

**ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ
РАДИОНУКЛИДОВ РАСТЕНИЯМИ ЛУГОВЫХ ПРИРОДНЫХ
СООБЩЕСТВ ПОЛЕССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПОВЕДНИКА**

Н.В. ШАМАЛЬ

ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси», Гомель (namahasha@rambler.ru)

**FEATURES OF TECHNOGENIC RADIONUCLIDE ACCUMULATION
BY PLANTS OF GRASSLAND COMMUNITIES OF THE POLESYE
STATE RADIATION-ECOLOGICAL RESERVE**

N.V. SHAMAL

SSI «Institute of Radiobiology of the NAS of Belarus», Gomel (namahasha@rambler.ru)

Резюме. В результате проведённых исследований установлено, что радионуклиды Чернобыльского выброса по степени биологической доступности для растений изученных видов располагаются в следующей последовательности: $^{137}\text{Cs} > ^{241}\text{Am} > ^{238}\text{Pu} > ^{239,240}\text{Pu}$. Высокая способность к воздушному переносу ^{241}Am по сравнению с изотопами плутония обуславливает его существенный вклад в общее поверхностное загрязнение растений. Показано, что вклад адсорбированных на поверхности надземных частей растений радионуклидов в общее загрязнение составляет 7–13% для изотопов Pu, 11–25% для ^{241}Am и 1,5–9,2% для ^{137}Cs . Биологические особенности растительных организмов влияют на внутритканевое накопление радионуклидов растениями, а морфология их надземной части – на уровень поверхностного загрязнения.

Ключевые слова: цезий-137, америций-241, изотопы плутония, полынь, костер безостый.

Abstract. The correspondent row for the radionuclides of the Chernobyl outburst of bioavailability for the plants was as follows: $^{137}\text{Cs} > ^{241}\text{Am} > ^{238}\text{Pu} > ^{239,240}\text{Pu}$. ^{241}Am has higher capacity for air transfer than isotopes of plutonium, so it causes a significant contribution to the total contamination of plants. The share of radionuclides adsorbed on the surface of the aboveground parts of plants in total pollution was 7–13% for Pu isotopes, 11–25% for ^{241}Am and 1,5–9,2% for ^{137}Cs . Biological features of plants affect the accumulation of radionuclides to plants, and the morphology of plants influence the level of surface contamination.

Key words: cesium-137, americium-241, isotopes of plutonium, wormwood, smooth brome grass.

После аварии на Чернобыльской АЭС около 20% территории Республики Беларусь было признано радиоактивно загрязнённой по ¹³⁷Cs (плотность загрязнения почвы свыше 37 кБк/м²). Из них около 2% площади республики (4 тыс. км²) признано загрязнённой изотопами ^{238,239,240}Pu (плотность загрязнения более 0,37 кБк/м²). Кроме того, на этих территориях наблюдается рост удельной активности ²⁴¹Am за счёт естественного распада ²⁴¹Pu. Прогнозный расчёт показал, что плотность загрязнения территории америцием к 2058 г. превысит суммарное загрязнение изотопами плутония в 1,8 раза [20 лет после..., 2006].

На отдалённом этапе после аварии на фоне сохраняющейся проблемы ¹³⁷Cs всё большую актуальность приобретает проблема трансурановых элементов (ТУЭ). Высокая токсичность, продолжительные периоды полураспада и увеличение доли доступных для растений форм в почве определяют радиэкологическую значимость ²⁴¹Am и изотопов плутония при их вовлечении в биологический круговорот.

Загрязнение наземных частей растений радионуклидами складывается из корневого поступления в растения и отложения в составе пылевых частиц на поверхности растений. В зависимости от пути поступления они имеют различную способность к закреплению в растениях. Особенно велика роль поверхностного загрязнения радионуклидов растений в острую фазу радиоактивных выпадений [Hinton, 1996]. Однако и на отдалённом этапе радиационных аварий, в условиях, благоприятствующих вторичному ветровому подъёму радионуклидов, может сохраняться относительно высокое значение данных путей поступления радионуклидов в растения. Целью работы было провести оценку распределения техногенных радионуклидов на поверхности и в тканях растений на отдалённом этапе после аварии.

Исследования проводились на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ) на лугах вблизи выселенных населённых пунктов Масаны (площадка 1) и Радин (площадка 2). Заповедник образован на землях отчуждения в связи с аварией на Чернобыльской АЭС. Радиологическая характеристика площадок представлена в табл. 1.

Таблица 1
Плотность загрязнения почвы радионуклидами Чернобыльского выброса

Площадка	Мощность дозы, мкГр/ч	¹³⁷ Cs	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	²⁴¹ Am
		кБк/м ²			
1. Масаны	3,2-4,1	3480	13,4	29,1	82,9
2. Радин	4,3-5,6	5100	1,7	3,7	12,4

На каждом лугу были определены 5 участков площадью по 250 м² каждый, на которых проводили радиологическую съёмку, отбор проб почвы и растительности для определения в них радионуклидов ¹³⁷Cs, ^{238,239,240}Pu и ²⁴¹Am. Ресуспенсию радионуклидов оценивали по величине их осаждения на планшетах в течение вегетационного периода (табл. 2). В качестве поглощающего материала использовалась фильтроткань Петрянова.

Таблица 2
Выпадение радионуклидов Чернобыльского выброса в течение вегетационного сезона

Площадка	¹³⁷ Cs	²³⁸ Pu	^{239,240} Pu	²⁴¹ Am
	Бк/м ² в сутки			
1. Масаны	1,85	5,43*10 ⁻⁴	19,05*10 ⁻⁴	37,2*10 ⁻³
2. Радин	0,59	0,14*10 ⁻⁴	0,28*10 ⁻⁴	3,68*10 ⁻³

На площадке 2 объектами изучения были: *B. inermis* Leysy и *Artemisia absinthium* L. Выбранные виды относятся к разным систематическим классам и характеризуются различной корневой системой.

С целью изучения поверхностного загрязнения растений проводился смыв радионуклидов с поверхности сырых проб растений дистиллированной водой [Пристер, 2008]. Определение содержания радионуклидов в почве, смывах с поверхности растений, планшетах и растениях проводилось по стандартным методикам, внесённым в Госреестр Республики Беларусь.

Для изучения закономерностей загрязнения растений были выбраны травянистые многолетники, занимающие субдоминантное положение на изучаемых луговых фитоценозах. На площадке 1 объектами изучения были: *Bromus inermis* Leysy и *Artemisia campestris* L.

Отношение активности суточных выпадений на планшетах к плотности загрязнения почвы на площадках 1 и 2 составило: для ^{137}Cs – $5,3 \cdot 10^{-7}$ и $1,2 \cdot 10^{-7}$, для ^{238}Pu – $3 \cdot 10^{-9}$ и $8 \cdot 10^{-8}$, для $^{239,240}\text{Pu}$ – $4 \cdot 10^{-9}$ и $8 \cdot 10^{-8}$, для ^{241}Am – $4,2 \cdot 10^{-7}$ и $3,1 \cdot 10^{-7}$ соответственно. Отмечено, что америций обладает более высокой способностью к воздушному переносу по сравнению с плутонием. Активность ^{241}Am в почве на площадке 1 и 2 была выше суммы активностей изотопов плутония в 1,9 и 2,5 раза, а на планшетах, установленных на этих площадках, разница увеличилась до 7,9 и 8,7 раз соответственно.

Похожие результаты получены по вкладу поверхностной адсорбции радионуклидов в общее загрязнение растений (таблица 3). Доля ТУЭ на поверхности растений *B. inermis* к общему загрязнению надземной фитомассы имела значения: для изотопов Pu – 11,2–13,4%, для ^{241}Am – 21,8–23,3%. Для растений *A. absinthium* и *A. campestris* поверхностное загрязнение составило: для изотопов Pu – 8,6–9,0%, для ^{241}Am – 25,2–25,4%. Отмечен высокий вклад поверхностной адсорбции ^{241}Am в общее загрязнение растений этим изотопом. Отношение изотопов плутония к ^{241}Am в растениях *B. inermis* составило 1:1,1–3,0, а в смывах с растений – 1:3,0–6,1. Для растений рода *Artemisia* отношение плутония к америцию имела значения 1:1,6–3,0 и 1:5,9–12,0 соответственно для внутритканевой и поверхностной активности радионуклидов. В то же время при высокой активности суточных выпадений (таблица 2) вклад в поверхностное загрязнение растений ^{137}Cs для растений *B. inermis* и *Artemisia* составляет соответственно 1,5–1,8% и 7–9% от общей удельной активности надземной фитомассы растений.

Таблица 3

Внутритканевая и поверхностная активность радионуклидов в надземной части растений

Вид растения	Распределение радионуклида	^{137}Cs	^{238}Pu	$^{239,240}\text{Pu}$	ΣPu	^{241}Am
площадка 1 (луг около в.н.п. Масаны)						
<i>Bromus inermis</i> Leyss.	Внутритканевое	616	0,123	0,097	0,221	0,479
	Поверхностное	12,3	0,017	0,018	0,035	0,143
	Общее	626,3	0,145	0,119	0,264	0,536
<i>Artemisia campestris</i> L.	Внутритканевое	913	0,333	0,405	0,737	2,16
	Поверхностное	89,4	0,022	0,041	0,063	1,19
	Общее	1002,3	0,351	0,438	0,787	2,76
площадка 2 (луг около в.н.п. Радин)						
<i>Bromus inermis</i> Leyss.	Внутритканевое	468	0,109	0,061	0,171	0,172
	Поверхностное	8,9	0,014	0,009	0,019	0,052
	Общее	474,1	0,123	0,070	0,190	0,224
<i>Artemisia absinthium</i> L.	Внутритканевое	906,2	0,173	0,130	0,303	0,478
	Поверхностное	68,1	0,003	0,018	0,021	0,064
	Общее	974,3	0,176	0,148	0,324	0,542

Среди выбранных видов растения рода *Artemisia* характеризуются более высокими параметрами как внутритканевого, так и поверхностного накопления радионуклидов. Внутреннее загрязнение надземной части растений ^{137}Cs на обеих площадках было практически одинаковым и составляло 906–913 Бк/кг. Удельная активность (УА) $^{238,239,240}\text{Pu}$ в растениях *A. campestris* и *A. absinthium* составила 0,737 и 0,303 Бк/кг. УА ^{241}Am в растениях была 2,16 и 0,478 Бк/кг соответственно. Содержание инкорпорированных радионуклидов и поверхностное загрязнение в растениях *B. inermis* по сравнению с растениями рода *Artemisia* было ниже в 1,5–4,5 и 1,3–8,3 раза соответственно. Такие различия в первую очередь обусловлены биологическими особенностями объектов изучения, а высокое поверхностное загрязнение у растений рода *Artemisia* – с морфологическим строением их надземной части.

При анализе накопления изотопов плутония растениями отмечена тенденция более активного накопления в растениях ^{238}Pu по сравнению с $^{239,240}\text{Pu}$. Отношение ^{238}Pu к $^{239,240}\text{Pu}$ в почве составляло 1:2,1–2,2, а в надземной части растений *B. inermis* и *Artemisia* оно было 1:0,6–1,2.

В отношении америция установлено, что на его поступление в растения из почвы существенно влияют характеристики почвы. На песчаных почвах доступность ^{241}Am для растений была выше, чем на торфяно-болотных почвах. На площадке 1 почва супесчаная, плотность загрязнения почвы ^{241}Am выше плотности загрязнения почвы изотопами плутония в 1,9 раза, а удельная активность ^{241}Am в растениях *B. inermis* и *A. campestris* выше активности изотопов плутония в 2,4 и 3,0 раза. На площадке 2 почва торфяно-болотная, плотность загрязнения почвы ^{241}Am выше в 2,5 раза плотность загрязнения почвы изотопами плутония, а удельная активность ^{241}Am в растениях *B. inermis* и *A. absinthium* выше активности изотопов плутония всего в 1,1 и 1,6 раза.

Так как исследования проводились в течение двух лет, которые существенно различались климатическими условиями вегетационного периода, было проведено сравнение удельной активности плутония и америция в растениях *A. campestris* (площадка 1). Установлено, что удельная активность ТУЭ в надземной части растений в условиях засухи в вегетационный период существенно снижается. Для изотопов плутония снижение активности составило более 300%, для ^{241}Am – 30%. При этом сохранялась общая закономерность значительно более высокого загрязнения растений ^{241}Am по сравнению с изотопами плутония. В засушливый год соотношение удельной активности плутония к америцию составило 1:8.

В результате проведённых исследований установлено, что радионуклиды Чернобыльского выброса по степени биологической доступности для растений изученных видов располагаются в следующей последовательности: $^{137}\text{Cs} > ^{241}\text{Am} > ^{238}\text{Pu} > ^{239,240}\text{Pu}$. Высокая способность к воздушному переносу ^{241}Am по сравнению с изотопами плутония обуславливает его существенный вклад в общее поверхностное загрязнение растений. Показано, что вклад адсорбированных на поверхности надземных частей растений радионуклидов в общее загрязнение составляет 7–13% для изотопов Pu, 11–25% для ^{241}Am и 1,5–9,2% для ^{137}Cs . Биологические особенности растительных организмов влияют на внутритканевое накопление радионуклидов растением, а морфология их надземной части – на процессы поверхностного загрязнения.

ЛИТЕРАТУРА

- 20 лет после чернобыльской катастрофы:** последствия в Республике Беларусь и их преодоление. 2006. Национальный доклад. Минск: Комитет по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете Министров Республики Беларусь: 112.
- Пристер Б.С.** 2008. Проблемы сельскохозяйственной радиобиологии и радиэкологии при загрязнении окружающей среды молодой смесью продуктов ядерного деления: монография. Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС: 320.
- Hinton T.G. et al.** 1996. Foliar absorption of resuspended ^{137}Cs relative to other pathways of plant contamination. *Journal of Environmental Radioactivity*. 30(14): 15–30.