

## **Лабораторная работа № 4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ**

Одной из важнейших задач сельскохозяйственной радиологии является прогнозирование поступления радионуклидов в сельскохозяйственные культуры в конкретных условиях загрязнения почв. Это позволяет разрабатывать оптимальную структуру посевных площадей, планировать размещение культур в полях севооборота в зависимости от плотности радиоактивного загрязнения почв, проводить защитные мероприятия по снижению уровня загрязнения сельскохозяйственной продукции. По прогнозируемым показателям возможно также рациональное использование получаемой продукции (на производственные цели, фураж, промышленную переработку и др.).

В производственных условиях для прогноза используются усредненные значения коэффициентов перехода радионуклидов ( $K_n$ ) из почвы в урожай, дифференцированные в зависимости от типов и разновидностей почв, культуры, содержания подвижного калия в почве и ее кислотности, а также результаты агрохимического и радиологического обследования почв, представленные в виде агрохимических паспортов полей и совмещенных картограмм загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .

Справочные значения коэффициентов перехода приведены в приложениях Рекомендаций по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012–2016 гг. (Минск, 2012). Значения  $K_n$  получены путем обработки результатов многолетних полевых опытов, а также анализов растительных и почвенных образцов, взятых на производственных посевах по единой методике.

Установлено, что при выращивании сельскохозяйственных культур на почвах одного и того же типа, содержащих одинаковое количество обменного кальция и обменных оснований в почвенном поглощающем комплексе (ППК), в зависимости от погодных условий и агротехники накопление радионуклидов может варьировать в широких пределах – от 1,5 до 5 раз. Поэтому прогноз загрязнения различной сельскохозяйственной продукции носит весьма ориентировочный характер. Однако он позволяет заранее спланировать различные защитные мероприятия для обеспечения уменьшения перехода радионуклидов в продукцию и наметить пути использования

загрязненной продукции при обнаружении в ней содержания радионуклидов выше допустимых норм.

Из всех попавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС в биосферу радионуклидов наибольшую биологическую опасность представляют долгоживущие изотопы  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , имеющие периоды полураспада около тридцати лет и активно включающиеся в процессы биологической миграции. Это обусловлено тем, что для питания растений необходимы следующие основные макроэлементы: азот, фосфор, калий и кальций. Так как цезий и калий находятся в одной группе периодической таблицы (1-й), то цезий обладает похожими с калием химическими свойствами, что является причиной его поступления из почвы в растения. Аналогичная закономерность характерна для стронция и кальция, которые находятся во 2-й группе. Остальные радионуклиды имеют короткий период полураспада или практически не участвуют в процессах минерального обмена биологических объектов. Поэтому прогнозирование производится только по  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .

**Цель работы:** освоить методики прогнозирования радиационного загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  растениеводческой продукции.

### **З а д а н и е. Определение параметров накопления $^{137}\text{Cs}$ сельскохозяйственными культурами**

Для количественной характеристики выноса радионуклидов растениями из почвы (субстрата) используются коэффициенты накопления ( $K_n$ ) и коэффициенты перехода (пропорциональности) ( $K_p$ ).

Коэффициенты накопления ( $K_n$ ) представляют собой отношение удельной активности (содержания) радионуклида в единице растительной массы (продукции растениеводства) ( $A_{\text{уд. раст}}$ , Бк/кг или Ки/кг) к поверхностной активности (содержанию) радионуклида в почве ( $A_{\text{уд. почвы}}$ , Бк/кг или Ки/кг соответственно):

$$K_n = \frac{A_{\text{уд. раст}}}{A_{\text{уд. почвы}}}.$$

Коэффициенты накопления  $^{137}\text{Cs}$  сельскохозяйственными растениями изменяются от 0,01 до 1. Для  $^{90}\text{Sr}$  значения  $K_n$  в среднем в 5–10 раз выше.

Коэффициенты перехода (пропорциональности)  $K_p$  – это отношение

удельной активности (содержания) радионуклида в единице растительной массы ( $A_{\text{уд. раст.}}$ , Бк/кг, Ки/кг) к поверхностной активности почвы ( $A_s$ , кБк/м<sup>2</sup>, Ки/км<sup>2</sup>):

$$K_{\text{п}} = \frac{A_{\text{уд. раст.}}}{A_s}.$$

Иными словами,  $K_{\text{п}}$  – это уровень загрязнения 1 кг продукции (Бк/кг или нКи/кг) при плотности загрязнения почвы 1 кБк/м<sup>2</sup> (Ки/км<sup>2</sup>). В настоящее время для прогноза радиоактивного загрязнения продукции растениеводства используются, как правило, значения коэффициентов перехода.

**Материалы и оборудование:** гамма-радиометр РКГ-АТ1320 (РКГ-01), сопряженные пробы растениеводческой продукции и почвы, весы лабораторные.

### Выполнение работы

1. Подготовьте гамма-радиометр к работе.
2. Определите содержание <sup>137</sup>Cs в растительных пробах ( $A_{\text{уд. раст.}}$ ) и сопряженных пробах почвы ( $A_{\text{уд. почвы}}$ ). Результаты занесите в табл. 8.1.

Таблица 8.1. Результаты определения параметров накопления <sup>137</sup>Cs сельскохозяйственными культурами

Культура	Тип почвы	Содержание обменного калия в почве, мг/кг	$A_{\text{уд. раст.}}$ , Бк/кг (Ки/кг)	$A_{\text{уд. почвы}}$ , Бк/кг (Ки/кг)	$K_{\text{п}}$	$A_s$ , кБк/м <sup>2</sup> (Ки/км <sup>2</sup> )	$K_{\text{п}}$

3. Рассчитайте коэффициенты накопления <sup>137</sup>Cs.
4. Рассчитайте поверхностную активность почвы ( $A_s$ ). Для расчета необходимо знать плотность почвы ( $\rho$ ) и ее удельную активность ( $A_{\text{уд. почвы}}$ ).

**Пример расчета.** Объем 1 м<sup>2</sup> пахотного слоя почвы  $V = 20 \cdot 100 \cdot 100 = 2 \cdot 10^5$  см. При плотности почвы  $\rho = 1,3$  г/см<sup>3</sup> масса этой почвы  $M = \rho \cdot V = 1,3 \cdot 2 \cdot 10^5 = 2,6 \cdot 10^5$  г = 260 кг.

Тогда поверхностная активность почвы  $A_s = A_{\text{уд. почвы}} \cdot M$ .

5. Рассчитайте коэффициенты перехода <sup>137</sup>Cs.
6. Сравните полученные значения коэффициентов перехода <sup>137</sup>Cs со справочными (прил. 4 и 5).

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 4

**Средние значения коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  (нКи/кг:Ки/км<sup>2</sup> или Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>)  
в продукцию растениеводства в зависимости от обеспеченности  
дерново-подзолистых почв обменным калием Республики Беларусь**

Культуры	Содержание обменного калия, мг/кг почвы				
	<80	81–140	141–200	201–300	>300
<b>Для дерново-подзолистых супесчаных почв</b>					
<b>Зерно (влажность 14 %)</b>					
Овес	0,22	0,082	0,055	0,041	0,032
Озимая рожь	0,036	0,028	0,019	0,017	0,010
Озимое тритикале	0,050	0,030	0,020	0,020	0,010
Озимая пшеница	–	–	0,028	0,018	0,010
Яровая пшеница	–	–	0,036	0,020	0,017
Ячмень	0,063	0,053	0,043	0,029	0,027
Люпин	0,55	0,50	0,40	0,36	0,33
Горох	0,51	0,45	0,35	0,28	0,18
Вика	0,27	0,23	0,19	0,15	0,13
Рапс яровой	–	0,25	0,19	0,14	0,12
Просо	–	–	0,10	0,067	0,047
Кукуруза	–	–	0,057	0,041	0,026
<b>Солома (влажность 20 %)</b>					
Овес	0,40	0,12	0,058	0,045	0,028
Озимая рожь	0,093	0,062	0,040	0,037	0,022
Озимое тритикале	0,15	0,10	0,080	0,050	0,030
Озимая пшеница	–	–	0,091	0,060	0,033
Яровая пшеница	–	–	0,072	0,22	0,023
Ячмень	0,12	0,088	0,054	0,049	0,046
<b>Сено (влажность 16 %)</b>					
Клевер	0,93	0,65	0,47	0,39	0,34
Многолетние злаковые травы	2,0	1,4	0,68	0,55	0,46
Многолетние злаково-бобовые смеси	1,1	0,81	0,56	0,44	0,38
Естественные сенокосы	2,7	1,9	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	3,0	2,1	1,6	1,4	1,3
Клевер	0,50	0,35	0,25	0,21	0,18
Многолетние злаковые травы	1,1	0,77	0,37	0,30	0,25
Многолетние злаково-бобовые смеси	0,60	0,44	0,30	0,24	0,21
Естественные сенокосы	1,43	1,0	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	1,58	1,13	0,87	0,75	0,71
<b>Силос (влажность 75 %)</b>					
Клевер	0,28	0,19	0,14	0,12	0,10

Многолетние злаковые травы	0,59	0,43	0,20	0,16	0,14
Многолетние злаково-бобовые смеси	0,33	0,24	0,17	0,13	0,11
Горохо-овсяная смесь	0,22	0,17	0,13	0,069	0,069
Вико-овсяная смесь	0,13	0,082	0,063	0,050	0,038
Естественные сенокосы	0,79	0,57	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	0,88	0,63	0,49	0,42	0,39
Кукуруза	–	–	0,080	0,061	0,043
<b>Зеленая масса (влажность 82 %)</b>					
Клевер	0,20	0,14	0,10	0,083	0,073
Многолетние злаковые травы	0,43	0,31	0,15	0,12	0,099
Многолетние злаково-бобовые смеси	0,24	0,17	0,12	0,094	0,082
Горохо-овсяная смесь	0,16	0,12	0,090	0,050	0,050
Вико-овсяная смесь	0,090	0,059	0,045	0,036	0,028
Естественные сенокосы	0,57	0,41	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	0,63	0,45	0,35	0,30	0,28
Кукуруза	–	–	0,057	0,044	0,031
Люпин	–	–	0,20	0,16	0,13
Рапс яровой	–	0,22	0,15	0,082	0,058
Горох	–	0,11	0,098	0,062	0,043
Рапс озимый	–	–	0,034	0,022	0,012
Галега восточная	–	0,050	0,040	0,030	0,025
Пайза	–	–	0,060	0,050	0,050
Сорго	0,080	0,060	0,050	0,040	0,040
Люцерна	0,13	0,10	0,080	0,060	0,060
Лядвенец рогатый	–	0,16	0,12	0,080	0,060
<b>Картофель, овощи (влажность 78–87 %)</b>					
Картофель	–	0,056	0,038	0,027	0,018
Свекла	–	–	0,040	0,025	0,016
Морковь	–	–	0,030	0,022	0,010
Капуста	–	–	0,033	0,025	0,012
Лук репчатый (луковица)	–	–	0,042	0,036	0,025
<b>Для дерново-подзолистых песчаных почв</b>					
<b>Зерно (влажность 14 %)</b>					
Овес	0,33	0,10	0,080	0,070	0,050
Озимая рожь	0,050	0,040	0,030	0,030	0,010
Озимое тритикале	–	0,040	0,030	0,030	0,020
Ячмень	0,090	0,080	0,070	0,040	0,040
Люпин	0,79	0,74	0,59	0,52	0,48
Горох	0,72	0,66	0,53	0,40	0,21
Вика	0,39	0,34	0,29	0,21	0,18
Рапс яровой	–	0,33	0,27	0,20	0,17
Просо	–	–	0,15	0,091	0,055
Кукуруза	–	–	0,09	0,064	0,033

<b>Солома (влажность 20 %)</b>					
Овес	0,68	0,16	0,080	0,070	0,040
Озимая рожь	0,12	0,080	0,050	0,050	0,030
Озимое тритикале	–	0,120	0,090	0,060	0,030
Ячмень	0,16	0,12	0,070	0,070	0,070
<b>Сено (влажность 16 %)</b>					
Многолетние злаковые травы	3,0	2,6	0,97	0,94	0,84
Многолетние злаково-бобовые смеси	1,5	1,2	0,81	0,60	0,56
Естественные сенокосы	4,0	2,6	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	4,9	4,4	2,9	2,1	1,9
<b>Сенаж (влажность 55 %)</b>					
Многолетние злаковые травы	1,6	1,4	0,52	0,50	0,45
Многолетние злаково-бобовые смеси	0,82	0,62	0,43	0,33	0,30
Естественные сенокосы	2,1	1,4	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	2,6	2,4	1,5	<b>1,1</b>	1,0
<b>Силос (влажность 75 %)</b>					
Многолетние злаковые травы	0,90	0,76	0,29	0,28	0,25
Многолетние злаково-бобовые смеси	0,46	0,34	0,25	0,18	0,17
Горохо-овсяная смесь	0,22	0,14	0,12	0,090	0,090
Вико-овсяная смесь	0,18	0,10	0,090	0,80	0,070
Естественные сенокосы	1,1	0,78	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	1,5	1,3	0,85	0,63	0,57
<b>Зеленая масса (влажность 82 %)</b>					
Многолетние злаковые травы	0,65	0,55	0,21	0,20	0,18
Многолетние злаково-бобовые смеси	0,33	0,25	0,17	0,13	0,12
Горохо-овсяная смесь	0,16	0,10	0,080	0,070	0,070
Вико-овсяная смесь	0,13	0,080	0,070	0,050	0,040
Естественные сенокосы	0,83	0,56	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	<b>0,63</b>	0,95	0,62	0,45	0,41
Кукуруза	–	0,070	0,070	0,050	0,040
Люпин	–	0,29	0,25	–	–
Рапс яровой	0,29	0,26	0,22	0,16	0,13
Горох	–	0,17	0,16	0,12	0,12
<b>Картофель, овощи (влажность 78–87 %)</b>					
Картофель	–	0,080	0,057	0,040	0,022
Свекла	–	–	0,060	0,038	0,024
Морковь	–	–	0,045	0,030	0,016
Капуста	–	–	0,070	0,042	0,017
Лук репчатый (луковица)	–	–	0,062	0,050	0,035

<b>Для дерново-подзолистых суглинистых почв</b>					
<b>Зерно (влажность 14 %)</b>					
Овес	0,18	0,060	0,040	0,040	0,030
Озимая рожь	0,030	0,020	0,010	0,010	0,010
Озимое тритикале	–	0,020	0,020	0,010	0,010
Озимая пшеница	–	–	0,020	0,010	0,010
Яровая пшеница	–	–	0,030	0,010	0,010
Ячмень	0,050	0,040	0,040	0,020	0,02
Люпин	0,43	0,40	0,32	0,28	0,26
Горох	0,39	0,36	0,29	0,22	0,11
Вика	0,21	0,18	0,15	0,11	0,10
Рапс яровой	–	0,18	0,15	0,11	0,090
Просо	–	–	0,08	0,05	0,040
Кукуруза	–	–	0,08	0,04	0,030
<b>Солома (влажность 20 %)</b>					
Овес	0,36	0,080	0,040	0,040	0,020
Озимая рожь	0,060	0,040	0,030	0,030	0,010
Озимое тритикале	–	0,080	0,060	0,040	0,020
Озимая пшеница	–	–	0,060	0,040	0,020
Яровая пшеница	–	–	0,050	0,040	0,010
Ячмень	0,080	0,060	0,040	0,040	0,040
<b>Сено (влажность 16 %)</b>					
Клевер	0,62	0,49	0,36	0,29	0,26
Многолетние злаковые травы	1,4	1,1	0,47	0,40	0,35
Многолетние злаково-бобовые смеси	0,83	0,62	0,44	0,32	0,30
Естественные сенокосы	2,1	1,7	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	2,7	2,0	1,4	1,1	0,98
<b>Сенаж (влажность 55 %)</b>					
Клевер	0,34	0,27	0,19	0,15	0,14
Многолетние злаковые травы	0,76	0,60	0,25	0,22	0,19
Многолетние злаково-бобовые смеси	0,44	0,34	0,23	0,18	0,16
Естественные сенокосы	1,1	0,89	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	1,5	1,1	0,76	0,61	0,53
<b>Силос (влажность 75 %)</b>					
Клевер	0,18	0,15	0,11	0,080	0,080
Многолетние злаковые травы	0,42	0,33	0,14	0,12	0,11
Многолетние злаково-бобовые смеси	0,25	0,18	0,13	0,1	0,09
Горохо-овсяная смесь	0,12	0,080	0,060	0,050	0,050
Вико-овсяная смесь	0,10	0,060	0,050	0,040	0,040
Естественные сенокосы	0,62	0,5	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	0,80	0,60	0,42	0,34	0,29

Кукуруза	–	–	0,060	0,040	0,030
<b>Зеленая масса (влажность 82 %)</b>					
Клевер	0,13	0,11	0,080	0,060	0,060
Многолетние злаковые травы	0,31	0,24	0,10	0,080	0,080
Многолетние злаково-бобовые смеси	0,18	0,13	0,090	0,070	0,060
Горохо-овсяная смесь	0,080	0,060	0,040	0,040	0,040
Вико-овсяная смесь	0,070	0,040	0,040	0,030	0,020
Естественные сенокосы	0,45	0,36	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	0,58	0,43	0,30	0,24	0,21
Кукуруза	–	–	0,04	0,030	0,020
Люпин	–	0,15	0,13	0,11	0,10
Рапс яровой	–	0,14	0,12	0,080	0,070
Горох	–	0,090	0,080	0,060	0,060
<b>Картофель, овощи (влажность 78–87 %)</b>					
Картофель	–	0,048	0,033	0,024	0,015
Свекла	–	0,055	0,037	0,022	0,014
Морковь	–	0,050	0,028	0,019	0,08
Капуста	–	0,042	0,030	0,021	0,010
Лук репчатый (луковица)	–	0,051	0,036	0,032	0,023

Приложение 5

**Средние значения коэффициентов перехода <sup>137</sup>Cs (К<sub>n</sub>, Бк/кг:Кбк/м<sup>2</sup>)  
для торфяных почв Республики Беларусь**

Тип травостоя	Содержание подвижного калия, мг/кг почвы			
	<200	201–400	401–600	601–1000
<b>Мощность торфяного слоя менее 1 м</b>				
<b>Зерно (влажность 16 %)</b>				
Овес	0,9	0,7	0,6	0,5
Ячмень	0,7	0,6	0,5	0,3
Пшеница яровая	0,7	0,5	0,4	0,3
Рожь озимая	0,4	0,2	0,1	0,04
Тритикале озимое	0,7	0,5	0,4	0,3
Тритикале яровое	0,5	0,3	0,2	0,1
<b>Сено (влажность 16%)</b>				
Естественный злаково-разнотравный	10,2	7,3	4,8	2,5
Сеяный многолетний злаковый	7,6	3,9	2,6	1,8
Сеяный многолетний бобово-злаковый	2,7	1,9	1,3	–
<b>Сенаж (влажность 55 %)</b>				
Естественный злаково-разнотравный	5,5	3,9	2,6	1,3
Сеяный многолетний злаковый	4,1	2,1	1,4	1,0

Тип травостоя	Содержание подвижного калия, мг/кг почвы			
	<200	201–400	401–600	601–1000
Сеяный многолетний бобово-злаковый	1,4	1,0	0,7	–
<b>Силос (влажность 75 %)</b>				
Естественный злаково-разнотравный	3,0	2,2	1,4	0,7
Сеяный многолетний злаковый	2,3	1,7	0,8	0,5
Сеяный многолетний бобово-злаковый	0,8	0,7	0,4	–
<b>Зеленая масса (влажность 82 %)</b>				
Естественный злаково-разнотравный	2,2	1,6	1,0	0,5
Сеяный многолетний злаковый	1,6	0,8	0,6	0,4
Сеяный многолетний бобово-злаковый	0,6	0,4	0,3	–
<b>Мощность торфяного слоя более 1 м</b>				
<b>Сено (влажность 16 %)</b>				
Естественный злаково-разнотравный	22	19	12	7
Сеяный многолетний злаковый	4,8	1,8	0,6	0,4
<b>Сенаж (влажность 55 %)</b>				
Естественный злаково-разнотравный	12	9,9	6,3	3,7
Сеяный многолетний злаковый	2,6	0,94	0,3	0,2
<b>Силос (влажность 75 %)</b>				
Естественный злаково-разнотравный	6,4	5,5	3,5	2,1
Сеяный многолетний злаковый	1,4	0,5	0,2	0,1
<b>Зеленая масса (влажность 82 %)</b>				
Естественный злаково-разнотравный	4,6	4,0	2,5	1,5
Сеяный многолетний злаковый	1,0	0,4	0,13	0,08