

ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ  
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH  
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE

*З. І. Шинкаренко  
Григор  
Глиба*

**ЯДЕРНА ФІЗИКА  
ТА ЕНЕРГЕТИКА**

**NUCLEAR PHYSICS  
AND ATOMIC ENERGY**

**Т. 13, № 3**

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Виходить 4 рази на рік

Заснований у березні 1999 р.

Київ 2012

Науковий журнал "Ядерна фізика та енергетика" публікує роботи з ядерної фізики, атомної фізики, радіаційної фізики, радіобіології та радіоекології, техніки та методів експерименту. У журналі публікуються статті, які є завершеними роботами, що містять нові результати теоретичних і експериментальних досліджень і становлять інтерес для наукових співробітників, аспірантів, магістрів, а також студентів старших курсів вузів.

Статті приймаються до друку українською, російською та англійською мовами.

The scientific journal "Nuclear Physics and Atomic Energy" presents the publications on Nuclear Physics, Atomic Energy, Radiation Physics, Radiobiology and Radioecology, Engineering and Methods of Experiment. The journal includes articles which are completed works containing the new results of theoretical and experimental researches and are of interest for the scientific collaborators, graduate students, and for the senior students.

Articles are accepted for the publication in Ukrainian, Russian and English.

Друкується за постановою вченої ради інституту від 23.10.2012

Головний редактор *I. M. Vyshnevskiy*

Заступник головного редактора *V. I. Sugakov, V. V. Tryshyn*

Адміністративний секретар *V. P. Verbytskyi*

Члени редакційної колегії:

*L. A. Bulavin, A. P. Voiter, V. A. Gaychenko, D. M. Grodzynskiy, I. M. Gudkov, O. O. Klyuchnykov, A. M. Dovbnya, I. P. Drozd, M. O. Druzhyna, O. M. Egorov, I. S. Yermeev, V. T. Kupryashkin, Yu. O. Kutlakhmedov, Ya. I. Kolesnychenko, V. M. Kolomiyets, V. M. Pugatch, A. T. Rudchik, V. I. Slisenko, V. Yu. Storizhko, L. L. Lytvynskiy, P. G. Lytovchenko, I. M. Neklyudov, V. M. Pavlovich, V. A. Plujko, G. I. Prymenko, V. M. Pavlovych, V. A. Plujko, A. T. Rudchik, V. I. Slisenko, V. Yu. Storizhko*

Chief Editor *I. M. Vyshnevskiy*

Editor-in-chief *V. I. Sugakov, V. V. Tryshyn*

Secretary *V. P. Verbytskyi*

Editorial Board:

*L. A. Bulavin, O. V. Demyanov, A. M. Dovbnya, I. P. Drozd, M. O. Druzhyna, O. M. Egorov, D. M. Grodzynskiy, I. M. Gudkov, O. O. Klyuchnykov, Ya. I. Kolesnychenko, V. T. Kupryashkin, Yu. O. Kutlakhmedov, A. I. Lypyska, P. G. Lytovchenko, L. L. Lytvynskiy, O. O. Klyuchnykov, V. M. Pavlovych, V. A. Plujko, G. I. Prymenko, V. M. Pugatch, A. T. Rudchik, V. I. Slisenko, V. Yu. Storizhko, A. P. Voiter, I. S. Yermeev*

Засновник і видавець Інститут ядерних досліджень НАН України  
реєстраційне посвідчення державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації КВ № 10666 від 24.11.05

Додаток до журналу та видавця:

Інститут ядерних досліджень НАН України,  
проспект Науки, 47, м. Київ, 03680  
телефон: (380-44) 525-1456  
(380-44) 525-4463  
e-mail: [interdep@kinr.kiev.ua](mailto:interdep@kinr.kiev.ua)  
веб-сайт: <http://jnrae.kinr.kiev.ua>  
ISSN 2074-0565 (Online)

Editor's address:

Institute for Nuclear Research,  
National Academy of Sciences of Ukraine,  
prospekt Nauky, 47, Kyiv, 03680, Ukraine  
tel.: (380-44) 525-1456  
fax: (380-44) 525-4463  
e-mail: [interdep@kinr.kiev.ua](mailto:interdep@kinr.kiev.ua)  
Webside: <http://jnrae.kinr.kiev.ua>  
ISSN 2074-0565 (Online)

## ЗМІСТ

70-річчя члена-кореспондента НАН України Володимира Михайловича Коломійця.....	219
---	-----

### ЯДЕРНА ФІЗИКА

Екранирование в процессе ионизации атома при аннигиляции позитронов, интенсивных в $\beta^+$ -распаде* Н. Федоткин.....	223
Fragmentation Fission in Neutron-rich Uranium and Thorium Nuclei N. Panda, M. Bhuyan, S. K. Patra.....	228
Енергетична залежність розсіяння ядер ${}^6\text{Li} + {}^{16}\text{O}$ та ізотопічні відмінності каналів взаємодії ядер ${}^{6,7}\text{Li} + {}^{16}\text{O}$ Т. Рудчик, Р. М. Зелінський, В. А. Плюйко, А. П. Ільїн, Вал. М. Пірнак, О. А. Понкратенко, А. А. Рудчик, В. В. Улещенко.....	237
Еластичне та непружне розсіяння іонів ${}^{14}\text{N}$ ядрами ${}^7\text{Li}$ при енергії 80 MeV Т. Рудчик, О. В. Геращенко, А. А. Рудчик, Є. І. Коцый, С. Клічевські, І. Русек, С. Ю. Межевич, В. А. Плюйко, О. А. Понкратенко, Вал. М. Пірнак, П. Ільїн, В. В. Улещенко, Р. Сюдак, Я. Хоїньські, Б. Чех, А. Щурек.....	246
Изменение параметров разложения эффективного радиуса и анализ элементарных данных по рассеянию нейтронов протонами в области низких энергий В. М. Бабенко, Н. М. Петров.....	255

### ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА

Изменение двухзонных электроядерных систем В. М. Бабенко, В. И. Гулик, В. Н. Павлович.....	266
---	-----

### ГЕОЛОГІЧНА ФІЗИКА

Изменение радиационной стойкости гранитоидных пород Украины В. М. Неклюдов, Б. В. Борц, Е. П. Березняк, Л. А. Саенко.....	276
--	-----

### БІОЛОГІЯ ТА РАДІОЕКОЛОГІЯ

Изменение кинетики ${}^{131}\text{I}$ за умови одноразового надходження до організму В. М. Бабенко, А. І. Липська, Л. К. Бездробна, В. А. Шитюк, О. А. Сова.....	283
Изменение радиологических процессов методами теории надежности В. М. Бабенко, Кутлахмедов, И. В. Матвеева, А. Г. Саливон, Григорьевская, В. В. Родина, А. Г. Бевза.....	289

Зміст було представлено на 4-й Міжнародній конференції "Актуальні проблеми ядерної фізики та енергетики", 3 - 7 вересня 2012 р., Київ, Україна.

Ю. А. Кутлахмедов<sup>1</sup>, И. В. Матвеева<sup>2</sup>, А. Г. Саливон<sup>1</sup>,  
С. А. Пчеловская<sup>1</sup>, В. В. Родина<sup>1</sup>, А. Г. Бевза<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины, Киев*  
*ациональный авиационный университет, Институт экологической безопасности, Киев*

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕТОДАМИ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Разрабатываемая нами теория и модели радиоемкости экосистем, с использованием теории и моделей надежности, позволили адекватно описать закономерности миграции и распределения радионуклидов для разных типов экосистем: водосмол и суши. Теория и модели радиоемкости позволяют строго определять критические элементы экосистемы, где следует ожидать временного или конечного депонирования радионуклидов. Подход на основе изменения биогенных трассеров позволяет в рамках теории и моделей радиоемкости и надежности системно оценивать процессы миграции радионуклидов, определять дозовые нагрузки на биоту экосистем и выделять фундаментальные параметры скоростей перераспределения радионуклидов и других процессов в разных типах экосистем.

**Ключевые слова:** надежность экосистем, радиоемкость, радионуклиды, экологическая емкость.

### Введение

Экспериментальными и теоретическими исследованиями установлено, что чем выше параметр радиоемкости биоты в экосистеме, тем выше уровень благополучия и надежность биоты в экосистеме [1]. Установлено, что снижение фактора радиоемкости в растительной биоте при воздействии химических поллютантов и при гамма-облучении растений, четко коррелирует со снижением благополучия и надежности биоты. Цель и задача исследования показать, что факторы радиоемкости способны выступать в качестве меры надежности каждого элемента экосистемы и экосистемы в целом. Чем выше фактор радиоемкости и/или вероятность миграции трассера (<sup>137</sup>Cs) в каждом из элементов экосистемы, тем выше надежность составных частей экосистемы, рассматриваемой как экосистема. Транспорта радионуклидов от окружающей среды к человеку.

### Экспериментальная оценка использования фактора радиоемкости по трассеру <sup>137</sup>Cs в качестве индикатора надежности экосистемы

Целью раздела показать принципиальную возможность перспективность использования данных факторов в современной радиэкологии. Для оценки благополучия экосистем используются различные показатели и параметры: разнообразия видов до биомассы и численности. Важная особенность этих показателей – практически все они начинают изменяться только тогда, когда

организмы претерпевают значительные изменения. Практически очень важно иметь показатели и параметры, которые позволяли бы опережающим образом оценивать состояние экосистем и особенности распределения и перераспределения поллютантов в реальных экосистемах и ландшафтах. На основе теоретического анализа и экспериментальных исследований нами предложено использовать такую меру, как радиоемкость и/или фактор радиоемкости экосистем и ее составляющих. Радиоемкость определяется как предельное количество поллютантов (радионуклидов), которое может аккумулироваться в биотических компонентах экосистемы, без нарушения их основных функций (воспроизводство биомассы и кондиционирование среды обитания). Фактор радиоемкости определяется как доля поллютантов, которые накапливаются в том или ином компоненте экосистемы [2, 3]. Было предложено для оценки благополучия и надежности экосистем использовать в качестве определяющих два параметра – биомасса видов в экосистеме и их способность очищать-кондиционировать среду от отходов жизнедеятельности и поллютантов, попадающих в экосистему [1].

### Оценка радиационной емкости экосистем по величинам предельно допустимых дозовых нагрузок

Цель раздела – используя систему зонирования дозовых нагрузок на биоту экосистем, провести оценку допустимых уровней радионуклидного загрязнения биоты с использованием моде-

© Ю. А. Кутлахмедов, И. В. Матвеева, А. Г. Саливон,  
С. А. Пчеловская, В. В. Родина, А. Г. Бевза, 2012

Амиро. Исследованиями Г. Г. Поликарпова и Г. Цыцугиной [4] установлены диапазоны допустимых нагрузок на организмы, при которых не проявляются радиационные эффекты. Из табл. 1 видно, что по настоящему существенными являются дозы в зоне явных экологических эффектов, которые соответствуют мощностям доз 0,4 Гр/год для животных и 4 Гр/год для наземных растений и гидробионтов. После достижения таких мощностей могут проявляться процессы угнетения и

подавления роста организмов в экосистемах. Поэтому на данном этапе развития представлений об экологических нормативах для допустимых дозовых нагрузок на биосистемы предлагается установить, как приемлемую величину, для растений и гидробионтов в качестве предела мощности дозы 4 Гр/год и 0,4 Гр/год для животных. Это достаточно консервативная и осторожная оценка также и для предельной радиоемкости биологической составляющей экосистем.

Таблица 1. Шкала дозовых нагрузок и зон в экосистемах [4]

Дозового класса	Зона	Мощность дозы, Гр/год
	Зона радиационного благополучия	< 0,001 - 0,005
	Зона физиологической маскировки	0,005 - 0,05
	Зона экологической маскировки	
	а) наземные животные	0,05 - 0,4
	б) гидробионты и наземные растения	0,05 - 4
	Зона явных экологических эффектов	
	а) драматических для наземных животных	> 0,4
	б) драматических для гидробионтов и наземных растений	> 4
	в) катастрофических для животных и растений	100

Таблица 2. Величины значений дозовых коэффициентов для биоты экосистем по некоторым радионуклидам [5]

Элемент	Внутреннее облучение, Гр/год/Бк/кг	Внешнее облучение			
		Вода, Гр/год/Бк/м <sup>3</sup>	Воздух, Гр/год/Бк/м <sup>3</sup>	Почва, Гр/год/Бк/кг	Вегетация, Гр/год/Бк/кг
Сезон	$4,1 \cdot 10^{-6}$	$2,7 \cdot 10^{-9}$	$1,72 \cdot 10^{-6}$	$4,02 \cdot 10^{-6}$	$1,72 \cdot 10^{-6}$
Зима	$2,88 \cdot 10^{-8}$	0	0	0	0
Весна	$3,44 \cdot 10^{-6}$	$1,76 \cdot 10^{-9}$	$1,43 \cdot 10^{-6}$	$2,64 \cdot 10^{-6}$	$1,43 \cdot 10^{-6}$
Лето	$3,52 \cdot 10^{-6}$	$1,57 \cdot 10^{-9}$	$1,43 \cdot 10^{-6}$	$2,36 \cdot 10^{-6}$	$1,43 \cdot 10^{-6}$
Осень	$2,86 \cdot 10^{-5}$	$1,48 \cdot 10^{-10}$	$7,73 \cdot 10^{-8}$	$2,22 \cdot 10^{-7}$	$7,73 \cdot 10^{-8}$
Год	$2,64 \cdot 10^{-5}$	$3,72 \cdot 10^{-12}$	$2,35 \cdot 10^{-9}$	$5,58 \cdot 10^{-9}$	$2,35 \cdot 10^{-9}$
Год	$9,92 \cdot 10^{-7}$	$3,07 \cdot 10^{-10}$	$2,83 \cdot 10^{-7}$	$4,61 \cdot 10^{-7}$	$2,83 \cdot 10^{-7}$
Год	$1,12 \cdot 10^{-4}$	$8,91 \cdot 10^{-9}$	$6 \cdot 10^{-6}$	$1,43 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-6}$

в предельнодопустимую дозу для оценки величины радиоемкости, предельные уровни нахождения радионуклидов в биоте и их поступления в экосистему. Для этого нами предлагается использовать оценки дозовых нагрузок на биоту радионуклидов, предложенную [5] (табл. 2). Модель систематизированных значений дозовых коэффициентов радионуклидов находящихся в разных средах и биомассе рассчитаны коэффициенты, которые позволяют оценить вклад радионуклида в окружающую среду и от рядом расположенной биомассы).

### Примеры расчета предельных уровней поступления радионуклидов в различные типы экосистем

Наши первые расчеты и результаты показали [1, 3], что лимитирующая доза облучения 4 Гр/год для биоты озерной экосистемы, может быть достигнута при количестве радионуклидов (например, трассера <sup>137</sup>Cs) около 600 кБк/кг в расчете на 1 кг биомассы. Аналогичные расчеты для биоты других экосистем могут дать другие результаты. Есть все основания предполагать, что в диапазоне доз для биоты от 0 до 4 Гр/год надежность изменяется линейно от 1 до 0. Можно предложить в качестве оценки предельной радиоемкости биологической компоненты экосистемы

но, когда содержание радионуклидов в воздухе будет близким к  $\approx 600$  кБк/кг. Доза может достигать 4 Гр/год, а надежность упасть до нуля. Есть основания предполагать, что параметр радиоемкости может служить надежностью экосистемы [12, 13].

#### Расчет экологического норматива для склоновой экосистемы [6, 7]

Рассмотрим склоновую экосистему. Для каждого перехода между компонентами, на основании экспериментальных и литературных данных, рассчитаны реальные значения скоростей перемещения радионуклидов между камерами экосистемы (скорость перехода определяется как радионуклидов от запаса в камере, переходит в другую камеру в единицу времени в нашем случае за 1 год) [6]). По разработанной блок-схеме с помощью камерной модели обыкновенных дифференциальных уравнений были рассчитаны и построены графики поведения радионуклидов в разных камерах экосистемы. Видно, что в склоновой экосистеме наблюдается заметное перераспределение радионуклидов между камерами. В рассмотренном случае камера леса теряет свой запас радионуклидов. Радионуклиды перемещаются по склону и попадают в зону природопользования человека,

а в наибольшей степени концентрируются в донных отложениях озерной экосистемы. Используя данную модель, получена возможность смоделировать ситуацию с различными контрмерами [7]. Мы выбрали ряд контрмер, реальных и возможных к применению для снижения перемещения радионуклидов по склоновой экосистеме. Контрмеры вводятся в модель путем оценочного изменения скоростей перехода между камерами. Это позволяет установить эффективность и полезность применения контрмер и их комбинаций в моделях, не прибегая к их реализации [7].

Склоновая экосистема может быть рассмотрена в терминах теории надежности биосистем [6, 7] как последовательная система транспорта радионуклидов от леса вниз по склону. Считаем, что первоначально в данной экосистеме был загрязнен радионуклидами только верхний участок склона – лес. В данном подходе мерой надежности элемента-камеры в системе транспорта радионуклидов рассматривается удерживающая способность каждой из камер. Данные подобного расчета представлены в табл. 3. Здесь приведены оценки удерживающей способности каждой из камер по формуле (1). Сначала провели расчет вероятности удерживания радионуклидов для исходной склоновой экосистемы, а затем и для ситуации с применением различных контрмер.

Таблица 3. Надежность типовой склоновой экосистемы как системы транспорта  $^{137}\text{Cs}$  к человеку (озеро  $s = 1 \text{ км}^2$ ,  $H = 5 \text{ м}$ ,  $V = 5 \cdot 10^9 \text{ л}$ , донные отложения  $s = 1 \text{ км}^2$ ,  $h = 0,1 \text{ м}$ ,  $K_n = 1000$ ). Предполагается, что в лесу лежит  $1 \text{ Ки } ^{137}\text{Cs}$  (с разными контрмерами)

Вероятность сброса (без КМ), $K_d = 1$	Контрмеры				
	Пожарозащитная полоса между лесом и опушкой, $K_d = 1,5$	Дорога между лесом и опушкой, $K_d = 2$	Удаление дернины на террасе, $K_d = 10$	Подпорная стенка в грунте между террасой и поймой, $K_d = 2$	Все контрмеры одновременно
0,029	0,02	0,02	0,029	0,029	0,02
0,83	0,83	0,4	0,83	0,83	0,4
0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
0,57	0,57 (к человеку 0,4)	0,57 (к человеку 0,4)	0,12	0,57 (к человеку 0,4)	0,12
0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,72
$0,4 + 0,1$	$0,4 + 0,1$	$0,4 + 0,1$	$0,4 + 0,1$	$0,4 + 0,1$	$0,4 + 0,1$
$5 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$8,7 \cdot 10^{-4}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$
$K_d(2) = 1$	$K_d(2) = 1,4$	$K_d(2) = 5,6$	$K_d(2) = 4,5$	$K_d(2) = 1,7$	$K_d(2) = 25,9$

технологии поведения радионуклидов в склоновой экосистеме мы применили метод оценки надежности экосистемы, по способ-

ности обеспечить надежность транспорта радионуклидов между камерами [8]. Для расчетов использовали формулу (1) при оценке радиоемко-

каждой из камер (радиоёмкость здесь определяется как способность к удержанию радионуклидов в каждой из исследуемых камер).

Фактор экологической ёмкости и радиоёмкости (надежности как элемента транспорта радионуклидов) конкретного элемента экосистемы ландшафта ( $F_j$ ) определяется нами с использованием параметров скоростей перехода камерами модели [9, 13] как

$$F_j = \sum a_{ij} / (\sum a_{ij} + \sum a_{ji}), \quad (1)$$

– сумма скоростей перехода поллютант-трассеров из разных составляющих экосистемы конкретный элемент  $J$  экосистемы, состав камерной модели;  $\sum a_{ji}$  – сумма скоростей поллютантов и трассеров из исследуемых камер  $J$  в другие составляющие экосистемы, связанные с ней.

параметры скоростей переходов между камерами, провели оценку надёжности транспорта радионуклидов в склоновой экосистеме с использованием контрмер и с их использованием (табл. 3). Расчетами установлено, что каждая контрмера способна уменьшать вероятность транспорта радионуклидов (снижать надёжность системы транспорта) от 1,4 до 5,6 раз. (Это описывается коэффициентом дезактивации). Более эффективным средством снижения надёжности транспорта радионуклидов по склону является комплексное использование всех 4-х предложенных контрмер. Следует подчеркнуть, что расчёт надёжного подхода позволяет реализовать оценить и спрогнозировать

эффективность возможных контрмер и выбрать среди них самые эффективные и дешёвые для реализации. Важно, что такой анализ можно провести для любых типов экосистем, не ожидая аварийных выбросов радионуклидов и других поллютантов [9].

#### Оценка надёжности транспорта радионуклидов по каскаду Днепровских водохранилищ

После аварии на ЧАЭС произошло загрязнение территорий Беларуси, Украины и России. Практически вся загрязнённая территория лежит на водосборной площади Днепра и в результате поверхностного стока попадает в каскад Днепровских водохранилищ. По оценкам примерно 40 % стока формирует 30-километровая зона ЧАЭС, 40 % даёт территория загрязнённых областей Беларуси, остальные 20 % стока – от загрязнённых территорий Украины, где ведется хозяйственная деятельность [8]. Днепр в результате регулирования представляет собой каскад из шести больших водохранилищ и Днепро-Бугского лимана. Анализируя величину и скорость обмена воды между водохранилищами, можно видеть, что обмен составляет не более 1/30 объема в год. Это характеризует каскад как систему вяло обменивающихся водоемов. К такой системе вполне применимы методы оценки радиоёмкости, предложенные нами для оценки радиоёмкости каскадных систем водоемов [3]. Основные параметры и характеристики водохранилищ Днепра представлены в табл. 4.

Таблица 4. Характеристики и оценки параметров Днепровских водохранилищ для случая сброса  $^{137}\text{Cs}$

Водохранилище	Площадь, км <sup>2</sup>	Объем, км <sup>3</sup>	Средняя глубина, м	Толщина ила, см	Кн (вода - донные отложения)	Фактор радиоёмкости
Кременчугское	920	3,7	4	10	100	0,7
Каховское	680	2,4	4	10	50	0,6
Днепро-Бугское	2250	13,5	6	10	800	0,8
Днепропетровское	570	2,4	4	10	100	0,7
Днепро-Донецкое	410	3,3	8	10	230	0,7
Днепро-Запорожское	2150	18,2	8	10	280	0,7

Основные исходные расчетные параметры радиоёмкости отдельных водохранилищ Днепра по отношению к радионуклидам, попадающим в каскад Днепровских водохранилищ, то, что каждое из водохранилищ по отношению к радионуклидам  $^{137}\text{Cs}$  обладает высокой радиоёмкостью. Ввиду того, что каскад водохранилищ Днепра представляет собой систему вяло обменивающихся водоемов, можно применить к ней простую формулу [3] для расчета общей радиоёмкости. Из

этой формулы следует, что фактор радиоёмкости каскада водохранилищ равен  $F_k = 0,9994$ . (Формула расчета радиоёмкости каскада приведена в табл. 5.) Эта величина отражает чрезвычайно высокую степень радиоёмкости каскада, которая намного выше, чем радиоёмкость максимального по радиоёмкости Кременчугского водохранилища (см. табл. 4) [3].

Применение данного метода расчета надёжности к каскаду Днепровских водохранилищ позволило рассчитать надёжность каскада как сис-

удержания радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ , с учетом растущей в каскаде растительной биоты и других адаптивных процессов в ней (табл. 5).

**Таблица 5. Оценка факторов радиоемкости по  $^{137}\text{Cs}$  на примере каскада Днепровских водохранилищ в условиях адаптивного ответа биоты и без него (оценка надежности каскада водохранилищ при участии биоты)**

Водохранилище	F (донные отложения)	F (биоты)	F <sub>1</sub> (суммарное)
Киевское	0,7	0,1	0,8
Капневское	0,6	0,08	0,68
Кременчугское	0,9	0,04	0,94
Запорожское	0,7	0,16	0,86
Днепро-Каховское	0,7	0,1	0,8
Каховское	0,8	0,14	0,94

Надежность каскада:  $P = P(1 - F)$ .  
 Без биоты) = 0,9992.  
 (с биотой и адаптацией) = 0,999993.  
 пропускной способности каскада в

данная оценка радиоемкости каскада была в первый послеаварийный период трудно точно спрогнозировать распределение радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  по каскаду в его отложениях и воде и предсказать, что часть радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  будет прочтена в илах Киевского водохранилища. Расчеты и оценка сделаны для случая разового поступления радионуклидов в каскад. Для системного поступления радионуклидов модель должна быть модифицирована с использованием дифференциальных уравнений. Но, тем не менее, 25 лет спустя после аварии различия в радионуклидах воды Киевского и Каховского водохранилищ составляют те же два-три порядка по мере после аварии. Установлено, что каскад без биоты пропускает -0,008 радионуклидов, а с биотой и ее адаптацией -0,0007, т. е. в 100 раз меньше. Для системного поступления радионуклидом,  $^{90}\text{Sr}$ , расчеты ведутся по-другому (табл. 6). Дело в том, что фактор радиоемкости водохранилищ каскада, из-за высокой концентрации в воде, не превышает значения 1. В этом случае фактор общей радиоемкости каскада для  $^{90}\text{Sr}$  не превышает 0,95. Это свидетельствует о подавляющем депонировании радионуклидов в отложениях, и их содержание в воде практически не более чем в 10 раз отлича-

ется в Киевском и Каховском водохранилищах [3]. Это подтверждается реальными данными наблюдений за 1987 - 1993 гг. Таким образом, данный результат продемонстрировал эвристичность анализа реальных больших и малых экосистем с использованием представлений о радиоемкости [2, 3, 6, 7].

**Таблица 6. Оценка факторов радиоемкости по  $^{90}\text{Sr}$  на примере каскада Днепровских водохранилищ в условиях адаптивного ответа биоты и без него (оценка надежности каскада водохранилищ при участии биоты)**

Водохранилище	F (донные отложения)	F (биоты)	F <sub>1</sub> (суммарное)
Киевское	0,3	0,15	0,35
Капневское	0,2	0,1	0,3
Кременчугское	0,5	0,2	0,7
Запорожское	0,4	0,2	0,6
Днепро-Каховское	0,4	0,18	0,48
Каховское	0,5	0,16	0,66

**Надежность транспорта радионуклидов в локальной аграрной экосистеме**

Рассмотрим ситуацию в транспорте радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  в типовой агроэкосистеме на примере с. Галузия Маневического района Волынской области [10, 11]. На основе разработанной нами камерной модели данной экосистемы [9 - 11] проведены оценки по формуле (1) параметров надежности компонент агроэкосистемы (4-х пастбищ, табл. 7) как поставщиков радионуклидов к человеку через продукты питания (молоко и мясо). Далее нами рассмотрена экосистема села как параллельно функционирующее множество пастбищ [10, 14]. Получив исходные оценки дозовых нагрузок мы использовали этот подход и для ситуации применения различных контрмер, направленных на снижение поступления радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  в молоко. Контрмеры введены в расчет через оценку изменения параметров скоростей перехода радионуклидов между компонентами в камерной модели для учета влияния контрмер.

Таким образом расчетом установлено, что с помощью реальных контрмер возможно почти в 90 раз затормозить поступление радионуклидов от пастбищ с молоком коров к человеку. Это показывает возможность и перспективу использования надежностного подхода к оценке потоков радионуклидов от агроэкосистемы к человеку и возможность теоретического расчета перспектив использования разного типа контрмер.



Таблица 7. Оценка надежности локальной агроэкосистемы с. Галузия системы транспорта радионуклидов <sup>137</sup>Cs от агроэкосистем к человеку с учетом возможных контрмер

№ пастбища	Кд(1)	№ пастбища	Запас радионуклидов, Бк (10 <sup>7</sup> )	Надежность общего транспорта радионуклидов	Переход радионуклидов, Бк (10 <sup>7</sup> )	Суммарный переход радионуклидов, Бк (10 <sup>7</sup> ) по пастбищам (коллективная доза) и Кд	Кд(2) по надежности
1	1	1	21	0,052	3	8 (1,6 чел.-Зв) Кд = 1	1
		2	62	0,044	2,6		
		3	1,1	0,056	1,5		
		4	4,1	0,074	3		
2	2	1	21	0,026	0,56	5 (0,96 чел.-Зв) Кд = 1,7	1,74
		2	62	0,022	1,4		
		3	1,1	0,041	1		
		4	4,1	0,044	1,8		
3	3	1	21	0,0185	0,4	2,9 (0,6 чел.-Зв) Кд = 2,7	2,75
		2	62	0,014	0,7		
		3	1,1	0,033	0,7		
		4	4,1	0,030	1,1		
10	10	1	21	0,0057	0,1	0,12 (0,024 чел.-Зв) Кд = 66,7	69
		2	62	0,0051	0,3		
		3	1,1	0,0134	0,3		
		4	4,1	0,0108	0,05		
4	4	1	21	0,027	0,7	4,4 (0,88 чел.-Зв) Кд = 1,8	1,8
		2	62	0,025	1,5		
		3	1,1	0,0206	0,4		
		4	4,1	0,045	1,9		
5	5	1	21	0,0497	1,1	2,2 (0,44 чел.-Зв) Кд = 3,7	4
		2	62	0,0426	2,6		
		3	1,1	0,05	1,1		
		4	4,1	0,0709	3		
2 · 10 + 80	2 · 10 + 80	1	21	0,025	0,04	0,08 (0,016 чел.-Зв) Кд=100	91,7
		2	62	0,0042	0,001		
		3	1,1	0,019	0,0006		
		4	4,1	0,023	0,0002		

**Проблемы надежности ландшафтных экосистем [12]**

Проблему представляют реальные трудности всегда оценки параметров радиоемкости ландшафта к большим территориям, где действуют системы факторов, влияющих на перенос радионуклидов по биотическим и абиотическим компонентам экосистем. Определены факторы влияния на параметры ландшафта – крутизна склонов, тип почвенного покрытия поверхности, скопления почв. Известно из натуральных процессов движения радионуклидов в ландшафтных системах и процессов эрозии и аккумуляции в результате действия поверхностного стока, что скорость стока резко возрастает с крутиз-

ной склона. По нашим оценкам и литературным данным, при величине крутизны склона 1 - 3° вероятность стока за год составляет 0,01 - 0,05 от запаса на данном участке склона, а при крутизне склона 30° вероятность стока радионуклидов и других поллютантов может достигать значений 0,7 - 0,9 [13, 14].

Опираясь на эти представления и модели оценки радиоемкости и надежности отдельных элементов ландшафта в плане транспорта по нему радионуклидов, с помощью аналитической ГИС технологии [13] для конкретного полигона (заказник «Лесники» в районе Конча-Заспа возле Киева) нами была построена карта распределения параметра радиоемкости. Был также приведен расчет фактора радиоемкости для исследуемого ландшафта.

но, что со временем после выпадений радионуклиды концентрируются в отдельных элементах ландшафта. Чем выше радиоемкость, тем выше удерживающая способность данного элемента ландшафта и степень аккумуляции радионуклидов. Наиболее выражен этот эффект в элементах болота, где и отмечено наибольшее значение фактора радиоемкости [13].

### Выводы

Теория и модели радиоемкости экосистем с применением моделей надежности позволили описать закономерности миграции и распространения радионуклидов для разных типов водоемов и суши. Теория и модели надежности позволяют строго определять критические элементы экосистемы, где следует ожидать временного или конечного депонирования радионуклидов. На основе шкалы дозовых нагрузок на экосистемы на их элементы удалось оценить предельные концентрации радионуклидов (экологические нормативы), выше которых можно ожидать заметного влияния на структуру, биологические характеристики и параметры радиоемкости экосистем.

3. Закономерности перераспределения радионуклидов-трассеров в разных типах экосистем, описываемые моделями радиоемкости и надежности, позволяют установить экологические нормативы на предельно допустимые сбросы и выбросы радионуклидов в конкретные виды экосистем.

4. Подход на основе применения биогенных трассеров позволяет в рамках теории и моделей радиоемкости и надежности одновременно оценивать процессы миграции радионуклидов, определять дозовые нагрузки на биоту экосистем и устанавливать фундаментальные параметры скоростей перераспределения радионуклидов и других поллютантов в разных типах экосистем, включая ландшафты.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Корогодин В.И., Корогодин В.И., Кутлахмедов Ю.А., Матвеева И.В.* Radiocapacity of Ecosystems // *Вісн. Нац. авіац. ун-ту.* - 1997. - 5 (1). - Р. 25 - 35.
2. *Корогодин В.И.* О распределении радиоактивных загрязнений в медленно обмениваемом водоеме // *Мед. радиология.* - 1960. - № 1. - С. 67 - 73.
3. *Корогодин В.И., Кольцов В.В., Матвеева И.В.* Основы радиоэкологии. - К.: Вища шк., 2003. - 128 с.
4. *Корогодин В.И., Цыцугина В.Г.* Гидробионты в условиях аварии на Кыштыме и в Чернобыле // *Экологическая биология и радиэкология.* - 1995. - № 4. - С. 536 - 548.
5. *ICRP (1992): Radiological Dose Conversion Coefficients for Generic Non-human Biota, Used for Assessing Potential Ecological Impacts // J. Environ. Health Perspect.* - 1992. - Vol. 35, No. 1. - P. 37 - 51.
6. *Корогодин В.И., Петрусенко В.П.* Оцінка і прогнозування розподілу радіонуклідів у типовій екосистемі водно-болотних ландшафтів України // *Вісн. Нац. авіац. ун-ту.* - 2006. - № 2. - С. 134 - 136.
7. *Корогодин В.И., Петрусенко В.П.* Аналіз впливу радіоактивних контрзаходів для захисту екосистем водно-болотних ландшафтів методом камерних моделей // *Вісн. Нац. авіац. ун-ту.* - 2006. - № 4. - С. 163 - 165.
8. *Гродзинский Д.М., Коломиец О.Д., Гудков И.И., Корогодин В.И., Корогодина В.И., Корогодина Ю.А.* Формирование радиобиологической реакции растений. - К.: Наук. думка, 1984. - 216 с.
9. *Матвеева И.В.* Дослідження та оцінювання надійності систем транспорту радіонуклідів у локальній агроекосистемі // *Вісн. Нац. авіац. ун-ту.* - 2011. - № 2(47). - С. 148 - 154.
10. *Кутлахмедов Ю.А., Матвеева И.В., Зайтов В.Р.* Моделирование радиоэкологических процессов методом камерных моделей на примере села в Волынской области // *Там же.* - 2005. - № 3. - С. 173 - 176.
11. *Кутлахмедов Ю.А., Матвеева И.В., Исаенко В.Н.* Особенности радиоэкологических процессов в селе Тернопольской области, оцененных по методу камерных моделей // *Там же.* - 2006. - № 2. - С. 126 - 128.
12. *Кутлахмедов Ю.А., Корогодин В.И., Родина В.В. и др.* Теория и модели радиоемкости в современной радиоэкологии // *Сб. материалов Междунар. конф. «Радиоэкология: итоги, современной состояние и перспективы».* - М., 2008. - С. 177 - 193.
13. *Гродзинский Д.М., Кутлахмедов Ю.О., Михеев О.М., Родина В.В.* Методи управління радіоємністю екосистем / Під ред. акад. Д. М. Гродзинського. - К.: Фітосоціонер, 2006. - 172 с.
14. *Кутлахмедов Ю.О., Войцицкий В.М., Хижняк С.В.* Радиобиология: Пidrуч. - К.: Київ. ун-г, 2011. - 544 с.

Кутлахмедов, И. В. Матвеева, А. Г. Саливон, С. А. Пчеловська, В. В. Родина, А. Г. Бевза

### ВЛИЯНИЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕТОДАМИ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Теория и модели радиоемкости экосистем, с использованием теории и моделей надежности, позволили адекватно описать закономерности миграции и распространения радионуклидов для разных типов экосистем водоемов и суши. Теория радиоемкости дает возможность четко вычислять критические элементы экосистем, где следует ожидать временного или конечного депонирования радионуклидов. Подход на основе застосування біогенних трасерів дає змогу в

теорії та моделей радіємності й надійності одночасно оцінювати процеси міграції радіонуклідів, визначити навантаження на біоту екосистем і встановлювати фундаментальні параметри швидкостей перерозподілу радіонуклідів та інших поллютантів у різних типах екосистем.

*Ключові слова:* надійність екосистем, радіємність, радіонукліди, екологічна ємність.

Yu. O. Kutlakhmedov, I. V. Matveeva, A. G. Salivon, S. A. Phelovskya, V. V. Rodina, A. G. Bevza

#### RESEARCH OF RADIOECOLOGICAL PROCESSES BY METHODS OF THE THEORY OF RELIABILITY

and the models of radiocapacity ecosystems using the theory and models of reliability have allowed adequately describe the laws of migration and radionuclides distribution for different types ecosystems of reservoirs and the theory and the models of radiocapacity allow strictly to define critical elements of ecosystem where it is necessary to effect temporary or final depoting of radionuclides. The approach on the basis of application biogenic tracers in the framework of the theory both models of radiocapacity and reliability simultaneously to estimate the rates of radionuclides migration, to define the dozes of loading on biota ecosystems, and to establish fundamental parameters of radionuclides redistribution speeds and others pollutants in different types of ecosystems.

*Key words:* reliability of ecosystems, radiocapacity, radionuclides, ecological capacity.

Надійшла 19.06.2012

Received 19.06.2012