

БИОГЕННЫЕ ПОТОКИ РАДИОНУКЛИДОВ В ТРАВЯНИСТЫХ БИОЦЕНОЗАХ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ

С. А. Паскевич¹, М. Ф. Петров²

¹ *Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль*

² *Государственное специализированное научно-производственное предприятие "Чернобыльский радиоэкологический центр" (ГСНПП "Экоцентр"), Чернобыль*

Представлены результаты наблюдений за сезонной динамикой образования органического вещества на залежах и лугах, а также оценены величины поступления радионуклидов в данный компонент биоценоза. Видовой анализ структуры фитоценозов позволил провести типизацию растительных сообществ по условиям произрастания. Установлено, что ключевыми типами растительности залежей и лугов зоны отчуждения являются пустошные, разнотравно-пырейные, пырейные, влажно-травно-пырейные и осоково-влажнотравные сообщества. Для данных типов сообществ представлены результаты исследований биогенных потоков ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs.

Введение

Результаты изучения перераспределения радиоактивных веществ в ландшафтах зоны отчуждения свидетельствуют, что данная территория является основным комплексным ландшафтно-геохимическим барьером на пути миграции радиоактивных веществ. В связи с этим актуальным является изучение растительного компонента наземных экосистем данной территории, играющего ведущую роль в формировании биогенных потоков радиоактивных веществ. Одним из важных компонентов экосистем данной территории являются травянистые сообщества залежей и лугов, занимающие значительные (до 41 %) площади в структуре земель зоны отчуждения (табл. 1). Растительные сообщества, сформировавшиеся на залежах, территориях бывших сельскохозяйственных угодий, составляют более 27 % территории. Луга занимают около 11,3 % территории зоны отчуждения, что составляет около 292 км². При этом основная часть лугов, расположенных на территории зоны отчуждения, находятся в поймах [1].

Таблица 1. Структура земель зоны отчуждения, занятых залежами и лугами

Ценоз	Площадь, км ²	Доля в общей площади зоны отчуждения, %
Болота	33,3	1,3
Залежи	720,3	27,7
Луга, в т. ч.:	319,3	12,3
низинные	26,9	1,0
пойменные	292,4	11,3
Всего	1073,0	41,3

Наличие значительных площадей, покрытых травянистыми сообществами обусловило целесообразность проведения исследований по изучению влияния ландшафтных условий на накопление радиоактивных веществ в наземной биомассе сообщества. Определение количества наземной биомассы, образующейся в рамках отдельно выделенного сообщества, дает возможность для объективных оценок выноса радиоактивных веществ, вовлекаемых в общий запас органического вещества, продуцируемого фитоценозом.

© С. А. Паскевич, М. Ф. Петров, 2004

Основываясь на данных положениях, основными целями исследований было: определение видового состава растительных сообществ лугов и залежей зоны отчуждения, что включало изучение роли видов, занимающих доминирующие позиции в растительном сообществе, и на их основе выполнение классификации типичных фитоценозов зоны отчуждения;

определение количества надземной биомассы, продуцируемой типичными фитоценозами лугов и залежей зоны отчуждения;

оценка величин выноса ^{90}Sr и ^{137}Cs надземной биомассой растительных сообществ.

Исследования включали изучение выноса радионуклидов в живую биомассу сообществ, а также в подстилку. Изучение данного компонента обусловлено тем, что подстилка имеет основное биоценотическое значение в депонировании и постепенном возврате в почву поглощенных биогенных элементов, а с ними и радионуклидов.

Объекты и методы

Основные подходы, которые были реализованы при проведении исследований, опираются на методологию предложенную Т. А. Работновым [2]. Данный подход заключается в закладке пробоотборных площадок в разных ландшафтных условиях и проведении на них укосов с фиксированной площади. Биологическую продуктивность и динамику органического вещества в сообществах определяли согласно [2, 3]. Соотношения по массе между видами в сообществе определялись методом разбора пробных снопов. Систематическая характеристика видов растений представлена согласно [4]. Отбор образцов растений и почвы, а также их подготовка к анализу выполнялись на основании стандартных методик [5, 6]. Статистический анализ полученных результатов исследований выполнен согласно [7]

Результаты исследований

При использовании ландшафтного подхода в изучении фитоценозов особую актуальность приобретает определение видового состава сообщества как одного из основных факторов, определяющих продуктивность биоценоза. Необходимо отметить, что видовой состав растительного сообщества в значительной степени определяет роль фитоценоза в материально-энергетическом метаболизме биогеоценоза. Поскольку разные виды растений, в силу экологических особенностей своих связей с окружающей средой, достаточно специфичные по своей биохимической работе и трансформации среды, в которой они существуют, что накладывает свое отражение в размерах накопления радионуклидов в надземной биомассе.

Всего в ходе наблюдений в условиях залежных и луговых сообществ зоны отчуждения было идентифицировано около 214 видов растений принадлежащих к 31 ботанической группе. Основываясь на данных о видовой структуре сообществ, сгруппированных по ландшафтному признаку, было выделено пять основных наиболее типичных сообществ травянистых сообществ зоны отчуждения.

Травостои пустошного типа занимают около 1 % от площадей лугов и залежей находящихся на территории зоны отчуждения (30 км²). Основными доминирующими видами сообществ пустошного типа, по результатам многолетних наблюдений, являются: булавоносец сероватый (*Corynephorus canescens*), долевого участие которого в структуре травостоя составляет от 31 до 51 %, пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare*) 15 - 45 %, икотник серый (*Berteroa incana*) 12 - 25 %, а также полынь полевая (*Artemisia campestris*) 10 - 20 %.

Видовая структура разнотравно-пырейных сообществ представлена в основном злаками. Ценозообразующими видами данных сообществ являются: пырей ползучий (*Elytrigia repens*), занимающий от 22 до 46 % в структуре травостоя, вейник наземный (*Calamagrostis epigeios*) 13 - 29 %, овсяница луговая (*Festuca pratensis*) 8 - 20 %.

Пырейный тип сообществ является наиболее типичным для условий залежей зоны отчуждения. На участках наблюдений, размещенных в условиях пырейных сообществ,

устойчивая, монодоминантная структура травостоя сохранялась в многолетнем периоде (1996 - 1999 гг.).

На участках залежей, которые сформированы в условиях влияния мелиоративных систем, образовались влажнотравно-пырейные сообщества. Доминирующие и содоминирующие позиции в указанных сообществах занимают следующие виды: осока заостренная (*Carex acutiformis*), занимающая от 45 до 60 % в структуре травостоя, пырей ползучий (*Elytrigia repens*) 30 - 46 %, дербенник иволистий (*Lythrum salicaria*) 15 - 27 %, мятлик болотный (*Poa palustris*) 18 - 25 %, подморенник болотный (*Galium palustre*) до 7 %.

Осоково-воложнотравные сообщества, занимающие 68,9 % от общей площади лугов (220 км²) и 10 % от общей площади зоны отчуждения, имеют наиболее насыщенный видовой состав, который в отдельные годы составлял 42 вида. Доминирующими и содоминирующими видами осоково-влажнотравных сообществ являются: осока пузырчатая (*Carex vesicaria*), занимающая от 44 до 67 % в структуре травостоя, вербейник обыкновенный (*Lysimachia vulgaris*) 10 - 18 %, сабельник болотный (*Comarum palustre*) 11 - 16 %.

Полученные в ходе исследований данные о видовом составе сообществ, а также данные о массовых параметрах продуцируемой ими надземной биомассы позволили выполнить классификацию сообществ в зависимости от ландшафтных условий произрастания (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика травянистых сообществ лугов и залежей зоны отчуждения, сформированных в зависимости от ландшафтных условий

Тип сообщества	Биомасса, кг/м ²	Тип почвы	Рельеф
Пустошный	0,22 ± 0,09	Дерново-слабоподзолистая песчаная и пылевато-песчаная	Вершины холмов, верхние части склонов
Разнотравно-пырейный	0,32 ± 0,11	Дерново-слабоподзолистая глинисто-песчаная	Средняя часть склонов, выровненная часть террас
Пырейный	0,45 ± 0,15	Дерново-слабоподзолистая глееватая глинисто-песчаная	Относительно сниженные, центральные части террас
Влажнотравно-пырейный	0,74 ± 0,21	Дерново-скрытоподзолистая глееватая супесчаная	Нижние части склонов, ложбины, бессточные понижения
Осоково-влажнотравный	0,76 ± 0,32	Торфяно-глеевая, болотная	Понижения пойм и надпойменных террас

Для осоково-влажнотравных сообществ, которые формируются на переувлажненных участках лугов, видовой структура наиболее насыщена. Видовой состав данных сообществ представлен в основном гигромезофитной растительностью с преобладанием видов семейств осоковых, дербенниковых, губоцветных, первоцветных, гречишных, ситниковых. Данные сообщества с преобладанием осоки пузырчатой (*Carex vesicaria*) и вербейника обыкновенного (*Lysimachia vulgaris*) характеризовались наибольшей продуктивностью надземной биомассы, которая в период наблюдений составляла от 0,4 до 1,0 кг воздушно-сухого вещества (в.с.в.) на 1 м². Значительные колебания продуктивности данных сообществ объясняются повышенной чувствительностью растительности к дефициту влаги во время вегетации. Данные сообщества находятся как в пойменной и пониженной (террасированной) частях зоны отчуждения, так и в пределах повышенных элювиальных ландшафтов с выпотным гидрологическим режимом, образующимся за счет близости уровня грунтовых вод.

В условиях элювиальных и трансэлювиальных ландшафтов, почвенный покров которых составляют дерново-слабоподзолистые, дерново-легкосуглинистые и дерново-глеевые почвы, продуктивность травянистых сообществ существенно ниже, что обуславливается низким содержанием органического вещества в почвах, ускоренным вымыванием минеральных веществ в глубину, а также высоким залеганием грунтовых вод. В указанных условиях

формируются низкопродуктивные сообщества с преобладанием следующих видов: пырей ползучий (*Elytrigia repens*), вейник наземный (*Calamagrostis epigeios*), пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare*), булавоносец седоватый (*Corynephorus canescens*) (для пустошных типов сообществ), полынь полевая (*Artemisia campestris*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*).

Исследования позволили установить вертикальную структуру сообщества, а также и долевые и весовые характеристики каждого компонента фитоценоза. Полученные данные о вертикальной структуре травянистых сообществ представлены на рис. 1.

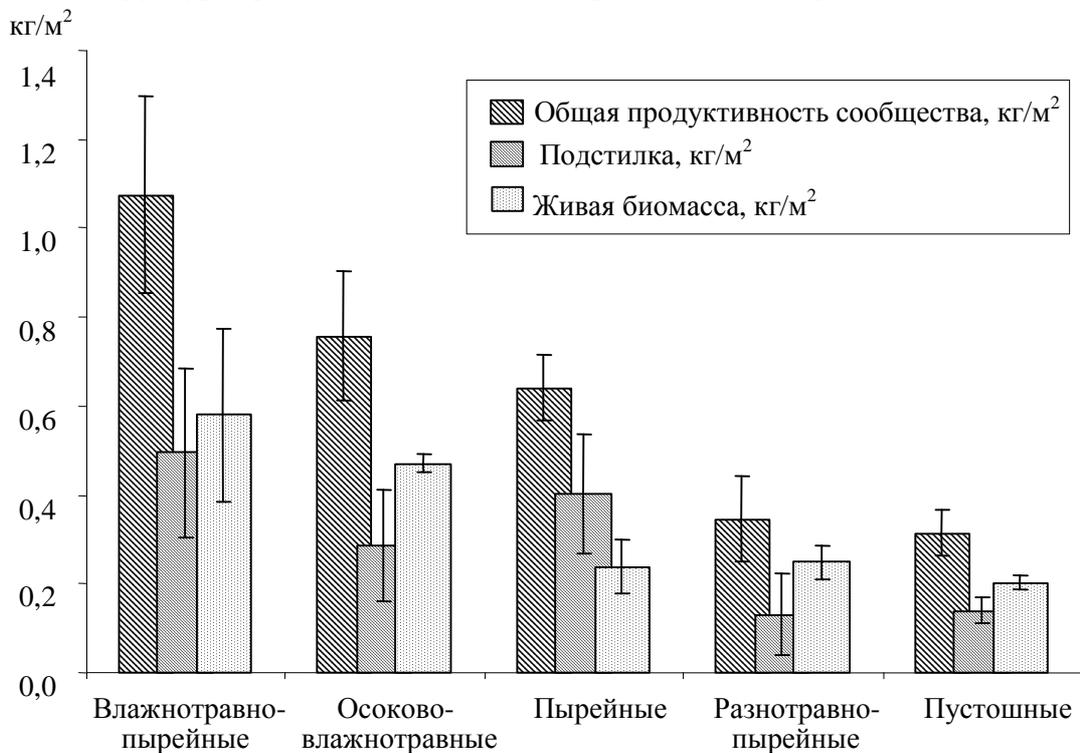
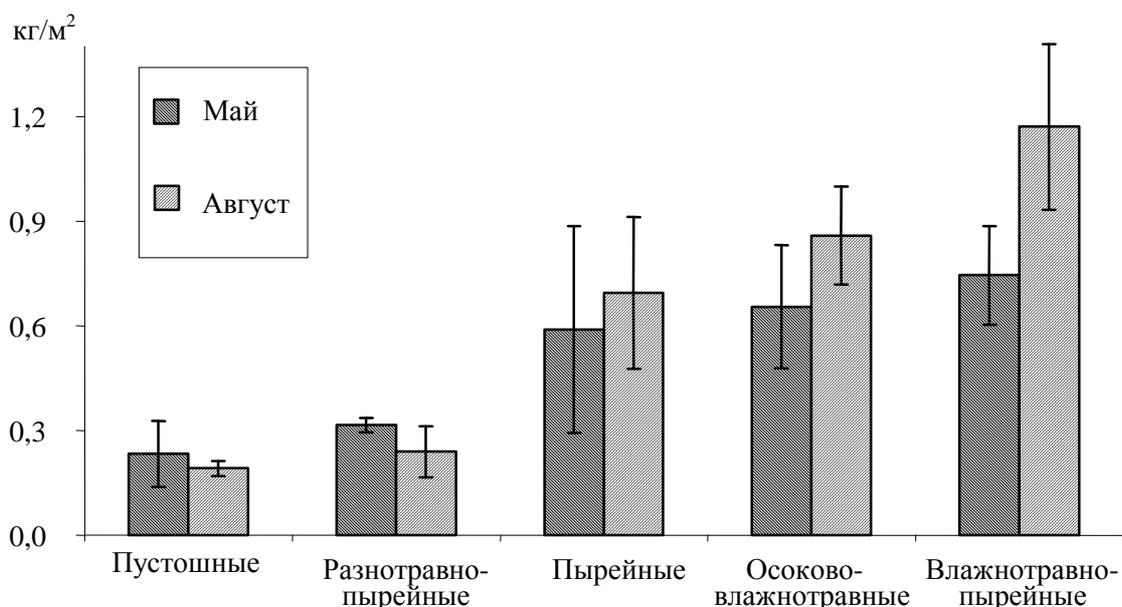


Рис. 1. Запас надземной биомассы по компонентам типичных сообществ лугов и залежей зоны отчуждения, кг/м² (в.с.в.).

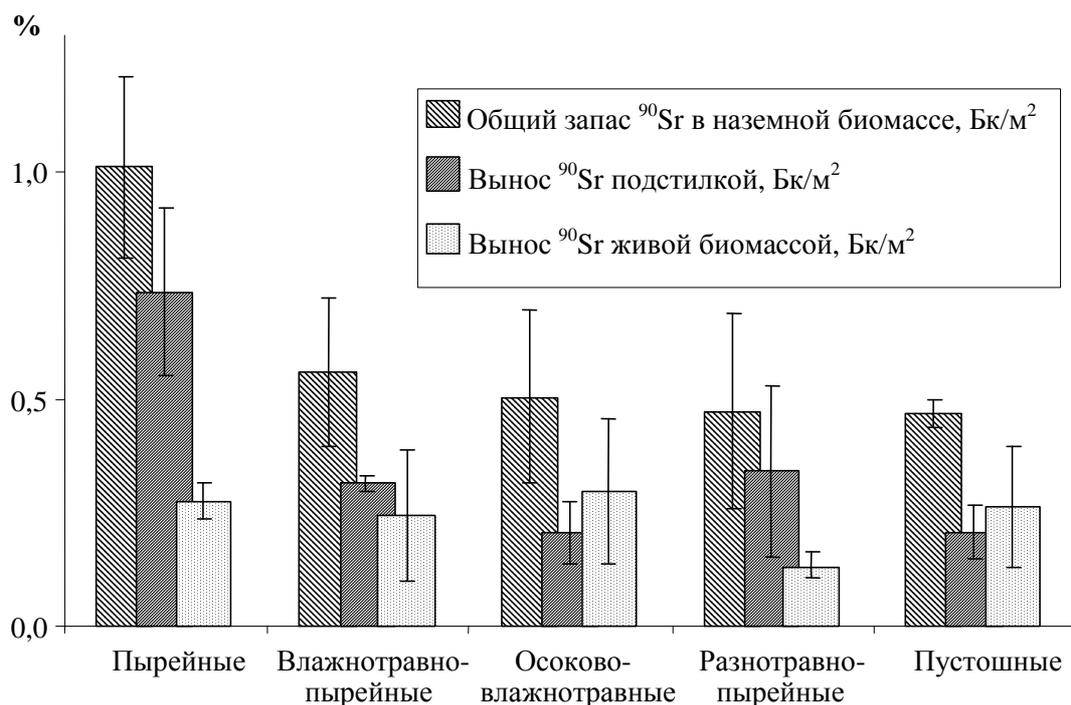
Представленные данные демонстрируют, что продуктивность сообществ достаточно хорошо согласуется с условиями произрастания. Наибольшей продуктивностью характеризуются влажнотравно-пырейные и осоково-влажнотравные сообщества, которые сформированы на торфяных и болотных почвах пойм и бессточных понижений. Запас надземной биомассы для данных сообществ 1,2 кг/м². Общая продуктивность пустошных более чем в четыре раза меньше, чем влажнотравно-пырейных сообществ, и в среднем 0,3 кг/м².

Как следует из рис. 1, в большинстве типичных сообществ лугов и залежей подстилка является весомым компонентом ценоза и составляет от 40 до 60 % надземной биомассы сообщества. При этом превалирование процессов накопления органического вещества в подстилке над образованием живой фитомассы наблюдается только для монодоминантных сообществ пырея ползучего, в которых запасы подстилки почти в два раза превышают запасы живой фитомассы.

Анализ сезонных изменений продуктивности фитоценозов показал наличие связи с типологическими свойствами сообщества. Так, если ксерофитные сообщества достигают пика продуктивности в мае и к концу вегетации количество органического вещества почти не изменяется, то для сообществ, расположенных на участках с достаточным и избыточным увлажнением, наблюдается увеличение биомассы за сезон. При этом достоверное увеличение продуктивности за вегетационный сезон установлено для влажнотравно-пырейных сообществ (около 36 %). Сезонная динамика продуктивности фитоценозов представлена на рис. 2.

Рис. 2. Сезонная динамика продуктивности фитоценозов, кг/м² (в.с.в.).

Вынос радионуклидов в надземную биомассу определялся как процент выносимого в надземную биомассу радионуклида от общего его запаса в почве. Было установлено (рис. 3), что наибольшим выносом ⁹⁰Sr характеризуются пырейные сообщества.

Рис. 3. Вынос ⁹⁰Sr компонентами надземной биомассы сообществ лугов и залежей, % от общего запаса радионуклида в почве.

В биомассу пырейных сообществ может аккумулироваться до 1 % ⁹⁰Sr, содержащегося в почве, при этом около 60 % от общего запаса депонируется в подстилке данного сообщества. Примечательным является то, что вынос ⁹⁰Sr надземной биомассой пустошных сообществ (продуктивность которых, как отмечалось выше, в четыре раза ниже) сопоставим с выносом данного радионуклида осоково-влажнотравными сообществами.

Полученные данные подтверждают способность ^{90}Sr к повышенной биогенной миграции в условиях почв с легким механическим составом, на которых развиваются пустошные и разнотравно-пырейные сообщества.

Накопление ^{137}Cs в наземной биомассе сообществ существенно отличается от накопления ^{90}Sr (рис. 4).

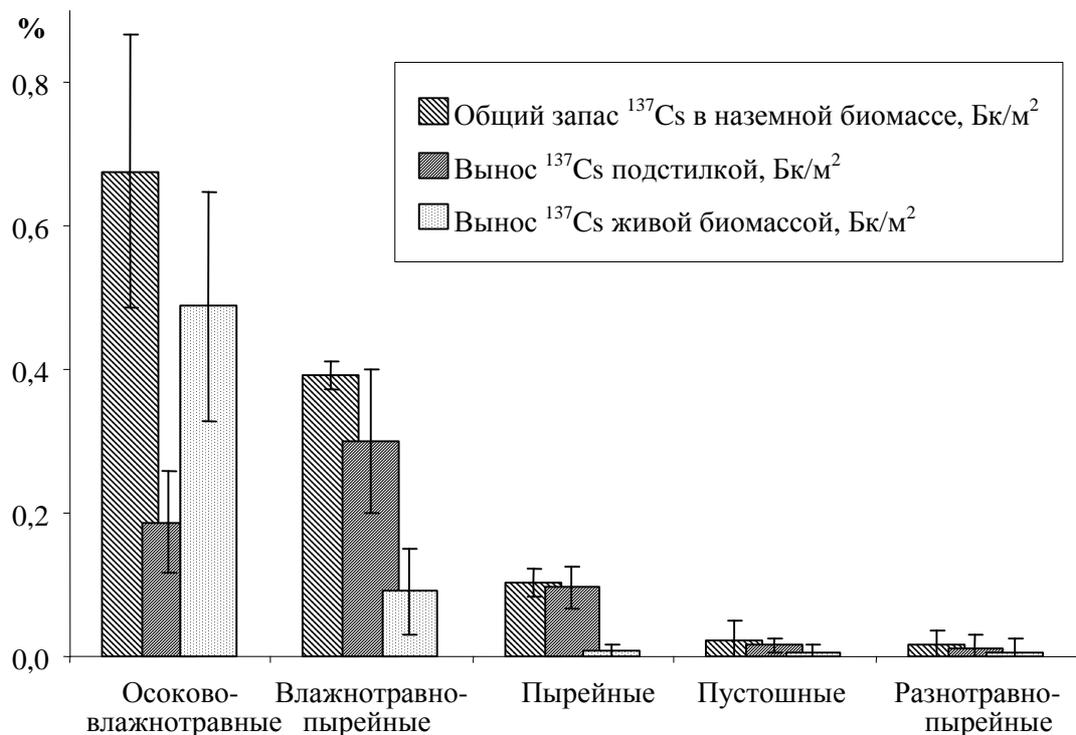


Рис. 4. Вынос ^{137}Cs компонентами наземной биомассы сообществ лугов и залежей, % от общего запаса радионуклида в почве.

Как видно, вынос ^{137}Cs биомассой осоково-влажнотравных и влажнотравно-пырейных сообществ, сформированных в условиях торфяных почв, в 20 раз превышает размеры выноса этого радионуклида пустошными сообществами, которые сформированы в условия дерново-подзолистых песчаных почв.

Так, наибольшим выносом характеризуются сообщества с наибольшей продуктивностью. В условиях осоково-влажнотравных и влажнотравно-пырейных сообществ вынос ^{137}Cs достигает 0,7 и 0,4 % от общего запаса этого радионуклида в почве. Для сообществ пустошного типа вынос ^{137}Cs составляет около 0,03 %. При этом значительная часть этого радионуклида депонируется в подстилке.

Выводы

Растительный покров на залежах и лугах зоны отчуждения претерпел значительную дифференциацию согласно эдафических условий, что в свою очередь оказывает воздействие на интенсивность биогенного потока радиоактивных веществ в данных фитоценозах. Проведена типизация травянистых сообществ зоны отчуждения, которая выполнена на основании данных о видовом и структурном составе биоценоза, а также основана на ландшафтных условиях произрастания. Основными типами сообществ являются: пустошные, пырейные, разнотравно-пырейные, влажнотравно-пырейные, осоково-влажнотравные.

Установлено, что размеры выноса ^{90}Sr в наземную фитомассу лугов и залежей более чем в два раза выше выноса ^{137}Cs . При этом данная зависимость наблюдается для всех типов травянистых сообществ зоны отчуждения. Так, для пустошных сообществ вынос ^{90}Sr составил 0,47 %, а для ^{137}Cs 0,05 %. Исключение представляют осоково-влажнотравные

сообщества, для которых вынос ^{90}Sr и ^{137}Cs был подобным и составлял 1 и 0,7 % соответственно.

Также установлено, что существенный вклад в общий вынос ^{90}Sr и ^{137}Cs в наземную массу экосистем оказывает подстилка. В данном структурном элементе луговых и залежных экосистем может удерживаться от 40 до 70 % поступившего в наземную биомассу ^{137}Cs и до 50 % поступившего ^{90}Sr .

Размеры биогенного выноса ^{137}Cs показали большую вариацию в зависимости от условий произрастания сообществ по сравнению с ^{90}Sr . Так, если для ^{90}Sr изменение размеров выноса в зависимости от типа травянистого сообщества составлял около двух раз (от 0,5 % для пустошного типа до 1 % для пырейных сообществ), то для ^{137}Cs данные отличия составляли около 20 раз.

Полученные значения биогенных потоков радионуклидов в травянистых сообществах, которые выполнены с учетом типологических особенностей данных ценозов, могут быть использованы для анализа и прогноза радиоэкологической ситуации на территориях, подвергшихся радионуклидному загрязнению. Данные результаты могут быть использованы как для целей ландшафтного мониторинга зоны отчуждения, так и для оценки размеров возможного переноса радиоактивных веществ при пожарах на залежах и лугах зоны отчуждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бюлетень* екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. - 2001. - № 17. - С. 36 - 43.
2. *Программа* и методика биогеоценологических исследований. - М.: Наука, 1974. - 401 с.
3. *Родин Л. Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И.* Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. - Л.: Наука, 1968.
4. *Доброчаева Д. Н., Котов М. И., Прокудин Ю. Н. и др.* Определитель высших растений Украины. - Киев: Наук. думка, 1987. - 548 с.
5. *Павлоцкая Ф.И.* Основные принципы радиохимического анализа объектов природной среды и методы определения радионуклидов стронция и трансурановых элементов // *Журнал аналитической химии*. - 1997. - Т. 52, № 2. - С. 126 - 143.
6. *Максимов М.Т., Оджагов Г.О.* Радиоактивные загрязнения и их измерение. - М.: Энергоатомиздат, 1989.
7. *Уланова Н.Г.* Математические методы в геоботанике. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. - 54 с.

Поступила в редакцию 14.10.04,
после доработки - 17.11.04.