

Рисунок 19 – Фактические и прогнозные максимальные урны воды весеннего половодья р. Лесная – г. Каменец

Материал поступил в редакцию 31.03.2019

**VOLCHEK A. A., SHPOKA I. N., SHPOKA D.A. Evaluation of lesnaya river water levels in the conditions of modern warming of climate**

The work considered the fluctuations of the levels of r. Lesnaya in the conditions of a changing modern climate, an estimate of the temporal variability of water levels on the river for 1988–2014.

The basis for the study was the data of the state water cadastre of the State Institution "Republican Center for Hydrometeorology, Radioactive Pollution Control and Environmental Monitoring". Analysis of fluctuations in water levels on the river. R. Lesnaya conducted using differential integral curves. As a result of the research, the graphs of the long-term progress of the water levels on the r. Lesnaya – c. Kamenets, r. Lesnaya – v. Tuhinichi. Were built predictive model r. Lesnaya.

The analysis of changes in the average annual water level on the river. R. Lesnaya – c. Kamenets and r. Lesnaya – v. Tuhinichi – showed a slight increase in the water level. So on r. Lesnaya – c. Kamenets in 2003 was 98 cm, and in 2010 – 144 cm, on the r. Lesnaya – v. Tuhinichi in 1992, the average water level was 136 cm, and in 2010 – 207 cm.

Analysis of the maximum level of spring flood on the river. R. Lesnaya at two posts showed an increase in water level during this period. The maximum water level of the summer-autumn flood on the river. R. Lesnaya at two posts showed an increase in water level.

The values of the minimum level of the summer-autumn period on the river. R. Lesnaya – c. Kamenets and r. Lesnaya – v. Tuhinichi have a steady upward trend. The analysis of the minimum level showed that in the winter on the river. R. Lesnaya – c. Kamenets marked lowering of the water level, on the river. R. Lesnaya – v. Tuhinichi – increase. This is due to the fact that the post r. Lesnaya – v. Tuhinichi water level mode is periodically distorted by 2 gateway-regulators above the post.

УДК 556.42

**Шевченко В. А., Губин В. К., Кудрявцева Л. В.**

**СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЦЕЗИЯ В ПОЧВЕ**

**Введение.** В результате аварии на Чернобыльской АЭС было установлено загрязнение радионуклидами <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr территорий нескольких областей в союзных республиках СССР. В РСФСР в зону загрязнения попало более 2 млн сельскохозяйственных угодий, в БССР – 1,4 млн га, в УССР загрязнено 0,9 млн га. В РСФСР в зону загрязнения <sup>137</sup>Cs плотностью выше 1 Ки/км<sup>2</sup> попали сельскохозяйственные угодья в Брянской области на площади 703 тыс. га, в Калужской области – 146 тыс. га, в Орловской области – 779 тыс. га, в Тульской – 669 тыс. га. Наиболее высокий уровень загрязнения установлен в шести районах Брянской области и трёх районах Калужской области [1].

**Цель работы.** Поиск новых направлений в разработке и применении мероприятий, позволяющих снизить воздействие загрязнения сельскохозяйственных земель радиоактивным изотопом цезия на выращиваемую сельскохозяйственную продукцию.

**Методы проведения исследований.** В основу работы положены результаты патентных исследований и материалы, опубликованные в научно-технической литературе с оценкой эффективности применя-

емых в производственных условиях мероприятиях по снижению поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию.

**Рассматриваемые материалы.** В Республике Беларусь использование загрязнённых земель регламентировано. Согласно Закону «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС», ведение сельскохозяйственного производства на территории Республики Беларусь, загрязненной радионуклидами цезия <sup>137</sup> возможно в трех зонах. К первой зоне относятся земли с плотностью загрязнения цезием <sup>137</sup> - 1<sup>А5</sup> Ки/км<sup>2</sup>. Здесь производство ведется в обычном порядке и содержание радионуклидов в продукции не превышает допустимые уровни.

Во вторую зону входят земли с плотностью загрязнения цезием <sup>137</sup> 5<sup>А15</sup> Ки/км<sup>2</sup>. Третья зона включает земли с плотностью загрязнения цезием <sup>137</sup> - 15<sup>А40</sup> Ки/км<sup>2</sup>. В последних двух зонах производство продукции ведется с внедрением специальных приемов, направленных на снижение поступления радионуклидов в продук-

**Шевченко Виктор Александрович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», e-mail : Shevchenko.v.a @yandex.ru.

**Губин Владимир Константинович**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела мелиорации земель ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», e-mail: gubin.vladimir2011@yandex.ru.

**Кудрявцева Лидия Владимировна**, младший научный сотрудник отдела мелиорации земель ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», e-mail : kudryavtzeva.lidia2016@yandex.ru.

127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 44, корпус 2.

цию растениеводства и животноводства. Организационные мероприятия включают ряд последовательных и взаимосвязанных мер. В связи с тем, что загрязнение радионуклидами территории хозяйств произошло неравномерно, первоочередным мероприятием является инвентаризация угодий по плотности загрязнения радионуклидами и составление карт радиоактивного загрязнения земель. На основании этого делается прогноз содержания радионуклидов в будущем урожае и продукции животноводства. Прогноз загрязнения продукции растениеводства позволяет заранее планировать подбор культур для возделывания на загрязненных радионуклидами угодьях, их размещение в севообороте с учетом плотности загрязнения почв и использования получаемой продукции.

При составлении прогноза применяют значения коэффициентов перехода радионуклидов из почвы в урожай при плотности загрязнения 1 Ки/км<sup>2</sup>. Значения коэффициентов перехода определены для основных сельскохозяйственных культур и для преобладающих типов почв с учетом содержания в них обменного калия и уровня кислотности.

Организационные мероприятия предусматривают изменение структуры посевных площадей и севооборотов; изменение специализации отраслей животноводства; организацию радиационного контроля сельскохозяйственной продукции; исключение угодий из хозяйственного использования или перевод выведенных из землепользования в хозяйственное использование; оценку эффективности защитных мероприятий и уровня загрязнения урожая после их проведения [2].

Обследование загрязнённых земель в Брянской области показало, что даже через 20 лет после аварии в чистые земли (менее 5 Ки/км<sup>2</sup>) перешло только 13% загрязнённых земель. Загрязнённые земли с содержанием более 5 Ки/км<sup>2</sup> составляют 160 тыс. га и нуждаются в реабилитации. Исследования динамики накопления цезия 137 в продовольственных и кормовых культурах в условиях Брянской области показывают, что поступление радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию остается высоким, а работа по воспроизводству плодородия почв ведется в недостаточных объемах.

Уровень загрязнения территорий уменьшается в основном за счет естественного распада цезия 137, также на поступление цезия 137 в сельскохозяйственную продукцию оказывает влияние внесение минеральных удобрений. Так, внесение повышенных норм калийных удобрений снижает поступления цезия 1,5...2,7 раза. Значительно снижает поступление цезия в растения и известкование почвы. Таким образом, несмотря на годы, прошедшие после аварии, проблемы обеспечения радиационной безопасности населения продолжают оставаться актуальными [3].

На накоплении радионуклидов в растениях оказывают влияние биологические особенности растений. Поэтому важным приёмом снижения содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции является подбор культур и сортов растений, накапливающих радионуклиды в наименьшей степени. Сельскохозяйственные культуры в порядке убывания коэффициентов перехода цезия 137 располагаются в следующей последовательности: люпин, горох, вика, рапс, овес, просо, ячмень, пшеница, озимая рожь. В меньших количествах накапливают цезий картофель и свекла. У зерновых культур цезий 137 больше накапливается в соломе злаков и гораздо меньше переходит в зерно [4]. Поэтому ряд изобретений, в области снижения содержания радионуклидов в почве, основывается на сочетании изменения их подвижности в почве с извлечением вегетативной массой растений.

Коэффициенты перехода радионуклидов в растения в значительной степени зависят от гранулометрического состава почвы. На суглинистых почвах радионуклиды накапливаются в растениях в два раза меньше, чем на песчаных.

В патенте на «Способ очистки почвенного покрова, загрязнённого радионуклидами Sr-90 и Cs-137», авторы изобретения предлагают вносить под вспашку 5...6 тонн известковой муки и не менее 200 кг/га калийных удобрений. После подготовки почвы на участке высевают многолетние травы, которые осенью скашивают и закладывают в специальные хранилища [5].

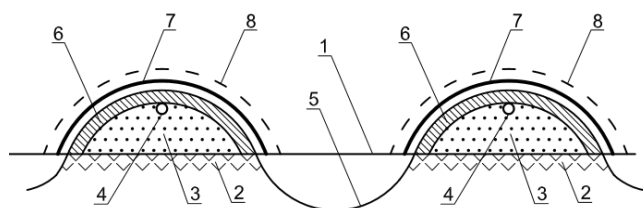
Другим направлением очистки сельскохозяйственных земель от цезия 137 является внесение в почву специальных сорбентов, способных его связать. Примером такой технологии является «Способ реабилитации почвы» [6]. Согласно этому способу в почву вносят сорбент, связывающий радионуклиды. Затем после фиксации радионуклидов на поверхности сорбента его отделяют от почвы путем просеивания. Отсеянный сорбент, насыщенный радионуклидами, удаляют с поля и помещают в специальные хранилища.

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» запатентовал «Способ рекультивации почв, загрязнённых цезием». В основу этого способа была положена технология глинования земель применяемая при мелиорации песчаных почв. Эта технология основывается на особенностях взаимодействия радионуклида цезия с почвенно-поглощающим комплексом [7].

Предлагаемый способ осуществляется в следующей последовательности: на загрязнённом участке производят скашивание и удаление скошенной растительности, после этого рыхлят почву дисковой боронкой на глубину 3–5 см. Разрыхлённый слой почвы заливают с помощью автоцистерн водно-глинистой суспензией, из расчёта 250...300 м<sup>3</sup>/га. Объем подаваемой суспензии обеспечивает заполнение некапиллярных пор разрыхлённого слоя без образования поверхностного стока. Концентрация суспензии 15...20% обеспечивает её достаточную текучесть для заполнения пор и внесения машиной. Конкретный объем внесения суспензии и содержание глины в ней зависит от степени загрязнения почвы радионуклидом. После высыхания почвы до состояния физической спелости производят её рыхление на глубину 5...7 см тяжелой дисковой боронкой, обеспечивая перемешивание насыщенного глиной и содержащего цезий 137 слоя почвы. Затем проводят вспашку плугом с предплужником. Предплужник устанавливают на глубину 8...10 см. При этом используется особенность вспашки плугом с предплужником, которая состоит в том, что предплужник срезает верхний слой почвы, пропитанный глиной, связавшей радионуклид цезия, и перемещает его на дно плужной борозды. Основные лемеха плуга осуществляют оборот пласта и перекрывают перемещённый верхний слой. Глубину вспашки назначают в зависимости от гранулометрического состава почвы. На тяжелых суглинистых почвах она составляет двойную величину мощности пахотного слоя (40–45 см), поскольку корневая система культур сосредоточена в объеме пахотного слоя, а подстилающие суглинистые грунты обеспечивают дополнительную фиксацию радионуклида. На легких песчаных почвах предполагается увеличение глубины вспашки до тройной величины пахотного слоя. Таким образом, радиоактивный изотоп, связанный поглощающим комплексом глины перемещается за пределы досягаемости основной массы поглощающих корней большинства сельскохозяйственных культур.

Второй способ извлечения изотопа цезия 137, разработанный во ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, основывается на переводе его в газообразное состояние и последующую конденсацию на поверхности сорбирующего материала [8]. Схема осуществления способа по извлечению цезия 137 из верхнего слоя почвы приведена на рисунке 1.

Предложенный способ осуществляют в следующей последовательности. Поверхность участка, заражённого цезием 137, рыхлят с помощью дисковых борон на глубину 5...7 см (2). Цезий 137 имеет слабую подвижность и полностью фиксируется верхним слоем почвы. На разрыхлённый слой (2) укладывают полосы биотоплива (3). Эти полосы имеют ширину 40...50 см, толщину 15...20 см. Межполосное расстояние (5) между ними составляет также 40...50 см. Такие габариты полос биотоплива (3) выбраны исходя из возможности его равномерного увлажнения капельным способом. Наиболее эффективным видом биотоплива является свежий навоз, однако технологически проще использовать древесные опилки лиственных пород. Такие опилки имеют более однородную структуру и при разложении создают достаточно высокую температуру разогрева. Посередине этих полос прокладывают трубопроводы с капельницами (4).



1 – поверхность почвы, 2 – загрязнённая почва, 3 – биотопливо, 4 – трубопровод с капельницей, 5 – межполосное расстояние, 6 – насыпной слой почвы, 7 – сорбирующий материал, 8 – экран из мембранной плёнки

Рисунок 1

Применение капельниц для увлажнения и заправки биотоплива удобрениями наиболее удобно благодаря равномерному распределению раствора и равномерному его прогреванию. Затем перемещают разрыхленную почву, содержащую радионуклиды, с межполосного пространства (5) на поверхность слоя (3), формируя насыпной слой почвы (6), содержащий радионуклид цезия. После чего на поверхность слоя (6) укладывают сорбирующий материал (7). В качестве такого материала можно использовать маты Syngry Sorb. Сорбирующий материал (7) перекрывают экраном (8) из мембранной плёнки, например «Изоспан». Использование мембранной плёнки связано с необходимостью обеспечения аэрации биотоплива и одновременно предотвращения выноса цезия 137 с парами влаги. После окончания формирования полос (3) в систему капельного орошения подают раствор, содержащий азот, фосфор и калий ( $N_{60}, P_{60}, K_{120}$ ), а также культуру аэробных микроорганизмов (например, препарат Байкал-ЭМ1). При этом воду подогревают до 30-40°C. Подача подогретого раствора, содержащего необходимые для микроорганизмов элементы минерального питания, обеспечивает разложение биотоплива с повышением его температуры более +50°C. Изотоп цезия 137 при температуре выше 37°C переходит в газообразное состояние, вместе с парами влага выделяется из почвы и вступает в контакт с сорбентом. В процессе этого контакта он фиксируется на поверхности сорбента. При этом часть цезия 137, не зафиксированная с сорбентом, вместе с парами влаги конденсируется на внутреннем слое мембранной плёнки и стекает на верхнюю поверхность слоя сорбента, где также фиксируется. Таким путём исключается опасность поступления цезия 137 в атмосферу. После прекращения испарения и фиксации цезия сорбирующим материалом, экран из мембранной плёнки снимают, сорбирующий материал убирают на захоронение, а перегоревшее биотопливо распределяют по поверхности поля и запахивают в почву.

**Обсуждение результатов.** Анализ рассмотренных материалов показывает, что загрязнение сельскохозяйственных земель сохраняется на значительных площадях. Основные мероприятия по снижению отрицательного действия радионуклида цезия включают:

- инвентаризацию угодий по плотности загрязнения радионуклидами и составление карт радиоактивного загрязнения земель, составление прогноза содержания радионуклидов в будущем урожае и продукции животноводства;
- подбор культур и сортов культурных растений, накапливающих радионуклиды в наименьшей степени;
- известкование, фосфоритование, калиевание и проведение культуртехнических работ.

Новые технические решения в области очистки полей от радионуклидов цезия 137, описанные в патентах, предполагают проведение исследований в следующих направлениях:

- внесение повышенных норм извести и калия перед посевом многолетних трав для связывания радионуклида в почве и транспортировку собранного урожая в специальные хранилища;
- связывание радионуклида глинованием верхнего слоя почвы с перемещением его глубже основной массы корней растений;
- извлечение радионуклида из почвы с помощью сорбента с последующим помещением этого сорбента в специальные хранилища;
- удаление радионуклида цезия 137 путем нагревания, перехода его в газообразное состояние с последующим осаждением на сорбенте.

Из рассмотренных мероприятий практическое применение получили подбор культур с наименьшей способностью к выносу радионуклида цезия и использование высоких норм извести и минеральных удобрений, в первую очередь калийных. Реализация способа, включающего посев многолетних трав, способных накапливать повышенное количество радионуклидов, с последующим их захоронением представляется сомнительным из-за необходимости захоронения больших объемов сена.

Способ связывания радионуклидов глинованием базируется на уже апробированной в мелиорации технологии, работа может проводиться однократно и обеспечивает значительное снижение содержания цезия 137 в пахотном слое, что позволяет снизить опасность поступления его в продукцию.

Наиболее эффективным способом очистки почвы представляется использование сорбентов. Однако этот способ нуждается в проведении экспериментальной проверки.

**Заключение.** Снижение поступления радиоактивного изотопа цезия в сельскохозяйственную продукцию обеспечивается известкованием почвы и внесением повышенных норм минеральных удобрений.

Способы удаления радионуклида за пределы корнеобитаемого слоя почв, рассмотренные в статье, носят теоретический характер и нуждаются в опытной проверке. Применение этих способов при положительных результатах испытаний в полевых условиях представляет интерес при ликвидации очагов вторичного загрязнения почвы, возникающих в процессе ветровой и водной эрозии загрязнённой почвы на полях с плотностью загрязнения цезием 137 - 5\*15 Ки/км<sup>2</sup>.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Панов, А. В. Современное состояние и прогноз загрязнения <sup>137</sup>Cs сельскохозяйственных угодий Брянской, Калужской, Орловской, Тульской областей, подвергшихся воздействию аварии на Чернобыльской АЭС / А. В. Панов, Н. И. Санжарова, О. А. Шубина, Е. В. Горлиенко, Н. Е. Титов // Радиация и риск. – 2017. – Т. 26. – № 3. – С. 66.
2. Загрязнение сельскохозяйственных земель Республики Беларусь цезием 137. Особенности ведения сельского хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения. – Часть 1 // stud files.net: интернет-площадка для размещения студентами своих работ. – URL: <https://stud.files.net/preview/3933985>.
3. Маркина, З. Н. Радиозоологическая обстановка на почвах сельскохозяйственной Брянской области и пути получения нормативно чистой продукции / З. Н. Маркина, П. В. Прудников, Л. А. Ковалева, А. И. Новиков // Агротехнический вестник. – 2006. – № 2. – С. 10–11.
4. Никитин, А. И. Особенности возделывания сельскохозяйственных культур на землях, загрязнённых радионуклидами «Электронный ресурс». – URL : [www.AgroXXI.ru.Stati](http://www.AgroXXI.ru.Stati). – Режим доступа: 22 июня 2011 г.
5. Способ очистки почвенного покрова, загрязнённого радионуклидами Sr90 и Cs 137 : патент. Российская Федерация №2278428, G21F 9/00 / А. Н. Кропачёв, И. И. Кропачёв, заявитель и правообладатель ГоУВПО Пермский государственный университет. – 2004136338, заявлено 15.12.2004; опубликовано 20.06.2006 // Бюлл. № 17.
6. Способ реабилитации почвы : патент. Российская Федерация №2088064, G21F 9/12 / Н. А. Овчинников, заявитель и правообладатель Н. А. Овчинников – 9595100517; заявлено 12.01.1995, опублик. 20.04.2002 // Бюлл. № 11.
7. Способ рекультивации почв загрязнённых радиоактивным цезием : патент. Российская Федерация № 2567869, МПК G21F 9/34 / А. Н. Николаенко, В. К. Губин, В. П. Максименко, заявитель и обладатель ГБНУ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова – № 201432999/07; заявлено 12.08.2014; опубл. 10.11.2015 // Бюлл. № 31.
8. Способ очистки почвы от радиоактивного изотопа цезия : патент. Российская Федерация №2615486, МПК В09С11/10 / В. К. Губин, А. Н. Николаенко, Л. В. Кудрявцева, В. П. Максименко, заявитель и обладатель – ГБНУ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова. – № 2016135177, заявлено 30.08.2016; опубл. 04.04.2017 // Бюлл. № 10.

Материал поступил в редакцию 08.04.2019

***SHEVCHENKO V. A., GUBIN V. K., KUDRYAVTZEVA L. V. Ways to reduce the content of radioactive cesium in the soil***

The article contains an analysis of measures to reduce the level of agricultural land, contamination with cesium 137 radionuclides. Organizational measures carried out in the Republic of Belarus and on contaminated lands on the territory of the Bryansk region are examined. The article describes the most tested technologies used to reduce radionuclide intake in agricultural products, the norms for lime and mineral fertilizers are reviewed. The sequence of grain crops is given, in descending order of cesium 137 transition factors. An analysis of new technical solutions aimed at moving cesium 137 beyond the root zone of the soil or its complete removal is given.

Репозиторий БрГТУ