклидов	Знак заряда иона; величина заряда; форма соединения; способность к адсорбции; способность к комплексообразованию; способность к гидролизу
Агрохимическая характеристика почвы	Минералогический состав; химический состав; гранулометрический состав; влажность и плотность почвы; содержание органического вещества; кислотность почвы; катионный состав почвенного раствора, катионный состав почвенно-поглощающего комплекса (ППК); емкость поглощения; формы нахождения радионуклидов
Биологические особенности растений	Особенности минерального питания; продуктивность (урожайность); межвидовые и сортовые отличия
Природно-климатические условия	Продолжительность вегетационного периода; теплообеспеченность; влагообеспеченность, величина гидротермического коэффициента (ГТК)

Как уже было ранее отмечено, для количественной оценки поступления радионуклидов из почвы в растения большинство ученых-радиобиологов используют коэффициенты накопления (концентрации) $KH = (Bк/кг) : (Bк/кг)$ – отношение содержания радионуклида в единице массы растения к содержанию радионуклида в единице массы почвы и коэффициенты пропорциональности $KП = (Bк/кг) : (кBк/м^2)$ – отношение содержания радионуклида в единице массы растения к плотности загрязнения единицы площади почвы.

По Клечковскому В.М. (1956), механизм усвоения радионуклидов растениями сходен с поглощением основных макро- и микроэлементов, а накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr растениями хорошо согласуется с содержанием в них элементов-аналогов К и Са, соответственно. Процесс сорбции, в котором участвуют радионуклиды, характеризуется тем, что сорбируемое вещество находится в предельно низких концентрациях. Так, например, весовое соотношение 1 Бк ^{90}Sr составляет всего 2×10^{-14} г. Поэтому существует очень широкое отношение между величиной емкости поглощения почвы и степенью ее заполнения радионуклидами. Следовательно, в процессе поглощения микроколичества радионуклидов не конкурируют за место на поверхности сорбента, так как по отношению к ним насыщенность сорбента всегда остается очень низкой.

На процесс поглощения и прочность закрепления почвой ^{137}Cs существенное влияние оказывает содержание в ней ионов K^+ , а также присутствие других конкурирующих катионов в почвенном растворе. Так, замещение в почвенно-поглощающем комплексе почвы всех обменных катионов на ионы K^+ или Ca^{2+} заметно увеличивает сорбцию ионов Cs^+ . По уменьшению влияния на сорбцию данного радионуклида твердой фазой почвы, конкурирующие в почвенном растворе катионы можно расположить в следующий ряд: $\text{Cs}^+ > \text{Rb}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Sr}^{2+}$.

В отличие от ^{137}Cs , основной и единственный механизм поглощения ^{90}Sr – ионный обмен. Поведение этого изотопа в почве определяется поведением изотопного носителя (стабильного Sr) и химического аналога (стабильного Са).

Поглощение ^{90}Sr твердой фазой почвы тесно связано с концентрацией в почвенном растворе других катионов. По данным Павлоцкой Ф.И. с соавторами (1991) и Тюрюкановой Э.Б. (1976), содержание обменного Са в почве оказывает основное влияние на поступление ^{90}Sr в сельскохозяйственные растения, а катионы по их конкурирующей способности оказывать влияние на поглощение данного радионуклида можно расположить в следующий ряд: $\text{Al}^{3+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Ba}^{2+} > \text{Ca}^{2+} = \text{Sr}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Cs}^+ = \text{K}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+$. При внесении в почву больших количеств катионов Ca^{2+} , как правило, происходит резкое увеличение соотношения $^{90}\text{Sr}/\text{Ca}$ в почвенном растворе, что приводит к снижению поступления первого в растения.

Концентрация в почвенном растворе анионов PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} также оказывает влияние на поведение радионуклидов в системе «почва–растение» (Алексахин Р.М., Корнеев Н.А., 1992). Так, доступность ^{90}Sr уменьшается а счет увеличения в почвенном растворе концентрации анионов PO_4^{3-} в результате образования труднодоступных для растений соединений $\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2$ и SrHPO_4 .

Доступность радионуклидов для растений также зависит от их поведения в почве, обусловленного составом и свойствами почвы (почвенной химии радионуклидов). Поглощение радионуклидов почвой регулируется их

распределением между твердой фазой почвы и почвенным раствором и осуществляется за счет процессов сорбции–десорбции, осаждения–растворения труднорастворимых соединений и коагуляции–пептизации коллоидных частиц. Образование и растворение осадков зависит от ионного состава, рН почвенного раствора, а также присутствия органических и неорганических кислот. Адсорбция радионуклидов из почвенного раствора твердой фазой почвы тесно связана со свойствами минеральных, органических и органоминеральных коллоидов.

От физико-химических свойств почвенной среды в значительной мере зависит миграционная способность радионуклидов в системе «почва–растение». Поведение изотопов цезия (^{134}Cs и ^{137}Cs) определяется тем, что это радиоизотопы щелочного элемента, имеющего в любых компонентах природной среды степень окисления только +1. Одной из важнейших особенностей этих изотопов является способность к необменной сорбции (фиксации) твердой фазой почвы, ведущей к снижению подвижности в почве и ослаблению накопления растениями. Совокупность почвенно-химических (кристаллохимических) реакций, ведущих к снижению подвижности радионуклидов в почве за счет их вхождения в межпакетные пространства вторичных минералов, принято называть «старением».

Известно, что техногенные радионуклиды стронция и цезия, выпавшие на земную поверхность из парогазового конденсата, изначально большей частью находились в составе простых ионных соединений (Прохоров В.М., 1981; Павлоцкая Ф.И. и др., 1991), следовательно, в состоянии вполне доступном растениям. Поэтому сразу после радиационных выпадений переход радионуклидов в растения оказывается наиболее высоким. С течением времени все большее количество техногенных радионуклидов в почве переходит в необменное состояние, причем наиболее активно процесс их необменной фиксации (сорбции) почвенным веществом, особенно характерный для радиоцезия, проявляется в первые годы после выпадения (Белова Е.И., Антропова З.Г., 1973; Фирсакова С.К., Гребенщикова Н.В., 1980; Анисимов В.С., Санжарова Н.И., Алексахин Р.М., 1991).

Вместе с тем имеются и иные данные, которые противоречат устоявшемуся мнению о неизбежном снижении биологической доступности техногенных радионуклидов с течением времени. Так, в опытах Клайна Дж. (Cline J.) (1981) усвоение радиоцезия растениями существенно не изменялось на протяжении 17 лет. Данные Моисеева И.Т. с соавторами (1986) показали, что усвоение радиоцезия растениями пшеницы, картофеля и гороха (по каждой из культур) на протяжении 11 лет различалось до 3-х раз, но переход радиоцезия в растения в некоторые годы был более высоким, чем в первый год, при общей незначительной тенденции к снижению. Вполне возможно, что основной причиной здесь могут служить особенности режима увлажнения почв. Это подтверждается в условиях вегетационных опытов Клайна Дж. (1981) при стабильном увлажнении, где усвоение радионуклида растениями существенно не менялось. В таких опытах радионуклид не выносится за пределы вегетационного сосуда (за счет эрозионного сноса, выноса с

коллоидными частицами и других процессов, обычных для природных условий). В полевом опыте, напротив, естественная изменчивость сезонно-климатических условий во многом предопределяет вариабельность параметров перехода радионуклида в растения (Фирсакова С.К., Гребенщикова Н.В, 1980).

Большинство исследователей считают, что основную роль в поведении радионуклидов играют агрохимические свойства почв (Моисеев И.Т., Агапкина Г.И., Рерих Л.А., 1994; Подоляк А.Г., 2007, 2010, 2011, 2017; Анненков Б.Н., Юдинцева Е.В., 1991). Биологическая доступность радионуклидов для растений зависит, прежде всего, от их физико-химических состояний («форм нахождения») в почве. Этими состояниями определяется количество элемента-радионуклида в составе биологически доступного пула, и лимитируются возможности его транслокации в звене «почва-растение» (Анисимов В.С., Санжарова Н.И., Алексахин Р.М., 1991; Подоляк, А.Г., 2007).

В настоящее время из всех физико-химических характеристик почв, влияющих на подвижность и доступность ^{137}Cs и ^{90}Sr , исследователями выделено около десяти основных параметров, которые по возрастающей значимости можно расположить в следующий ряд: влажность > соотношение форм нахождения радионуклидов в почве > гранулометрический состав > минералогический состав > содержание органического вещества > содержание обменных К, Са, Mg > емкость катионного обмена > рН.

Как отмечают Вирченко Е.П. и Агапкина Г.И. (1993), основными механизмами передвижения радионуклидов по профилю почвы являются процессы диффузии из зоны высокой концентрации в зону с более низкой концентрацией, перенос в потоке с тонкодисперсной фракцией почвы и перенос в составе растворимых органических соединений (фульватов и гуматов). Цезий-137 может закрепляться минеральными компонентами почвы, поэтому для его передвижения по почвенному профилю характерен перенос с тонкодисперсными частицами почвы в фиксированном состоянии. Поскольку от 10 до 40 % ^{90}Sr связывается гуматами почвенного поглощающего комплекса (гуминовыми, гуматомиелиновыми и особенно фульвокислотами), то он переносится в обменной форме. Связь с органическим веществом почвы объясняет большую подвижность в почвах ^{90}Sr по сравнению с ^{137}Cs . Подтверждением более быстрого передвижения ^{90}Sr является возрастание доли его обменных форм по мере заглубления, что не свойственно для ^{137}Cs . Для большинства радионуклидов увеличение содержания гумуса в почве обеспечивает устойчивое снижение их размеров перехода в растение. Доступность ^{90}Sr для растений в ионной форме в 2–4 раза выше, чем из органоминеральных комплексов, а переход ^{137}Cs из гуматов в 1,3–1,5 и ^{90}Sr в 2–2,5 раза ниже, чем из фульватов. По данным Богдевича И.М. с соавторами (1996) и Путятин Ю.В. (2008), повышение содержания гумуса в дерново-подзолистых супесчаных почвах от минимального (1,0–1,5 %) до оптимального (2,0–3,0 %) сопровождается снижением в 1,5 раза поступления ^{90}Sr и в 2–5 раз ^{137}Cs в урожай многолетних злаковых трав.

По данным многих исследователей, кислотность почвы является ведущим почвенным фактором, определяющим подвижность и доступность радионуклидов. Немаловажное значение придается также наличию гидроокислов железа и алюминия в почве. Если гумусовые и другие низкомолекулярные кислоты ограничивают подвижность радиоактивных элементов, то вследствие образования отрицательно заряженных комплексных соединений железа и алюминия с фульвокислотами или щавелевой кислотой прочность поглощения радионуклидов почвенным поглощающим комплексом, наоборот, ослабляется.

Также на основе многолетних исследований установлено, что почвенная кислотность оказывает как прямое, так и косвенное влияние (изменяет емкость катионного обмена) на поступление радионуклидов в урожай. Показано, что в зависимости от физико-химических свойств почв и видовых различий луговых растений коэффициенты перехода радионуклидов в травостой могут колебаться в широких пределах (от 0,03 до 79,9), а межвидовые различия в аккумуляции ^{90}Sr в зависимости от этих свойств могут достигать 30 и более раз (Санжарова Н.И., 1997).

Существуют два основных аспекта биологических особенностей растений, обуславливающих различия в уровнях накопления радионуклидов. Один из них связан с повышенной потребностью растений в тех компонентах питания (K и Ca), которые обычно составляют конкуренцию радионуклидам ^{137}Cs и ^{90}Sr при их поглощении растениями из почвы вследствие сходства в химических свойствах и, следовательно в биологической подвижности в почвенной среде. Так, кальциефильные растения (например, бобовые) более интенсивно поглощают кальций из почвенного раствора, по сравнению с другими растениями. Это приводит к снижению концентрации кальция в прикорневой зоне, ослабляет его конкурентную роль по отношению к стронцию и способствует повышенному переходу последнего из почвы в растения.

Другой аспект связан с различиями в строении корневых систем растений. Так, по данным Подольяка А.Г. с соавторами (2005), различия в накоплении ^{137}Cs и ^{90}Sr растениями злаковых трав определяются развитием их корневой системы. Плотнокустовые злаки (щучка дернистая, овсяница овечья), корни которых располагаются преимущественно в верхней части корнеобитаемого слоя, накапливают больше радионуклидов, чем корневищные (кострец безостый, двухкосточник тростниковый, вейник тростниковидный, полевица белая).

Поглощающая деятельность корней приводит к снижению концентрации радионуклидов в почвенном растворе и способствуют высвобождению новых его количеств из обменного запаса, что необходимо для поддержания ионного равновесия между почвенным раствором и твердой фазой почвы. Таким образом, растения оказывают значимое влияние на трансформацию «форм нахождения» радионуклидов и могут влиять на уровни их поглощения корнями.

3.5. Факторы, влияющие на параметры перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в сельскохозяйственные культуры

В результате аварии на Чернобыльской АЭС в окружающую среду было выброшено значительное количество радионуклидов, в том числе таких значимых в плане формирования долговременного загрязнения, как ^{137}Cs и ^{90}Sr . Загрязненными оказались земли в зоне интенсивного ведения сельского хозяйства. Из-за малой скорости вертикальной миграции в почве большая часть выпавших радионуклидов по-прежнему сосредоточена в верхнем 0–20 см слое и при определенных условиях биологически доступна (Подольяк А.Г., 2001, 2002, 2007, 2010, 2015, 2017; Кудельский А.В. и др., 2007).

Существенный вклад в поведение радионуклидов вносит время нахождения их в почве. Определенную роль играют естественные биогеохимические процессы, определяющие уменьшение биологической доступности радионуклидов в системе почва–растение, защитные мероприятия (контрмеры) и радиоактивный распад. При поступлении радионуклидов в почву происходит их динамическое взаимодействие с элементами почвенно-поглощающего комплекса, которые могут оказывать противоположное влияние на способность радионуклида к сорбции и фиксации, и к нахождению в той или иной форме. В разной степени доступными растениям принято считать три формы нахождения радионуклидов в почве: водорастворимая, обменная и подвижная (необменная). Неподвижная (фиксированная) форма радионуклида считается недоступной для растений. В большинстве случаев обнаруживается положительная корреляционная зависимость между поступлением радионуклидов в растения и содержанием их доступных соединений в почвах (Моисеев И.Т. и др., 1982, 1994).

Доступность радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr растениям в значительной степени определяются характером их взаимодействия с почвой. Так, для ионов $^{137}\text{Cs}^+$ характерно необменное закрепление и прочная фиксация твердой фазой почвы, а ^{90}Sr в основном закрепляется в почвах посредством ионно-обменного взаимодействия. Поэтому сорбция ^{90}Sr почвами по сравнению с ^{137}Cs высоко обратима (Моисеев И.Т. и др., 1982). В отличие от радиоцезия подвижность ^{90}Sr повышается. В связи с этим существует необходимость периодического уточнения коэффициентов перехода радионуклидов цезия и стронция из почв в сельскохозяйственные культуры.

С увеличением гидроморфности почв в большинстве случаев отмечается рост поступления ^{137}Cs и ^{90}Sr в растения. Влияние гидроморфности почвы на биологическую доступность радионуклидов связывают с формами нахождения их в почве и прочностью связи с минеральными и органическими коллоидами. По данным Агееца В.Ю. (2001) с увеличением степени гидроморфности почв повышается содержание доступных форм ^{137}Cs . В исследованиях на дерново-подзолистых супесчаных почвах разной степени гидроморфности доля обменных форм ^{137}Cs последовательно повышалась от

9,6 % на автоморфных до 10,7 % на глееватых почвах, и до 12,3 % – на глеевых. Одновременно возрастал и переход ^{137}Cs из почвы в растения.

При изучении перехода ^{137}Cs в сено ежи сборной из дерновых заболоченных песчаных почв разной степени гидроморфизма установлено, что максимальное накопление радионуклида происходит на дерновых глеевых почвах (КП = 15,7). Значительно меньший переход ^{137}Cs в сено отмечен из глееватых и слабogleеватых дерновых почв (КП = 2,65 и 0,62 соответственно) (Цыбулько Н.Н. и др., 2011).

Исследованиями Шмигельской И.Д. и Котович А.М. (1995) показано, что усиление поступления ^{137}Cs в многолетние травы наблюдается при влажности почвы превышающей 20–25 % от полной влагоемкости почвы. Установлен минимальный переход радионуклидов из дерново-подзолистых супесчаных почв в растения при степени насыщенности основаниями в интервале 75–90 %. Минимум накопления ^{137}Cs сельскохозяйственными культурами наблюдается при содержании обменного кальция 65–80 %, магния 5–20 %, калия 5–6 % от емкости катионного обмена.

Рост биологической доступности радионуклидов с увеличением увлажнения почв объясняется также уменьшением роли глинистых минералов до полной изоляции их органическим веществом в глееватых и глеевых разновидностях почв (Смеян Н.И. и др., 1995).

Прочность фиксации радионуклидов почвой и поглощение их растениями зависит от кислотности почвенного раствора. Ионы H^+ конкурируют с ионами $^{137}\text{Cs}^+$ за обменные позиции сорбции. Повышение кислотности почв увеличивает подвижность и доступность радионуклидов для корневого поглощения, с уменьшением кислотности увеличиваются сорбционные свойства почвенного комплекса, и снижается биологическая доступность радионуклидов (Смеян Н.И. и др., 1995). Белицким А.С. и Орловой Е.И. (1968) выявлено, что радиоизотоп ^{90}Sr на 80–90 % сорбируется различными типами почв и горных пород из щелочной среды. В значительных количествах стронций начинает сорбироваться почвами при $\text{pH} > 7$. При $\text{pH} < 2$ и $\text{pH} > 11$ степень поглощения резко снижается. Наименьшее накопление радионуклидов сельскохозяйственными культурами чаще наблюдается при оптимальных показателях кислотности почв (Агеец В.Ю., 2001). В зависимости от биологических особенностей сельскохозяйственных культур минимальное накопление радионуклидов на дерново-подзолистых супесчаных почвах достигается в интервале $\text{pH}_{\text{КС1}}$ 6,1–6,9 (Путятин Ю.В., 2008).

Значительная роль в определении биологической доступности радионуклидов растениям принадлежит органическому веществу почвы (ОВП), главным образом, гумусовым веществам (Вирченко Е.П., Агапкина Г.И., 1993). Органическое вещество почвы оказывает различное влияние на доступность ^{137}Cs растениям. В одних случаях отмечается незначительная роль органического вещества в процессе фиксации этого радионуклида, в других подчеркивается, что органические соединения увеличивают подвижность радионуклидов цезия. Отмечено, что в дерново-подзолистой

почве с низким содержанием гумуса (Сорг – 0,9 %) радионуклиды сорбируются преимущественно минеральной частью, а в более гумусированной (Сорг – 4,6 %) дерновой почве – органическим веществом (Бондарь Ю.И. и др., 2000).

По данным исследований, проведенных Институтом почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, с повышением содержания гумуса в почвах от 1 до 3,5 % накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческой продукции снижается в 1,5–3,5 раза (Богдевич И.М. и др., 2004). Органическое вещество способно адсорбировать катионы в несколько раз выше минеральных коллоидов, однако не вносит непосредственного вклада в необратимую сорбцию цезия. Сорбированные им катионы, в том числе $^{137}\text{Cs}^+$, удерживаются слабо из-за малых по сравнению с минеральной пленкой электростатических связей (Цыбулько Н.Н. и др., 2011), что приводит к удерживанию значительных количеств веществ в формах, доступных растениям. Поэтому из органогенных почв ^{137}Cs поступает в растения интенсивнее и легче экстрагируется при анализе почвы.

Специфика влияния ОВП на поведение радионуклидов во многом определяется содержанием и соотношением в нем высокомолекулярных гумусовых соединений (гуминовых и фульвокислот), способных образовывать с радионуклидами металлоорганические комплексы, доступность из которых ^{137}Cs растениям ниже, чем из ионных соединений радионуклида, причем переход ^{137}Cs в почвенный раствор из гуматов в 1,3–1,5 раза ниже, чем из фульватов (Соколик Г.А. и др., 2004; Wang, X.K., 2003). Есть мнение, что данная особенность фульвокислот является основной причиной высокого перехода ^{137}Cs в растения из органогенных почв (Богдевич И.М. и др., 2004).

Содержание подвижного калия и величина обменной кислотности, как наиболее значимые агрохимические показатели, используются для прогноза содержания соответственно ^{137}Cs и ^{90}Sr в сельскохозяйственных культурах.

Значительная роль в снижении перехода радионуклидов из почвы в растения принадлежит агрохимическим приемам возделывания сельскохозяйственных культур, прежде всего внесению минеральных удобрений и известкованию кислых почв (Моисеев И.Т. и др., 1988).

Эффективность агрохимических мер в снижении накопления радионуклидов в растениях обуславливается усилением антагонизма ионов радионуклидов и ионов элементов питания, изменением биологической доступности радионуклидов, а также биологическим разбавлением радионуклидов при повышении урожайности. Несколько ограниченным должно быть применение на загрязненных радионуклидами землях азотных удобрений. Литературные данные свидетельствуют о повышении поступления ^{137}Cs в растения при внесении азотных удобрений в 1,2–4,0 раза (Тулин С.А., Тулина А.С., 1994). Принято считать, что увеличение биологической доступности ^{137}Cs при внесении аммонийной формы азота вызвано влиянием гидратированных ионов аммония, способных вытеснять ^{137}Cs из мест сорбции в почвенный раствор. Существует мнение, что ион аммония может вступать

в конкурентные отношения не только с цезием, но и с калием, усиливая поступление ^{137}Cs в растения (Пироговская Г.В., 2000).

Накопление радионуклидов в растениях зависит от степени окультуренности почв. С повышением степени окультуренности переход радионуклидов в растения снижается. Определена зависимость накопления радионуклидов от совокупности агрохимических показателей, которая количественно может быть представлена в виде индекса окультуренности – интегрального показателя отношения рН, содержания гумуса, подвижных форм фосфора и калия к их оптимальным параметрам. Так, минимальное накопление радионуклидов в травяных кормах, достигается при их возделывании на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава с индексом окультуренности 0,81–1,0 (Богдевич И.М. и др., 2004).

Помимо почвенных свойств, определяющих характер поведения радионуклидов, биологическая доступность радиоактивных элементов для разных сельскохозяйственных культур не одинакова. Разные виды, сорта и гибриды различаются по продолжительности вегетационного периода, минеральному питанию, характеру распределения корневых систем в почве и ряду других биологических показателей. Установлено, что при одинаковых агрохимических показателях почв и плотности радиоактивного загрязнения видовые различия между культурами в накоплении ^{137}Cs могут достигать несколько десятков раз, сортовые – до 7 раз (Богдевич И.М. и др., 2004).

Максимальным накоплением ^{137}Cs характеризуются зернобобовые и бобовые кормовые культуры, минимальным – зерновые. В связи с этим, подбор различных видов и сортов сельскохозяйственных культур с минимальной аккумуляцией радионуклидов считается эффективным способом, снижения накопления радионуклидов в продукции растениеводства.

Таким образом, многообразие свойств почв и их многокомпонентность в первую очередь определяют значительную вариабельность в содержании доступных растениям форм радионуклидов. Существенный вклад в доступность сельскохозяйственным культурам ^{137}Cs и ^{90}Sr вносит время нахождения их в почве, естественные биогеохимические процессы, защитные мероприятия (контрмеры) и радиоактивный распад. Немаловажную роль в доступности радионуклидов играют биологические особенности самих растений. Для правильной оценки поведения радионуклидов в последующие годы и накопления их сельскохозяйственными культурами необходим учет всего комплекса факторов.

3.6. Параметры перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в растения на почвах разного генезиса

Каждая почва обладает присущим только ей определенным комплексом свойств, определяющими величину поступления радионуклидов в сельскохозяйственные культуры. В зависимости от сочетания факторов коэффициенты накопления радионуклидов могут изменяться в широких

пределах. Установлено, что одной и той же сельскохозяйственной культуры коэффициенты накопления радионуклидов в зависимости от типа почв с учетом разных почвенно-климатических зон могут различаться до 15 раз. Поэтому сравнение перехода радионуклидов в растения по типам почв и группам гранулометрического состава считается достаточно условным (Богдевич И.М., Щербаков В.А., 1997).

В научной литературе приводится ранжирование почв по степени снижения перехода радионуклидов в растения. Так, Юдинцева Е. В. с соавторами (1981) указывают следующий ряд почв по уменьшению накопления ^{137}Cs в растениях: дерново-подзолистая супесчаная > дерново-подзолистая среднесуглинистая > серая лесная > чернозем выщелоченный > луговая > серозем типичный > чернозем обыкновенный > каштановая. Схожие результаты получены и в работах Богдевича И.М. и Щербакова В.А. (1997): дерново-подзолистые > красноземы > лугово-карбонатные > черноземы, сероземы; дерново-подзолистая песчаная > дерново-подзолистая супесчаная > дерново-подзолистая суглинистая > чернозем деградированный > чернозем обыкновенный > темно-серая > чернозем южный > светло-серая > лугово-черноземная > чернозем типичный.

Убывающий ряд почв по накоплению ^{90}Sr растениями овса представлен в работе Макаревича И.К. (1973): дерново-подзолистая супесчаная > дерново-подзолистая среднесуглинистая > темно-каштановая > чернозем обыкновенный > лугово-каштановая > серая лесная > луговая > чернозем выщелоченный > каштановая > чернозем карбонатный > чернозем южный > чернозем солонцеватый.

В исследованиях, проведенных на загрязненных радионуклидами территориях Беларуси и Украины выделены следующие ряды почв по степени уменьшения подвижности радионуклидов: для ^{90}Sr – дерново-подзолистая песчаная > дерново-подзолистая супесчаная > торфяно-болотная; для ^{137}Cs – торфяно-болотная > дерново-подзолистая песчаная > дерново-подзолистая супесчаная > чернозем деградированный суглинистый > дерново-подзолистая суглинистая (Агеев В.Ю., 2001; Иванов Ю.А., Кашпаров В.А., 1996). Данные свидетельствуют, что ^{90}Sr наиболее подвижен, а, следовательно, и доступен растениям на дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава. ^{137}Cs обладает наибольшей подвижностью в торфяно-болотных почвах.

Различия в свойствах одного типа почв вносит свой вклад в величину поступления радионуклидов в растения. Так, для дерново-подзолистых почв различного типа и разновидностей варьирование накопления составляет 5 раз, серых лесных – 2 раза, каштановых и черноземов – 3 раза. Та же тенденция характерна и для различных регионов республики – при совершенно однотипных почвах величина накопления может отличаться в 1,5–4 раза (Переволоцкий А.Н., Гаврилов А.В., Булавик И.М., 2001).

Высокая вариабельность данных определила необходимость группировки почв для оценки поведения и поступления радионуклидов в растения. Так, в проекте МАГАТЭ "Environmental Modelling for Radiation

Safety" (KMRAS, 2010) по пересмотру параметров миграции радионуклидов в агроэкосистемах для систематизации данных почвы были объединены в четыре группы. Минеральные почвы разделены на три группы по гранулометрическому составу, в первую очередь по содержанию илистой фракции, определяющей сорбционную способность – песчаные, суглинистые и глинистые. Органические почвы, как характеризующиеся специфическими свойствами, определяющими повышенную подвижность в них радионуклидов (кислотность почвенного раствора, содержание и состав органического вещества), выделены в отдельную группу.

Подобный подход для прогноза поступления ^{90}Sr и ^{137}Cs в растения применяется в Беларуси. Рассчитаны коэффициенты перехода данных радионуклидов в товарную часть сельскохозяйственных культур из преобладающих на территории страны дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава (песчаные, супесчаные и суглинистые). Отдельно выделены торфяные почвы. Коэффициент перехода служит радиоэкологическим критерием интенсивности поступления радионуклидов из почвы в пищевые цепи и оценки эффективности защитных мероприятий.

За прошедший послеаварийный период научно-исследовательскими организациями накоплен значительный объем информации о параметрах перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в сельскохозяйственные культуры из разных почв Беларуси. Данные свидетельствуют, что поступление радионуклидов в растения из дерново-подзолистых почв ниже, чем из пойменных. Возрастание КП ^{137}Cs и ^{90}Sr наблюдается в ряду суглинистые > супесчаные > песчаные почвы. Для ^{137}Cs увеличение поступления в зеленую массу из песчаных дерново-подзолистых и пойменных почв по сравнению с их суглинистыми аналогами составляет более чем 2 раза, для ^{90}Sr – более 1,5 раз. Наибольший переход ^{137}Cs в многолетние злаковые травы наблюдается на осушенных и переувлажненных торфяных почвах, где увеличение перехода по сравнению с дерново-подзолистыми суглинистыми почвами достигает 10,4 и 38 раз соответственно. Несколько иная ситуация на торфяных почвах с КП ^{90}Sr . Они выше, чем на дерново-подзолистых, но ниже, чем на пойменных (песчаные и супесчаные разновидности) почвах.

Таким образом, среди преобладающих в Беларуси дерново-подзолистых почв наибольший переход радионуклидов в растения отмечается на их песчаных разновидностях, наименьший – на суглинистых. Среднее положение занимают супесчаные почвы. Эти данные согласуются с обобщением многочисленных экспериментов, проведенных в различных странах (Ng Y.C., Colsher C.S., Tompson S.E., 1982), где сообщалось, что накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr в зерне злаковых культур на песчаных почвах выше в 1,5 раза, чем на суглинистых почвах. В Беларуси данный факт отмечался как в первые годы после аварии, так и в отдаленные. Существенному изменению подвергалась лишь величина перехода радионуклида в растения (Цыбулько Н.Н., 2013). Снижение коэффициентов перехода ^{137}Cs в продукцию сельскохозяйственных культур можно объяснить физико-химической трансформацией ^{137}Cs в почве (в основном необменной фиксацией) и уменьшением доли водорастворимых и

обменных форм, доступных растениям. Следует отметить, что по прошествии 15 лет после аварии произошла стабилизация величин поступления радиоцезия в растения.

Иная ситуация складывается на торфяно-болотных почвах. В сравнении с дерново-подзолистыми биологическая доступность ^{137}Cs за послеаварийный период на торфяно-болотных почвах снизилась не так значительно. Как показывают данные даже спустя 25 лет после аварийных выпадений переход ^{137}Cs в растения на торфяно-болотных почвах в более чем в 3 раза был выше, чем на дерново-подзолистых супесчаных почвах. Наибольший переход ^{90}Sr в растения также, как и ^{137}Cs , наблюдался в первые годы после аварии на ЧАЭС. В последующие годы произошло снижение, а затем и некоторая стабилизация коэффициентов перехода.

В настоящее время величина коэффициентов перехода ^{90}Sr в зерновые культуры из дерново-подзолистых почв находятся на уровне 0,81–1,30 Бк/кг:кБк/м² на суглинистых почвах и 1,10–1,80 Бк/кг:кБк/м² – на песчаных почвах. Однако, они более чем на 2,5 порядка выше, чем коэффициенты перехода ^{137}Cs в аналогичные культуры. Следует отметить, что доступность радиостронция растениям в ряде случаев имеет тенденцию к повышению.

Снижение накопления ^{90}Sr в растениях с течением времени происходило и на торфяно-болотных почвах. Так, за прошедший послеаварийный период коэффициенты перехода радионуклида в зеленую массу многолетних злаковых трав уменьшились в среднем в 7,5 раза. По сравнению с дерново-подзолистыми супесчаными почвами как в первые годы после аварийных выпадений, так и по прошествии 15 лет коэффициенты перехода ^{90}Sr в зеленую массу трав на торфяных почвах были в 1,3–1,6 раза выше. Однако в настоящее время, несмотря на общее снижение коэффициентов перехода радиостронция в многолетние злаковые травы, на торфяных почвах накопление ^{90}Sr ниже, чем из дерново-подзолистых. Данный факт можно объяснить процессами трансформации радионуклида в почве, вызванными природными факторами и применением конгрмер (Кашпаров В.О. 1998; Подоляк А.Г., 2007; Цыбулько Н.Н., 2013).

Учитывая влияние множества факторов на снижение поступления радионуклидов в растения со временем выявлен вклад различных процессов в снижение накопления ^{137}Cs в сельскохозяйственной продукции в разные поставарийные периоды. Причем этот вклад зависел от степени применения защитных мероприятий. Установлено, что на начальном этапе в 1987–1991 гг. без применения защитных мероприятий до 95 % в снижение накопления ^{137}Cs растениями вносили природные биогеохимические процессы (фиксация почвой), а вклад радиоактивного распада не превышал 5 %. В отдаленный период (1998–2006 гг.) снижение накопления ^{137}Cs растениями определялось, в основном, распадом этого радионуклида с его вкладом около 75 % (Кузнецов В.К. и др., 2000). Следовательно, если на поступление ^{137}Cs в растения в первое десятилетие после радиоактивных выпадений оказывали природные биохимические процессы, то естественно, что они сохраняют своё влияние и в отдаленный после аварии период.

Значительный вклад в уменьшение миграции вносят и защитные мероприятия, но течением времени их роль в снижении поступления радионуклида тоже снижается. Для всех случаев, рассматриваемых в отдаленный период после аварии на ЧАЭС, вклад распада в снижение накопления радионуклидов растениями становится доминирующим, в то же время, с увеличением интенсивности применения концентратов этот вклад снижается (Muzalevskaya A.V., Panov A.V., 2011).

Среди сельскохозяйственных культур зерновой группы, возделываемых в республике, наиболее высокими коэффициентами перехода ^{137}Cs в зерно характеризуется овес. Накопление радионуклида в зерне овса по сравнению с другими возделываемыми культурами больше в 1,1–3,0 раз на дерново-подзолистых почвах и в 1,2–6,0 раз на торфяно-болотных. Для озимых культур характерны меньшие коэффициенты перехода, чем для яровых. В целом параметры перехода радиоцезия в зерно рассматриваемых культур на торфяно-болотных почвах значительно выше, чем на дерново-подзолистых. Различия составляют от 5 раз для озимой ржи, до 17 раз – для озимого тритикале. Высокий переход ^{137}Cs из дерново-подзолистых почв в зерно у бобовых культур. Для люпина КП имеет значение 0,44, для гороха – 0,39 (Подольяк А.Г., 2007).

Лидером по накоплению ^{90}Sr в зерне, среди основных возделываемых в Беларуси зерновых культур на дерново-подзолистых почвах, является ячмень – коэффициент перехода в среднем по разновидностям типа почвы достигает значения 1,47. Меньшими значениями перехода отмечаются овес и яровая пшеница. Минимальные значения перехода ^{90}Sr в зерно характерны, как и в случае с цезием, для озимых культур – ржи и тритикале – 0,88 и 0,95 соответственно. Наименьшие коэффициенты перехода радионуклида на дерново-подзолистых почвах в зерно у таких злаковых культур как кукуруза (0,3) и просо (0,5) соответственно. Как и в случае с радиоцезием, наблюдаются высокие коэффициенты перехода ^{90}Sr в бобовые культуры: горох – 1,9, люпин – 3,6 (Подольяк А.Г. и др., 2017; Седукова Г.В. и др., 2010).

3.7. Временная динамика биологической доступности ^{137}Cs и ^{90}Sr в агроэкосистемах

Закономерности, определяющие динамику изменения подвижности и биологической доступности ^{137}Cs и ^{90}Sr в агроэкосистемах на разных типах почв с течением времени, изучались многими исследователями. Подавляющее большинство этих работ характеризует временную динамику биологической доступности этих радионуклидов за ограниченные промежутки времени. Наиболее представительными работами, как по объему

использованных данных, так и по масштабам аналитической проработки материала, степени гидроморфности почвы (от автоморфных к гидроморфным), являются работы Подоляка А.Г. (2002, 2014, 2017) и Цыбулько Н.Н. с соавторами (2009, 2010, 2013), в основу которых положены материалы исследований распределения радионуклидов в системе «почва – растение» в агроценозах, функционирующих на загрязненных чернобыльским радиоактивным выбросом землях Беларуси.

На дерново-подзолистых супесчаных автоморфной и глееватой почвах содержание доступного растениям ^{137}Cs (водорастворимая, обменная, подвижная) составляет в среднем 9–11 %, недоступных форм (необменная, фиксированная) – 89–91 %. Между автоморфной и полугидроморфной почвами установлены достоверные различия в содержании водорастворимой и подвижной форм ^{137}Cs . Автоморфная почва характеризовалась более высоким содержанием водорастворимой формы и меньшим – подвижной формы.

Отличительная особенность поведения ^{137}Cs в почве, оказывающая значимое влияние на его доступность растениям, состоит в том, что он активно фиксируется почвой, особенно в первый период после выпадения. В результате физико-химических реакций происходит не только ионообменное связывание ^{137}Cs , но и необменная сорбция его твердой фазой почвы. Удельный вес прочно фиксированного ^{137}Cs в почвах колеблется от 75 до 95 %.

В первые годы после аварии (1987–1990 гг.) на пахотных землях КП ^{137}Cs в зерновые культуры (озимую пшеницу, озимую рожь, ячмень, овес) на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава величина колебалась от 0,05–0,15 на суглинистых почвах до 0,2–0,4 на песчаных и супесчаных почвах. Переход ^{137}Cs в клубни картофеля в этот период изменялся от 0,15 на суглинистых почвах до 0,3 на легких песчаных и супесчаных почвах. С течением времени по мере физико-химической трансформации ^{137}Cs в почве (в первую очередь необменной фиксации) и уменьшения доли водорастворимых и обменных форм, доступных для растений, произошло существенное снижение коэффициентов перехода в продукцию сельскохозяйственных культур. Уже через 10 лет после выпадений параметры поступления ^{137}Cs в зерновые культуры снизились в 2–3 раза на песчаных и супесчаных почвах и в 1,2–1,3 раза – на суглинистых почвах. Переход радионуклида в клубни картофеля уменьшился в 3,7–6 раз (Подоляк А.Г. и др., 2006, 2017; Цыбулько Н.Н. и др., 2012).

Показательно, что на торфяных почвах в сравнении с дерново-подзолистыми почвами биологическая доступность ^{137}Cs за длительный послеварийный период практически не снизилась, и коэффициенты

перехода этого радионуклида в зеленую массу многолетних злаковых трав на торфяных почвах значительно выше, чем на дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах. И даже спустя 25–32 года после аварийных выпадений переход ^{137}Cs в растения на торфяно-болотных почвах в 2,7 раза выше, чем на дерново-подзолистых супесчаных почвах (Подоляк А.Г. и др., 2017).

Главным механизмом поглощения ^{90}Sr твердой фазой почвы является ионный обмен. В настоящее время содержание доступных форм (преимущественно обменной) ^{90}Sr в дерново-подзолистых почвах достигает 70 %, в торфяных почвах 50 %. В связи с высокой подвижностью в почве параметры поступления ^{90}Sr в растения на порядок выше по сравнению с ^{137}Cs .

В первый 3–5-летний период после аварии Кп ^{90}Sr в зерновые культуры из дерново-подзолистых почв колебались в зависимости от их гранулометрического состава в среднем от 1,7 до 3,2 Бк/кг: кБк/м². В последующий период наблюдалось их снижение в среднем в 2,5–2,7 раза на песчаных и супесчаных почвах и в 1,7 раза на суглинистых почвах. В настоящее время Кп ^{90}Sr в зерновые культуры из дерново-подзолистых почв колеблются от 0,8–1,4 на суглинистых почвах до 1,1–1,8 – на песчаных почвах, что на 2,5 порядка выше, чем Кп ^{137}Cs . Параметры поступления ^{90}Sr в зеленую массу многолетних злаковых трав за послеаварийный период уменьшились на дерново-подзолистых супесчаных почвах в среднем в 2,9 раза, на торфяных почвах – в 9 раз. Как в первые годы после аварийных выпадений, так и в последующем, коэффициенты перехода ^{90}Sr в зеленую массу трав на торфяных почвах были в 1,3–1,6 раза выше, чем на дерново-подзолистых супесчаных почвах. В настоящее время в связи с процессами трансформации радионуклида в почве переход его в травы на торфяных почвах ниже, чем на дерново-подзолистых почвах (Подоляк А. Г. и др., 2012, 2014, 2017).

Данные исследований Подоляка А.Г. (2001–2017), направленные на выяснение зависимости параметров биологической доступности ^{137}Cs и ^{90}Sr от различных естественных и антропогенных факторов, показывают, что минимальные значения накопления этих радионуклидов в травостоях низинных, суходольных и пойменных лугов Белорусского Полесья наблюдаются при достижении оптимальных значений основных агрохимических свойств почв за счет применения научно обоснованных защитных мероприятий (контрмер). Эти данные соответствуют положениям обоснованной Путьяным Ю.В. (2008) концепции «агрохимического оптимума», согласно которой наиболее рациональным способом ведения сельскохозяйственного производства на загрязненных радионуклидами земля, позволяющим обеспечить максимально возможное при допустимых

экономических затратах снижение поступления радионуклидов растениеводческую продукцию, является обеспечение агрокультур оптимальными для каждой из них дозами компонентов питания.

По данным Цыбулько Н.Н. с соавторами (2011), в последние годы не отмечается значимых различий в перераспределении радионуклидов в почвах по формам, что указывает на установление динамического равновесия между ними. Это дает основание полагать, что влияние естественных процессов, способствующих снижению биологической доступности радионуклидов, в отдаленный период после чернобыльской радиационной аварии играет незначительную роль.

Анализ современных проблем почвенно-химических исследований позволяет заключить, что исследователи почв достаточно хорошо осознают все полезные качества современных методов агрохимического анализа, направленных на определение биологической доступности почвенного вещества, и все обширное «поле неопределенностей», возникающих при их использовании для решения повседневных задач сельскохозяйственной практики и радиологических задач.

Проблема снижения уровней накопления радионуклидов агрокультурными растениями при сельскохозяйственном производстве на загрязненных радионуклидами землях Беларуси, и оценка возможностей ее преодоления при решении задач сельскохозяйственной радиологии, в том числе и при обосновании решений о возвращении земель в сельскохозяйственный оборот, продолжает оставаться значимой и актуальной и сегодня, в отдаленный период после чернобыльского 1986 года. Эта проблема может успешно и с наименьшими затратами решаться лишь на основе систематизации огромного объема накапливаемых научных данных.

ГЛАВА 4. ВЕДЕНИЕ РАСТЕНИЕВОДСТВА НА ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ, ПОДВЕРЖЕННЫХ РАДИАЦИОННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

4.1. Миграция радионуклидов в звене торфяно-болотные почвы-растения в отдаленный период после аварии на ЧАЭС

4.1.1. Накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr растениями на торфяных почвах

В составе сельскохозяйственных земель республики торфяно-болотные почвы занимают 11,3 %. Самыми распространенными являются торфяно-болотные почвы низинного типа, которые составляют более 80 % всех торфяных почв сельскохозяйственных земель и более 90 % торфяников пашни. Основная часть низинных торфяников сосредоточена в пределах Полесской низменности, где на них приходится 85 % площади болотных массивов в виде неглубоких водоемов или озеровидных понижений, заполненных торфом. Например, в 2008 году в Гомельской области около 173 тыс. га сельскохозяйственных земель располагалось на осушенных торфяниках, из которых 76 тыс. га (44 %) находились под луговыми угодьями, 59 тыс. га (34 %) занято многолетними травами, 3014 га (1,7 %) использовалось под кукурузу и 461 га под пропашные культуры (картофель, сахарная свекла, кормовые корнеплоды). Зерновыми с подсевом и без подсева трав было занято соответственно 6 % и 8 % площадей торфяников.

На значительной части торфяно-болотных почв выпали радионуклиды. Было показано, что накопление радионуклидов растениями на торфяно-болотных почвах варьирует в достаточно широком диапазоне, при этом максимальные значения коэффициентов перехода (КП, Бк/кг:кБк/м²) значительно выше, чем на дерново-подзолистых почвах. Основная доля растениеводческой продукции, не отвечающей требованиям допустимых уровней, производилась на почвах данного типа. Поэтому проблема получения растениеводческой продукции, соответствующей допустимым уровням содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr , на торфяно-болотных почвах остается актуальной. Влияние основных агрохимических свойств, условий влагообеспеченности торфяно-болотных почв на степень накопления радионуклидов сельскохозяйственными культурами в послеаварийный период на момент проведения данных исследований оставалось недостаточно изученным, что затрудняло планирование и проведение защитных мероприятий. До некоторых пор в опубликованной литературе не было данных о параметрах перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr из торфяно-болотных почв в пропашные культуры, что делало невозможным обоснование целесообразности их выращивания на загрязненных торфяниках. К этому следует добавить, что существует постоянная необходимость уточнения и внесения корректив в существующие значения КП для торфяно-болотных почв, имеющих в «Рекомендациях по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики

Беларусь», по мере увеличения времени после выпадения радионуклидов чернобыльского происхождения.

В данном разделе рассматриваются показатели значений коэффициентов миграции радионуклидов из торфяно-болотной почвы в сравнительно отдаленный период исследований. Цель исследований заключалась в получении и уточнении количественных характеристик перехода радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr из торфяно-болотных почвах в сельскохозяйственные культуры (многолетние травы, зерновые, картофель, кукуруза, свекла).

Известно, что почвы различных типов характеризуются сложившимися сочетаниями основных свойств. Все болотные почвы развиваются в условиях постоянного избыточного увлажнения под влиянием процессов торфообразования и оглеения. Основную часть торфа составляет органическое вещество в различной степени разложения, во многом определяющее химический состав и физические свойства болотных почв. Для низинных торфяных почв характерна степень разложения 25–60 %, зольность 7–25 %, плотность 0,11–0,23 г/см³, рН водной вытяжки 5,5–6,2, высокая степень насыщенности основаниями (до 100 %), бедность калием, повышенное содержание кальция. Они отличаются высоким (до 42 %) содержанием гумусовых веществ, среди которых преобладают гуминовые кислоты. Торфяные почвы бедны медью, кобальтом, бором, молибденом. Оптимальные параметры агрохимических свойств торфяно-болотных почв Беларуси: рН_{KCl} 5,0–5,3; содержание подвижного фосфора 600–1000 мг/кг; калия 600–800 мг/кг почвы (Кулаковская Т.Н. и др., 1974; Вильдфлуш И.Р. и др., 1995).

В типе низинных болотных почв выделяются подтипы болотных торфяно-глеевых и болотных торфяных почв, осушенных торфяно-глеевых и осушенных торфяных почв. На виды низинные торфяно-болотные почвы делятся по мощности торфяного слоя: торфянисто- (20–30 см) и торфяно-глеевые (30–50 см), торфяные на маломощных (50–100 см), среднемощных (100–200 см) и мощных (более 200 см) торфах. Из 878 тыс. га торфяно-болотных почв, используемых в сельскохозяйственном производстве, более 65 % приходится на мелкозалежные (мощность торфа до 1 м), из которых около половины составляют торфянисто- и торфяно-глеевые почвы. По степени разложения органического вещества торфа различают торфяные, торфяно-перегнойные и перегнойные почвы с содержанием органического вещества до 25 %, от 25 до 45 % и более 45 % соответственно (Кулаковская Т.Н. и др., 1974).

Торфяно-болотные почвы в природном состоянии из-за характерного для них избыточного увлажнения лишь частично используются как малопродуктивные сенокосы, дающие 5–10 ц/га сена. Более 90 % всех торфяно-болотных почв сельскохозяйственных земель осушено (Смеян Н.И. и др., 2005; Шкель М.П. и др., 1989). Осушение резко усиливает разложение органического вещества, имеет место накопление питательных веществ, в

том числе минерального азота, и развитие денитрификации, приводящее к истощению азотного фонда торфяника. При осушении изменяется водный режим, он становится зависимым от атмосферных осадков и верховодки. Максимальная зольность неосушенных низинных торфов не превышает 50 %, однако на мелиорированных торфяниках образуются новые типы почв, в которых этот показатель значительно отличается от классических значений (Смеян Н.И. и др., 2005). В ходе сельскохозяйственного использования пахотный слой торфяных почв обогащается перегнойными частицами и степень разложения органического вещества достигает 70 % и более. Это приводит к формированию нового типа почв, характерным морфологическим признаком которых является наличие в профиле четко обособленного агрогенно-преобразованного «оземленного» или «перегнойного» горизонта с хорошо выраженной структурой. Увеличение минеральной массы повышает плотность, снижает влагоемкость почв, в них возрастает количество SiO_2 . Остатки торфообразующей растительности в нем визуальным образом не наблюдаются. Только за счет процессов усадки и минерализации органического вещества ежегодное уменьшение глубины торфяного слоя составляет 1–2 см. Вследствие деградации торфяно-болотных почв формируются мозаичные комплексы с частичным выходом на поверхность подстилающих песков. Таким образом, плодородие осушенных торфяно-болотных почв зависит от гранулометрического состава подстилающих их пород, количества вносимых удобрений, регулирования водного режима и других видов воздействия человека.

Считается, что накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr многолетними травами на торфяно-болотных почвах в наибольшей степени зависит именно от их генетических особенностей, к которым относятся ботанический состав и мощность торфяного слоя, степень увлажнения, состав минеральной массы и результаты хозяйственной деятельности, приводящие к усилению минерализации торфяника и повышению зольности (Агеец В.Ю., Шмигельская И.Д., 1997). Отмечаются следующие основные особенности торфяно-болотных почв, определяющие загрязнение растительности: агрохимические и агрофизические свойства почвы, содержание элементов минерального питания (в особенности элементов-аналогов загрязнителей), распределение радионуклидов по почвенному профилю и водный режим почвы, причем важнейшая роль отведена именно влажности корнеобитаемого слоя почвы.

Большинство исследований, направленных на изучение миграции ^{137}Cs и ^{90}Sr в звене «почва-растение» в зависимости от различных факторов, проводилось на минеральных почвах (Агеец В.Ю., Шмигельская И.Д., 1997; Путятин Ю.В. и др., 2001). Параметры накопления радионуклидов растениями на торфяно-болотных почвах варьируют в достаточно широком диапазоне, при этом максимальные их значения значительно выше, чем КП для почв других типов (Пристер Б.С. и др., 1992; Шмигельская И.Д., Путятин Н.Н., 1998). Так, приведенные в рекомендациях по ведению

агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2003–2005 гг. (Богдевич И.М. и др., 2003) значения КП ^{137}Cs для сена из трав естественных сенокосов на дерново-подзолистых песчаных почвах (2,60–3,96) значительно ниже значений КП ^{137}Cs на торфяно-болотных почвах (10,6–27,76) с различным содержанием подвижного калия; для многолетних злаковых трав эти показатели составляют 0,84–3,04 и 3,37–7,99 соответственно, для минеральных супесчаных и суглинистых почв эти различия еще больше. Причем, по мере повышения обеспеченности торфяно-болотных почв подвижным калием накопление ^{137}Cs в травостое естественных лугов снижается в 2,4–2,6 раза, в то время как на песчаных и супесчаных почвах – в 1,5 раза.

Имеются немногочисленные данные о том, что переход ^{90}Sr в растительность из торфяно-болотных почв также выше, чем из почв других типов. В то же время отмечается, что значения КП ^{90}Sr для сена из трав естественных сенокосов на дерново-подзолистых песчаных почвах (17,72–24,62) несколько выше значений КП ^{90}Sr на торфяно-болотных почвах разной кислотности (14,4–20,0), для многолетних злаковых трав эти показатели составляют 8,91–20,51 и 11,0–16,35 (Богдевич И.М. и др., 2003). Для супесчаных почв значения КП ^{90}Sr близки со значениями для торфяно-болотных почв, например для многолетних трав КП варьируют в диапазоне 6,38–15,28, а для торфяников – 11,0–16,35. Путем повышения плодородия торфяно-болотных почв, улучшения кормовых угодий, можно снизить накопление ^{90}Sr в травах в 1,5–2,0 раза, однако, отмечается, что защитные мероприятия по уменьшению накопления ^{90}Sr более эффективны на минеральных почвах.

В первые послеаварийные годы большинство данных о коэффициентах перехода радионуклидов на торфяно-болотных почв получены в экспериментах, сравнивающих их с почвами других типов (Подоляк А.Г. и др., 2001, 2004; Котова А.Ю., Санжарова Н.И., 2002), без учета сильной вариабельности свойств самих торфяных почв и, как следствие, значений коэффициентов миграции. Коэффициенты перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr на торфяно-болотных почвах варьируют в очень широком диапазоне, причем данных о КП ^{90}Sr получено значительно меньше. На маломощных торфяно-болотных почвах с различными агрохимическими свойствами и условиями влагообеспеченности значения КП ^{137}Cs в естественные травы различались до 40 раз, с 1,4 до 58,2 при среднем значении 14,3. У злаковых трав наблюдаемые различия находились еще выше, от минимального значения 0,21 до максимального 19,38 при среднем значении 4,3 (Котик В.А., 1996; Подоляк А.Г. и др., 2004; Подворко Г.А., 2004).

Данные о поведении ^{137}Cs в торфяно-болотных почвах в отдаленный после чернобыльской катастрофы период не находили однозначной интерпретации, что выражалось в существенном различии представлений о причинах повышенной биологической доступности этого радионуклида (Пристер Б.С., 2003; Котова А.Ю., Санжарова Н.И., 2002). Также не было

достоверных сведений о рассматриваемых закономерностях на торфяно-болотных почвах для ^{90}Sr . Имелись противоречивые данные о значениях КП ^{90}Sr для естественных трав различного ботанического состава, например, от 1,28 до 5,65 для торфяников различной мощности, или в диапазоне от 14,4 до 20,0 (Агеец В.Ю., Шмигельская И.Д., 1997; Касьянчик С.А. и др., 2004).

Одной из причин значительного накопления радионуклидов растениями на данных почвах является высокое содержание органического вещества. Куликов Н.В. и Молчанова И.В. (1975) в доаварийных исследованиях отмечали, что присутствие органического вещества в почвенном растворе, как правило, способствует увеличению подвижности химических элементов в почвах. Соколик Г.А. (1999) было показано, что при отсутствии или очень низком содержании в торфяно-болотных почвах Полесья слоистых алюмосиликатов, ^{137}Cs сорбируется органическим веществом. Высокая емкость ионного обмена позволяет удерживать в сорбированном состоянии значительное количество ^{137}Cs , однако он остается доступным растениям и представляет потенциальную угрозу на многие годы. Следовательно, поглощение ^{137}Cs и ^{90}Sr растениями в значительной степени зависит от степени минерализации торфа. По некоторым данным, при высокой минерализации торфяника (зольность более 70 %) уровень накопления ^{137}Cs в 10 раз ниже по сравнению с целинными и слабокультурными торфами. На торфяных почвах с более мощным торфяным слоем доступность ^{137}Cs растениям выше: для травостоя на торфяной маломощной почве ($T=60$ см) средние КП ^{137}Cs составляют 1,0–5,7; на торфянисто-глеевой ($T=30$ см) – 0,2–1,4 (Шмигельская И.Д., Пуятин Н.Н., 1998; Агеец В.Ю., 2001).

Водный режим корнеобитаемого слоя почвы является одним из факторов, который недостаточно учтен в системе мероприятий по снижению загрязненности радионуклидами растениеводческой продукции. Вместе с тем, на переувлажненных песчаных и торфяных почвах высокая степень загрязнения травяных кормов наблюдается даже при относительно низких плотностях загрязнения почв ^{137}Cs . Еще до аварии на ЧАЭС исследователями было показано, что за счет изменения влажности по глубине почвы можно изменять интенсивность поглощения растениями как несорбируемых, так и мощно сорбируемых почвой химических элементов в несколько раз. При этом было установлено, что максимум поглощения радионуклидов по вертикальному профилю корнями совпадает с максимумом поглощения ими почвенной влаги. Величина же поглощения корневой системой из различных горизонтов почвы влаги, при определенных условиях, в большей степени определяется влажностью почвы, чем массой корней, расположенных в этих горизонтах. В более поздних исследованиях показано, что если за счет внесения повышенных доз калийных удобрений на торфяно-болотных почвах содержание ^{137}Cs в травах естественных сенокосов можно снизить в 2,5 раза, то за счет гидромелиорации переувлажненных земель и создания на них культурных лугов эффект снижения достигает 10 раз (Афанасик Г.И.

и др., 1997). По мнению ряда исследователей, вынос радионуклидов сельскохозяйственными культурами наименьший при выходе водного режима из оптимального диапазона в сторону иссушения почвы. Например, при уровне грунтовых вод 10–20 см КП ^{137}Cs для трав составляет 9,8; 90 см – 6,5; при оптимальном уровне 60–80 см – 4,8. В этой связи во многих работах предлагается оптимизировать водный режим путем поддержания уровня грунтовых вод на определенном уровне (Моисеев И.Т. и др., 1974; Афанасик Г.И. и др., 1997).

Известно, что величина радиоактивного загрязнения травостоев в значительной степени зависит от метеорологических условий, сложившихся в период вегетации. В ряду основных агрометеорологических факторов, влияющих на поступление ^{137}Cs в луговые растения, наиболее существенную роль играют температура воздуха и количество осадков за вегетационный период. По данным Брестского филиала РНИУП «Институт радиологии» (2003), повышение обводненности корнеобитаемого слоя почвы в период интенсивного отрастания зеленой массы приводит к значительному накоплению радионуклидов травостоями в фазе пастбищной зрелости первого укоса. По мере подсыхания верхнего 10-сантиметрового слоя почвы с расположенной в нем основной массой всасывающих корней многолетних трав, в связи с интенсивным нарастанием зеленой массы и старением травостоя, содержание радионуклидов в сене многолетних трав значительно снижается.

По мнению Моисеева И.Т. с соавторами (1994) и Рериха Л.А. с соавторами (1989), на поступление ^{137}Cs из почвы в растения существенно влияет температура воздуха, особенно в июне и июле. Как установлено, степень накопления ^{137}Cs растениями на дерново-подзолистых автоморфных почвах находится в обратной зависимости от количества осадков за вегетационный период и от запасов влаги в метровом слое почвы. Основным метеорологическим фактором, повышающим содержание ^{137}Cs в фитомассе растений по данным Елиашевич Н.В. (2000) являются осадки в виде дождя или росы. Наблюдениями отмечен пороговый эффект приращения содержания ^{137}Cs в растениях при высоких суммах осадков, установлено существование температурно обусловленного пика накопления ^{137}Cs в диапазоне температур 10–15°C. Наиболее распространенные группы луговых растений, естественных биоценозов Беларуси за послеаварийный период наблюдений также показали достаточно высокую положительную корреляцию аккумуляции ^{137}Cs с суммой выпавших за вегетацию осадков (Парфенов В.И., Якушев Б.И., 1995). Анализ статистических зависимостей, связывающих переход ^{137}Cs в растительность с содержанием его в обменной и подвижной форме, проведен Фесенко С.В. с соавторами (1995). Ими было установлено, что поступление радионуклида в растения на автоморфных почвах, в основном, коррелирует с содержанием этого радионуклида в обменной форме, тогда как для гидроморфных почв существенный вклад вносит и подвижная форма этого радионуклида. Напротив, Петряев Е.П. с

соавторами (1993) отмечает, что подвижность форм ^{137}Cs и их доступность растениям связаны преимущественно с содержанием и структурой глинистых минералов, так как в минеральных почвах наблюдались слабые изменения доступных форм ^{137}Cs при увеличении или снижении количества осадков за вегетацию. Влияние климатических факторов на дерново-подзолистых почвах в 30-км зоне загрязнения, по данным Рудой С.М. и Чистика О.В. (2001), больше всего сказывалось на верхнем горизонте почвы. Более засушливое лето приводило к уменьшению в почвах подвижной формы, сорбированной на гидроокисях железа и алюминия, карбонатах и фульватном комплексе органического вещества. Очевидно, что для достоверного прогноза загрязнения продукции, выращиваемой на торфяно-болотных почвах, необходимо постоянное наблюдение за поведением радионуклидов.

Пристером Б.С. с соавторами (2003) показано, что тесная функциональная зависимость КП ^{137}Cs от различных свойств почвы – реакции почвенного раствора, емкости поглощения катионов или содержания органического вещества, обменного калия и кальция – соблюдается только в узком диапазоне показателя, используемого в качестве аргумента, причем для разных показателей эти диапазоны варьируют.

Из вышеизложенного следует, что для достоверного прогноза загрязнения продукции, выращиваемой на торфяно-болотных почвах, необходимо детальное и длительное изучение механизмов поведения радионуклидов в данном типе почв и их поступления в растения.

4.1.2. Показатели миграции радионуклидов в травы

Объектами изучения являлись низинные торфяно-болотные почвы различного хозяйственного использования – естественные и улучшенные сенокосы и пастбища, пашня, расположенные на территории Гомельской области, загрязненной радиоактивными выпадениями чернобыльского происхождения, и произрастающие на них растения – многолетние травы, зерновые культуры, картофель, сахарная свекла, кукуруза.

На миграцию радионуклидов во многом оказывают влияние погодные условия. Поэтому во время проведения данного направления работы было уделено внимание изучению погодных особенностей региона. Показано, что по среднегодовому количеству осадков Гомельская область относится к зоне неустойчивого увлажнения. За теплый период года с температурой выше 0°C выпадает 350–400 мм осадков, за период вегетации менее 300 мм. Сухие периоды, характерные для апреля – мая, неблагоприятно сказываются на развитии сельскохозяйственных растений, особенно на легких минеральных и осушенных торфяно-болотных почвах. Превышение годовой суммы осадков над количеством испарившейся с поверхности влаги создает промывной тип водного режима почв (Смеян Н.И. и др., 2005).

Среднегодовая температура воздуха в юго-восточной части Белорусского Полесья составляет + 7,0–7,5°C. Сумма активных положительных температур (выше 10°C) в южных районах области, где проводились исследования, составляет 2350–2650°. Vegetационный период на территории области длится 150–155 дней, что позволяет получать урожай основных и промежуточных культур. Начало вегетации приходится на 10–12 апреля. В июле, самом теплом месяце года, среднесуточная температура воздуха составляет 18–19°C. Погодные условия оценивались по средним месячным температурам и количеству осадков за вегетационный период. За годы наблюдений температура воздуха и количество осадков варьировали следующим образом (рисунки 8 и 9).

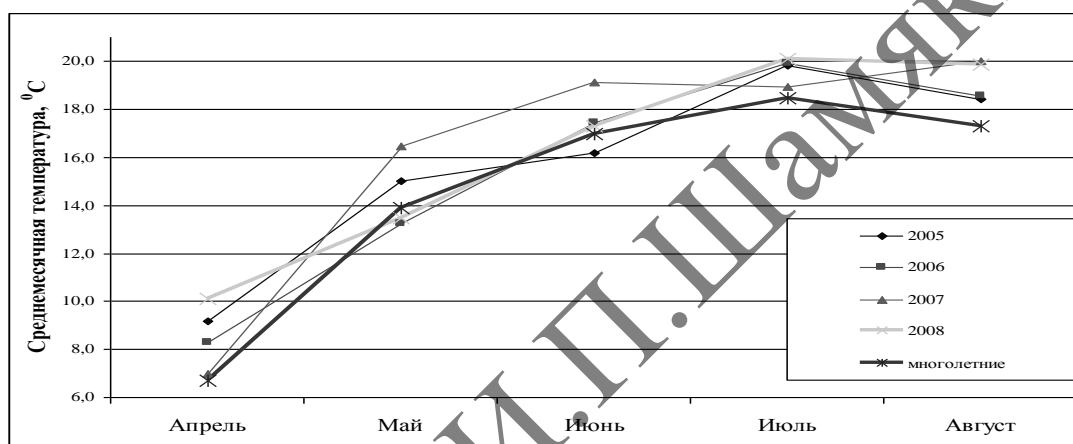


Рисунок 8. – Среднемесячная температура воздуха (вегетационные периоды 2005–2008 гг.)

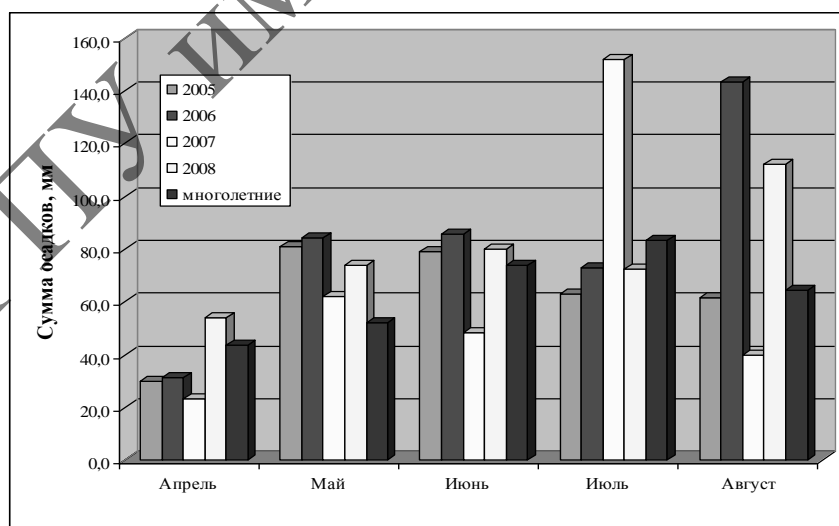


Рисунок 9. – Сумма осадков (вегетационные периоды 2005–2008 гг.)

По данным метеостанций области в 2005–2007 годах среднемесячные температуры были несколько выше данных многолетних наблюдений,

например, в мае-июне 2007 года эти значения составили 16,5–19,1°C, а в 2008 году – 13,5–17,3°C при многолетних данных 13,7–16,9°C. Самое большое количество осадков за годы исследований выпало в августе 2006 года (143 мм), июле 2007 года (152 мм), августе 2008 года (112 мм), мало осадков наблюдалось в августе 2007 года (40 мм). По данным многолетних наблюдений количество осадков в июле – 83,5 мм, в августе – 64,5 мм.

В сложном комплексе агрометеорологических условий, определяющих урожайность сельскохозяйственных культур, одно из ведущих мест принадлежит влагообеспеченности.

Этот показатель зависит от многих природных факторов и может изменяться в очень широком диапазоне. Влагообеспеченность почв как степень удовлетворения потребности растений в воде оценивалась по величине условного показателя увлажнения – гидротермического коэффициента по Селянинову Г.Т.:

$$ГТК = \frac{\sum P}{\sum t \cdot 0,1} \quad (1),$$

где $\sum P$ – сумма осадков за вегетационный период,

$\sum t$ – сумма температур выше 10°C за вегетационный период.

При $ГТК \geq 1,7$ увлажнение считается избыточным, 1,1–1,6 – хорошим, 0,5–1,0 – недостаточным, $\leq 0,5$ – низким. На территории Гомельской области значения ГТК в апреле-сентябре колеблются от 1,0 до 1,5, только в отдельные годы, снижаясь ниже 1,0 и увеличиваясь более 1,7 (таблица 4.1.1).

Таблица 4.1.1. – Характеристика вегетационных периодов 2005–2008 годов (для первого укоса многолетних трав, апрель – май)

Год	ГТК
2005	1,7
2006	1,8
2007	1,0
2008	1,1
Средние многолетние данные	1,3

Значения ГТК свидетельствовали об относительно низком увлажнении почв за счет атмосферных осадков и температуры воздуха в апреле-мае 2007–2008 годов, и несколько избыточной – 2005–2006 годов.

Во время проведения данных исследований работы проводились на торфяниках Брагинского, Ветковского, Добрушского, Лоевского, Калинковичского, Речицкого, Хойникского, Ельского, Лельчицкого районов,

где отбирались сопряженные пробы почвы и растений. С каждой пробной площадки (1 или 2 м² в зависимости от урожайности культуры) отбиралась растительная проба и смешанная проба верхнего (0–20 см) горизонта почвы пробоотборником диаметром 35 мм.

Торфяно-болотные почвы были классифицированы по методике Смеяна Н.И. с соавт. (2005) (таблица 4.1.2). Они были отнесены к типу агроторфяных низинных, подтипу минерально-торфяных. Особенностью этих почв является высокая зольность (до 95 %). В основном это деградированные, высокоминерализованные слабокислые или даже нейтральные торфяники.

Многолетние травы отбирались в первом и втором укосах. Ботанический состав растительных проб естественных и культурных травостоев существенно различался. На окультуренных и естественных сенокосах растительность состояла, в основном, из смеси различных злаковых трав. На естественных сенокосах и пастбищах значительный объем в травосмесях занимало разнотравье (лапчатка гусиная, крапива, лютик и др.) или осоки. Одновременно с работой на торфяниках отбирались сопряженные пробы и в личных подсобных хозяйствах.

Таблица 4.1.2. – Количество отобранных сопряженных проб по годам, видам почв и растений

Вид растительности	Вид почвы, мощность торфяного горизонта, м										Всего за три года
	Торфянисто-глеевые < 0,3		Торфяно-глеевые 0,3–0,5		Торфяные на маломощных торфах 0,5–1,0		Торфяные на среднемощных торфах 1,0–2,0		Торфяные на мощных торфах > 2,0		
	2006–2007	2008	2006–2007	2008	2006–2007	2008	2006–2007	2008	2006–2007	2008	
Сеяные многолетние злаковые травы	2	1	9	5	6	17	24	12	1	–	77
Травы естественных сенокосов и пастбищ	7	1	13	5	46	11	32	13	3	5	136
Пшеница	–	5	4	–	13	1	4	–	2	–	29
Ячмень	–	12	4	5	3	4	2	–	6	–	36
Овес	11	6	4	–	12	4	4	4	3	3	51
Озимая рожь	–	4	4	3	–	10	7	9	–	–	37
Озимое тритикале	–	13	4	1	9	5	–	–	–	–	32

Продолжение таблицы 4.1.2

Картофель	–	2	1	5	18	9	8	–	4	–	47
Свекла	–	–	–	–	8	9	–	–	–	–	17
Кукуруза	–	3	3	7	16	9	13	3	–	–	54
ВСЕГО	20	47	46	31	131	79	94	41	19	8	516

Для установления зависимости накопления радионуклидов травами от условий влагообеспеченности торфяно-болотных почв на 10 постоянных площадках производственных посевов проводился отбор сопряженных почвенных и растительных проб (таблица 4.1.3).

Таблица 4.1.3. – Перечень постоянных площадок наблюдений на торфяно-болотных почвах

Код	Наименование района населенного пункта	Вид угодья	Вид торфяно-болотной почвы, мощность
1 мм	Добрушский район, Дубовый Лог	Культурное пастбище	Торфяная на маломощных торфах, 0,6 м
2 мм	Добрушский район, Корма	Улучшенный сенокос	Торфяная на маломощных торфах, 0,7 м
3 мм	Ветковский район, Нинель	Естественный сенокос	Торфяная на маломощных торфах, 0,8 м
1 с	Ветковский район, Купреевка	Естественный сенокос	Торфяная на среднемощных торфах, 1,1 м
2 с	Добрушский район, Иговка	Естественный сенокос	Торфяная на среднемощных торфах, 1,2 м
3 с	Хойникский район, Слобожанка	Естественный сенокос	Торфяная на среднемощных торфах, 1,3 м
4 с	Ветковский район, Чистые Луки	Улучшенный сенокос	Торфяная на среднемощных торфах, 1,4 м
5 с	Ветковский район, Коновалово	Улучшенный сенокос	Торфяная на среднемощных торфах, 1,5 м
6 с	Хойникский район, Загальская Слобода	Естественный сенокос	Торфяная на среднемощных торфах, 1,6 м
1 м	Брагинский район, Дублин	Пастбище	Торфяная на мощных торфах, > 2 м

Одновременно с этим, в 2007 году лабораторией радиоэкологии торфяных почв РНИУП «Институт радиологии» был заложен полевой эксперимент с многолетними злаковыми травами на низинной маломощной торфяно-болотной почве в СПК «Оборона» Добрушского района Гомельской области. Схемой эксперимента предусматривалось изучение в 20 вариантах (в 4-х повторностях) влияния минимальных, оптимальных и повышенных доз азотных, фосфорных и калийных удобрений в различных соотношениях без известкования и с оптимальной дозой доломитовой муки и внекорневой подкормки медью на накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr травостоем.

Общая площадь делянок составляла 18 м^2 , учетных – 10 м^2 . Предшественником трав являлась редька масличная. На опытном участке было проведено весеннее залужение с предварительной механизированной обработкой почвы в виде дискования, вспашки и культивации в два следа. Норма высева семян трав складывалась из овсяницы луговой в количестве 6 кг/га , костреца безостого – 14 кг/га , тимофеевки луговой – 6 кг/га . Сразу после посева трав проводилось боронование и прикатывание почвы.

Во время весеннего залужения почва участков было известкована доломитовой мукой из расчёта 3 т/га . Минеральные удобрения в виде сульфата аммония, суперфосфата аммонизированного и калия хлористого вносились в период закладки опыта в полной дозе в соответствии со схемой опыта. Во второй год пользования калийные и фосфорные удобрения вносились в полной дозе под первый укос, а азотные удобрения – 75% под первый укос и 25% под второй укос. В качестве медного удобрения использовалась сернокислая медь в дозе 200 г/га меди в качестве внекорневой подкормки в фазе стеблевания. Во время вегетации борьба с двудольными сорняками (горец вьюнковый, марь белая, осот полевой) проводилась подкашиванием травостоя и обработкой посевов дезармоном (группа 2,4-Д) с нормой расхода $0,6 \text{ л/га}$ (600 г/л) в фазу кущения культуры. Сопряженные пробы почвы и растений отбирались в июне и августе с каждой делянки на площади 1 м^2 .

Как показали результаты исследований, плотность загрязнения торфяно-болотных почв ^{137}Cs на сельскохозяйственных угодьях в местах отбора сопряженных проб колебалась от 7 кБк/м^2 ($0,2 \text{ Ки/км}^2$) до 899 кБк/м^2 (24 Ки/км^2 – КСУП «Дубовый Лог», Добрушский р-он); ^{90}Sr – от 1 до 124 кБк/м^2 ($0,03$ – $3,35 \text{ Ки/км}^2$). Обменная кислотность почв $\text{pH}_{\text{КСИ}}$ варьировала от сильнокислой до слабощелочной, содержание подвижного фосфора 25 – 2710 мг/кг , калия 66 – 1097 мг/кг , обменного кальция и магния соответственно 2640 – 17583 и 157 – 2652 мг/кг . При этом содержание калия примерно в 50% почв было ниже его оптимальных значений (600 – 800 мг/кг почвы). Показатели $\text{pH}_{\text{КСИ}}$, наоборот, в большинстве (70%) случаев превышали оптимальные и укладывались в параметры $5,0$ – $5,3$. Мощность торфяного слоя варьировала от $0,3$ до 2 и более метров; зольность торфяной массы обследованных торфяников находилась в диапазоне 15 – 91% .

В зависимости от типа угодья урожайность многолетних трав на разных участках варьировала от 15 до 60 ц/га сена. Улучшенные сенокосы имели высокую урожайность травостоя, а естественные луга – низкую.

Радиометрические измерения свидетельствовали, что удельная активность ^{137}Cs в пробах многолетних злаковых трав колебалась от 23 до 11577 Бк/кг и зависела от плотности загрязнения, свойств низинных торфяно-болотных почв и ботанического состава травостоя. Коэффициенты перехода в звене почва- злаковых трав ^{137}Cs варьировали в очень широком диапазоне, от минимального значения $0,09$ до максимального $128,3$. Вместе в тем, 90% их показателей находились в интервале от $0,09$ до 20 , и только несколько

отдельных торфяных массивов (пробных площадок) имели очень высокие значения КП. Эти отдельные торфяники характеризовались высокой мощностью торфяного слоя (от 1 до 2 и более метров), невысокой зольностью (15–25 %) и низкой обеспеченностью элементами минерального питания – невысокое содержание подвижного калия (от 117 до 257 мг/кг почвы), фосфора (от 25 до 340 мг/кг почвы). Самые высокие коэффициенты пропорциональности (от 66,9 до 128,3) были получены на торфяном массиве близ н. п. Дублин Брагинского района.

Удельная активность ^{90}Sr многолетних злаковых трав на разных торфяниках находилась в диапазоне от 6 до 196 Бк/кг. КП ^{90}Sr варьировали в пределах от 0,8 до 8,2, но около 90 % полученных значений находились в диапазоне 0,8-4,0. При этом самые высокие КП ^{90}Sr были получены на тех же торфяниках, где и КП ^{137}Cs .

После анализа показателей КП как ^{137}Cs , так и ^{90}Sr , агрохимических и других свойств торфяно-болотных почв были получены корреляционные зависимости, взаимосвязи отдельных свойств почв с накоплением радионуклидов в травостое (таблица 4.1.4).

Таблица 4.1.4. – Коэффициенты корреляции КП ^{137}Cs и ^{90}Sr и свойств торфяно-болотных почв

	рНКСI	Саобм.	Мгобм	Кподв	Рподв	S	Мощность торфяного слоя	Зольность
КП ^{137}Cs	0,03	0,21	-0,35*	-0,40*	-0,25	0,10	0,00	-0,13
КП ^{90}Sr	-0,39*	-0,25	-0,20	-0,24	0,24	-0,35*	0,15	0,19

* достоверно при $p < 0,05$, $N = 37$

Из табличных данных следует, что величина КП ^{137}Cs в наибольшей степени обратно зависит от обеспеченности почв подвижным калием ($r = -0,40$) и от содержания обменного магния ($r = -0,35$). КП ^{90}Sr достоверно обратно коррелирует с показателем обменной кислотности почвы ($r = -0,39$) и с суммой обменных оснований ($r = -0,35$).

Зависимость КП ^{137}Cs для многолетних злаковых трав окультуренных сенокосов и пастбищ от содержания в почве подвижного калия представлена на рисунке 10.

На низкообеспеченных калием торфяниках отмечаются самые высокие КП ^{137}Cs . Одновременно на них наблюдается самая высокая вариабельность значений КП из-за влияния других почвенных характеристик, что затрудняет прогнозирование загрязнения кормов с таких почв.

В этой связи для решения вопросов более точного прогнозирования и с практической целью значения параметров перехода ^{137}Cs стали дифференцировать по содержанию подвижного калия в почве.

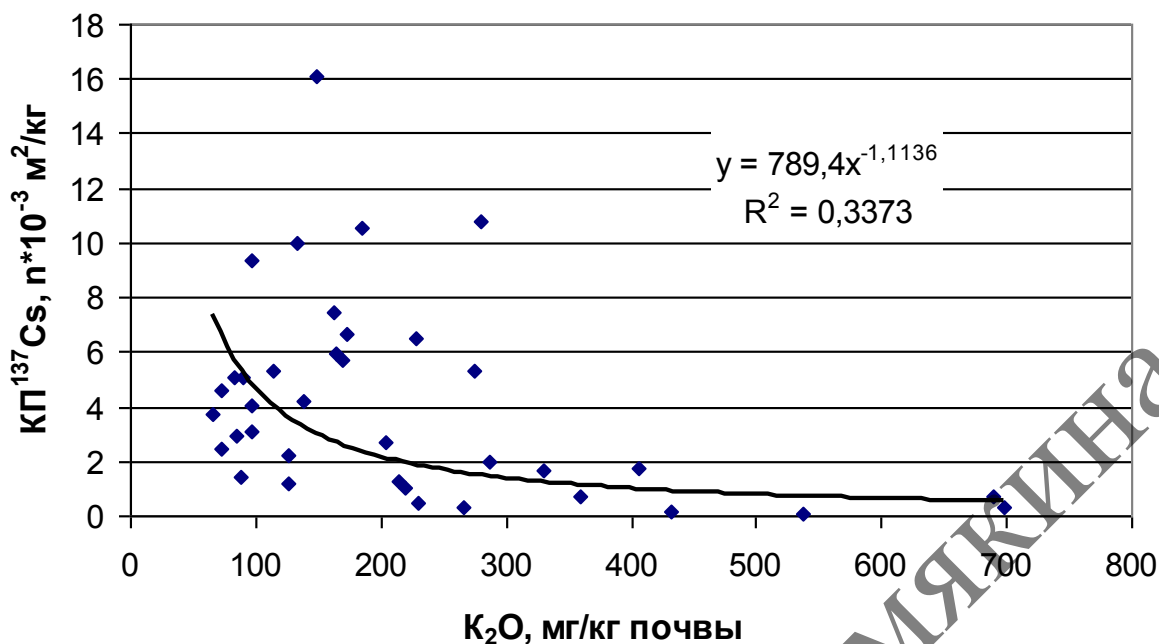


Рисунок 10. – Зависимость КП¹³⁷Cs для злаковых травостоев от содержания в торфяной почве подвижного калия (по данным 2008 года)

Так, в «Рекомендациях по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь» (2003) торфяно-болотные почвы с учетом содержания калия разбиты на три группы, и где максимальное значение КП¹³⁷Cs, 27,26 отмечено на торфяниках с содержанием калия менее 250 мг/кг, а минимальное 3,37 – на торфяниках с содержанием калия более 500 мг/кг почвы.

Значения КП¹³⁷Cs для злаковых травостоев, установленные данными исследованиями, представлены в таблице 4.1.5. Они оказались несколько ниже, чем изложенные в «Рекомендациях...» (2003), но более высокие, чем на минеральных почвах. Так, если наибольшее значение КП¹³⁷Cs для многолетних злаковых трав на минеральных почвах установлено на дерново-подзолистой песчаной почве и составляло 3,04, а минимальное на дерново-подзолистой суглинистой почве – 0,35, то на торфяно-болотной почве соответственно 4,69 и 0,45.

Средневзвешенные значения КП¹³⁷Cs за ряд лет существенно не отличались друг от друга. Однако среди полученных за один год отмечалась сильная вариабельность КП¹³⁷Cs даже в пределах небольшого диапазона свойств почв (рисунок 11).

Однофакторный дисперсионный анализ средних за три года показателей показал, что различие КП¹³⁷Cs для почв с низким (менее 250 мг/кг) и средним (250–500 мг/кг) содержанием калия достоверно ($F = 10,73$, $p = 0,1\%$), но влияние содержания калия в почве на уровень накопления травостоями в данном случае составляет только 8,5%, остальные 91,5% – влияние других факторов. Различия значений КП¹³⁷Cs между средним (250–500 мг/кг) и высоким (более 500 мг/кг) содержанием калия также достоверны, хотя и статистически менее значимы ($F = 4,75$, $p = 3,4\%$) (таблица 4.1.5).

Таблица 4.1.5. – Коэффициенты перехода ^{137}Cs в звене почва-сено многолетних злаковых трав (влажность 16 %) естественных и окультуренных сенокосов и пастбищ на торфяно-болотных почвах с различным содержанием калия

Количество проб	Содержание подвижного калия, мг/кг почвы		
	Менее 250	251–500	Более 500
33	2006 год		
	4,37 ± 1,99	1,92 ± 1,89	1,10 ± 0,50
57	2007 год		
	4,58 ± 1,26	1,78 ± 1,18	0,45 ± 0,36
90	2006–2007 годы		
	4,69 ± 1,08	1,88 ± 1,04	1,03 ± 0,42
47	2008 год		
	4,42 ± 1,17	2,61 ± 2,24	0,64 ± 0,53
137	2006–2008 годы		
	4,65 ± 0,77	2,12 ± 1,00	0,90 ± 0,35

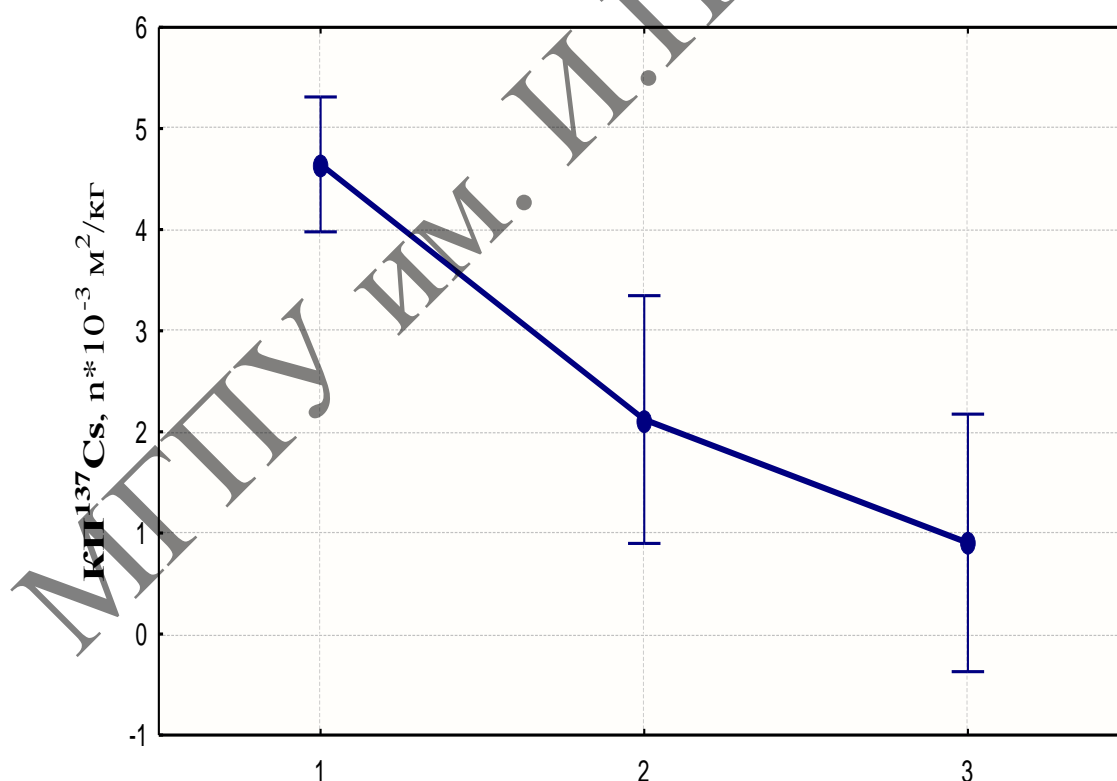


Рисунок 11. – Дисперсии средних значений КП ^{137}Cs при низких (1), средних (2) и высоких (3) значениях содержания калия в торфяной почве ($F = 16,355$, $p = 4,14e^{-7}$)

Как было сказано выше, переход ^{90}Sr в травяную растительность возрастает с увеличением обменной кислотности торфяно-болотной почвы, что подтверждается значением коэффициента корреляции ($r = -0,39$). Искомая зависимость КП ^{90}Sr для многолетних злаковых трав от кислотности почвы (pH_{KCl}) графически представлена на рисунке 12.

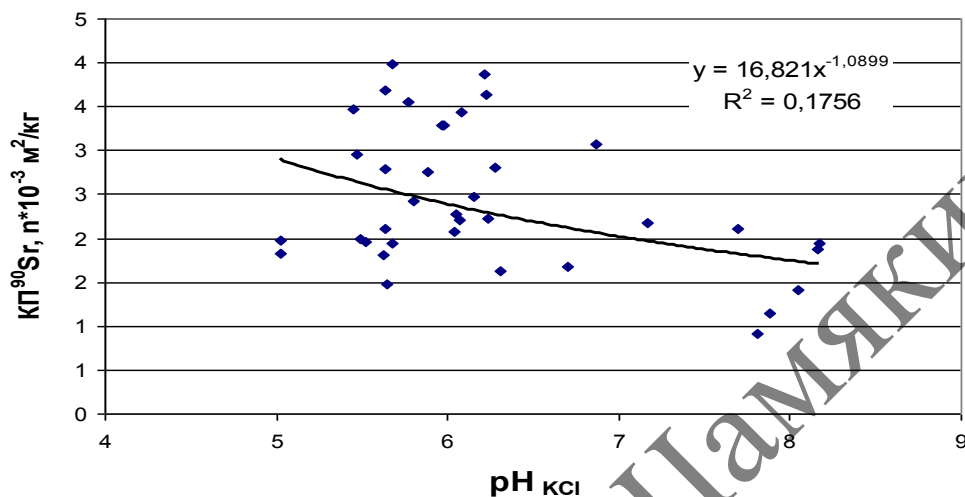


Рисунок 12. – Зависимость КП ^{90}Sr от обменной кислотности торфяной почвы для злаковых травостоев (по данным 2008 года)

Установленные значения КП ^{90}Sr были дифференцированы по степени кислотности почвы (таблица 4.1.6). Они оказались значительно ниже, чем представленные в «Рекомендациях...» (2003).

Таблица 4.1.6. – КП ^{90}Sr для сена многолетних злаковых трав (влажность 16 %) на торфяно-болотных почвах с различной кислотностью ($\text{n} \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$)

Количество проб	pH_{KCl}	
	4,5–5,0	Более 5,0
57	<i>2007 год</i>	
	4,17 ± 1,48 (11 проб)	1,82 ± 0,34 (46 проб)
90	<i>2006–2007 годы</i>	
	4,02 ± 1,08 (16 проб)	2,42 ± 0,38 (74 пробы)
47	<i>2008 год</i>	
	–	2,61 ± 0,27 (47 проб)
137	<i>2006–2008 годы</i>	
	4,02 ± 1,08 (16 проб)	2,41 ± 0,25 (121 проба)

Результаты проведенных исследований подтверждали, что из рассматриваемых свойств торфяно-болотных почв наибольшее влияние на переход ^{137}Cs оказывает содержание подвижного калия ($r = -0,38$). Переход ^{90}Sr в травяную растительность в наибольшей степени зависит от кислотности почвы ($r = 0,32$). Но вариабельность значений КП может быть очень большой. Поэтому для уверенного прогнозирования загрязнения сельскохозяйственной продукции следует учитывать влияние и других факторов. Небольшое, но достоверное влияние оказывают такие факторы, как мощность торфяного слоя, сумма поглощенных оснований, зольность и др. Необходимо учитывать все показатели в комплексе. Также сделан вывод о том, что на мощных низкозольных торфяниках с несбалансированным агрохимическим статусом (низкое содержание калия либо фосфора и т. п.) возможен переход радионуклидов на порядок более высокий, чем на среднестатистических торфяниках. При этом значения КП ^{137}Cs могут достигать значений 80 и выше. Так, в 2007 году была отмечена достоверная положительная корреляция КП ^{137}Cs с мощностью торфяного слоя и отрицательная – с зольностью торфяной массы. Средние значения КП ^{137}Cs для злаковых трав в зависимости от названных характеристик почв представлены в таблице 4.1.7.

Таблица 4.1.7. – Средние значения КП ^{137}Cs для многолетних злаковых трав на торфяно-болотных почвах с разной мощностью и зольностью

Показатель	Мощность торфяного слоя, м				Зольность торфяной массы, %	
	$\leq 0,5$	0,5–1	1–1,5	$\geq 1,5$	< 30	> 30
КП ^{137}Cs , $\text{п} \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$	$1,56 \pm 1,14$ (5) *	$2,35 \pm 1,21$ (16)	$2,45 \pm 1,07$ (18)	$6,70 \pm 2,25$ (18)	$4,92 \pm 1,66$ (24)	$2,81 \pm 1,19$ (33)
Среднее содержание подвижного калия, мг/кг почвы	149 (108–182)	267 (138–534)	316 (89–1122)	195 (110–612)	303 (135– 1122)	217 (89–612)

* в скобках указано количество проб

На основании результатов этих исследований было предложено дифференцировать торфяно-болотных почвы по содержанию подвижного калия и показателю обменной кислотности КП ^{137}Cs и ^{90}Sr в трех диапазонах: ниже оптимума, оптимум и выше оптимума (таблица 4.1.8), как это выполнялось в отношении дерново-подзолистых почв. Из табличных данных видно, что на торфяно-болотных почвах с оптимальными агрохимическими характеристиками поступление ^{137}Cs и ^{90}Sr в травяную растительность в среднем в 1,5–6,0 раза ниже, чем на слабокультуренных торфяниках. Если же агрохимические показатели почв выше оптимальных, то они не играют значительной роли в снижении параметров перехода радионуклидов, а в некоторых случаях значения КП могут быть даже выше, чем при

оптимальных параметрах. В этой связи многие исследователи приходят к мнению, что для достижения приемлемых значений КП ^{137}Cs и ^{90}Sr достаточно (как с радиологической, так и с экономической точек зрения) доводить агрохимические показатели почвы до оптимальных, сбалансированных параметров, без применения дополнительных контрмер.

Агрохимические показатели торфяников, на которых проводился отбор проб, в большинстве случаев выходили за пределы оптимальных: содержание калия в большинстве почв было значительно ниже, а показатель обменной кислотности – выше. Из этого следовало, что наиболее целесообразным оставалось пользоваться прежней дифференцировкой почв по обеспеченности почв калием в диапазонах: менее 250, 251–500, более 500 и соответственно группировать показатели КП ^{37}Cs . Значения КП ^{90}Sr предпочтительнее группировать с учетом показателя pH_{KCl} в следующих градациях: менее 5,0; 5,0–5,3; более 5,3, в то время как ранее диапазон pH_{KCl} рекомендовался следующим: 3,9–4,3; 4,31–4,70; более 4,7.

Таблица 4.1.8. – Коэффициенты перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в звене миграции торфяно-болотная почва-сено из многолетних злаковых трав, дифференцированные с учетом оптимальных параметров плодородия ($n \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$)

	Содержание подвижного калия, мг/кг почвы		
	Менее 600	600–800	Более 800
По данным 2007 года			
КП ^{137}Cs	3,91	0,89	0,36
Количество проб	54	1	2
По данным 2006–2007 годов			
КП ^{137}Cs	3,93	0,66	1,21
Количество проб	70	5	15
По данным 2008 года			
КП ^{137}Cs	3,94	0,52	1,03
Количество проб	43	2	2
По данным 2006–2008 годов			
КП ^{137}Cs	4,00	0,62	1,12
Количество проб	113	7	17
	Обменная кислотность почвы pH_{KCl}		
	Менее 5,0	5,0–5,3	Более 5,3
По данным 2007 года			
КП ^{90}Sr	4,17	1,80	1,82

Продолжение таблицы 4.1.8

Количество проб	11	11	35
По данным 2006–2007 годов			
КП ^{90}Sr	4,02	2,63	2,30
Количество проб	16	22	52
По данным 2008 года			
КП ^{90}Sr	–	2,66	2,61
Количество проб	–	5	42
По данным 2006–2008 годов			
КП ^{90}Sr	4,02	2,67	2,48
Количество проб	16	27	94

В процессе работы по данной теме было установлено, что даже незначительное количество сорных трав (разнотравье, осока) в травостое могут существенно влиять на уровень удельной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в сене. Поэтому для оценки степени этого влияния определялись КП ^{137}Cs и ^{90}Sr для некоторых наиболее часто встречающихся трав, таких как лютик едкий, лапчатка гусиная, разные виды осоковых, крапива и др.

Было показано, что уровни накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr травостоями естественных лугов с преобладанием разнотравья и осоковых на торфяно-болотных почвах имеют значительные различия. Так, удельная активность ^{137}Cs в воздушно-сухих пробах разнотравной растительности естественных лугов на используемых территориях варьировала от 51 до 9710 Бк/кг, осоковой – от 85 до 44800 Бк/кг (максимальное значение – сенокос КСУП «Дубовый Лог» Добрушского района). Удельная активность ^{90}Sr в разнотравье находилась в диапазоне значений 15–702 Бк/кг и в осоках – 14–548 Бк/кг. Средние значения КП для некоторых видов трав по результатам исследований представлены в таблице 4.1.9.

Таблица 4.1.9. – Средние КП ^{137}Cs и ^{90}Sr для некоторых трав на торфяно-болотных почвах

Вид растительности	КП ^{137}Cs	КП ^{90}Sr
Бухарник шерстистый	4,70	1,16
Лисохвост	8,47	2,31
Пырей ползучий	2,27	2,39
Лапчатка гусиная	21,74	5,30
Лютик едкий	6,24	3,60
Крапива	2,26	15,56
Осоки (черная, пузырчатая, мохнатая)	23,12	3,04

Полученные показатели коэффициентов миграции радионуклидов в разнотравную растительность и осоки гораздо выше, чем аналогичные показатели у многолетних злаковых трав.

4.1.3. Параметры миграции радионуклидов в полевые культуры

Для достоверного прогнозирования загрязнения полевых сельскохозяйственных культур, возделываемых на торфяно-болотных почвах, периодически требуется уточнение и обновление коэффициентов перехода, а также дополнительное получение их значений для культур, по которым имеется недостаточно таких данных.

Первым этапом в работе по уточнению КП является определение удельной активности радионуклидов в растениях. Удельная активность ^{137}Cs в пробах зерна, отобранных в период исследований, составила от 2 до 373 Бк/кг у (максимум – вблизи н.п. Дублин). Около 83 % всех проб зерна не превышало 10 Бк/кг. Удельная активность ^{137}Cs в зеленой массе кукурузы находилась в пределах от 3 до 128 Бк/кг, картофеля – от 2 до 169 Бк/кг, сахарной свеклы – от 11 до 99 Бк/кг. Удельная активность ^{90}Sr колебалась в зерне от 2 до 18 Бк/кг, картофеле – от 0,2 до 2 Бк/кг, сахарной свекле – от 2 до 4 Бк/кг.

Показатели КП ^{137}Cs у зерновых культур варьировали в широких пределах (от 0,1 до 2,06), однако 85 % всех значений укладывались в диапазон 0,1 – 0,5 (таблица 4.1.10.). Следует отметить особенность значений КП ^{137}Cs у овса на мощном торфянике с глубиной более 2 м, где они в 3-4 раза превышали средние значения, в то время как по агрохимическим показателям и зольности этот торфяник существенно не отличался от других. Также были отдельно выделены выпадающие КП ^{137}Cs у ячменя (на 1–2 порядка превышающие средние значения) на торфянике, который также отличался сравнительно мощным торфяным слоем (0,6 м, в то время, как на других обследованных угодьях торфяной слой был меньше и варьировал от 0,30 до 0,45 м). Из этих данных следует, что при одинаковой плотности загрязнения почв ^{137}Cs на мощных торфяниках вероятность получения загрязненного зерна существенно повышается.

Таблица 4.1.10. – Коэффициенты перехода ^{137}Cs в звене миграции почва-зерно (влажность 14 %)

Культура	2006	2007	2008	Средние значения по данным 2006–2008 гг.
Овес	0,29 (0,01–0,86*)	0,22 (0,02–1,06)	0,47 (0,02–1,60)	0,38 ± 0,14
Пшеница	0,30 (0,01–1,74)	0,26 (0,02–1,17)	0,09 (0,04–0,14)	0,24 ± 0,17
Тритикале	0,18 (0,04–0,72)	0,10 (0,05–0,13)	0,08 (0,01–0,33)	0,11 ± 0,05
Ячмень	0,52 (0,22–1,00)	0,39 (0,05–0,97)	0,32 (0,01–2,06)	0,45 ± 0,23
Рожь	–	0,41 (0,02–1,37)	0,09 (0,01–0,43)	0,15 ± 0,09

* диапазон значений КП ^{137}Cs

Представленные в таблице 4.3.10 культуры по степени накопления ^{137}Cs в зерне можно расположить в следующий убывающий ряд: ячмень > овес > яровая пшеница > озимая рожь > тритикале. Сравнение КП ^{137}Cs зерновых культур, выращенных на торфяно-болотных почвах, с выращенными на дерново-подзолистых почвах свидетельствует, что на торфяных почвах они в 2–6 раз выше, кроме зерна овса. На рисунке 13 графически представлен сравнительный анализ параметров перехода ^{137}Cs из торфяных почв с максимальными из опубликованных значениями параметров перехода для этих культур на дерново-подзолистой почве.



Рисунок 13. – Параметры накопления ^{137}Cs зерном на почвах разных типов

В отношении ^{90}Sr в зерновых культурах было установлено, что значения коэффициентов перехода ^{90}Sr из торфяно-болотной почвы в зерно (таблица 4.1.11) оказались более, чем в 2 раза ниже, чем на минеральных почвах (рисунок 14).

Таблица 4.1.11. – Коэффициенты перехода ^{90}Sr в звене миграции почва-зерно (влажность 14 %)

Культура	2006	2007
Овес	0,60 (0,15–1,84)*	0,41 (0,1–1,48)
Пшеница	0,15 (0,02–0,39)	0,19 (0,06–0,36)
Тритикале	0,55 (0,04–1,18)	0,18 (0,11–0,23)
Ячмень	0,56 (0,31–1,03)	0,21 (0,04–0,31)
Рожь	–	0,23 (0,08–0,69)

* в скобках указан диапазон значений

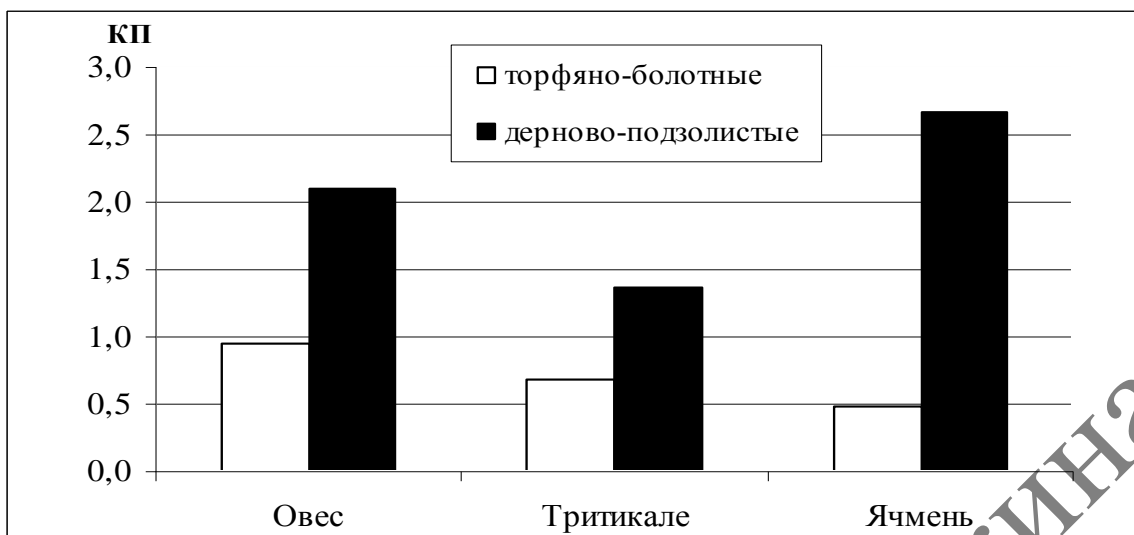


Рисунок 14. – Параметры накопления ⁹⁰Sr зерном на почвах разных типов

Также проводилось изучение миграции радионуклидов в звене торфяно-болотная почва-пропашные культуры. С этой целью отбирались пробы кукурузы, картофеля и сахарной свеклы. Удельная активность ¹³⁷Cs в зеленой массе кукурузы находилась в пределах от 1 до 55 Бк/кг, картофеля от 2 до 169 Бк/кг, свеклы от 11 до 99 Бк/кг. В период трехлетних наблюдений КП ¹³⁷Cs варьировали у зеленой массы кукурузы в пределах 0,01–0,44, клубней картофеля – 0,02–0,68, корнеплодов свеклы – 0,02–0,23 (таблица 4.1.12).

Таблица 4.1.12. – Коэффициенты перехода ¹³⁷Cs в звене миграции почва-пропашные

Культура	Годы наблюдений			Средние значения за 3 года	Количество проб
	2006	2007	2008		
Кукуруза (зеленая)	0,09 (0,01–0,19)	0,08 (0,02–0,23)	0,10 (0,01–0,44)	0,09 ± 0,02	54
Картофель (клубни)	0,19 (0,02–0,68)	0,15 (0,04–0,39)	0,16 (0,02–0,52)	0,16 ± 0,04	48
Свекла (корнеплоды)	–	0,11 (0,07–0,22)	0,10 (0,02–0,23)	0,15 ± 0,05	17

* в скобках указан диапазон данных

Средние значения КП ¹³⁷Cs у кукурузы, картофеля и свеклы, как и у зерновых культур, на торфяно-болотных почвах превышали таковые на минеральных почвах (рисунок 15).

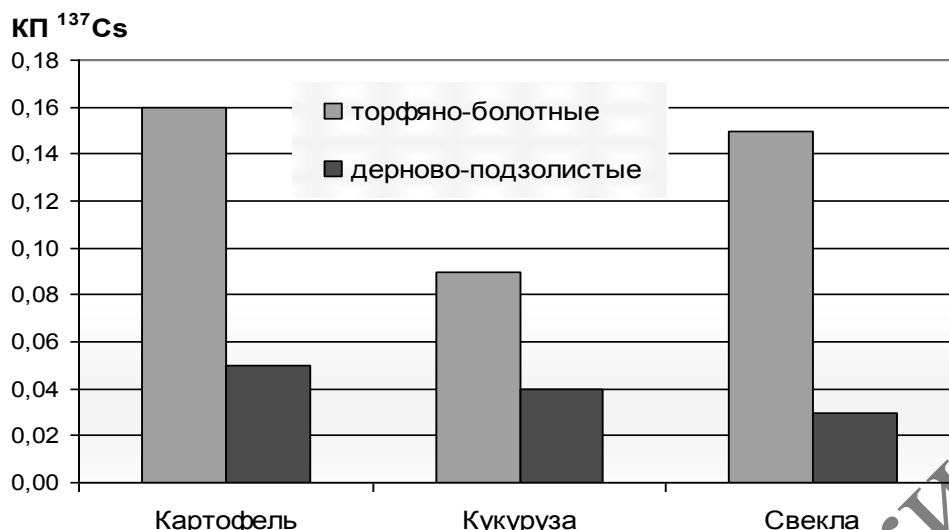


Рисунок 15. – Параметры перехода ^{137}Cs из торфяно-болотной и дерново-подзолистой почвы в зеленую массу кукурузы, клубни картофеля и свеклы

Для картофеля средний за два года КП ^{90}Sr составил 0,08, а диапазон значений: от 0,01 до 0,29. Показатели КП ^{90}Sr для картофеля на минеральных почвах, приведенные в «Рекомендациях..» (2003), были несколько выше, чем полученные нами на торфяниках. Так, КП ^{90}Sr на разных дерново-подзолистых почвах варьировали от 0,12 до 0,78. Среднее значение КП ^{90}Sr для зеленой массы кукурузы на торфяно-болотных почвах определено на уровне 0,29 с вариабельностью от 0,01 до 0,81. Для сравнения, ранее полученные значения на дерново-подзолистых почвах варьировали от 0,53 до 3,56. То есть значения показателей КП ^{90}Sr как для кукурузы, так и для картофеля, оказались значительно ниже на торфяниках, чем на минеральных почвах.

Таблица 4.1.13. – Коэффициенты перехода ^{90}Sr в звене миграции почва-пропашные

Культура	Год наблюдений			Количество проб
	2006	2007	2008	
Кукуруза (зеленая масса)	0,40 (0,08–0,81*)	0,20 (0,01–0,31)		54
Картофель (клубни)	0,12 (0,03–0,29)	0,06 (0,01–0,18)	0,09 ± 0,02	48
Свекла (корнеплоды)	–	0,13 (0,04–0,22)		17

* диапазон данных

Для оценки и наглядности результаты полученных трехлетних наблюдений наиболее целесообразным было свести в одну общую таблицу, показатели которой позволяют существенным образом расширить знания о миграции радионуклидов из торфяно-болотных почв в сельскохозяйственные культуры (таблица 4.1.14). Полученные параметры миграции можно

использовать как в прогнозных целях, так и для поиска способов регулирования поступления радионуклидов в продукцию на торфяниках.

Таблица 4.1.14. – Коэффициенты перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr из торфяно-болотной почвы в многолетние травы и сельскохозяйственные культуры

Культура	Средние значения КП (количество проб)	Содержание подвижного калия, мг/кг почвы		
		Менее 250	251–500	Более 500
^{137}Cs				
Сеяные многолетние злаковые травы (сено)	3,48 ± 0,83 (72)	4,56 ± 1,12 (47)	2,33 ± 1,75 (13)	0,49 ± 0,21 (12)
Злаковые травы естественных кормовых угодий	3,55 ± 0,78 (71)	4,73 ± 1,05 (44)	1,93 ± 1,12 (14)	1,28 ± 0,58 (13)
Пшеница	0,24 ± 0,17 (28)	0,69 ± 0,48 (8)	0,07 ± 0,03 (12)	0,05 ± 0,01 (8)
Ячмень	0,45 ± 0,23 (35)	0,72 ± 0,20 (6)	0,84 ± 0,64 (11)	0,11 ± 0,09 (18)
Овес	0,38 ± 0,08 (14)	0,34 ± 0,18 (13)	0,56 ± 0,30 (19)	0,20 ± 0,14 (16)
Рожь	0,15 ± 0,09 (32)	0,79 (2)	0,22 ± 0,14 (11)	0,04 ± 0,01 (19)
Тритикале	0,11 ± 0,05 (32)	0,30 (3)	0,14 ± 0,08 (7)	0,08 ± 0,03 (22)
Картофель (клубни)	0,16 ± 0,04 (48)	0,20 (7)	0,23 (6)	0,14 (18)
Свекла (корнеплоды)	0,15 ± 0,05 (17)	0,11 (4)	0,10 (3)	0,15 (1)
Кукуруза (зеленая масса)	0,09 ± 0,02 (54)	0,08 (8)	0,10 (8)	0,08 (16)
^{90}Sr				
Культура	Среднее значение КП (количество проб)	Обменная кислотность почвы рНКС1		
		Менее 5,0	5,0–5,5	Более 5,5
Сеяные многолетние злаковые травы (сено)	2,40 ± 0,30 (67)	3,34 ± 1,00 (9)	2,53 ± 0,74 (18)	2,13 ± 0,27 (40)
Злаковые травы естественных кормовых угодий	2,67 ± 0,38 (70)	4,02 ± 1,29 (6)	3,43 ± 0,66 (14)	2,01 ± 0,39 (40)
Пшеница	0,17 ± 0,05 (23)	0,24 (2)	0,18 (7)	0,15 (14)
Ячмень	0,32 ± 0,12 (15)	0,37 (5)	0,18 (4)	0,38 (6)
Овес	0,49 ± 0,14 (34)	0,83 (9)	0,30 (6)	0,38 (19)
Озимая рожь	0,26 ± 0,14 (7)	0,45 (2)	0,14 (1)	0,14 (3)
Озимое тритикале	0,53 ± 0,26 (13)	0,90 (6)	–	0,22 (7)
Картофель (клубни)	0,08 ± 0,02 (31)	0,12 (8)	0,05 (15)	0,08 (8)
Свекла (корнеплоды)	0,13 ± 0,04 (7)	–	0,14 (6)	0,08 (1)
Кукуруза (зеленая масса)	0,29 ± 0,06 (32)	–	0,30 (11)	0,29 (21)

Таким образом, исследования показали, что в сравнительно отдаленный период после аварии на ЧАЭС (2006–2008 годы) показатели миграция ^{137}Cs на торфяно-болотных почвах оставались более высокими (в 1,5–2 раза) по сравнению с таковыми на минеральных почвах.

4.2. Влияние различных доз и соотношений минеральных удобрений на накопление цезия-137 и стронция-90 многолетними злаковыми и бобово-злаковыми травостоями

4.2.1. Радиоэкологическая эффективность применения удобрений

Загрязненная территория Белорусского Полесья отличается тем, что она изобилует торфяно-болотными почвами. Недостаток экспериментальных научных данных относительно поведения радионуклидов в системе «торфяная почва – растение» затруднял получение качественных кормов на основе многолетних трав, соответствующих допустимым уровням содержания цезия-137 и стронция-90 в кормах. Низкое качество травяных кормов, не соответствующих требованиям, является важным сдерживающим фактором повышения продуктивности отрасли животноводства. Поэтому актуальной являлась разработка эффективных агрохимических защитных мер с учетом особенностей торфяных почв для получения нормативно чистых кормов в условиях радиоактивного загрязнения.

Высокая эффективность минеральных удобрений обеспечивается только при условии применения их в научно обоснованной системе с учетом конкретных почвенных и климатических условий, особенностей питания культур, агротехники, свойств удобрений и других факторов. Под системой удобрения в хозяйстве понимается комплекс агротехнических и организационно-экономических мероприятий по рациональному применению удобрений, а также химических мелиорантов в целях оптимизации плодородия почвы, повышения урожайности культур, улучшения качества растениеводческой продукции, а в конечном счете – повышения производительности труда в сельском хозяйстве (Минеев В.Г., 2004). Система удобрения культуры предусматривает определение потребности в удобрениях, установление сроков и способов их внесения. Количественно ее характеризует доза внесения удобрений на гектар, качественно – оплата 1 кг д.в. NPK прибавкой урожая (в кг) (Вильдфлуш И.Р., 2000).

Анализ результатов экспериментальных исследований и литературных данных свидетельствует о том, что наибольший радиоэкологический эффект от применения защитных мероприятий на торфяно-болотных почвах дает внесение повышенных доз калийных удобрений на фоне сбалансированного азотного и фосфорного питания с применением микроудобрений и известкования. В большинстве исследований радиоэкологический эффект от агрохимических мероприятий достигает 7–13 раз в снижении накопления в растениях цезия-137, до 2 раз – стронция-90.

Особенностью развития современного земледелия является то, что наращивание производства продукции растениеводства приходится осуществлять в условиях ограниченности ресурсов. Поэтому в этих условиях требуется максимально задействовать малозатратные нематериальные факторы. И, прежде всего, использовать ресурсосберегающую систему

применения минеральных удобрений. Эта система предусматривает компенсацию выноса элементов питания с урожаем и обеспечение минимального повышения запасов в почвах фосфора и калия. Для этого на почвах с низким содержанием фосфора и калия расчетные дозы фосфорных и калийных удобрений на 40–80 % должны превышать вынос указанных элементов, а на почвах с содержанием фосфора и калия более 300 мг/кг при расчете доз удобрений предусматривается только частичная (50–60 %) компенсация выноса. Азотные удобрения применяются в оптимальных дозах на получение планируемой урожайности. Реализация этой системы позволяет осуществлять выравнивание агрохимической пестроты полей и получать максимальную отдачу от минеральных удобрений.

Система применения удобрений под культуры предусматривает не только определение потребности в удобрениях, но и установление сроков и способов их внесения. В количественном отношении ее характеризует доза внесения удобрений на гектар, в качественном – оплата 1 кг д.в. NPK прибавкой урожая (в кг) (Вильдфлуш И.Р. и др., 2000).

Потребление питательных веществ из удобрений многолетними травами определяется многими факторами, в первую очередь правильно установленной дозой, соотношением между питательными веществами, плодородием почвы, составом травостоя, числом укосов, условием увлажнения (Шкель М.П. и др., 1989). Основное место в плане применения минеральных удобрений занимает расчет оптимальных доз. Дозы удобрений должны обеспечивать получение высокого урожая хорошего качества при повышении или сохранении достигнутого уровня плодородия почвы и не представлять опасности для окружающей среды (Вильдфлуш И.Р. и др., 2000).

На торфяных почвах главная роль в повышении их плодородия принадлежит фосфорно-калийным удобрениям и микроэлементам. Правильное их применение обеспечивает не только эффективность туков, но и позволяет полнее использовать растениями почвенные запасы азота, фосфора и калия. Кроме того, на торфяниках большое значение имеют условия водного режима, мощность и степень разложения органического вещества. При окультуривании торфяных почв от этих факторов зависит характер изменений содержания подвижных соединений фосфора и калия (Кулаковская Т.Н., 1978). Известно, что торфяно-болотные почвы бедны легкодоступными микроэлементами, особенно медью, бором и молибденом, поэтому внесение микроудобрений является одним из важнейших звеньев в системе их применения. Особое значение для торфяных почв имеют медные удобрения, на которые хорошо отзываются многолетние травы.

По результатам агрохимического и радиологического обследований сельскохозяйственных земель во многих хозяйствах пострадавших районов установлено снижение содержания в почвах фосфора и калия. Особенно остро стоит вопрос с сенокосами и пастбищами, где сильно снижены дозы азотных, калийных и фосфорных удобрений. Снижение содержания данных макроэлементов отрицательным образом сказывается на урожайности

растений, их кормовой ценности, как следствие, на продуктивности скота, что в конечном итоге несет угрозу повышения концентрации радионуклидов в продуктах питания.

Следовательно, для исправления ситуации необходимы агрохимические приемы, которые одновременно позволяли бы повышать плодородие используемых почв, сохраняя от разрушения природный потенциал торфяного слоя, и представляли собой эффективные защитные меры, использующие макро- и микроудобрения, известкование.

Следует отметить, что основное количество исследований о поведении радионуклидов в звене «почва – растение» проводилось на минеральных почвах, позволивших разработать систему защитных мероприятий по снижению дозовой нагрузки на население, проживающее на данной категории почв. Торфяно-болотные почвы в этом отношении были изучены значительно меньше, поэтому потребовались дополнительные исследования уже со стороны сотрудников радиоэкологии торфяных почв РНИУП «Институт радиологии».

Экономическая ситуация в сельском хозяйстве в постчернобыльские годы складывалась не совсем благоприятно. С одной стороны, в условиях рыночных отношений перманентным удорожанием энергоносителей и минеральных удобрений в экономике сельхозпроизводства с каждым годом стала возрастать роль эффективного использования торфяных почв, обладающих большими природными запасами органических веществ и азота. С другой стороны, в связи с существенным повышением продуктивности животноводства и необходимостью экономии средств в агропроизводстве потребовалось целесообразное расширение площадей с бобово-злаковыми травостоями на осушенных торфяных почвах. Ведь известно, что при 30 % бобовых в составе травостоя за счет фиксации азота атмосферы можно экономить 80–90 кг/га азота удобрений. К этому следует добавить, что травосмеси на протяжении всего срока их использования более продуктивны, чем одновидовые посевы трав, так как лучше переносят неблагоприятные условия, полнее реализуют факторы роста, а более высокая плотность травостоя обуславливает меньшую засоренность.

Анализ имеющихся в литературе немногочисленных сведений показал, что эти почвы отличаются повышенным на порядок переходом радионуклидов, особенно цезием-137, в урожай большинства сельскохозяйственных культур.

В период первого десятилетия постчернобыльских лет сравнительно хорошо были отработаны приемы получения растениеводческой продукции с содержанием радионуклидов в пределах требований РДУ-99 (Рижук С.М. и др., 2002) В большинстве случаев зерно, картофель и корнеплоды соответствуют требованиям нормативов радиационной безопасности при выращивании на пахотных почвах нормального увлажнения с плотностью загрязнения цезием-137 до 1480 кБк/м², стронцием-90 – до 111 кБк/м². Значительно труднее получить урожай многолетних трав с низким

содержанием радионуклидов, пригодный для скармливания скоту и получения качественного молока и мяса. Это обусловлено как биологическими особенностями многолетних трав, которые накапливают радионуклидов в 10–20 раз больше, чем зерновые культуры, так и частичным размещением трав на заболоченных землях, где наблюдается повышенный переход радионуклидов из почвы в растения (Афанасик В.И. и др., 1997). Многолетние травы отличаются наибольшей способностью аккумулировать цезий-137. Использование привозных кормов экономически невыгодно. Поэтому требовалось уделить внимание разработке и проведению мероприятий по снижению перехода цезия-137 и стронция-90 из почвы в многолетние травы, которые составляют основу кормового баланса скота в Беларуси.

Анализ литературных источников, содержащих данные по влиянию доз минеральных удобрений и известковых материалов на урожайность кормовых трав, и, одновременно, позволяющих снижать содержание радионуклидов в травостое на маломощных торфянисто-глеевых и торфяно-глеевых почвах, показал, что этому вопросу уделялось внимание со стороны ряда исследователей.

Так, Ильин М.И. и Перепелятников Г.П. (1993) проводили исследования по изучению влияния различных доз минеральных, органических удобрений и известки в комплексе на переход цезия-137 из почвы осушенного торфяника в кормовые культуры. Ими установлено, что наибольшее снижение перехода отмечается при внесении повышенных доз калийных удобрений в составе полного минерального удобрения и в смеси с известью и навозом.

Рижук С.М., Бистрицкий В.О., Савело В.И. (2002) изучали влияние способов обработки почв и удобрений на продуктивность пастбищных трав и накопления ими радионуклидов на торфяно-болотных почвах Полесья Украины. При систематическом внесении фосфорно-калийных удобрений в дозах $P_{60-90}K_{120-180}$ удельная активность в сухой массе многолетних трав снижалась в 1,9–4,0 раза в первом укосе и 1,7–3,2 раза во втором, что давало возможность получать на загрязненных торфяниках корма, пригодные для выращивания сельскохозяйственных животных.

Афанасик Г.И. с соавторами (1995–1997) проводил исследования на торфяно-глеевой и торфянисто-глеевой почвах. Дозы калийных удобрений увеличивали от 150 до 300 кг/га. Этот прием не дал достоверного снижения содержания цезия-137 в травяной продукции. Вместе с тем, в варианте без удобрений содержание цезия-137 в 3–5 раз превышало его содержание в вариантах с высоким уровнем внесения удобрений. Также показано, что если за счет внесения повышенных доз калийных удобрений на торфяно-болотных почвах содержание цезия-137 в травах естественных сенокосов снижалось в 2,5–2,6 раза, то за счет гидромелиорации переувлажненных земель и создания на них культурных лугов эффект снижения достигает 10–20 раз.

Подоляк А.Г. с соавторами (2002–2007) проводил исследования на торфяно-болотной глеевой низиной почве с многолетними злаковыми травами (тимофеевка луговая, овсяница луговая, кострец безостый). Был рекомендован

наиболее эффективный способ улучшения заболоченного луга, позволяющий получать высокую прибавку урожая сена, отвечающего зоотехническим требованиям и допустимым уровням содержания радионуклидов. Внесение 2 т/га доломитовой муки и повышенных доз калия в составе минерального удобрения $N_{90}P_{60}K_{250}$ (K_{120} под вспашку и K_{130} после вспашки) с последующим ежегодным внесением минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{60}K_{120}$ под два укоса, обеспечивало прибавку урожая сена на 70–75 ц/га, снижение в 5 раз содержание цезия-137 и в 2,5 раза стронция-90.

Серая Т.М. с соавторами (2004–2007) проводила исследования на территории колхоза «Пераможник» Брагинского района. Установлена наиболее оптимальная доза удобрений в количестве $N_{90}P_{90}K_{280}$. Данная доза, в сравнении с контролем, обеспечила 87 % прибавку урожая многолетних трав удовлетворительного зоотехнического качества, самый высокий чистый доход с уровнем рентабельности в 37 % и снижение удельной активности цезия-137 травяного корма на 60 %, стронция-90 – на 56 %. Применение данных агрохимических мер позволило получить корма с допустимым содержанием радионуклидов на торфяно-болотных почвах с плотностью загрязнения цезием-137 в 2,5 раза, стронция-90 – в 2,4 раза выше, чем без применения удобрений.

В опытах Сарасеко Е.Г. (2006) установлено, что внесение медьсодержащего удобрения и добавление трепела, цементной пыли, доломитовой муки, мела из расчета нейтрализации половинной гидролитической кислотности почвы с последующим внесением минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{60}K_{150}$ ограничивает поступление радионуклидов из торфянисто-глеевой почвы в сеяные злаковые травы от 2,0 до 4,0 раз.

Подворко Г.А. (2004) проводила исследования по изучению закономерностей миграции цезия-137 на болотных лугах. Изучалось влияние повышенных доз фосфорно-калийных удобрений в таких соотношениях, как $N_{80}P_{60}K_{120}$ и $N_{80}P_{90}K_{120}$, а также дозы извести в количестве 3 т/га и 4,5 т/га (1,5 Н_r). Применение известкования снизило поступление цезия-137 в травостой в 1,2–2,1 раза, а повышенные дозы калийных и фосфорно-калийных удобрений – в среднем в 2,0 раза. Применение агротехнических приемов и мелиорантов приводило к снижению содержания обменной формы цезия-137 в почве в среднем в 2–3 раза.

Рақ М.В. и Ковалевич З.С. (2005) изучали действие некорневых подкормок многолетних злаковых трав медными удобрениями на снижение поступления цезия-137 и стронция-90 в растения. Отмечена тенденция повышения урожайности трав с увеличением доз меди с 50 до 150 г/га. Внесение меди в некорневую подкормку в дозах 50, 100, 150 г/га снижало содержание цезия-137 в сене соответственно на 37, 36, 26 %. Некорневые подкормки трав сульфатом меди в тех же дозах снижали накопление стронция-90 в сене соответственно на 18,6, 21,2, 19,0 %. На низкообеспеченных медью торфяно-болотных почвах с плотностью загрязнения цезием-137 на уровне 135кБк/м², стронция-90 – 39кБк/м² при возделывании

многолетних злаковых трав рекомендовано включать некорневую подкормку растений в начале фазы выхода в трубку медью в дозе 100 г/га. Этот прием позволяет уменьшать накопление цезия-137 в растениях на 36 %, стронция-90 – на 21 % и повышать содержание меди в сене злаковых трав с 4,2 до 6,5 мг/кг сухой массы, что соответствует оптимальной концентрации этого микроэлемента в травяных кормах.

Богдевич И.М., Подоляк А.Г. и Ивашкова И.И. (2007) проводили в период 2004–2006 гг. исследования в условиях стационарного опыта на территории СПК «Пераможник» Брагинского района. Внесение оптимальных доз минеральных удобрений ($N_{90}P_{90}K_{280}$) на слабо обеспеченной фосфором и калием осушенной маломощной торфяной почве позволило удвоить продуктивность многолетних злаковых травосмесей и одновременно снизить концентрацию радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в сене соответственно в 3,2 и 2,4 раза или до безопасного уровня. Это позволило использовать корм для получения всех видов животноводческой продукции, включая и цельное молоко. Внесение доломитовой муки в дозе 5 т/га сопровождалось сравнительно небольшим снижением накопления цезия-137 (в 1,3 раза) и стронция-90 (в 1,2 раза) в растениях, что подтверждает необходимость только поддерживающего характера известкования слабокислых торфяных почв. В условиях средней обеспеченности торфяной почвы медью ($Cu - 5,1$ мг/кг) применение некорневых подкормок злаковых трав сульфатом меди обеспечило несущественную прибавку урожая сена (2,8 ц/га), но способствовало небольшому снижению концентрации радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в кормах, соответственно на 16 и 13 %.

Изучением мест расположения, строения, морфологического состава и целого ряда других свойств установлено, что торфяные почвы имеют свои только для них присущие особенности. Например, исследования химического состава верхнего горизонта низинных торфяно-болотных почв, различной степени разложения и ботанического состава указывают, прежде всего, на высокое содержание азота, которое, как правило, достигает 3 % и выше. Однако, азотистые соединения торфов, молекулярно связанные с гуминовыми кислотами, совершенно недоступны для усвоения высшими растениями (Касьянчик С.А. с соавторами, 1996). Поэтому, несмотря на высокие валовые запасы азота в торфе, особенно при затяжной и холодной весне, на торфяных почвах в первые годы их эксплуатации необходимо вносить азотные удобрения. Осушение, использование и длительное окультуривание торфяников приводят к уменьшению содержания фракций легкогидролизуемого азота и способствуют возрастанию негидролизуемого данного элемента.

При условии, что валовые запасы общего азота в торфяных почвах находятся в трудногидролизуемых формах, азотное удобрение под многолетние травы достаточно эффективно (Анисимов В.А. с соавторами, 1976; Скоропанов С.Г., 1996). Так, в исследованиях БелНИИ мелиорации и луговодства на маломощных торфяно-болотных почвах низинного типа в

результате применения 60 кг/га азота под многолетние травы на фоне фосфорных и калийных удобрений ($P_{120}K_{240}$) урожайность составила 93,8–99,4 ц/га сена (Барановский А.З., 1995). Многолетними исследованиями Института почвоведения и агрохимии установлено, что для получения продуктивности трав высокого качества на уровне 90–120 ц/га сухого вещества при сбалансированном фосфорно-калийном питании доза азота должна составлять 45–75 кг д.в./га. За счет азота формируется до 60–70 ц/га сена, поэтому его внесение в предлагаемых дозах оправдано (Анисимов В.А. с соавторами, 1976; Веренич А.Ф., Бобровский Н.А., 2001). Недостаток доступного азота в почве приводит к снижению урожая, но, в то же время, повышенные дозы азотных удобрений могут способствовать накоплению в растениях радиоактивных изотопов, особенно цезия-137 (Моисеев И.Т., Рерих Л.А., Тихомиров Ф.А., 1986).

К следующей особенности торфяно-болотных почв относится то, что они примерно в 4–5 раз содержат калия меньше, чем дерново-подзолистые минеральные почвы. В отличие от кальция калий слабо поглощается почвой (15–17 % внесенного калия удобрений) и поэтому практически все виды торфяников остро нуждаются в нем (Серая Т.М., 1991). В первые 2–3 года после освоения торфяника запасов калия еще хватает для возделываемых сельскохозяйственных культур, но в дальнейшем потребность в нём резко возрастает, и калийные удобрения необходимо вносить ежегодно (Чаев Е.П., 1989; Веренич А.Ф., Бобровский Н.А., 2001). Особенно низкое содержание калия отмечается в мелкозалежных болотных почвах (Петухова Н.Н., 1987).

С повышением количества калия в почве снижается поступление цезия-137 в растения (Гулякин И.В., Юдинцева Е.В., 1973; Мацко В.П. с соавторами, 1998). При возделывании многолетних трав на торфяных почвах, в отличие от минеральных, не происходит пополнения запасов подвижного калия за счет необменно-поглощенного. При отрицательном балансе достоверно снижается содержание в почве всех форм соединений калия (Касьянчик С.А. с соавторами, 1996).

Динамика форм доступного растениям калия во многом зависит от водного режима торфяной почвы. Снижение уровня грунтовых вод (УГВ) в вегетационный период ведет к большему накоплению доступных форм калия, что связано с мобилизацией валовых запасов этого элемента (Стариков Х.Н., 1977). Также установлено, что в торфяных почвах с ростом степени разложения органического вещества отмечается тенденция к увеличению способности закреплять калий (Серая Т.М., 1991).

В исследованиях радиоэкологов показано, что элементы удобрений подавляют (дискриминируют) поступление в растения тех радионуклидов, для которых они являются химическими аналогами. Калий как неизотопный аналог цезия-137 находится в почве в макроколичествах, в то время как цезий-137 – в ультрамикроразбавлениях. Вследствие этого, в почвенном растворе происходит сильное разбавление микроколичеств цезия-137 ионами калия, а, при поглощении их корневыми системами растений, отмечается

конкуренция за места сорбции на поверхности корней, поэтому при поступлении данных элементов из почвы или растворов в растения наблюдается «антагонизм» ионов цезия и калия. Изменение скорости переноса цезия-137 относительно калия в цепях миграции, в том числе в звене «почва – растение», принято оценивать с помощью коэффициента дискриминации, представляющего отношение $^{137}\text{Cs}/\text{K}$ в растениях (звене-акцепторе) к аналогичному отношению в почве (звене-доноре). Для перемещения цезия-137 и калия в системе «почва-растение» характерна выраженная дискриминация в усвоении корневыми системами цезия-137 относительно калия. Причиной этой дискриминации является значительно более прочная сорбция цезия-137 твердой фазой почвы (Иванов Ю.А., 1997).

Как правило, торфяно-болотные почвы содержат очень малое количество усвояемого фосфора. Нехватка фосфора снижает прирост биомассы, ведет к появлению в ней промежуточных продуктов метаболизма, накоплению неусвоенных минеральных компонентов, имеет ряд других негативных последствий для растений (Чаев Е.П., 1989; Ильин В.Б., 1985). Доза фосфора под многолетние травы 90 кг д.в./га является оптимальной для получения урожая трав на уровне 90–120 ц/га сухого вещества при сбалансированном азотно-калийном питании (Барановский А.З., 1995). В связи с накоплением подвижного фосфора на торфяных почвах после трехлетнего использования трав дозы фосфорных удобрений должны корректироваться (Веренич А.Ф., 2001).

Научные исследования показывают, что известкование торфяно-болотных почв повышает продуктивность каждого гектара на 3–4 ц кормовых единиц (Мееровский А.С., Касьянич С.А., Соколов Г.А., 1989). Влияние известкования проявляется тем отчетливее, чем меньше кальция содержится в почве (Головко Д.Г., 1975). Известкование усиливает мобилизацию фосфатов почвы, повышает их подвижность и доступность и улучшает питание растений фосфором (Кулаковская Т.Н., 1985).

В литературе имеются данные о влиянии внесения извести как фактора, влияющего на поступление стронция-90 в растения. По данным Фоломкиной З.М. (1968) известкование кислой дерново-подзолистой почвы является одним из основных факторов, снижающих накопление стронция-90 в урожае злаковых культур. При исследовании глобальных выпадений радионуклидов выявлены количественные закономерности поглощения стронция-90 и других катионов в зависимости от степени насыщенности основаниями почвенного поглощающего комплекса. Показано, что положительный эффект от известкования, как мелиоративного приёма и фактора снижения поглощения стронция-90, достигается только при степени насыщенности основаниями менее 50 % ёмкости катионного обмена (ЕКО) (Иванов С.Н., 1975). Барбер С.А. (1988) указывает, что внесение извести на торфяно-болотных почвах существенно увеличивает переход стронция-90 в растительную продукцию вследствие более высокого уровня энергетической связи кальция с органической частью почвы.

Результаты исследований, проведенных в Институте почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, показали, что внесение извести на торфяно-болотных почвах является эффективным приемом снижения поступления цезия-137 и стронция-90 из почвы в растения (Василюк Г.В. с соавторами, 2001). В результате внесения известковых удобрений в дозах, эквивалентных гидrolитической кислотности, содержание стронция-90 и цезия-137 в растениях снижалось примерно в 1,5–2,5 раза, в отдельных случаях в 3 раза.

Повышение доз известковых удобрений в меньшей степени влияет на накопление радионуклидов в продукции растениеводства (Вильдфлуш И.Р. с соавторами, 1995). Результаты исследований ряда авторов свидетельствуют о наличии сильной корреляционной зависимости между содержанием стронция-90 в растениях и кислотностью почвы. Достоверная корреляционная связь между содержанием стронция-90 и кислотностью почв установлена для многолетних злаковых трав ($-0,66$) (Василюк Г.В. с соавторами, 2001).

Торфяные почвы относят к категории наиболее ценных. Мелиорированные торфяно-болотные почвы обладают высоким потенциальным плодородием. Балл торфяных почв составляет 70–80. Природные свойства торфяных почв предполагают нахождение радионуклидов в состоянии, доступном для поглощения корневыми системами и включения их в цепи миграции. В настоящее время в Беларуси используется 89,3 тыс. гектаров сенокосов и пастбищ на торфяно-болотных почвах с плотностью загрязнения цезием-137 выше 37 кБк/м^2 (1 Ки/км^2). Однако, научных данных характеризующих в достаточной степени поведение цезия-137 и стронция-90 в системе «почва – растение» в зависимости от ботанического состава торфа, степени его разложения, увлажнения и мощности торфяного слоя, которые позволяли бы разрабатывать защитные меры с учетом природных особенностей торфов, еще недостаточно.

В результате проведения многочисленных исследований удалось выяснить, что содержание органического вещества, подвижных форм фосфора и калия, обменных кальция и магния, реакция почвенной среды – это управляемые показатели плодородия торфяно-болотных почв, которые можно доводить до оптимальных значений путем химизации. Благодаря этому можно обеспечивать благоприятные условия для роста и развития сельскохозяйственных культур, а также способствовать снижению поступления цезия-137 и стронция-90 в урожай. Следовательно, на загрязненных радионуклидами сельскохозяйственных угодьях азот, фосфор, калий выступают не только как элементы минерального питания, но и как факторы уменьшающие интенсивность перехода цезия-137 и стронция-90 из почвы в растения. Поэтому применением удобрений в оптимальном соотношении на торфяно-болотных почвах, под многолетние травы, относится к одному из эффективных приемов блокирования перехода радионуклидов из почвы в кормовые культуры.

С целью изучения влияния доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность многолетних злаковых трав и накопление радионуклидов в растениях, на протяжении 2004–2006 гг., сотрудниками Гомельского отдела

сельскохозяйственной радиологии Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси проводились, стационарные опыты на осушенной торфяной маломощной почве, загрязненной цезием-137 и стронцием-90. Было установлено, что применение минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{90}K_{280}$ позволяет получать продукцию с минимальным накоплением цезия-137 и стронция-90. Некорневые подкормки сульфатом меди уменьшали уровень накопления цезия-137 в травах на 16,3 %, стронция-90 – на 12,9 %. Поддерживающее известкование торфяной почвы сопровождалось снижением накопления цезия-137 на 21,8 %, стронция-90 – 13,2 %. Повышение дозы азота на фоне фосфорно-калийных удобрений способствовало незначительному росту урожайности сена с 90,4 до 96,0 ц/га. Условный чистый доход от применения комплекса удобрений увеличивался на 17,8 долл. США.

В кормопроизводстве эффективность азотных удобрений снижается, когда бобовые составляют в травостое более 20 %. Под бобово-злаковые травосмеси эффективность внесения азотных удобрений значительно ниже, чем под злаковые, и зависит она от соотношения бобовых и злаковых трав, норм и сроков внесения азота. Если на злаковых травосмесях каждый килограмм азота дает дополнительно 20–30 к.ед., то на бобово-злаковых – в 2 раза меньше (Шкель М.П. с соавторами, 1989). Поэтому при определении потребности в азотных удобрениях учитывается, что за счет азота торфяно-болотной почвы при внесении фосфорных (60 кг/га) и калийных (180 кг/га) удобрений можно получить с 1 га 50–70 ц сена. Травостои с высоким удельным весом клевера лугового и клевера ползучего (более 40 %) позволяют за счет использования биологического азота получать при подкормке пастбища только фосфорно-калийными удобрениями примерно 4 тыс. к.ед. с 1 га (Подоляк А.Г., Арастович Т.В., 2005). Повышение дозы фосфора с 50 до 90 кг/га д.в. на фоне K_{280} , N_{45} и $N_{45}K_{280}$ приводит к снижению прибыли, в связи с высокой стоимостью фосфорных удобрений. С другой стороны, при нехватке в среде физиологически важного элемента понижается его концентрация в растениях. При высоком содержании кальция в торфяной почве наблюдается общее невысокое содержание фосфора. Поэтому внесение 90 кг/га фосфора оправдано повышением его содержания в растениях и, как следствие, улучшением качества получаемой продукции. Повышение дозы калия от 120 до 280 кг/га д.в. на фоне N_{45} обеспечивает прибавку урожая в среднем 24,4–31,0 ц/га, на фоне P_{50} – 21,4–28,6 ц/га сена. При этом более высокая экономическая эффективность получается от применения азотно-калийного сочетания в дозе $N_{45}K_{120}$ (37,3 долл. США с 1 га). Внесение калийных удобрений в дозе 280 кг/га д.в. на азотно-фосфорном фоне способствует формированию прибавки урожая на 10,1 ц/га выше по сравнению с $N_{45}P_{50}K_{120}$. Чистый доход при этом достигает 49,2–51,3 долл. США, а окупаемость 1 кг NPK – 9,9–7,0 к.ед.

Таким образом, при организации и ведении агропроизводства на загрязненной радионуклидами территории необходимо учитывать наличие торфяных угодий, их отличия от минеральных почв и проводить защитные мероприятия с учетом их особенностей и содержания радионуклидов.

4.2.2. Урожайность многолетних травосмесей

Постоянно изменяющаяся с течением времени после чернобыльской катастрофы радиологическая обстановка на территории загрязнения требует проведения регулярных наблюдений за ее состоянием. Это относится и к изучению особенностей миграции радионуклидов на торфяно-болотных почвах. Для того чтобы проследить миграцию радионуклидов из почвы в растения и влияние на нее удобрений ничего пока лучшего пока не придумано как закладка и проведение полевых экспериментов.

Сотрудниками радиоэкологии торфяных почв РНИУП «Институт радиологии» на загрязненной территории проводилось изучение системы применения удобрений, способствующей максимальной продуктивности трав и минимальному накоплению радионуклидов.

В задачи исследований входило:

– установить параметры миграции цезия-137 и стронция-90 из торфяно-болотной почвы в многолетние злаковые травы (тимофеевка луговая, овсяница луговая, кострец безостый) в полевом эксперименте с применением различных доз азотных, фосфорных и калийных удобрений, микроэлементов, доломитовой муки;

– дать оценку экологической и экономической целесообразности применения различных доз и соотношений удобрений под многолетние злаковые травы;

– установить ограничения по плотности загрязнения радионуклидами маломощных торфяно-болотных почв для возделывания многолетних злаковых трав;

– разработать предложения по применению удобрений под многолетние злаковые травы на загрязненных радионуклидами торфяно-болотных почвах;

– оценить влияние системы применения удобрений на агрохимические показатели почвы, урожайность и накопление цезия-137 и стронция-90 многолетней бобово-злаковой травосмесью.

Решение поставленных задач осуществлялось в двух экспериментах. Первый полевой эксперимент был заложен в 2007 году, в СПК «Оборона» Добрушского района Гомельской области на торфяно-болотной почве по схеме, изложенной в таблице 4.4.3. Почва опытного участка была подобрана низинная торфяно-болотная маломощная (0,8–1,0 м), подстилаемая песком. Торф древесно-осоковый с зольностью $17,6 \pm 2,0\%$, объемный вес почвы $0,28 \text{ г/см}^3$. Плотность загрязнения почвы цезием-137 – 369 кБк/м^2 (10 Ки/км^2), стронцием-90 – $14,0 \text{ Бк/м}^2$ ($0,38 \text{ Ки/км}^2$). Средняя мощность эквивалентной дозы – $0,50 \text{ мкЗв/ч}$. Исходные средние агрохимические показатели почвы: $\text{pH}_{\text{КС1}} = 5,38$, содержание подвижного калия 300 и фосфора 202 мг/кг почвы, обменного кальция и магния – 13495 и 524 мг/кг почвы соответственно, сумма поглощенных оснований – $93,7 \text{ ммоль/100 г}$ почвы, содержание меди – $7,4 \text{ мг/кг}$ почвы. Общая площадь делянки 18 м^2 , учетная – 10 м^2 .

Предшественник – редька масличная. На опытном участке было проведено весеннее залужение с предварительной механизированной обработкой почвы: дискование, вспашка и культивация в два следа. При высеве семян трав использовалась следующая норма: овсяница луговая – 6 кг/га, кострец безостый – 14 кг/га, тимофеевка луговая – 6 кг/га. После посева трав проводилось боронование и прикатывание почвы.

Поддерживающее известкование проводилось доломитовой мукой в дозе 3 т/га при весеннем залужении. В год закладки опыта азотные удобрения – сульфат аммония, фосфорные – суперфосфат аммонизированный, калийные – калий хлористый вносились в полной дозе в соответствии со схемой опыта. Во второй год пользования калийные и фосфорные удобрения вносились в полной дозе под первый укос, а азотные удобрения – 75 % под первый укос и 25 % под второй укос. В качестве медного удобрения использовалась сернокислая медь в дозе 200 г/га меди в виде внекорневой подкормки в фазе стеблевания растений. Для уничтожения двудольных сорняков (горец вьюнковый, марь белая, осот полевой) проводилась гербицидная обработка посевов дезармоном (группа 2,4–Д) с нормой расхода 0,6 л/га (600 г/л) в фазу кущения трав.

В период укосов, с площади 1 м², отбирались с каждой делянки растительные пробы, в которых определялось содержание цезия-137 и стронция-90, а также химический состав растений. В соответствии со схемой полевого эксперимента изучалось накопления цезия-137 и стронция-90 в варианте без удобрений (контроль), в варианте с удобрениями в дозе N₃₀P₆₀K₁₂₀ (минимальные дозы удобрений), в вариантах на фоне N₃₀P₆₀K₁₂₀ с медными удобрениями и с различными дозами и соотношениями минеральных удобрений. В 20 вариантах (в 4 повторностях) испытывались дозы азота 30, 60, 90 кг/га при P₆₀K₁₂₀, дозы фосфора 60 и 90 кг/га, калия 120, 180 и 240 кг/га в различных сочетаниях в двух блоках – с известкованием 3 т/га CaCO₃ и без известкования (таблица 4.2.2).

Таблица 4.2.2. – Схема полевого эксперимента

Варианты	Доза удобрений
Контроль	Без удобрений
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀
Фон I-N₃₀P₆₀K₁₂₀+Cu	N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ +Cu
Фон I+N ₃₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ +Cu
Фон I+N ₆₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀ +Cu
Фон I+P ₃₀	N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀ +Cu
Фон I+ K ₆₀	N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀ +Cu

Продолжение таблицы 4.2.2.

Фон 1+ K ₁₂₀	N ₃₀ P ₆₀ K ₂₄₀ +Cu
Фон 1+N ₃₀ P ₃₀	N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀ +Cu
Фон 1+N ₃₀ P ₃₀ K ₆₀	N ₆₀ P ₉₀ K ₁₈₀ +Cu
Фон 1+N ₃₀ P ₃₀ K ₁₂₀	N ₆₀ P ₉₀ K ₂₄₀ +Cu
Фон2-N₃₀P₆₀K₁₂₀+Cu+CaCO₃	N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ +Cu+CaCO ₃
Фон 2+N ₃₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ +Cu+CaCO ₃
Фон 2+N ₆₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀ +Cu+CaCO ₃
Фон 2+P ₃₀	N ₃₀ P ₉₀ K ₁₂₀ +Cu+CaCO ₃
Фон 2+ K ₆₀	N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀ +Cu+CaCO ₃
Фон 2+ K ₁₂₀	N ₃₀ P ₆₀ K ₂₄₀ +Cu+CaCO ₃
Фон 2+N ₃₀ P ₃₀	N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀ +Cu+CaCO ₃
Фон 2+N ₃₀ P ₃₀ K ₆₀	N ₆₀ P ₉₀ K ₁₈₀ +Cu+CaCO ₃
Фон 2+N ₃₀ P ₃₀ K ₁₂₀	N ₆₀ P ₉₀ K ₂₄₀ +Cu+CaCO ₃

При расчете значений параметров перехода радионуклидов (КП) были использованы данные удельной активности цезия-137 и стронция-90 (Бк/кг) сопряженных проб почв и растений. Определение удельной активности цезия-137 (Бк/кг) почвы и растений производилось на гамма-спектрометрическом комплексе «Canberra-Packard» с погрешностью не более 30 %. Радиохимическое выделение стронция-90 по МВИ. МН 1932–2003 «Методика радиохимического определения УА стронция-90 в почвах и растениях без разделения в системе стронций-кальций» с погрешностью не более 20 %.

Подготовка проб почвы и растительных образцов к анализу производилась по общепринятым методикам. Для почвенных проб были определены зольность торфа (ГОСТ 27784-88) и основные агрохимические характеристики по общепринятым методикам: рН_{KCl} – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85), подвижный фосфор и калий – по Кирсанову (ГОСТ 26207-91); обменный кальций и магний – на атомно-абсорбционном спектрофотометре ААС-30 (ГОСТ 26487-85), сумма поглощенных оснований – по методу Каппена (ГОСТ 27821-88). Определение в растениях общего азота, жира, клетчатки, протеина, углеводов, подвижных форм фосфора, калия, кальция и магния соответствовало методикам определения этих элементов в кормах и комбикормах; комбикормовом сырье.

Параллельно с данным опытом, в 2008 году сотрудниками Гомельского отдела сельскохозяйственной радиологии Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси был заложен стационарный полевой эксперимент в Брагинском районе Гомельской области (территория КСУП «Пераможник»). Опыт с разными видами и дозами удобрений, при возделывании бобово-злаковой травосмеси, проводили на осушенной торфяно-болотной

маломощной почве низинного типа, развивающейся на гипново-осоково-тростниковых торфах, подстилаемой с глубины 0,8 м легким суглинком. Агрохимические показатели почвы во время закладки эксперимента имели следующие характеристики: зольность – 26,5 %; P₂O₅ – 173 мг/кг; K₂O – 335 мг/кг; CaO – 11000 мг/кг; MgO – 700 мг/кг; Cu – 5,1; B – 3,1; Zn – 5,2 мг/кг почвы; рН_{KCl} – 4,8. Плотность загрязнения почвы цезием-137 составила 108,5 кБк/м² (2,9 Ки/км²), стронцием-90 – 44,5 кБк/м² (1,20 Ки/км²).

Травосмесь состояла из таких видов трав как: кострец безостый, овсяница луговая, тимофеевка луговая, клевер гибридный, клевер ползучий, клевер луговой (таблица 4.2.3).

Таблица 4.2.3. – Травосмесь для перезалужения сенокоса на торфяной почве

Тип травостоя	Состав травосмеси	Норма высева, кг/га
Бобово-злаковый среднеспелый	Тимофеевка луговая «Белорусская 1308»	6,0
	Овсяница луговая «Зорька»	6,0
	Кострец безостый «Моршанский 760»	6,0
	Клевер гибридный «Турский»	4,0
	Клевер ползучий «Гомельский»	4,0
	Клевер луговой «Слуцкий»	4,0
	Всего	30

Во время закладки полевого эксперимента вносились гербицид и минеральные удобрения, проведены дискование, предпосевная культивация почвы, посев бобово-злаковой травосмеси. Цель опыта заключалась в оценке влияния доломитовой муки, азотных, фосфорных, калийных и микроудобрений на урожайность бобово-злаковой травосмеси и накопление радионуклидов в продукции. Поэтому схема опыта предусматривала внесение разных доз и сочетаний минеральных удобрений в форме карбамида, суперфосфата аммонизированного, калия хлористого (таблица 4.2.4).

Таблица 4.2.4. – Схема полевого опыта

1. Контроль (без удобрений)	11. Фон + P ₅₀ K ₁₂₀
2. CaCO ₃ (5 т/га) – фон	12. Фон + P ₅₀ K ₂₀₀
3. Фон + N ₃₀	13. Фон + P ₅₀ K ₂₈₀
4. Фон + P ₅₀	14. Фон + P ₉₀ K ₂₈₀
5. Фон + K ₂₀₀	15. Фон + N ₃₀ P ₅₀ K ₁₂₀
6. Фон + N ₃₀ P ₅₀	16. Фон + N ₃₀ P ₅₀ K ₂₀₀
7. Фон + N ₃₀ P ₉₀	17. Фон + N ₃₀ P ₅₀ K ₂₈₀
8. Фон + N ₃₀ K ₁₂₀	18. Фон + N ₃₀ P ₉₀ K ₂₈₀
9. Фон + N ₃₀ K ₂₀₀	19. Фон + N ₃₀ P ₅₀ K ₂₀₀ + CaCO ₃ (5 т/га)
10. Фон + N ₃₀ K ₂₈₀	20. Фон + N ₃₀ P ₅₀ K ₂₀₀ + Cu ₁₀₀ + Zn ₁₀₀ + Mo ₅₀ + B ₅₀
	21. Фон + N ₆₀ P ₉₀ K ₂₈₀

Урожайность многолетней бобово-злаковой травосмеси учитывалась методом сплошной поделяночной уборки. При этом урожайность сена пересчитывалась на 16 % стандартную влажность. В 2008 году был проведен один укос многолетней бобово-злаковой травосмеси, в последующие годы – по два укоса.

Тесная взаимосвязь содержания элементов питания в почве с урожайностью сельскохозяйственных культур и эффективностью вносимых удобрений побуждают, с особым вниманием, относиться к учету количества и степени подвижности питательных веществ в почве, к установлению оптимального уровня их содержания и на основе этого определению оптимальных норм внесения удобрений. Поэтому в растениеводстве особое значение имеет регулирование элементов питания в почве путем внесения удобрений с учетом потребности растений и свойств почвы.

В трехлетнем полевом эксперименте на осушенной маломощной торфяной почве, слабо обеспеченной фосфором и калием, были получены количественные параметры продуктивности злаковой травосмеси под влиянием доз и соотношений азотных, фосфорных, калийных и микроудобрений (таблица 4.2.5).

Таблица 4.2.5. – Влияние минеральных удобрений на урожайность сена многолетней злаковой травосмеси на торфяной почве

Доза удобрений	Урожайность ц/га				Прибавка, ц/га
	2008 г.	2009 г.	2010 г.	Среднее за 3 года	
Без удобрений	49,2	45,2	17,9	37,4	-
N30P60K120	86,3	95,4	75,9	85,9	48,5
N30P60K120+Cu200 г/га	88,4	104,8	78,8	90,7	53,3
N60P90K180+Cu200г/га	118,5	118,0	100,5	112,3	74,9
N60P90K240+Cu200г/га	117,7	131,6	106,2	118,5	81,1
N30P60K120+Cu200г/га +CaCO ₃ (3 т/га)	86,2	96,8	77,6	86,9	49,5
НСР _{0,05}	5,6	5,0	3,3	4,6	

В 2010 году на урожайность сена злаковых трав отрицательным образом сказались неблагоприятные засушливые погодные условия, особенно на продуктивности второго укоса.

Данные исследований урожайности бобово-злаковых травосмесей представлены в таблице 4.2.6.

Таблица 4.2.6. – Влияние доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность зеленой массы многолетней бобово-злаковой травосмеси на торфяной почве

Варианты опыта	Урожайность, ц/га			Прибавка, ц/га
	2009 г.	2010 г.	Среднее	
CaCO ₃ (5 т/га)	311,8	345,8	328,8	–
N ₃₀ P ₅₀ K ₁₂₀ + CaCO ₃ (5 т/га)	476,5	428,4	452,5	123,7
N ₃₀ P ₅₀ K ₂₀₀ + CaCO ₃ (5 т/га)	525,9	472,7	499,3	170,5
N ₃₀ P ₅₀ K ₂₈₀ + CaCO ₃ (5 т/га)	563,3	520,8	542,1	213,3
N ₃₀ P ₉₀ K ₂₈₀ + CaCO ₃ (5 т/га)	582,9	542,3	562,6	233,8
N ₃₀ P ₅₀ K ₂₀₀ + CaCO ₃ (5 т/га) + Cu _{100г/га} + Zn _{100г/га} + Mo _{50г/га} + B _{50г/га}	538,1	486,7	512,4	183,6
НСР _{0,05}	21,0	23,8	15,8	

Известно, что торфяные почвы богаты азотом. Это давало основание считать, что они не нуждаются в азотных удобрениях. Однако, как показал научный и практический опыт, это положение не всегда справедливо. В ряде хозяйств используются значительные площади торфяных почв с малой мощностью торфа, нередко – выработанные торфяники. Поэтому на старопахотных торфяниках с высокой степенью разложения органического вещества под злаковые и бобово-злаковые травы вносятся азотные удобрения. Дозы и сроки внесения под многолетние травы азотных удобрений зависят от ботанического состава травостоя и обеспеченности торфяных почв азотом. Азотные удобрения вносят дробно, под каждый укос. Первый раз, чтобы избежать вымывания, ихносят весной в начале отрастания травостоя. Как правило, под второй укос дозы азота на 30–40 % ниже, чем под первый.

Внесение азотных удобрений под злаковые травосмеси в дозе 60 кг/га д.в. по сравнению с 30 кг/га на фоне P₆₀K₁₂₀ дало прибавку урожая сена в количестве 12,3 ц/га, дальнейшее увеличение дозы азота до 90 кг/га на торфяных почвах нецелесообразно. Увеличение дозы азота не способствовало прибавке урожая. Она оказалась незначительной и составила 4,5 ц/га, что экономически не выгодно для землепользователей.

Эффективность азотных удобрений под бобово-злаковые травосмеси на минеральных и торфяных почвах значительно ниже, чем под злаковые, и зависит от соотношения бобовых и злаковых трав, доз и сроков внесения азота. Если на злаковых травосмесях каждый килограмм азота дает дополнительно 20–30 к.ед., то на бобово-злаковых – в 2 раза меньше. Эффективность азотных удобрений начинает снижаться, когда доля бобовых в травостое превышает 20 %. Травостои с высоким удельным весом клевера лугового и клевера ползучего (30–40 % и более) позволяют за счет использования биологического азота при подкормке только фосфорными и калийными удобрениями получать сбор кормов около 4 тыс. к.ед. с 1 га. Поэтому при возделывании на торфяной почве бобово-злаковой травосмеси с

удельным весом бобовых трав 30–40 % наиболее эффективной является доза азота N_{30} .

Фосфор играет важную роль в жизни растений, поскольку он выполняет функцию регулятора энергетического баланса и влияет на синтез белка и процессы обмена веществ. Большая часть фосфора находится в торфяной почве в связанной форме и является слабодоступной для растений, поэтому внесение фосфорных удобрений относится к обязательным для всех торфяных почв приемом (Веренич А.Ф., Бобровский Н.А., 2001).

Доза фосфорных удобрений под многолетние злаковые травы в количестве 60–90 кг/га д.в. способствует получению высокого урожая. Применение больших количеств фосфорных удобрений нерентабельно из-за недостаточной прибавки урожая, которая не может окупить затраты на внесение удобрений.

Фосфорные удобрения внесенные под бобово-злаковые травосмеси в дозе P_{50} и в дозе P_{90} оказались эффективны, хотя обеспечили сравнительно меньшие прибавки, чем калийные удобрения, соответственно, по 8,5 и 9,5 к.ед. на 1 кг P_2O_5 .

На торфяных почвах интенсивное использование травостоев приводит к высокому выносу калия из почв с урожаем (до 300 кг/га д.в. в год). Вместе с тем торфяные почвы примерно в 4–5 раз содержат меньше калия, чем минеральные. К этому следует добавить, что калий, в отличие от кальция, слабо поглощается почвой (15–17 % внесенного калия), и поэтому практически все виды торфяников остро нуждаются в данном элементе.

В первые 2–3 года после освоения торфяников запасов элемента ещё хватает для возделываемых сельскохозяйственных культур, но в дальнейшем потребность в калии резко возрастает, и калийные удобрения необходимо вносить ежегодно (Веренич А.Ф., Бобровский Н.А., 2001). Особенно низкое содержание калия отмечается в мелкозалежных торфяных почвах.

Обеспеченность торфяных почв калием зависит в основном от содержания его в растениях-торфообразователях. Как правило, потребность растений в калии на торфяных почвах удовлетворяется целиком за счет внесения калийных удобрений (Кулаковская, Т.Н., 1978; Веренич А.Ф., Бобровский Н.А., 2001; Минеев В.Г., 2004; Лапа В.В. с соавторами, 2007).

При возделывании многолетних трав на торфяных почвах, в отличие от минеральных, не происходит пополнения запасов подвижного калия за счет необменно-поглощенного. При отрицательном балансе достоверно снижается содержание в почве всех форм соединений калия (Серая, Т.М., 1991). Обычно дозу калийных удобрений вносят в два приема, так как этот элемент из удобрений лучше используется, чем из почвы, и меньше накапливается в растениях (Подоляк А.Г., Арастович Т.В., 2005). Как правило, первое внесение на сенокосах производят весной, второе – после проведения укосов или стравливания скотом.

В проведенных экспериментах прибавка урожая сена злаковых трав от внесения калийных удобрений в дозы 180 кг/га д.в. на фоне $N_{60}P_{90}+Cu_{200г/га}$ составила 74,9 ц/га. Более высокие дозы калийных удобрений увеличивают непроизводственные потери калия, повышают содержание калия в травах, происходит существенный сдвиг соотношения в кормах двухвалентных и одновалентных катионов, что заметно ухудшает их качественные показатели. Как показывают исследования, на торфяных почвах оптимальным соотношением между фосфором и калием в питательном растворе для многолетних трав является от 1:1,5 до 1:2.

Внесение под злаково-бобовые травостои доз калия от 120 до 280 кг/га д.в. на фоне $CaCO_3$ (5 т/га) + $N_{30}P_{50}$ позволило получить 67,5–157,1 ц/га зеленой массы. Прибавка урожайности зеленой массы на 1 кг K_2O при дозах 120, 200 и 280 кг/га практически остаётся неизменной, соответственно, 11,8–12,0 – 11,8 к.ед.

В отношении известкования можно отметить следующее. Для сенокосов расположенных на торфяных почвах, оптимальная величина $pH_{(KCl)}$ находится в пределах 5,0–5,5 для злаковых травосмесей и 5,5–6,2 – для бобово-злаковых (Кулаковская Т.Н., 1978). Поэтому проведение известкования под злаковые травосмеси на оптимальных по кислотности торфяных почвах не оказывает положительного влияния на урожайность.

При внесении доломитовой муки (5 т/га $CaCO_3$) под бобово-злаковые травосмеси на торфяной почве с исходным pH_{KCl} – 4,8 установлено увеличение продуктивности на 36,9 ц/га зеленой массы. В случае применения дополнительной дозы 5 т/га $CaCO_3$ показана прибавка наполовину меньшая. Это свидетельствует о целесообразности поддерживающего известкования небольшой дозой в количестве 5 т $CaCO_3$ на гектар торфяной почвы со слабокислой реакцией.

Интенсивное использование в земледелии азотных, фосфорных и калийных удобрений приводит к дефициту в почвах микроэлементов. Поэтому при научно обоснованном внесении микроудобрений, с учетом их содержания в торфяных почвах, прибавка урожая злаковых и бобовых трав достигает 15–20 %, улучшается качество кормов, продлеваются сроки их хранения.

В настоящее время одним из наиболее распространенных способов использования микроудобрений являются некорневые подкормки кормовых трав в период их вегетации. Они позволяют значительно улучшить микроэлементное питание растений в период наибольшей их потребности, а также одновременно экономить дорогостоящие и дефицитные препараты.

В эксперименте установлено, что на осушенной торфяной почве с низким содержанием Cu, Zn и средним содержанием, применение микроудобрений (Cu + Zn + Mo + B), в виде некорневых подкормок, на фоне $CaCO_3$ (5 т/га) + $N_{30}P_{50}K_{200}$ появляется возможность получать до 512,4 ц/га зеленой массы бобово-злаковой травосмеси. В торфяных почвах особенно мало меди, что связано с низкой зольностью этих почв и прочной связью меди с гумусом торфа. Поэтому некорневая подкормка медным удобрением в дозе 200 г/га на фоне $N_{30}P_{60}K_{120}$ обеспечивает прибавку урожая злаковой травосмеси до 5,0 ц/га.

4.2.3. Поступление радионуклидов в злаковые и бобово-злаковые травостои

В комплексе агрохимических приемов важная роль отводится регулированию азотного питания растений. С одной стороны, при недостатке доступного азота в почве сильно снижается урожай, а, с другой стороны, применение высоких доз одних азотных удобрений усиливает накопление не только радионуклидов, но и нитратов в злаковых и бобово-злаковых травосмесях. В настоящее время считается целесообразным на сенокосно-пастбищных землях на торфяных почвах, загрязненных цезием-137 и стронцием-90, применять азотные удобрения в составе полного минерального удобрения со значительным преобладанием калия.

Как было установлено в проведенном эксперименте, внесение повышенных доз азотных удобрений (90 кг/га д.в.) под злаковые травы увеличивало поступление из почвы в растения цезия-137 в 1,4 раза, стронция-90 в 1,2 (таблица 4.2.7.).

Таблица 4.2.7. – Влияние минеральных удобрений на поступление цезия-137 и стронция-90 в сено злаковой травосмеси на торфяной маломощной почве (в среднем за 3 года)

Вариант	КП ¹³⁷ Cs Бк/кг:кБк/м ²	Кратность снижения накопле- ния ¹³⁷ Cs	КП ⁹⁰ Sr Бк/кг:кБк/м ²	Кратность снижения накопления ⁹⁰ Sr
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	3,7 ± 0,7	–	2,6 ± 0,5	–
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ +Cu ₂₀₀ г/га	3,4 ± 0,7	1,1	2,5 ± 0,4	1,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ +Cu ₂₀₀ г/га	4,5 ± 0,9	0,8	2,9 ± 0,6	0,9
N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀ +Cu ₂₀₀ г/га	5,1 ± 1,1	0,7	3,1 ± 0,4	0,8
N ₆₀ P ₉₀ K ₁₈₀ +Cu ₂₀₀ г/га	2,1 ± 0,4	1,8	2,0 ± 0,3	1,3
N ₆₀ P ₉₀ K ₂₄₀ +Cu ₂₀₀ г/га	1,6 ± 0,3	2,2	1,8 ± 0,4	1,4
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ +Cu ₂₀₀ г+CaCO ₃ (3т/га)	3,1 ± 0,7	1,2	2,4 ± 0,4	1,1

Среди агрохимических мер обязательным приемом, обеспечивающим снижение перехода радионуклидов из торфяных почв в злаковые и бобово-злаковые травосмеси, является применения научно-обоснованных доз фосфорных удобрений. Фосфорные удобрения способствуют не только повышению урожая трав, но и фиксации фосфатами стронция-90 и, тем самым, снижению его поступления в растения.

В опытах установлено, что внесение фосфорных удобрений в дозе 90 кг/га д.в. под сеяную злаковую травосмесь на торфяной почве снижает КП цезия-137 в 1,2 и стронция-90 – в 1,1 раза. С учетом дефицита фосфорных

удобрений и их высокой себестоимости, можно рекомендовать внесение минимума фосфорных удобрений на загрязненных торфяных землях для обеспечения сбалансированного питания травостоев.

К одному из основных агрохимических приемов, ограничивающему поступление цезия-137 в травостой на торфяных почвах, относится применение повышенных доз калийных удобрений. С повышением количества калия в почве или питательной среде снижается поступление цезия-137 в растения, что связано с антагонистическим характером отношения цезия и калия в почвенном растворе и позитивным влиянием последнего на урожай, особенно на низкообеспеченных калием почвах.

Установлено, что на слабообеспеченной калием (менее 300 мг/кг почвы) торфяной почве с сеяной злаковой травосмесью повышение доз калийных удобрений от 120 кг/га д.в. до 180 и 240 кг/га д.в. позволяет снижать переход цезия-137 в растения до 2,2 раза.

Эти же дозы калия на фоне азотных и фосфорных удобрений более эффективно влияют на снижение в бобово-злаковой зеленой массе концентрации цезия-137, в сравнении со стронцием-90 (таблица 4.2.8).

Таблица 4.2.8. – Влияние минеральных удобрений на поступление цезия-137 и стронция-90 в зеленую массу бобово-злаковой травосмеси на торфяной маломощной почве (среднее за 2 года)

Вариант опыта	КП ¹³⁷ Cs Бк/кг:кБк/м ²	Кратность снижения накопле- ния ¹³⁷ Cs	КП ⁹⁰ Sr Бк/кг:кБк/м ²	Кратность снижения накопления ⁹⁰ Sr
CaCO ₃ (5 т/га)	0,62 ± 0,14	–	1,34 ± 0,26	–
N ₃₀ P ₅₀ K ₁₂₀ + CaCO ₃ (5 т/га)	0,40 ± 0,10	1,6	1,02 ± 0,26	1,3
N ₃₀ P ₅₀ K ₂₀₀ + CaCO ₃ (5 т/га)	0,28 ± 0,05	2,2	0,89 ± 0,18	1,5
N ₃₀ P ₅₀ K ₂₈₀ + CaCO ₃ (5 т/га)	0,21 ± 0,03	3,0	0,78 ± 0,24	1,7
N ₃₀ P ₉₀ K ₂₈₀ + CaCO ₃ (5 т/га)	0,19 ± 0,04	3,3	0,68 ± 0,16	2,0
N ₃₀ P ₅₀ K ₂₀₀ + CaCO ₃ (5 т/га) + Cu100г/га+Zn100г/га+Mo50г/га +B50г/га	0,26 ± 0,08	2,4	0,84 ± 0,22	1,6
N ₃₀ P ₅₀ K ₂₀₀ + CaCO ₃ (10 т/га)	0,26 ± 0,06	2,4	0,88 ± 0,20	1,5

При дозе N₃₀P₉₀K₂₈₀ на фоне известкования кратность снижения накопления цезия-137 в корме составляет 3,3, стронция-90 – 2,0 раза.

К следующему не менее важному агроприёму относится известкование. При внесении известковых мелиорантов в кислой почве резко увеличивается содержание подвижного кальция и магния, что влияет на биологическую доступность радионуклидов, особенно стронция-90. Проведение

известкования позволило снизить кратность поступления цезия-137 и стронция-90 в злаковые травы в 1,1 раза.

При плотности загрязнения цезием-137 в пределах 5–40 Ки/км² и стронцием-90 – 0,30–3,0 Ки/км² дозы известковых удобрений до оптимальной реакции почвенной среды целесообразно вносить за один прием. На сенокосах и пастбищах известковые мелиоранты обычно вносятся в предпосевную культивацию.

Как было отмечено выше, применение микроудобрений на торфяных почвах в зоне радиоактивного загрязнения приобретает особую значимость. Основными формами микроудобрений являются сульфаты, поэтому их катионы становятся конкурентами радионуклидов при поступлении в растения. В опытах установлено, что применение сульфата меди в дозе 200 г/га д.в., в виде некорневой подкормки на многолетних злаковых травах, способствовало снижению показателей КП цезия-137 на 10 %.

4.2.4. Зоотехническое качество корма

В кормопроизводстве требуется, чтобы применяемые дозы и соотношения минеральных удобрений давали не только высокую урожайность травосмесей, но и обеспечивали получение качественного корма в соответствии с зоотехническими требованиями.

По обобщенным данным, в условиях Беларуси, травы удобряемых сенокосов при своевременной уборке на сено содержат N 1,6–1,9 %, K₂O – 1,5–2,8 % и P₂O₅ – 0,5–0,6 %. С 10 ц сена в среднем отчуждается до 20 кг азота, 5 – 6 кг фосфора и более 20 кг калия. Кроме основных элементов питания в луговых травах содержится около 0,7–0,8 % кальция, 0,2–0,3 % – магния, а также такие микроэлементы как: медь (3–5 мг/кг), молибден (3–7 мг/кг), бор (10–15 мг/кг в злаковых и 20–30 мг/кг в бобовых) (Шкель М.П. и др., 1989).

Согласно ГОСТу 4808-87 содержание сырого протеина в сухом веществе злаковых трав должно составлять не менее 8–10 %, содержание клетчатки не должно превышать 28–30 %, а отношение калия к сумме кальция и магния – 2,2–2,4. В сухом веществе трав оптимальным является содержание: P₂O₅ – 0,30–0,50 % (не менее 0,20 %), K₂O – 1,2–2,5 %, Ca – 0,4–0,8 %, Mg – 0,15–0,25 %. Содержание в травах сенокосных угодий 1,8–2,4 % азота является оптимальным, а при пастбищном использовании – 2,4–2,8 %.

Как было получено в опытах, наилучшие показатели зоотехнического качества сена злаковых трав отмечены при дозе удобрений N₆₀P₉₀K₁₈₀+Cu с содержанием сырого протеина 11,1 %, сырой клетчатки 30,2 % и 0,65 к.ед. в кг сухого вещества, нитраты находились в пределах допустимого уровня (таблица 4.2.9).

Таблица 4.2.9. – Зоотехнические показатели сена (при 16 % стандартной влажности) многолетних злаковых трав (в среднем за 2008–2010 гг.)

Вариант	к.ед.	Сырая клетчатка	Сырой протеин	К	Са	Mg,	K/(Ca+Mg)	Нитраты в нат. в-ве, мг/кг
		%						
N30P60K120	0,53	36,5	11,6	2,5	0,57	0,21	3,2	477
N30P60K120 + Cu200 г/га	0,61	32,0	10,7	2,5	0,52	0,18	3,6	536
N60P90K180 + Cu200г/га	0,65	30,2	11,1	2,6	0,75	0,33	2,4	651
N60P90K240 + Cu200 г/га	0,59	33,3	11,8	2,6	0,64	0,35	2,6	865

Согласно результатам определения химического состава сена многолетней бобово-злаковой травосмеси, содержание основных элементов питания в среднем за 2 года при оптимальных дозах минеральных удобрений также находились в пределах нормы (таблица 4.2.10).

Таблица 4.2.10. – Химический состав сена (при 16 % стандартной влажности) многолетней бобово-злаковой травосмеси (в среднем за 2009–2010 гг.)

Варианты	Сырой протеин	P	К	K/(Ca+Mg)	Cu	Zn
	%					
CaCO ₃ (5 т/га)	25,0	0,37	2,4	1,6	7,7	34,9
N30P50K120 + CaCO ₃ (5 т/га)	25,0	0,42	2,7	2,2	7,1	29,6
N30P50K200 + CaCO ₃ (5 т/га)	23,8	0,42	3,0	2,4	6,1	31,4
N30P50K280 + CaCO ₃ (5 т/га)	25,0	0,43	3,7	3,2	6,1	33,2
N30P50K200 + CaCO ₃ (5 т/га) + Cu100г/га + Zn100г/га + Mo50г/га + B50г/га	25,0	0,40	2,7	2,3	7,0	30,9
N30P50K200 + CaCO ₃ (10 т/га)	24,4	0,41	3,1	2,4	6,2	29,8

По мере увеличения степени радионуклидного загрязнения почв внесение калия рекомендуется увеличивать. Однако, применение повышенных количеств калийных удобрений может приводить к избыточному накоплению данного элемента в растениях, поэтому доза K₂₈₀ может применяться только на сбалансированном фоне N₆₀P₉₀.

Применение азотных, фосфорных и калийных удобрений может приводить к переходу в разряд дефицитных других элементов питания, в частности, микроэлементов. Микроэлементы повышают эффективность азота, фосфора и калия и их поступление в растения. Например, цинк изменяет проницаемость мембран для калия и магния. При внесении на торфяных почвах меди увеличивается усвояемость фосфора. Роль медных удобрений возрастает при известковании почв.

Для оценки безопасности кормов в Республике Беларусь действуют ветеринарно-санитарные показатели безопасности кормов, включающие

допустимые уровни металлов в кормах для условий республики, рассчитанные с учетом вида корма, целевого направления животноводства, его продуктивности, обеспечивающие получение животноводческой продукции в пределах ветеринарных требований.

Допустимый уровень содержания основных микроэлементов в грубых кормах составляет (мг/кг): железо – 100; медь – 30; цинк – 30; кобальт – 1,0; йод – 2,0. Содержание микроэлементов в сене многолетних злаковых трав в зависимости от доз вносимых удобрений представлены в таблице 4.2.11.

Таблица 4.2.11. – Содержание микроэлементов в сене (при 16 % стандартной влажности) многолетних злаковых трав (в среднем за 2008–2010 гг.)

Вариант опыта	Fe	Cu	Zn	Co	Mn	I
	мг/кг					
Без удобрений	83,0	7,8	25,2	0,060	95,7	0,25
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	71,3	5,6	17,3	0,053	94,8	0,16
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + Cu ₂₀₀ г/га	79,3	6,9	16,8	0,062	105,7	0,15
N ₆₀ P ₉₀ K ₁₈₀ + Cu ₂₀₀ г/га	76,0	7,8	22,9	0,055	120,9	0,15
N ₆₀ P ₉₀ K ₂₄₀ + Cu ₂₀₀ г/га	64,7	8,3	23,4	0,059	120,0	0,17

Из показателей таблицы видно, что содержание микроэлементов в сене злаковых трав при указанной системе внесения удобрений находились в пределах допустимых норм. Повышенные дозы калийных удобрений вызывают увеличение содержания в растениях цинка, марганца, меди и снижение железа.

4.2.5. Экономическая эффективность внесения удобрений

Оценка эффективности применения является основой для планирования урожайности сельскохозяйственных культур, мероприятий по повышению плодородия почв, определения потребности в удобрениях, рационального их распределения. Она служит также одним из важных критериев оценки хозяйственной деятельности сельскохозяйственных предприятий.

В настоящее время, в условиях республики, к ограничивающим факторам урожайности относятся уровень плодородия почв, удобрения и средства защиты растений. В этой связи, при определении возможного урожая очень важно количественно оценивать потенциальный уровень плодородия и ожидаемую прибавку урожая от имеющихся ресурсов удобрений.

К основным показателям, характеризующим экономическую эффективность проводимых защитных мероприятий на кормовых угодьях, относят выход дополнительной продукции с 1 га (прибавка урожайности ц/га), окупаемость применения удобрений дополнительной продукцией, стоимость

дополнительной продукции, условный чистый доход от проводимых мероприятий, условный уровень рентабельности (окупаемость) дополнительных затрат.

Выбор того или иного способа улучшения сенокосов определяется минимальными экономическими затратами и эффективным уменьшением потока радионуклидов на пути к человеку.

Экономическая эффективность производства зеленой массы многолетних трав, выращенных на опытных делянках, осуществлялась по стоимости 1 кормовой единицы и их фактического содержания в продукции. Во время расчётов использовались данными за 2010 год. В то время стоимость 1 т калийных удобрений составляла 295,0 тыс. руб и их внесение 147,5 тыс. руб., соответственно фосфорных – 2563,6 и 206,5 тыс. руб, азотных – 1799,5 и 236,0 тыс. руб. Затраты на уборку, доработку и реализацию прибавки урожая, полученной за счет применения удобрений, находились на уровне 67,9 тыс. руб. на 1 тонну.

Показатели экономической эффективности оптимальных соотношений доз минеральных удобрений для многолетних злаковых и бобово-злаковых травосмесей были сведены в таблицы 4.2.12 и 4.2.13.

Таблица 4.2.12. – Экономическая эффективность применения минеральных удобрений при возделывании многолетних злаковых трав на торфяной почве (среднее за 2008–2010 гг.) в ценах на 06. 2010 г.

Доза удобрений	Урожайность сена, ц/га	Прибавка урожая, ц/га	Окупаемость 1 кг NPK, к. ед.	Стоимость прибавки урожая, тыс. руб	Затраты тыс. руб на 1 га	Прибыль, тыс. руб. на 1 га	Рентабельность, %
Без удобрений	37,4	–	–	–	–	–	–
$N_{30}P_{60}K_{120} + Cu_{200}$ г/га	90,7	53,3	15,5	543,6	411,3	132,3	32
$N_{60}P_{90}K_{180} + Cu_{200}$ г/га	112,3	74,9	14,7	764,1	625,2	138,9	22
$N_{60}P_{90}K_{240} + Cu_{200}$ г/га	118,5	81,1	12,2	827,1	661,5	165,6	25

Показано, что при совместном внесении дополнительных доз азота (30 кг/га д.в.), фосфора (30 кг/га д.в.) и калия (60 и 90 кг/га д.в.) на фоне $N_{30}P_{60}K_{120} + Cu_{200}$ г/га прибавка урожая злакового сена увеличивается на 21,6–27,8 ц/га и она способствует получению дополнительной прибыли с 1 га в размере 6,6–33,3 тыс. руб. Поэтому наиболее оптимальными дозами минеральных удобрений является внесение туков в соотношении $N_{60}P_{90}K_{180}$ и $N_{60}P_{90}K_{240}$ без поддерживающего известкования, но с внесением меди в дозе 200 г/га, что

обеспечивает получение рентабельности на уровне 22–25 % и чистого дохода в количестве 138,9–165,6 тыс. руб. с 1 га.

Применение удобрений под бобово-злаковую травосмесь более выгодно при соотношении туков $N_{30}P_{50}K_{200}$, которое обеспечивает увеличение выхода чистого дохода по сравнению с дозами $N_{30}P_{50}K_{120}$ и $N_{60}P_{90}K_{280}$ на 76,1 и 33,3 тыс. руб. соответственно. Рентабельность производства зеленого корма при внесении $N_{30}P_{50}K_{200}$ под бобово-злаковую травосмесь на торфяной почве составила 22,1 %.

Таблица 4.2.13. – Экономическая эффективность применения минеральных удобрений при возделывании бобово-злаковой травосмеси на торфяной почве (среднее за 2009–2010 гг.) в ценах на 06. 2010 г.

Доза удобрений	Урожайность сена, ц/га	Прибавка урожая, ц/га	Окупаемость 1 кг НРК, к. ед.	Стоимость прибавки урожая, тыс. руб	Затраты тыс. руб на 1 га	Прибыль, тыс. руб. на 1 га	Рентабельность, %
$CaCO_3$ (5т/га)	328,8	–	–	–	–	–	–
$N_{30}P_{50}K_{120} + CaCO_3$ (5т/га)	452,5	123,7	13,0	475,1	432,6	42,5	9,8
$N_{30}P_{50}K_{200} + CaCO_3$ (5т/га)	499,3	170,5	12,8	654,9	536,3	118,6	22,1
$N_{60}P_{90}K_{280} + CaCO_3$ (5т/га)	571,7	242,9	11,9	933,0	847,7	85,3	10,1

Таким образом, на основании полученных экспериментальных данных на территории радиоактивного загрязнения, для практического использования можно рекомендовать следующее. При возделывании многолетних злаковых и бобово-злаковых травосмесей на загрязненных радионуклидами торфяных почвах с оптимальной обеспеченностью подвижным фосфором (300–500 мг/кг) для получения высокого урожая (525 ц/га зеленой массы) эффективно внесение фосфора в дозе 50–60 кг/га д.в. На торфяных почв с обеспеченностью калием 600–1000 мг/кг целесообразно применять калийные удобрения в дозе 180–200 кг/га д.в. Экономически оправдано внесение азотных удобрений в количестве 30 кг/га д.в. под бобово-злаковые травосмеси и 60 кг/га д.в. – под злаковые травосмеси.

Для улучшения продуктивных качеств торфяной маломощной почвы, характеризующейся слабокислой реакцией почвенной среды, эффективно поддерживающее известкование почвы в дозе 5 т/га $CaCO_3$.

После внесения удобрений в дозе $N_{60}P_{90}K_{180} + Cu$ под многолетние злаковые травы возможно снижение поступление цезия-137 до 10,4 раза, стронция-90 – до 1,7 раза. В случае применения под бобово-злаковые

травосмеси удобрений в дозе $N_{30}P_{50}K_{200} + CaCO_3$ можно ожидать снижение накопления в растениях цезия-137 в 2,6 раза, стронция-90 – в 1,6 раза.

Во время составления прогнозов накопления радионуклидов в урожае травосмесей можно использовать установленные в результате исследований коэффициенты перехода, дифференцированные по обеспеченности торфяных почв калием для цезия-137 и реакции почвенной среды для стронция-90.

При ведении кормопроизводства на торфяных почвах с оптимальными для культур агрохимическими показателями, зеленая масса (сено) злаковых травосмесей может быть использована для получения молока цельного (РДУ по ^{90}Sr 3,7 Бк/кг) при плотности загрязнения стронцием-90 до 2,3 (3,5) Ки/км², бобово-злаковых травосмесей – до 1,1 (1,7) Ки/км². На менее плодородных почвах, где агрохимические показатели ниже оптимальных, ограничения возделывания трав по плотности загрязнения почвы стронция-90 увеличиваются в 2–3 раза. Для получения молока цельного (РДУ по ^{137}Cs 165 Бк/кг) рекомендуется использовать зеленую массу (сено) злаковых травосмесей при плотности загрязнения почвы цезием-137 до 9,9 (16,7) Ки/км², бобово-злаковых травосмесей – до 15,9 (26,9) Ки/км².

4.3. Структура посевных площадей сельскохозяйственных предприятий с высоким удельным весом торфяных почв

4.3.1. Влияние структуры посевных площадей на радиологическое качество продукции растениеводства

Территория Беларуси характеризуется широким распространением болот и заболоченных земель. Торфяные почвы различных типов и с разной мощностью торфа занимают 754 432 га, из них на сенокосы и пастбища приходится 518 064 га или 25,9 % общей площади сенокосов и пастбищ (таблица 4.3.1.). Под пашней находится 236 368 га торфяно-болотных почв или 5,2 % от общей площади пашни (Смеян Н.И., и др., 1989).

Таблица 4.3.1. – Распределение земель Республики Беларусь, га

Область	Всего пахотных земель, га	Торфяно-болотные		Всего сенокосов и пастбищ, га	Торфяно-болотные	
		га	%		га	%
Брестская	717767	70501	9,8	365263	108534	29,7
Витебская	695001	6014	0,9	414047	34160	8,3
Гомельская	670630	56054	8,4	315991	94173	29,8
Гродненская	676894	1679	0,2	277878	78830	28,4
Минская	1112135	100951	9,1	390427	162073	41,5
Могилевская	697333	1169	0,2	239218	40294	16,8
Итого по РБ	4569760	236368	5,2	2002824	518064	25,9

В результате аварии на Чернобыльской АЭС более 500 тыс. га торфяно-болотных почв Белорусского Полесья подверглось загрязнению радионуклидами (таблица 4.1.1.) (Богдевич И.М. и др., 2003). Торфяные и торфяно-песчаные почвенные комплексы, загрязненные радионуклидами, являются наиболее критическими для получения сельскохозяйственной продукции с допустимыми уровнями загрязнения радионуклидами. Это связано особенностями морфологического и генетического строения этих почв, водно-физическими и агрохимическими свойствами.

Как уже было показано, мелиорированные торфяные почвы – это сложная почвенная система, на которой сельскохозяйственные земли различаются между собой не только водным режимом (от подтапливаемых участков в низовьях системы до пересушенных в верховьях), но и агрохимическими свойствами и содержанием органического вещества (от 10 % в верховьях до 70–80 % в низовьях). На возвышенных участках мезо- и микрорельефа могут преобладать песчаные почвы, а в микропонижениях – торфяные. Поэтому в пределах поля загрязнение растений радионуклидами может сильно варьировать. Ситуация может осложняться тем, что масса торфяников уже используется в сельскохозяйственном производстве по 30–40 и более лет, и мелиоративные системы не могут обеспечивать оптимальные уровни грунтовых вод, при которых переход радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию минимален. Вместе с тем система земледелия на торфяно-песчаных почвенных комплексах с высоким уровнем загрязнения радионуклидами должна учитывать эти особенности мелиоративных систем и обеспечивать высокую их продуктивность.

В Беларуси принимались на уровне государства Государственная программа возрождения и развития села на 2005–2010 гг., при реализации которой предусматривалось повысить продуктивность мелиорированных земель до уровня 44 ц к.ед./га, в том числе – на пашне до 52–55 ц к.ед./га, а на сенокосах и пастбищах до 32–34 ц к.ед./га.

Для решения этой важной задачи потребовалась разработка и внедрение на этих землях новых высокопродуктивных, ресурсосберегающих, экологически безопасных технологий и систем кормопроизводства, основанных на подборе менее энергоемких культур, рационального их сочетания и отработки режимов использования в севооборотах, современных приемов интенсификации возделывания с учетом требований адаптивного земледелия.

Вышеперечисленные причины обуславливали необходимость разработки рекомендаций по оптимизации видового состава кормовых культур и созданию севооборотов на осушенных торфяных почвах в зависимости от содержания органического вещества и УГВ, обеспечивающих эффективное использование этих земель в условиях высокого уровня загрязнения почв радионуклидами.

В условиях Беларуси РУП «Институт мелиорации» в течение многих лет проводил исследования по оптимизации структуры видового состава

кормовых культур в зависимости от водных и агрохимических свойств почв, экономических характеристик культур и потребностей сельскохозяйственных предприятий в кормах. Так, при содержании в торфяной почве органического вещества 10–30 % и УГВ от 0,5–1,2 м рекомендовалось возделывание в севооборотах в качестве одного из наборов кормовых культур: однолетних бобово-злаковых смесей, подсолнечника, картофеля, галеги, кукурузы на зеленый корм, злаковых трав, клевера, люцерны, донника, редьки масличной, озимой ржи, озимого тритикале, ярового тритикале, ячменя, овса (Смеян Н.И. и др., 2005; Лученок Л.Н., 2007; Белковский В.И. и др., 2001) (Валетов В.В., 2013, 2014). Однако эти рекомендации не учитывали биологические особенности культур по накоплению радионуклидов на торфяных почвах. Тем не менее разработки и рекомендации института мелиорации (2007) по использованию торфяных почвенных комплексов Полесья подходили для использования в качестве базы при разработке предложений по оптимизации структуры посевных площадей организаций с высоким удельным весом загрязненных радионуклидами торфяных почв с учетом их специализации.

Для оптимизации структуры посевных площадей была проведена работа по подбору на загрязненной территории сельскохозяйственных организаций с высоким удельным весом торфяных почв.

Критериями подбора сельскохозяйственных организаций служили:

- высокий удельный вес загрязненных ^{137}Cs более 1 Ки/км² торфяных почв (не менее 30 %);
- использование торфяных почв для возделывания различных сельскохозяйственных культур (многолетние травы, пропашные, зерновые и др.);
- наличие кормов с высокими уровнями содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr (с превышающими допустимые или близкими к допустимым);
- низкие показатели эффективности сельскохозяйственного производства.

Анализ наличия и использования торфяных почв в сельскохозяйственных организациях Гомельской области свидетельствовал, что в наиболее загрязненных радионуклидами районах, Брагинском, Буда-Кошелевском, Ветковском, Добрушском, Кормянском, Наровлянском, Хойникском и Чечерском, торфяные почвы преимущественно использовались под многолетние травы и луга. Например, в Брагинском районе насчитывалось около 10 тысяч гектаров загрязненных радионуклидами осушенных торфяных земель, 50 % которых – мелкозалежные торфяники с глубиной до 1 м. Они преимущественно использовались под многолетние травы (693 га) и луговые угодья (9224 га), на остальной площади (255 га) размещались зерновые культуры с подсевом трав. При этом в хозяйствах района, в большинстве случаев специализирующихся на производстве зерна и кормопроизводстве, где имелись торфяные почвы, систематически регистрировались превышения допустимых уровней содержания ^{137}Cs в кормах. Объемы производства кормов с превышением допустимых уровней составили, например, в 2006 году по Брагинскому району 1000 т сена, 4120 т сенажа, 7700 т силоса, 2240 т

пастбищной травы. Использование таких кормов приводило к производству молока с удельной активностью ^{137}Cs до 298 Бк/кг.

Несмотря на большие объемы перезалужения и проведение агрохимических защитных мер, в ряде хозяйств Гомельской области производились корма и продукция растениеводства и животноводства с превышением допустимых уровней ^{137}Cs . В их число входили хозяйства Брагинского, Буда-Кошелевского, Ветковского, Добрушского, Ельского, Калинковичского, Лельчицкого, Лоевского, Мозырского, Наровлянского, Речицкого и Хойникского районов не только с высокой плотностью загрязнения ^{137}Cs , но и со значительным удельным весом торфяных почв. В них максимальные значения удельной активности ^{137}Cs в сене в 2003–2007 годах достигали 8347 Бк/кг в Добрушском районе, 7460 Бк/кг в Ветковском районе, что почти в 6 раз и более превышало допустимый уровень в сене для получения цельного молока. Отдельные партии зернофуража имели удельную активность ^{137}Cs до 280 Бк/кг, что было в 3,5 раза выше допустимого уровня (таблица 4.3.2.).

Таблица 4.3.2. – Максимальная удельная активность ^{137}Cs в кормах среди районов Гомельской области в период с 1997 по 2007 гг., Бк/кг

Наименование района	1997–1999 гг.		2000–2002 гг.		2003–2007 гг.	
	сено	зернофураж	сено	зернофураж	сено	зернофураж
Брагинский	24284		4850		1633	
Б-Кошелевский	2285		5665	1029	3911	
Ветковский	2020	428	5508	177	7460	239
Гомельский		268				
Добрушский	9289		6374	196	8347	
Ельский	2798		3854		3196	
Житковичский			3405		1407	
Жлобинский			1656	227		
Калинковичский	1544		2362	231		283
Кормянский					5159	
Лельчицкий	2580		3456	537	2458	
Лоевский	2246		3015	180		
Мозырский	10870		6577		5650	
Наровлянский	6046		8137	157	5132	
Речицкий	2723	352	1993	717	1481	
Рогачевский	2821		1763		2100	
Светлогорский	2843	257	5593	246		
Хойникский	6260	278	8881	870	2899	
Чечерский			9159		7253	
Область	24284	428	9159	1029	8347	283

Максимальные показатели удельного содержания цезия-137 в кормах выявлялись преимущественно в тех хозяйствах, где имелись торфяные почвы. Высокий удельный вес торфяных почв, а также уровни загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr

продукции растениеводства и кормов с КСУП «Скороднянский» и КСУП «Коммунист» Ельского района соответствовали критериям подбора, что позволило выделить их для проведения работы по оптимизации структуры посевных площадей.

Содержание ^{137}Cs , в период 2000-2007 гг. в КСУП «Скороднянский», в сене доходило до 2340 Бк/кг, силосе – до 1479 Бк/кг и в пастбищной траве – до 1188 Бк/кг, что превышало РДУ (табл. 4.3.3.)

Таблица 4.3.3. – Удельная активность ^{137}Cs в кормах хозяйств Ельского района, Бк/кг

Продукция	КСУП «Коммунист»	КСУП «Скороднянский»
Годы наблюдений 2000–2002		
Сено	115–966	180–2303
Зернофураж	33–105	33–58
Трава пастбищная	77–500	46–1188
Силос	39–277	51–1479
Свекла кормовая	33	36–38
Годы наблюдений 2003–2007		
Сено	37–1730	19–2340
Зернофураж	29–39	28–47
Трава пастбищная	12–249	12–463
Силос	7–177	9–910

Высокие уровни загрязнения кормов ^{137}Cs установлены и в КСУП «Коммунист». В сене удельная активность цезия-137 достигала 1730 Бк/кг, в пастбищной траве – 500 Бк/кг (РДУ 165 Бк/кг), в силосе – 277 Бк/кг (РДУ 240 Бк/кг). В 2000, 2001, 2005 годах в КСУП «Коммунист» отмечалось превышение РДУ содержания в зерне овса ^{90}Sr – от 12 Бк/кг до 14, 5 Бк/кг вместо 11 Бк/кг по нормативу.

В отдельных сопряженных пробах зерновых культур, отобранных в 2008 году сотрудниками лаборатории радиэкологии торфяных почв, в КСУП «Скороднянский», удельная активность ^{137}Cs в зерне ячменя находилась в пределах 97–139 Бк/кг, ^{90}Sr в зерне овса не превышала 16,9 Бк/кг, в зерне тритикале – (14,8 Бк/кг, в зерне озимой ржи – 10,3 Бк/кг).

Анализ показателей почвенного плодородия в хозяйствах свидетельствовал о необходимости проведения агрохимических мероприятий, направленных на повышение плодородия почв и снижение содержания радионуклидов в растениях.

В КСУП «с-з Коммунист» в составе почв удельный вес торфяных почв доходил до 58 %. Бал пашни составлял 29,4, кормовых угодий – 36,0.

Торфяные почвы по показателю обменной кислотности относились к IV группе обеспеченности – слабокислые (5,01–5,50). Средневзвешенное содержание подвижного фосфора среднее (301–500 мг/кг), подвижного калия на улучшенных сенокосах – низкое (201–400 мг/кг), на пашне, осушенных

улучшенных сенокосах – среднее (401–600 мг/кг). Средневзвешенное содержание меди на пашне среднее (5,10–9,09 мг/кг) и низкое на улучшенных сенокосах и пастбищах (менее 5,09 мг/кг).

В КСУП «Скороднянский» в составе почв хозяйства торфяные почвы занимали до 48 %. Балл пашни – 21,1, кормовых угодий – 27,0. Почвы хозяйства характеризуются низким плодородием. Средневзвешенные показатели pH_{KCl} на пашне – 5,66; улучшенных сенокосах – 5,50; улучшенных пастбищах – 5,33; интенсивно используемых сельскохозяйственных угодьях – 5,64. Обеспеченность почв подвижным фосфором на пашне – 251–400 мг/кг (V группа). Средневзвешенное содержание фосфора на кормовых угодьях низкое – 78 мг/кг, гумуса на пашне – 2,67 %. Площади с оптимальными параметрами по содержанию гумуса на пашне составляли 263 га (15,8 %).

Средневзвешенное содержание меди на пашне – 1,98 мг/кг, сенокосах и пастбищах – 1,44 мг/кг. Около 55,7 % сенокосов и пастбищ характеризовались низким содержанием меди в почвах. Примерно 83,2 % пашни и 100 % многолетних насаждений относились ко второй группе обеспеченности почв медью.

Также как и в КСУП «Коммунист» все сельскохозяйственные угодья КСУП «Скороднянский» расположены на равнинных землях без ярко выраженных элементов мезорельефа.

По данным агрохимического и радиологического обследования в рассматриваемых сельхозорганизациях торфяные почвы находились на различных стадиях трансформации. Их основная часть имела мощность торфа более 0,3 м, с содержанием $OB < 20 \%$.

Выборочный анализ кормовой базы организаций свидетельствовал о невысокой кормовой ценности заготавливаемых кормов. Так, из 19 проб, отобранных из заготовленного силоса в КСУП «Скороднянский» 2 пробы относились ко II классу, 5 – к III классу, остальные – не удовлетворяли показателям качества, 3 пробы сена удовлетворяли требованиям только II класса. В КСУП «Коммунист» из 39 проб силоса 28 соответствовали II и III классу (16 и 12, соответственно), сено злаковых трав – преимущественно II классу (10 проб), естественных сенокосов – III классу (13 проб).

4.3.2. Подбор эффективных кормовых культур

С учетом имеющейся системы признаков и критериев формирования эффективной структуры видового состава кормовых культур и анализа почвенных разновидностей, их гидрологических и агрохимических свойств были предложены перечни наиболее продуктивных кормовых культур для существующих условий хозяйств. При этом учитывались следующие факторы: уровень грунтовых вод, содержание органического вещества в пахотном горизонте.

В КСУП «Коммунист» отмечалась очень высокая пестрота земель по агрохимическим показателям. Поэтому эта особенность учитывалась, при расчете доз удобрений под планируемую урожайность возделываемых кормовой культуры, на основе методов почвенной диагностики (Семененко Н.Н., Журавлев В.А., 2005). Аналогичная ситуация была характерна и для вносимых в почву необходимых микроэлементов (медь и др.). Перечень кормовых культур предложенных для данного хозяйства с учётом его условий приведён в таблице 4.3.4.

Таблица 4.3.4. – Перечень культур эффективных в заданных условиях увлаженности угодий и содержания ОВ в пахотном горизонте КСУП «Коммунист»

УГВ < 0,5 м			
ОВ от < 10 до 50 %			
Многолетние злаковые травы и/или их смеси, способные переносить длительные периоды затопления			
ОВ < 10% (ОВ < 5%)*	ОВ 10–30% (ОВ 5–20%)*	ОВ 30–50% (ОВ 20–50%)*	ОВ > 50%
0,5 м < УГВ < 1,2 м			
однолетние бобово-злаковые смеси люпин кукуруза (на зел. корм и/или зерно) донник лядвенец люцерна озимая рожь озимое тритикале овес ячмень просо (на зел. корм и/или зерно) редька масличная (или др. крестоцветные) суданская трава	злаковые травы бобово-злаковые травосмеси клевер люцерна лядвенец галега донник кукуруза (на зел. корм и/или зерно) пайза однолетние бобово-злаковые смеси оз. рожь оз. тритикале яр. тритикае ячмень овес просо (на зел. корм и/или зерно) редька масличная (или др. крестоцветные) озимый рапс подсолнечник картофель	злаковые травы лядвенец люцерна галега кукуруза (на зел. корм и/или зерно) пайза бобово-злаковые смеси клевер яр. пшеница оз. тритикале яр. тритикале оз. рожь ячмень овес редька масличная (или др. крестоцветные) картофель корнеплоды	злаковые травы лядвенец галега кукуруза (на зел. корм и/или зерно) бобово-злаковые смеси яр. пшеница оз. тритикале яр. тритикале оз. рожь ячмень овес редька масличная картофель

1,2 м < УГВ < 2,0 м			
люцерна кукуруза (на зел. корм и/или зерно) люпин донник бобово-злаковые смеси просо (на зел. корм и/или зерно) озимая рожь озимое тритикале редька масличная	люцерна лядвенец кукуруза (на зел. корм и/или зерно) эспарцет бобово-злаковые смеси просо (на зел. корм и/или зерно) яр. тритикале оз. рожь оз. тритикале люпин редька масличная рапс озимый подсолнечник картофель	люцерна лядвенец галега кукуруза (на зел. корм и/или зерно) клевер бобово-злаковые смеси просо (на зел. корм и/или зерно) люпин оз. рожь яр. пшеница оз. пшеница оз. тритикале яр. тритикале ячмень овес редька масличная рапс озимый подсолнечник эспарцет картофель	лядвенец галега кукуруза (на зел. корм и/или зерно) бобово-злаковые смеси просо (на зел. корм и/или зерно) яр. пшеница оз. пшеница оз. тритикале яр. тритикале оз. рожь ячмень овес редька масличная подсолнечник картофель

* – градация постторфяных почв по кодам почвенных разновидностей агрохимобследования

В группах культуры ранжированы по удельным энергетическим затратам на получение кормов из них, а также учитывалась объективная необходимость расширения площадей под бобовыми (Бурдук П.И. и др., 2007). Для каждой почвенной разновидности представлен набор видовой состава культур, которые могут возделываться при данных гидрологических и агрохимических условиях.

Многолетние данные стационаров показывают, что при соблюдении адаптивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур к гидрологическим и агрохимическим условиям поля (структура посевных площадей, севообороты, системы удобрений и обработки) и достаточном уровне интенсификации даже на минерализованных торфяных почвах с содержанием органического вещества менее 30 % продуктивность кормовых культур может быть на уровне 8–10 т кормовых единиц с гектара, а их выращивание – экономически обосновано. Это позволяет для таких угодий разрабатывать эффективную структуру посевных площадей и использовать ее не только под многолетними травами (Мееровский А.С. и др., 2002; Семененко Н.Н., Крот П.П., 2009).

С учетом внутрихозяйственных производственных условий для КСУП «Скороднянский» также был разработан перечень культур (таблица 4.3.5).

Таблица 4.3.5. – Перечень культур эффективных в заданных условиях увлаженности угодий и содержания ОВ в пахотном горизонте КСУП «Скороднянский»

УГВ < 0,5 м			
ОВ от <10 до 50%			
Многолетние злаковые травы и/или их смеси, способные переносить длительные периоды затопления			
ОВ < 10 % (ОВ < 5 %)*	ОВ 10–30 % (ОВ 5–20 %)*	ОВ 30–50 % (ОВ 20–50 %)*	ОВ > 50 %
0,5 м < УГВ < 1,2 м			
однолетние бобово-злаковые смеси люпин кукуруза (на зел. корм и/или зерно) донник лядвенец люцерна озимая рожь озимое тритикале овес ячмень просо (на зел. корм и/или зерно) редька масличная (или др. крестоцветные) суданская трава	злаковые травы бобово-злаковые травосмеси клевер люцерна лядвенец галега донник кукуруза (на зел. корм и/или зерно) пайза однолетние бобово-злаковые смеси оз. рожь оз. тритикале яр. тритикале ячмень овес просо (на зел. корм и/или зерно) редька масличная (или др. крестоцветные) озимый рапс подсолнечник картофель	злаковые травы лядвенец люцерна галега кукуруза (на зел. корм и/или зерно) пайза бобово-злаковые смеси клевер яр. пшеница оз. тритикале яр. тритикале оз. рожь ячмень овес редька масличная (или др. крестоцветные) картофель корнеплоды	злаковые травы лядвенец галега кукуруза (на зел. корм и/или зерно) бобово-злаковые смеси яр.пшеница оз. тритикале яр. тритикале оз. рожь ячмень овес редька масличная картофель

* – градация постторфяных почв по кодам почвенных разновидностей агрохимобследования

Таким образом, применение в практической работе вышеприведенных перечней культур расширит возможности для интенсификации сельхозпроизводства на антропогенно-преобразованных торфяных почвах после 30–50-летнего их использования путём расширения площадей под зерновыми культурами, кукурузой и т. д. При включении приведенных наборов культур в состав севооборотов могут быть созданы эффективные высокопродуктивные, насыщенные бобовыми и промежуточными культурами севообороты, которые позволят сформировать на их основе полноценное кормопроизводство.

4.3.3. Параметры накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в кормовых культурах и их зоотехническое качество

На основании анализа сопряженных проб торфяной почвы и злаковых трав различных видов установлено, что содержание ^{137}Cs в сене культурных сенокосов КСУП «Коммунист» и КСУП «Скороднянский» составляло от 14 до 670 Бк/кг, что соответствует допустимым уровням содержания радионуклидов в кормах для производства цельного молока (1300 Бк/кг).

Содержание ^{90}Sr в сене злаковых трав составляло 9–17 Бк/кг (РДУ 260 Бк/кг). Соответственно, коэффициенты перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr из торфяных почв в кормовые травы находились в пределах 0,25–8,35 Бк/кг: кБк/м² и 1,31–5,31 Бк/кг: кБк/м².

Установленные КП ^{90}Sr из почвы в растения (1,31–5,31) оказались в несколько раз ниже, чем коэффициенты перехода ^{90}Sr для многолетних трав естественных и улучшенных кормовых угодий на торфяных почвах, предоставленных в «Рекомендациях по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2003–2005 гг.» при $\text{pH}_{\text{КСЛ}}$ больше 4,7 (11,00–14,40). Одновременно они имели такие же значения, что и полученные в других исследованиях в период 2006–2007 гг. в условиях Гомельской области (2,30–2,63).

Удельная активность ^{90}Sr в зерне (овес, тритикале, ячмень, рожь, просо) колебалось в пределах 0,64–3,53 Бк/кг (РДУ 11 Бк/кг), а диапазон КП – 0,23–1,91.

Удельное содержание ^{137}Cs в зерне находилось от 2,7 до 10,9 Бк/кг (РДУ 90 Бк/кг), а коэффициенты перехода ^{137}Cs из торфяных почв различных разновидностей – 0,01–0,07.

Удельная активность ^{137}Cs в зеленой массе кукурузы составила 5,90–53,90 Бк/кг (РДУ 165 Бг/кг), коэффициенты перехода – 0,11–0,89. Содержание ^{90}Sr в зеленой кукурузе находилось в пределах 7,75–20,90 Бк/кг (РДУ 37 Бк/кг), КП – 2,28–7,72.

Удельная активность ^{137}Cs в картофеле не превышала 2,7 Бк/кг (РДУ 160 Бк/кг), ^{90}Sr – 0,96 Бк/кг (РДУ 37 Бк/кг). Удельная активность зеленой массы пайзы составила 158 Бк/кг, ^{90}Sr – 13,30 Бк/кг.

Значения КП ^{137}Cs в звене миграции почва-зерно в период 2006–2008 гг. по Гомельской области были в 2–12 раз выше, чем аналогичные показатели в 2009 году по Ельскому району, картофеля – в 3 раза. И, наоборот, в 2009 году КП ^{90}Sr у кукурузы, картофеля и ячменя по Ельскому району оказались выше средних значений по области за предыдущие три года (таблица 4.3.6).

Таблица 4.3.6. – Показатели миграции ^{137}Cs , ^{90}Sr из почвы в зерно (влажность 14 %), картофель и кукурузу в 2006–2008 гг. (в среднем по Гомельской области) и 2009 году (Ельский район)

Культура	КП ^{137}Cs		КП ^{90}Sr	
	2006-2008 гг.	2009 г.	2006-2008 гг.	2009 г.
Овес	0,38±0,14	0,03	0,93±0,32	0,63 (0,48–0,78)
Пшеница	0,24±0,17	–	0,32±0,12	–
Тритикале	0,11±0,05	0,05 (0,03–0,07*)	0,87±0,33	0,44 (0,23–0,64)
Ячмень	0,45±0,23	0,18	0,63±0,16	1,91
Рожь	0,15±0,09	0,04 (0,01–0,07)	0,83±0,37	0,66 (0,33–1,04)
Просо	–	0,04		1,88
Кукуруза	0,09±0,02	0,37 (0,11–0,89)	0,37±0,07	4,38 (2,28–7,72)
Картофель	0,16±0,04	0,05	0,09±0,02	0,32

* – диапазон значений КП ^{137}Cs , ^{90}Sr

Итак, на основании результатов исследований в КСУП «Коммунист» и КСУП «Скороднянский» Ельского района на загрязненных торфяных почвах различной мощности показано, что на них оправдано возделывание многолетних злаковых трав, зерновых. С целью получения качественных кормов на почвах данного типа и соответствующих радиологическим стандартам необходимо тщательно подбирать ботанический состав травостоев. Для получения стабильных урожаев требуется внесение оптимальных доз, соотношений минеральных удобрений с таким расчетом, чтобы не допускалось переизвесткование почв, повышенное содержание подвижного калия и фосфора или, наоборот, низкого их содержания. Для этих организаций рекомендовано проводить возделывание таких культур, как пайза и донник, так как экспликация плотности загрязнения сельскохозяйственных земель ^{137}Cs не превышает 1–5 Ки/км² и ^{90}Sr – 0,15–0,30 Ки/км². Использование указанных культур позволит организовать обеспечение животных в весенне-летне-осенний период кормами для гарантированного получения продукции животноводства, соответствующей нормативным показателям.

Во время проведения исследований изучались как радиометрические показатели, так и питательное достоинство кормов. Оказалось, что сено многолетних злаковых трав, отобранное на элементарных участках обоих хозяйств, по ряду химических и кормовым показателям не соответствовало предъявляемым к данному виду корма требованиям. Так, сено многолетних злаковых трав по содержанию кальция, калия, фосфора, клетчатки, углеводов, протеина не отвечало нормативам. По содержанию кальция оно относилось к 1–2 классу.

Содержание кальция и магния в зерне установлено высоким, что связано с повышенным содержанием обменного кальция (IV группа обеспеченности) и обменного магния в почве. Содержание калия в зерне (овес, рожь, просо, ячмень, тритикале) было близким к оптимальным показателям.

Содержание фосфора в зерне либо превышало нормативы качества, либо содержало его незначительное количество. Это объяснялось его аналогичным содержанием в почве.

В зерне овса содержание клетчатки (91,60–107,05 г/кг), протеина (98,41–100,72 г/кг), углеводов (19,67–20,24 г/кг) было близко к оптимальным показателям качества. В зерне ячменя показатель протеинов (99,63 г/кг) соответствовал нормативам качества. В зерне ржи уровень клетчатки (24,20–37,40 г/кг) либо соответствовало оптимальным показателям, либо превышал их в 1,5 раза, содержание протеина (72,61–115,96 г/кг) было близко к оптимальному, углеводов (52,42–59,64 г/кг) – выше установленного норматива.

В зеленой массе пайзы содержание кальция, магния, калия, клетчатки, протеинов, углеводов, фосфора составляло соответственно 0,48; 0,58; 3,41; 84,35; 19,47; 6,01; 0,59 г/кг.

В зеленой массе кукурузы содержание кальция и магния было выше установленного норматива, что, по-видимому, обусловлено повышенным содержанием обменного кальция (IV–VI группа обеспеченности) и обменного магния (V группа) в торфяной почве. Содержание калия и фосфора в кукурузе близко к оптимальным показателям качества корма. Содержание клетчатки, протеина и углеводов либо выше, либо ниже установленного норматива.

Картофель не проходил установленный норматив по качеству корма. В его пробах кальций определялся до 7044 мг/кг, магния – до 1265 мг/кг, калия – до 1586 мг/кг, что указывает на высокое их содержание в почве или на V–VI группы обеспеченности данными элементами.

В сене донника первого года жизни показатели кальция, магния, калия, клетчатки, протеинов, углеводов, фосфора соответственно составляли 3,13; 0,16; 4,43; 61,45; 51,98; 11,84; 0,79 г/кг.

Результаты зоотехнического анализа показали, что сено тимopheевки луговой и разнотравья, отобранное в 2008 году, по ряду микроэлементов не соответствовало установленным нормативам. Так, в КСУП «Коммунист» в сене тимopheевки луговой количество железа составляло 76,5–85,0 мг/кг (при норме для первого и третьего классов 107–139 мг/кг), марганца – 65,7–69,3 мг/кг (88–115 мг/кг), меди – 2,6–3,1 мг/кг (8,4–10,9 мг/кг), цинка – 12,6–14,1 мг/кг (25–32 мг/кг), кобальта 0,03 мг/кг (0,04–0,06 мг/кг), йода 0,08–0,9 мг/кг (0,19–0,25 мг/кг). В разнотравье, отобранном в КСУП «Скороднянский», содержание микроэлементов составляло: меди – 117,6–119,4 мг/кг (при норме для первого и третьего классов 158–205 мг/кг), марганца – 44,9–88,2 мг/кг (118–154 мг/кг), меди – 7,4–13,0 мг/кг (2,3–3,0 мг/кг), цинка – 18,7–19,5 мг/кг (23–29 мг/кг). По содержанию кобальта и йода разнотравье относилось к первому и третьему классам, соответственно.

Итак, на основании результатов исследований в КСУП «Коммунист» и КСУП «Скороднянский» Ельского района на загрязненных торфяных почвах различной мощности показано, что почвы по агрохимическим показателям

очень пестры (от минимального до максимального содержания элементов), на них оправдано возделывание многолетних злаковых трав, зерновых. С целью получения качественных кормов на почвах данного типа и соответствующих радиологическим стандартам необходимо тщательно подбирать ботанический состав травостоев. Для получения стабильных урожаев требуется, на основании почвенной диагностики внесение оптимальных доз, соотношений минеральных удобрений и микроудобрений с таким расчетом, чтобы не допускалось переизвесткование, а также повышенное содержание подвижного калия и фосфора или, наоборот, низкого их содержания в почве.

Для этих организаций рекомендовано проводить возделывание таких культур как пайза и донник, так как экспликация плотности загрязнения сельскохозяйственных земель ^{137}Cs не превышает $1\text{--}5 \text{ Ки/км}^2$ и $^{90}\text{Sr} = 0,15\text{--}0,30 \text{ Ки/км}^2$. Использование указанных культур позволит организовать обеспечение животных в весенне-летне-осенний период кормами для гарантированного получения продукции животноводства, соответствующей нормативным показателям.

4.3.4 Оптимизация структуры посевных площадей

Рассматривая структуру посевных площадей и специализацию сельскохозяйственного производства, следует подчеркнуть, что они всегда взаимосвязаны и взаимозависимы. Не может быть сформирована структура посевных площадей без учета специализации, как и на специализации, отражаются особенности структуры посевных площадей.

КСУП «Коммунист» специализируется на молочно-мясном направлении. По состоянию на 01.01.2009 года в хозяйстве имелось молочно стада 1443 головы, КРС на откорме 3441 голова и 327 голов свиней. Средняя продуктивность молочно стада составляла 4382 л в год, суточный привес КРС – 548 г, свиней – 223 грамма. Для содержания имеющегося поголовья скота необходимо производить на пашне и сенокосно-пастбищных угодьях около 160 тыс. ц к.ед. в год. Сложившаяся за предыдущие три года в хозяйстве структура посевных площадей обеспечивала получение 229,3 тыс. ц к. ед. (в т. ч. на пашне – 126 тыс. ц к. ед.).

В имеющейся структуре посевных площадей озимые зерновые культуры занимали около 40 %, яровые зерновые – 14,9 %, пропашные – 38,1 % от всех пахотных земель (3231 га). На площади 1140 га (35,3 % от всех пахотных земель) возделывалась кукуруза на зерно и зеленую массу. В структуре посевов практически отсутствовали однолетние травы, а многолетние травы на сено и зеленую массу занимали всего 2,5 % (81 га). За счет возделываемых культур на пашне ежегодно хозяйство получало до 125 тыс. ц к. ед. В хозяйстве имелось 3273 га сенокосно-пастбищных угодий, из них 34,2 % естественные и 65,8 % улучшенные, которые обеспечивали получение до 103 тыс. ц к. ед. ежегодно. Наличие объемов кормов указывали на имеющиеся

возможности в перспективе увеличить поголовье скота и повысить его продуктивность. Однако для достижения этих целей следовало повысить питательность заготавливаемых кормов, так как они не соответствовали требованиям по качественным показателям. Поэтому было решено улучшить качественные показатели кормов путём внесения изменений в структуру посевных площадей.

Как было показано, пахотные земли в хозяйстве примерно на 50 % состоят из торфяных почв различного генезиса и с разной мощностью торфяной залежи. На торфяных почвах возделывается весь спектр сельскохозяйственных культур, среди которых как зерновые, так и пропашные культуры. Однако, Национальная стратегия в использовании торфяных почв, и прежде всего маломощных, нацеливает на то, чтобы в перспективе полностью исключить возделывание на них зерновых и пропашных культур, заменив их высокопродуктивными однолетними и многолетними травами длительного пользования. Такое направление в использовании торфяных почв существенно должно сократить ежегодные потери органического вещества, значительно повысить их устойчивость к дальнейшей деградации, способствовать улучшению экологической обстановки и обеспечению сельскохозяйственного производства высококачественными травяными кормами. Это относится и региону Белорусского Полесья, где в основном сосредоточены массивы этих полей. Поэтому в соответствии с данной стратегией предусматривается вносить изменения в специализацию размещенных на них хозяйствах, которые должны специализироваться на производстве молока и говядины преимущественно на травяных кормах.

На этом основании связи для КСУП «Коммунист» была разработана и предложена для внедрения новая структура посевных площадей (таблица 4.3.7).

Таблица 4.3.7. – Действующая и рекомендуемая структура посевных площадей для КСУП «Коммунист», %

Действующая структура		Рекомендуемая	
Озимые зерновые культуры	39,9	Озимые зерновые культуры	33
Яровые зерновые культуры	14,9	Яровые зерновые культуры	14
Пропашные культуры	38,1	Пропашные культуры	15
в т.ч. кукуруза	34,0	в т. ч. кукуруза	10
Технические культуры	4,6	Технические культуры	8
Однолетние травы	–	Однолетние травы	10
Многолетние травы	2,5	Многолетние травы (лядвенец, донник, люцерна, бобово-злаковые травосмеси)	20
Пожнивные и поукосные	17,3	Пожнивные и поукосные	18

В предложенной структуре площади озимых зерновых культур уменьшены на 7 %, пропашных – на 23 %, в том числе кукурузы – на 24 % и увеличены площади однолетних и многолетних трав до 25 %. Новая структура посевных площадей также позволяет увеличить выход кормовых единиц с 126 до 143 тыс. ц к. ед. (таблица 4.3.8).

Таблица 4.3.8. – Продуктивность пахотных земель с учетом предлагаемой структуры посевных площадей в КСУП «Коммунист»

Культуры	% в структуре посевных площадей	Площадь, га	Выход ц к. ед.
Озимые зерновые культуры	33	1067	28910
Яровые зерновые культуры	14	452	12140
Пропашные культуры	15	485	24829
в т.ч. кукуруза	10	323	18025
Технические культуры	8	258	5989
Однолетние травы	10	323	11628
Многолетние травы	20	646	40698
Пожнивные и поукосные	18	582	19555,2
Всего		3231	143749

КСУП «Скороднянский» специализируется на мясо-молочном направлении. По состоянию на 01.01. 2009 года в хозяйстве имелось молочное стадо в количестве 1285 голов, скота на откорме – 2524 головы (из них 183 головы мясной породы «Лимузин») и 64 головы свиней. Средняя продуктивность молочного стада составила 3616 л в год, суточный привес КРС – 593 г, свиней – 180 грамм. Для содержания имеющегося поголовья скота необходимо производить на пашне и сенокосно-пастбищных угодьях около 108 тыс. ц к. ед. в год. Сложившаяся за последние три года в хозяйстве структура посевных площадей обеспечивала получение 187 тыс. ц к. ед., в том числе на пашне 119 тыс. ц к. ед.

В имеющейся структуре посевных площадей озимые зерновые культуры занимали 32,8 %, яровые зерновые – 11,4 %, пропашные – 39,5 % от всех пахотных земель (3737 га). На площади 1340 га (35,8 % от всех пахотных земель) возделывалась кукуруза на зерно и зеленую массу. В структуре посевов практически отсутствовали однолетние травы. Многолетние травы на сено и зеленую массу занимали всего 13,3 % (513 га).

Так как более 40 пахотных земель расположено на торфяных почвах также и для этого хозяйства была разработана структура посевных площадей с учетом Национальной стратегии использования торфяных почв (таблица 4.3.9).

Таблица 4.3.9. – Действующая и рекомендуемая структура посевных площадей для КСУП «Скороднянский», %

Действующая структура		Рекомендуемая структура	
Озимые зерновые культуры	32,8	Озимые зерновые культуры	30
Яровые зерновые культуры	11,4	Яровые зерновые культуры	11
Пропашные культуры	39,5	Пропашные культуры	15
в т.ч. кукуруза	35,8	в т. ч. кукуруза	12
Технические культуры	3,0	Технические культуры	7
Однолетние травы	–	Однолетние бобово-злаковые травы и бобово-злаковые смеси	15
Многолетние травы	13,3	Многолетние травы (люцерна, бобово-злаковые травосмеси)	22
Пожнивные и поукосные	16,2	Пожнивные и поукосные	15

В рекомендуемой новой структуре посевных площадей предусмотрено снижение доли пропашных культур с 39,5 до 15 %, в том числе кукурузы с 35,8 до 12,0 %, и увеличение доли однолетних бобово-злаковых трав до 15 % и многолетних трав до 22,0 %. Внедрение данной структуры в хозяйстве позволяет обеспечить выход кормовых единиц с пахотных земель на уровне 117 тыс. ц к. ед. (таблица 4.3.10). С учетом имеющихся в хозяйстве сенокосно-пастбищных угодий (3284 га) суммарный выход кормовых единиц в год может достичь около 200 тыс. ц к. ед. Одновременно, из-за лучшего качества кормов рационов можно повысить продуктивность дойного стада КРС до 4300 г в год и суточный привес КРС на откорме до 650 г.

Таблица 4.3.10. – Продуктивность пахотных земель с учетом предлагаемой структуры посевных площадей в КСУП «Скороднянский»

Культуры	% в структуре посевных площадей	Площадь, га	Выход к.ед.
Озимые зерновые культуры	30	1158	29698
Яровые зерновые культуры	11	374	1211
Пропашные культуры	15	560	25087
в т. ч. кукуруза	12	448	23877
Технические культуры	7	262	5078
Однолетние травы	15	561	15147
Многолетние травы (лядвенец, донник, люцерна, бобово-злаковые травосмеси)	22	822	23057
Пожнивные и поукосные	15	561	17952
Всего		3737	117229

Таким образом, ввод в структуру посевных площадей многолетних трав позволит сохранить плодородие торфяных почв, а также обеспечит животных полноценными кормами в осенне-зимний период.

На основании результатов проведенных исследований были выполнены следующие выводы. На загрязненной территории Гомельской области при возделывании различных культур на торфяных почвах необходимо вносить минеральные удобрения под планируемую урожайность в зависимости от возделываемой кормовой культуры, основываясь на применении методов почвенной диагностики, так как почвы по агрохимическим показателям очень пестры по уровню плодородия. Минеральных удобрения требуется вносить в оптимальных дозах и соотношениях для создания качественных и стабильных урожаев, чтобы не отмечалось переизвесткования почв, повышенного содержания подвижного калия и фосфора или, наоборот, низкого их содержания.

При подборе травосмесей необходимо тщательно подбирать видовой состав трав, с учетом содержания органического вещества в почве ($OB < 10\%$, $10\% < OB < 30\%$, $30\% < OB < 50\%$, $OB > 50\%$), уровня грунтовых вод (УГВ менее 0,5 м; УГВ более 0,5 м, но менее 1,2 м; УГВ более 1,2 м, но менее 2,0 м) и коэффициентов перехода радионуклидов для того чтобы получать корма, соответствующие не только радиологическим стандартам, но и сбалансированные по питательным компонентам.

Для хозяйств с высоким удельным весом торфяных почв наиболее целесообразны структуры посевных площадей, существенным образом уменьшающие потери органического вещества и повышающие устойчивость торфяных почв к дальнейшей деградации. Получить такие структуры посевных площадей возможно путём сокращения доли пропашных и зерновых культур в действующих структурах и увеличения доли однолетних и многолетних бобово-злаковых травосмесей, что одновременно может обеспечить повышение продуктивности сельскохозяйственных животных за счет улучшения зоотехнического качества кормов.

4.4. Получение травяных кормов в пределах республиканских допустимых уровней содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr

4.4.1. Состояние сенокосов и пастбищ

В Беларуси сенокосы и пастбища на торфяно-болотных почвах занимают значительные площади. Наибольшее количество почв данного типа (66,5 %) расположено в Брестской, Гомельской и Минской областях. Большая их часть имеет мощность торфа менее 1 м, а 90 % торфяных почв Полесья подстилаются песчаными отложениями. Мелиорированные низинные торфяно-болотные почвы являются лучшими после дерново-карбонатных и дерново-подзолистых суглинистых почв. Концепция сохранения торфяных почв, сформированная в начале 70-х годов XX в., исходит из необходимости использования их преимущественно под многолетние травы, поддержания

водного режима и минерального питания в соответствии с требованиями возделывания многолетних злаковых и бобовых трав.

В результате аварии на Чернобыльской АЭС обширные площади торфяно-болотных почв Белорусского Полесья подверглось загрязнению радионуклидами. Весьма трудно получить урожай многолетних трав на торфяно-болотных почвах, с низким содержанием радионуклидов, пригодный для скармливания скоту и получения качественного молока и мяса без применения защитных мероприятий (контрмер). Это обусловлено как биологическими особенностями многолетних трав, которые накапливают радионуклиды в 10-20 раз больше, чем зерновые культуры, так и высокой адсорбционной способностью органического вещества и емкостью катионного обмена торфяно-болотных почв.

Массивы сенокосов и пастбищ на торфяно-болотных почвах, загрязненных ^{137}Cs , сосредоточены в Гомельской (33,1 тыс. га или 28 %), Могилевской (26,5 тыс. га или 47 %) и Брестской (16,0 тыс. га или 10 %) областях, а загрязненных ^{90}Sr – в Гомельской (31,4 тыс. га или 26,5 %) и Могилевской (1,5 тыс. га или 2,3 %) областях (таблица 4.4.1).

Таблица 4.4.1. – Распределение сенокосов и пастбищ на торфяно-болотных почвах Республики Беларусь по плотностям загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr , тыс. га (Богдевич И.М. и др., 2003)

Область	Плотность загрязнения ^{137}Cs , (Ки/км ²) кБк/м ²				
	(>1,0) >37	(1,0–5,0) 37–185	(5,0–15,0) 185–555	(15,0–40,0) 555–1480	(>40,0) >1480
Брестская	16,0	14,5	1,5	0,01	–
Витебская	–	–	–	–	–
Гомельская	33,1	29,6	2,7	0,5	0,3
Гродненская	3,5	3,4	0,1	–	–
Минская	10,2	9,9	0,3	–	–
Могилевская	26,5	26,0	0,5	–	–
По Беларуси	89,3	83,4	5,1	0,5	0,3
Область	Плотность загрязнения ^{90}Sr , (Ки/км ²) кБк/м ²				
	(>0,15) >5,55	(0,15–0,30) 5,55–11,1	(0,3–1,0) 11,1–37	(1,0–3,0) 37–111	(>3,0) >111
Брестская	0,4	0,4	–	–	–
Гомельская	31,4	16,3	14,4	0,7	0,02
Минская	0,1	0,1	–	–	–
Могилевская	1,5	1,2	0,3	–	–
По Беларуси	33,4	18,0	14,7	0,7	0,02

Важнейшим фактором сохранения высокой продуктивности (60–100 ц к. ед. в год) сенокосно-пастбищных угодий на торфяно-болотных почвах с минимальным накоплением радионуклидов ($K_{\text{п}} \text{ } ^{137}\text{Cs}$ – 2,0–2,3; $K_{\text{п}} \text{ } ^{90}\text{Sr}$ – 4,0–5,0) является обеспечение их высокого уровня почвенного плодородия и оптимальных агрохимических свойств путём применения агрохимических и агротехнических приемов их улучшения и эксплуатации (таблица 4.4.2).

Таблица 4.4.2. – Оптимальные параметры агрохимических свойств и показателей почвенного плодородия торфяно-болотных почв сенокосов и пастбищ

Агрохимические показатели	
Содержание органического вещества (зольность), %	75–80 (20–25)
Обменная кислотность $pH_{(KCl)}$	5,5–6,0
Подвижный K_2O , мг/кг	1000–1200
Подвижный P_2O_5 , мг/кг	800–1000
Степень насыщенности основаниями V , %	80–90
Индекс агрохимической окультуренности почв Иок.	0,9–1,0

Результаты агрохимического и радиологического обследования показали, что сенокосы и пастбища на кислых ($pH - 4,0-4,5$) торфяно-болотных почвах в Брестская области занимают – 1,6 %, в Могилевской – 2,2 % и Гомельской – 2,6 %, а на переизвесткованных почвах ($pH > 6,5$) соответственно – 4,9 %, 6,5 % и 5,2 %.

Наибольшее количество кислых почв имеется в следующих загрязненных радионуклидами районах: Гомельская область – Лельчицкий р-н – 13,2 %, Ельский – 7,9 %, Лоевский – 3,8 %; Брестская область – Столинский р-н – 8,1 %, Лунинецкий – 6,0 %; Могилевская область – Чериковский р-н – 3,2 %, Быховский – 1,1 % и переизвесткованных – Гомельская область: Добрушский р-н – 25,2 %, Гомельский – 21,7 % и Ветковский – 15,6 %; Брестская область: Дрогичинский р-н – 15,8 %, Барановичский – 14,3 %; Могилевская область: Краснопольский р-н – 57,7 %, Мстиславский – 41,9 % и Кричевский – 22,1 %.

Сенокосы и пастбища на торфяно-болотных почвах характеризуются средним содержанием фосфора от 293 мг/кг (Минская обл.) до 511 мг/кг (Гомельская обл.). В почвах улучшенных сенокосов и пастбищ показано уменьшение в Брестской, Витебской, Минской и Гродненской областях подвижного фосфора и только в почвах сенокосов и пастбищ Гомельской и Могилевской областей отмечено его повышение. Снижение содержания подвижного фосфора имело место в торфяно-болотных почвах сенокосов и пастбищ в четырех районах Гомельской области: Лельчицком (от 255 до 248), Ельском (от 319 до 301), Мозырском (от 330 до 322) и Светлогорском (от 280 до 275 мг/кг почвы). В Могилевской области снижение подвижного фосфора наблюдалось в Глусском (до 236), Краснопольском (до 244), Дрибинском (до 280) и Бельничском (до 289 мг/кг почвы).

Согласно результатам обследования произошло увеличение средневзвешенного содержания подвижного калия в торфяно-болотных почвах Гомельской области от 355 до 358, Брестской – от 340 до 342 и

Могилевской – от 375 до 378 мг/кг почвы. Вместе с тем, низко- и слабообеспеченные подвижным калием почвы (<400 мг/кг) занимают в Гомельской области 71,5 %, Брестской – 72,4 % и Могилевской – 86,1 % от общей площади всех сенокосов и пастбищ. Показано снижение средневзвешенного содержания подвижного калия в торфяно-болотных почвах следующих районов республики: Лоевский (200 мг/кг), Мозырский (246 мг/кг), Барановичский (230 мг/кг), Жабинковский (282 мг/кг), Осиповичский (225 мг/кг), Краснопольский (244 мг/кг).

Приведенные выше результаты исследований показали, что наблюдается пестрота в обеспеченности сенокосов и пастбищ на торфяно-болотных почвах подвижными формами фосфора и калия. В связи с этим дозы фосфорных и калийных удобрений на сенокосах и пастбищах должны дифференцироваться с учетом их обеспеченности фосфором и калием, плотности загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr , что позволит повысить их окупаемость прибавкой урожая, снизить производственные затраты и величины накопления радионуклидов в кормах.

4.4.2. Прогнозирование содержания радионуклидов в кормах

В Беларуси для уточнения радиационной обстановки и определения основных агрохимических показателей почв на сенокосно-пастбищных угодьях, расположенных на лугах различных типов, один раз в 4 года предусматривается проводить их радиологическое и агрохимическое обследование согласно «Крупномасштабному агрохимическому и радиологическому обследованию почв сельскохозяйственных угодий Беларуси: Методические указания» (Минск, 2001). По результатам обследования составляются картограммы угодий, в которых указывается их плотность загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr согласно градации и агрохимические показатели почв по каждому элементарному участку (Богдевич И.М. и др., 2003). Данные картограмм используются в практической работе, в том числе в прогнозировании поступления радионуклидов из почвы в растения. Для прогнозирования содержания радионуклидов в травяных кормах на торфяно-болотных почвах в пределах существующих нормативов необходимы следующие первичные данные:

- коэффициенты перехода (пропорциональности) радионуклидов в звене почва–растения (корма зеленая масса, сено, сенаж, силос);
- показатели почвенного, агрохимического и радиологического обследования сельскохозяйственных угодий хозяйства, имеющиеся в агрохимических паспортах хозяйств и картограммах областных проектно-изыскательских станций химизации;
- содержание подвижных форм K_2O в почве;

- величина обменной кислотности почвы $pH_{(КС)}$;
- тип почвы, мощность, ботанический состав и степень минерализации торфяного слоя.

Расчет уровня загрязнения продукции производится по формуле:

$УА = Kп \times П \times 37$, где $УА$ – удельная активность корма, Бк/кг;

$Kп$ – коэффициент перехода ^{137}Cs в зависимости от обеспеченности почвы калием или ^{90}Sr – от реакции почв;

$П$ – плотность загрязнения почв, Ки/км²;

37 – коэффициент пересчета Ки/км² в кБк/м².

Показатели коэффициентов перехода в звене миграции почва-растения характерные для торфяно-болотных почв (таблица 4.4.3 и 4.4.4) необходимые при прогнозировании можно почерпнуть их справочных пособий (Богдевич И.М. и др., 2005).

Таблица 4.4.3. – Коэффициенты перехода ^{137}Cs в звене миграции почва-корма в зависимости от обеспеченности подвижным калием торфяно-болотных почв (Бк/кг: кБк/м²)

Тип травостоя	Содержание подвижного калия, мг/кг почвы			
	<250	251–500	501–1000	>1000
Сено (влажность 16 %)				
Естественный злаково-разнотравный	27,76	17,72	10,60	9,54
Сеяный злаковый	7,99	4,85	3,37	3,05
Сеяный бобово-злаковый	7,20	4,36	3,03	2,74
Сенаж (влажность 55 %)				
Естественный злаково-разнотравный	14,84	9,48	5,67	5,10
Сеяный злаковый	4,27	4,16	3,14	2,85
Сеяный бобово-злаковый	3,84	3,75	2,83	2,55
Силос (влажность 75 %)				
Естественный злаково-разнотравный	8,26	5,27	3,16	2,84
Сеяный злаковый	2,38	1,44	1,00	0,90
Сеяный бобово-злаковый	2,14	1,29	0,91	0,82
Зеленая масса (влажность 82 %)				
Естественный злаково-разнотравный	5,96	3,80	2,27	2,05
Сеяный злаковый	1,71	1,04	0,72	0,65
Сеяный бобово-злаковый	1,54	0,95	0,65	0,60

Также в прогнозировании учитываются предельно допустимые плотности загрязнения почв радионуклидами.

Таблица 4.4.4. – Коэффициенты перехода ^{90}Sr в звене миграции почва-корма в зависимости от величины обменной кислотности торфяно-болотных почв (Бк/кг: кБк/м²)

Тип травостоя	pH(KCl)			
	<4,5	4,5–5,5	5,6–6,0	>6,0
Сено (влажность 16 %)				
Естественный злаково-разнотравный	20,00	16,51	14,40	13,68
Сеяный злаковый	16,35	14,55	11,00	10,45
Сеяный бобово-злаковый	23,70	21,09	15,95	15,16
Сенаж (влажность 55 %)				
Естественный злаково-разнотравный	10,69	8,83	7,70	7,32
Сеяный злаковый	8,74	7,78	5,88	5,60
Сеяный бобово-злаковый	12,67	11,28	8,53	8,12
Силос (влажность 75 %)				
Естественный злаково-разнотравный	5,95	4,91	4,29	4,07
Сеяный злаковый	4,87	4,33	3,27	3,10
Сеяный бобово-злаковый	7,06	6,27	4,74	4,50
Зеленая масса (влажность 82 %)				
Естественный злаково-разнотравный	4,28	3,54	3,08	2,93
Сеяный злаковый	3,50	3,12	2,36	2,24
Сеяный бобово-злаковый	5,08	4,52	3,45	3,25

Производимые корма должны соответствовать «Республиканским допустимым уровням содержания цезия-137 и стронция-90 в сельскохозяйственном сырье и кормах». Для того, чтобы такие корма производить необходимо предельно допустимую удельную концентрацию радионуклида в корме разделить на его коэффициент перехода из почвы в растение и получить предельную плотность загрязнения торфяно-болотной почвы, на которой планируется производить корм (таблица 4.4.5).

Таблица 4.4.5. – Ограничения плотности загрязнения торфяно-болотных почв ^{137}Cs и ^{90}Sr для производства нормативно чистых кормов (молоко цельное)

Тип угодий и травостоя	^{137}Cs	^{90}Sr
	Ки/км ² (кБк/м ²)	
Сенокосы (сено)		
Естественный злаково-разнотравный	*1,3–**3,6 (48–133)	0,35–0,51 (13,0–19,0)
Сеяный злаковый	4,4–11,5 (163–425)	0,43–0,67 (15,9–24,9)
Сеяный бобово-злаковый	4,8–13,8 (178–510)	0,30–0,46 (11,0–17,1)
Пастбища (зеленая масса)		
Естественный злаково-разнотравный	0,8–2,1 (33–100)	0,23–0,34 (8,6–12,6)
Сеяный злаковый	2,6–6,8 (122–318)	0,29–0,45 (10,6–16,5)
Сеяный бобово-злаковый	2,9–7,4 (107–274)	0,20–0,31 (7,3–11,4)

Примечание: * слабокультуренные почвы: содержание подвижного K_2O менее 250 мг/кг почвы, pH < 4,5, (Иок. < 0,4); **окультуренные почвы: при оптимальных агрохимических свойствах почв (Иок. 0,9–1,0).

На основании результатов многолетних исследований, в период 2002–2005 гг., полученных в стационарных опытах сотрудниками НИРУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси» было показано, что, кроме всего прочего, на величину коэффициентов перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr оказывает влияние ботанический состав торфа. Наблюдается в звене миграции почва-травостой увеличение показателей K_p ^{137}Cs в следующем ряду: торфяно-болотные на осоковых торфах > торфяно-болотные на гипново-тростниково-осоковых торфах > торфяно-болотные на тростниково-осоковых торфах > торфяно-болотные на осоково-тростниковых торфах, K_p ^{90}Sr – в ряду: торфяно-болотные на осоково-тростниковых торфах > торфяно-болотные на тростниково-осоковых торфах > торфяно-болотные на гипново-тростниково-осоковых торфах > торфяно-болотные на осоковых торфах.

Результаты исследований также показали, что прогнозируя величину накопления ^{137}Cs на осоково-тростниковых торфах и ^{90}Sr на осоковых торфах, необходимо увеличивать прогнозную удельную активность кормов на 10 %. Необходимо иметь в виду и зольность торфяной залежи. С ее увеличением от 15 до 50 % K_p ^{137}Cs и ^{90}Sr уменьшаются в два раза, что рекомендуется учитывать при производстве кормов на торфяно-болотных почвах.

4.4.3. Агрохимические и агротехнические приемы снижения поступления ^{137}Cs и ^{90}Sr в травяные корма

Отличительной особенностью луговых трав является повышенное требование к элементам питания (азот, фосфор, калий), что связано с продолжительностью вегетационного периода и многократным использованием травостоя (сенокосение и стравливание). По потребности в питательных веществах луговые травы близки к таким культурам, как овощные и силосные, поскольку с 10 ц основной продукции (сено) в зависимости от типа луга отчуждается 15–20 кг N, 5–6 кг P_2O_5 , 20–25 и более K_2O (Богдевич И.М. и др., 2004, 2005).

В комплексе мероприятий по повышению урожайности и качественных показателей травостоя сенокосов и пастбищ на торфяно-болотных почвах решающая роль принадлежит минеральным, известковым и микроудобрениям. В торфяно-болотных почвах на единицу азота приходится в 5–10 раз меньше фосфора и в 30–40 раз – калия, чем на минеральных почвах. При возделывании сельскохозяйственных культур на торфяно-болотных почвах большую роль играют водный режим, мощность торфяного слоя и степень его разложения.

Важнейшее условие рационального применения удобрений – установление эффективных доз, видов, форм и технологии их применения в зависимости от свойств почвы, состава травостоя и способа его использования. Результаты многолетних исследований показывают, что наиболее высокую отдачу от удобрений на сенокосно-пастбищных угодьях на

почвах данного типа можно получить, используя азот из запасов почвы за счет интенсивного внесения калийных, фосфорных, а также медных и борных микроудобрений.

Научно обоснованное питание луговых трав не только обеспечивает рост их продуктивности, продлевает сроки использования травостоя, делает их менее чувствительными к неблагоприятным погодным условиям, но и снижает поступление радионуклидов в условиях радиоактивного загрязнения (Богдевич И.М. и др., 2004, 2005; Пироговская Г.В., 2000; Рак М.В. и др., 2004).

К этому следует добавить, что при оптимальных значениях реакции почвенной среды отмечается минимальное поступление радионуклидов в луговые растения. Известкование обеспечивает не только устойчивое снижение поступления радионуклидов в луговые травы (до 2 раз ^{137}Cs и до 3 раз ^9Sr), но и увеличивает их урожайность (прибавка урожая сена до 10 ц/га) и способствует повышению почвенного плодородия (за счет увеличения в почвенном растворе и почвенно-поглощающем комплексе ионов Ca^{2+} и Mg^{2+}), а также в значительной степени улучшает ботанический состав травостоя, увеличивает в нем содержание кальция и фосфора. На кислых торфяно-болотных почвах невозможно получить высоких урожаев большинства многолетних злаковых трав (тимфеевка луговая, овсяница луговая, лисохвост луговой, кострец безостый, ежа сборная) и бобовых трав (клевер луговой, клевер гибридный, клевер ползучий).

Результаты исследований, полученные учеными НИРУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси», показали, что для сенокосов и пастбищ, расположенных на торфяно-болотных почвах, загрязненных ^{137}Cs и ^9Sr , оптимальные величины $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ находятся в пределах 5,0–5,5 для злаковых трав и 5,5–6,2 – бобовых (таблица 4.4.6.) (Богдевич И.М. и др., 2005).

Таблица 4.4.6. – Оптимальные уровни обменной кислотности для торфяно-болотных почв сенокосов и пастбищ, загрязненных радионуклидами

Тип травостоя	$\text{pH}_{(\text{KCl})}$
Злаковые	5,0–5,5
Бобово-злаковые	5,5–6,2

Достижение оптимальных параметров реакции почвенной среды осуществляется путем известкования дифференцированными дозами доломитовой муки, которые рассчитываются с учетом величины обменной кислотности и плотности загрязнения торфяных почв радионуклидами согласно рекомендациям, изложенным в «Инструкции по известкованию кислых почв сельскохозяйственных угодий Республики Беларусь» (Минск, 1997). Так, дозы известковых удобрений, вносимые при перезалужении сенокосов и пастбищ на торфяно-болотных почвах и учитывающие плотность радионуклидного загрязнения, могут быть от 4,0 до 19,0 т/га (таблица 4.4.7).

Таблица 4.4.7. – Рекомендуемые дозы известковых удобрений (т/га CaCO₃) при улучшении сенокосно-пастбищных угодий на торфяно-болотных почвах (Богдевич И.М. и др., 2005).

pH _(KCl)	Доза CaCO ₃ , т/га		
	¹³⁷ Cs < 5,0 Ки/км ² ⁹⁰ Sr < 0,15 Ки/км ²	¹³⁷ Cs 5,0–15,0 Ки/км ² ⁹⁰ Sr 0,15–0,30 Ки/км ²	¹³⁷ Cs 15,1–40,0 Ки/км ² ⁹⁰ Sr 0,31–3,0 Ки/км ²
<4,0	12,0	19,0	19,0
4,1–4,5	7,0	11,0	11,0
4,6–5,0	4,0	6,5	6,5

По данным ученых НИРУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси» на луговых угодьях в год внесения из минеральных удобрений усваивается до 65 % азота, до 20 % фосфора и до 60 % калия. Использование питательных элементов из удобрений обусловлено дозами удобрений и соотношением между питательными элементами, почвенными условиями, хозяйственным использованием и составом травостоя. Наиболее высокий эффект наблюдается на сенокосах и пастбищах внесении полного комплекса минеральных удобрений: азотных, фосфорных и калийных. При этом на пастбищных травостоях оплата удобрений урожаем (прибавка урожая за счет удобрений) выше, чем на сенокосах (на 1 кг внесенного азота можно получить, соответственно 20–24 и 10–12 к. ед.).

При недостатке азота в почве снижается урожайность травостоя сенокосов и пастбищ, а с другой стороны, применение высоких доз одних азотных удобрений усиливает накопление не только радионуклидов, но и нитратов в луговых растениях.

Дозы и сроки внесения на сенокосно-пастбищных угодьях азотных удобрений зависят от ботанического состава травостоя и обеспеченности торфяно-болотных почв азотом. При запашке торфяных почв под закладку улучшенных кормовых угодий освобождается значительное количество азота из почвы. Так, торфяно-глеевые почвы отдают на формирование урожая многолетних трав примерно 100 кг/га, а торфяные со средней и глубокой мощностью торфяной залежи, развивающиеся на осоковых торфах – 150 кг/га, тростниковых торфах – 200 кг/га азота (Богдевич И.М. и др., 2005).

В год залужения торфяно-болотных почв реакция луговых растений на азотное питание зависит от степени разложения торфа, ботанического состава образовавших его растений, водно-воздушного режима и агротехнических мероприятий. На почвах с малой мощностью торфа, выработанных торфяниках и слаборазложившихся моховых торфяных почвах, растения хорошо отзываются на внесение 30–60 кг д.в. на га азотных удобрений. На торфяниках тростникового, осоково-тростникового и осокового происхождения азотные удобрения в период освоения (два года) и в год залужения, как правило, не вносят (таблица 4.4.8).

Таблица 4.4.8. – Рекомендуемые дозы азотных удобрений (кг/га д. в.) при улучшении сенокосно-пастбищных угодий на торфяно-болотных почвах (Богдевич И.М. и др., 2005)

Возраст травостоя	Планируемая продуктивность, ц/га к.ед.					
	40	50	60	70	80	90
1–2 год пользования	–	–	–	45	60	90
3–8 год пользования	30	60	90	120	150	180

Наиболее рационально азотные удобрения вносить дробно, под каждый укос. Первое внесение проводят весной в начале отрастания травостоя. Как правило, под третий укос дозы азота на 20–30 % ниже, чем под первый и второй. Бобово-злаковые травосмеси начинают подкармливать начиная со второго года жизни, дозами 40–90 кг д. в. на га и чем старше травы, тем большую вносят дозу.

Известно, что злаковые травосмеси нуждаются в азотных удобрениях в большей степени. В первый год жизни, начиная со второго укоса, вносят 60–90 кг/га азота, а в последующие годы в зависимости от числа укосов до 180 кг д. в. На эффективность удобрений влияет возраст травостоя. Так, на травах третьего и четвертого года использования 1 кг азотных удобрений дает прибавку 20–25 кг, а 7–8-летнего использования 28–29 кг (в пересчете на абсолютно сухое вещество).

При определении потребности в азотных удобрениях учитывается, что за счет азота торфяно-болотной почвы при внесении фосфорных (60 кг/га) и калийных (180 кг/га) удобрений можно получить с 1 га 50–70 ц сена при стандартной 16 %-ной влажности. В настоящее время считается целесообразным на сенокосно-пастбищных угодьях на торфяно-болотных почвах, загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr , применять азотные удобрения в составе полного минерального удобрения со значительным преобладанием калия. Предусмотрено также ограничение максимально допустимых доз азотных удобрений. Так, при сенокосном использовании низинных лугов доза азотных удобрений под каждый укос не должна превышать 90 кг д. в. на га, а при пастбищном – не более 60 кг д. в. на га после каждого стравливания травостоя во избежание избыточного накопления нитратов и радионуклидов в корме.

Оптимизации азотного питания растений способствует применение новых медленнодействующих удобрений – карбамида и сульфата аммония с добавками гуматов и других биологически активных компонентов. Выпускаются они Гродненским ПО «Азот» по совместным разработкам Института почвоведения и агрохимии, Института проблем использования природных ресурсов и экологии и Белорусского государственного технологического университета (Пироговская Г.В., 2000). Их использование позволяет повысить на 20–40 % окупаемость удобрений прибавкой урожая при одновременном уменьшении содержания радионуклидов на 15–30 % и снижении накопления нитратов в кормах.

Как установлено, обязательным приемом, обеспечивающим увеличение урожайности, улучшение качества сена и пастбищного корма и снижение перехода радионуклидов на всех типах лугов, является применение научно обоснованных доз фосфорных удобрений. В среднем 1 кг фосфорных удобрений окупается 30-40 кг сена многолетних трав. Наблюдается снижение поступления радионуклидов из почвы в растения при внесении фосфорных удобрений, особенно на торфяно-болотных почвах с низким содержанием подвижных форм фосфора (<200 мг/кг почвы). В связи с острым дефицитом фосфорных удобрений и их высокой стоимостью рекомендовать внесение повышенных доз фосфорных удобрений как контрмеру, снижающую переход радионуклидов в травостои на сенокосах и пастбищах, нецелесообразно. Доказано, что дозы фосфорных удобрений, вносимые на загрязненных территориях, должны обеспечивать бездефицитный баланс, необходимый для питания луговых растений. По данным НИРУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси» оптимальное соотношение между фосфором и калием под многолетние травы на торфяно-болотных почвах 1:2. При перезалужении сенокосов и пастбищ, в зависимости от степени загрязнения радионуклидами, необходимо в среднем вносить по 30–60 кг д. в. на каждый га фосфорных удобрений (0,7–1,5 ц/га двойного суперфосфата или 0,5–1,2 ц/га аммофоса) (таблица 4.4.9).

Таблица 4.4.9. – Дозы фосфорных удобрений, рекомендуемые при улучшении загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr сенокосов и пастбищ на торфяно-болотных почвах (Богдевич И.М. и др., 2005)

P ₂ O ₅ , мг/кг почвы	Основные дозы P ₂ O ₅ , кг д. в./га	Дополнительные дозы P ₂ O ₅ , кг д. в./га		
		^{137}Cs -1,0–5,0 Ки/км ² ^{90}Sr -0,15–0,30 Ки/км ²	^{137}Cs -5,1–15,0 Ки/км ² ^{90}Sr - 0,31–1,0 Ки/км ²	^{137}Cs -15,1–40,0 Ки/км ² ^{90}Sr -1,1–3,0 Ки/км ²
<200	55	15	30	45
201–300	40	10	20	30
301–500	35	5	10	15
501–800	25	–	5	10
801–1200	–	–	–	5

Основной агрохимический прием, ограничивающий поступление ^{137}Cs в травостой низинных лугов на торфяно-болотных почвах, – это применение повышенных доз калийных удобрений. Он связан с антагонистическим характером отношения цезия и калия в почвенном растворе и позитивным влиянием последнего на урожайность травостоя, особенно на низкообеспеченных подвижным калием (<200 мг/кг почвы) почвах.

Интенсивное использование травостоев на торфяно-болотных почвах обуславливает высокий уровень потребления калия (до 300 кг/га д. в. в год).

На злаковых и злаково-бобовых травах первого-третьего года использования и при залужении сенокосов и пастбищ калийные удобрения вносятся по балансовым расчетам, позже – с учетом выноса урожаем и обеспеченности почвы подвижным калием. Дозу калийных удобрений вносят в два-три приема, так как этот элемент из удобрений лучше используется, чем из почвы, и меньше накапливается в растениях. Как правило, первое внесение на сенокосах и пастбищах производят весной, второе и третье – после проведения укосов или стравливания скотом.

Применение калийных удобрений и известкование кислых почв являются эффективными и экономически оправданными защитными мерами для снижения поступления ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию. Одновременно это затраты, применение которых окупаются прибавкой урожая. На каждый внесенный килограмм калия (K_2O) получено дополнительно 23,8–28,4 к. ед. По мере повышения загрязнения почв радионуклидами потребность в дополнительных дозах калия увеличивается (Богдевич И.М. и др., 2005).

Установлено, что внесение калийных удобрений при сбалансированном азотно-фосфорном питании приводит не только к существенному уменьшению поступления из почвы в растения ^{137}Cs , но и ^{90}Sr . Расчет основных и дополнительных доз калийных удобрений проводится путем умножения соответствующих площадей (по типу почв, содержанию подвижного калия в почве, плотности загрязнения) на нормативные дозы K_2O (таблица 4.4.10).

Для определения оптимальной дозы внесения минеральных удобрений необходим анализ химического состава растений, так как он отражает состояние питания его и потребность в удобрении. Изучение содержания калия в многолетних травах особенно важно на торфяно-болотных почвах, так как применение калийных удобрений на этих почвах часто приводит к избыточному накоплению данного элемента (Богдевич И.М. и др., 2005).

Таблица 4.4.10. – Дозы калийных удобрений, рекомендуемые при улучшении загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr сенокосов и пастбищ на торфяно-болотных почвах

K_2O , мг/кг почвы	Основные дозы K_2O , кг д. в./га	Дополнительные дозы K_2O , кг д.в./га		
		^{137}Cs –1,0–5,0 Ки/км ² ^{90}Sr –0,15–0,30 Ки/км ²	^{137}Cs –5,1–15,0 Ки/км ² ^{90}Sr –0,31–1,0 Ки/км ²	^{137}Cs –15,1–40,0 Ки/км ² ^{90}Sr –1,1–3,0 Ки/км ²
<200	100	40	80	120
201–400	90	30	60	90
401–600	80	20	40	60
601– 1000	60	10	20	30
>1000		–	–	10

Содержание калия в травах обычно находится в пределах 1–4 %. Животные редко страдают от недостатка калия в травах. Вместе с тем, содержание калия в корме выше 3 % вредно для здоровья животных, так как при этом имеет место несбалансированность одновалентных и двухвалентных катионов. При увеличении соотношения калия к сумме двухвалентных катионов свыше 2,2–2,4 частота заболеваний у скота резко возрастает.

В системе агрохимических приемов, при возделывании кормовых культур в зоне радиоактивного загрязнения, особую значимость приобретает применение микроэлементов. В результате научно обоснованного внесения микроудобрений, с учетом содержания их подвижных форм в торфяно-болотных почвах и отзывчивости злаковых и бобовых трав, прибавка урожая от их внесения может достигать 15–20 %, при этом улучшается качество кормов, продлеваются сроки их хранения (Рак М.В. и др., 2004).

В условиях дефицита микроэлементов наиболее рациональными и экономически оправданными способами внесения микроэлементов являются предпосевная обработка семян и некорневая подкормка растений в период вегетации. Их можно проводить как в виде самостоятельного технологического приема, так и совместно с макроудобрениями, средствами защиты и регуляторами роста растений (таблица 4.4.11).

Таблица 4.4.11. – Технология применения микроэлементов под многолетние травы на торфяно-болотных почвах

Сроки и способы применения	Микро-элемент	Доза, д. в.	Микро-удобрения	Доза, ф. вес	Примечания
<i>Производство травяных кормов</i>					
Пред-посевная обработка семян	Кобальт Молибден	50 г/т семян 50 г/т семян	Сульфат кобальта Молибдат аммония	250 г/т семян 100 г/т семян	Можно совмещать с протравителями и бактериальными препаратами
Некорневая подкормка в фазе стеблевания	Медь Марганец Цинк	100 г/га 50 г/га 100 г/га	Сульфат меди Сульфат марганца Сульфат цинка	400 г/га 220 г/га 450 г/га	Фаза – начало выхода в трубку

Например, некорневая подкормка злаковых трав на торфяно-болотных почвах медью, цинком и марганцем в дозах 50 г/га обеспечивает повышение

урожайности до 25 %, содержание этих микроэлементов в сене до 20–30 % и снижение накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в кормах на 30–40 %.

К одним из важнейших агрономических приемов на загрязненных землях относится подбор травосмесей. Как правило, перезалужение кормовых угодий проводят травосмесями, поскольку они имеют преимущество перед чистыми посевами злаковых трав, превосходят их по продуктивности и более устойчивы к неблагоприятным условиям среды. Правильный подбор видов многолетних злаковых и бобовых трав при составлении травосмесей является важнейшей основой формирования продуктивного травостоя и предпосылкой его долголетия. При этом минимальными величинами коэффициентов перехода (2,0–5,0 для ^{137}Cs ; 1,5–7,0 для ^{90}Sr) на торфяно-болотных почвах характеризуются такие злаки как ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), кострец безостый (*Bromopsis inermis* Leyss), овсяница луговая (*Festuca pratensis* L.). Кроме этого, сюда следует добавить правила:

- учитывать плотность радиоактивного загрязнения почвы;
- включать виды, хорошо приспособленные к данным почвенно-климатическим условиям и обеспечивающие получение высоких урожаев;
- учитывать предполагаемую длительность и тип использования.

На краткосрочных пастбищах с невысокой плотностью радиоактивного загрязнения преобладающим типом травостоя является бобово-злаковый с высоким удельным весом клевера ползучего и гибридного. Продолжительность использования бобово-злаковых травостоев краткосрочного типа составляет 4–5 лет. При невысоком уровне азотного питания на пастбище формируются бобово-злаковые травостои с преобладанием низовых злаков и бобовых трав (таблица 4.4.12). Клевер гибридный повышает продуктивность пастбища в первые два года использования, а клевер ползучий – в последующие годы. Можно также включать в пастбищные травосмеси клевер луговой одноукосный, отличающийся большим долголетием, но лучше использовать сорта раннеспелого типа с хорошей отавностью.

На пастбищных угодьях, имеющих высокую плотность загрязнения радионуклидами, особенно ^{90}Sr , при их перезалужении целесообразно создавать высокопродуктивные злаковые травостои, предусматривая применение умеренных доз азотных удобрений. В травосмеси нужно включать мятлик луговой на достаточно влагообеспеченных высокогумусированных низинных лугах, представленных торфяными почвами с низкой кислотностью. Из верховых злаков для этих травостоев лучше подходят овсяница луговая и тимopheевка луговая.

Таблица 4.4.12. – Травосмеси, рекомендуемые для перезащелужения пастбищных угодий на торфяно-болотных почвах, загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr (Подольск А.Г и др., 2005)

Тип травостоя	Вид травосмеси	Норма высева, кг/га
Бобово-злаковые среднеспелые	тимофеевка луговая	6
	овсяница луговая	6
	кострец безостый или лисохвост луговой	6
	мятлик луговой	6
	клевер ползучий	6
	всего	30
Бобово-злаковые позднеспелые	тимофеевка луговая	6
	овсяница луговая	6
	лисохвост луговой	4
	мятлик луговой	6
	клевер ползучий	4
	клевер гибридный	4
	всего	30
Злаковые ранние	ежа сборная	12
	лисохвост луговой	8
	овсяница луговая	6
	мятлик луговой	4
	всего	30
Злаковые раннеспелые	овсяница луговая	10
	ежа сборная	8
	кострец безостый	5
	тимофеевка луговая	5
	мятлик луговой	2
	всего	30
Злаковые раннеспелые	ежа сборная	12
	лисохвост луговой или костер безостый	8
	овсяница луговая	5
	мятлик луговой	5
	всего	30

Состав травосмесей для создания культурных сенокосов на загрязненных радионуклидами лугах определяется, прежде всего, характером улучшаемых угодий, их почвенным плодородием, особенностями водного режима, а также возможностями хозяйства вносить на этих площадях удобрения. Поэтому на таких угодьях, в зависимости от их плотности загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr , создаются как чисто злаковые, так и бобово-злаковые травостои (таблица 4.4.13).

Основными видами бобовых трав при создании сеяных травостоев для интенсивного укосного использования на низинных лугах с невысокой плотностью радиоактивного загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr в условиях республики являются клевер луговой, клевер гибридный, люцерна гибридная, лядвенец рогатый.

Клевер луговой наиболее подходит для включения в состав травосмесей на хорошо известкованных осушенных торфяно-болотных почвах, а клевер гибридный – для сенокосов на более увлажненных торфяно-болотных почвах. Оптимальное содержание бобовых трав в составе бобово-злаковых травосмесей составляет 30–40 %, а злаковых – 60–70 %. При таком соотношении злаковых и бобовых трав травостои отличаются наибольшей стабильностью урожаев при их длительном использовании.

Можно использовать в составе бобово-злаковых травосмесей клевер луговой, тимофеевку, овсяницу луговую и кострец безостый. В таком травостое первые два года основу урожая составляют клевер и тимофеевка, последующие 2–3 года – тимофеевка и овсяница луговая.

На землях с высокой плотностью радиоактивного загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr при создании культурных лугов многоукосного использования предпочтительнее эксплуатировать злаковые травостои, позволяющие получать корма с меньшим уровнем загрязнения ^{90}Sr , чем бобово-злаковые.

Таблица 4.4.13. – Травосмеси, рекомендуемые для перезалужения сенокосов на торфяно-болотных почвах, загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr (Подольяк А.Г и др., 2005).

Тип травостоя	Вид травосмеси	Норма высева, кг/га
Бобово-злаковые раннеспелые	лядвенец рогатый	10
	ежа сборная	3
	всего	13
	люцерна гибридная	10
	ежа сборная	3
	всего	13
Бобово-злаковые среднеспелые	кострец безостый	10
	овсяница луговая	9
	клевер гибридный	6
	всего	25
Бобово-злаковые позднеспелые	timoфеевка луговая	10
	овсяница луговая	6
	клевер гибридный	6
	всего	22
Злаковые ранние	лисохвост луговой	10
	кострец безостый	8
	timoфеевка луговая	6
	всего	24
Злаковые раннеспелые	лисохвост луговой	10
	кострец безостый	8
	timoфеевка луговая	6
	всего	24
Злаковые среднеспелые	кострец безостый	10
	овсяница луговая	8
	timoфеевка луговая	6
	всего	24
Злаковые позднеспелые	timoфеевка луговая	13
	овсяница луговая	12
	всего	25

4.4.4. Экономическая и радиологическая эффективность возделывания многолетних трав

Выбор того или иного способа улучшения сенокосов и пастбищ должен определяться минимальными экономическими затратами и основываться на эффективности уменьшения потоков радионуклидов, поступающих к человеку и образующих дозу внутреннего облучения (Жученко Ю.М., 1998; Подоляк А.Г., Тимофеев С.Ф., Персикова Т.Ф., 2004). Эффективность способов и приемов, как правило, определяется в результате проведения научно-производственных опытов. Так, на основании многолетних исследований в СПК «Переможник» Брагинского района Гомельской обл. на осушенной торфяно-болотной маломощной почве низинного типа, развивающейся на гипново-осоково-тросниковых торфах, подстилаемых около 0,8 м суглинком легким (зольность торфа – 23–30 %, содержание подвижных форм P_2O_5 – 145–200 мг/кг почвы, K_2O – 270–400 мг/кг почвы, pH_{KCl} – 5,1–5,4, плотность загрязнения ^{137}Cs – 100–117 кБк/м², ^{90}Sr – 40–49 кБк/м²) установлено, что внесение полного минерального удобрения $N_{90}P_{90}K_{280}$ способствует формированию урожайности на уровне 55,6–67,7 ц с. в. с 1 га, обеспечивает прибавку урожая на 21,8–31,6 ц/га по сравнению с вариантом без внесения удобрений, при достаточно высокой окупаемости 1 кг NPK кг сухого вещества – 9,1–6,2. При этом чистый доход составил 33,0–48,4 USD, рентабельность 29–53 % (таблица 4.4.14).

Таблица 4.4.14. – Эффективность внесения минеральных удобрений под многолетние травы на торфяно-болотной почве (среднее за 2002–2005 гг.)

Варианты опыта	Урожайность, ц с. в. с 1 га	Прибавка, ц/га	Окупаемость 1 кг NPK, кг с. в.	Доля NPK в урожае, %	Чистый доход, USD	Рентабельность, %
Контроль	36,1	–	–	–	–	–
N45	44,2	8,1	18,0	18	22,7	98
P50	41,3	5,2	10,4	13	1,8	7
K200	43,0	6,9	3,5	16	9,6	32
N45P50	45,6	9,5	10,0	21	10,1	23
N45P90	47,4	11,3	8,4	24	2,8	5
N45K120	49,3	13,2	8,0	27	32,1	76
N45K200	50,6	14,5	5,9	29	30,4	59
N45K280	53,0	16,9	5,2	32	32,9	52
P50K120	46,3	10,2	6,0	22	10,9	23
P50K200	48,5	12,4	5,0	26	12,5	22
P50K280	49,9	13,8	4,2	28	11,3	17
P90K280	50,7	14,6	3,9	29	0,1	0
N45P50K120	55,6	19,5	9,1	35	38,1	53
N45P50K200	57,9	21,8	7,4	38	40,1	48
N45P50K280	61,3	25,2	6,7	41	46,4	48
N45P90K280	61,8	25,7	6,2	42	33,0	29
N90P90K280	67,7	31,6	6,9	47	48,4	37
HCP 0,95	3,07	–	–	–	–	–

При разработке стратегии защитных мероприятий на сенокосах и пастбищах и для обоснования применения наиболее эффективных контрмер, как правило, руководствуются следующими показателями:

- кратностью снижения концентрации радионуклида в продукции после внедрения контрмеры (радиоэкологическая оценка);
- величиной предотвращенной коллективной дозы (чел.-Зв) от применения защитных мероприятий (радиологическая оценка);
- стоимостью снижения единицы предотвращенной коллективной дозы в денежном выражении (в долларах США, евро) на 1 чел.-Зв (экономико-радиологическая оценка).

Анализ и обобщение экспериментальных данных, полученных в многолетних стационарных опытах и производственных посевах, показывает, что улучшение сенокосно-пастбищных угодий на торфяно-болотных почвах (внесение оптимальных доз минеральных и известковых удобрений и подбор бобово-злаковых травосмесей) позволяет снизить поступление ^{137}Cs в корма (сено) в пределах 1,1–5,0 раз в зависимости от качества выполненных работ. Поверхностное улучшение сенокосов и пастбищ, предусматривающее внесение известковых и минеральных удобрений и посев бобово-злаковых травосмесей в дернину, обеспечивает снижение поступления этого радионуклида в корма до 3,5 раз (таблица 4.4.15).

Таблица 4.4.15. – Радиоэкологическая оценка эффективности приемов улучшения суходольных и низинных лугов, загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr

Тип контрмер	Кратность снижения, раз ^{137}Cs	
	коренное улучшение	поверхностное улучшение
Мероприятия по улучшению, в том числе:	1,5–5,0	1,0–3,5
минеральные удобрения	2,0–5,0	1,1–3,5
известковые удобрения	1,1–2,5	1,1–2,0
посев бобово-злаковых травосмесей	–	1,5–2,0

Расчет показателей экономико-радиологической эффективности улучшения сенокосов и пастбищ, имеющих плотность радиоактивного загрязнения почвы ^{137}Cs до 10,0 Ки/км² (370 кБк/м²), на основе результатов спектрометрического и качественного анализа кормов, полученных в стационарных опытах, показали, что при общей стоимости затрат (300–390 евро) на улучшение и эксплуатацию гектара сенокосов и пастбищ на торфяно-болотных почвах в течение 5 лет величина предотвращенной дозы от применения защитных мероприятий находится в пределах 0,0038–0,0070 чел.-Зв, а стоимость предотвращенной дозы – 3000–5000 евро/чел.-Зв (Подоляк А.Г., Тимофеев С.Ф., Персикова Т.Ф., 2004).

4.5. Возделывание донника и эспарцета в условиях радиоактивного загрязнения торфяных почв

4.5.1. Биологические особенности культур

Решение проблемы снижения затрат на производство животноводческой продукции, повышения ее конкурентоспособности, улучшение качества кормов и сбалансированности их по белку является одной из важнейших задач кормопроизводства. Крупным, но совершенно недостаточно реализуемым резервом дальнейшего наращивания производства высококачественных кормов сельхозпредприятиями республики является расширение посевов многолетних бобовых культур за счет сокращения площадей под злаковыми травами и увеличение доли бобового компонента в травостоях. Бобовые культуры позволяют вовлечь в процесс производства кормов до 200 кг/га биологического азота, накопить в почве на каждом гектаре органического вещества, эквивалентного его содержанию в 18–20 т подстильного навоза.

В настоящее время из выращиваемых многолетних бобовых трав почти 90 % приходится на клевер, хотя используемые под него земли характеризуются большим разнообразием гранулометрического состава, в том числе и малопригодными для этой культуры. Потепление климата и связанные с этим участившиеся засушливые периоды, особенно на почвах легкого механического состава, обострили проблему стабильности урожаев клевера. Расширение ассортимента возделываемых бобовых культур за счет возделывания донника белого и эспарцета увеличивает возможности уменьшить негативные последствия пестроты почвенного плодородия на урожайность травяного поля. В тоже время, для их выращивания на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на ЧАЭС, необходимо изучение радиоэкологических особенностей указанных культур и уточнение технологии возделывания.

Проблема получения растениеводческой продукции, соответствующей допустимым уровням по содержанию ^{137}Cs , на торфяных почвах еще не вполне решена. Основная доля растениеводческой продукции и кормов, не отвечающих требованиям РДУ, производится именно на почвах данного типа.

Донник и эспарцет относительно новые культуры для условий Беларуси, поэтому необходимо кратко рассмотреть их биологические характеристики. Донник белый – одно-двулетнее растение семейства бобовых, весьма неприхотливое растение, плохо переносит сильнокислые и переувлажненные почвы. Может произрастать на суглинистых, супесчаных и песчаных почвах, подстилаемых песками, где клевер и люцерна дают низкие урожаи. Наибольший интерес представляет для Гомельской и Брестской областей, где удельный вес таких почв наибольший – свыше 70 %. Обладает высокой засухоустойчивостью и зимостойкостью, солеустойчивостью, поэтому хорошо растет не только на дерново-подзолистых, но и на солонцеватых, засоленных,

эродированных почвах. В республике районирован сорт донника белого Эней (Шелюто А.А. с соавторами, 2009).

Корневая система донников сильно развитая, с большим количеством клубеньков, углубляется на 1,5–2 м и более. Следует подчеркнуть еще одно положительное качество донника. Корни его выделяют много угольной кислоты, которая растворяет карбонат кальция (в почве в естественном состоянии он слаборастворим). Перейдя в растворимое состояние, кальций замещает натрий, образуя бикарбонат натрия, который по своей природе в несколько раз менее ядовит для растений. Поскольку бикарбонат натрия хорошо растворим в воде, он вымывается по пустотам омертвевших корней донника. Почва постепенно приобретает необходимое плодородие. Корневые выделения донника могут составлять до 54–76 % общей массы корней. Органические вещества, выделяемые донником в почву, состоят из аминокислот, фосфора, калия, серы, кальция и других элементов. Корневая система донника усваивает труднорастворимые соединения и перекачивает их в растительную массу, а после запашки и разложения эти вещества становятся доступными для других культур (Довбан К.И., 1990; Новоселова А.С. с соавторами, 1978).

Стебли у культуры обычно прямые, реже приподнимающиеся, достигают при благоприятных условиях 3 м длины. Листья тройчатые, листочки широкоовальные, округло-яйцевидные, зазубренные по краю, голые. Цветки мелкие, белой или желтой окраски. Плод – односемянный боб, реже двусемянный, округло-яйцевидной или эллиптической формы, сетчато- или поперечно-морщинистый. Семена сердцевидные, с выступом под рубчиком, слабо блестящие, зеленовато-желтые. Семена донника мелкие, масса 1000 семян 1,4–2,3 г (Посыпанов Г.С., 2004).

Донник используется на корм и на зеленое удобрение. При возделывании его на корм (первый укос) и на зеленое удобрение (в виде отавы) в почву запахивается от 150 до 200 кг/га азота, около 20–30 т/га растительной массы, что по действию на урожай и плодородие почвы равноценно внесению 30–40 т/га навозного компоста. Продуктивность зеленой массы донника белого равна 200–300 ц/га, а по устойчиво высоким урожаям семян донник находится вне конкуренции с другими бобовыми травами. В 100 кг сухой массы содержится 14,4 кг переваримого протеина. Наиболее богаты белком листья и семена. Использование донника в кормовых смесях при улучшении лугов и пастбищ обогащает зеленую массу солями кальция, фосфора и каротином (Мироненко А.В. с соавторами, 1990). Зеленая масса донника со злаковыми травами используется для приготовления высококачественного силоса, сенажа и сеной муки. Донниковый силос богат белком и охотно поедается всеми видами животных. Он является хорошим компонентом кукурузы на силос. Донник содержит ароматическое вещество кумарин, поэтому животные в первые дни пастбы неохотно поедают его, но затем быстро привыкают к этому запаху. Иногда донник оказывает токсическое действие на организм животных. При плесневении растений

ароматическое вещество кумарин переходит в ядовитый дикумарин, который угнетает образование в печени протромбина и понижает способность крови к свертыванию, поэтому при поедании заплесневелого сена или силоса у животных могут быть отравления (Шелюто А.А. и др., 2009).

Донник является ценной медоносной культурой. Нектар донника очень ароматный и содержит высокий процент сахара. Сильный аромат кумарина привлекает пчел. Кумарин не снижает качество меда и не оказывает какого-либо вредного влияния на пчел. Нектаропродуктивность у дикорастущего донника 100–150 кг, а у культурного – 200–300 кг с гектара. Отдельные пчеловоды отмечают, что сбор меда с посевов донника может достигать 600 кг/га (Пикун П.Т. и др., 2007).

Хорошая покровная культура для подсевного донника белого – озимая рожь. Из яровых культур можно использовать яровую пшеницу, овес и ячмень подходят хуже. Норму высева покровной зерновой культуры целесообразно снижать на 15–30 %, так как в загущенных посевах донник как светолюбивая культура сильно угнетается и изреживается. По этой же причине убирают покровную культуру в первую очередь, особенно если ее посева полеглие. Растения покровной культуры срезаются на высоте 10–12 см от поверхности почвы. При более низком срезе травмируются спящие почки возобновления у корневой шейки и в начале стебля. В том случае, если после уборки покровной культуры донник развивает значительную массу, его косят на высоте 15–20 см в начале сентября или в конце вегетационного периода. Уборка на корм во второй год жизни проводится в фазе полного стеблевания – начала бутонизации. Опоздание с уборкой снижает качество урожая (Шелюто А.А. и др., 2009).

Эспарцет – многолетнее травянистое растение семейства бобовые. В культуре как кормовые известны его разновидности: эспарцет обыкновенный или виколистный, закавказский и песчаный. Последний встречается нередко в диком виде (Пикун П.Т. и др., 2007).

Эспарцет имеет перистые продолговатые листья, бороздчатый стебель высотой до 70 см. Соцветие – длинная кисть с розовыми и красными цветками, плод – односемянный боб. Корневая система сильно развита, глубоко проникает в почву (обычно на 1–2 м, а иногда до 10 м).

Эспарцет отличается довольно высокой засухоустойчивостью. Хорошо растет на щебнистых и песчаных почвах, но особенно на черноземах и почвах, богатых известью. Малоприспособлен для эспарцета солонцеватые и совершенно не подходят заболоченные почвы с близким залеганием грунтовых вод. Эспарцет обладает устойчивостью в травостое, может держаться в полевых условиях 3–5 лет, после чего начинает изреживаться.

По содержанию питательных веществ эспарцет занимает одно из первых мест среди кормовых трав. В 100 кг его сена содержится 53,5 корм. ед., 15% сырого протеина, 7,8 % переваримых белков. Сено и зелёный корм эспарцета хорошо поедаются жвачными животными, причем скармливание эспарцета в зеленом виде не вызывает у них тимпанита (Андреев Н.Г., 1989). Эспарцет

также хороший медонос. Ежедневный принос нектара доходит до 4–12 кг на семью пчел (Пикун П.Т. и др., 2007).

Эспарцет очень требователен к чистоте поля, в первый год растет медленно и может заглушаться сорняками. Для их уничтожения при беспокровных посевах применяют гербициды, которые вносят в почву до посева с заделкой культиватором.

Эспарцет отзывчив на внесение органических и минеральных удобрений. Органические удобрения лучше вносить под предшественник, минеральные (фосфорные и калийные по 90–120 кг/га д.в.) – под покровную культуру, в подкормку фосфорные – 45–60 кг/га д.в., калийные – 45–60 кг/га д.в. (Шелюто А.А. и др., 2009).

Эспарцет можно высевать под озимые и яровые хлеба ранней весной одновременно или сразу за покровной яровой культурой. Способ посева обычный рядовой. Норма высева 50–60 кг/га семян. В двойных смесях норму высева снижают на 20–30 %. Глубина посева семян на тяжелых почвах и во влажных районах 3–4, а в более сухих районах и на легких почвах – 4–5 см.

Уборку проводят в фазе бутонизации. Затягивание со скашиванием до полного цветения приводит к большим потерям, сено делается грубым, теряет кормовое достоинство. Уборка в фазу бутонизации способствует сохранению в сене листьев. Чтобы лучше сохранить их, скошенную траву через несколько часов сгребают в валки. При благоприятной погоде спустя 2–3 дня эспарцетное сено настолько высыхает, что может быть сложено в стога и скирды.

На семена можно использовать посева эспарцета второго и третьего годов пользования. Уборку начинают комбайнами когда побуреет 60–70 % бобов. Урожайность семян эспарцета от 3,0 до 9,0 ц/га (Посыпанов Г.С., 2004; Андреев Н.Г., 1989).

4.5.2. Результаты экспериментальных исследований по изучению особенностей донника белого и эспарцета

Изучению особенностей донника белого и эспарцета уделялось внимание как со стороны белорусских, так и российских исследователей. В Беларуси, в 1998-2000 гг., Чебель Е.И., Якимовец В.П., Кишко Р.Д. (2008) проводили полевые опыты по изучению влияния норм высева донника белого (сорт Эней) на его продуктивность. Норма высева составляла от 1 до 9 млн шт. семян/га. Семена донника перед посевом скарифицировали, инокулировали и обрабатывали молибденовокислым аммонием (20 г/ц семян). Максимальная продуктивность донника составила от 77 до 95 ц/га абсолютно сухого вещества. В среднем за 3 года сбор абсолютно сухого вещества составил 59 ц/га при норме высева 1 млн семян/га и 81 ц/га при норме высева 8 млн. семян/га. Урожайность донника белого в основном определялась нормой высева. Было установлено, что максимальная урожайность зеленой массы донника белого обеспечивается при норме высева 7–8 млн семян/га.

В 2002–2004 гг. Шелюто Б.В. (2006) изучал продуктивность донника белого и клевера в смесях и в чистом виде. Почва опытного участка дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке, подстилаемая моренным суглинком с глубины около 1 м. Схема опыта включала следующие варианты: 1) донник белый Эней; 2) клевер луговой Витебчанин; 3) донник + клевер черезрядно; 4) донник + клевер с размещением семян в один рядок; 5) донник + клевер с размещением семян в рядах по схеме 1 рядок донника + 2 рядка клевера; 6) донник + клевер (2+1). Удобрения вносились в дозах $P_{90}K_{135}$.

Было установлено, что выращивание донника в смеси с клевером луговым с черезрядным посевом имеет преимущество по сравнению с одновидовым посевом культуры, так как при одинаковой продуктивности в этих вариантах травостой содержал на 5,6 % больше сырого протеина, на 4,8 % обменной энергии и на 12,5 % кормовых единиц в 1 кг сухого вещества. При этом содержание сырой клетчатки у травосмеси, по сравнению с донником в чистом виде, снижалось на 11,4 %. Травосмесь донника с клевером превысила по продуктивности одновидовые посева клевера лугового в среднем за 3 года на 15,4 ц/га сухой массы или на 23,9 %. Выращивания донника с клевером обеспечивало формирование более выравненного урожая по горизонтам агроценоза. По сравнению с одновидовым посевом донника средняя высота растений была меньше на 40 см без снижения урожайности. Наибольшую продуктивность обеспечивала смесь с черезрядным размещением, травостой которой имел «центр равновесия» на уровне 35,3 см.

В период 2005–2006 годов, Крицкий М.Н. с соавторами (2008) изучал урожайность и продуктивность эспарцета и проводили сравнительную оценку его с другими бобовыми травами (люцерна посевная, клевер красный, лядвенец рогатый). Результаты исследований показали, что эспарцет за 2 укоса сформировал урожайность зеленой массы в количестве 387 ц/га. В сумме за вегетацию урожайность эспарцета была сопоставима с урожайностью лядвенца рогатого (388 ц/га), а сбор сухого вещества – на 9,3 % (80,1 ц/га) выше. Эспарцет уступал люцерне и клеверу по урожайности зеленой массы на 20,5 (487 ц/га) и 18,2 % (473 ц/га) и на 20,2 (100,3 ц/га) и 5,5 % (84,7 ц/га) соответственно.

В 2006–2007 годах, Кравцов С.В. с соавторами (2011) исследовал продуктивность травосмесей с различным содержанием донника белого на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве. Состав травосмеси: 1) тимофеевка луговая 8 кг/га + овсяница луговая 12 кг/га – фон; 2) фон + N90 (45+45) кг/га д.в.; 3) фон + донник белый 6 кг/га; 4) фон + донник белый 8 кг/га; фон + донник белый 10 кг/га. На основании проведенных исследований был сделан вывод, что при наличии в составе улучшенных травостоев донника не менее 30–35 % подсев можно считать успешным. Урожайность травостоев возрастала в 1,5 раза (с 47,0 ц/га до 71 ц/га), увеличивалось количество бобового компонента, при этом внесение азотных

удобрений не требовалось. Наиболее продуктивными были травосмеси с нормой высева донника белого 8–10 кг/га, где урожай абсолютно сухого вещества, кормовых единиц и переваримого протеина достигал соответственно 70,0–71,0; 60,0–62,0, 6,2–6,5 ц/га.

На протяжении 2006-2008 годов Гомончук И.И. и Карпей О.Н. (2009) изучали влияние состава травосмесей на основе эспарцета песчаного на их урожайность. Почва опытного участка – дерново-подзолистая, рыхлосупесчаная. Состав травосмесей: 1) эспарцет песчаный; 2) эспарцет + клевер луговой; 3) эспарцет + кострец безостый; 4) эспарцет + овсяница луговая; 5) эспарцет + тимофеевка луговая; 6) эспарцет + ежа сборная; 7) эспарцет + клевер луговой + кострец безостый + овсяница луговая.

Установлено влияние компонентов травосмесей на высоту растений эспарцета песчаного. Эспарцет, высеваемый в чистом виде, как в первом (86 см), так и во втором укосах (48 см), была выше, чем в смесях. Наименьшая высота эспарцета 1-го укоса была в травосмесях с участием ежи сборной (50 см), а 2-го укоса – в четырехкомпонентной травосмеси (27 см). Максимальный сбор сухого вещества получили в травосмеси эспарцета с клевером луговым (71,2 ц/га). В остальных травосмесях урожайность сухого вещества была ниже и колебалась в пределах 19,6–36,9 ц/га.

Кроме Беларуси, экспериментальные исследования с донником белым и эспарцетом проводились в Российской Федерации. Так, в 1995–2005 годах, Тимофеев М. и Попов Н. (2009) изучали кормовые севообороты с интенсивным использованием многолетних и бобовых трав в условиях Центральной Якутии. Опыт проводился на мерзлотных лугово-черноземных солончаковатых почвах. Первый севооборот: овес+горох+рапс+озимая рожь+донник – донник 2 года; рапс яровой+люцерна+пырейник изменчивый (выводное поле); второй севооборот: донник+донник; озимая рожь+озимая рожь; овес+рапс+пырейник сибирский (выводное поле).

В результате первый севооборот обеспечил высокий выход зеленой массы 247,4 ц и 39,6 ц кормовых единиц с 1 га севооборотной площади, а второй севооборот – соответственно 224 ц и 34,7 ц при использовании 60 т навоза и минеральных удобрений в дозе 60 кг действующего вещества на 1 га. Причем возделывание донника обеспечивало накопление корневых остатков (126,3 ц/га) и тем самым способствовало сохранению баланса органического вещества в почве (+1 т/га). Позже опыты с донником были продолжены с целью изучения его как сидеральной культуры в кормовом севообороте (сидеральный пар -ячмень+ горохо-овсяная смесь на зеленую массу; овес + донник на зеленую массу) при различных системах обработки почвы (отвальный и безотвальный) в сравнении с севооборотом с чистым паром в условиях богары на мерзлотной лугово-черноземной слабо-солончаковатой почве. Посев донника был проведен под покров овса на зеленую массу. На 2-ой год зеленая масса донника (140 ц/га) в фазе бутонизации была скошена и заделана в почву на глубину 18–20 см дисковыми боронами.

В результате изучения кормовых севооборотов установлено, что сидеральная культура повышает продуктивность севооборота. Так, севооборот с сидеральным паром превосходил севооборот с чистым паром по выходу сухой массы на 0,27 т/га, кормовых единиц на 0,17 т/га переваримого протеина на 0,1 т/га. Культура способствует повышению общего плодородия почвы в севообороте. Так, балансовые расчеты показали, что по сидеральному севообороту баланс питательных элементов во всех вариантах положительный по азоту и калию, а по чистому пару – отрицательный на всех вариантах.

В период 1996–2003 годов Троц В.Б. с соавторами (2010) изучал особенности аккумуляции химических веществ в фитомассе традиционных кормовых культур Самарского Поволжья: кукурузы, сорго, суданской травы и донника белого однолетнего. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный среднесиловый тяжелосуглинистый. Минеральные удобрения вносились в дозе $N_{38}P_{15}K_{30}$. Результаты исследований показали, что фитомасса донника белого однолетнего, по сравнению с традиционными злаковыми растениями, содержит больше переваримого протеина, жира и зольных элементов, однако по содержанию сахара она существенно уступает кукурузе, сорго и суданской траве, поэтому в условиях производства наиболее целесообразно моделировать совместные посевы этих культур. Расширение посевных площадей под донником белым однолетним позволяет в 1,6–1,9 раза увеличить сборы кормового белка с 1 га.

Мушинский А.А. (2009) исследовал продуктивность агроценозов однолетнего донника в одновидовых и смешанных посевах при различной густоте и способах посева. Опыт проводили в Оренбургской области на среднесиловом террасовом черноземе. Схема опыта следующая: 1. Донник; 2. Донник+суданская трава; 3. Донник+просо. Норма высева семян донника составляла 2, 3, 4 млн. всхожих семян на 1 га. Исследования показали, что для получения урожайности зеленой массы донника 32,1 т/га с выходом кормовых единиц и переваримого протеина 4,98 и 1,25 т/га с содержанием переваримого протеина в кормовой единице 252,3 г следует высевать однолетний донник в чистом виде с нормой высева 4 млн всхожих семян на 1 га.

Панков Д.М. (2009) исследовал влияние сроков, способов посева, норм высева и минеральных удобрений на продуктивность эспарцета песчаного. Исследования проводились в Алтайском крае на выщелоченном черноземе. В опыте изучался широкорядный и рядовой способ посева эспарцета. Минеральные удобрения вносились в дозах $P_{35}K_{20}$, $P_{70}K_{40}$, $P_{105}K_{60}$. Установлено, что самая высокая урожайность эспарцета наблюдалась при внесении минеральных удобрений в дозах $P_{70}K_{40}$ и составляла 5,3 т/га сухой массы. Прибавка относительно контроля составила 1,6 т/га. Лучшим являлся широкорядный способ посева при норме высева 6 млн. всхожих семян на 1 га (урожайность – 4,5 т/га). В условиях Бийской лесостепи лучшим сроком посева эспарцета на корм являлся посев в период с третьей декады апреля до середины июня.

Асинская Л.А. (2008, 2011) изучала влияние способов посева и норм высева семян донника белого на его кормовую и семенную продуктивность. Исследования проводили на опытном поле Приморской государственной сельскохозяйственной академии. Почва опыта лугово-бурая, оподзоленная. Ширина междурядий в опыте составляла 15, 30, 45 см. Норма высева составляла 4, 6, 8, 10 млн шт/га семян. Результаты исследований показали, что при возделывании донника на зеленую массу следует проводить посев с междурядьями 15 см и нормой высева 6 млн всхожих семян на 1 га (12 кг/га). Продуктивность донника составила 13,4 т/га. При увеличении ширины междурядий с 15 до 30 и 45 см урожай зеленой массы снижался. При низкой норме высева с увеличением ширины междурядий создаются лучшие условия для формирования и сохранения генеративных органов, чем при узких междурядьях. Наиболее высокий урожай семян донника белого однолетнего получен при широкорядном посеве с междурядьями 45 см при норме высева семян 4 млн шт/га. Урожайность семян составила 136,8 кг/га.

Меркулов В.В. с соавторами (2008) изучал семенную продуктивность эспарцета на черноземах южных солонцеватых в зависимости от покровной культуры, способа посева и нормы высева. Опыт проводился в Оренбургской области. В качестве покровных культур использовались ячмень и овёс. Ширина междурядий в опыте составляла 15, 30, 45 см, а норма высева – 2, 3, 4, 5 млн шт/га семян. Было установлено, что наибольшей семенной продуктивностью на делянках без покрова отличались варианты с шириной междурядий 15 см и нормой высева 4 и 5 млн всхожих семян на 1 га – соответственно 0,08 и 0,07 т с 1 га, а на делянках под покровом овса и ячменя – при ширине междурядий 30 см и нормой высева эспарцета 4 и 5 млн всхожих семян на 1 га – соответственно 0,07–0,06 т с 1 га. Увеличение ширины междурядий с 15 см до 30 см снижало урожайность семян на 0,02–0,04, а с 30 до 45 см – на 0,02–0,03 т с 1 га.

Скалозуб О.М. (2009) исследовал влияние покровных культур и скашивания на семенную продуктивность и сроки цветения донника. Исследования состояли с 2-х полевых экспериментов. Целью первого опыта являлось определение влияния покровной культуры на рост и развития донника в первый год жизни и семенную продуктивность во второй год жизни. Схема опыта включала следующие варианты: 1. Ячмень + донник белый; 2. Райграс однолетний + донник белый. 3. Донник без покрова. Во втором опыте определялась возможность использования второго укоса донника на семена после первого скашивания на зеленую массу и продления цветения донника за счет периодического скашивания. Схема опыта: 1. Без скашивания; 2. Скашивание в фазе бутонизации; 3. Скашивание за 10 дней до бутонизации. 4. Скашивание за 20 дней до бутонизации. Опыт проводился на лугово-бурой почве, оподзоленной. Результаты проведенных исследований

показали, что лучшей покровной культурой для донника белого в условиях Приморского края является райграсс однолетний (урожайность семян – 20,2 ц/га). Возможно получение урожая семян со второго укоса. Самая высокая семенная продуктивность со второго укоса была получена при скашивании за 20 дней до бутонизации (на 28,9 % выше при урожайности 9 ц/га семян), чем в варианте скашивания в фазу бутонизации. За счет периодического подкашивания можно продлить период цветения донника, в том числе при планировании медоносного конвейера.

Егорова Г.С. и Петрунина Л.В. (2008) исследовали в богарных условиях на светло-каштановых почвах влияние минеральных удобрений и покровных культур на продуктивность травосмеси люцерны и эспарцета. Покровными культурами были ячмень и горчица. В опыте было использовано 2 варианта: 1) без удобрений, 2) $N_{23}P_{60}K_{60}$. Установлено, что максимальная урожайность и, соответственно, наибольший выход питательных веществ характерен для смеси люцерна+эспарцет на фоне внесения $N_{23}P_{60}K_{60}$ в варианте с покровом горчицы – 14,02 т зеленой и 3,5 т сухой массы, 2200 к. ед, 379 кг переваримого протеина и 36,7 ГДж обменной энергии.

Васин В.Г. с соавторами (2009) исследовал в Самарской области влияние предпосевной обработки почвы и покровной культуры на продуктивность эспарцето-кострецовой травосмеси. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный слабогумусированный, среднеспесчаный. Опыт закладывался по схеме – на двух вариантах предпосевной обработки почвы: 1. Боронование, боронование, прикатывание; 2. Боронование, культивация, прикатывание. Посев эспарцето-кострецовой смеси проводился беспокровно, под покров ячменя и яровой пшеницы с уменьшенной нормой высева до 50 % и 70 % от полной. Исследованиями выявлено, что на черноземе обыкновенном супесчаном наиболее целесообразно закладку эспарцето-кострецовой травосмеси проводить после двукратного боронования с прикатыванием под покров пшеницы или ячменя с нормой высева уменьшенной на 50 %. В этом случае обеспечивается суммарный урожай 44,0–44,3 ц/га зеленой массы.

Как видно из перечисленных литературных источников изучения радиэкологических особенностей донника и эспарцета, а также экспериментов с данными культурами на территории радиоактивного загрязнения не проводилось. И как следствие, отсутствовали технологические особенности их выращивания на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению. Также не имелось научной информации о возделывании данных культур на торфяных почвах. В этой связи, возникла необходимость в изучении особенностей возделывания высокоурожайных сортов донника белого и эспарцета на территориях подвергнутых радиоактивному загрязнению.

4.5.3. Влияние доз и соотношений минеральных удобрений на урожай зеленой массы донника и эспарцета

Полевой опыт с данными бобовыми травами проводился на землях СПК «Оборона» Добрушского района Гомельской области на торфяной маломощной (0,8–1,0 м) почве. Торф почвы древесно-осоковый с зольностью 16,7 %, объемный вес почвы 0,28 г/см³. Агрохимические показатели почвы были следующими; рН_{KCl} – 5,40, содержание подвижного калия 327 и фосфора 158 мг/кг почвы, обменного кальция и магния – 1296 и 49 мг/кг почвы соответственно, сумма поглощенных оснований – 86,7 ммоль/100 г почвы. Плотность загрязнения почвы ¹³⁷Cs – 432 кБк/м² (11,7 Ки/км²), ⁹⁰Sr – 13,6 кБк/м² (0,37 Ки/км²).

Варианты применения удобрений опыта во время проведения опытов показаны в таблице 4.5.1.

Таблица 4.5.1. – Схема полевого опыта

Донник белый посева 2011 г.	Эспарцет посева 2011 г.
Контроль (без удобрений)	Контроль (без удобрений)
P ₆₀ K ₆₀	P ₈₀ K ₁₄₀
P ₆₀ K ₁₂₀	P ₈₀ K ₁₈₀

В качестве минеральных удобрений применялся суперфосфат аммонизированный и хлористый калий. При внесении удобрений под донник белый в дозе P₆₀K₆₀ и эспарцет в дозе P₈₀K₁₄₀ ориентировались на нормы, рекомендованные отраслевыми регламентами. Повышенные дозы калия использовались в качестве защитной меры при возделывании указанных культур на радиоактивно загрязненных территориях. Удобрения под посеvy вносились весной перед рыхлением рядков.

Площадь опытных делянок составляла 10 м². Повторность опыта – трехкратная, размещение делянок рендомизированное. В соответствии с рекомендациями отраслевых регламентов возделывания донника белого и эспарцета, семена культур инокулировались микробиологическими препаратами с добавлением молибденовокислого аммония. Высев семян донника белого осуществлялся исходя из нормы в количестве 16 кг/га, эспарцета – 80 кг/га.

Опыты проводились в метеорологических условиях Добрушского района. Известно, что Добрушский район занимает восточную часть Гомельской области. Рельеф района представляет собой слабо всхолмленную равнину с абсолютными отметками от 120 (устье р. Хоропуть) до 172 м

(холм в д. Ленино). В северной части района главным элементом рельефа второго порядка является низменная равнина широтного простирания, являющаяся поймой р. Ипуть. Абсолютные отметки в этой, наиболее низменной, части района колеблются от 120 до 137 м) (Шкляр А.Х., 1983).

По сведениям Гомельского облгидромета средняя годовая температура воздуха равна +6,2°C. Даты перехода через 0°C 24–26.03, 15–18.11, количество дней с положительной температурой 236–237. Самым теплым месяцем является июль (+18,5÷19°C), самым холодным – январь (-6,5÷7°C). Продолжительность вегетационного периода 193 дня. Оттаивание почвы до глубины 10 см происходит 23–26 марта, до глубины 30 см – 28 марта – 2 апреля. Даты перехода среднесуточной температуры через 5, 10 и 15°C соответственно 11–12 апреля, 25–27 апреля и 14–16 мая. Минимальная продолжительность безморозного периода 124 дня, средняя – 161. Средняя за много лет глубина промерзания почвы составляет 60 – 65 см, максимальная – 95–100 см (Агроклиматический справочник по Гомельской области).

Метеорологические условия за период проведения исследований (апрель-сентябрь 2012 г.) в Добрушском районе Гомельской области представлены на рисунках 16, 17.

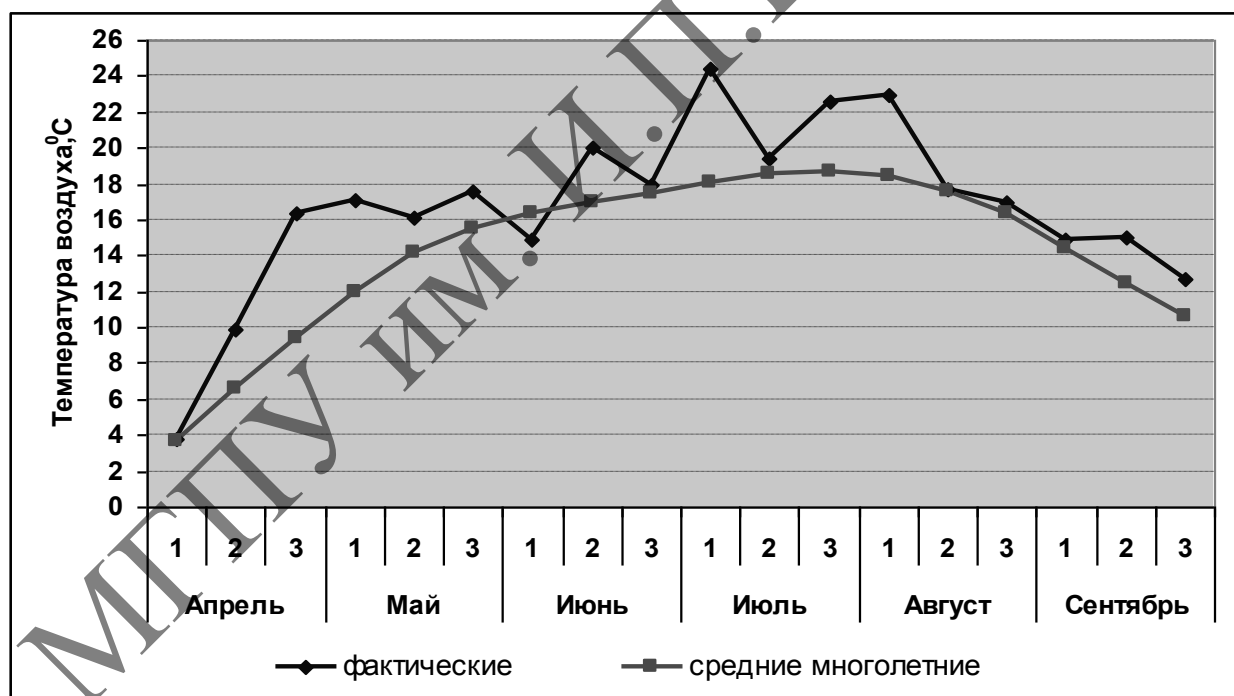


Рисунок 16. – Температурный режим вегетационного периода 2012 года в Добрушском районе Гомельской области

Метеорологические условия вегетационного периода 2012 года в Добрушском районе значительно отличались от средних многолетних. Апрель характеризовался превышением температур и осадков над средними

многолетними значениями. Май отличался повышенными температурами. В первой декаде мая количество осадков превышало средние многолетние значения на 21,5 мм, а во второй и третьей декаде было ниже на 2,6 и 16,0 мм. Температуры в июне были выше климатической нормы. Количество выпавших осадков в июне было самым большим за весь вегетационный период (114,7 мм).

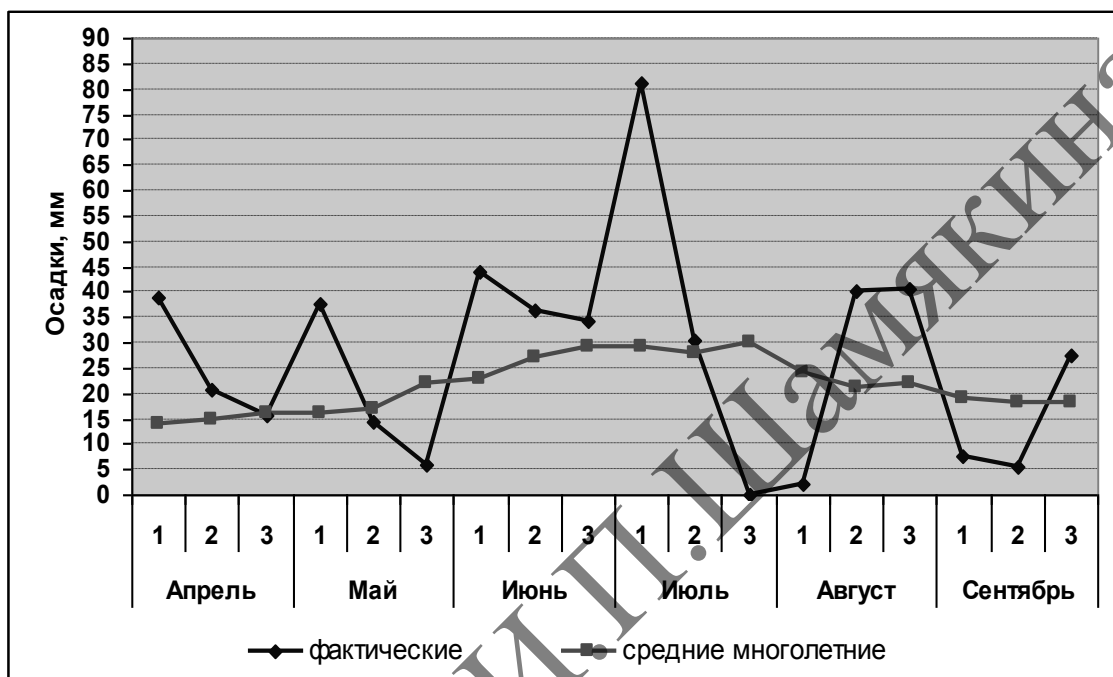


Рисунок 17. – Количество осадков, выпавших за вегетационный период 2012 года в Добрушском районе Гомельской области

Июль характеризовался высокими средними температурами, превышающими средние многолетние значения на 3,9–6,3 °С. Количество осадков выпавших в первой и второй декаде июля превышало средние многолетние значения на 52,0 и 0,6 мм. Третья декада июля и первая декада августа отличались наименьшим количеством осадков выпавших за вегетационный период (0,1–0,6 мм). Температуры в августе и сентябре были выше климатической нормы. Количество выпавших осадков во второй и третьей декаде августа, а также в третьей декаде сентября превышало значения средних многолетних показателей. Количество осадков в первой и второй декаде было существенно ниже климатической нормы.

Одним из основных показателей эффективности выращивания культур является их урожайность. Из анализа данных полевых исследований видно, что минимальный урожай зеленой массы донника белого был получен в контрольном варианте без внесения минеральных удобрений (таблица 4.5.2).

Таблица 4.5.2. – Влияние минеральных удобрений на урожайность зеленой массы донника белого на торфяной маломощной почве

Вариант опыта	Годы наблюдений					
	2011		2012		Среднее за 2 года	
	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га
Контроль	174,0	–	165,4	–	169,7	–
P ₆₀ K ₆₀	316,7	142,7	240,0	74,6	278,4	108,7
P ₆₀ K ₁₂₀	265,0	91,0	213,0	47,6	239,0	69,3
НСР ₀₅	12,2	–	7,2		9,7	

Большая часть фосфора находится в торфяной почве в связанной форме и является слабодоступной для растений. Учитывая высокую стоимость и дефицит фосфорных удобрений, целесообразно обеспечивать внесение минимума этих удобрений, необходимого для сбалансированного питания бобовых трав с учетом содержания фосфатов в почве.

Потребность растений в калии на торфяных почвах удовлетворяется в целом за счет внесения калийных удобрений. Внесение минеральных удобрений в дозах P₆₀K₆₀ повысило урожай донника белого в 1,6 раза (прибавка – 108,7 ц/га). Дополнительное внесение 60 кг/га калия на фоне P₆₀K₆₀ сформировало урожай зеленой массы донника белого на уровне 239,0 ц/га (прибавка – 69,3 ц/га).

Как видно из таблицы 4.5.3. минимальная урожайность зеленой массы эспарцета была получена в контрольном варианте и составила 157,6 ц/га.

Таблица 4.5.3. – Влияние минеральных удобрений на урожайность зеленой массы эспарцета на торфяной маломощной почве

Варианты	Годы наблюдений					
	2011		2012		Среднее за 2 года	
	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га
Контроль	80,0	–	235,2	–	157,6	–
P ₈₀ K ₁₄₀	94,7	14,7	331,0	95,8	212,9	55,3
P ₈₀ K ₁₈₀	109,2	29,2	400,3	165,1	254,8	97,2
НСР ₀₅	12,2		34,6			

Совместное внесение 80 кг/га д. в. фосфорных и 140 кг/га д. в. калийных удобрений позволила увеличить урожай культуры в 1,4 раза (прибавка – 55,3 ц/га). Дополнительное внесение 40 кг/га калия на фоне P₈₀K₁₄₀ повысило урожай эспарцета в 1,2 раза (прибавка – 41,9 ц/га) относительно фона.

В современном животноводстве особое внимание уделяется обеспечению сбалансированного питания животных. Применяя научно обоснованные системы кормления, можно повысить продуктивность животных и эффективно использовать корма. Полноценными считаются такие

рационы и корма, которые содержат все необходимые для организма животного вещества и способны в течение длительного времени обеспечить нормальное отправление всех его физиологических функций.

Зоотехнические показатели донника белого и эспарцета представлены в таблице 4.5.4.

Таблица 4.5.4. – Зоотехнические показатели сена донника белого и эспарцета, г в 1 кг сухого вещества

Доза удобрений	Сырая клетчатка	Сырой жир	Сырой протеин	Раствор. углеводы	P	К.ед. в 1 кг	Перевар. протеин
Донник белый							
<i>Норматив</i>	233,0	25,0	154,0	22,0	2,2	0,50	119,0
Контроль	222	21,6	184	45,3	1,60	0,61	133
P ₆₀ K ₆₀	232	17,8	195	44,7	1,82	0,59	143
P ₆₀ K ₁₂₀	217	21,1	192	45,0	1,85	0,62	140
Эспарцет							
<i>Норматив</i>	242,0	25,0	117,6	20,0	2,4	0,54	99,0
Контроль	241	18,3	174	32,4	1,96	0,57	125
P ₈₀ K ₁₄₀	246	17,8	171	30,0	1,90	0,56	122
P ₈₀ K ₁₈₀	234	19,1	167	31,7	1,93	0,59	119

Оценивая представленные результаты, следует отметить, что содержание сырой клетчатки, жира и фосфора во всех вариантах опыта было ниже нормативных требований. Содержание сырого и перевариваемого протеина, растворимых углеводов у донника и эспарцета соответствовало действующим нормативам. Содержание кормовых единиц у обеих культур отвечало норме. Содержание нитратов у донника белого и эспарцета соответственно составляло 85–102 мг/кг и 544–650 мг/кг и не превышало установленных требований (не более 1000 мг/кг)

По обобщенным данным, травы удобряемых сенокосов в Беларуси при своевременной уборке на сено содержат калия – 1,2–2,5 %, кальция – 0,7–0,8 %, магния - 0,2–0,3 % (Шкель М.П., 1989). Содержание этих элементов питания в сухом веществе донника и эспарцета находилось в следующих пределах: К – 1,2–1,5 и 1,4–1,8 %, Са – 2,17–2,66 и 1,39–1,45 %, Mg – 0,33–0,51 и 0,31–0,37 %.

Применение азотных, фосфорных и калийных удобрений может приводить к переходу в разряд дефицитных другие элементы питания, в частности, микроэлементы (Ильин В.Б., 1985). Однако, микроэлементы имеют большое значение в повышении эффективности поступления в растения азота, фосфора и калия. Микроэлементы влияют на передвижение и перераспределение минеральных элементов в растении. Например, цинк изменяет проницаемость мембран для калия и магния.

Данные по содержанию микроэлементов в сене донника и эспарцета и их содержанию в почве представлены в таблицах 4.5.5 и 4.5.6.

Таблица 4.5.5. – Содержание основных макро- и микроэлементов в сене донника и эспарцета

Доза удобрений	K, %	Mg, %	Ca, %	Fe, мг/кг	Cu, мг/кг	Zn, мг/кг	Co, мг/кг	Mn, мг/кг	I, мг/кг	Cd, мг/кг	Pb, мг/кг
Донник белый											
Контроль	1,2	0,51	2,66	102,2	8,1	21,5	0,028	51,7	0,26	0,001	0,02
P ₆₀ K ₆₀	1,4	0,38	2,49	81,3	7,7	20,3	0,029	41,3	0,29	0,003	0,02
P ₆₀ K ₁₂₀	1,5	0,33	2,17	95,8	6,9	20,7	0,030	46,1	0,28	0,001	0,02
Эспарцет											
Контроль	1,4	0,37	1,45	108,9	6,4	27,6	0,028	60,8	0,30	0,001	0,02
P ₈₀ K ₁₄₀	1,4	0,33	1,45	96,1	7,0	26,4	0,035	61,5	0,28	0,001	0,02
P ₈₀ K ₁₈₀	1,8	0,31	1,39	140,9	5,2	24,4	0,027	60,5	0,29	0,001	0,02

Анализ экспериментальных данных показал, что содержание меди, цинка, кобальта, йода, кадмия и свинца в сене донника и эспарцета отвечало требованиям ветеринарно-санитарных норм безопасности кормов (Cu и Zn – 30,0 мг/кг, Co – 1,0 мг/кг, I – 2,0 мг/кг, Cd – 2,0 мг/кг, Pb – 0,6 мг/кг). Содержание цинка во всех вариантах превышало допустимый уровень (– 10 мг/кг). Превышение содержания железа наблюдалось у донника на контрольном варианте, а у эспарцета практически во всех вариантах опыта, за исключением варианта P₈₀K₁₄₀ (Fe – 100 мг/кг).

Таблица 4.5.6. – Содержание основных микроэлементов в торфяной маломощной почве, мг/кг

Вариант опыта	Cu	Zn	Fe	Co	Mn	Cd	Pb
Донник белый							
Контроль	6,6	5,9	1007	1,84	376	0,055	3,2
P ₆₀ K ₆₀	6,6	5,8	1016	1,83	362	0,058	3,1
P ₆₀ K ₁₂₀	6,5	5,3	993	1,76	377	0,058	3,5
Эспарцет							
Контроль	6,5	5,8	968	2,80	379	0,044	3,7
P ₈₀ K ₁₄₀	6,8	5,1	942	2,52	376	0,049	3,6
P ₈₀ K ₁₈₀	6,5	4,2	971	2,34	378	0,053	3,5

Данную торфяную почву по содержанию меди можно отнести к 2 группе обеспеченности (средняя обеспеченность – 5,1–9,0 мг/кг почвы). Содержания цинка была очень низким (меньше 10 мг/кг почвы). Содержания марганца в почве во всех вариантах было избыточным (более 30 мг/кг почвы), а содержание кобальта низким (менее 3 мг/кг почвы).

Под влиянием минеральных удобрений несколько изменились агрохимические свойства почвы. Средние агрохимические показатели почвы в 2012 году были следующими: рН_{KCl} 5,3 ± 0,1, зольность 16,3 ± 1,0 %, содержание подвижного калия 249 ± 57 и фосфора 209 ± 64 мг/кг почвы,

обменного кальция и магния – 1611 ± 171 и 34 ± 6 мг/кг соответственно, сумма поглощенных оснований – $89,3 \pm 0,9$ ммоль/100 г почвы.

Во всех вариантах наблюдалось снижение содержания в почве обменного кальция и магния. Из-за снижения содержания в почве данных элементов практически во всех вариантах повысилась кислотность. Возможно, это было связано с тем, что вносились минеральные удобрения, которые могут вызывать подкисления почвы.

Увеличения содержания подвижного калия в почве при внесении калийных удобрений отмечено во всех вариантах опыта, но наиболее заметное в опыте с эспарцетом (таблица 4.5.7).

Таблица 4.5.7. – Данные агрохимических свойств почв полевого эксперимента (2012 год)

Вариант опыта	pH КС1	Зольность, %	Ca, мг/кг	Mg, мг/кг	K ₂ O, мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	S, ммоль/100г
Донник белый							
Контроль	5,4	16,3	1799	28	216	144	89,0
P ₆₀ K ₆₀	5,3	16,0	1766	35	218	204	90,4
P ₆₀ K ₁₂₀	5,3	16,2	1757	28	293	216	88,8
Эспарцет							
Контроль	5,3	17,3	1492	38	198	170	89,4
P ₈₀ K ₁₄₀	5,4	15,7	1479	40	313	295	89,4
P ₈₀ K ₁₈₀	5,3	16,0	1375	38	255	249	89,0

Внесение фосфорных удобрений способствовало увеличению во всех вариантах опытов содержания в почве подвижного фосфора.

4.5.4. Влияние доз и соотношений минеральных удобрений на накопление ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr зеленой массой трав

Из анализа данных полевых исследований видно, что максимальная удельная активность ¹³⁷Cs в зеленой массе донника белого наблюдалась в контроле и составляла 1144 Бк/кг. Минимальная удельная активность была на уровне 305 Бк/кг в варианте P60K120. Удельная активность ¹³⁷Cs зеленой массы донника белого в вариантах опыта с применением удобрений различалась до 1,9 раза (от 305 до 593 Бк/кг) и зависела от плотности загрязнения и доз внесения удобрений (таблица 4.5.8).

Таблица 4.5.8. – Параметры перехода ^{137}Cs в зеленую массу донника белого на торфяной маломощной почве

Вариант опыта	Год наблюдений					
	2011 год		2012 год		В среднем	
	Удельная активность, Бк/кг	Кп, Бк/кг:кБк/м ²	Удельная активность, Бк/кг	Кп, Бк/кг:кБк/м ²	Удельная активность, Бк/кг	Кп, Бк/кг:кБк/м ²
Контроль	1277 ± 305	2,8 ± 0,1	944 ± 96	2,2 ± 0,1	1144 ± 293	2,6 ± 0,3
P ₆₀ K ₆₀	720 ± 50	1,5 ± 0,2	402 ± 1	1,1 ± 0,1	593 ± 160	1,3 ± 0,3
P ₆₀ K ₁₂₀	373 ± 135	1,2 ± 0,1	203 ± 14	0,4 ± 0,1	305 ± 134	0,9 ± 0,4
НСР ₀₅	594	0,4	367	0,5	480	0,4

Установлено снижение поступления радионуклидов из почвы в растения при внесении фосфорных удобрений, особенно на почвах с низким содержанием фосфатов. Фосфорные удобрения не только способствуют повышению урожая трав, но при их внесении происходит фиксация ^{90}Sr фосфатами и снижается его поступление в растения.

Внесение дозы P₆₀K₆₀ позволило снизить Кп ^{137}Cs по сравнению с вариантом без внесения минеральных удобрений в 2 раза. Минимальный переход ^{137}Cs из почвы в растения наблюдался при увеличении дозы калийных удобрений. При повышении дозы калия с 60 до 120 кг/га д.в. КП ^{137}Cs уменьшался 2,8 раза относительно контроля.

За время наблюдений в контрольном варианте удельная активность ^{90}Sr в зеленой массе донника белого составляла 30,2 ± 5,3 Бк/кг (таблица 4.5.9).

Таблица 4.5.9. – Параметры перехода ^{90}Sr в зеленую массу донника белого на торфяной маломощной почве

Варианты	Годы наблюдений					
	2011 год		2012 год		В среднем	
	Удельная активность, Бк/кг	Кп, Бк/кг:кБк/м ²	Удельная активность, Бк/кг	Кп, Бк/кг:кБк/м ²	Удельная активность, Бк/кг	Кп, Бк/кг:кБк/м ²
Контроль	26,3 ± 2,8	1,9 ± 0,2	36,0 ± 0,2	2,9 ± 0,1	30,2 ± 5,3	2,3 ± 0,5
P ₆₀ K ₆₀	21,7 ± 0,4	1,6 ± 0,2	29,0 ± 1,1	2,2 ± 0,1	24,7 ± 3,6	1,8 ± 0,3
P ₆₀ K ₁₂₀	14,1 ± 0,8	1,0 ± 0,1	23,1 ± 0,5	1,6 ± 0,1	17,7 ± 4,5	1,2 ± 0,3
НСР ₀₅	3,8	0,3	3,9	0,6	3,9	0,5

Наиболее низкое содержание ^{90}Sr в зеленой массе донника белого отмечалось в варианте с дозой минеральных удобрений P₆₀K₁₂₀, где оно не превысило 17,7 Бк/кг.

Максимальный коэффициент перехода ^{90}Sr наблюдался в контрольном варианте без внесения удобрений (Кп ^{90}Sr – 2,3). Применение минеральных удобрений в дозах P₆₀K₆₀ позволило снизить накопление ^{90}Sr травостоем донника белого в 1,3 раза по сравнению с контролем. Минимальный переход ^{90}Sr из почвы в растения отмечался при увеличении дозы калийных

удобрений. При увеличении дозы калийных удобрений с 60 до 120 кг/га д. в. Кп ^{90}Sr снижался в 1,5 раза относительно варианта 2.

В отношении зеленой массы эспарцета установлено, что применение минеральных удобрений в опыте позволило не только повысить урожайность эспарцета, а также снизить накопление цезия в растениях. Средняя удельная активность ^{137}Cs в растении в вариантах опыта находилась в пределах 120–890 Бк/кг (таблица 4.5.10).

Таблица 4.5.10. – Параметры перехода ^{137}Cs в зеленую массу эспарцета на торфяной маломощной почве

Вариант опыта	Год наблюдений					
	2011 год		2012 год		В среднем	
	Удельная активность, Бк/кг	Кп, Бк/кг:кБк/м ²	Удельная активность, Бк/кг	Кп, Бк/кг:кБк/м ²	Удельная активность, Бк/кг	Кп, Бк/кг:кБк/м ²
Контроль	1177 ± 124	2,5 ± 0,1	603 ± 16	1,5 ± 0,1	890 ± 301	2,0 ± 0,5
P ₈₀ K ₁₄₀	494 ± 171	1,2 ± 0,2	401 ± 6	1,1 ± 0,1	457 ± 141	1,2 ± 0,2
P ₈₀ K ₁₈₀	127 ± 21	0,5 ± 0,1	109 ± 5	0,5 ± 0,1	120 ± 19	0,5 ± 0,1
НСР ₀₅	415	0,3	38	0,2	227	0,3

Минимальная удельная активность радионуклида в зеленой массе растений отмечалась при внесении минеральных удобрений в дозах P₈₀K₁₈₀ и составила 120 Бк/кг.

Максимальный коэффициент перехода ^{137}Cs наблюдался в контрольном варианте без внесения удобрений (Кп – 2,0). Применение минеральных удобрений в дозах P₈₀K₁₄₀ позволило снизить накопление ^{137}Cs травостоем эспарцета в 1,7 раз по сравнению с контролем. Дополнительное внесение калийных удобрений в дозе 40 кг/га д.в. на фоне P₈₀K₁₄₀ способствовало снижению поступления ^{137}Cs из почвы в растения в 2,4 раза.

Параметры перехода ^{90}Sr в зеленую массу эспарцета представлены в таблице 4.5.11.

Таблица 4.5.11. – Параметры перехода ^{90}Sr в зеленую массу эспарцета на торфяной маломощной почве

Вариант опыта	Год наблюдений					
	2011 год		2012 год		В среднем	
	Удельная активность, Бк/кг	Кп, Бк/кг:кБк/м ²	Удельная активность, Бк/кг	Кп, Бк/кг:кБк/м ²	Удельная активность, Бк/кг	Кп, Бк/кг:кБк/м ²
Контроль	26,7 ± 0,4	1,9 ± 0,1	14,6 ± 0,1	1,4 ± 0,1	21,8 ± 5,9	1,7 ± 0,3
P ₈₀ K ₁₄₀	24,1 ± 2,2	1,7 ± 0,1	12,7 ± 0,1	1,1 ± 0,1	19,5 ± 5,8	1,4 ± 0,3
P ₈₀ K ₁₈₀	16,4 ± 0,3	1,3 ± 0,1	10,3 ± 0,4	0,6 ± 0,1	14,0 ± 3,0	1,0 ± 0,3
НСР ₀₅	3,8	0,2	1,3	0,5	2,5	0,3

Результаты исследований показали, что наиболее высокая удельная активность ^{90}Sr в зеленой массе эспарцета отмечалась в варианте без внесения удобрений и составила 21,8 Бк/кг. Минимальная концентрация ^{90}Sr в растениях находилась на уровне 14,0 Бк/кг в варианте $\text{P}_{80}\text{K}_{180}$.

Применение минеральных удобрений в дозе $\text{P}_{80}\text{K}_{140}$ приводило к снижению накопления ^{90}Sr в зеленой массе эспарцета относительно контроля в 1,3 раза. Дополнительное внесение 40 кг/га д. в. калия на фоне $\text{P}_{80}\text{K}_{140}$, способствовало дальнейшему снижению накопления ^{90}Sr в зеленой массе эспарцета. Кратность снижения накопления радионуклида по отношению к варианту с дозой $\text{P}_{80}\text{K}_{140}$ составила 1,4 раза.

В связи с тем, что проблема получения растениеводческой продукции, соответствующей допустимым уровням по содержанию ^{137}Cs на торфяных почвах остаётся актуальной, поэтому в таблице 4.5.12 представлены данные по ограничению плотности загрязнения торфяных почв Гомельской области данным радионуклидом при возделывании донника белого и эспарцета для производства молока цельного и молока-сырья согласно РДУ-99.

Таблица 4.5.12. – Ограничение плотности загрязнения торфяных почв ^{137}Cs при возделывании донника белого и эспарцета для производства молока цельного и молока-сырья согласно РДУ-99

Доза удобрений	Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs , Ки/ км ²			
	Сено		Зеленая масса	
	для цельного молока 1300 Бк/кг	для молока-сырья 1850 Бк/кг	для цельного молока 165 Бк/кг	для молока-сырья 600 Бк/кг
	Донник белый			
Контроль	2,9	4,2	1,7	6,3
$\text{P}_{60}\text{K}_{60}$	5,6	8,0	3,3	12,1
$\text{P}_{60}\text{K}_{120}$	8,2	11,6	4,8	17,6
Эспарцет				
Контроль	3,8	5,3	2,2	8,1
$\text{P}_{80}\text{K}_{140}$	6,5	9,3	3,9	14,1
$\text{P}_{80}\text{K}_{180}$	15,7	22,3	9,3	33,8

Приведенные данные свидетельствуют, что донник белый возможно выращивать на зеленый корм для производства цельного молока без внесения удобрений при плотностях загрязнения ^{137}Cs торфяных почв менее 1,7 Ки/км², а при применении удобрений ограничение по плотности загрязнения данных почв увеличивается в 1,9–2,8 раз. При использовании культуры на сено выращенной на торфяной почве и внесении удобрений в дозе $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ ее производство возможно при плотности загрязнения сельхозугодий до 8,2 Ки/км².

При производстве кормов с внесением удобрений в количестве $P_{60}K_{120}$ для получения молока-сырья существуют ограничения по плотности загрязнения почв ^{137}Cs при возделывания донника белого на сено (11,6 Ки/км²) и на зеленую массу (17,6, Ки/км²).

Для производства молока цельного, соответствующего РДУ по ^{137}Cs , может быть использовано сено и зеленая масса эспарцета полученные при плотности загрязнения торфяных почв ^{137}Cs соответственно до 15,7 и до 9,3 Ки/км². При использовании молока на переработку возможно возделывание эспарцета на землях с плотностью загрязнения по ^{137}Cs на сено до 22,3 и на зеленую массу до 33,8 Ки/км².

Предельные плотности загрязнения почв ^{90}Sr при возделывании донника белого представлены в таблице 4.5.13.

Таблица 4.5.13. – Ограничение плотности загрязнения торфяных почв ^{90}Sr при возделывании донника белого и эспарцета для производства молока цельного и молока-сырья согласно РДУ-99

Дозы удобрений	Плотность загрязнения почвы ^{90}Sr , Ки/ км ²			
	Сено		Зеленая масса	
	для цельного молока 260 Бк/кг	для молока-сырья 1300 Бк/кг	для цельного молока 37 Бк/кг	для молока-сырья 185 Бк/кг
	Донник белый			
Контроль	0,7	3,3	0,4	2,2
$P_{60}K_{60}$	0,8	4,2	0,6	2,8
$P_{60}K_{120}$	1,2	6,1	0,8	4,1
	Эспарцет			
Контроль	0,9	4,3	0,6	2,9
$P_{80}K_{140}$	1,0	5,2	0,7	3,5
$P_{80}K_{180}$	1,5	7,5	1,0	5,0

Как видно из табличных данных, для получения нормативно чистых кормов из донника белого, используемого на корм КРС для получения молока цельного, его возделывание возможно на землях, загрязненных ^{90}Sr в пределах до 0,8 Ки/км². При этом получение сена указанной культуры возможно при плотности загрязнения ^{90}Sr до 1,2 Ки/км².

При применении удобрений и проведении защитных мероприятий возделывание донника белого для производства молока-сырья возможно без ограничений по плотности загрязнения торфяных почв ^{90}Sr . При производстве кормов для получения молока цельного существует ограничения по плотности загрязнения торфяных почв ^{90}Sr при возделывании эспарцета на сено (1,5 Ки/км²), на зеленую массу (1,0 Ки/км²).

Без ограничений по плотности загрязнения торфяных почв ^{90}Sr можно возделывать эспарцет для производства молока-сырья.

4.5.5. Экономическая и энергетическая эффективность возделывания донника белого и эспарцета на кормовые цели

В настоящее время факторы, наиболее ограничивающие урожай в условиях республики, – это уровень плодородия почв, удобрения и средства защиты растений. Поэтому для определения возможного уровня урожая очень важно количественно оценить потенциальный уровень плодородия и ожидаемую прибавку урожая от имеющихся ресурсов удобрений. Основными показателями, характеризующими экономическую эффективность проводимых защитных мероприятий на кормовых угодьях, является выход дополнительной продукции с 1 га (прибавка урожайности ц/га), окупаемость применения удобрений дополнительной продукцией, стоимость дополнительной продукции, условный чистый доход от проводимых мероприятий, условный уровень рентабельности (окупаемость) дополнительных затрат. При расчете экономической эффективности возделывания донника белого и эспарцета на кормовые цели использовались нормативы затрат на технологические процессы и цены на удобрения, средства защиты растений и семена по состоянию на 2012 г., а также стоимости закупочных цен на сельскохозяйственную продукцию.

Показатели экономической эффективности возделывания донника белого и эспарцета на торфяных почвах представлены в таблице 4.5.14.

Таблица 4.5.14. – Экономическая эффективность возделывания донника белого и эспарцета на кормовые цели в зависимости от доз минеральных удобрений

Вариант опыта	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Стоимость прибавки урожая, тыс. бел. руб	Затраты тыс. бел. руб. на 1 га	Прибыль, тыс. бел. руб. на 1 га	Рентабельность, %	Срок окупаемости, лет
Донник белый							
Конт-роль	169,7	–	–	–	–	–	–
P ₆₀ K ₆₀	278,4	108,7	3870,2	2183,3	1686,9	77	1,3
P ₆₀ K ₁₂₀	239,0	69,3	2592,8	2103,0	489,9	23	4,3
Эспарцет							
Конт-роль	157,6	–	–	–	–	–	–
P ₈₀ K ₁₄₀	212,9	55,3	1868,8	2765,8	–897,0	–32	–
P ₈₀ K ₁₈₀	254,8	97,2	3460,8	2893,5	567,3	20	5,1

Анализ экономической эффективности выращивания культур показал, что применение минеральных удобрений в дозах P₆₀K₆₀ под донник белый обеспечивает получение прибавки урожая 108,7 ц/га и прибыли на уровне 1686,9 тыс. бел. руб. на 1 га. Внесение дозы P₆₀K₁₂₀ под культуру сформировало

прибавку урожая на уровне 69,3 ц/га. Размер прибыли в данном варианте составил 489,9 тыс. бел. руб на 1 га, а уровень рентабельности 23 %.

Наибольшая прибавка урожая эспарцета (97,2 ц/га) была получена в варианте с внесением минеральных удобрений в дозах $P_{80}K_{180}$. Величина чистого дохода в данном варианте составляла 567,3 тыс. бел. руб. на 1 га, а уровень рентабельности 20 %. Внесение минеральных удобрений в дозах $P_{80}K_{140}$ под бобовую культуру оказалось нерентабельным.

В условиях интенсификации земледелия дальнейшее повышение почвенного плодородия и урожайности сельскохозяйственных культур сопровождается все большими затратами невозобновляемой энергии, используемой в виде удобрений, пестицидов, осушения, средств механизации.

Важным показателем сельскохозяйственного производства является энергетическая эффективность, которая представляет собой отношения количества энергии содержащейся в продукции сельского хозяйства, к затратам энергии первичных ресурсов, потребленных на ее производство (таблица 4.5.15).

Таблица 4.5.15. – Энергетическая эффективность возделывания донника белого и эспарцета на кормовые цели в зависимости от доз минеральных удобрений

Вариант опыта	Сбор к. ед. с 1 га, ц/га	Выход обменной энергии с 1 га, тыс. МДж	Нормативные затраты на 1 га посева, тыс. МДж	Чистый выход энергии, тыс. МДж	Энергетическая эффективность, %	Чистая энергетическая эффективность, %
Донник белый						
Конт-роль	22,2	28,9	10,1	18,8	286,1	186,1
$P_{60}K_{60}$	35,2	46,6		36,5	460,9	360,9
$P_{60}K_{120}$	31,7	41,0		30,9	406,1	306,1
Эспарцет						
Конт-роль	19,2	26,0	10,1	15,9	257,1	157,1
$P_{80}K_{140}$	25,5	34,8		24,7	344,2	244,2
$P_{80}K_{180}$	32,2	42,4		32,3	420,2	320,2

Оценивая энергетическую эффективность возделывания донника белого и эспарцета, следует отметить, что относительно нормативных затрат энергии на 1 га, данные культуры являются интенсивными и покрывают затраты энергии на их возделывание.

На маломощных торфяных почвах максимальная энергетическая эффективность выращивания донника белого на зеленую массу наблюдалась в варианте внесения $P_{60}K_{60}$ (энергетическая эффективность – 360,9 %). При выращивании эспарцета на зеленую массу наиболее энергоэффективным был вариант внесения удобрений $P_{80}K_{180}$ (энергетическая эффективность – 320,2 %).

Оценка радиологических и экономических показателей возделывания бобовых культур на торфяных почвах показала, что наиболее оптимальными дозами минеральных удобрений для донника белого является вариант с соотношением $P_{60}K_{120}$, для эспарцета – $P_{80}K_{180}$.

Таким образом, полученные в натуральных условиях экспериментальные данные свидетельствуют о следующем. Применение удобрений в дозе $P_{60}K_{120}$ на торфяных почвах с низким содержанием фосфора (200 мг/кг почвы) и калия (300 мг/кг почвы), может обеспечивать двукратное снижение K_p ^{90}Sr и трёхкратное снижение K_p ^{137}Cs в звене миграции почва-донник, а также получение высокого урожая (239,0 ц/га зеленой массы) оптимального зоотехнического качества. В результате применения указанной дозы минеральных удобрений прибавка урожая возможна в количестве 69,3 ц/га, а экономический эффект – с рентабельностью на уровне 23 %.

При возделывании эспарцета на загрязнённых ^{137}Cs и ^{90}Sr торфяных почвах с низким содержанием фосфора и калия эффективны минеральные удобрения в дозе $P_{80}K_{180}$. Данное количество удобрений позволяет получить урожай зеленой массы на уровне 254,8 ц/га, с уровнем рентабельности 20 % и при этом снизить в ней накопление радионуклидов (^{137}Cs в 4,0 раза и ^{90}Sr в 1,7 раза).

При выращивании донника белого и эспарцета на загрязнённых радионуклидами торфяных почвах необходимо учитывать плотность загрязнения почвы ^{137}Cs и ^{90}Sr . Допустимые уровни загрязнения почв ^{137}Cs при возделывании трав, используемых на получение цельного молока и мяса, не должны превышать для донника белого 4,8 Ки/км² для эспарцета – 9,3 Ки/км². Загрязнение торфяных почв ^{90}Sr при возделывании донника белого и эспарцета не должно превышать соответственно 0,8 и 1,0 Ки/км².

Оценка энергетической эффективности возделывания донника белого и эспарцета на торфяных почвах свидетельствует, что относительно нормативных затрат энергии на 1 га, данные культуры являются интенсивными и могут покрывать затраты энергии на их производство.

4.6. Совершенствование структуры многолетних трав

Складывающаяся экономическая ситуация в мире, рост цен на энергоносители, минеральные удобрения, технику и средства защиты растений требует постоянного внимания поиску надежных и менее энергозатратных путей увеличения производства продукции растениеводства. Одной из основных проблем кормопроизводства Республики Беларусь является несбалансированность кормов по белку. Недостаток белка в кормах приводит к нерациональному расходованию других питательных веществ, физическому перерасходу кормов и, соответственно, удорожанию продукции животноводства. Известно, что при 20 % несбалансированности кормовых рационов по протеину недобор животноводческой продукции достигает 30–40 %, при этом себестоимость ее и расход кормов возрастают в 1,5 раза.

Сегодня перед белорусским кормопроизводством стоит задача обеспечить на уровне 105 грамм переваримого протеина в кормовой единице концентрированных и 120 грамм в кормовой единице травянистых кормов. С этой целью в Республике Беларусь ведется активная работа по созданию многокомпонентных травосмесей сенокосного и пастбищного типа. Согласно основным направлениям развития кормопроизводства в полевом травосеянии предусматривается переход на возделывание бобовых трав и бобово-злаковых травосмесей. Удельный вес улучшенных сенокосов и пастбищ с бобово-злаковыми травосмесями должен быть доведен минимум до 55 % от общей их площади. Производству необходимы предложения по видам трав с высоким адаптивным потенциалом, способные эффективно функционировать на основных почвенных разностях республики (Гусаков В.Г., 2005, 2008).

Расчет делается с учетом того, что многолетние травы являются не только источником получения ценных, высокопитательных кормов, богатых белком и витаминами, но и играют важную роль в сохранении и повышении плодородия почвы. В связи с этим для создания высокопродуктивных агроценозов длительного пользования необходимо использовать травосмеси как на основе традиционных, так и малораспространенных бобовых и злаковых трав. Травосмеси на протяжении всего срока их использования более продуктивны, чем одновидовые посевы трав, так как лучше переносят неблагоприятные условия, полнее реализуют факторы роста, а более высокая плотность травостоя обуславливает меньшую засоренность. При 30 % бобовых в составе травостоя за счет фиксации азота атмосферы экономится 80–90 кг/га азота удобрений.

Предусматривается расширение площадей с бобово-злаковыми травосмесями на торфяных почвах. Многолетние травы, возделываемые на торфяных почвах, способны полнее использовать ресурсы тепла, влаги, запасы питательных веществ и другие факторы в течение теплого периода года. Чем дольше торфяная почва занята растительным травяным покровом, тем меньше происходит разрушение органического вещества торфа.

Многолетние травы препятствуют распылению торфа, сдерживают процессы его минерализации, снижают развитие сорняков, что делает их обязательным и незаменимым звеном севооборота различных типов. Наиболее перспективны и наиболее устойчивы для выращивания на торфяных почвах многолетние злаковые травы такие, как тимopheевка луговая, кострец безостый, овсяница луговая, лисохвост луговой, ежа сборная и другие, из бобовых многолетних трав – клевер розовый (гибридный) и красный (луговой), люцерна рогатый, козлятник восточный или галега восточная. Многолетние многокомпонентные травы выгодно отличаются от других культур дешевизной получаемых травяных кормов. Они меньше других культур нуждаются в поддержании необходимой нормы осушения, устойчивы к заморозкам, не требуется использование ядохимикатов в течении вегетации, при соблюдении агротехники дают высокие урожаи (до 120 ц/га сухого вещества). Произрастая длительное время на одном месте, многолетние травы

формируют мощную дернину, что способствует накоплению большой массы свежего органического вещества, богатого микро- и макроэлементами, которые минерализуясь, являются источником питания для последующих культур (Мееровский А.С., Брель С.Н., 2010; Пикун П.Т., 2010).

Одна из важнейших задач лугового кормопроизводства на загрязненных территориях – довести продуктивность каждого гектара кормовых угодий до уровня 30–50 ц к. ед. и обеспечить получение грубых и сочных кормов, отвечающих требованиям Республиканских допустимых уровней по содержанию ^{137}Cs и ^{90}Sr (РДУ). Мероприятия, используемые для решения этой задачи, должны обеспечивать повышение и поддержание агрохимических показателей плодородия почв на оптимальном уровне и создание предпосылок для рентабельного производства сельскохозяйственной продукции и снижения в ней концентрации радионуклидов до экономически обоснованного минимума (Богдевич И.М., 2010; Подоляк А.Г. и др., 2005, 2006, 2007).

Торфяные почвы обладают высоким потенциальным плодородием. Вместе с тем этим почвам характерна высокая биологическая доступность радионуклидов. Поэтому основная доля растениеводческой продукции и кормов, не отвечающих требованиям РДУ, производится именно на почвах данного типа.

При создании и обновлении бобово-злаковых агрофитоценозов на торфяных почвах определенную значимость приобретают вопросы подбора компонентов, которые наиболее полно используют биоклиматические ресурсы зоны и устойчивы в травосмесях. Правильный подбор травосмесей по сравнению со случайным составом повышает урожай на 50–70 %, а использование новых сортов в луговом травосеянии обеспечивает 10–20 % прироста урожайности по сравнению с ранее районированными сортами.

Новые сорта многолетних бобовых трав способны в климатических условиях республики сформировать за вегетацию от 400 ц/га (лядвенец рогатый) до 500 – 560 (клевер луговой и ползучий, галега восточная) и даже до 635 ц/га зеленой массы (люцерна за 4 г. п.), или 87–153 ц/га сухого вещества. Сбор кормовых единиц составляет 91–133 ц/га, а сырого белка – 15,5–26,0 ц/га. Продуктивное долголетие составляет от 2 лет у клевера лугового до 5 лет – у люцерны и лядвенца и до 10 лет – у галеги восточной. При такой урожайности многолетние бобовые травы возвращают в почву с растительными остатками от 90 до 190 кг/га азота. Оставленные в почве корневые и пожнивные остатки эквивалентны по действию 20–25 т/га качественного навоза. Преимущество многолетних бобовых трав заключается также в том, что они являются лучшими предшественниками для зерновых культур (обеспечивают повышение урожайности на 5–6 ц/га), а также полноценными заменителями органических удобрений (Ласько Т.В. и др., 2009).

Цель исследований заключалась в усовершенствовании элементов технологии получения качественных кормов (зеленая масса, сено) на основе многолетних бобово-злаковых многокомпонентных травосмесей на загрязненных радионуклидами торфяных почвах.

Исследования проводились в 2011–2014 гг. в условиях стационарных полевых опытов. Полевой опыт №1 с многолетними бобово-злаковыми травосмесями был заложен на землях СПК «Оборона» Добрушского района Гомельской области на торфяной маломощной почве (0,8–1,0 м), подстилаемой песком связным. Агрохимические показатели почвы имели следующую характеристику: зольность 17,0 %, рН_{KCl} – 5,36, P₂O₅ – 149 мг/кг; K₂O – 315 мг/кг; CaO – 1586 мг/кг; MgO – 106 мг/кг почвы. Плотность загрязнения ¹³⁷Cs – 499 кБк/м² (13,5 Ки/км²), ⁹⁰Sr – 16,2 кБк/м² (0,44 Ки/км²).

Одновременно с первым опытом проводился полевой опыт №2 по выращиванию многолетних бобово-злаковых трав на торфяно-глеевой почве Черebasовской осушительно-увлажнительной мелиоративной системы (земли СПК «Новое Полесье») Лунинецкого района Брестской области. В данном опыте агрохимические показатели почвы имели такие показатели как: зольность 28,4 %, рН_{KCl} – 4,8, P₂O₅ – 187 мг/кг; K₂O – 345 мг/кг; CaO – 1521 мг/кг; MgO – 128 мг/кг почвы. Плотность загрязнения ¹³⁷Cs – 140 кБк/м² (3,8 Ки/км²).

Посев трав производился беспокровным способом, повторность опытов 3-кратная, площадь каждой делянки 10 м², размещение делянок в опыте рендомизированное. Минеральные удобрения в виде суперфосфата аммонизированного, калия хлористого и аммиачной селитры вносились в соответствии со схемой полевого опыта. Фосфорные удобрения применялись в полной дозе под первый укос, калийные и азотные – 75 % под первый укос и 25 % под второй укос. Микроудобрения использовались в виде сульфата меди, молибденовокислого аммония, борной кислоты. Состав травосмесей для залужения сенокосов представлен в таблице 4.6.1.

Таблица 4.6.1. – Многолетние бобово-злаковые травосмеси полевых опытов № 1 и № 2

Тип травостоя	Состав травосмеси	Норма высева, кг/га
Бобово-злаковые среднеспелые	Тимофеевка луговая (<i>Phleum pratense</i> L.)	6,0
	Овсяница луговая (<i>Festuca pratensis</i> Huds.)	6,0
	Кострец безостый (<i>Bromopsis inermis</i> L.)	6,0
	Клевер гибридный (<i>Trifolium hybridum</i> L.)	4,0
	Клевер луговой (<i>Trifolium pratense</i> L.)	4,0
	Всего	26
	Тимофеевка луговая (<i>Phleum pratense</i> L.)	6,0
	Овсяница луговая (<i>Festuca pratensis</i> Huds.)	6,0
	Кострец безостый (<i>Bromopsis inermis</i> L.)	6,0
	Лядвенец рогатый (<i>Lotus corniculatus</i> L.)	5,0
	Всего	23,0
	Тимофеевка луговая (<i>Phleum pratense</i> L.)	6,0
	Овсяница луговая (<i>Festuca pratensis</i> Huds.)	6,0
	Кострец безостый (<i>Bromopsis inermis</i> L.)	6,0

Схема опытов включала варианты: 1. Без удобрений (контроль); 2. $P_{60}K_{180}$; 3. $P_{60}K_{180} + Cu_{100} + Mo_{50} + B_{50}$; 4. $N_{30}P_{60}K_{180}$; 5. $N_{30}P_{60}K_{180} + Cu_{100} + Mo_{50} + B_{50}$; 6. $N_{30}P_{60}K_{240} + Cu_{100} + Mo_{50} + B_{50}$.

В почвенных пробах определяли основные агрохимические характеристики по общепринятым методикам: pH_{KCl} – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85), подвижный фосфор и калий – по Кирсанову (ГОСТ 26207-91); обменный кальций и магний – на атомно-абсорбционном спектрофотометре ААС-30 (ГОСТ 26487-85), сумма поглощенных оснований – по методу Каппена (ГОСТ 27821-88). Зоотехнический анализ сена на содержание показателей качества проводился по общепринятым методикам.

За годы исследований агрометеорологические условия для роста и развития, многолетних бобово-злаковых травосмесей складывались удовлетворительно. Однако травосмеси первого укоса произрастали в более благоприятных погодных условиях. Из-за недостаточного количества влаги и тепла во второй половине вегетации рост трав второго укоса был менее продуктивным, что отражалось на их урожайности в сравнении с первым укосом.

Уборка многолетних бобово-злаковых травосмесей первого укоса проводилась в последней пятidineвке мая. Травы второго укоса убирались в третьей пятidineвке августа на торфяно-глебоватой почве и в последней пятidineвке августа на торфяной маломощной почве.

За время наблюдений было установлено, что в травосмесях удельный вес бобовых ежегодно снижался, что отражалось на урожайности сена многолетних трав, которая также снижалась. На третий год пользования содержание лядвенца в травосмеси составило около 40 %, галеги – 30 %, клевера – 20 %.

Урожайность сена, как правило, определяли в начале фазы цветения бобовых трав. Данные по урожайности сена за два укоса и прибавке урожая, на торфяных почвах представлены в таблице 4.6.2.

Таблица 4.6.2. – Урожайность сена многолетних бобово-злаковых травосмесей на маломощной торфяной почве

Вариант опыта	Урожайность, ц/га				Прибавка ц/га
	2012 г. за три укоса	2013 г. за два укоса	2014 г. за два укоса	Средняя за 3 года	
Галега+ овсяница + кострец + тимофеевка					
Контроль	98,0	65,4	40,0	67,8	–
$P_{60}K_{180}$	124,2	105,4	88,7	106,1	38,3
$P_{60}K_{180} + Cu_{100} + Mo_{50} + B_{50}$	132,0	107,8	92,0	110,6	42,8
$N_{30}P_{60}K_{180}$	141,4	116,5	104,7	120,9	53,1
$N_{30}P_{60}K_{180} + Cu_{100} + Mo_{50} + B_{50}$	147,9	122,2	107,7	125,9	58,1
$N_{30}P_{60}K_{240} + Cu_{100} + Mo_{50} + B_{50}$	160,1	133,6	118,9	137,5	69,7

Продолжение таблицы 4.6.2

НСР ₀₅	4,8	4,3	4,3	4,5	
Лядвенец+ овсяница + кострец + тимофеевка					
Контроль	88,2	65,8	43,8	65,9	–
P ₆₀ K ₁₈₀	119,8	111,7	94,7	108,7	42,8
P ₆₀ K ₁₈₀ + Cu ₁₀₀ + Mo ₅₀ + B ₅₀	125,4	117,6	99,9	114,3	48,4
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀	131,0	121,9	111,9	121,6	55,7
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀ +Cu ₁₀₀ +Mo ₅₀ +B ₅₀	134,1	126,3	116,3	125,6	59,6
N ₃₀ P ₆₀ K ₂₄₀ +Cu ₁₀₀ +Mo ₅₀ +B ₅₀	144,9	138,1	125,1	136,0	70,1
НСР ₀₅	5,4	4,4	4,4	4,9	
Клевер+ овсяница+кострец+тимофеевка					
Контроль	76,9	55,0	41,0	57,6	–
P ₆₀ K ₁₈₀	125,8	94,2	84,2	101,4	43,8
P ₆₀ K ₁₈₀ + Cu ₁₀₀ + Mo ₅₀ + B ₅₀	134,1	100,6	85,6	106,8	49,1
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀	139,7	112,6	100,6	117,6	60,0
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₈₀ +Cu ₁₀₀ +Mo ₅₀ +B ₅₀	143,1	115,3	104,5	121,0	63,3
N ₃₀ P ₆₀ K ₂₄₀ +Cu ₁₀₀ +Mo ₅₀ +B ₅₀	161,2	124,5	116,4	134,0	76,4
НСР ₀₅	6,1	4,2	4,2	5,2	

Внесение минеральных удобрений значительным образом, на 38,3–76,4 ц/га, способствовало увеличению урожайности многолетних трав во всех вариантах опыта в сравнении с контролем, где удобрения не вносились. Значительную прибавку урожая дает применение азотных удобрений. Внесение азота из расчета 30 кг д.в./га по сравнению с вариантом P₆₀K₁₈₀, где азотные удобрения не вносили, увеличивает урожайность сена травосмеси с галегой на 14,8 ц/га, лядвенцем – на 12,9 ц/га и клевером – на 16,2 ц/га. Повышение дозы калия до K₂₄₀ или на 60 кг, в сравнении с K₁₈₀ (варианты 5 и 6), увеличивает урожай сена травосмеси с галегой на 11,6 ц/га, с лядвенцем рогатым на 10,5 ц/га и клевером на 13,1 ц/га. Наибольший урожай сена получен на опытных делянках с травосмесью «злаки + клевер», где урожайность сена была выше во всех вариантах опыта, по сравнению с урожайностью, полученной на опытных делянках злаковых травосмесей с галегой и лядвенцем рогатым. Наиболее эффективными дозами минеральных удобрений при возделывании многокомпонентных бобово-злаковых травосмесей оказались соотношения туков и минеральных элементов N₃₀P₆₀K₁₈₀ + м/э и N₃₀P₆₀K₂₄₀ + м/э. Было также установлено, что урожайность сена во втором укосе примерно в 1,3 – 1,5 раза ниже, чем в первом укосе.

В первый год пользования многолетние травосмеси, при благоприятных метеорологических условиях вегетационного периода 2012 года, травы сформировали три укоса сена, урожайность которого находилась в пределах 144,9–161,2 ц/га. Второй и третий годы пользования были более засушливыми,

поэтому было получено только по два укоса. Урожайность травосмесей в 2013 году по всем вариантам опытов составила 66,0–74,6 %, в 2014 году – 40,8–53,3 % в сравнении с первым годом пользования.

Важным показателем кормового достоинства травосмесей является их химический состав. Согласно ГОСТ 4808-87, содержание сырого протеина в сухом веществе злаковых трав должно составлять не менее 8–14 %, содержание сырого жира 1,5–3,0%, содержание клетчатки не должно превышать 28–30 %, а отношение калия к сумме кальция и магния – 2,2–2,4, условно допустимый уровень – 2,6. В сухом веществе трав оптимальным является содержание: P_2O_5 – 0,30–0,50 % (не менее 0,20 %), K_2O – 1,2–2,5 %, Ca – 0,4–0,8 %, Mg – 0,15–0,25 %. Содержание в травах при сенокосном использовании 1,8–2,4 % азота является оптимальным, а при пастбищном использовании – 2,4–2,8 %.

Зоотехнические показатели качества сена различных бобово-злаковых травосмесей возделываемых на торфяной почве представлены в таблице 4.6.3.

Таблица 4.6.3. – Химический состав и питательная ценность сена многолетних бобово-злаковых травосмесей (опыт № 1)

Вариант опыта	Сырой жир	Сырая клетчатка	Сырой протеин	К.ед. кг/кг	Обм. энергия, МДж/кг	К	Са	Mg,	P	Обеспеченность КПЕ 1 га
Галега + овсяница + кострец + тимофеевка										
Контроль	2,9	27,0	18,1	0,52	9,9	1,3	0,4	0,15	0,26	59,3
$P_{60}K_{180}$	3,3	26,8	19,0	0,54	10,3	1,6	0,6	0,16	0,33	60,0
$P_{60}K_{180}+M/Э$	3,4	27,4	17,8	0,53	9,7	1,8	0,7	0,13	0,31	58,3
$N_{30}P_{60}K_{180}$	3,3	26,6	17,9	0,52	10,1	1,8	0,7	0,16	0,34	58,0
$N_{30}P_{60}K_{180}+M/Э$	3,4	25,2	17,3	0,51	10,2	1,9	0,8	0,15	0,34	57,4
$N_{30}P_{60}K_{240}+M/Э$	3,5	24,3	18,0	0,52	10,6	2,2	0,8	0,22	0,33	58,1
Лядвенец + овсяница + кострец + тимофеевка										
Контроль	3,2	27,7	17,6	0,52	10,0	1,3	0,5	0,22	0,28	58,0
$P_{60}K_{180}$	3,5	26,9	18,6	0,51	10,2	1,6	0,7	0,18	0,30	57,2
$P_{60}K_{180}+M/Э$	3,7	27,1	17,5	0,53	10,1	1,7	0,7	0,19	0,29	58,6
$N_{30}P_{60}K_{180}$	3,4	27,9	16,7	0,53	10,1	1,8	0,6	0,16	0,30	58,4
$N_{30}P_{60}K_{180}+M/Э$	3,5	26,7	17,4	0,52	10,3	1,9	0,7	0,17	0,30	58,0
$N_{30}P_{60}K_{240}+M/Э$	3,6	25,9	19,1	0,56	10,2	2,1	0,8	0,18	0,34	60,6
Клевер + овсяница + кострец + тимофеевка										
Контроль	3,0	27,5	14,6	0,53	9,8	1,4	0,6	0,18	0,27	61,3
$P_{60}K_{180}$	3,2	27,1	16,0	0,57	10,0	1,6	0,6	0,15	0,34	60,9
$P_{60}K_{180}+M/Э$	3,4	27,0	17,8	0,56	10,2	1,7	0,7	0,16	0,31	60,0
$N_{30}P_{60}K_{180}$	3,3	26,6	15,0	0,57	10,3	1,7	0,7	0,15	0,36	61,0
$N_{30}P_{60}K_{180}+M/Э$	3,4	26,1	16,2	0,54	10,1	1,7	0,8	0,17	0,32	58,9
$N_{30}P_{60}K_{240}+M/Э$	3,5	26,5	18,4	0,57	10,4	2,0	0,9	0,18	0,35	60,5
$НСП_{0,5}$	0,3	1,6	1,8	0,03	0,1	0,3	0,1	0,02	0,02	

* КПЕ – кормопротеиновая единица

Содержание кормовых единиц в сене травосмесей составило: галега + злаки – 0,53, лядвенец + злаки – 0,56, клевер + злаки – 0,57. Обеспеченность кормопротеиновой единицей 1 гектара составила 55,6–60,9 в зависимости от состава травосмеси и дозы минеральных удобрений. Наилучшие показатели зоотехнического качества сена бобово-злаковых травосмесей на основе лядвенца отмечены при дозе удобрений $N_{30}P_{60}K_{240}$ с содержанием сырого протеина 19,1 %, сырой клетчатки 25,9 %, жира 3,6 %.

Применение минеральных удобрений является одним из наиболее важных факторов, определяющих величину и стабильность урожаев сельскохозяйственных культур, способствует сохранению плодородия почв, а на загрязненных радионуклидами землях позволяет управлять процессом формирования качества продукции, значительно уменьшить до безопасных пределов загрязнение ее долгоживущими радионуклидами. Повышение продуктивности многолетних злаково-бобовых трав за счет удобрений обеспечивает не только радиологическую чистоту, но и снижение затрат, что весьма актуально в кормопроизводстве. Эффективность возделывания многолетних бобово-злаковых выевляли согласно «Методики определения агрономической и экономической эффективности минеральных удобрений» (Богдевич И.М. и др., 2010). Агрономическая эффективность применения удобрений при возделывании многолетних бобово-злаковых травосмесей представлена в таблице 4.6.4.

Таблица 4.6.4. – Агрономическая эффективность использования минеральных удобрений

Вариант опыта	Внесено, кг д.в., NPK	Получено дополнительной продукции, кг	Отдача на 1кг д.в. NPK кг дополнительной продукции за 2 укоса
Галега + овсяница + костреч + тимофеевка			
1	–	–	–
2	240	1460	6,1
3	240+микроуд.	2070	8,6
4	270	3810	14,1
5	270+микроуд.	4120	15,2
6	330+микроуд.	6130	18,6
Лядвенец + овсяница + костреч + тимофеевка			
1	–	–	–
2	240	1980	8,3
3	240+микроуд.	2470	10,3
4	270	4400	16,3
5	270+микроуд.	5150	19,1
6	330+микроуд.	7290	22,1
Клевер + овсяница + костреч + тимофеевка			
1	–	–	–
2	240	1340	5,6
3	240+микроуд.	1740	7,3
4	270	3560	13,2
5	270+микроуд.	4080	15,1
6	330+микроуд.	6970	21,1

Из данных таблицы видно, что наибольшая отдача от внесенных удобрений получена в варианте 6 ($N_{30}P_{60}K_{240} + Cu_{100} + Mo_{50} + B_{50}$) по всем видам травосмесей. На каждые внесенные 1 кг NPK, в варианте травосмеси «злаки+галега», получено по 18,6 кг сена, «злаки+лядвенец рогатый» – 22,1 кг сена, «злаки+клевер» – 21,1 кг сена.

Обязательным приемом, обеспечивающим снижения перехода радионуклидов из торфяных почв в бобово-злаковые травосмеси, является применения научно-обоснованных доз минеральных удобрений. Основной агрохимический прием, ограничивающий поступления ^{137}Cs в травостой на торфяных почвах – это применение повышенных доз калийных удобрений, что обусловлено антагонизмом цезия и калия в почвенном растворе, особенно на низкообеспеченных калием почвах.

Исследования, проведенные на дерново-подзолистых почвах, свидетельствуют, что действие калийных удобрений приводит к существенному уменьшению поступления из почвы в растения ^{90}Sr только при сбалансированном азотно-фосфорном питании (Бирюкович А.Л., 2009).

Результаты анализа значений параметров перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в период проведения опытов показали, что накопление радионуклидов бобово-злаковыми травосмесями в первый год их пользования происходит более интенсивно, чем в последующие годы. Например, внесение минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{60}K_{180} + Cu_{100} + Mo_{50} + B_{50}$ позволило снизить величину параметров перехода ^{137}Cs в травостой второго года пользования в 1,7 раза по сравнению с первым годом пользования и в 3 раза по сравнению с первым годом жизни трав. Снижение параметров перехода ^{90}Sr для урожая травосмесей в зависимости от года пользования происходило менее интенсивно и только в 1,2–1,3 раза.

Накопление радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в бобово-злаковой травосмеси, кроме года пользования, зависит также от укоса. Так, коэффициенты перехода ^{137}Cs в травостой второго укоса в зависимости от доз внесенных минеральных удобрений оказались примерно в 1,5–2,6 раза выше, чем для урожая первого укоса (таблица 4.6.5).

Таблица 4.6.5. – Влияние минеральных удобрений на поступление ^{137}Cs и ^{90}Sr в сено бобово-злаковой травосмеси на торфяной почве (опыт №1)

Вариант	Кп ^{137}Cs Бк/кг:кБк/м ²		Кп ^{90}Sr Бк/кг:кБк/м ²	
	1-й укос	2-й укос	1-й укос	2-й укос
Галега + овсяница + кострец + тимофеевка				
Контроль	8,0±0,6	10,1±1,6	2,8±0,1	3,2±0,3
$P_{60}K_{180}$	2,3±0,3	3,1±0,2	2,6±0,2	2,9±0,1
$P_{60}K_{180} + Cu_{100} + Mo_{50} + B_{50}$	2,0±0,1	2,9±0,3	2,5±0,3	2,7±0,3
$N_{30}P_{60}K_{180}$	1,8±0,2	2,5±0,1	2,3±0,2	2,5±0,1
$N_{30}P_{60}K_{180} + Cu_{100} + Mo_{50} + B_{50}$	1,6±0,2	2,1±0,3	2,0±0,2	2,3±0,2

Продолжение таблицы 4.6.5

$N_{30}P_{60}K_{240} + Cu_{100} + Mo_{50} + B_{50}$	0,8±0,2	1,3±0,2	1,8±0,1	2,0±0,3
Лядвенец + овсяница + кострец + тимopheевка				
Контроль	9,7±0,4	12,3±0,9	3,2±0,4	3,9±0,2
$P_{60}K_{180}$	2,8±0,2	3,6±0,5	2,8±0,4	3,3±0,3
$P_{60}K_{180}+Cu_{100}+Mo_{50}+B_{50}$	2,7±0,2	3,2±0,3	2,7±0,3	3,2±0,4
$N_{30}P_{60}K_{180}$	2,1±0,3	3,0±0,4	2,3±0,2	2,8±0,3
$N_{30}P_{60}K_{180} + Cu_{100} + Mo_{50} + B_{50}$	1,8±0,3	2,7±0,1	2,1±0,1	2,6±0,3
$N_{30}P_{60}K_{240} + Cu_{100} + Mo_{50} + B_{50}$	1,0±0,1	1,7±0,2	1,9±0,3	2,3±0,1
Клевер + овсяница + кострец + тимopheевка				
Контроль	8,3±0,6	13,1±0,8	2,7±0,3	3,8±0,4
$P_{60}K_{180}$	2,5±0,2	3,4±0,4	2,3±0,2	3,1±0,3
$P_{60}K_{180}+Cu_{100}+Mo_{50}+B_{50}$	2,1±0,3	3,1±0,2	2,2±0,2	3,0±0,2
$N_{30}P_{60}K_{180}$	1,7±0,2	2,6±0,3	2,0±0,2	2,6±0,1
$N_{30}P_{60}K_{180}+Cu_{100} + Mo_{50}+B_{50}$	1,4±0,2	2,2±0,2	1,8±0,3	2,4±0,3
$N_{30}P_{60}K_{240}+Cu_{100} + Mo_{50}+B_{50}$	0,7±0,1	1,4±0,2	1,6±0,2	2,0±0,1

Коэффициенты перехода ^{90}Sr во втором укосе также имеют более высокие показатели хотя и более низкие в сравнении с ^{137}Cs . Во втором укосе трав переход ^{90}Sr увеличивался примерно до 1,4 раза по отношению к первому укосу.

Расчет экономической эффективности возделывания бобово-злаковых травосмесей на торфяных почвах показал, что во всех вариантах применения удобрений рентабельность их использования составила от 60 % до 77 %. Из трех вариантов травосмесей наиболее высокую эффективность показала травосмесь с лядвенцем

На заключительном этапе проведения опытов агрохимические показатели почвы опытных участков изменилось в сторону увеличения содержания калия, фосфора, общего азота, меди, суммы поглощенных оснований в сравнении с начальным её состоянием. Например, содержание подвижного калия в среднем увеличилось в 1,4 раза, подвижного фосфора – в 1,5 раза, содержание меди – в 4,8 раза. По степени кислотности почва опытного участка относилась к III группе кислотности. Зольность торфа в среднем увеличилась на 2 %.

Таким образом, в результате исследований установлено, что внесение полной дозы минеральных удобрений с внесением микроудобрений на торфяной почве способствует увеличению урожайности многолетних бобово-злаковых травосмесей, содержащих в своём составе галегу, лядвенец и клевер. В первый год пользования многолетние травосмеси, при благоприятных метеорологических условиях вегетационного периода могут формировать три укоса и давать урожайность сена на уровне 144,9–161,2 ц/га. Прибавка урожайности травосмесей от внесения минеральных удобрений в дозе

$N_{30}P_{60}K_{240}+M/Э$ в среднем за три года в зависимости от состава травосмеси находилась в пределах 69,7–76,4 ц/га в. Отдача на 1кг д.в. NPK кг дополнительной продукцией в травосмеси с галегой достигала 18,6 кг, в травосмеси с клевером – 21,1 кг и с лядвенцем – 22,1 кг сена за 2 укоса.

В травосмесях удельный вес бобовых ежегодно уменьшается, что приводит к снижению урожайности трав. На третий год пользования количество лядвенца в травосмеси остаётся около 40 %, галеги – 30 %, клевера – 20 %.

Параметры перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы свидетельствуют, что накопление радионуклидов бобово-злаковыми травосмесями в первый год пользования происходит более интенсивно, чем в последующие годы. Обеспечение питанием бобово-злаковых травосмесей минеральными удобрениями в дозе $N_{30}P_{60}K_{180} + Cu_{100} + Mo_{50} + B_{50}$ позволяет снизить величину параметров перехода ^{137}Cs на третий год пользования в 4,7 раза по сравнению с первым годом жизни трав, ^{90}Sr примерно в 2,8 раза.

Основные зоотехнические показатели качества полученного сена многолетних бобово-злаковых травосмесей соответствуют среднестатистическим показателям. Содержание сырого протеина в сухом веществе трав составляет 13,7–19,0 %, переваримого протеина – 9,0–13,4 %.

Наибольший экономический эффект при дозе удобрений $N_{30}P_{60}K_{240} + M/Э$ на торфяных почвах получен в травосмеси злаковых трав с лядвенцем, где рентабельность доходит до 77 %.

4.7. Многолетние травы как экологическое звено в сохранении плодородия торфяных почв

В исследованиях Анненкова Б.Н., Аверина В.С. (2003) установлено, что коэффициенты перехода радионуклидов для сельскохозяйственных культур в трофической цепи «почва-корма-животное» на торфяных почвах в 3,6–13,3 раз больше для ^{137}Cs и 2,3–5,3 раза для ^{90}Sr по сравнению с минеральными почвами. Это связано со специфическими особенностями торфяной почвы: перераспределением влажности в профиле почвы в зависимости от положения уровня грунтовых вод от поверхности; высокой адсорбционной способностью органического вещества и емкостью катионного обмена, что способствует удерживанию значительных количеств радиоактивных веществ, но в основном в доступных растениям формах.

Длительное использование торфяных почв под пашней, особенно при возделывании пропашных культур, ведет к ускоренной минерализации органического вещества почвы (особенно маломощных) и формированию деградированных почв, производительная особенность которых заметно снижается по сравнению с низинными мощными торфяными почвами.

Изменение физико-химических и агрохимических свойств по мере сработки органогенного слоя почв идет в сторону ухудшения их основных характеристик. Наблюдается подкисление почвенного раствора пахотных горизонтов, возрастает гидролитическая кислотность, уменьшается сумма поглощенных оснований, ёмкость поглощения, степень насыщенности основаниями.

Для полного удовлетворения потребности животноводства республики в кормах требуется ежегодно производить более 70 млн т зеленой массы, из них примерно 30 млн т на луговых землях и 40 млн т на пашне, в том числе 25–27 млн т зеленой массы за счет возделывания многолетних трав. В настоящее время многолетние травы выращиваются на площади, которая позволяет производить зеленой массы на 19–20 млн т меньше. На фоне общего недостатка кормов положение усугубляется их низким качеством, несбалансированностью по белку и другим питательным веществам. Заготавливаемые травяные корма лишь в отдельные годы на 50–60 % соответствуют первому классу (Лученок Л.Н., 2007).

Проблема сохранения плодородия и укрепления кормовой базы, наращивания объемов производства и заготовки высококачественных кормов, сбалансированных по протеину, сахарам, минеральным компонентам, соответствующих допустимым уровням содержания радионуклидов, на загрязненных радионуклидами торфяных почвах остается актуальной. В настоящее время специализация животноводческой отрасли хозяйств, в основном, мясо-молочная или молочно-мясная, растениеводческой – производство зерна, кормов, картофеля, семеноводство зерновых, зернобобовых и многолетних трав, рапса и сахарной свеклы и др. Главным резервом увеличения производства кормов и улучшения их качества является совершенствование структуры посевов кормовых культур, оптимизация технологий их возделывания. При этом на загрязненных радионуклидами торфяных почвах для получения экологически безопасной продукции растениеводства необходимо, чтобы технологии возделывания сельскохозяйственных культур были дифференцированными к данной разновидности почв и соответствовали той или иной цели ведения сельскохозяйственного производства.

Цель работы заключалась в изучении особенностей возделывания многолетних трав на торфяных почвах, загрязненных радионуклидами в отдаленный период после чернобыльской катастрофы.

В задачу исследований входило оценить радиоэкологическую ситуацию и интенсивность использования сельскохозяйственных земель на примере торфяных почв Ветковского района Гомельской области.

Известно, что Ветковский район расположен в северо-восточной части Гомельской области. Осушенные земли на торфяных почвах, используемые в

сельскохозяйственном производстве района, занимают площадь около 2000 га, что составляет 6 % от общей площади угодий. Это торфяные низинные почвы с различной мощностью торфяного слоя: торфянисто- (мощность торфа 20–30 см) и торфяно-глеевые (30–50 см), маломощные (50–100 см), среднемощные (100–200 см) и мощные (>200 см). В зависимости от степени проявления процессов деградации выделяются торфяно-минеральные (остаточное количество органического вещества от 50 до 20 %), минеральные остаточно-торфянистые (от 20 до 2 %) и минеральные после выработки торфа (2 %).

К 2006 году в районе количество торфяных почв, используемых в сельскохозяйственном производстве, уменьшилось по сравнению с 2004 годом до 1872 га. В 2007 г. в районе количество осушенных торфяных земель под многолетними травами составило 1773 га, под однолетними травами – 99 га.

На территории района практически 99,7 % сельскохозяйственных земель загрязнены ^{137}Cs более 1,0 Ки/км² и 64 % от общей площади ^{90}Sr более 0,15 Ки/км². Среди торфяных низинных почв различной мощности торфяного слоя 43 % загрязнены ^{137}Cs более 1 Ки/км² и 22 % – ^{90}Sr более 0,15 Ки/км².

Интенсивность использования деградированных торфяных почв в Ветковском районе, загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr , изучали в четырёх хозяйствах: в КСУП «Ветковский агросервис», КСУП «Светиловичи», совхоз «Дружба», СПК «Шерстин» (таблица 4.7.1).

Таблиц» 4.7.1. – Характеристика торфяных почв хозяйств Ветковского района

Хозяйство	Площадь торфяных почв			Плотность загрязнения, Ки/км ²	
	всего га	из них деградиро- ванных		^{137}Cs	^{90}Sr
		га	%		
КСУП «Ветковский агросервис»	397,4	238,3	60,0	1,04,9	0,15–0,30
КСУП «Светиловичи»	222,0	119,6	53,9	1,0–4,9	<0,15
Совхоз «Дружба»	313,0	62,0	19,8	<1,0	<0,15
СПК «Шерстин»	135,0	10,0	7,4	5,0–39,9	0,15–0,30

Согласно данным систематического радиационного контроля Ветковской райветлаборатории в трёх хозяйствах заготавливаемые корма соответствовали допустимым уровням содержания ^{137}Cs для получения цельного молока (1300 Бк/кг). Так, в КСУП «Ветковский агросервис» в сене удельная активность ^{137}Cs находилась в пределах 177–1072, КСУП «Светиловичи» – 177–892, совхозе «Дружба» – 177–231 Бк/кг. Однако, в СПК «Шерстин» имелось сено, в котором отмечалось превышение указанного норматива (пределы колебаний 177–2135 Бк/кг). Удельное содержание ^{137}Cs в сенаже во всех хозяйствах составляло от 66 до 443 Бк/кг при РДУ-99 500 Бк/кг.

В хозяйствах, в процессе проведения исследований, на пробных площадках торфяных почв отбирались сопряженные пробы почвы и растений, и проводился их анализ на содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr . Путём отбора проб и аналитических измерений было выявлено, что содержание ^{137}Cs в сене злаковых трав хозяйств имеют значения от 7 до 436 Бк/кг, разнотравья – до 156 Бк/кг при плотности загрязнения 3,4–5,5 Ки/км². Содержание ^{90}Sr в злаковых травах находилось в пределах 9–36 Бк/кг, разнотравья – 15 Бк/кг при плотности загрязнения 0,1 Ки/км². Содержание радионуклидов в сене трав не превышало требований РДУ-99 для производства цельного молока. Максимальное содержание ^{137}Cs в сене злаковых трав, разнотравья было характерно для торфяных почв, расположенных на участках, выведенных из сельскохозяйственного оборота или переувлажненных.

Коэффициенты миграции ^{137}Cs в звене почва-сено из злаковых трав находились в пределах 0,06–2,13, «почва-сено» из разнотравья – 1,12. В этом же звене миграции параметры перехода ^{90}Sr у сена злаковых трав варьировали в пределах 1,47–3,87, сена из разнотравья – 2,92 Бк/кг: кБк/м². Коэффициенты перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в сено из многолетних трав естественных и улучшенных кормовых угодий на торфяных почвах приведены в таблице 4.7.2.

Таблица 4.7.2. – Коэффициенты перехода радионуклидов в звене миграции «почва – сено» многолетних трав (влажность 16 %) в зависимости от обеспеченности торфяных почв подвижные калием (для ^{137}Cs) и реакции почв рН_{KCl} (для ^{90}Sr), Бк/кг:кБк/м²)

^{137}Cs			
Содержание К ₂ О, мг/кг почвы	< 250	251–500	> 500
Травы естественных сенокосов	27,76	17,72	10,60
Многолетние злаковые травы	7,99	4,85	3,37
^{90}Sr			
рН _{KCl}	3,943	4,31–4,7	> 4,7
Травы естественных сенокосов	20,0	16,51	14,40
Многолетние злаковые травы	16,35	14,55	11,0

Установлено, что по мере повышения содержания в торфяной почве подвижных форм калия от низкого (< 250 мг/кг почвы) до оптимального (600–800 мг/кг почвы) и изменения реакции почвы от кислой (3,9–4,3) к нейтральной переход ^{137}Cs в травы снижается примерно в 2,5 раза, ^{90}Sr – соответственно в 1,5 раза.

Полученные КП ^{137}Cs и ^{90}Sr из торфяных почв в злаковые и бобово-злаковые травы (сено) в зависимости от обеспеченности почв подвижным калием (от низкого содержания < 200 мг/кг до очень высокого 1000 мг/кг) и рН_{KCl} сравнили с средними аналогичными показателями по Гомельской области за период 2005–2009 гг. (таблица 4.7.3).

Показано, что КП ^{137}Cs и ^{90}Sr у злаковых трав в Ветковском районе не совсем укладывались в диапазон средних значений коэффициентов перехода

радионуклидов по Гомельской области, изложенные в рекомендациях по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения. Из приведенного можно сделать вывод о том, что параметры миграции радионуклидов по мере увеличения времени от аварии необходимо периодически уточнять.

Таблица 4.7.3. – Коэффициенты перехода радионуклидов в звене миграции почва-сено многолетних трав (влажность 16 %) в зависимости от обеспеченности торфяных почв подвижным калием (для ^{137}Cs) и реакции почв pH_{KCl} (для ^9Sr) в Гомельской области, Бк/кг: кБк/м²

Тип травостоя	Содержание K_2O , мг/кг почвы			
	< 200	201–400	401–600	601–1000
Естественный злаково-разнотравный	10,2	7,3	4,8	2,5
Сеяный злаковый	7,6	3,9	2,6	1,8
Сеяный бобово-злаковый	2,7	1,9	1,3	–
	pH_{KCl}			
	4,5–5,0	5,01–5,50	5,51–6,00	
Естественный злаково-разнотравный	5,2	3,8	2,6	
Сеяный злаковый	3,7	2,4	1,9	
Сеяный бобово-злаковый	6,6	5,5	3,2	

При выполнении исследования проведено сравнение соотношений соответствующего и несоответствующего качественным показателям заготавливаемого сена в Ветковском районе в сравнении с другими районами Гомельской области (таблица 4.7.4).

Таблица 4.7.4. – Несоответствие заготавливаемых кормов (сено) по основным показателям качества по районам Гомельской области

Наименование района	Процент несоответствия ГОСТу		
	Кормовые единицы	Массовая доля сырого протеина	Обменная энергия
Брагинский	23,5	5,9	25,5
Буда-Кошлевский	20,2	8,2	28,1
Ветковский	33,9	12,9	25,8
Гомельский	0,8	14,2	12,4
Добрушский	18,2	2,4	26,2
Ельский	15,9	27,5	20,3
Житковичский	26,0	5,1	30,5
Жлобинский	16,0	14,4	21,7
Калинковичский	8,4	5,4	12,6
Кормянский	22,0	15,3	32,2
Лоевский	16,1	22,7	20,8
Мозырский	44,0	4,0	52,0
Октябрьский	20,0	5,0	40,0

Оказалось, что в Ветковском районе 33,9 % сена по содержанию кормовых единиц не соответствовало ГОСТу 4808-87. Отмечено в 12,9 % сена низкое содержание сырого протеина и 25,8 % обменной энергии. Среди причин, приводящих к низкому качеству кормов, наиболее характерными

являлись недостаточное внесение и бессистемное применение удобрений, вырождение травостоев, малокомпонентное залужение, несоблюдение сроков и плохое качество уборки, нарушение технологии заготовки кормов, погодные условия и др. Все это вместе взятое приводит не только к неудовлетворительному качеству получаемых кормов, но и к снижению плодородия почв сенокосов и пастбищ. Вместе с тем известно, что многолетние травы оставляют после себя наибольшее количество послеуборочных остатков (лисохвост луговой, кострец безостый, тимофеевка луговая, кострец безостый, овсяница луговая и др.) и тем самым восстанавливают органическое вещество почвы. Это относится и к маломощной торфяной почве, на которой преимущественно размещаются культуры с хозяйственно ценной вегетативной массой, что вполне оправдано (Пятницкий В.Н., Афанасик Г.И., 1988).

Как правило, в залужении используются травосмеси с небольшим числом компонентов (2–4), обладающие высокой приживаемостью и ценотической активностью (Медведский А.И. с соавторами, 1985; Подоляк А.Г. с соавторами, 2005). При этом обязательно учитывается тип почвы (таблица 4.7.5).

Для многоукосного использования больше подходят травы, отличающиеся высокой отавностью. Многокомпонентные травосмеси более долговечные, продуктивные, устойчивы к стрессовым ситуациям, в частности, к засухе (что очень важно для почвенно-климатических условий республики). Полного развития и максимальной продуктивности они достигают к 5–6 году жизни, сохраняются в травостое в естественных условиях до 15 лет, а в культуре при надлежащем системе ухода и внесения удобрений – до 30 лет. Оптимальная структура сенокосных травостоев, состоящая на 20 % из раннеспелых трав на основе ежи и лисохвоста, на 45–50 % из среднеспелых – на основе овсяниц, костреца, двукисточника и на 30–35 % из позднеспелых – на основе тимофеевки, позволяет организовать сырьевой конвейер трав.

Таблица 4.7.5. – Травосмеси, рекомендуемые для перезалужения сенокосов на торфяных почвах, загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr

Тип травостоя	Вид травосмеси	Нормы высева, кг/га	Всего, кг/га
Злаковые ранние	Лисохвост луговой	10	24
	Кострец безостый	8	
	Тимофеевка луговая	6	
Злаковые раннеспелые	Лисохвост луговой	10	24
	Кострец безостый	8	
	Тимофеевка луговая	6	
Злаковые среднеспелые	Кострец безостый	10	24
	Овсяница луговая	6	
	Тимофеевка луговая	6	
Злаковые позднеспелые	Тимофеевка луговая	13	25
	Овсяница луговая	12	
Бобово-	Лядвенец рогатый	10	13

Продолжение таблицы 4.7.5

злаковые раннеспелые	Ежа сборная	3	
	Люцерна гибридная Ежа сборная	10 3	13
Бобово- злаковые среднеспелые	Кострец безостый	10	21
	Овсяница луговая	5	
	Клевер гибридный	6	
Бобово- злаковые позд неспелые	Тимофеевка луговая	10	22
	Овсяница луговая	6	
	Клевер гибридный	6	

В исследованиях Серехана В.Ч., Мееровского А.С., Сатишура А.А. (2007) установлено, что выработанные торфяные почвы при соблюдении комплекса мероприятий по их рекультивации и окультуриванию обеспечивают высокую продуктивность и экономическую эффективность сельскохозяйственного использования. Средняя продуктивность почв с мощностью остаточного торфа более 30 см составляет 8,5 т/га сухого вещества, чистый доход – 515,3 тыс. руб./га, рентабельность 271,2%. На сработанных органоминеральных почвах средние показатели продуктивности и экономической эффективности ниже, соответственно, на 25 и 32%. Тем не менее, общий их уровень остается достаточно высоким: урожайность – 6,4 т/га сухого вещества, чистый доход – 352,1 тыс. руб./га рентабельность – 185,4%. Наибольший чистый доход на торфяной почве обеспечивают травостой костреца безостого, на органоминеральной – ежи сборной. Производство травянистых кормов, по сравнению с другими сельскохозяйственными культурами, наименее затратно. На производство 1 ц кормовых единиц многолетних трав требуется 3–5 кг топлива, зерновых – 12, кукурузы – 15 кг. Себестоимость 1 кормовой единицы многолетних трав в 2,5–3 раза ниже, чем однолетних трав и кукурузы (Васько П.П., 2004).

При использовании торфяных почв в сельскохозяйственном производстве необходимо, чтобы почвы, занимающие менее 35% площади сельхозугодий хозяйства с глубокой и средней залежью (>1 м) торфа, подтопляемые отводились под культурные луга длительного пользования. При условии, когда торфяные почвы составляют 35–50% сельхозугодий, наряду с созданием культурных лугов, часть их допустимо отводить под пахотные угодья. Торфяно- и торфянисто-глеевые почвы, а также маломощные торфяные при удовлетворительном водном режиме рекомендуется использовать под бобово-злаковые и злаковые многолетние травы длительного пользования (Белковский В.И., Мееровский А.С., Веренич А.Ф., 2001).

Для торфяных почв внедрение зернотравяных севооборотов с высоким удельным весом многолетних и однолетних трав, максимальное насыщение

пожнивными культурами позволяет полнее использовать агроклиматические ресурсы, расширить ассортимент получаемой растениеводческой продукции, предотвратить возникновение и развитие ветровой эрозии. На загрязненных территориях желательны создание сенокосов, сочетающих в себе оптимальный уровень продуктивности и качества корма с низким аккумулярующим действием радионуклидов в надземной массе кормовых трав. На землях данного типа желательны новые высокопродуктивные, ресурсосберегающие, экологически безопасные технологии и системы кормопроизводства, основанные на подборе мало энергоемких культур, рационального их сочетания (с учетом биологических особенностей растений), гидрологических и агрохимических свойств угодий. При этом целесообразный по эффективности набор кормовых культур обязан максимально сохранять органическое вещество торфа, а на сильно сработанных участках – повышать плодородие земель. Перечень культур эффективных в условиях увлажненности угодий и содержания органического вещества в пахотном горизонте можно подобрать в соответствии с рекомендациями сотрудников института мелиорации (Гракун В.В., Лученок Л.Н., Шкутов Э.Н., 2009).

Таким образом, изучение особенностей возделывания многолетних трав на загрязненных радионуклидами торфяных почвах показало, что в хозяйствах Ветковского района Гомельской области имеется тенденция к деградации торфяных почв. В этих условиях целесообразно использовать данный тип почв в качестве сенокосных угодий. Для этого, при разработке в хозяйствах структуры посевных площадей, целесообразно уменьшить площади пропашных культур и увеличить количество однолетних бобово-злаковых и многолетних трав.

Биоклиматический потенциал Беларуси позволяет на маломощных торфяных почвах, загрязненных радионуклидами, получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур, сбалансированных по протеину, углеводам и другим питательным веществам, соответствующих допустимым уровням содержания радионуклидов, при правильном подборе их видового состава с учетом особенностей водного режима (УГВ) и агрохимических свойств (органическое вещество) почв.

Для достоверного прогнозирования загрязнения сельскохозяйственной продукции, выращиваемой на торфяных почвах, требуется периодическое уточнение миграции радионуклидов в биологическом звене почва-растения по мере увеличения времени от аварии на ЧАЭС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Республике Беларусь на территории радиоактивного загрязнения дальнейшее развитие отрасли растениеводства основывается на агрохимических и радиоэкологических исследованиях по управлению плодородием почв и применению защитных мер.

Многочисленными работами установлено, что генетические особенности почв оказывают существенное влияние как на процессы сорбции радионуклидов, так и на интенсивность перехода их в растения. Определение показателей подвижности и биологической доступности ^{137}Cs и ^{90}Sr на разных типах почв показало, что в зависимости от их свойств содержание обменной формы радионуклидов варьирует в широких пределах.

На территории радиоактивного загрязнения как в составе пахотных земель, так и сенокосно-пастбищный угодий значительные площади занимают торфяно-болотные почвы, а также антропогенно-преобразованные почвы, образовавшиеся в результате длительного использования и минерализации органического вещества торфяно-болотных почв. Органогенные почвы отличаются от минеральных более высокими параметрами накопления радионуклидов в растения и являются наиболее сложными для получения сельскохозяйственной продукции с допустимым содержанием радионуклидов.

Высокие показатели миграции радионуклидов в растения на этих почвах обусловлены особенностями их морфологического и генетического строения, водно-физическими и агрохимическими свойствами. Из-за повышенной адсорбционной способности органического вещества и емкости катионного обмена, низкого отрицательного поверхностного заряда этих почв значительное количество веществ, в том числе и радионуклидов, удерживается в доступных для растений формах. Ведущим механизмом взаимодействия радионуклидов с почвой является ионный обмен, а основную роль играют фульво- и гуминовые кислоты находящиеся в почвенном растворе.

В научно-исследовательской работе и практических рекомендациях для оценки поступления радионуклидов из почвы в растения разработаны коэффициенты перехода. Для целей прогноза загрязнения радионуклидами продукции сельскохозяйственных культур используются усредненные коэффициенты перехода по типам почв. В то же время для антропогенно-преобразованных торфяных почв таких показателей накоплено пока недостаточно, что отрицательным образом сказывается на точности прогнозов.

В этой связи отраженные в монографии новые экспериментальные данные, полученные в полевых условиях на торфяных почвах, и дающие ряд рекомендаций для их широкого практического использования, а также

показатели коэффициентов перехода радионуклидов позволят расширить радиоэкологические знания, востребованные при возделывании сельскохозяйственных культур.

Необходимо добавить, что на решение радиоэкологических проблем на территории загрязнения во многом влияет экономическая обстановка в целом по стране. В последний период в Беларуси складывались благоприятные социальные, экономические и политические условия для развития сельскохозяйственной отрасли и воспроизводства плодородия почв. Снижение плодородия пашни, которое произошло в начале 1990-х годов при переходе Беларуси к рыночным отношениям, впоследствии было преодолено. Это подтверждается динамикой обеспеченности почв фосфором, калием и оптимизацией их кислотности. Регулярно за счет средств бюджета проводилось планомерное поддерживающее известкование кислых почв на уровне 90–100 % от потребности, дотировалось применение минеральных удобрений, соблюдались технологии возделывания культур. В результате сегодня свыше 70 % сельскохозяйственных земель характеризуются благоприятным диапазоном реакции почв.

Хорошие условия для применения минеральных удобрений складывались в 2006–2011 годы, когда в среднем по стране вносили 240–310 кг/га NPK на пахотные земли и до 100 кг/га на сенокосы и пастбища.

По данным РНДУП «Институт почвоведения и агрохимии», с 1996 по 2012 годы средневзвешенное содержание гумуса в почвах уменьшилось на 0,05 %, поскольку в большинстве районов минерализация органического вещества превышала его накопление. Это является одной из самых значимых проблем. В этой связи для поддержания бездефицитного баланса гумуса необходимо иметь в структуре посевов 20–24 % многолетних трав. Следует отметить, что с 2014–2015 гг. наметилась положительная тенденция в увеличении доли многолетних трав и нормализации структуры посевных площадей республики. Этому способствуют и внедрение рекомендаций Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию по введению оптимальной структуры посевов, которые в последние годы неоднократно доводились до областных и районных органов управления АПК. Сохранение бездефицитного баланса гумуса на территории радиоактивного загрязнения будет способствовать меньшей миграции радионуклидов в биологическом звене почва-растения.

Нормализованная структура посевов необходима не только для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почве, но и для снижения себестоимости зеленых кормов. Последнее особенно важно на данном этапе для повышения конкурентоспособности животноводческой продукции, как на внутреннем, так и на внешних рынках.

На загрязненных землях очень актуально применение новых комплексных удобрений, ориентированных под отдельные культуры и уровни плодородия почв. Применение комплексных удобрений позволяет экономить энергоресурсы, рационально использовать технику, равномерно распределять сбалансированные элементы питания, содержащиеся в каждой грануле, по поверхности почвы. Комплексные удобрения хорошо хранятся, требуют меньше затрат на внесение, позволяют на 20–30 % повысить прибавку урожайности по сравнению с простыми формами удобрений. Известно, что в настоящее время в мире доля использования комплексных удобрений составляет более 20 % от их общего количества. В странах ЕС они занимают около 30 % общего объема, а в Германии, Франции и Бельгии от 50 до 70 %. В Республике Беларусь применение комплексных удобрений пока не превышает 5 % от объёма минеральных. Увеличение в республике доли вносимых комплексных удобрений можно считать одним из резервов повышения продуктивности сельскохозяйственных угодий, а вместе с этим и увеличением возможностей меньшего накопления радионуклидов в растениях.

Таким образом, наряду с проводимыми государственными мерами по минимизации последствий чернобыльской катастрофы, изучение и мониторинг радиационной обстановки на территории радиоактивного загрязнения, проведение экспериментальных исследований и наблюдений в зонах сельскохозяйственной деятельности позволяет получать новые знания, которые расширяют наши представления о возможностях и путях экологизации растениеводства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автушко, М.И. Исследование ионообменной емкости торфяных почв методом динамической десорбции / М.И. Автушко [и др.] // Докл. Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии на рубеже третьего тысячелетия и пути их решения» (Брянск, 15–17 июля 1997 г.). – Брянск, 1997. – С. 35–38.
2. Автушко, М.И. К определению термина «биологическая доступность» // М.И. Автушко // Материалы XI международной научной конференции «Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК». – Брянск, 2014. – С. 68–70.
3. Агеец, В.Ю. Влияние минерализации торфа на формы нахождения радионуклидов и их переход в растения / В.Ю. Агеец, И.Д. Шмительская // Почв. исследования и применение удобрений: межвед. тематич. сборник / БелНИИПА. – Минск, 1997. – Вып. 24. – С. 144–152.
4. Агеец, В.Ю. Система радиоэкологических контрмер в агрофере Беларуси / В.Ю. Агеец. – Минск: РНИУП «Институт радиологии», 2001. – 250 с.
5. Агроклиматический справочник по Гомельской области (с учетом особенностей каждого района) / Управ. Гидрометслужбой Белорусской ССР. – Минск: Высш. шк., 1987. – 173 с.
6. Albrecht, W.A. Surface relationship of roots and colloidal clay in plant nutrition / W.A. Albrecht, E.R. Gracham, H.R. Shepard // Amer. J. Bot. – 1942, 29. – P. 210–213.
7. Алексахин, Р.М. Агрохимия цезия-137 и его накопление сельскохозяйственными растениями / Р.М. Алексахин, И.Т. Моисеев, Ф.А. Тихомиров // Агрохимия. – 1977. – № 2. – С. 129–142.
8. Алексахин, Р.М. Состояние ^{137}Cs в почвах и его биологическая доступность / Р.М. Алексахин [и др.] // Плодородие. 2001. – № 1. – С. 20–24.
9. Амбражевич, М.Л. Прогноз изменения радиационной обстановки в населенных пунктах, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения / М.Л. Амбражевич, Е.Л. Гетченко, Ю.Н. Голиков [и др.]. – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2008. – 76 с.
10. Андреев, Н.Г. Луговое и полевое кормопроизводство: учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений / Н.Г. Андреев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1989. – С. 457–463.
11. Анисимов, В.С. О формах нахождения и вертикальном распределении ^{137}Cs в почвах в зоне аварии на Чернобыльской АЭС / В.С. Анисимов, Н.И. Санжарова, Р.М. Алексахин // Почвоведение. – 1991. – № 9. – С. 31–40.
12. Анисимов, В.С. Динамика изменения биологической доступности ^{137}Cs в системе почва–растение / В.С. Анисимов, Н.И. Санжарова, Р.М. Алексахин // Тез. докл. 5-й конференции "Геохимические пути миграции искусственных радионуклидов в биосфере". – Пущино, 1991. – С. 43.

13. Анненков Б.Н. Основы сельскохозяйственной радиологии / Б.Н. Анненков, Е.В. Юдинцева. – М.: Агропромиздат, 1991. – 287 с.
14. Анненков, Б.Н. Ведение сельского хозяйства в районах радиоактивного загрязнения (радионуклиды в продуктах питания) / Б.Н. Анненков, В.С. Аверин. – Минск: Припицеи, 2003. – 111 с.
15. Асинская, Л.А. Влияние сроков посева на кормовую и семенную продуктивность донника белого однолетнего в Приморском крае / Л.А. Асинская // Вестник КрасГАУ. – 2008. – № 5. – С. 78–81.
16. Асинская, Л.А. Кормовая и семенная продуктивность донника белого однолетнего в зависимости от норм и способа посева в условиях юга Приморского края / Л.А. Асинская // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 9 (83). – С. 5–8.
17. Афанасик, Г.И. Восстановление загрязненных радионуклидами переувлажненных земель / Г.И. Афанасик [и др.] // Природные ресурсы. – 1997. – № 4. – С. 37–40.
18. Афанасик, Г.И. Снижение радионуклидной загрязненности растениеводческой продукции на осушенных землях Беларуси / Г.И. Афанасик, Д.С. Пятница, Э.Н. Шкутов // Современ. проблемы сельскохозяйственной мелиорации: докл. междунар. науч.-практ. конф., Минск. – Минск, 2001. – С. 187–194.
19. Бамбалов, Н.Н. Изменение функционирования болот в результате антропогенных нарушений и реабилитации / Н.Н. Бамбалов, В.А. Ракович // Природные ресурсы, 2004. – № 2. – С. 38–51.
20. Бамбалов, Н.Н. Космические и земные факторы торфообразования / Н.Н. Бамбалов // Торфяная промышленность. – 1991. – № 1. – С. 2–7.
21. Бамбалов, Н.Н. Роль болот в биосфере / Н.Н. Бамбалов, В.А. Ракович. – Минск, 2005. – 285 с.
22. Barber, S.A. Mechanisms for the movement of plant nutrients from the soil and fertilizer to the plant root / S.A. Barber, J.M. Walker, E.H. Vasey // Agr. and Food Chem. – 1963, 10. – P. 204–207.
23. Barber, S.A. Fertilizer use on ion movement in soil / S.A. Barber, R.A. Olson // The Plant Root and Its Environment. Charlottesville: University Press of Virginia, 1968. – P. 525–564.
24. Барбер, С.А. Биологическая доступность питательных веществ. Механистический подход. / С.А. Барбер. – М.: Агропромиздат, 1988. – С. 100–117.
25. Белковский, В.И. Возделывание сельскохозяйственных культур на мелиорированных землях: рекомендации / В. И. Белковский, И. Э. Леуто, С.В. Кулеш [и др.]. – Минск: Ураджай, 1980. – 93 с.

26. Белковский, В.И. Агроэкологические и экономические основы рационального использования торфяных почв Беларуси / В.И. Белковский, А.С. Мееровский., А.Ф. Веренич [и др.]. – Минск: БГЭУ, 2001. – 180 с.

27. Белова, Е.И. Некоторые закономерности поступления радионуклидов в луговую растительность / Е.И. Белова, З.Г. Антропова // Теоретические и практические аспекты действия малых доз ионизирующих излучений. – Сыктывкар, 1973. – С. 132.

28. Бирюкович, А.Л. Состав и использование луговых травостоев / А.Л. Бирюкович // Мелиорация. № 1 (61), 2009.

29. Богдевич, И.М. Основы ведения сельского хозяйства / И.М. Богдевич, В.Ю. Агеец, С.К. Фирсакова // Экологические, медико-биологические и социально-экономические последствия катастрофы на ЧАЭС в Беларуси. – Минск, 1996. – С. 52–102.

30. Богдевич, И.М. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь / Сост.: И.М. Богдевич, В.В. Лапа, Н.И. Смяян, В.Ю. Агеец, В.С. Аверин, С.Ф. Тимофеев [и др.] – Минск, 2003. – 72 с.

31. Богдевич, И.М. Рекомендации по улучшению суходольных и низинных лугов, подвергшихся радиоактивному загрязнению / Под ред. И.М. Богдевича. // НИРУП «Институт почвоведения и агрохимии», Минск, 2004. – 63 с.

32. Богдевич, И.М. Влияние агрохимических свойств и степени окультуренности почв на поступление радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в травостой основных типов лугов Белорусского Полесья / И.М. Богдевич, А.Г. Подоляк, В.П. Жданович [и др.] // Почвоведение и агрохимия: Сб. научн. трудов. Вып. 33. – Минск, 2004. – С. 150–162. •

33. Богдевич, И.М. Рекомендации по получению травяных кормов в пределах РДУ на торфяно-болотных почвах, загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr / Под ред. И.М. Богдевича. – Минск, 2005. – 35 с.

34. Богдевич, И.М. Эффективность и перспективы защитных мер на загрязненных радионуклидами землях Беларуси / И.М. Богдевич // Плодородие почв – основа устойчивого развития сельского хозяйства: мат. Междун. науч.-практ. конф. и IV съезда почвоведов, Минск, 26–30 июля 2010 г.: в 2 ч. / редкол.: В.В. Лапа [и др.]. – Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – Ч. 1. – С. 26–28.

35. Богдевич, И.М. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных удобрений / И.М. Богдевич [и др.] / РУП «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 2010. – 20 с.

36. Бондарь, П.Ф., Относительная биологическая доступность радиоизотопов цезия выпадений аварийного выброса Чернобыльской АЭС / П.Ф. Бондарь // Тез. Докладов Всесоюзного совещания «Принципы и методы ландшафтно-геохимических исследований миграции радионуклидов» (Суздаль, 13–17 дек. 1989 г.). – Суздаль, 1989. – С. 111.

37. Бондарь, П.Ф. Оценка относительной биологической доступности цезия-137 в выпадениях и общей биологической его доступности в почвах на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению / П.Ф. Бондарь, Ю.А. Иванов, А.Г. Озорнов // В сб. науч. трудов: Проблемы сельскохозяйственной радиологии. – Киев, 1991. – С. 74–88.

38. Бурдук, П.И. Достижение устойчивой продуктивности кормовых культур на деградированных торфяно-песчаных почвенных комплексах Полесья: рекомендации / П.И. Бурдук, А.С. Мееровский, Л.Н. Лученок и [др.]. – Минск, 2007. – 20 с.

39. Вавуло, Ф.П. Микрофлора основных типов почв БССР и их плодородие / Ф.П. Вавуло. – Минск, «Ураджай», 1972. – 167 с.

40. Валетов, В. В. К оценке гидролесомелиоративных экосистем юго-востока Беларуси / В. В. Валетов // Весн. Мазыр. дзярж. пед. ун-та імя І. П. Шамякіна. – 2008. – № 2 (19). – С. 6–12.

41. Валетов, В. В. Основные направления и результаты биолого-экологических исследований на Юго-востоке Белорусского Полесья / В. В. Валетов // Современные экологические проблемы устойчивого развития Полесского региона и сопредельных территорий: наука, образование, культура : материалы IV междунар. науч.-практ. конф., Мозырь, 24–25 сент. 2009 г. / М-во образования Респ. Беларусь ; УО «Мозыр. гос. пед. ун-т им. И. П. Шамякина», Мозыр. район. исполн. ком., Мозыр. горрайинспекция природн. ресурсов и охраны окруж. среды ; под общ. ред. В. В. Валетова. – Мозырь, 2009. – С. 5–8.

42. Валетов, В. В. Физиологические аспекты кормления сельскохозяйственных животных : моногр. / В. В. Валетов, Е. И. Дегтярева ; М-во образования Респ. Беларусь, УО «Мозыр. гос. пед. ун-т им. И. П. Шамякина». – Мозырь : МГПУ им. И. П. Шамякина, 2013. – 87 с.

43. Валетов, В. В. Биодоступность ¹³⁷Cs из сенажа, заготовленного с использованием консервантов / В. В. Валетов, Е. И. Дегтярёва // Весн. Мазыр. дзярж. пед. ўн-та імя І. П. Шамякіна. – 2013. – № 4 (41). – С. 24–29.

44. Валетов, В. В. Доступность радионуклидов из грубых кормов, выращенных на торфяно-болотистых почвах, для крупного рогатого скота / В. В. Валетов, Е. И. Дегтярева // Современные экологические проблемы устойчивого развития Полесского региона и сопредельных территорий: наука, образование, культура : материалы VI Междунар. науч.-практ. конф., Мозырь, 23–24 окт. 2014 г. / М-во образования Респ. Беларусь, УО «Мозыр. гос. пед. ун-т им. И. П. Шамякина», Биол. фак. ; под общ. ред. В. В. Валетова. – Мозырь, 2014. – С. 65–67.

45. Walker, J.M. Uptake of rubidium and potassium from soil by corn roots / J.M. Walker, S.A. Barber // Plant Soil. – 1962, 17. – P. 243–259.

46. Васин, В.Г. Продуктивность эспарцето-кострецевой травосмеси / В.Г. Васин, В.С. Рогов, А.Ю. Полешко // Кормопроизводство. – 2009. – № 2. – С 22–24.

47. Васько, П.П. Многолетние травы - главный резерв в производстве кормов / П.П. Васько // Земляробства і ахова раслін. – 2004. – № 5. – С. 14–15.

48. Вильдфлуш, И.Р. Агрохимия / И.Р. Вильдфлуш [и др.]; под общ. ред. И.Р. Вильдфлуша – Минск: Ураджай, 1995. – 477 с.

49. Вирченко, Е.П. Радионуклид-органические соединения в почвах зоны влияния Чернобыльской АЭС / Е.П. Вирченко, Г.И. Агапкина // Почвоведение. – 1993. – № 1. – С. 13–17.

50. Cline, J. Aging effects of the availability of strontium and cesium to plants / J. Cline // Health Phys. – 1981, 41. – № 2. – P. 293–296.

51. Гомончук, И.И. Продуктивность травосмесей на основе эспарцета песчаного / И.И. Гомончук, О.Н. Карпей // Кормопроизводство: технологии, экономика, почвосбережение: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., Жодино, 25–26 июня 2009 г. / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». – Минск: ИВЦ «Минфина», 2009. – С. 63–66.

52. ГОСТ 26210-91. Почвы. Определение обменного калия по методу Масловой. [Электронный ресурс]. Режим доступа: standart-gost.ru/g/ГОСТ%2026210-91.

53. Гракун, В.В. Создание высокопродуктивной структуры кормовых культур на антропогенно-преобразованных торфяных почвенных комплексах Полесья (рекомендации) / Сост.: В.В. Гракун, Л.Н. Лученок, Э.Н. Шкутов. – Минск РУП «Институт мелиорации», 2009. – 32 с.

54. Гребенщикова, Н.В. Исследование закономерностей поведения радиоцезия в почвенно-растительном покрове Белорусского Полесья поле аварии на ЧАЭС / Н.В. Гребенщикова [и др.] // Агрохимия. – 1992. – № 1. – С. 91–99.

55. Гулюк, Г.Г. Рациональное использование осушенных земель с антропогенно-преобразованными почвами / Г.Г. Гулюк, Д.Б. Даутина // Сохранение и повышение продуктивности мелиорируемых земель Центра Нечерноземной зоны России и Беларуси: моногр. / Под общ. ред. Ю.А. Мажайского, А.П. Лихацевича. – Рязань, 2005. – С. 519–535.

56. Гусаков, В.Г. Практика и перспективы использования мелиорированных земель в сельском хозяйстве Беларуси / В.Г. Гусаков, А.П. Лихацевич // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2005. – Т. 49, № 1, – С. 116–119.

57. Гусаков, В.Г. Производство зерна и кормов первоочередного учета затрат / В. Г. Гусаков // Агрэоэканоміка. – 2005. – № 11. – С. 3–4.

58. Гусаков, В.Г. Интенсификация и повышение эффективности кормопроизводства в новых условиях хозяйствования / В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск: Институт экономики НАН Беларуси, 2008. – 92 с.

59. Дерюгин, И.П. О совершенствовании методологии оценки фосфатного и калийного состояния почв / И.П. Дерюгин, В.В. Прокошев // Совершенствование методологии агрохимических исследований / Матер. науч. конф. (Белгород, сент. 1995 г.). – М.: МГУ, 1997. – С. 31–40.

60. Dittmer, H.J. A quantitative study of the subterranean members of soybean / H.J. Dittmer // Soil Conservation. – 1940, vol. VI. – № 2. – P. 33–34.

61. Довбан, К.И. Зеленое удобрение / К.И. Довбан. – М.: Агропромиздат, 1990. – С. 58–66.

62. Израэль, Ю.А. Радиоактивное загрязнение природных сред в результате аварии на Чернобыльской атомной электростанции / Ю.А. Израэль. – М.: Изд-во «Комтехпринт», 2006. – 28 с.

63. Егорова, Г.С. Продуктивность травосмеси люцерны + эспарцет на светло-каштановых почвах Волгоградской области / Г.С. Егорова, Л.В. Петрунина // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2008. – № 4 (12). – С. 35–40.

64. Елиашевич, Н.В. Погода и содержание ^{137}Cs в наземной части растений / Н.В. Елиашевич // Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях: тез. докл. на Межд. конф., Москва, 24-26 апреля 2000 г. – М.: Гидрометеиздат, 2000. – С. 206.

65. Жукова, Л.А. Формы существования металлов в почвенных растворах / Л.А. Жукова [и др.] // Агроэкологические проблемы современности: Материалы междун. научно-практ. конф. (Курск, 6–8 июня, 2001 г.). – Курск, 2001. – С. 108–109.

66. Жученко, Ю.М. Математическое моделирование потоков радионуклидов из сельскохозяйственных и естественных экосистем с целью радиационной реабилитации загрязненных территорий: Дис. ...д-ра биол. наук: 03.00.01 / Ю.М. Жученко. – Обнинск, 1998. – 292 с.

67. Забавская, К.М. Действие калия в полевом и кормовом севооборотах на дерново-подзолистых почвах Московской области / К.М. Забавская, В.Л. Чебан, Г.И. Ваулин // Агрохимия. – 1978. – № 9. – С. 39–46.

68. Закон Республики Беларусь «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС». – Вѣдамасці Вярхоўнага Савета Рэспублікі Беларусь. – 1991. – № 35. – ст. 622.

69. Ильин, В.Б. Элементный химический состав растений / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1985. – 129 с.

70. Инструкция определения дополнительной потребности материально-технических ресурсов для сельского хозяйства в зоне радиоактивного загрязнения / М-во по чрезвычайным ситуациям РБ. – Минск, 1999. – 25 с.

71. Инструкция по известкованию кислых почв сельскохозяйственных угодий Республики Беларусь, 1997 г. / Бел.НИИПА. – Минск, 1997. – 26 с.

72. Карпенко, А.Ф. Радиоэкологические основы нормирования радионуклидов в продукции и правильного использования сенокосов и пастбищ / А.Ф. Карпенко, В.И. Роговенко, Т.В. Потылкина. – Гомель, 1995. – 40 с.

73. Карпенко, А.Ф. Агропромышленное производство Гомельской области после Чернобыльской катастрофы / А.Ф. Карпенко, Н.А. Мезенко, М.И. Бордак, А.И. Киеня. – Гомель, 1995. – 103 с.

74. Карпенко, А.Ф. Эколого-экономические проблемы агропроизводства Гомельской области после Чернобыльской катастрофы : монография. – Брянск : Дельта, 2012. – 258 с.

75. Карпенко, А.Ф. Логистика поступления солнечной энергии в природные системы Беларуси / А.Ф. Карпенко, А.В. Крук. – Гомель : ГГУ им Ф. Скорины, 2017. – 195 с.

76. Касьянчик, С.А. Влияние минеральных удобрений на продуктивность многолетних трав и размеры перехода радионуклидов в травяные корма на торфяно-болотных почвах / С.А. Касьянчик, Т.М. Серая, Ю.В. Путятин // Земляробства і ахова раслін. – 2004. – № 5. – С. 29–31.

77. Каталог средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь, утв. МЗ РБ 18.08.2009. – Гомель: ГУ «РНПЦ РМ и ЭЧ», 2009. – 86 с.

78. Клечковский, В.М. О поведении радиоактивных продуктов деления в почвах и их поступлении в растения и накоплении в урожае / В.М. Клечковский. – М.: АН СССР, 1956. – 177 с.

79. Клечковский, В.М. Агрехимия / Под ред. В.М. Клечковского, А.В. Петербургского. – М.: Колос, 1967. – 583 с.

80. Коноплев, А.В. Параметризация перехода ^{137}Cs из почвы в растения на основе ключевых почвенных характеристик / А.В. Коноплев, И.В. Коноплева // Радиационная Биология. Радиэкология. – 1999. – Т. 39, № 4. – С. 455–461.

81. Котик, В.А. Закономерности миграции ^{137}Cs в луговых экосистемах после аварии на Чернобыльской АЭС: автореф. дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.01 / В.А. Котик; ВНИИСХРАЭ – Обнинск, 1996. – 24 с.

82. Котова, А.Ю. Поведение некоторых радионуклидов в различных почвах / А.Ю. Котова, Н.И. Санжарова // Почвоведение. – 2002. – № 1. – С. 108–120.

83. Кошелева, Н.Е. Регрессионные модели поведения тяжелых металлов в почвах Смоленско-Московской возвышенности / Н.Е. Кошелева, Н.С. Касимов, ОА. Самонова // Почвоведение. – 2002. – № 8. – С. 954–966.

84. Кравцов, С.В. Продуктивность травосмесей с участием донника белого в условиях Гомельской области / С.В. Кравцов, В.А. Лесько, С.В. Гудеева // Мелиорация. – 2011. – № 2 (66). – С. 132–136.

85. Крицкий, М.Н. Культура эспарцета в Беларуси / М.Н. Крицкий [и др.] // Производство растениеводческой продукции: резервы снижения затрат и повышения качества: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Жодино, 10–11 июля 2008 г. / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». – Минск: ИВЦ «Минфина», 2008. – С. 104–107.

86. Кулаковская, Т.Н. Почвы Белорусской ССР / Под ред. чл.-корр. АН БССР Т. Н. Кулаковской, акад. АН БССР П. П. Рогового и канд. с.-х. наук Н. И. Смяяна. – Минск, «Ураджай», 1974. – 328 с.

87. Кулаковская, Т.Н. Потребление растениями элементов питания и их содержание в почве // Справочник по удобрениям: справ. пособие; под ред. акад. ВАСХНИЛ Т.Н. Кулаковской. – 2-е изд., испр. и доп. – Минск: Ураджай, 1978. – С. 19–27.

88. Куликов, Н.В. Континентальная радиоэкология: Почвенные и пресноводные экосистемы / Н.В. Куликов, И.В. Молчанова. – М.: Наука, 1975. – 185 с.

89. Куликов, Я.К. Агроэкология : учебное пособие / Я.К. Куликов. – Минск : Выш. шк., 2012. – 319 с.

90. Кухарчик, Т.И. Верховые болота Беларуси: трансформация, проблемы использования / Т.И. Кухарчик. – Мн., 1996. – 136 с.

91. Лапа, В.В. Справочник агрохимика / В.В. Лапа [и др.]; под ред. В.В. Лапа. – Минск: Белорусская наука, 2007. – 390 с.

92. Ласько, Т.В. Рекомендации по возделыванию лядвенца рогатого и галеги восточной на загрязненных радионуклидами землях / Т.В. Ласько [и др.]; РНИУП «Институт радиологии». – Гомель, 2009. – 66 с.

93. Лукашев, К.И. Геохимия озёрно-болотного литогенеза / К.И. Лукашѐв, В. А. Ковалев, [и др.]. – Мн., «Наука и техника», 1971 – 188 с.
Лупинович, И. С. Микроэлементы в почвах БССР и эффективность микроудобрений / И.С. Лупинович [и др.]. – Мн., Изд-во БГУ, 1970. – 145 с.

94. Лученок, Л.Н. Использование торфяно-песчаных почвенных комплексов Полесья для создания эффективной кормовой базы / Л.Н. Лученок // Мелиорация переувлажненных земель. – 2007. – № 2 (58). – С. 105–111.

95. Лученок, Л.Н. Структура использования торфяно-песчаных почвенных комплексов Полесья // Мелиорация. – 2009. – № 1(61). – С. 164–171.

96. Малкина-Пых, И.Г. Моделирование динамики содержания радионуклида ^{90}Sr в экосистемах различных географических зон / И.Г. Малкина-Пых // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1996. – Т. 36, вып. 1. – С. 119–132.

97. Мамахин, С.В. Биологическая доступность радионуклидов почв и воспроизведение ее динамики в имитационных моделях наземных экосистем / С.В. Мамахин // Вестн. МГУ, Сер. почв. – 2004. – № 2. – С. 16–21.

98. Матвеева, Л.И. Гидрогеохимия поровых растворов / Л.И. Матвеева. – Минск, 1995. – 166 с.

99. Медведский, А.И. Рекомендации по использованию мелиорированных земель в Гомельской области / А.И. Медведский [и др.]; под ред. Г.И. Потачица, В.Ф. Левшанова. – Гомель: Полеспечать, 1985. – 18 с.

100. Мееровский, А.С. Торфяно-болотные почвы / А.С. Мееровский, И.Н. Соловей, И.Н. Афанасьев // Почвы Белорусской ССР. Минск, «Ураджай», 1974. – С. 169–179.

101. Мееровский, А.С. Прогноз трансформации почвенного покрова мелиорируемых земель под влиянием антропогенных факторов / А. С. Мееровский, В.И. Белковский, Н.К. Вахонин и [др.] // Мелиорация переувлажненных земель. – 2002. – Вып. XLIV. – С. 9–25.

102. Мееровский, А.С. Возделывание долголетних луговых травостоев – способ сохранения торфяных почв / А.С. Мееровский, С.Н. Брель //

Плодородие почв – основа устойчивого развития сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. и IV съезда почвоведов, Минск, 26–30 июля 2010 г.: в 2 ч. / редкол.: В.В. Лапа [и др.]. – Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – Ч.1. – С. 123–125.

103. Меркулов, В.В. Продуктивность эспарцета на черноземах южных солонцеватых в зависимости от элементов технологии возделывания / В.В. Меркулов, А.А. Мушинский, А.С. Верещагина // Агрономия и лесное хозяйство. – 2008. – № 1. – С. 48–50.

104. Минеев, В.Г. Агрохимия / В.Г. Минеев. – М.: МГУ, 2004. – С. 174–175.

105. Минкин, М.Б. Роль ассоциативного и протонного равновесий в формировании химического состава почвенных растворов / М.Б. Минкин, А.П. Ендовицкий, А.Г. Андреев. // Успехи почвоведения: Советские почвоведы к XIII Междунар. конгрессу почвоведов (Гамбург, 1986 г.). – М.: Наука, 1986. – С. 32–38.

106. Мироненко, А.В. Белки культурных и дикорастущих кормовых растений / А.В. Мироненко, В.И. Домаш, И.В. Рогольченко. – Минск: Навука і тэхніка, 1990. – С. 83–88.

107. Моисеев, И.Т. О влиянии влажности почвы на поступление цезия-137 в сельскохозяйственные растения / И.Т. Моисеев [и др.] // Агрохимия. – 1974. – № 7. – С. 124–127.

108. Моисеев, И.Т. Динамика накопления ^{137}Cs сельскохозяйственными культурами в полевом опыте / И.Т. Моисеев, Ф.А. Тихомиров, Л.А. Рерих // Агрохимия. – 1986. – № 8. – С. 92–95.

109. Моисеев, И.Т. Изучение поведения Cs-137 в почвах и его поступления в сельскохозяйственные культуры в зависимости от различных факторов / И.Т. Моисеев, Г.И. Агапкина, Л.А. Рерих // Агрохимия. – 1994. – № 2. – С. 103–116.

110. Мушинский, А.А. Оценка продуктивности однолетнего донника в одновидовых и смешанных посевах с суданской травой и просом на орошаемых землях Южного Урала / А.А. Мушинский // Агрономия и лесное хозяйство. – 2009. – № 2. – С. 51–53.

111. Нобел, П. Физиология растительной клетки / П. Нобел. – М.: Мир, 1973. – 258 с.

112. Pavlotskaja, F. I. Migration of Chernobyl plutonium in soils / F. I. Pavlotskaja, I. Kazinskaja, E. Korobova // J. Radiat. and Nucl. Chem. Art. – 1991. – Vol. 147, № 1. – P. 159–164.

113. Панков, Д.М. Возделывание эспарцета песчаного (*Onobrychis Arenaria* (D.C.) на корм в лесостепи Алтайского края / Д.М. Панков // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 9 (59). – С. 9–12.

114. Парфенов, В.И. Радиоактивное загрязнение растительности Беларуси / редкол.: В.И. Парфенов, Б.И. Якушев. – Минск: Навука і тэхніка, 1995. – 582 с.

115. Пастбища Беларуси: создание, эксплуатация (Практическое руководство). – Минск, 2003. – 84 с.

116. Перечень населенных пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения. – Мн., 2010. – 106 с.

117. Петряев, Е.П. Резервы доступных растениям форм радионуклидов в белорусских почвах / Е.П. Петряев [и др.] // Материалы съезда по радиобиологическим исследованиям: тез. докл., Киев, сентябрь 1993. – Пушино, 1993. – С. 794–795.

118. Пикун, П.Т. Многолетние травы: факторы, влияющие на стабильность урожая / П.Т. Пикун [и др.]; под общ. ред. П.Т. Пикун; Нац. акад. наук Беларуси, отд-ние аграрных наук, Полесский фил. РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию». – Мозырь: ООО ИД «Белый Ветер», 2007. – С. 84–87.

119. Пикун, П.Т. Продуктивность многолетних трав на торфяно-болотных почвах / П.Т. Пикун // Наше сельское хозяйство. – 2010. – № 11. – С. 78–81.

120. Пироговская, Г.В. Медленнодействующие удобрения / Г.В. Пироговская // Белорусский ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии. – Минск, 2000. – 288 с.

121. Погодин, Р.И. Физико-химические процессы, обуславливающие миграцию и биологическую доступность изотопов цезия-137 и стронция-90 в почвенной системе / Р.И. Погодин // Теоретические и практические аспекты действия малых доз ионизирующих излучений. – Сыктывкар, 1973. – С. 120.

122. Подворко, Г.А. Закономерности миграции ¹³⁷Cs на болотных лугах в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.01 ВНИИСХРАЭ / Г.А. Подворко. – Обнинск, 2004. – 27 с.

123. Подоляк, А.Г. Рекомендации по использованию загрязненных радионуклидами пойменных земель Белорусского Полесья / А.Г. Подоляк [и др.]. – Гомель: РНИУП «Ин-т радиологии», 2001. – 27 с.

124. Подоляк, А.Г. Влияние агрохимических и агротехнических приемов улучшения основных типов лугов Белорусского Полесья на поступление в травостой ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr: автореф. дис. ...канд. с-х. наук 06.01.04 А.Г. Подоляк; НИРУП «Институт почвоведения и агрохимии» – Минск, 2002. – 19 с.

125. Подоляк, А.Г. Переход цезия-137 и стронция-90 в травостой низинных лугов на торфяно-болотных почвах / А.Г. Подоляк, С.Ф. Тимофеев, Т.Ф. Персикова // Агрохимия. – 2004. – № 11. – С. 63–70.

126. Подоляк, А.Г. Подбор травосмесей – эффективная мера снижения накопления радионуклидов в кормах / А.Г. Подоляк, Т.В. Арастович, Л.Е. Одинцова, И.И. Ивашкова // Агрохимический вестник. – 2005. – № 3. – С. 24–26.

127. Подоляк, А.Г. Травосмеси на основе клевера в зоне радиоактивного загрязнения / А.Г. Подоляк, Т.В. Арастович // Белорусское сельское хозяйство. – 2005. – № 6 (38). – С. 36–38.

128. Подоляк, А.Г. Прогнозирование накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в травостоях основных типов лугов Белорусского Полесья по агрохимическим свойствам почв / Подоляк А.Г. [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2005. – Т. 45, № 1. – С. 100–111.

129. Подоляк, А.Г. Влияние вертикальной миграции и форм нахождения ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах на их биологическую доступность на примере естественных лугов Белорусского Полесья / А.Г. Подоляк // Агрохимия. – 2006. – № 12. – С. 1–11.

130. Подоляк, А.Г. Влияние степени окультуренности дерново-подзолистых почв, видовых и сортовых особенностей на аккумуляцию ^{137}Cs и ^{90}Sr клевером / А.Г. Подоляк // Агрохимия. – 2007. – № 9. – С. 64–74.

131. Подоляк, А.Г. Влияние вертикальной миграции и форм нахождения ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах на их биологическую доступность на примере естественных лугов Белорусского Полесья / А.Г. Подоляк // Агрохимия. – 2007. – № 2. – С. 72–82.

132. Подоляк, А.Г. Прогнозирование величины накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в травостоях основных типов лугов Белорусского Полесья по агрохимическим свойствам почв / А.Г. Подоляк [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2007. – № 3. – С. 54–62.

133. Подоляк, А.Г. Рациональное использование минеральных удобрений под многолетние травы на загрязненных радионуклидами торфяных землях / А.Г. Подоляк, Т.В. Ласько // Белорусское сельское хозяйство. – 2010. – № 10 (102). – С. 25–29.

134. Подоляк, А.Г. Радиологические аспекты использования луговых земель на торфяных почвах в отдаленный период после катастрофы на ЧАЭС / А.Г. Подоляк, Т.В. Ласько // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. – Гомель, 2011. – С. 171–178.

135. Подоляк, А.Г. Многолетние травы как экологическое звено при сохранении плодородия торфяных почв, загрязненных радионуклидами / А.Г. Подоляк, Е.Г. Сарасеко [и др.] // Мелиорация. – 2011. – №1(65). – С. 165–175.

136. Подоляк, А.Г. Эффективность минеральных удобрений при возделывании многолетних бобово-злаковых трав на загрязненной ^{137}Cs и ^{90}Sr торфяной почве / А.Г. Подоляк, И.И. Новикова // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 2. – С. 163–170.

137. Подоляк, А.Г. Оптимизация видового состава сельскохозяйственных культур на торфяных почвах различных стадий трансформации в целях получения качественной растениеводческой продукции на загрязненной радионуклидами территории / А.Г. Подоляк, Е.Г. Сарасеко // Агрохимический вестник – 2012. – № 3. – С. 31–36.

138. Подоляк, А.Г. Проблемы получения качественной растениеводческой продукции на загрязненных радионуклидами территориях /

А.Г. Подоляк, Е.Г. Сарасеко, Е.И. Дегтярова // Веснік Мазырскага дзяржаўнага педагагічнага ўніверсітэта імя І.П. Шамякіна. – 2012. – № 2 (35). – С. 46–54.

139. Подоляк, А.Г. Оптимизация применения минеральных удобрений под многолетние бобово-злаковые травосмеси на загрязненных радионуклидами торфяных почвах / А.Г. Подоляк, Т.В. Ласько // Радиобиология: антропогенные излучения: Материалы межд. науч. конф., Гомель, 25–26 сентября 2014г. / Институт радиобиологии, редкол.: А.Д. Наумов (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Институт радиологии, 2014. – С.105–107

140. Подоляк, А.Г. Параметры поступления ^{137}Cs и ^{90}Sr в многолетние злаковые травы и зоотехнические показатели качества кормов в зависимости от доз внесения удобрений на торфяной почве / А.Г. Подоляк, А.Ф. Карпенко, Т.В. Ласько, С.А. Тагай // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: сб. науч. тр. Вып. 19. – В 2-частях. – Ч. 2. – Горки, 2016. – С. 185–193.

141. Подоляк, А.Г. Научные аспекты сельскохозяйственного производства в постчернобыльских условиях : монография / А.Г. Подоляк, В.В. Валетов, А.Ф. Карпенко. – Мозырь : МГПУ им. И.П. Шамякина, 2017. – 242 с.

142. Поляков, Ю.А. Радиоэкология и дезактивация почв / Ю.А. Поляков. – М.: Атомиздат, 1970. – 306 с.

143. Посыпанов, Г.С. Практикум по растениеводству / Г.С. Посыпанов. – М.: Мир, 2004. – С. 171–179.

144. Пристер, Б.С. Основные факторы, определяющие поведение радионуклидов в системе почва-растение / Б.С. Пристер, Л.П. Перепелятникова, В.И. Дугинов, Ю.В. Хомутигин // Сб. науч. тр. / Украинский науч.-исслед. ин-т с.-х. радиологии; под науч. ред. Н.А. Ложилова. – Киев, 1992. – Вып. 2: Проблемы сельскохозяйственной радиологии. – С. 108–116.

145. Пристер, Б.С. Способ комплексной оценки свойств почвы для прогнозирования накопления радионуклидов растениями / Б.С. Пристер, Г. Бизольд, Ж. Девиль-Ковелин // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2003. – Т. 43, № 6. – С. 688–696.

146. Прохоров, В.М. Миграция радиоактивных загрязнений в почвах. Физико-механические механизмы и моделирование / В.М. Прохоров, – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 98 с.

147. Путятин, Ю.В. Влияние агрохимических свойств почв на поступление ^{90}Sr в зерновые культуры / Ю.В. Путятин, И.Д. Шмигельская, И.А. Ефимова // Почв. исследования и применение удобрений: межвед. тематич. сборник / БелНИИПА. – Минск, 2001. – Вып. 26. – С. 261–268.

148. Путятин, Ю.В. Минимизация поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию / Путятин, Ю.В. – Минск: РУП «Институт почвоведения и агрохимии», 2008. – 255 с.

149. Пятницкий, В.Н. Агроэкологический принцип размещения сельскохозяйственных культур на торфяных почвах / В.Н. Пятницкий, Г.И. Афанасик. // Мелиорация переувлажненных земель. Т. 36: Сб. науч. работ БалНИИМиВХ. –1988. – С. 52–56.

150. Разработать предложения по совершенствованию реабилитационных мер и повышению эффективности ведения сельскохозяйственного производства на загрязненных радионуклидами мелиорированных землях Брестской области: отчет о НИР / Брестский филиал РНИУП «Институт радиологии»; рук. А.С. Судас. – Пинск, 2003. – 221 с. – № ГР 2003333.

151. Разработать и внедрить в производство комплекс эффективных мер по безопасному природопользованию на мелиорированных загрязненных радионуклидами землях Белорусского Полесья: Отчет о НИР / Брестский филиал РНИУП «Институт радиологии»; рук. А.С. Судас. – Пинск, 2005. – 163 с. – № ГР 2005597.

152. Рак, М.В. Применение некорневых подкормок сельскохозяйственных культур микроудобрениями на загрязненных радионуклидами почвах (Рекомендации) / М.В. Рак, И.М. Богдевич, З.С. Ковалевич [и др.] // НИРУП «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 2004. – 19 с.

153. Ракович, В.А. Использование возобновляемой биомассы болотных растений в энергетических целях / В.А. Ракович, Н.Н. Бамбалов // «Зеленая» экономика: проблемы и пути развития: мат. народн. научно-практической конференции (Минск, 5 ап. Минск: ООО «АЖУР Групп», 2017. – 136–139 с.

154. Рерих, Л.А. Влияние основных агрометеорологических факторов на поступление Cs-137 в растения / Л.А. Рерих, И.Т. Моисеев // Агрохимия. – 1989. – № 6. – С. 81.

155. Рудая, С.М. Формы ^{137}Cs в почвах 30-км зоны Чернобыльской АЭС / С.М. Рудая, О.В. Чистик // Почвы и их плодородие на рубеже столетий в трех книгах. Книга 3. Экологическое состояние почвенных ресурсов и защита их от деградации: материалы II съезда Бел. общества почвоведов, Минск, 25–29 июня 2001 г. / Акад. аграрн. наук. Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2001. – С. 134.

156. Русак, Л.В. Кормопроизводство в 2005 году – устойчивость и качество / Л.В. Русак, // Белорусское сельское хозяйство. – 2005. – № 4(36). – С. 3

157. Сайт Минсельхозпрода: <http://mshp.minsk.by/documents/prices/d857be957cab990b.html>.

158. Санжарова, Н.И. Радиоэкологический мониторинг агроэкосистем и ведение сельского хозяйства в зоне воздействия атомных электростанций: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.01/ Н.И. Санжарова. – Обнинск: ВНИИСРАЭ, 1997. – 52 с.

159. Сборник нормативных правовых актов, иных документов по вопросам социальной защиты граждан, пострадавших от катастрофы на Чернобыльской АЭС, других радиационных аварий / Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Институт радиологии» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2009. – С. 7–27.

160. Седукова, Г.В. О возможности возвращения в оборот земель, выведенных после катастрофы на Чернобыльской АЭС / Г.В. Седукова, С.А. Исаченко // VII съезд по радиационным исследованиям : тезисы докладов, Москва, 21–22 октября 2014 года. – Москва : РУДН, 2014. – С. 329.

161. Семененко, Н.Н. Методы определения содержания доступных растениям соединений азота, фосфора и калия в деградированных торфяных почвах / Н.Н. Семененко, В.А. Журавлев. – Минск, 2005. – 24 с.

162. Семененко, Н.Н. Оценка влияния предшественника на продуктивность культур звена зернотравяного севооборота на антропогенно-преобразованных торфяных почвах Полесья / Н. Н. Семененко, П. П. Крот // Мелиорация – 2009. – № 1(61). – С. 121–128.

163. Серехан, В.Ч. Особенности возделывания луговых травостоев на выработанных торфяных почвах / В.Ч. Серехан, А.С. Мееровский, А.А. Сатишур // Мелиорация переувлажненных земель. – 2007. – № 1 (57). – С. 119–129.

164. Система лугового и полевого кормопроизводства на антропогенно-преобразованных торфяных почвенных комплексах Полесья (рекомендации) / РУП «Ин-т мелиорации». – Минск, 2007. – 12 с.

165. Скалозуб, О.М. Влияние покровных культур и скашивания на семенную продуктивность и сроки цветения донника белого / О.М. Скалозуб // Кормопроизводство. – 2009. – № 5. – С. 14–17.

166. Смяян, Н.И. Оценка плодородия почв Белоруссии / Н.И. Смяян, В.С. Зинченко, И.М. Богдевич [и др.]. – Минск: «Ураджай», 1989. – 359 с.

167. Смяян, Н.И. Торфяно-болотные почвы Беларуси. их классификация и диагностика / Смяян Н.И. [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2005. – № 2 (35). – С. 12–22.

168. Соколик, Г.А. Миграция ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239, 240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в системе «почва – почвенный раствор – растение». Звено «почва – почвенный раствор» / Г.А. Соколик // Докл. НАН Беларуси. – 1999. – Т. 43, № 2. – С. 103–109.

169. Статистический ежегодник Республики Беларусь. 2017: стат. сб. – Минск: Нац. стат. комитет Респ. Беларусь, 2017. – 506 с.

170. Статистический сборник «Сельское хозяйство Республики Беларусь», 2017: стат. сб. – Минск: Нац. стат. комитет Респ. Беларусь, 2017. – 233 с.

171. Тановицкий, И.Г. Антропогенные изменения торфяно-болотных комплексов / И.Г. Тановицкий, Ю.М. Обуховский. – Минск: Наука и техника, 1988. – 165 с.

172. Тимофеева, М. Донник в кормовых севооборотах Якутии / М. Тимофеева, Н. Попов // Главный зоотехник. – 2009. – № 7. – С. 47–49.

173. Троц, В.Б. Химический состав фитомассы сорго, суданской травы и донника белого однолетнего / В.Б. Троц, Н.М. Троц, Т.Х. Бахтияров // Аграрная Россия. – 2010. – № 2. – С. 38–40.

174. Тюрюканова, Э.Б. Экология стронция-90 в почвах / Э. Б. Тюрюканова. – М.: Атомиздат, 1976. – 210 с.

175. Храмченкова, О. М. Основы радиационной безопасности : учеб. пособие для студентов биол. спец. высш. учеб. заведений / О. М. Храмченкова, В. В. Валетов, В. Е. Шевчук ; Гомел. гос. ун-т им. Ф. Скорины ; Мозыр. гос. пед. ин-т им. Н. К. Крупской. – Мозырь : Белый ветер, 1999. – 72 с.

176. Федоров, А.А. Новый подход к определению реально доступных растениям элементов питания в почвах / А.А. Фёдоров // Агрохимия. – 2002. – № 7. – С. 32–39.

177. Фесенко, С.В. Изменение биологической доступности цезия после аварии на Чернобыльской АЭС / С.В. Фесенко [и др.] // Почвоведение. – 1995. – № 4. – С. 508–513.

178. Фирсакова, С.К. Поступление ^{90}Sr и ^{137}Cs в растительность лугов из дернины / С.К. Фирсакова, Н.В. Гребенщикова // Доклады ТСХА. – 1980. – № 9. – С. 19–22.

179. Фирсакова, С.К. Изучение относительной химической подвижности Sr-90 с применением метода динамической десорбции / С.К. Фирсакова [и др.] // Тез. докл. междунар. науч. конф. «Десять лет после Чернобыльской катастрофы (научные аспекты проблемы)». – Минск, 1996. – С.286–287.

180. Фрид, А.С. Механизмы и модели миграции ^{137}Cs в почве / А.С. Фрид // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1999. – Т. 39, № 6. – С. 667–674.

181. Чекель, Е.И. Влияние норм высева на кормовую продуктивность донника белого / Е.И. Чекель, П.В. Якимовец, Р.Д. Кишко // Производство растениеводческой продукции: резервы снижения затрат и повышения качества: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Жодино, 10–11 июля 2008 г. / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». – Минск : ИВЦ «Минфина», 2008. – С. 203–206.

182. Четверть века после чернобыльской катастрофы: итоги и перспективы преодоления. Национальный доклад Республики Беларусь. – Минск: Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, 2011. – 90 с.

183. Чернобыль 20 лет спустя. Стратегия восстановления и устойчивого развития пострадавших регионов. Часть I. 20 year after Chernobyl. Strategy for recovery and sustainable Development of the Affected regions. Part I: матер. междунар. конф., 19–21 апр., 2006., Минск / Ком. По проблемам последствий катастрофы на Чернобыль. АЭС при Совете Министров Республики Беларусь. – Минск: Беларусь, 2006. – С. 158.

184. Чернобыль, сельское хозяйство, окружающая среда. – Обнинск: ВНИИСХРАЭ, 2006. – 35 с.

185. Шелюто, А.А. Кормопроизводство: учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений / А.А. Шелюто [и др.]; под ред. А.А. Шелюто. – Минск: ИВЦ Минфина, 2009. – С. 43–49

186. Шелюто, Б.В. Особенности формирования урожая донника белого и клевера лугового в совместных посевах / Б.В. Шелюто // Земляробства і ахова раслін. – 2006. – № 6 (49). – С. 36–38.

187. Шимова, О.С. Основы экологии и экономика природопользования: учебник / О.С. Шимова, Н.К. Соколовский. – Минск: БГЭУ, 2012. – 530 с.

188. Шкель, М.П. Применение удобрений в интенсивном земледелии / М.П. Шкель, В.А. Прудников, В.М. Перепилица [и др.]. Справ. пособие. – Минск: Ураджай, 1989. – 216 с.

189. Шкляр, А.Х. Климатические ресурсы Белоруссии и их использование в сельском хозяйстве / А.Х. Шкляр. – Минск : Высшая школа, 1983. – 432 с.

190. Шкутов, Э. Н. Результаты обследования осушенных торфяников Полесья с различной длительностью сельскохозяйственного использования // Европейское Полесье – хозяйственная значимость и экологические риски // Материалы Международного семинара. – Пинск (РБ), 19–21 июня 2007. – С. 356–360.

191. Шлапунов, В.Н. Донник белый – конкурент люцерне и клеверу / В.Н. Шлапунов // Белорусское сельское хозяйство. – Апрель, 2008. – № 4 (72). – С. 44–46.

192. Шмигельская, И.Д. Влияние особенностей почвообразования торфяно-болотных почв на накопление цезия-137 и стронция-90 в многолетних травах / И.Д. Шмигельская, Н.Н. Путятин // Фундаментальные и прикладные аспекты радиобиологии: биологические эффекты малых доз и радиоактивное загрязнение среды (радиоэкологические и медико-биологические последствия катастрофы на ЧАЭС): тез. докл. междунауч. конф., Минск, 16–17 апреля 1998 г. / МЧС РБ., Ин-т радиобиологии НАН Беларуси. – Минск, 1998. – С. 262.

193. Шпаков, А.П. Кормовые нормы и состав кормов / А.П. Шпаков, К. Назаров, И.Л. Певзнер, Б.С. Маковский. – Минск: Ураджай, 1991. – 384 с.

194. Экологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС и их преодоление: двадцатилетний опыт. Доклад экспертной группы «Экология» Чернобыльского форума. – Вена, МАГАТЭ, 2008.

195. Юдинцева, Е.В. Агрохимия радиоактивных изотопов стронция и цезия / Е.В. Юдинцева, И.В. Гулякин. – М.: Атомиздат, 1968. – 472 с.

196. Янишевский, П.Ф. О методах изучения фосфатного состояния некарбонатных почв // Совершенствование методологии агрохимических исследований / П.Ф. Янишевский // Матер. науч. конф. (Белгород, сент. 1995 г.). – М.: МГУ, 1997. – С. 41–44.

Научное издание

**Подоляк Александр Григорьевич
Валетов Валентин Васильевич
Карпенко Алексей Фёдорович**

**ЭКОЛОГИЗАЦИЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА
НА ТОРФЯНО-БОЛОТНЫХ ПОЧВАХ
ЮГО-ВОСТОКА БЕЛАРУСИ**

Корректор *С. И. Журавлева*
Оригинал-макет *Л. И. Федула*

Подписано в печать 10.12.2018. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 12,67. Уч.-изд. л. 18,17.
Тираж 50 экз. (1-й з-д 1–23). Заказ 29.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Мозырский государственный
педагогический университет имени И. П. Шамякина».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий N 1/306 от 22 апреля 2014 г.
Ул. Студенческая, 28, 247777, Мозырь, Гомельская обл.
Тел. (0236) 32-46-29