

УДК 550.4:911.2 (476.2)

Л. И. СТРАХ

### ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ $^{137}\text{Cs}$ В ЛАНДШАФТАХ МОЗЫРСКОГО ПОЛЕСЬЯ

(Представлено академиком Е. Ф. Коноплей)

Появление радионуклидов в природной среде является одним из факторов экологического риска. Обострение ситуации в связи с аварией на ЧАЭС требует особого внимания к изучению особенностей миграции и аккумуляции этих элементов. «Геоэкологическая ситуация на земной поверхности зависит не только от особенностей источника загрязнения..., но и от ландшафтно-геохимических условий территории — особенностей миграции элементов загрязнителей и их концентрирования на геохимических барьерах» [1, с. 137].

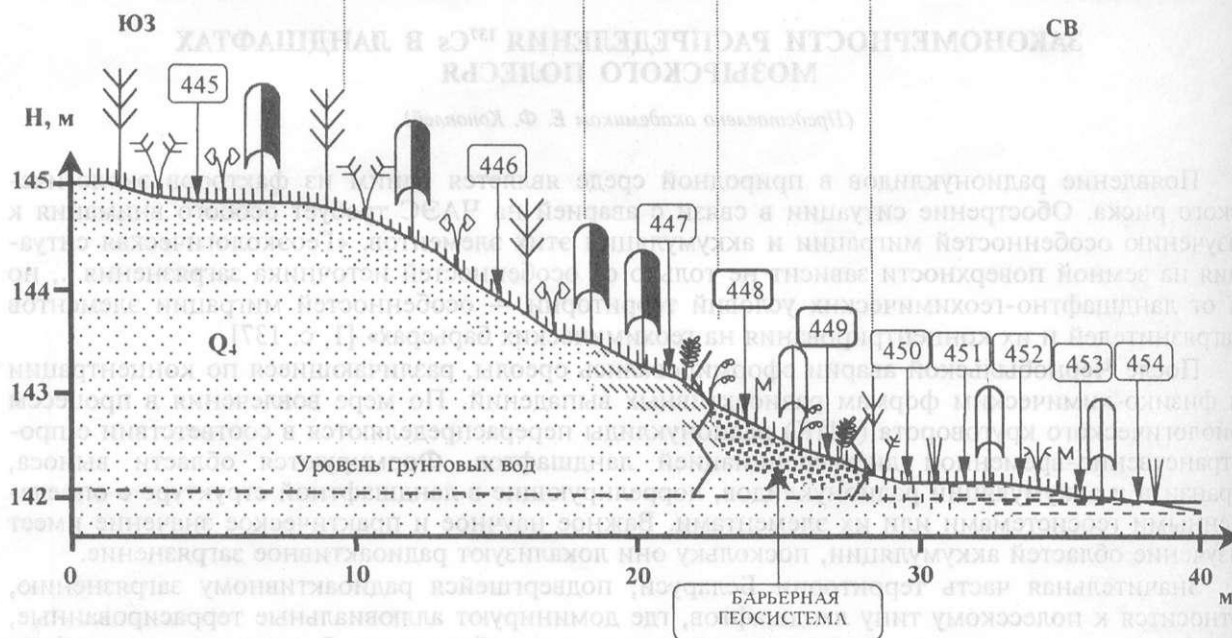
После Чернобыльской аварии сформировались ореолы, различающиеся по концентрации и физико-химическим формам радиоактивных выпадений. По мере вовлечения в процессы биологического круговорота (БИК) радионуклиды перераспределяются в соответствии с пространственно-временной дифференциацией ландшафтов. Формируются области выноса, транзита и аккумуляции радионуклидов, коррелирующие в ландшафтной структуре с определенными геосистемами или их элементами. Важное научное и практическое значение имеет изучение областей аккумуляции, поскольку они локализуют радиоактивное загрязнение.

Значительная часть территории Беларуси, подвергшейся радиоактивному загрязнению, относится к полесскому типу ландшафтов, где доминируют аллювиальные террасированные, вторичные водно-ледниковые и нерасчлененные с преобладанием болот роды ландшафтов [2]. Ландшафтная специфика бассейна Припяти выражается в широком распространении здесь супераквальных комплексов, на долю которых приходится до 27 % территории региона. В рамках Государственной программы по преодолению в Республике Беларусь последствий катастрофы на ЧАЭС в Институте радиобиологии НАН Беларуси в 1993—1999 г. г. проводились исследования влияния ландшафтной структуры полесского типа ландшафтов на перераспределение элементов (в том числе —  $^{137}\text{Cs}$ ) на примере типичного для Полесья сопряжения элементарных ландшафтов в зоне контакта с болотными комплексами. Исследования проводились в Мозырском Полесье, представленном вторичными водно-ледниковыми умеренно дренированными ландшафтами с сосновыми, сосново-широколиственными лесами на дерново-подзолистых, местами — заболоченных почвах. Анализ ландшафтной структуры Мозырского Полесья позволил установить частую смену ландшафтных условий, связанную с высокой заболоченностью территории. Для района исследования характерно сочетание дренированных и слабодренированных или не дренированных видов урочищ. Это определило выбор эталонной катены, репрезентативной для Мозырского Полесья.

Исследования проводились с помощью метода ландшафтно-геохимического профилирования, имеющего ряд важных преимуществ. Во-первых, данный метод исследования позволяет изучать геохимические сопряжения, охватывающие полный спектр элементарных ландшафтов по гидроморфности, от элювиального до супераквального. Это дает возможность установить локальные градиенты перераспределения элементов, связать их с ландшафтной структурой катены, что позволяет объяснять миграционные особенности элементов. Сравнение катен, заложенных в различных природно-антропогенных условиях, в том числе — и по уровню радиоактивного загрязнения, позволяет выполнять корректный пространственно-временной анализ поведения агентов техногенного загрязнения.

В ходе изучения ландшафтно-геохимических особенностей полесского типа ландшафтов и его влияния на перераспределение  $^{137}\text{Cs}$  было детально исследовано сопряжение элементарных ландшафтов (рис. 1, классификация элементарных ландшафтов дана по А. И. Перельману): элювиального (Э) Н-класса на оловых песках (е) (индекс элементарного ландшафта «Н/Э/е»),

Ряд	БИОГЕННЫЙ				
Группа	ЛЕСНЫЕ			ЛУГОВЫЕ И БОЛОТНЫЕ	
Тип	ВТОРИЧНЫЕ МЕЛКОЛИСТВЕННЫЕ ЛЕСА			БОЛОТНЫЕ	
Семейство	Ландшафты сосново-березовых лесов			Ландшафты лесо-болотные	Ландшафты переходных болот
Класс	Н			Н-Н-Fe	Н-Fe
Род	Э	ТЭ	ТА	ТС	С
Вид	На эоловых песках			На флювиогляциальных песках	



**Условные обозначения**

**Почвы и растения**

- дерново-подзол песчаный иллювиально-железистый
- дерново-подзолисто-глеевая иллювиально-гумусовая
- торфяно-перегнойно-подзолисто-глеевая иллювиально-гумусовая
- торфянисто-подзолисто-глеевая иллювиально-гумусовая
- перегнойно-подзолисто-глеевая иллювиально-гумусовая

- сосна
- багульник
- осока
- береза
- черника
- мятлик
- можжевельник
- папоротник
- зеленые мхи
- крушина
- ситник
- границы геохимического барьера

Рис. 1. Ландшафтно-геохимический профиль «Белое Болото» (названия почв даны в соответствии с классификацией почв России)

трансэлювиального (ТЭ) Н-класса на эоловых песках («Н/ТЭ/е»), трансаккумулятивного (ТА) Н-класса на эоловых песках («Н/ТА/е»), трансупераквального (ТС) Н—Н—Fe класса на флювиогляциальных (fg) песках («Н—Н—Fe/ТС/fg») и супераквального (С) Н—Fe класса на флювиогляциальных песках («Н—Fe/С/fg») [3]. Проанализированы ландшафтная структура катены, особенности распределения в

почвенном покрове окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных условий, органического углерода; изучены валовый химический состав почв и наземного покрова, образованного фитомассой, мхом, опадом, гидрохимические особенности катены. Детально исследовано содержание  $^{137}\text{Cs}$  во всех компонентах ландшафта. С использованием метода сопряженного анализа создана географическая модель, характеризующая и, отчасти, объясняющая некоторые миграционные особенности  $^{137}\text{Cs}$  в полесских ландшафтах.

Краевые зоны болот (Н—Н—Fe/TC/fg), занимающие экотонное (переходное) положение между элювиальными и супераквальными элементарными ландшафтами, являются областями повышенной динамичности миграционных условий и параметров миграции химических элементов. Данные геосистемы играют важную роль в БИКе. Все это, а также обособленность их в ландшафтной структуре стало основанием для выделения переходных ландшафтов в барьерные геосистемы. Барьерные геосистемы являются самостоятельным элементом ландшафтно-геохимической структуры (т. е. выделяются в отдельный элементарный ландшафт) и демонстрируют свойства комплексного барьера, охватывающего несколько компонентов ландшафта [4].

На активность происходящего в барьерных геосистемах перераспределения элементов между компонентами ландшафта указывает установленный эффект барьерной геохимической инверсии, при котором ассоциация элементов концентрируется на геохимических барьерах одного типа (например, физико-химических) и рассеивается на пространственно совмещенных с ними барьерах другого типа (фитоценологических). Инверсионность такого распределения фиксируется при сопряженном изучении граничащих геосистем (например, холма и болота) и барьерной геосистемы [5]. Барьерная геохимическая инверсия показывает, что между биологическим круговоротом химических элементов и ландшафтной структурой территории существует тесная связь и взаимообусловленность.

Установлена концентрация  $^{137}\text{Cs}$  на фитоценологических биогеохимических барьерах, а также инверсионность в распределении радионуклида между компонентами ландшафта в барьерной геосистеме. Увеличение интенсивности биологического поглощения  $^{137}\text{Cs}$  в 3—6 раз, рост его запаса в наземном покрове краевой зоны болота в 2—3 раза свидетельствует об активном биогенном выносе элемента из почвы барьерной геосистемы [3].

Расчет медианной скорости вертикальной миграции  $^{137}\text{Cs}$  в почвах элементарных ландшафтов показал, что в торфяно-перегнойно-подзолисто-глеевой почве барьерной геосистемы скорость вертикальной миграции максимальная и составляет 0,3—0,4 см/год, в дерново-подзоле Н/Э/е скорость составляет 0,1 см/год, в торфянисто-подзолисто-глеевой Н—Fe/C/fg — 0,2 см/год [3]. В структуре физико-химических форм  $^{137}\text{Cs}$  доминирует прочно фиксированная форма во всех элементарных ландшафтах, которая составляет в Н/Э/е — 91—92%; Н—Н—Fe/TC/fg — 75-85%; Н—Fe/C/fg — 91-95%. Доля водорастворимой, обменной и подвижной форм  $^{137}\text{Cs}$  в торфяно-перегнойно-подзолисто-глеевой почве составляет 15—25%. Более высокое содержание миграционно активных форм  $^{137}\text{Cs}$  в почве барьерной геосистемы согласуется с повышением медианной скорости вертикальной миграции и объясняет интенсивный биогенный вынос радионуклида из данной геосистемы.

Изучение удельной активности вод (поверхностных и почвенно-грунтовых) показало, что содержание  $^{137}\text{Cs}$  во взвешях поверхностных вод супераквального комплекса приблизительно на порядок выше, чем во взвешях почвенно-грунтовых вод барьерной геосистемы, в то время, как отфильтрованная вода в обеих пробах имеет близкую удельную активность. На этом основании высказано предположение о том, что  $^{137}\text{Cs}$  выносятся из супераквальных комплексов во взвешенном состоянии, прочно связываясь с органическим веществом. Исследования И. В. Молчановой и др. показали, что органическое вещество, прочно сорбирующее  $^{137}\text{Cs}$  и переходящее в раствор при высоких уровнях обводненности, способствует увеличению подвижности радионуклида [6]. При этом наблюдается уменьшение со временем скорости вертикальной миграции  $^{137}\text{Cs}$  в супераквальном комплексе Н—Fe/C/fg, которое, вероятно, связано с постепенным выносом миграционно активных форм  $^{137}\text{Cs}$  во взвешях в поверхностные воды.

$^{137}\text{Cs}$  относится к малоподвижным в почве радионуклидам, поэтому в его миграции в ландшафтах важная роль принадлежит БИКу [7]. Геосистемы, характеризующиеся наиболее интенсивным биогенным выносом, играют важную роль в вовлечении  $^{137}\text{Cs}$  в БИК. Наши исследования позволяют предположить, что в ходе вторичного перераспределения из Н—Fe/C/fg-комплексов  $^{137}\text{Cs}$  выносятся

преимущественно механически, отчасти — биогенным путем, в барьерных геосистемах Н—Н—Fe/ТС/fg наиболее активен биогенный вынос. Н/Э/е — комплексы характеризуются наименьшей миграционной активностью  $^{137}\text{Cs}$ : и механической, и физико-химической, и биогенной.

В ходе исследования установлено, что среднее содержание  $^{137}\text{Cs}$  в геосистеме катены уменьшается на 7—10 % в год (тенденция уменьшения показана на рис. 2 линией). При этом за счет естественного распада удельное содержание уменьшается на 2,3 % в год, еще 5—8%  $^{137}\text{Cs}$  вовлекаются в биологический круговорот более высокого ранга. По данным А. В. Кудельского и соавт. [8], основным фактором деконтоминации является радиоактивный распад, самоочищение полесских ландшафтов за счет выноса с поверхностным стоком незначительно. У нас же вклад радиоактивного распада в 2—3 раза меньше, чем вынос. Однако здесь нет противоречия, поскольку рассматриваемая катена в каскадной системе долины реки Припять занимает элювиальное положение (она находится на междуречье) и характеризуется общим снижением активности. Следовательно, должны существовать геосистемы с общим аккумулярующим эффектом по отношению к  $^{137}\text{Cs}$ . То, что вынос с биогеохимическими процессами превысил уровень естественного радиоактивного распада  $^{137}\text{Cs}$ , свидетельствует об активном процессе перераспределения радионуклида в полесском типе ландшафтов и в какой-то степени характеризует его интенсивность. В этой связи представляется, что  $^{137}\text{Cs}$  можно рассматривать как метку современных ландшафтно-геохимических процессов.

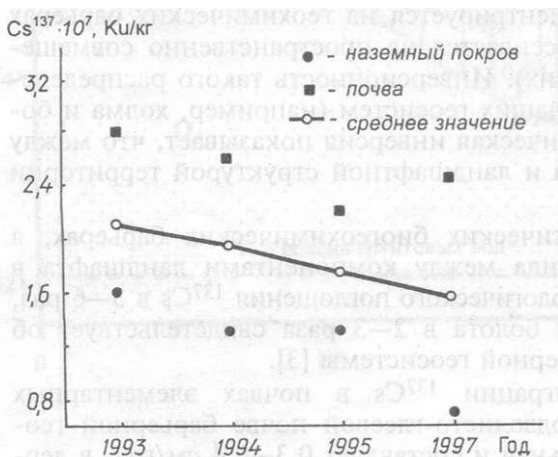


Рис. 2. Динамика удельной активности в ландшафтно-геохимическом профиле

Изучение ландшафтов Мозырского Полесья показало, что перераспределение  $^{137}\text{Cs}$  происходит в соответствии с пространственной дифференциацией ландшафтов. Высокой интенсивностью биогенного выноса  $^{137}\text{Cs}$  характеризуется барьерная геосистема, что связано с более высоким содержанием миграционно активных форм  $^{137}\text{Cs}$  в торфяно-перегнойно-подзолисто-глеевых почвах. Установлена устойчивая тенденция уменьшения средней удельной активности геосистемы, занимающей элювиальное положение в каскадной системе долины реки Припяти, на 7—10% в год. Дальнейшее системное изучение особенностей перераспределения и локализации  $^{137}\text{Cs}$  позволит приблизиться к балансовой оценке  $^{137}\text{Cs}$  в ландшафтах. Получить такую оценку важно не только для  $^{137}\text{Cs}$ , но и для других элементов-загрязнителей, прежде всего — Рb, Си, Со, As, Мо и др. с тем, чтобы проследить эффекты

взаимоусиливающего действия (синергизма) радиоактивного и других видов техно-генного загрязнения. При этом методологически обоснованное изучение локальных участков ландшафтов — барьерных геосистем — позволяет получать высокоинформативные показатели, характеризующие значительные по площади территории.

### Summary

Multiyear investigations revealed lateral redistribution of  $^{137}\text{Cs}$  in geochemical conjugation of elementary landscapes of Mogyr Palesse. The systematic study allowed to separate the zones of accumulation and of prevalently biogenic and mechanical transport of  $^{137}\text{Cs}$  and to establish their correlation with landscape-geochemical structure of territory.

## Литература

1. Перельман А. И., Борисенко Е. Н., Воробьев А. Е. и др. // *Международ. симпоз. по прикладной геохимии стран СНГ: Тез. докл. М., 1997. С. 137.*
2. Марцинкевич Г. И., Клицунова Н. К., Хараничева Г. Т. и др. *Ландшафты Белоруссии / Под ред. Г. И. Марцинкевич, Н. К. Клицуновой. Мн., 1989.*
3. Страх Л. И. *Геохимические барьеры краевой зоны болота Белорусского Полесья и концентрация на них <sup>137</sup>Cs: Автореф. дис. ... канд. географ, наук. М., 1999.*
4. Страх Л. И. // *Международный симпозиум по прикладной геохимии стран СНГ: Тез. докл. М., 1997. С. 204—205.*
5. Страх Л. И. // *Международный симпозиум «Геохимические барьеры в зоне гипергенеза»: Тез. докл. 25—29 октября 1999 г. Москва. М., 1999. С. 146—151.*
6. Молчанова И. В., Караваева Е. Н. // *Радиоэкологические исследования почв и растений: Тр. ин-та экологии растений. Свердловск, 1975. С. 13—15.*
7. Якушев Б. И., Мартинович С. Б., Будкевич Т. А. и др. // *Вестн АН БССР. Сер. бiял. навук. 1991. № 3. С. 54-62.*
8. Кудельский А. В., Пашкевич В. И., Петрович А. А., Жукова О. М. // *Водные ресурсы. 1997. Т. 24, № 3. С. 304-310.*