

Лабораторная работа. ЕСТЕСТВЕННАЯ И ТЕХНОГЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ ПОЧВЫ

Почва – сложная полидисперсная система, в составе которой выделяются следующие компоненты: обломки минералов горных пород; глинистые минералы; грубый гумус; тонкий гумус; пленки-гели, покрывающие почвенные частицы и состоящие из гидроксидов железа, марганца и алюминия; кремниевые кислоты; органические вещества; различные соли; почвенные растворы; почвенные газы; почвенная фауна и микроорганизмы; живые корни растений. Естественные и искусственные (техногенные) радионуклиды содержатся во всех компонентах почвы в разном количестве и в разном соотношении.

Задание 6.1. Определение суммарной бета-активности почвы

Естественная радиоактивность почв – это результат длительных процессов перераспределения радионуклидов между материнской породой и почвой, растительностью и почвой. Естественная радиоактивность почвы обусловлена наличием в ней естественных радионуклидов калия-40, тория-232, урана-238, радия-226 и др. Основной вклад в радиоактивность вносит К-40 (в среднем 66% при максимуме 80%), содержание которого составляет 3% от всех радионуклидов. Вклад тория-232 составляет в среднем 5% при содержании 18,3%, а урана-238 – 2% при содержании 2,5%. В почвах Европы средняя массовая концентрация урана-238 составляет $1,5 \cdot 10^{-4}\%$, тория-232 – $6,5 \cdot 10^{-4}\%$ и калия-40 – 1,2%. Наименьшее содержание естественных радионуклидов в почве в европейской части – на севере, а максимальное – в южной части, т.е. ниже 54° северной широты, где сформировались черноземы и каштановые почвы. В Республике Беларусь максимальное содержание в почве К-40, U-238, Th-232 в северной части, где преобладают дерново-подзолистые суглинистые почвы, развивающиеся на кислых магматических породах (гранитах). В южной части преобладают легкие дерново-подзолистые (песчаные и супесчаные) и торфяные почвы, которые сформировались на известняковых отложениях, поэтому содержание естественных радионуклидов в них значительно ниже, чем в почвах северных регионов.

Естественная радиоактивность почв зависит от радиоактивности материнских (почвообразующих) пород, потому что минералы и частицы породы входят в скелетную часть и минеральные фракции почвы. Радиоактивность почвы значительно превышает радиоактивность материнской породы. Среди осадочных пород наиболее радиоактивны глины, менее активны известняки. Из вулканических пород более радиоактивны граниты, менее активны базальты. Поэтому почвы, развивающиеся на гранитах, имеют более высокую радиоактивность, чем почвы, сформированные на известняках. На радиоактивность почв большое влияние оказывает естественное и улучшенное плодородие почв. Установлено, что с увеличением плодородия почвы возрастает ее радиоактивность за счет повышения содержания в почве калия-40 при внесении минеральных удобрений. Максимальная естественная радиоактивность у черноземов и красноземов. Среди дерново-подзолистых почв наименьшая естественная радиоактивность у песчаных и супесчаных почв, имеющих низкое содержание глинистых минералов и калия-40.

Загрязнение почвы техногенными радионуклидами в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС произошло крайне неравномерно. Так, загрязнение цезием-137 произошло на территории всей республики, но при этом меньше пострадала северная часть республики и значительно больше южная. Загрязнение почвы стронцием-90 имеет локальный характер и регистрируется в отдельных регионах Гомельской и Могилевской областей.

Цель работы: определить суммарную бета-активность различных типов почв

Республики Беларусь.

Материалы и оборудование: бета-радиометр (КРВП-3АБ), пробы различных типов почвы.

Выполнение работы

1. Подготовьте радиометр к работе (см. работу №3 п.1–5).
2. Поочередно помещая пробы почвы в измерительную кювету, измерьте число импульсов (n_{i+f}) от каждой за 5 мин (i – номер пробы). Рассчитайте скорость счета от пробы почвы с фоном:

$$N_{i+f} = \frac{n_{i+f}}{t} \text{ (имп/мин)}$$

и скорость счета от пробы почвы без фона: $N_i = N_{i+f} - N_f$. Результаты измерений занесите в отчет (табл. 6.1).

3. Отложите на градуировочном графике (приложение 1) на оси абсцисс значение скорости счета от пробы почвы без фона N_i , восстановите перпендикуляр с этой точки до пересечения с наклонной линией на графике («прямой метод») и определите градуировочную объемную активность A_{gp} в кюри на литр.

4. Рассчитайте объемную активность пробы вещества:

$$A_{yd} = A_{gp} \cdot 2.$$

Коэффициент 2 учитывает различие энергетического спектра эталона и измеряемых радионуклидов, находящихся в исследуемой пробе вещества.

5. Переведите кюри на литр в беккерель на литр с учетом того, что $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$. Результаты измерений и расчетов занесите в отчет (табл. 6.1).

Таблица 6.1. Суммарная бета-активность почвы

Тип почвы	Скорость счета, имп/мин			Удельная активность почвы		
	N_{i+f}	N_f	N_i	A_{gp}	Ки/кг	Бк/кг
Дерново-подзолистая суглинистая						
Дерново-подзолистая супесчаная						
Дерново-подзолистая песчаная						
Торфяно-болотная						

6. Сделайте выводы, какие почвы имеют максимальную и минимальную удельную активность.

За д а н и е 6.2. Определение загрязненности почвы сельхозугодий цезием-137

Загрязнение почвы радионуклидами характеризуется поверхностной активностью A_s , которая представляет собой активность, отнесенную к единице площади поверхности:

$$A_s = \frac{A}{S},$$

где S – площадь поверхности, м^2 или км^2 .

Данная величина встречается и под другими названиями – плотность загрязнения поверхности радионуклидами или поверхностная концентрация. Основная единица измерения – килобеккерель на квадратный метр (кБк/м^2), внесистемная – кюри на квадратный метр (Ки/м^2).

Определение запаса цезия-137 и стронция-90 в почвах окультуренных сельхозугодий проводится в соответствии с "Методикой крупномасштабного агрохимического и радиологического обследования почв сельскохозяйственных угодий Республики Беларусь". В почвах естественных сельхозугодий указанная работа

проводится по методике Гомельской ОПИСХ. При радиологическом контроле естественных лугов и пастбищ проводится раздельное определение содержания радионуклидов в дернине и находящейся ниже нее почве.

Почвенные образцы на сельскохозяйственных угодьях рекомендуется отбирать до начала весенних полевых работ и непосредственно перед уборкой урожая. При плотности загрязнения стронцием-90 до $11,1 \text{ кБк/м}^2$ ($0,3 \text{ Ки/км}^2$) отбирается 5 смешанных образцов на одно сельскохозяйственное предприятие, при плотности $11,1\text{--}37,0 \text{ кБк/м}^2$ ($0,3\text{--}1 \text{ Ки/км}^2$) – один смешанный образец на элементарный участок (отдельно обрабатываемый участок поля, занятый одной культурой, с типичными для данного района типами почв, элементами рельефа, сельскохозяйственного пользования), при плотности $37,0\text{--}111,0 \text{ кБк/м}^2$ ($1\text{--}3 \text{ Ки/км}^2$) – один смешанный образец на 100 га площади, свыше $111,0 \text{ кБк/м}^2$ (3 Ки/км^2) – один смешанный образец на 50 га площади.

Отбор проб на пашне. Перед отбором проб проводится измерение мощности эквивалентной дозы дозиметром типа ДРГ в 5–6 точках, равномерно распределенных по площади элементарного участка на высоте 3–4 см над поверхностью почвы. На элементарном участке отбирается 10 индивидуальных проб почвы (в некоторых случаях и большего числа) из точек, равномерно распределенных по площади участка с наиболее часто встречаемыми значениями мощности дозы. Отбор проб проводят с помощью стандартного металлического кольца диаметром 140 мм и высотой 50 мм, осторожно забивая его в почву молотком до тех пор, пока верхняя кромка кольца не окажется на одном уровне с поверхностью почвы. Кольцо с почвой подкапывают лопатой, подрезают по нижней кромке пробоотборника и помещают в полиэтиленовый мешок или пленку. При отборе проб буром число уколов будет зависеть от диаметра его рабочей части. После смешивания индивидуальных проб и получения объединенной пробы из нее методом квартования составляют пробу почвы с массой не менее 2 кг. Такая проба помещается в полиэтиленовый мешок, который кладут во второй такой же мешок и заворачивают в плотную бумагу. Между пакетами вкладывается паспорт с номером пробы и указанием места отбора пробы.

На непахотных сельскохозяйственных угодьях (естественные луга и пастбища) по периметру обследуемого участка и его двум диагоналям на высоте 1 м и 3–4 см над поверхностью почвы проводится измерение мощности эквивалентной дозы дозиметром. При выборе места отбора пробы учитывается наличие травянистой растительности, отсутствие смыва или намыва почвы в месте отбора почвы, однородность, открытость и ровность поверхности, расстояние от дорог, деревьев и строений. На обследуемом участке выбирают 5 мест с наиболее часто наблюдаемыми значениями мощности дозы. Одно из них должно быть близко к центру участка, а остальные четыре – на периферии участка. Из этих мест проводится отбор проб с помощью стандартного металлического кольца (или бура), их последующая упаковка и маркировка – аналогично вышеприведенной методике.

Цель работы: определить плотность загрязнения сельхозугодий цезием-137.

Материалы и оборудование: гамма-радиометр РКГ-АТ 1320А (РКГ-01); пробы почвы, отобранные в полях севооборотов на территории радиоактивного загрязнения и в Горецком районе; весы лабораторные; карта радиационного загрязнения территории Могилевской и Гомельской областей.

Выполнение работы

1. Подготовьте гамма-радиометр к работе.
2. Определите содержание цезия-137 в пробах почвы ($A_{уд.почвы}$).
3. Определите плотность почвенных проб.
4. Рассчитайте поверхностную активность почвы (A_s).

Пример расчета.

Объем 1 м^2 пахотного слоя почвы $V = 20 \times 100 \times 100 = 2 \times 10^5 \text{ см}$. При плотности почвы

$$\rho = 1,3 \text{ г/см}^3 \text{ масса этой почвы } M = \rho \times V = 1,3 \times 2 \times 10^5 = \\ = 2,6 \times 10^5 \text{ г} = 260 \text{ кг.}$$

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

Задание 6.3. Изучение вертикального распределения цезия-137 в почве

Искусственные радионуклиды поступают из атмосферы в почву с атмосферными выпадениями и под действием гравитационных сил в составе аэрозолей и частиц в растворимом и нерастворимом состоянии. В почве радионуклиды включаются в два основных процесса – взаимодействие с почвенно-поглощающим комплексом и вертикальная миграция по профилю почвы. Их поведение в почве обусловлено следующими взаимобратимыми процессами: сорбция↔десорбция, осаждение↔растворение, коагуляция↔пептизация. Среди этих процессов наибольшее влияние на поведение радионуклидов в почве оказывает сорбция. При миграции радионуклидов сорбция имеет двойное значение. Во-первых, закрепление радионуклидов в корнеобитаемом слое почвы способствует длительному поступлению их в растения. Во-вторых, поглощение радионуклидов твердой фракции почвы снижает их доступность для растений и интенсивность их миграции вниз по профилю почвы.

Вертикальная миграция – это совокупность процессов, вызывающих перераспределения радионуклидов вглубь по профилю почвы. Перемещение радионуклидов вниз по профилю почвы изменяет их распределение в корнеобитаемом слое, приводит к снижению мощности дозы гамма-излучения над поверхностью почвы и к уменьшению интенсивности выдувания ветром и вымывания водой, а также может создавать возможность загрязнения грунтовых вод. Интенсивность миграции зависит от многих факторов, среди которых наиболее значимы свойства почвы и геологические условия, физико-химические свойства радионуклидов, вид биоценоза и интенсивность его обновления.

Вертикальная миграция радионуклидов осуществляется при следующих процессах: механический перенос на частицах почвы, диффузия свободных и адсорбированных ионов, конвективный перенос с током воды, перенос на коллоидных частицах почвы, перенос по корневым системам растений. Эти процессы неравнозначны, среди них наиболее значимы конвекция и диффузия. Конвекция – это перенос радионуклидов с восходящими и нисходящими потоками жидкости или пара. Конвекция приводит к перемещению и увеличению концентрации радионуклидов в нижележащих слоях по профилю почвы. Диффузия – самопроизвольное выравнивание концентрации радионуклидов при соприкосновении их с частицами почвы. Диффузия приводит к расширению зоны распределения радионуклидов при одновременном уменьшении максимальной концентрации в местах скопления радионуклидов. Конвекция и диффузия тесно связаны с сорбцией радионуклидов. Известно, что чем прочнее сорбция, тем слабее эти процессы. Конвекция и диффузия характерны для водорастворимой и частично для обменной форм нахождения радионуклидов в почве. Механический перенос происходит с током воды и пыли по трещинам и разломам почвы, а также в результате деятельности человека при обработке почвы и в результате роющей деятельности почвенной фауны. Механический перенос характерен для всех форм радионуклидов. С коллоидными частицами переносятся все формы радионуклидов, включая необменную и фиксированную.

Установлено, что в почвах одного типа разные радионуклиды имеют разную интенсивность миграции и соответственно разные коэффициенты миграции. Коэффициент миграции цезия-137 на 1-2 порядка ниже, чем стронция-90. Различие в интенсивности миграции этих двух радионуклидов объясняется различными формами нахождения их в почве. На дерново-подзолистой почве коэффициент миграции цезия-137 составляет $5,4 \cdot 10^{-10} - 5,8 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2/\text{сек}$. Миграция радионуклидов по профилю почвы

происходит очень медленно.

Наиболее интенсивно миграция радионуклидов происходит на дерново- глеевых, дерново-торфянисто-глеевых и торфяно-болотных почвах, которые характеризуются высокой влажностью, низким содержанием глинистых минералов, высокой кислотностью почвенного раствора и высоким содержанием органического вещества. Высокая интенсивность миграции радионуклидов характерна также для почв легкого гранулометрического состава, т.е. песчаных и супесчаных почв и осушенных торфяников.

Для исследования процесса вертикальной миграции радионуклидов необходимо отбирать тонкие слои почвы. Для этого используют специальное приспособление – пробоотборник. Оно представляет собой трехсторонний лоток, срезанный с двух сторон. Приспособление изготовлено из единой стальной полосы толщиной 0,5 см, которая изогнута в двух местах под прямым углом так, что образуется прямоугольный лоток сечением 150 см². Продольные края отогнутых стенок заточены. На обеих стенках лотка, имеющих заостренные кромки, сделаны параллельные прорезы – десять прорезей, начиная от верхнего среза, с шагом в 1 см, одна через 2 см, одна через 3 см и две с шагом 5 см. Общая длина лотка – 25 см (допустимы другие размеры данного приспособления).

Процедура отбора проб почвы с помощью описанного пробоотборника следующая: стенка почвенного разреза или прикопки выравнивается перпендикулярно к поверхности почвы (проверка отвесом), зачищается острой лопатой. Пробоотборник прикладывается к вертикальной стенке разреза так, чтобы его верхний срез совпадал с поверхностью почвы, а режущие кромки плотно крепились к стенке разреза. Пробоотборник вдавливают в почву до прикосновения внутренней стенки пробоотборника к вертикальной плоскости почвенного разреза. Отбор проб почвы начинают с более чистых слоев с нужной глубины. Для этого на вертикальной стенке почвенного разреза ниже установленного пробоотборника линейкой делают разметку по 5 или 10 см до требуемой глубины. С помощью широкого ножа и острой лопаты делается аккуратный подрез под нижней отметкой и подкоп, который больше, чем сечение пробоотборника. В подкоп подставляется ковш, в который с помощью острого ножа и лопатки размером 10×15 см отбирают пробы почвы толщиной 5 или 10 см и площадью 150 см² до нижнего края установленного пробоотборника. Затем пробоотборник извлекают из стены почвенного разреза и, используя имеющиеся прорезы, почву режут на слои соответствующего размера и отбирают пробы, начиная со слоев 5 см.

Упаковка проб производится в два полиэтиленовых пакета. На каждую пробу заполняется паспорт по следующей форме: число, месяц, год, область, район, населенный пункт, номер репера, глубина отбора пробы (см), мощность дозы (мЗв/час) на высоте 1 м, мощность дозы (мЗв/час) на высоте 0,1 м, организация, ФИО проводившего отбор. Паспорт пробы помещается в упаковке между пакетами в развернутом виде лицевой стороной вверх.

Для определения содержания цезия-137 в образцах почвы их высушивают, удаляют различные примеси, просеивают через сито.

Цель работы: изучить распределения цезия-137 и калия-40 по вертикальному профилю почвы естественного лугового фитоценоза.

Материалы и оборудование: гамма-радиометр РКГ-АТ1320 (РКГ-01), пробы почвы, отобранные через 1 см на естественном луговом фитоценозе, весы лабораторные.

Выполнение работы

1. Подготовьте гамма-радиометр к работе.
2. Определите содержание цезия-137 и калия-40 в пробах почвы. Результаты занесите в отчет по работе (табл. 6.2).

Таблица 6.2. Вертикальная миграция цезия-137 и калия-40 в естественном луговом фитоценозе, сформированном на дерново-подзолистой суглинистой почве

Проба	Содержание цезия-137		Содержание калия-40	
	Бк/кг	%	Бк/кг	%
Дернина (0–10 см)				
Почвенный слой, см				
0–1				
1–2				
...				
29–30				
Итого...		100		100

3. Рассчитайте процентное содержание цезия-137 и калия-40 в дернине и в каждом слое почвы.
4. Постройте диаграмму распределения цезия-137 и калия-40 по профилю почвы.
5. По полученным результатам сделайте выводы.

Контрольные вопросы

1. Что входит в состав почвы?
2. Какие естественные радионуклиды содержатся в почве?
3. Какие техногенные радионуклиды в настоящее время имеются в почве?
4. Какой процентный вклад вносит калий-40 в естественную радиоактивность почвы?
5. От каких факторов зависит естественная радиоактивность почвы?
6. В каких регионах Республики Беларусь самая высокая и самая низкая естественная радиоактивность почвы? Чем это объяснить?
7. Как влияет состав материнской породы на естественную радиоактивность почвы?
8. Как плодородие почвы влияет на естественную радиоактивность почвы?
9. В каких почвах максимальное содержание естественных радионуклидов?
10. Для каких дерново-подзолистых почв характерна низкая естественная радиоактивность и с чем это связано?
11. Какими путями поступают в почву искусственные радионуклиды?
12. В каких формах радионуклиды поступают из атмосферы в почву?
13. В какие процессы включаются радионуклиды в почве?
14. Что обозначает термин «вертикальная миграция»?
15. Какое значение при вертикальной миграции радионуклидов в почве имеет сорбция?
16. Какие факторы оказывают влияние на вертикальную миграцию радионуклидов?
17. Назовите основные процессы миграции радионуклидов по профилю почвы. Какие из них наиболее значимы?
18. Что такое диффузия?
19. Что такое конвекция?
20. Какие формы радионуклидов мигрируют по механизмам диффузии и конвекции?
21. Какое влияние на диффузию и конвекцию оказывает сорбция?
22. Какой радионуклид, цезий-137 или стронций-90, мигрирует интенсивнее по профилю почвы? Чем это объясняется?
23. На каких почвах происходит интенсивная миграция цезия-137? С чем это связано?
24. Где и почему основная масса радионуклидов сосредоточена на почвах естественных луговых ценозов?
25. Как отбираются пробы почвы для изучения вертикальной миграции радионуклидов?

26. На какой глубине сосредоточена основная масса цезия-137 и калия-40 в пахотных землях?
27. Чем обусловлено высокое содержание цезия-137 в дернине?