

Лабораторная работа. 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 типа и разновидности 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 цезием-137 и стронцием-90.

Справочные значения коэффициентов перехода приведены в приложениях Рекомендаций по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь (Минск, 2003). 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 цезий-137 и стронций-90, 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 цезию-137 и стронцию-90.

Цель работы: освоить методики прогнозирования радиационного загрязнения цезием-137 и стронцием-90 растениеводческой продукции.

Задание 7.1. Определение параметров накопления цезия-137 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)

$A_{уд.раст.}$ (Бк/кг или Ки/кг) к поверхностной активности (содержанию) радионуклида в почве $A_{уд.почвы}$ (Бк/кг или Ки/кг соответственно):

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

Коэффициенты накопления цезия-137 сельскохозяйственными растениями изменяются от 0,01 до 1. Для стронция-90 значения K_n в среднем в 5 – 10 раз выше.

Коэффициенты перехода (пропорциональности) K_n – это отношение удельной активности (содержания) радионуклида в единице растительной массы $A_{уд.раст.}$ (Бк/кг, Ки/кг) к поверхностной активности почвы A_s (кБк/м², Ки/км²):

$$K_n = \frac{A_{уд.раст.}}{A_s}$$

Иными словами, K_n – это уровень загрязнения 1 кг продукции (Бк/кг или нКи/кг) при плотности загрязнения почвы 1 кБк/м² (Ки/км²). 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 цезия-137 в растительных пробах ($A_{уд.раст.}$) и сопряженных пробах почвы ($A_{уд.почвы}$). Результаты занесите в табл. 7.1.

Таблица 7.1. Результаты определения параметров накопления цезия-137 сельскохозяйственными культурами

Культура	Тип почвы	Содержание обменного калия в почве, мг/кг	$A_{уд.раст.}$, Бк/кг, (Ки/кг)	$A_{уд.почвы}$, Бк/кг, (Ки/кг)	K_n	A_s , кБк/м ² (Ки/км ²)	K_n

3. Рассчитайте коэффициенты накопления цезия-137.
4. Рассчитайте поверхностную активность почвы (A_s). Для расчета необходимо знать плотность почвы (ρ) и ее удельную активность ($A_{уд.почвы}$).

Пример расчета.

Объем 1 м² пахотного слоя почвы $V = 20 \times 100 \times 100 = 2 \times 10^5$ см. При плотности почвы $\rho = 1,3$ г/см³ масса этой почвы $M = \rho \times V = 1,3 \times 2 \times 10^5 = 2,6 \times 10^5$ г = 260 кг.

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

5. Рассчитайте коэффициенты перехода цезия-137.
6. Сравните полученные значения коэффициентов перехода цезия-137 со справочными (приложения 4 и 5).

Задание 7.2. Прогноз поступления радионуклидов в сельскохозяйственные культуры

Для прогнозирования уровня загрязнения цезием-137 и стронцием-90 основной и побочной продукции растениеводства необходимо использовать справочные значения коэффициентов перехода цезия-137 и стронция-90 в продукцию растениеводства (приложения 4–7). Значения

Кп характеризуют среднее содержание цезия-137 и стронция-90 (в Бк/кг или нКи/кг) в урожае сельскохозяйственных культур при плотности загрязнения почвы 1 кБк/м² или 1 Ки/км² соответственно. При более высокой плотности загрязнения почвы этот показатель умножается на величину плотности загрязнения почвы (кБк/м² или Ки/км²): $A_{уд.расч.} = Kп \cdot A_s$. Полученный результат будет соответствовать уровню загрязнения урожая, выращенного на данном поле без проведения дополнительных мероприятий по снижению перехода радионуклидов из почвы в растения.

Прогнозирование основывается на результатах последнего тура агрохимического и радиологического обследования почв, которые в хозяйствах представлены в виде агрохимического паспорта полей и картограмм плотности загрязнения полей цезием-137 и стронцием-90.

Кроме плотности загрязнения учитываются тип и разновидность почвы, гранулометрический состав, степень кислотности, обеспеченность обменным калием и культура, для которой составляется прогноз.

Материалы и оборудование: справочные значения коэффициентов перехода, Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде, калькулятор.

Выполнение работы

1. Определите степень загрязнения радионуклидами сельскохозяйственной продукции в соответствии с данными полученного варианта (табл. 7.2) и используя справочный материал (приложения 4–7).

Таблица 7.2. Исходные данные

Номер варианта	Тип почвы	Культура	Продукция	Содержание обменного калия, мг/кг почвы	рН КС1	Плотность загрязнения почвы, кБк/м ²	
						¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Дерново-подзолистая супесчаная	Клевер	Сено	160	5,8	550,0	74,0
2	Торфяно-болотная	Травы естественных сенокосов	Сено	320	4,9	277,5	29,6
3	Дерново-подзолистая супесчаная	Многолетние злаковые травы	Сено	162	5,8	451,4	18,5
4	Дерново-подзолистая суглинистая	Картофель	Клубни	258	6,2	555,0	73,0
5	Дерново-подзолистая супесчаная	Картофель	Клубни	278	6,2	370,0	70,5
6	Торфяно-болотная	Травы естественных сенокосов	Сенаж	258	6,2	185,0	74,8
7	Дерново-подзолистая песчаная	Озимая рожь	Зерно	310	5,9	580,9	37,0
8	Дерново-подзолистая песчаная	Ячмень	Зерно	110	5,9	580,5	37,0
9	Дерново-подзолистая песчаная	Ячмень	Солома	110	5,9	580,9	37,0
10	Торфяно-болотная	Травы естественных сенокосов	Силос	209	4,5	111,0	11,1
11	Торфяно-болотная	Многолетние злаковые травы	Сено	290	4,9	277,5	29,6
12	Дерново-подзолистая супесчаная	Многолетние злаковые травы	Сено	212	5,8	555,0	11,1

Продолжение табл. 7.2

1	2	3	4	5	6	7	8
13	Торфяно-болотная	Многолетние злаковые травы	Зеленая масса	155	4,4	370,0	74,0
14	Дерново-подзолистая песчаная	Кукуруза	Силос	375	5,4	566,1	70,0
15	Дерново-подзолистая суглинистая	Ячмень	Зерно (фураж)	210	5,0	580,9	35,0
16	Дерново-подзолистая супесчаная	Овес	Зерно (фураж)	225	6,2	388,5	64,0
17	Торфяно-болотная	Травы естественных сенокосов	Зеленая масса	210	4,5	140,6	48,1
18	Дерново-подзолистая песчаная	Кормовая свекла	Корнеплоды	375	5,4	196,1	74,9
19	Дерново-подзолистая суглинистая	Горох	Зеленая масса	216	5,8	451,4	18,5
20	Дерново-подзолистая суглинистая	Озимая пшеница	Зерно	320	4,5	111,0	11,1
21	Дерново-подзолистая супесчаная	Кормовая свекла	Корнеплоды	341	5,8	551,0	11,9
22	Дерново-подзолистая песчаная	Озимая рожь	Зерно	175	5,4	196,1	71,9
23	Дерново-подзолистая песчаная	Ячмень	Зерно	175	5,4	196,1	74,0
24	Дерново-подзолистая супесчаная	Горох	Зеленая масса	168	5,8	451,4	18,5
25	Дерново-подзолистая суглинистая	Овес	Зерно	175	5,4	196,1	72,5
26	Дерново-подзолистая суглинистая	Яровая пшеница	Зерно	217	6,0	577,2	29,6
27	Дерново-подзолистая супесчаная	Рапс яровой	Зерно	250	5,5	743,7	44,4
28	Дерново-подзолистая суглинистая	Вика	Зерно	324	5,1	540,2	14,8
29	Дерново-подзолистая супесчаная	Просо	Зерно	260	6,3	373,7	29,6
30	Дерново-подзолистая суглинистая	Кукуруза	Зеленая масса	345	5,9	499,5	51,8
31	Дерново-подзолистая супесчаная	Горохо-овсяная смесь	Силос	215	5,8	458,8	7,4
32	Дерново-подзолистая суглинистая	Клевер	Сенаж	185	5,4	203,5	11,1

1	2	3	4	5	6	7	8
33	Дерново-подзолистая суглинистая	Кукуруза	Силос	280	6,1	932,4	40,7
34	Дерново-подзолистая суглинистая	Вико-овсяная смесь	Силос	210	5,9	384,8	7,4
35	Дерново-подзолистая суглинистая	Кукуруза	Зеленая масса	310	6,2	688,2	33,3
36	Дерново-подзолистая песчаная	Рапс яровой	Зеленая масса	190	4,6	488,4	18,5
37	Дерново-подзолистая суглинистая	Картофель	Клубни	315	6,1	351,5	11,5
38	Дерново-подзолистая песчаная	Озимая рожь	Зерно	255	6,0	562,4	29,6
39	Торфяно-болотная	Многолетние злаковые травы	Силос	150	4,0	632,7	40,7
40	Торфяно-болотная	Многолетние злаковые травы	Сенаж	220	4,2	414,4	14,8

2. Пользуясь нормативными документами (приложения 2 и 3), сделайте вывод, для каких целей может использоваться данная продукция.

Задание 7.3. Расчет ограничений плотности загрязнения почв цезием-137 и стронцием-90 при возделывании сельскохозяйственных культур

Предельно допустимая плотность загрязнения почв, при которой полученный урожай будет соответствовать Республиканским допустимым уровням, определяется путем деления нормативной предельно допустимой величины загрязнения продукции на коэффициент перехода при соответствующем уровне плодородия почв. Например, необходимо определить предельно допустимую плотность загрязнения дерново-подзолистых супесчаных почв цезием-137, при которой содержание радионуклида в сене многолетних злаковых трав не будет превышать уровни, допустимые при производстве цельного молока. Обеспеченность почв подвижным калием составляет 120 мг/кг почвы. Значение коэффициента перехода Cs-137 в сено многолетних злаковых трав при данном содержании калия в почве равно 1,59 (приложение 4). Допустимое содержание Cs-137 в сене для производства цельного молока составляет 1300 Бк/кг (приложение 3). Предельно допустимая плотность загрязнения почв, исходя из расчета (1300:1,59), составит 817,6 кБк/м², или 22 Ки/км².

Расчеты ограничения плотности загрязнения почв цезием-137 и стронцием-90 для возделывания картофеля с допустимым содержанием радионуклидов приведены в табл. 7.3 и 7.4.

Таблица 7.3. Ограничения плотности загрязнения дерново-подзолистых почв Cs-137 для получения картофеля в пределах норм РДУ-99 в зависимости от обеспеченности почв обменным калием, Ки/км²

Разновидность	Содержание подвижных форм К ₂ О в почве, мг/кг				
	Менее 80	80–140	141–200	201–300	Более 300
Суглинистые	31	40	40	40	40
Супесчаные	–	36	40	40	40
Песчаные	17	27	40	40	40

Как видно из табл. 7.3, содержание цезия-137 в клубнях картофеля не будет превышать допустимых уровней на всех используемых в сельскохозяйственном обороте дерново-подзолистых почвах при содержании подвижного калия более 140 мг/кг почвы. Ограничения плотности загрязнения почв цезием-137 имеются для суглинистых почв с его содержанием менее 80 мг/кг почвы, для песчаных и супесчаных почв с содержанием менее 140 мг/кг почвы.

При содержании подвижного калия менее 140 мг/кг на почвах любого

гранулометрического состава выращивание картофеля без дополнительных доз минеральных удобрений является нецелесообразным, так как содержание цезия-137 в клубнях может превышать установленные пределы.

Ограничения при возделывании картофеля могут быть обусловлены и уровнем загрязнения почв стронцием-90.

Результаты расчетов (табл. 7.4) свидетельствуют о том, что при уровне кислотности почв 6,1–7,0 продовольственный картофель с допустимым содержанием Sr-90 можно получать на суглинистых и супесчаных почвах при плотности загрязнения этим радионуклидом менее 0,8 Ки/км² (30 кБк/м²), песчаных – 0,4 Ки/км² (15 кБк/м²).

Таблица 7.4. Ограничения плотности загрязнения дерново-подзолистых почв Sr-90 для получения картофеля в пределах норм РДУ-99 в зависимости от уровня кислотности почв, Ки/км²

Разновидность	Уровень кислотности почвы, рН _{KCl}					
	Менее 4,5	4,6–5,0	5,1–5,5	5,6–6,0	6,1–7,0	Более 7,0
Суглинистые	0,28	0,37	0,48	0,67	0,77	0,83
Супесчаные	0,25	0,33	0,40	0,56	0,77	0,77
Песчаные	0,13	0,31	0,21	0,29	0,38	0,38

При более низких значениях рН ужесточаются ограничения по плотности загрязнения их стронцием-90.

Материалы и оборудование: справочные значения коэффициентов перехода, Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде, калькулятор.

Выполнение работы

1. Рассчитайте ограничения по плотности загрязнения почв цезием-137 и стронцием-90 (в кБк/м² и Ки/км²) при возделывании следующих сельскохозяйственных культур: овес (зерно), горох (зерно), кукуруза (зеленая масса), многолетние злаковые травы, рапс яровой (зерно и зеленая масса), зеленая масса на естественных сенокосах. Результаты представьте в виде таблиц (табл. 7.3 и 7.4).

2. Сделайте выводы об ограничениях плотности загрязнения почв радионуклидами цезия-137 и стронция-90 при возделывании различных сельскохозяйственных культур.

Контрольные вопросы

1. Какие показатели используются для количественной характеристики накопления радионуклидов растениями из почвы?

2. Дайте определение коэффициента накопления.

3. Дайте определение коэффициента перехода.

4. Для каких целей осуществляется прогнозирование содержания радионуклидов в продукции растениеводства?

5. Какой количественный показатель чаще всего используется при прогнозировании содержания радионуклидов в продукции растениеводства?

6. Где приведены справочные значения коэффициентов перехода цезия-137 и стронция-90 в растениеводческую продукцию?

7. В зависимости от каких почвенных характеристик ранжированы коэффициенты перехода цезия-137 и стронция-90?

8. Почему в сельскохозяйственной продукции прогнозируется только содержание цезия-137 и стронция-90?

9. По какой формуле рассчитывается прогнозируемое содержание цезия-137 и стронция-90 в продукции растениеводства?

10. Как определяется предельно допустимая плотность загрязнения почв цезием-137 и

стронцием-90, при которой сельскохозяйственная продукция будет соответствовать требованиям РДУ-99?

11. От чего зависит величина предельно допустимой плотности загрязнения почвы цезием-137 и стронцием-90?