

К вопросу о производстве нормативно чистой продукции растениеводства и кормопроизводства в условиях загрязнения почв ^{137}Cs

А.В. Панов¹, А.А. Музалевская¹, Р.М. Алексахин¹, П.В. Прудников², Е.В. Власенко¹

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии
и агроэкологии РАСХН, Обнинск

² Брянский центр «Агрохимрадиология», Брянск

Представлен прогноз предельно допустимых уровней загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий, на которых возможно получение растениеводческой продукции, удовлетворяющей действующим нормативам, при различных объемах защитных мероприятий на радиоактивно загрязненных территориях. На примере юго-западных районов Брянской области, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС, дана оценка периодов времени после радиоактивных выпадений, когда обеспечивается производство продукции растениеводства и кормопроизводства, соответствующей радиологическим стандартам.

Ключевые слова: авария на Чернобыльской АЭС, агропромышленное производство, радиоактивное загрязнение, защитные мероприятия, радиационная безопасность.

Введение

При ведении сельскохозяйственного производства на территориях с повышенным содержанием радиоактивных веществ и оптимальном планировании севооборотов с целью получения продукции, отвечающей установленным радиологическим стандартам, важным этапом является оценка уровней загрязнения пашни и лугопастбищных угодий, при которых не будут превышены нормы содержания радионуклидов в выращиваемых растениях. Особенно актуальной эта проблема стала после аварии на Чернобыльской АЭС, когда радиоактивным выпадениям подверглись огромные территории, не только Украины, где произошла авария, но и сопредельных государств, в том числе и России. При этом, из всех выпавших в результате аварии радионуклидов наибольшее значение при формировании дополнительного облучения населения имеет ^{137}Cs [1, 2]. Сразу после аварии на ЧАЭС для обеспечения радиационной безопасности были введены временно допустимые уровни (ВДУ) содержания радионуклидов в пищевой продукции, которые постоянно ужесточались [3]. В настоящее время нормативы для продуктов питания (СанПиН-2.3.2.1078-01 [4]) и кормов сельскохозяйственных животных (ВП 13.5.13/06-01 [5]) являются неаварийными и их соблюдение не приводит к превышению порога доз облучения населения, установленного законом «О радиационной безопасности» (1 мЗв/год) [6].

Однако, несмотря на то, что после аварии на ЧАЭС прошло более 20 лет, до сих пор на территории юго-западных районов Брянской области уровни радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных угодий остаются достаточно высокими [7] и часть производимой на них продукции не соответствует действующим санитарно-гигиеническим нормам и ветеринарным правилам [8]. Это приводит к необходимости разработки и внедрения методов прогнозирования уровней загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий, при которых возможно получение нормативно чи-

стой продукции растениеводства и кормопроизводства в различные сроки после радиоактивных выпадений.

Для реабилитации сферы сельскохозяйственного производства на радиоактивно загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС территориях проводится комплекс защитных мероприятий. В частности, в растениеводстве и кормопроизводстве, как первичном звене поступления радионуклидов из почвы в сельскохозяйственную продукцию, широко применяются повышенные дозы минеральных удобрений [2, 7, 9]. Объемы внесения мелиорантов для создания агрохимического барьера ^{137}Cs после аварии на ЧАЭС были не всегда и не везде оптимальны [7, 10, 11]. В то же время эффективность агротехнических и агрохимических защитных мероприятий была различной в разные периоды времени после аварии на ЧАЭС [12]. Особенно эффективно применение мероприятий было в первые годы после аварии. Для описания динамики накопления ^{137}Cs сельскохозяйственными растениями в течение 20 лет после радиоактивных выпадений, с учетом различных объемов защитных мероприятий, предложена трехэкспоненциальная математическая модель [12].

Цель исследования

Целью настоящей работы являлись прогнозирование уровней загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий, на которых возможно получение продукции растениеводства и кормопроизводства, удовлетворяющей нормативным критериям в отсутствие защитных мероприятий и с учетом их применения, а также оценка периодов времени, когда этого можно достичь на почвах с различным уровнем плодородия.

Материалы и методы исследования

Для прогноза уровней радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных угодий, на которых возможно получение нормативно чистой растениеводческой продук-

ции, использовали полученные ранее данные о коэффициентах перехода (КП) ^{137}Cs из почвы в растения в течение 20 лет после аварии на ЧАЭС [12]. КП ^{137}Cs были рассчитаны для основных продуктов растениеводства – зерна, картофеля и овощей (капуста, томаты, огурцы), а также кормопроизводства (сено, сенаж, силос), производящихся в 143 хозяйствах 7 наиболее радиоактивно загрязненных юго-западных районов Брянской области.

Важным фактором, влияющим на накопление ^{137}Cs в растениях, являются свойства почвы [1, 13]. Для анализа данных радиационного контроля почвы исследуемых сельскохозяйственных угодий Брянской области были разделены на группы по гранулометрическому составу, в соответствии с радиоэкологической классификацией, используемой рядом международных организаций, в том числе МАГАТЭ [14, 15]. Гранулометрический состав почвы является интегральным показателем, который связан в первую очередь с содержанием в ней физической глины и емкостью катионного обмена, определяющих сорбцию микроколичеств радионуклидов (табл. 1).

вам для периода 1987–2006 гг., а используя представленную в работе [12] математическую модель, выполнен прогноз до 2030 г. Выбор этого года как конечного в оценках обусловлен выполненными ранее расчетами потребности в проведении защитных мероприятий в хозяйствах общественного сектора, расположенных на радиоактивно загрязненной вследствие аварии на ЧАЭС территории России [16].

Плотность загрязнения ^{137}Cs почв $Q_i^j(t)$, при которой содержание этого радионуклида в i -ом виде растений, произрастающем на j -ом типе почвы, не превышает принятый норматив, рассчитывали на основе следующего выражения:

$$Q_i^j(t) = \frac{C_i}{TF_i^j(t)}, \text{ кБк/м}^2, \quad (1)$$

где C_i – значение этого норматива для i -го вида растений, Бк/кг; $TF_i^j(t)$ – коэффициент перехода ^{137}Cs в i -ый вид растений на j -ом типе почвы, (Бк/кг)/(кБк/м²).

Таблица 1

Основные характеристики выделенных групп почв Брянской области

Группы почв	Гранулометрический состав	Тип (подтип) почв	pH _{KCl}	Гумус, %	Емкость катионного обмена, мг-экв/100 г	Содержание физической глины (<0,01 мм), %
Песчаные	песчаные,	дерново-подзолистые;	4,0–6,0	0,3–5,0	3,0–15,0	<20%
	супесчаные	дерново-глеевые; дерновые; светло-серые и серые лесные				
Суглинистые	легкосуглинистые, средне-суглинистые	дерново-подзолистые; дерновые; темно-серые лесные	4,8–6,5	2,0–6,5	5,0–25,0	20–40%
Глинистые	тяжелосуглинистые	темно-серые лесные	5,0–7,0	3,5–10,0	20,0–70,0	>40%
Органические		торфяные; торфяно-болотные; торфяно-глеевые	3,0–5,0	5,0–30,0	20,0–200,0	

Почвы пашни в 7 исследуемых районах Брянской области, используемой для получения продукции растениеводства, представлены двумя группами: песчаными и суглинистыми. Сенокосы и пастбища, на которых производятся корма для сельскохозяйственных животных, помимо этих двух групп, включают еще органические (торфяно-болотные) почвы.

Для учета влияния защитных мероприятий на переход ^{137}Cs из почвы в растения все сельскохозяйственные угодья были разделены на три группы по объемам проведения агрохимических мероприятий: калиевание, известкование, фосфоритование, коренное улучшение сенокосов и пастбищ (табл. 2). Более подробно этот вопрос рассмотрен в работе [12].

Таким образом, на основе фактических КП ^{137}Cs для каждой комбинации культура – почва – год – защитное мероприятие оценивали предельно допустимые уровни загрязнения этим радионуклидом сельскохозяйственных угодий, на которых возможно получение растениеводческой продукции, удовлетворяющей действующим нормати-

В качестве нормативов содержания ^{137}Cs в сельскохозяйственных растениях рассматривали предельно допустимые значения, установленные в документах [4, 5]: для продукции растениеводства – СанПиН-2.3.2.1078-01 (зерно – 70 Бк/кг, картофель, овощи – 120 Бк/кг), для продукции кормопроизводства – ВП 13.5.13/06-01 (сенаж, силос – 80 Бк/кг, сено – 400 Бк/кг).

Необходимо отметить, что значения КП ^{137}Cs для любой сельскохозяйственной культуры, находящейся в схожих условиях (одно время, тип почв, объемы контрмер), могут варьироваться в достаточно широких пределах, иногда достигающих нескольких раз, что обусловлено влиянием на данный показатель большого количества различных факторов, например гидрометеорологических условий. Поэтому для оценки плотностей загрязнения сельскохозяйственных угодий ^{137}Cs , при которых возможно получение нормативно чистой продукции, использовали консервативный подход, т.е. определяли минимальные значения $Q_i^j(t)$, чтобы гарантированно обеспечить неперевышение нормативов в выращиваемых на радиоактивно загрязненной территории растениях.

Таблица 2

**Характеристика сельскохозяйственных угодий
Брянской области при различных вариантах
защитных мероприятий**

Культура/ показатель	Интенсивное внедрение контрмер	Умеренное внедрение контрмер	Отсутствие контрмер
Внесение минеральных удобрений (средние дозы)			
Зерновые, кг/га д.в.	135	60–70	< 10
Картофель, кг/га д.в.	360	170–190	< 25
Кукуруза на силос, кг/га д.в.	205	100–120	< 20
Многолетние травы, кг/га д.в.	40	20	1–2
Агрохимические показатели дерново-подзолистых почв			
Гумус, %	2,2–3,5	1,7–2,2	0,9–1,7
Кислотность, рН	5,8–6,5	5,2–5,8	4,0–5,2
Обменный калий, мг/100 г	17–35	8–17	< 8
Подвижный фосфор, мг/100 г	15–30	10–15	< 10
Индекс степени окультуренности	> 0,7	0,6–0,7	0,4–0,6
Средняя урожайность			
Зерновые, ц/га	20	15	12
Картофель, ц/га	200	70	50
Кукуруза на силос, ц/га	320	170	100
Многолетние травы, (в корм. ед.)	30	10	5

Также учитывали, что $Q_i(t)$ увеличивается со временем (t), прошедшим после радиоактивных выпадений, что связано со снижением КП ^{137}Cs в результате экологических процессов (сорбция этого радионуклида в почве и его вертикальная миграция в ее профиле). В то же время в реальных условиях происходит уменьшение уровней загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий из-за распада этого радионуклида. Для определения периода времени, когда на какой-либо радиоактивно загрязненной территории возможно получение сельскохозяйственной продукции, удовлетворяющей действующим нормативам, необходимо сопоставлять расчетные значения $Q_i(t)$ и реальные данные о плотности загрязнения ^{137}Cs почв.

На рис. 1 в качестве примера рассмотрен вариант оценки времени, когда будет обеспечено производство продовольственного зерна, отвечающего нормативным критериям, на песчаных почвах с различными объемами защитных мероприятий на пашне в Клинцовском районе Брянской области. Этим показателем будет являться год в месте пересечения расчетных и реальных плотностей загрязнения почв ^{137}Cs .

Видно, что в случае проведения защитных мероприятий в интенсивном режиме во всех хозяйствах этого района получение основной массы нормативно чистого зерна на песчаных почвах было возможно уже к 1988 г. При внедрении контрмер в умеренных масштабах это бы произошло на два года позже – в 1990 г., а в случае отсутствия защитных мероприятий производить продовольственное зерно, удовлетворяющее действующим нормативам СанПиН-2.3.2.1078-01, на песчаных почвах,

удалось бы лишь через 6 лет после аварии на ЧАЭС, к 1992 г. Однако следует учитывать, что в наиболее «критических» хозяйствах, в которых плотности загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий значительно превышают аналогичные средние показатели для районов, получение продукции, соответствующей нормативам, возможно в более поздние сроки.

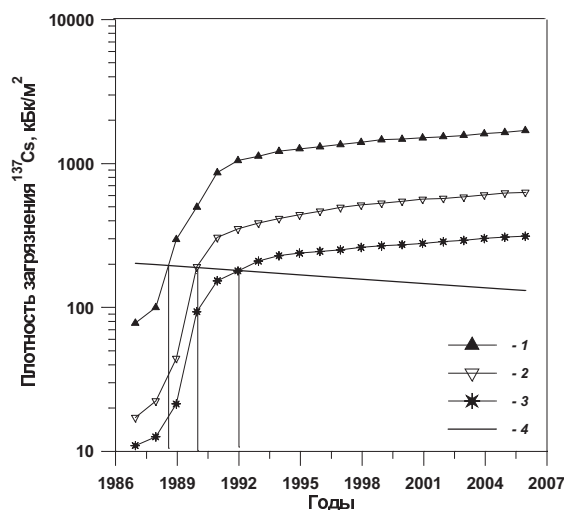


Рис. 1. Динамика предельно допустимых плотностей загрязнения ^{137}Cs песчаной почвы, при которых содержание этого радионуклида в зерне не превышает нормативы СанПиН-2.3.2.1078-01 для различных вариантов защитных мероприятий (1 – интенсивный, 2 – умеренный, 3 – без контрмер, 4 – усредненная плотность загрязнения ^{137}Cs пашни Клинцовского района Брянской области)

Информация по уровням загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий (для продукции растениеводства – пашни, а кормопроизводства – сенокосов и пастбищ) была основана на результатах радиологического картографирования почв Брянской области [7, 17]. Для каждого года после аварии оценивали уровни загрязнения сельскохозяйственных угодий с учетом распада ^{137}Cs по формуле:

$$\sigma(t) = \sigma_{t_0} \cdot \exp\left(\frac{(-0,693 \cdot \Delta t)}{T_{1/2}}\right), \text{ кБк/м}^2, \quad (2)$$

где σ_{t_0} – плотность загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий в год радиологического обследования, кБк/м²; Δt – время, число лет прошедших с года радиологического обследования до расчетного года; $T_{1/2}$ – период полураспада ^{137}Cs , равный 30,17 года.

Результаты и обсуждение

Прогноз уровней загрязнения ^{137}Cs пашни, при которых возможно получение продукции растениеводства, удовлетворяющей радиологическим нормативам.

Полученные результаты прогностических расчетов позволяют определить граничные уровни загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий, на которых возможно производство продукции растениеводства, удовлетворяющей нормативам СанПиН-2.3.2.1078-01, в любой год после

радиоактивных выпадений. Так, в 2008 г., т.е. через 22 года после аварии на ЧАЭС, получение нормативно чистого зерна возможно на песчаных почвах в отсутствие защитных мероприятий при плотностях загрязнения ^{137}Cs менее 325 кБк/м^2 (рис. 2А). При применении минеральных удобрений такие плотности загрязнения ^{137}Cs будут значительно выше – от 650 до 1750 кБк/м^2 в зависимости от интенсивности использования агромерелиорантов. На суглинистых почвах в отсутствие контрмер производство зерна, отвечающего нормативам СанПиН-2.3.2.1078-01, возможно в настоящее время при плотности загрязнения ^{137}Cs пашни до 450 кБк/м^2 (рис. 2Б).

При проведении контрмер в умеренных объемах этот показатель будет выше – на уровне, не превышающем плотность загрязнения ^{137}Cs 900 кБк/м^2 , а при интенсивном применении защитных мероприятий он может достичь величины 2800 кБк/м^2 . Следует также отметить, что если в первые годы после аварии на ЧАЭС для обеих групп почв разница в рассчитанных плотностях загрязнения пашни ^{137}Cs с интенсивным применением защитных мероприятий и их отсутствием на участках, где возможно получение зерна, отвечающего действующим нормативам СанПиН-2.3.2.1078-01, составляла в среднем до 10 раз, то в настоящее время она снизилась до 5 раз. Таким образом, в первые годы после аварии на ЧАЭС применение агромерелиорантов было в 2 раза эффективней, чем через 20 лет после радиоактивных выпадений.

Сравнительный анализ рассчитанных граничных плотностей загрязнения ^{137}Cs пашни с реальными уровнями ее радиоактивного загрязнения в 6 юго-западных районах Брянской области показал, что основную долю нормативно чистого продовольственного зерна на пашне, где защитные мероприятия проводились в максимальных объемах, можно было получать в этих районах через 2–4 года после аварии на ЧАЭС – на песчаных почвах уже в 1989–1990 гг.,

а на суглинистых почвах в 1988–1989 гг. На песчаных почвах в отсутствие контрмер этого удалось достичь на несколько лет позже в зависимости от уровней радиоактивного загрязнения. Так, в районах с относительно невысокими плотностями загрязнения (Климовский, Стародубский) разница во времени достижения нормативов СанПиН-2.3.2.1078-01 по ^{137}Cs в зерне, производимом на пашне, где осуществлялись интенсивные защитные мероприятия, по сравнению с сельскохозяйственными угодьями в отсутствие контрмер составила 3 года, а в наиболее радиоактивно загрязненных Новозыбковском и Красногорском районах достигла 12–16 лет. На суглинистых почвах такая разница достижения нормативов в зерне за счет интенсивного проведения защитных мероприятий в наиболее «критичных» районах была несколько ниже – около 7–11 лет, а в менее радиоактивно загрязненных приближалась по такому показателю к участкам, расположенным на песчаных почвах.

К настоящему времени во всех юго-западных районах Брянской области основные объемы производимого продовольственного зерна соответствуют действующим радиологическим нормативам. В то же время, по данным радиационного контроля, в некоторых наиболее загрязненных ^{137}Cs хозяйствах Новозыбковского района и сейчас наблюдается незначительное превышение нормативов СанПиН-2.3.2.1078-01 в зерне (около 5% проб) [8].

Прогноз уровней радиоактивного загрязнения пашни, при которых возможно получение нормативно чистого картофеля, показал, что в настоящее время данный вид продукции можно выращивать на песчаных почвах при плотности загрязнения ^{137}Cs не превышающей 1300 кБк/м^2 в отсутствие защитных мероприятий и менее 3000 кБк/м^2 – при их интенсивном внедрении (рис. 3А). На суглинистых почвах граничные величины плотностей загрязнения ^{137}Cs будут составлять, соответственно, 2000 и 9000 кБк/м^2 (рис. 3Б).

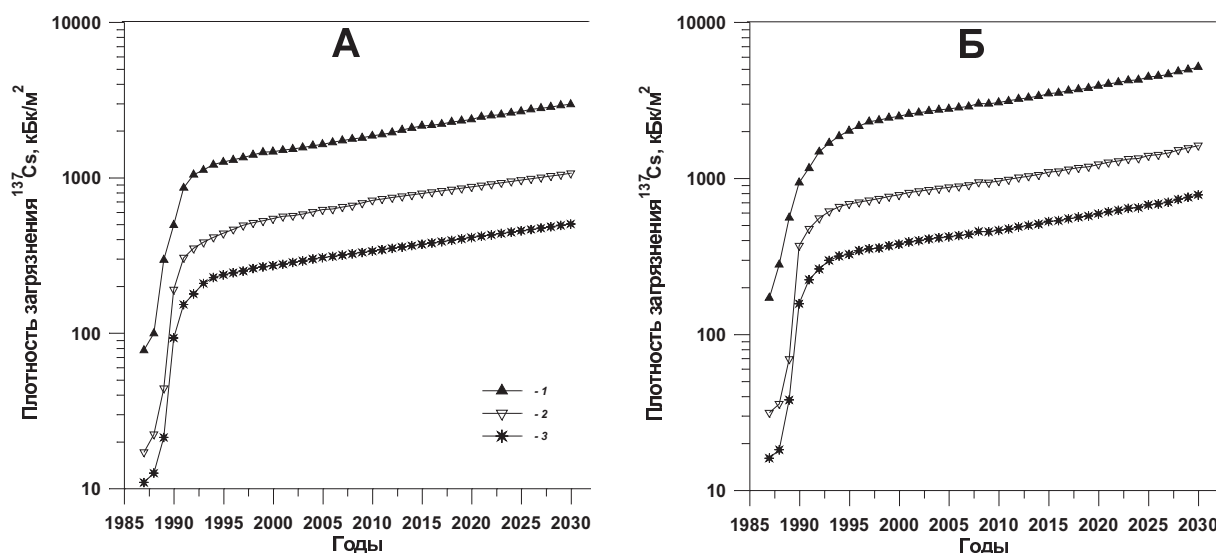


Рис. 2. Динамика предельно допустимых плотностей загрязнения ^{137}Cs песчаной – (А) и суглинистой – (Б) почв, при которых содержание этого радионуклида в зерне не превышает нормативы СанПиН-2.3.2.1078-01 для различных вариантов защитных мероприятий (1 – интенсивный, 2 – умеренный, 3 – без контрмер)

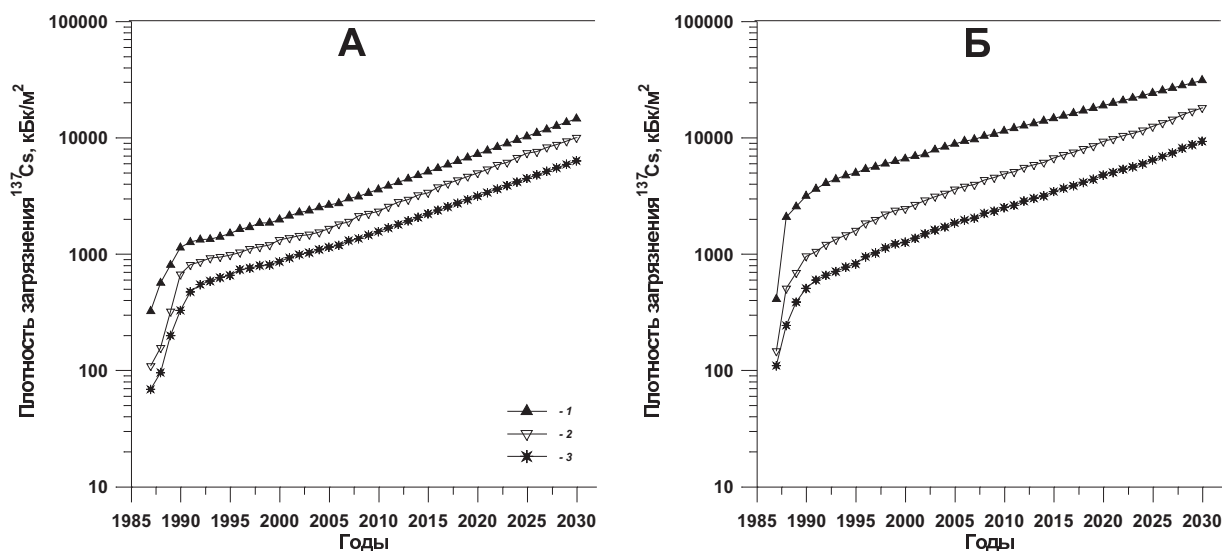


Рис. 3. Динамика предельно допустимых плотностей загрязнения ^{137}Cs песчаной – (А) и суглинистой – (Б) почв, при которых содержание этого радионуклида в картофеле не превышает нормативы СанПиН-2.3.2.1078-01 для различных вариантов защитных мероприятий (1 – интенсивный, 2 – умеренный, 3 – без контрмер)

Такие высокие уровни радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных угодий, при которых возможно получение картофеля, отвечающего нормативам СанПиН-2.3.2.1078-01, объясняются достаточно низкими значениями КП ^{137}Cs для этого вида растениеводческой продукции. Сравнительный анализ отношения рассчитанных плотностей загрязнения ^{137}Cs участков с интенсивным применением защитных мероприятий и их отсутствием для песчаных и суглинистых групп почв также показал снижение эффективности контрмер во времени. Так, в первые несколько лет после аварии на ЧАЭС это отношение составило 5–6 раз, а в настоящее время не превышает 2–3 раз.

Как было отмечено выше, в настоящее время получение картофеля, отвечающего нормативам СанПиН-2.3.2.1078-01, возможно на пашне с достаточно высокими плотностями загрязнения ^{137}Cs . В реальных условиях такие уровни радиоактивного загрязнения пашни не встречаются. По данным последнего радиологического обследования юго-западных районов Брянской области максимальная плотность загрязнения ^{137}Cs пашни зафиксирована в СПК «Кирова» Красногорского района (около 1200 kBq/m^2) [7], поэтому уже достаточно длительное время в наиболее загрязненных ^{137}Cs районах Брянской области даже в условиях отсутствия защитных мероприятий весь производимый картофель отвечает радиологическим стандартам.

При интенсивном проведении контрмер в юго-западных районах Брянской области вне зависимости от механического состава почв уже через 1–2 года после аварии на ЧАЭС выращивали картофель, соответствующий нормативам СанПиН-2.3.2.1078-01. В отсутствие контрмер соответствие действующему нормативу для этого вида растениеводческой продукции наблюдалось на песчаных почвах на 2–3 года позже, а на суглинистых почвах – в среднем на 1,5 года. Получение картофеля, удовлетворяющего

радиологическим нормативам, в наименее радиоактивно загрязненном Стародубском районе было возможно уже на следующий год после аварии на ЧАЭС вне зависимости от объемов применения агроメリорантов. В целом же можно отметить, что даже в отсутствие защитных мероприятий получать нормативно чистый картофель на пашне наиболее радиоактивно загрязненных юго-западных районов Брянской области можно было в 1989–1991 гг.

Выполненные прогностические расчеты для овощей (капуста, томаты, огурцы) показали, что плотность загрязнения ^{137}Cs пашни, при которой возможно производство данного вида растениеводческой продукции, удовлетворяющей нормативам, будет несколько выше, чем для картофеля. Так, на песчаных почвах в отсутствие контрмер получение овощей, отвечающих нормативам СанПиН-2.3.2.1078-01, возможно в настоящее время при уровнях загрязнения пашни менее ^{137}Cs 2000 kBq/m^2 (рис. 4А). В случае проведения защитных мероприятий в умеренных объемах такой показатель будет выше – до 2700 kBq/m^2 , а при интенсивном применении агроメリорантов он не превысит 6000 kBq/m^2 . На суглинистых почвах граничные плотности загрязнения ^{137}Cs пашни составят 2800, 4100 и 8700 kBq/m^2 , в отсутствие контрмер, их умеренном применении и интенсивном внедрении, соответственно (рис. 4Б).

Необходимо отметить, что получение нормативно чистой овощной продукции, как и картофеля, при таких высоких уровнях загрязнения пашни ^{137}Cs возможно только теоретически, так как на практике ведение сельскохозяйственного производства при уровне загрязнения этим радионуклидом почв выше 1480 kBq/m^2 (40 Ki/km^2) строго контролируется (поля выводятся из севооборота, или на них возможно возделывание культур семенного и технического назначения, а также кормов для откормочного скота) [1].

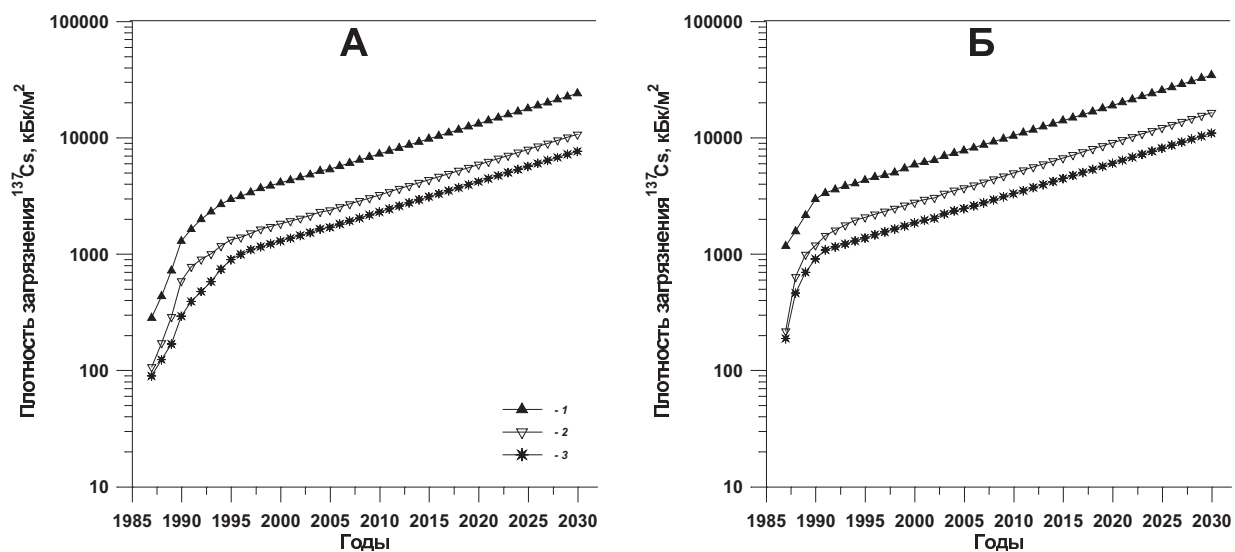


Рис. 4. Динамика предельно допустимых плотностей загрязнения ^{137}Cs песчаной – (А) и суглинистой – (Б) почв, при которых содержание этого радионуклида в овощах не превышает нормативы СанПиН-2.3.2.1078-01 для различных вариантов защитных мероприятий (1 – интенсивный, 2 – умеренный, 3 – без контрмер)

В юго-западных районах Брянской области добиться получения овощной продукции, удовлетворяющей нормативам СанПиН-2.3.2.1078-01 (120 Бк/кг), так же как и картофеля, удалось уже в первые годы после аварии на ЧАЭС. На участках, где контрмеры проводились в максимальных объемах, это было достигнуто на суглинистых почвах уже в 1987 г., а на песчаных – через два года после аварии. На пашне в отсутствие защитных мероприятий в 6 юго-западных районах Брянской области выращивать овощи, содержание в которых ^{137}Cs отвечало действующим в настоящее время санитарно-гигиеническим нормативам, стало возможно на песчаных почвах в среднем через 3,5 года после аварии на ЧАЭС, а на суглинистых почвах – через 1,5 года. Полученные данные позволяют сделать вывод, что применяемые в СанПиН-2.3.2.1078-01 нормативы, ограничивающие содержание ^{137}Cs в картофеле и овощах, можно было вводить гораздо раньше срока, когда они фактически вступили в действие.

Таким образом, в настоящее время в наиболее радиоактивно загрязненных районах Брянской области возможно производство продукции растениеводства с содержанием в ней радионуклидов, отвечающим нормативам СанПиН-2.3.2.1078-01, и объемы применения агроメリорантов в этих районах, должны быть обоснованы не столько по их радиологической эффективности, сколько по обеспечению оптимального режима питания растений и повышению урожайности.

Прогноз уровней загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий, при которых возможно получение продукции кормопроизводства, удовлетворяющей радиологическим нормативам

Для решения поставленных в работе задач были выбраны три вида кормов сельскохозяйственных животных – сенаж и кукуруза на силос, которые производятся на пашне, а также сено трав с сенокосов и луго-пастбищных угодий. Прогноз предельно допустимых уровней загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий, на которых возможно

получение сенажа, отвечающего нормативам ВП 13.5.13/06-01 (80 Бк/кг), показывает, что в настоящее время на песчаных почвах такие уровни загрязнения ^{137}Cs составляют менее 190 кБк/м² в отсутствие контрмер, не выше 290 кБк/м² при умеренном проведении защитных мероприятий и до 600 кБк/м² в случае их интенсивного применения (рис. 5А). На суглинистых почвах предельно допустимые плотности загрязнения почв ^{137}Cs несколько выше и ограничиваются пределами 300, 450 и 900 кБк/м² на участках в отсутствие защитных мероприятий, их умеренном и интенсивном проведении, соответственно (рис. 5Б). Как и в случае с продукцией растениеводства, отмечено снижение во времени эффективности использования агроメリорантов для уменьшения загрязнения ^{137}Cs сенажа. Если в первые годы после аварии на ЧАЭС разница в максимальных плотностях загрязнения для случаев интенсивного внедрения контрмер и их отсутствия составляла 7-9 раз, то в настоящее время, спустя 22 года после аварии, она не превышает 3 раз.

Сравнительный анализ расчетных значений плотности загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий, при которых возможно производство нормативно чистого сенажа, с реальными плотностями загрязнения этим радионуклидом пашни исследуемых районов Брянской области показал, что сроки выхода на действующий норматив для данного вида продукции варьировали в значительных пределах. Так, при интенсивном проведении контрмер в исследуемых районах (кроме Стародубского) добиться получения сенажа, отвечающего нормативам ВП 13.5.13/06-01, удалось на всех типах почв примерно в одно и то же время – через 4-6 лет после аварии на ЧАЭС. В случае отсутствия контрмер сроки достижения норматива в данной продукции кормопроизводства значительно возрастали по сравнению с вариантом интенсивного внедрения защитных мероприятий и составляли от 4 до 23 лет. Например, в Новозыбковском и Красногорском районах Брянской области, в которых уровни радиоактивного загрязнения были максимальными

и остаются достаточно высокими до настоящего времени, без внедрения контрмер не удастся получить основную массу нормативно чистого сенажа на песчаных почвах вплоть до 2015-2018 гг. В целом же можно отметить, что за счет интенсивного применения агроメリорантов в наиболее радиоактивно загрязненных районах Брянской области удалось сократить время, когда стало возможно производство сенажа, удовлетворяющего нормативам ВП 13.5.13/06-01, в среднем на 10–15 лет.

Для получения сена в исследуемых юго-западных районах Брянской области используются сенокосы, включающие не только рассмотренные ранее группы почв, но и угодья, расположенные на торфяно-болотных почвах. КП ^{137}Cs для этой наиболее «критической» группы почв были и остаются самыми высокими. Как показали расчеты, в настоящее время предельно допустимая плотность загрязнения ^{137}Cs луго-пастбищных угодий, расположенных на песчаных почвах, при которых содержание этого радионуклида в сене трав не превышает норматив ВП 13.5.13/06-01 (400 Бк/кг), в отсутствие контрмер составляет не более 350 кБк/м² (рис. 6А). При поверхностном улучшении сенокосов и пастбищ предельно допустимые уровни загрязнения ^{137}Cs , при которых возможно производство нормативно чистого сена, возрастут до 700 кБк/м², а при коренном улучшении такие плотности загрязнения будут еще выше – около 1500 кБк/м². На суглинистых почвах граничные уровни загрязнения ^{137}Cs луго-пастбищных угодий, при которых будут соблюдаться нормативы ВП 13.5.13/06-01 в сене, составят 600, 1000 и до 2300 кБк/м², в отсутствие контрмер, их умеренном и интенсивном проведении, соответственно (рис. 6Б). Предельно допустимые плотности загрязнения ^{137}Cs сенокосов и пастбищ, расположенных на торфяных почвах, будут минимальными из всех рассматриваемых групп почв. Так, в отсутствие защитных мероприятий получение нормативно чистого сена возможно на торфяниках при плотности загрязнения ^{137}Cs менее 170 кБк/м². В случае проведения поверхностного улучшения сенокосов и пастбищ эта величина возрастет до 300 кБк/м², а при их коренном улучшении – до 650 кБк/м² (рис. 6В).

Сравнение граничных плотностей загрязнения ^{137}Cs лугов и пастбищ для различных вариантов проведения контрмер показало, что кратность снижения содержания этого радионуклида в сене трав при проведении коренного улучшения в первые годы после аварии (1987–1992 гг.) достигала 10–12 раз, а при поверхностном улучшении до 3 раз. В последние годы эффективность этих мероприятий заметно снизилась и составляет для коренного улучшения 3,5–4 раза, а для поверхностного не превышает 1,5–2 раза.

Учитывая, что максимальные плотности загрязнения ^{137}Cs луго-пастбищных угодий в юго-западных районах Брянской области доходят в настоящее время до 1900 кБк/м² (СПК «им. 24 партсъезда», Красногорского района [7]) и превышают рассчитанные граничные показатели для производства нормативно чистого сена даже в условиях интенсивного проведения контрмер на песчаных и торфяно-болотных почвах, можно говорить, что данный вид продукции, как и сенаж, относится к критическому звену при ведении кормопроизводства на радиоактивно загрязненных территориях.

Сравнительные оценки расчетных предельно допустимых плотностей загрязнения сенокосов и пастбищ ^{137}Cs с

реальными данными радиологического обследования, проводимого в 6 наиболее радиоактивно загрязненных юго-западных районах Брянской области, дают возможность определить как потребность в защитных мероприятиях на сельскохозяйственных угодьях, так и эффективность контрмер для снижения загрязнения этим радионуклидом сена. Так, на сенокосах, расположенных на песчаных и суглинистых почвах, при периодическом проведении их коренного улучшения (один раз в четыре года), получение данного вида продукции, отвечающей действующим нормативам, стало возможно в среднем на 12–13 лет раньше, чем на участках, где контрмеры не проводились. Эффективность коренного улучшения сенокосов, расположенных на торфяно-болотных почвах, по сокращению времени производства сена, соответствующего нормативам, оказалась максимальной и составила около 18 лет. Сравнительный анализ данных также показал, что при проведении коренного улучшения всех сенокосов, расположенных в юго-западных районах Брянской области, уже в настоящее время можно получать сено, соответствующее радиологическим стандартам. В то же время в отсутствие мероприятий такого типа превышение нормативов содержания ^{137}Cs в основной массе сена, производимого в исследуемых районах, будет наблюдаться на песчаных почвах до 2010 г., а на торфяно-болотных почвах вплоть до 2022 г.

В последние годы выращивать кукурузу на силос, соответствующую нормативам ВП 13.5.13/06-01 (80 Бк/кг по ^{137}Cs), можно на песчаной почве в отсутствие контрмер при плотностях загрязнения ^{137}Cs пашни менее 280 кБк/м² (рис. 7А). При внесении минеральных удобрений в умеренных объемах эта плотность загрязнения ^{137}Cs возрастет до уровня не выше 380 кБк/м². В случае интенсивного применения агроメリорантов максимальная плотность загрязнения ^{137}Cs пашни, при которой возможно получение нормативно чистого силоса, на песчаной почве возрастет до 600 кБк/м². На суглинистых почвах выращивать кукурузу на силос возможно при несколько больших плотностях загрязнения ^{137}Cs пашни. В отсутствие контрмер граничные плотности загрязнения ^{137}Cs составят 360 кБк/м², при их умеренном применении – до 570 кБк/м², и при интенсивном – не выше 1300 кБк/м² (рис. 7Б). Как и для других культур, отмечено снижение эффективности применения агроメリорантов для уменьшения перехода ^{137}Cs в кукурузу. Если в первые годы после аварии на ЧАЭС (1987–1990 гг.) кратность снижения поступления этого радионуклида составляла 6–7 раз, то в настоящее время она не превышает 2–3 раз.

Анализ данных по срокам производства кукурузы на силос, соответствующей радиологическим нормативам, в исследуемых районах Брянской области показывает, что потребность в интенсивных защитных мероприятиях для снижения загрязнения ^{137}Cs этой культуры в настоящее время сохраняется только в Новозыбковском районе Брянской области на песчаных почвах. Интенсивное внедрение контрмер позволило выращивать кукурузу, соответствующую ВП 13.5.13/06-01 в юго-западных районах Брянской области в среднем через 3–4 года после аварии на ЧАЭС – к 1989–1990 гг. Это сократило время производства данного вида кормов с превышением установленных радиологических стандартов в среднем на 7–9 лет по сравнению с пашней, где защитные мероприятия не проводились.

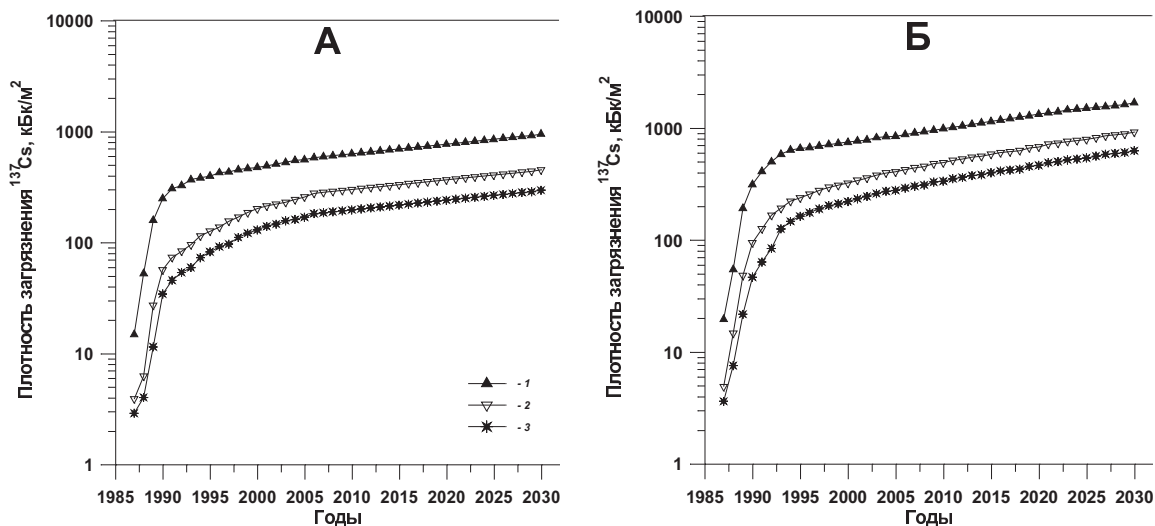


Рис. 5. Динамика предельно допустимых плотностей загрязнения ^{137}Cs песчаной – (А) и суглинистой – (Б) почв, при которых содержание этого радионуклида в сенаже не превышает нормативы ВП 13.5.13/06-01 для различных вариантов защитных мероприятий (1 – интенсивный, 2 – умеренный, 3 – без контрмер)

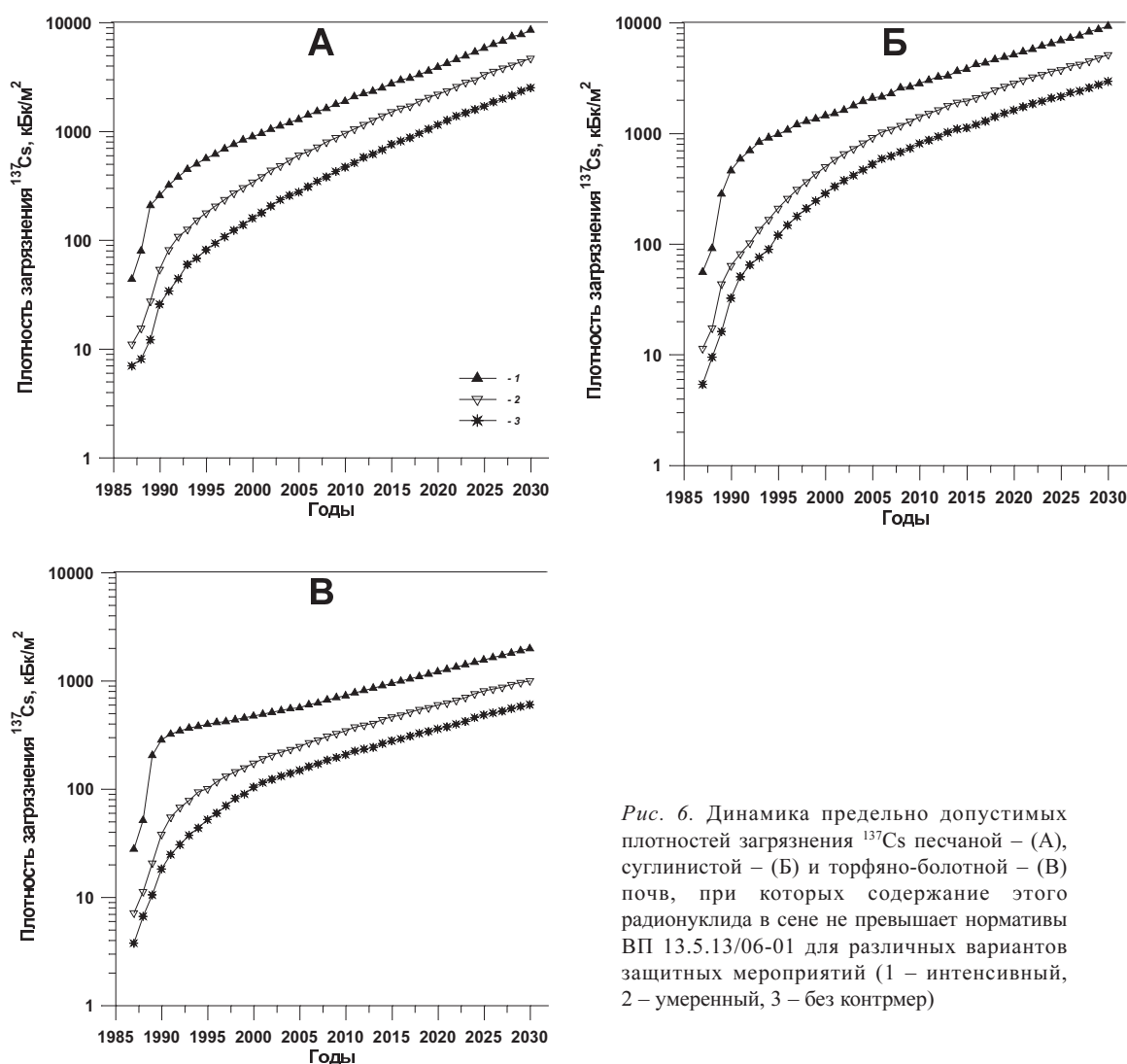


Рис. 6. Динамика предельно допустимых плотностей загрязнения ^{137}Cs песчаной – (А), суглинистой – (Б) и торфяно-болотной – (В) почв, при которых содержание этого радионуклида в сене не превышает нормативы ВП 13.5.13/06-01 для различных вариантов защитных мероприятий (1 – интенсивный, 2 – умеренный, 3 – без контрмер)

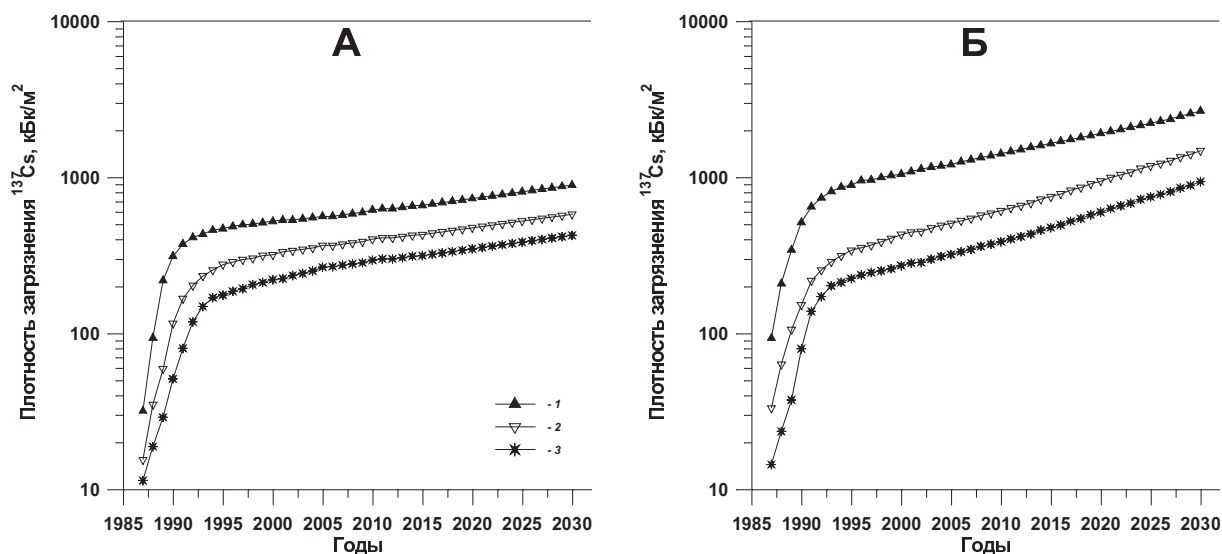


Рис. 7. Динамика предельно допустимых плотностей загрязнения ^{137}Cs песчаной – (А) и суглинистой – (Б) почв, при которых содержание этого радионуклида в кукурузе на силос не превышает нормативы ВП 13.5.13/06-01 для различных вариантов защитных мероприятий (1 – интенсивный, 2 – умеренный, 3 – без контрмер)

Полученные данные о предельно допустимых плотностях загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий, на которых возможно получение продукции растениеводства и кормопроизводства, удовлетворяющей действующим радиологическим нормативам, и периодов времени, когда этого удастся достичь, достаточно хорошо согласуются с результатами радиационного контроля, проводимого Брянским центром «Агрехимрадиология» [18].

Список использованной литературы

1. Сельскохозяйственная радиэкология [Текст] / под ред. Р.М. Алексахина, Н.А. Корнеева. – М.: Экология, 1992. – 400 с.
2. Twenty Years After the Chernobyl Accident: Past, Present and Future [Текст] / Ed. by E. V. Burlakova. Nova Publishers. – 2006. – 358 p.
3. Сборник нормативных и методических документов, регламентирующих ведение сельского хозяйства на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС [Текст] : в 3 т. / под ред. Н.И. Санжаровой. – Обнинск: ИГ-СО-ЦИН, 2006.
4. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов [Текст] : Санитарно-эпидемиологические правила и нормы (СанПиН 2.3.2.1078-01). – М.: Минздрав РФ, 2002. – 164 с.
5. Ветеринарно-санитарные требования к радиационной безопасности кормов, кормовых добавок, сырья кормового. Допустимые уровни содержания радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs [Текст] : Ветеринарные правила и нормы (ВП 13.5.13/06-01) // Ветеринарная патология. – 2002. – №4. – С. 44-45.
6. Российская Федерация. Законы. О радиационной безопасности населения [Текст] : [№ 3-ФЗ : принят 09.01.1996] // Собрание законодательства Российской Федерации. – 1996. – № 11. – Ст. 1362.
7. Прудников, П.В. Агрехимическое и агроэкологическое состояние почв Брянской области [Текст] / П.В. Прудников, С.В. Карпеченко, А.А. Новиков [и др.]. – Брянск: Изд-во ГУП «Клиновская городская типография», 2007. – 608 с.
8. Панов, А.В. Радиэкологическая ситуация в сельскохозяйственной сфере на загрязненных территориях России в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС [Текст] / А.В. Панов, С.В. Фесенко, Р.М. Алексахин [и др.]. // Радиационная биология. Радиэкология. – 2007. – Т. 47, № 4. – С. 423-434.
9. Алексахин, Р.М. Итоги ликвидации последствий аварии на ЧАЭС в агропромышленном комплексе России [Текст] / Р.М. Алексахин, Н.И. Санжарова, С.В. Фесенко, [и др.]. // Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий: труды междунар. конф. (5-6 декабря 2005). – Москва, 2005. – Т. 1. – С. 50-58.
10. Воробьев, Г.Т. Агрехимические свойства почв Брянской области и применение удобрений [Текст] / Г.Т. Воробьев, А.И. Бобровский, П.В. Прудников. – Брянск, 1995. – 121 с.
11. Воробьев, Г.Т. Почвенное плодородие и радионуклиды. (Экологические функции удобрений и природных минеральных образований в условиях радиоактивного загрязнения почв) [Текст] / Г.Т. Воробьев, И.Н. Чумаченко, З.Н. Маркина [и др.]. – М.: НИИ – Природа, 2002. – 357 с.
12. Панов, А.В. Влияние защитных мероприятий на накопление ^{137}Cs сельскохозяйственными растениями из почвы после аварии на Чернобыльской АЭС [Текст] / А.В. Панов, Р.М. Алексахин, П.В. Прудников [и др.]. // Почвоведение. – 2008. – №11-12.
13. Фесенко, С.В. Анализ факторов, определяющих формирование доз внутреннего облучения сельского населения и эффективность защитных мероприятий в сельском хозяйстве в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС [Текст] / С.В. Фесенко, Р.М. Алексахин, Н.И. Санжарова [и др.]. // Радиационная биология. Радиэкология. – 1999. – Т. 39, № 5. – С. 487-499.
14. Frissel, M.J. Report of the Working group soil to plant transfer factors [Текст] / M.J. Frissel. – RIVM, Bilthoven, Netherland, 1989.
15. IAEA Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in temperate environments [Текст] :

- Technical Report; Series № 364. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 1994. – 74 p.
16. Алексахин, Р.М. Чернобыль, сельское хозяйство, окружающая среда [Текст] / Р.М. Алексахин, Н.И. Санжарова, С.В. Фесенко, Е.В. Спирин, С.И. Спиридонов, А.В. Панов. – Обнинск: ВНИИСХРАЭ, 2006. – 24 с.
17. Воробьев, Г.Т. Радиоактивное загрязнение почв Брянской области [Текст] / Г.Т. Воробьев, Д.Е. Гучанов, З.Н. Маркина [и др.]. – Брянск: Грани, 1994. – 148 с.
18. Маркина, З.Н. Радиоактивное загрязнение продукции растениеводства Брянской области [Текст] / З.Н. Маркина, А.А. Курганов, Г.Т. Воробьев. – Брянск: БГСХА, 1997. – 241 с.
-

A.V. Panov¹, A.A. Muzalevskaya¹, R.M. Alexakhin¹, P.V. Prudnikov², E.V. Vlasenko¹
ON SAFE PLANT AND FODDER PRODUCTION ON ¹³⁷Cs CONTAMINATED SOILS

¹ Russian Institute of Agricultural Radiology and Agroecology RAAS, Obninsk

² Bryansk center “Agrochemradiology”, Bryansk

Abstract. The paper predicts the permissible levels of ¹³⁷Cs contamination of agricultural lands where the obtaining of farm products in compliance with the existing standards is possible at different countermeasure scales in the affected areas. Exemplified by the south-western districts of the Bryansk region affected by the Chernobyl accident, the time periods are estimated when plant and fodder production in accordance with the radiological standards is ensured.

Key words: Chernobyl accident, agricultural production, radioactive contamination, protective measures, radiation protection.

Поступила 1.04.08.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №07-04-12007)