

УДК 574:539.1.04

**СОДЕРЖАНИЕ ФОРМ  $^{137}\text{Cs}$  В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ  
СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ УВЛАЖНЕНИЯ  
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ**

**Н.Н. Цыбулько**, кандидат сельскохозяйственных наук  
Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС

**А.В.Ермоленко**, аспирант

**С.С. Лазаревич**, кандидат сельскохозяйственных наук  
Могилевский филиал РНИУП «Институт радиологии»

**Ключевые слова:** супесчаная почва, увлажнение, загрязнение радионуклидами, способы обработки почвы

**Введение**

В Республике Беларусь сельскохозяйственное производство ведется на 1010,3 тыс. га земель, загрязненных  $^{137}\text{Cs}$  с плотностью 37 кБк/м<sup>2</sup> и выше. Радиоцезий, являясь долгоживущим изотопом, в течение многих лет будет определять радиоактивное загрязнение сельскохозяйственной продукции и продуктов питания, поэтому распределение разных форм его в почве имеет большое значение.

В аварийных выпадениях цезий находился в прочносвязанной форме в составе твердых топливных частиц, в значительной части являясь также компонентом аэрозолей (конденсационных выпадений), характерных для удаленных от реактора районов. На территории Беларуси это преимущественно районы северной части Гомельской области и районы Могилевской области.

Растения поглощают из почвы подвижные формы радионуклидов в основном из почвенного раствора, поэтому интенсивность миграции их в системе почва–растение зависит от содержания нуклидов и других элементов в почвенном растворе. Распределение радионуклидов между твердой и жидкой фазами почвы определяется процессами сорбции–десорбции, осаждения – растворения труднорастворимых соединений, коагуляции–пептизации коллоидных частиц [1].

Отмечается [2], что биологическая доступность  $^{137}\text{Cs}$  в почвах 30-километровой зоны в 1988-1989 гг. составляла в среднем 59%, а за ее пределами – 74% по сравнению с доступностью внесенного водорастворимого радионуклида.

Поведение в почве  $^{137}\text{Cs}$  характеризуется тем, что в результате физико-химических процессов он активно связывается почвой. Происходит не только ионообменное связывание  $^{137}\text{Cs}$ , но и необменная сорбция (фиксация) твердой фазой почвы. В результате этого за после аварийный период формы  $^{137}\text{Cs}$  в почвах подверглись значительной трансформации – содержание доступных для растений водорастворимых и

обменных форм снизилось, а малодоступных фиксированных форм – увеличилось. Доля прочно фиксированного  $^{137}\text{Cs}$  в почвах колеблется от 75 до 95%. В дерново-подзолистых суглинистых почвах с высоким содержанием глинистых минералов доступные формы не превышают 5, в супесчаных и песчаных почвах – 10-20%. Аналогичные данные по торфяным почвам [3].

Подвижность радионуклида в почве определяется во многом генетическими свойствами самой почвы. Фиксация обусловлена взаимодействием ионов цезия с кристаллической решеткой глинистых минералов, поэтому важное значение имеют минералогический и гранулометрический состав почв, структура глинистых минералов, степень увлажнения почвы [4, 5].

Цель настоящей работы – изучить влияние степени гидроморфности, способов и приемов основной обработки почвы на содержание форм цезия-137 в дерново-подзолистых супесчаных почвах.

#### **Объекты и методы исследований**

Исследования проводили в 2007-2008 гг. в полевом опытном стационаре на территории землепользования СПК «Зарянский» Славгородского района Могилевской области. Объектами исследований являлись дерново-подзолистые супесчаные автоморфная и глееватая (полугидроморфная) почвы на водно-ледниковых рыхлых супесях.

Агрохимические показатели почв: *дерново-подзолистая супесчаная автоморфная почва* –  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  5,93; содержание гумуса – 2,1%;  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 218;  $\text{K}_2\text{O}$  – 173 мг/кг почвы; Т – 5,5 мг-экв/100 г почвы; V – 60%; плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  – 537 кБк/м<sup>2</sup>; *дерново-подзолистая супесчаная глееватая почва* –  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  6,3; содержание гумуса – 2,3%;  $\text{K}_2\text{O}$  – 210 мг/кг почвы; Т – 7,6 мг-экв/100 г почвы; V – 93%; плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  – 492 кБк/м<sup>2</sup>.

В звене зернотравяного севооборота при возделывании овса и зернобобовой смеси изучали следующие системы основной обработки почвы: I – отвальная вспашка на глубину 20-22 см (контроль); II – безотвальная чизельная обработка на глубину 20-22 см; III – поверхностная дисковая обработка на глубину 10-12 см; IV – минимальная обработка на глубину 10-12 см с применением посевного агрегата Rabe Mega Seed 6002 K2.

Агрохимические показатели почв определяли по следующим методикам: кислотность почвы ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ) – ГОСТ 26423-85; содержание подвижных форм фосфора и калия – ГОСТ 26207-91; содержание гумуса – ГОСТ 26213-91. Удельную активность  $^{137}\text{Cs}$  в почвенных образцах определяли на  $\gamma$ - $\beta$  спектрометре МКС-АТ1315. Формы  $^{137}\text{Cs}$  в почве определяли методом последовательного экстрагирования Ф.И. Павлоцкой [6, 7]. Отбор почвенных образцов для анализа отбирали в четырехкратной повторности.

Полученные данные обрабатывали статистическими методами дисперсионного и корреляционного анализов с использованием стандартного компьютерного программного обеспечения (*Excel 7.0, Statistic 7.0*).

### Результаты и их обсуждение

Доступными для растений, хотя и в разной степени, считаются [8] три формы нахождения радионуклидов в почве: водорастворимая (извлекаемая дистиллированной водой), обменная (извлекаемая 1N уксуснокислым аммонием) и подвижная (извлекаемая 1N раствором соляной кислоты). Неподвижная (фиксированная) форма радионуклида (извлекаемая 6N раствором соляной кислоты) считается недоступной для растений. Между формами радионуклидов в почве существует динамическое равновесие, в результате которого ионы, находящиеся в труднорастворимом состоянии под воздействием почвенно-климатических факторов и проведения агромелиоративных мероприятий могут переходить в подвижные формы, и наоборот [9-11].

В табл. 1 приведены данные соотношения форм  $^{137}\text{Cs}$ , извлекаемых из почвы разными вытяжками. В водную вытяжку переходило от 0,7 до 1,1% радионуклида от общего содержания. Как правило, в  $\text{H}_2\text{O}$  переходят растворимые комплексные соединения радиоцезия, находящиеся с компонентами почвы в нейтральной и (или) анионной форме, а также катионы нуклида, десорбирующиеся из почвы по механизму ионного обмена. В ацетатаммонийную вытяжку (1M  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ) поступало 4,9-5,1% соединений  $^{137}\text{Cs}$ . Это в основном соединения, сорбированные в почвенно-поглощающем комплексе по механизму ионного обмена – *обменная форма*. Слабым раствором соляной кислоты (1M  $\text{HCl}$ ) извлекалось 3,5-4,7% от общего содержания радиоцезия. Это соединения, находящиеся в почве в необменном состоянии, т.е. формы, которые не переходят в почвенный раствор в обычных условиях. Сюда могут включаться также соединения, входящие в состав топливных частиц и нерастворимых радионуклид-органических комплексов [12]. Все эти формы принято считать *подвижными*. Содержание *необменного* (фиксированного, неподвижного)  $^{137}\text{Cs}$  в почвах составляло 89,5-90,5%.

Статистическая обработка полученных данных на автоморфной и полугидроморфной почвах показала, что между почвами достоверные различия по содержанию форм  $^{137}\text{Cs}$  отмечаются только по водорастворимой и подвижной формам.

Дерново-подзолистая супесчаная автоморфная почва характеризовалась более высоким содержанием водорастворимой формы и меньшим – содержанием подвижной формы радиоцезия по сравнению с полугидроморфной (глееватой) почвой.

Таблица 1. Содержание форм  $^{137}\text{Cs}$  в почвах

| Почва                                      | Активность $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг почвы | Удельный вес форм $^{137}\text{Cs}$ , % от общего содержания в почве |          |           |               |
|--|--|--|----------|-----------|---------------|
|  |  | водорастворимая  | обменная | подвижная | фиксированная |
| Дерново-подзолистая супесчаная автоморфная | 1835,8                                     | 1,1  | 4,9      | 3,5       | 90,5          |
| Дерново-подзолистая супесчаная глееватая   | 1750,6                                     | 0,7  | 5,1      | 4,7       | 89,5          |
| НСР <sub>05</sub>                          |  | 0,3  | 0,8      | 0,6       | 3,4           |

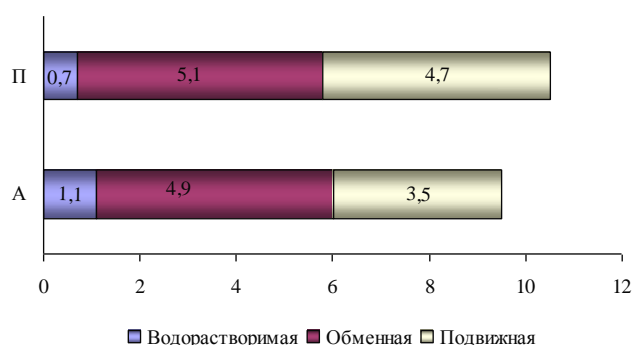


Рис. 1. Структура (в %) доступных растениям форм  $^{137}\text{Cs}$  в почвах: А – автоморфная почва; П – полугидроморфная (глееватая) почва

Водорастворимая, обменная и подвижная формы  $^{137}\text{Cs}$  считаются доступными для растений, хотя и в разной степени. В дерново-подзолистых супесчаных почвах с плотностью загрязнения радиоцезием 13,3-14,5 Ки/км<sup>2</sup> содержание доступных растениям форм (водорастворимая, обменная, подвижная) составляет в среднем 9-11%, недоступных

форм (необменная, фиксированная) – 89-91%.

Наибольший практический интерес представляют водорастворимая и обменная формы, поскольку они, прежде всего, поглощаются растениями и определяют загрязнение продукции. Как показывают данные, приведенные на рис. 1, в составе доступных растениям соединений наибольший удельный вес занимают обменные формы нуклида (4,9-5,1%), несколько меньше – подвижные (3,5-4,7%) и очень незначительную долю – водорастворимые формы (0,7-1,1%).

Следовательно, за длительный послеаварийный период физико-химические формы  $^{137}\text{Cs}$  подверглись значительной трансформации в почве, в первую очередь необменной фиксации. Степень гидроморфности одной и той же почвы не оказала существенного влияния на содержание доступных форм нуклида в верхнем ее слое.

Изучение влияния способов и приемов основной обработки почвы под возделываемые культуры показало следующее. На автоморфной почве наблюдалось достоверное увеличение содержания водорастворимых форм  $^{137}\text{Cs}$  в варианте с поверхностной дисковой обработкой по сравнению с традиционной отвальной вспашкой (контроль), а также снижение обменных и подвижных форм – в вариантах с безотвальной чизельной и минимальной обработками (табл. 2).

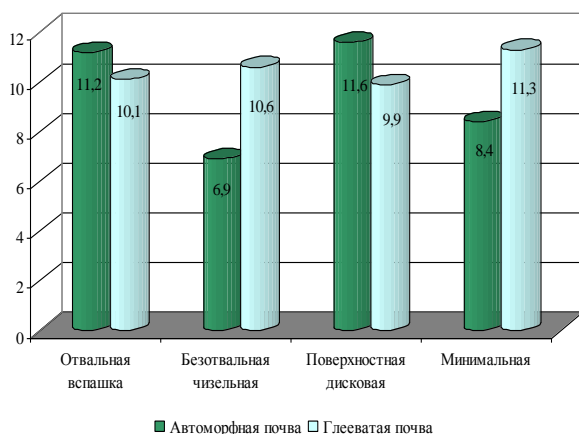
На глееватой почве отмечено существенно более высокое содержание обменного радиоцезия только при минимальной обработке по отношению к контролю. Различия между обработками почвы по другим формам  $^{137}\text{Cs}$  находились в пределах ошибки опыта.

На рис.2 приведены данные содержания доступных растениям (водорастворимая, обменная, подвижная) форм  $^{137}\text{Cs}$  в исследуемых почвах в зависимости от их основной обработки. В автоморфной почве содержание доступного радиоцезия колебалось от 6,9 до 11,6%, в полугидроморфной – 9,9-11,3%.

В автоморфной почве наблюдалось снижение доступных форм  $^{137}\text{Cs}$  и увеличение недоступных (фиксированных) в среднем на 3-4% на безотвальной чизельной и ми-

Таблица 2. Влияние обработки почвы на содержание в ней форм  $^{137}\text{Cs}$ , в среднем за 2007-2008 гг.

| Обработка почвы   | Удельный вес форм $^{137}\text{Cs}$ , % от общего содержания в почве |          |           |                              |
|---|--|----------|-----------|------------------------------|
|   | Доступные  |          |           | Недоступные<br>фиксированная |
|   | Водорастворимая  | обменная | подвижная |                              |
| Дерново-подзолистая супесчаная автоморфная почва                  |  |          |           |                              |
| Отвальная вспашка   | 1,0  | 5,8      | 4,4       | 88,8                         |
| Безотвальная чизельная  | 0,9  | 3,5      | 2,5       | 93,1                         |
| Поверхностная дисковая  | 1,6  | 6,0      | 4,0       | 88,4                         |
| Минимальная   | 1,1  | 4,1      | 3,2       | 91,6                         |
| НСР <sub>05</sub>   | 0,4  | 0,7      | 0,7       | 6,1                          |
| Дерново-подзолистая супесчаная полугидроморфная (глееватая) почва |  |          |           |                              |
| Отвальная вспашка   | 0,6  | 4,8      | 4,8       | 89,9                         |
| Безотвальная чизельная  | 0,6  | 5,0      | 5,0       | 89,4                         |
| Поверхностная дисковая  | 0,7  | 5,0      | 4,2       | 90,1                         |
| Минимальная   | 0,8  | 5,6      | 4,9       | 88,7                         |
| НСР <sub>05</sub>   | 0,4  | 0,6      | 0,9       | 4,7                          |

Рис. 2. Содержание (в %) доступных растениям форм  $^{137}\text{Cs}$  в автоморфной и полугидроморфной (глееватой) почвах

форм (водорастворимая, обменная, подвижная) составляет в среднем 9-11%, недоступных (необменная, фиксированная) – 89-91%.

2. Степень гидроморфности дерново-подзолистой супесчаной почвы с переходом от автоморфной к глееватой достоверно увеличивает содержание доступных форм нуклида в верхнем ее слое.

3. Применение безотвальной чизельной и минимальной обработки на дерново-подзолистой автоморфной почве способствует снижению доступных соединений  $^{137}\text{Cs}$  в почве на 3-4%. Максимальное количество доступных форм радиоцезия фиксируется по поверхностной дисковой обработке. На дерново-подзолистой полугидроморфной почве варианты обработки почвы не оказывают существенного влияния на содержание доступных форм  $^{137}\text{Cs}$  в пахотном горизонте.

нимальной обработках по отношению к вспашке. На глееватой почве существенных различий между обработками почвы не установлено.

#### Выводы

1. За длительный послеаварийный период физико-химические формы  $^{137}\text{Cs}$  подверглись значительной трансформации в почве, прежде всего, необменной фиксации. В дерново-подзолистых супесчаных почвах с плотностью загрязнения радиоцезием 13-15 Ки/км<sup>2</sup> содержание доступных растениям

### Литература

1. О поведении радиоактивных продуктов деления в почвах и их поступлении в растения и накоплении в урожае // Под ред. В.М. Клечковского. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – 177 с.
2. Бондарь, П.Ф. Оценка относительной биологической доступности цезия-137 в выпадениях и общей биологической доступности его в почвах на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению / П.Ф. Бондарь, Ю.А. Иванов, А.Г. Озорнов // Агрехимия. – 1992. – №2. – С. 102-110.
3. 20 лет после чернобыльской катастрофы: последствия в Республике Беларусь и их преодоление. Национальный доклад // Под ред. В.Е. Шевчука, В.Л. Гурачевского. – Минск: Комитет по проблемам преодоления последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете Министров Республики Беларусь, 2006. – 112 с.
4. Шмигельская, И.Д. Влияние степени гидроморфизма почв на поступление радионуклидов в многолетние травы / И.Д.Шмигельская, А.М. Котович // Почвенные исследования и применение удобрений: Сб. науч. тр. /Белорус. науч.-исслед. ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 1995. – Вып. 23. – С. 82–91.
5. Шмигельская И.Д. Загрязнение многолетних злаковых трав цезием-137 и стронцием-90 в зависимости от типов и свойств почв /И.Д.Шмигельская, И.А.Ефимова, Т.В.Арастович // Почвенные исследования и применение удобрений: Сб. науч. тр. / БелНИИПА. – Минск, 2002. – Вып. 26. – С. 270-269.
6. Павлоцкая, Ф. И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах /Ф.И. Павлоцкая. – М.: Атомиздат, 1974. – 215 с.
7. Поведение радионуклидов в природных и полуприродных экосистемах: заключительный отчет / Под ред. М. Белли, Ф. Тихомиров. – Люксембург: Комиссия Европейских сообществ, 1996. – 112 с.
8. Рерих, Л. А. Связь между формами нахождения радионуклидов в почвах и поступления его в сельскохозяйственные растения / Л.А. Рерих, И.Т. Моисеев // Агрехимия. – 1989. – №8. – С. 96-104.
9. Моисеев, И. Т.Влияние свойств почв и времени инкубации  $^{137}\text{Cs}$  на динамику его форм и доступность растениям / И.Т. Моисеев [и др.] // Агрехимия. – 1982. – №8. – С. 109-113.
10. Павлоцкая, Ф. И. Формы нахождения и миграции искусственных радионуклидов в природной среде / Ф.И. Павлоцкая // 1 Всесоюз. радиобиол. съезд: тез. докл., Пушино, 21-27 авг. 1989 г. / Акад. наук СССР. – Пушино, 1989. – Т. 2. – С. 493-494.
11. Кудельский, А.В. Радиоизотопы чернобыльских выпадений – оценка почвенной миграции и потенциальных угроз качеству подземных вод Беларуси / А.В. Кудельский [и др.] // Літасфера. – 2007. – № 1 – С. 149-151.
12. Бобовникова, Ц.П. Химические формы нахождения долгоживущих радионуклидов и их трансформация в почвах зоны аварии на ЧАЭС / Ц.П. Бобовникова [и др.] // Почвоведение. – 1990. – №10. – С. 20-25.

### Summary

*Tsybulko N.N., Ermolenko A.V., Lazarevich S.S.*

#### **THE DEPENDENCE OF THE CONTENT OF $^{137}\text{CS}$ -FORMS IN SOD-PODZOLIC SABULOUS SOIL OF DIFFERENT DEGREE OF HUMIDIFICATION ON THE BASIC SOIL TILLAGE**

The dependence of the content of  $^{137}\text{Cs}$ -forms in sod-podzolic sabulous soil of different degree of humidification on the basic soil tillage. In sod-podzolic sabulous soils with  $^{137}\text{Cs}$  pollution density which equals to 13-15  $\text{Cu}/\text{km}^2$  the content of the accessible for plants forms (water-soluble, exchangeable, mobile forms) makes in average 9-11%; of those inaccessible (not exchangeable, fixed) - 89-91%. It is established, that the degree of the hydromorphic feature in sod-podzolic sabulous soil influences the content of accessible forms  $^{137}\text{Cs}$  in its top layer. The chisel tillage and the minimum tillage make it possible to decrease the accessible  $^{137}\text{Cs}$  connections by 2-4%.

Поступила 26 октября 2010 г.