

ОЦЕНКА РОЛИ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ В ФОРМИРОВАНИИ БАРЬЕРНЫХ ФУНКЦИЙ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ЧАЭС

А. Н. Архипов¹, Н. С. Кромм¹, Н. Д. Кучма², В. Г. Кудлай¹, А. П. Фесай¹

¹ *Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль*

² *Всеукраинский научно-исследовательский институт гражданской защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера, Киев*

Приводятся оценки вклада биологической компоненты в создание барьерных функций в зоне отчуждения. Растительные сообщества, особенно лесные экосистемы, являются одним из важнейших естественных факторов в стабилизации радиоэкологической ситуации. Общее количество радионуклидов, фиксируемых ежегодно растительной биомассой, составляет 1,55 ТБк для ¹³⁷Cs и 0,48 ТБк для ⁹⁰Sr, что сопоставимо с ежегодным выносом этих радионуклидов за пределы зоны отчуждения

Введение

В Национальном докладе Украины к 20-летию Чернобыльской катастрофы подчеркивается, что одним из приоритетных направлений работ в зоне отчуждения и зоне безусловного (обязательного) отселения (ЗОиЗБ(О)О) является: «комплексное исследование барьерной функции природных и техногенных компонентов ЗОиЗБ(О)О, разработка предложений по их оптимизации» [1]. Зона отчуждения (ЗО) остается природным объектом с повышенным уровнем опасности. В первую очередь это опасность формирования потоков радионуклидов за ее пределы. Растительные сообщества, особенно лесные экосистемы, являются одним из основных естественных факторов стабилизации радиоэкологической ситуации, эффективность влияния которых на снижение выноса радионуклидов зачастую превосходит инженерные методы решения этого вопроса. Поэтому оценка вклада биотической компоненты в формирование барьерных функций и разработка мероприятий по их усилению будет оставаться актуальной.

Территория ЗО составляет приблизительно 2600 км². До аварии на ЧАЭС лесистость этой территории составляла около 43 %, под богарными агроценозами находилось 28 % земель, а луга и травяные болота занимали 18 %. Почти на 10 % территории были проведены мелиоративные работы. В результате эвакуации населения и прекращения хозяйственной деятельности начались демутиационные процессы восстановления естественного растительного покрова территории ЗО. Они происходят в основном за счет сукцессий трансформации пахотных земель в залежи и луговые ценозы с последующим естественным зарастанием земель до уровня естественной лесистости. В данное время лесистость территории ЗО составляет почти 50 % и продолжает возрастать, не покрытые лесом земли составляют около трети угодий, водные поверхности (речки, озера, каналы, р. Припять, искусственные водоемы, водоем-охладитель ЧАЭС) занимают до 10 % площади ЗО [2].

Общая активность топлива, находящегося в объекте "Укрытие", на сегодняшний день составляет примерно 14 МКи (518 ПБк) ($14 \text{ МКи} = 14 \cdot 10^6 \cdot 3,7 \cdot 10^{10} = 51,8 \cdot 10^{16} \text{ Бк} = 518 \text{ ПБк}$). В пунктах захоронения радиоактивных отходов (РАО) и пунктах их временной локализации сосредоточено: ¹³⁷Cs – 4,5 ПБк, ⁹⁰Sr – 3,5 ПБк, трансурановых элементов (ТУЭ) – около 0,2 ПБк [1].

Запасы основных радионуклидов в компонентах наземных экосистем на территории ЗО составляют: ¹³⁷Cs – около 5,5 ПБк, ⁹⁰Sr – около 2,5 ПБк, ТУЭ – около 0,1 ПБк. Это наиболее биологически подвижная и, следовательно, наиболее опасная часть выбросов, которая может интенсивно мигрировать в окружающей среде. Плотность загрязнения территории ЗО долгоживущими радионуклидами варьируется в широких границах: ¹³⁷Cs – от 3,7 кБк·м⁻² до 740 МБк·м⁻² и выше, ⁹⁰Sr – от единиц кБк·м⁻² до 185 МБк·м⁻² и выше, ^{239, 240}Pu – от 0,5 МБк·м⁻² и выше [3].

Загрязнение территории радионуклидами носило неравномерный, мозаичный характер, что требует достаточно детальной оценки их поведения в различных типах ценозов. Природная физическая, химическая, биологическая миграция радионуклидов медленно изменяет общий характер загрязнения окружающей среды. Однако может наблюдаться локальное интенсивное перераспределение радионуклидов в корнеобитаемом слое почвенного покрова в основном в местах антропогенного влияния (территории, подвергшиеся дезактивации, или такие, на которых сейчас ведутся механические работы) либо на участках, предрасположенных к регулярному затоплению (подтоплению). На таких локальных участках может наблюдаться вынос до 20 – 40 % от общего запаса активности на сопредельные территории или за пределы корнеобитаемого слоя. На остальной территории ЗО основная часть (90 – 95 %) активности всех радионуклидов продолжает находиться в верхнем 5 - 10-сантиметровом слое почвы (включая лесную подстилку) [4].

На фоне стабилизации миграционных процессов в почве доля радионуклидов, вовлекаемых в биологический круговорот, будет продолжать возрастать. Обусловлено это постоянным увеличением запасов фитомассы (в первую очередь лесной). Это, с одной стороны, приводит к депонированию части радионуклидов в приросте, с другой – к увеличению емкости малого биологического круговорота. Поэтому роль растительности в процессах минимизации выноса радионуклидов за пределы зоны радиоактивного загрязнения будет становиться все более весомой.

В работе на основании данных многолетних наблюдений авторов на полигонах ЗО, данных исследований научно-исследовательских организаций, работающих в ЗО, материалов лесоустройства обобщены результаты работ по оценке роли растительности в распределении радионуклидов в растительных сообществах.

В данной работе не рассматривался вопрос депонирования ТУЭ, в том числе и ^{241}Am , в биомассе растительных сообществ. Это обусловлено тем, что миграционная подвижность ТУЭ в естественных экосистемах на порядки ниже, чем ^{137}Cs и ^{90}Sr . Даже учитывая факт увеличения содержания ^{241}Am в природных экосистемах, вклад ТУЭ в общее загрязнение растительности в настоящее время невелик. Однако в ближайшем будущем этому вопросу необходимо уделить более серьезное внимание.

Оценка запасов фитомассы растительных сообществ

Были исследованы растительные сообщества, которые являются доминирующими на территории ЗО. Расчет запасов надземной фитомассы проводился по общепринятым геоботаническим и лесоводственным методикам с использованием ГИС-методов.

Все сообщества по характеру их формирования объединены в семь групп (табл. 1)

Таблица 1. Запасы надземной фитомассы в основных растительных сообществах ЗО

Сообщества	Занимаемая площадь, км ²	Общий запас фитомассы, т	Общий запас многолетней фитомассы (в лесах древесины), т	Прирост фитомассы, т/год
Лесные	1180,26	4090	3380	170
Луговые	56,59	140	19	2,5
Злаково-бобово-разнотравные	18,93	30	3	0,5
Лугово-болотные	151,32	120	13	10,5
Культурно-полевая растительность	92,55	45	6	4
Многолетние насаждения	1,75	30	3	5
Многолетние залежи	562,43	70	6	10

На территории ЗО по занимаемой площади (более 50 %) и по общему запасу фитомассы (до 90 %) преобладает лесная растительность. Основным и преобладающим компонентом

лесных экосистем является древесная растительность (95 - 98 %), в составе которой на долю древесины приходится в зависимости от возраста древостоя 60 – 70 %.

Луговые, залежные и лугово-болотные ценозы по общему запасу фитомассы уступают лесам, однако следует учитывать тот факт, что прирост фитомассы у них происходит ежегодно и, следовательно, интенсивность круговорота здесь выше.

Оценка запасов радионуклидов в растительной фитомассе

Данные многолетних наблюдений за накоплением радионуклидов в компонентах растительных ценозов на стационарных полигонах позволили оценить величины коэффициентов перехода в различные компоненты фитомассы. Это позволило рассчитать запасы биологически значимых радионуклидов в надземной фитомассе основных растительных сообществ (табл. 2).

В наибольшей степени депонирующими свойствами по отношению к радионуклидам обладают лесные экосистемы. Следует подчеркнуть и тот факт, что, как установлено исследованиями, в лесу за весь период наблюдений отсутствовал поверхностный сток, а количество радионуклидов, ежегодно выносимое за пределы 25-сантиметрового слоя почвы, составляет сотые и тысячные доли процента от общего загрязнения экосистемы [4].

Таблица 2. Запасы радионуклидов в различных сообществах ЗО

Сообщества	Всего в биомассе ^{137}Cs , ТБк	%	Всего в биомассе ^{90}Sr , ТБк	%
Лесные	20,7	77,8	6,7	78,82
Луговые	0,27	1,015	0,14	1,63
Злаково-бобово-разнотравные	0,183	0,7	0,082	0,95
Лугово-болотные	1,56	5,9	0,48	5,6
Культурно-полевая растительность	0,08	0,3	0,00097	0,011
Многолетние насаждения	0,0079	0,03	0,0018	0,02
Многолетние залежи	3,78	14,2	1,11	12,9

В целом растительная фитомасса способна депонировать до 12 % радиоцезия и до 10 % радиостронция, находящихся в экосистеме (табл. 3). В ежегодном приросте фиксируется около 1 % общего запаса радионуклидов. Учитывая тот факт, что основную часть ежегодного прироста фитомассы составляет древесина, можно говорить о многолетней фиксации радионуклидов древесной фитомассой и исключении этой части из малого биологического круговорота.

Таблица 3. ^{137}Cs и ^{90}Sr в фитомассе растительных сообществ

Показатели	Территория, км ²	Всего в фитомассе, тыс. т	Депонировано в фитомассе, тыс. т	Прирост фитомассы, тыс. т
Фитомасса, т	2063,83	37429	27940	2062
Запас ^{137}Cs , ТБк	139,3	26,6	16,8	1,55
%	100	19,1	12,1	1,1
Запас ^{90}Sr , ТБк	56,8	8,5	5,47	0,48
%	100	15,0	9,6	0,84

Анализ основных путей миграции радионуклидов за пределы ЗО [1, 2] показал, что на долю водного речного стока (р. Припять) приходится 84 - 96 % общего выноса, воздушный (ветровой) перенос составляет 3,5 – 14 %, в том числе при возникновении лесных пожаров - до 20 %, биогенный вынос - 0,4 - 1,5 %, а техногенная миграция – до 0,5 %.

Как видно из табл. 3, количество ежегодно депонированных радионуклидов в биомассе составляет по ^{137}Cs и ^{90}Sr 1,55 и 0,48 ТБк соответственно. Количество радионуклидов, ежегодно выносимое водным путем за пределы ЗО, составляет 5,09 ТБк·год⁻¹ [5] (табл. 4).

Таблица 4. Оценка потоков радионуклидов за пределы территории ЗО [1, 5, 6]

Поток	Активность, ТБк·год ⁻¹	% от запаса
Водный вынос за границы ЗО	5,09	0,063
Биогенный перенос за границы ЗО (животные)	0,07	0,00086
Биогенный перенос внутри ЗО (леса и луга)	6,15	0,076
Техногенный перенос за границы ЗО	0,016	0,0002
Ветровой перенос	0,7	0,0086
Депонирование в геологической среде	37	0,46
Выброс из объекта "Укрытие" (нормальные условия)	0,0116	0,0000016

Сравнение данных о выносе радионуклидов и их накоплении в фитомассе позволяет сделать вывод о том, что величина ежегодного депонирования радионуклидов в приросте (особенно в древесине) может быть сравнима с величиной водного выноса за пределы ЗО.

В то же время возрастание запасов радионуклидов в лесной фитомассе может в случае восстановления системы ухода за лесами и получения продукции (древесины) в будущем представлять некоторую опасность для населения, которое будет ее использовать. Этот вопрос требует более детального изучения.

Выводы

1. Естественные демутиационные процессы обусловят возрастание запасов фитомассы на территории ЗО. Основная часть прироста будет обеспечена за счет увеличения запасов лесных ценозов.
2. Увеличение запасов фитомассы обусловит увеличение накопления и депонирования в ней радионуклидов, что исключит их вынос за пределы загрязненных биоценозов.
3. Депонирование в ежегодном приросте фитомассы (особенно в древесине) радионуклидов по величине уже сопоставимо с выносом радионуклидов за пределы ЗО водным путем.
4. Ход естественных процессов восстановления природного растительного покрова полностью соответствует задачам повышения барьерных функций ЗО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Национальный доклад к 20-летию Чернобыльской катастрофы. Взгляд в будущее. Раздел 8.* - К., 2006.
2. *Холоша В.И., Проскура Н.И., Иванов Ю.А. и др.* Радиационная опасность объектов зоны отчуждения // Проблемы Чернобиля. - 1999. - Вып. 5. - С. 23 - 34.
3. *Иванов Ю.О., Архипов А.М., Казаков С.В. та ін.* Проблеми міграції радіонуклідів в наземних екосистемах зони відчуження та зони безумовного(обов'язкового) відселення // Бюлетень екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. - 1999. - № 13. - С. 53 - 57.
4. *Архипов М.П., Кучма М.Д., Давидчук В.С., Архипов А.М.* Роль природних факторів у фіксації радіонуклідів у зоні відчуження // Там же. - 2001. - № 17. - С. 36 - 42.
5. *Годун Б.О., Деревець В.В., Кірсеєв С.І. та ін.* Радіаційний стан зони відчуження в 2005 році // Там же. - 2006. - № 1(27). - С. 5 - 24.
6. *Сизов А.А.* Воздействия выбросов радиоактивных веществ на окружающую среду и персонал при преобразовании объекта "Укрытие" ЧАЭС // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. - 2006.- Вып. 4. - С. 55 – 68.

Поступила в редакцию 03.10.06

29 ОЦІНКА РОЛІ РОСЛИННИХ СПІВТОВАРИСТВ У ФОРМУВАННІ БАР'ЄРНИХ ФУНКЦІЙ В ЗОНІ ВПЛИВУ ЧАЕС**А. М. Архипов, Н. С. Кромм, М. Д. Кучма, В. Г. Кудлай, О. П. Фесай**

Наводиться оцінка вкладу біологічної компоненти у формування бар'єрних функцій у зоні відчуження. Рослинні співтовариства, особливо лісові екосистеми, є одним із важливих природних факторів у стабілізації радіоекологічної ситуації. Загальна кількість радіонуклідів, що фіксуються кожен рік рослинною біомасою, становить 1,55 ТБк для ^{137}Cs та 0,48 ТБк для ^{90}Sr , що порівнюється до виносу цих радіонуклідів кожен рік за межі зони відчуження.

29 EVALUATION OF THE ROLE OF PLANT COMMUNITIES TO CREATE BARRIER FUNCTIONS INTO ZONE OF CHERNOBYL NPP INFLUENCE.**A. N. Arkhipov, N. S. Kromm, N. D. Kuchma, V. G. Kudlay, A. P. Fesay**

Evaluation of contribution of biological compound to create barrier function in the exclusion zone are shown in the article. Plant communities, especially forest ecosystems, are one of the base natural factors of radioecological situation stabilization. Total amount of radionuclides which fixed annually into plant biomass are 1,55 TBq for ^{137}Cs and 0,48 TBq for ^{90}Sr and comparable to annual water outflux of radionuclides out of the zone.