ISSN 1609-7742

Наукові праці

Випуск 221. 2014

ІСТОРІЯ
ТЕХНІКА
ЕКОЛОГІЯ
ФІЛОЛОГІЯ
ЕКОНОМІКА
СОЦІОЛОГІЯ
ПЕДАГОГІКА
ЮРИСПРУДЕНЦІЯ
ПОЛІТИЧНІ НАУКИ
ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА
ДЕРЖАВНЕ УПРАВЛІННЯ
КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Серія

Техногенна безпека

Наукові праці

Видається з грудня 2001 року

Науково-методичний журнал

Серія
«ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА»

Випуск 221, 2014
Том 233

Постановою Президії ВАК України від 10.03.2010 року
№ 1-05/2 цей журнал включено до переліку № 112 наукових фахових видань
з технічних наук, у яких можуть публікуватися результати
дисертаційних робіт на здобуття наукових
ступенів доктора і кандидата наук.

(Бюлетень ВАК України. – 2010. – № 4)

Засновник видання – Національний університет «Києво-Могилянська академія». Видання засноване у 2001 р. Свідоцтво КВ № 5817 від 30.01.2002 р.

Перереєстрація: Засновник видання – Миколаївський державний гуманітарний університет ім. Петра Могили Свідоцтво КВ № 9506 від 14.01.2005 р.

Перереєстрація: Засновник видання – Чорноморський державний університет ім. Петра Могили Свідоцтво КВ № 15281-3853ПР від 10.04.2009 р.

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Чорноморського державного університету ім. Петра Могили (протокол № 9 від 18.04.2014 р.)

РЕДАКЦІЙНО-ВИДАВНИЧА РАДА:

Клименко Л. П.	голова редакційно-видавничої ради, головний редактор журналу «Наукові праці», доктор технічних наук, професор, ректор ЧДУ імені Петра Могили
Беглиця В. П.	заступник голови редакційно-видавничої ради, заступник головного редактора журналу «Наукові праці», доктор наук з державного управління, доцент, проректор з наукової роботи ЧДУ імені Петра Могили
Багмет М. О.	голова редколегії серії «Політологія», доктор історичних наук, професор
Мещанінов О. П.	голова редколегії серії «Педагогіка», доктор педагогічних наук, професор
Горлачук В. В.	голова редколегії серії «Економіка», доктор економічних наук, професор
Грабак Н. Х.	голова редколегії серії «Екологія», доктор сільськогосподарських наук, професор, старший науковий співробітник
Матвєєва Н. П.	голова редколегії серії «Філологія. Мовознавство», доктор філологічних наук, професор
Клименко Л. П.	голова редколегії серій «Техногенна безпека», «Державне управління», доктор технічних наук, професор
Пронкевич О. В.	голова редколегії серії «Філологія. Літературознавство», доктор філологічних наук, професор
Тригуб П. М.	голова редколегії серії «Історія», доктор історичних наук, професор, академік УАІН
Гавеля В. Л.	голова редколегії серії «Соціологія», доктор філософських наук, професор
Кириченко О. А.	голова редколегії серії «Юриспруденція», доктор юридичних наук, професор
Фісун М. Т.	голова редколегії серії «Комп'ютерні технології», доктор технічних наук, професор, старший науковий співробітник, дійсний член УАІН
Андрєєв В. І.	відповідальний секретар журналу «Наукові праці», кандидат технічних наук, в.о. доцента

Н 34 **Наукові праці :** науково-методичний журнал. – Вип. 221. Т. 233. Техногенна безпека. – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2014. – 152 с.

Журнал містить наукові статті, у яких висвітлено результати досліджень актуальних питань якості, стандартизації та екологічного менеджменту, радіаційної та техногенно-екологічної безпеки, сучасних питань радіобіології людини, питань радіаційної медицини. Матеріали розраховані на студентів, аспірантів, науковців, зацікавлених проблемами техногенно-екологічної безпеки України.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ СЕРІЇ:

1. **Григор'єва Людмила Іванівна** – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри якості, стандартизації та техногенно-екологічної безпеки, заступник директора Інституту радіаційної та техногенно-екологічної безпеки Чорноморського державного університету імені Петра Могили, (м. Миколаїв) – *голова редакційної колегії серії «Техногенна безпека»*;
2. **Томілін Юрій Андрійович** – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри якості, стандартизації та техногенно-екологічної безпеки, директор НІ радіаційної та техногенно-екологічної безпеки Чорноморського державного університету імені Петра Могили, голова наукової ради «Радіобіологія, радіоекологія та радіаційна безпека» ПНЦ НАНУ (м. Миколаїв) – *заступник голови редакційної колегії серії «Техногена безпека»*;
3. **Гудков Ігор Миколайович** – доктор біологічних наук, професор, академік УААН, Національний університет біоресурсів і природокористування (м. Київ);
4. **Зюзін Віктор Олексійович** – доктор медичних наук, професор, кафедра здоров'я людини та фізичної реабілітації Чорноморського державного університету імені Петра Могили (м. Миколаїв);
5. **Іванкова Валентина Степанівна** – доктор медичних наук, професор, керівник науково-дослідного відділу радіаційної онкології Національного інституту раку (м. Київ);
6. **Клименко Леонід Павлович** – доктор технічних наук, професор, ректор Чорноморського державного університету імені Петра Могили (м. Миколаїв);
7. **Корольов Володимир Геннадійович** – доктор біологічних наук, професор, завідувач відділу радіаційної біофізики Петербурзького інституту ядерної фізики імені Б. П. Константинова (Гатчина, Ленінградська обл., Росія);
8. **Кутковецький Валентин Якович** – доктор технічних наук, професор кафедри інформаційних технологій і програмних систем Чорноморського державного університету імені Петра Могили (м. Миколаїв);
9. **Кутлахмедов Юрій Олексійович** – доктор біологічних наук, професор, Інститут клітинної біології та генної інженерії НАН України (м. Київ);
10. **Мельнов Сергій Борисович** – доктор біологічних наук, професор, професор Міжнародного екологічного університету імені акад. А. Сахарова, проректор з наукової роботи Полеського державного університету (м. Мінськ, Білорусь);
11. **Петрук Василь Григорович** – доктор технічних наук, професор, академік УЕАК, УТА директор ІнЕЕК, завідувач кафедри екології та екологічної безпеки Вінницького національного технічного університету (м. Вінниця);
12. **Рожков Ігор Миколайович** – доктор біологічних наук, професор, Миколаївський національний університет імені Василя Сухомлинського (м. Миколаїв);
13. **Сухіна Олена Миколаївна** – доктор медичних наук, професор, головний науковий співробітник відділення променевої терапії інституту медичної радіології Національної академії медичних наук України (м. Харків);
14. **Хворостенко Михайло Іванович** – доктор медичних наук, професор, професор Дніпропетровської державної медичної академії (м. Дніпропетровськ);
15. **Тананаєв Іван Гундарович** – доктор хімічних наук, професор, професор кафедри матеріалів МДУ імені Ломоносова, науковий керівник з ізотопного виробництва ФГУП «ПО Маяк», заступник головного редактора наукового журналу «Вопросы радиационной безопасности», член-кореспондент РАН (м. Озерськ, Челябинська обл., Росія);
16. **Фісун Микола Тихонович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інтелектуальних інформаційних систем Чорноморського державного університету імені Петра Могили (м. Миколаїв);
17. **Андрєєв В'ячеслав Іванович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та природокористування Чорноморського державного університету імені Петра Могили (м. Миколаїв) – *відповідальний секретар серії.*

Статті друкуються в авторській редакції

ISSN 1609-7742

Включено до Міжнародної науково-метричної бази даних Ulrichsweb (Urlich's Periodicals Directory)

© Чорноморський державний університет ім. Петра Могили, 2014

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

54003, м. Миколаїв,
вул. 68 Десантників, 10
Тел.: (0512) 76-55-99, 76-55-81,
факс: 50-00-69, 50-03-33,
E-mail: avi@chdu.edu.ua

УДК 574.15:614.876

Матвеева И. В.

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЛОКАЛЬНОЙ АГРОЭКОСИСТЕМЫ

Отримані нами результати з оцінки розподілу та перерозподілу радіонуклідів в агроекосистемі (на прикладі с. Галузія, Волинська область) показали помітну динаміку формування дозових навантажень на людей. У роботі радіоємність визначається як здатність компонентів і екосистеми в цілому утримувати радіонукліди й тим самим знижувати їх надходження до жителів села. Збір натурних даних у селі проводився впродовж 7 років експедиційних досліджень. Дані цих експедицій покладені в основу розрахунків. Реальні дані з Галузії показали, що рівні забруднення молока, основного дозоутворювального компоненту з цезію-137, сягали 800-1000 Бк/л, що і призводило до перевищення доз до 3-5 мЗв/рік для групи жителів цього села (дані ЛВЛ вимірів). І таких сіл на Волині, Рівненщині достатньо багато. Тому актуальність оцінок надійності транспорту радіонуклідів в агроекосистемах до людини, розрахована нами через введені поканики коефіцєнтів радіоємності, достатньо обґрунтована.

Ключові слова: *транспорт радіонуклідів, надійність агроекосистеми, радіоємність агроекосистеми.*

Полученные нами результаты по оценке распределения и перераспределения радионуклидов в агроэкосистеме (на примере с. Галузия, Волынская область) показали заметную динамику формирования дозовых нагрузок на людей. В данной работе радиоемкость определяется как способность компонентов и экосистемы в целом, удерживать радионуклиды и тем самым снижать их поступление к жителям села. Сбор натурных данных по данному селу проводился в течении 7 лет экспедиционных исследований. Данные этих экспедиций положены в основу наших расчетов. Реальные данные по Галузии показали, что уровни загрязнения молока, основного дозообразующего компонентаза по цезію-137, достигали 800-1000 Бк/л, что и приводило к превышению доз до 3-5 мЗв/год для ряда жителей этого села (данные СИЧ измерений). И таких сел на Волыни, Ровенщине достаточно много. Поэтому актуальность оценок надежности транспорта радионуклидов в агроэкосистемах к человеку, рассчитываемых нами через вводимые показатели коэффициентов радиоемкости, достаточно обоснована.

Ключевые слова: *транспорт радионуклидов, надежность агроэкосистемы, радиоемкость агроэкосистемы.*

Agroecosystem is an important source of radionuclides transport. Larger coefficient of radiocapacity for investigated agroecosystem, higher its reliability in the sense of minimization of radionuclides supply to human being. On the basis of migration velocity, distribution and redistribution of the radionuclide – tracer – ^{137}Cs in agroecosystem's components it is possible to calculate the parameter of agroecosystem reliability and estimate introduction of different agroecosystem's components into doze formation for population. Depending on quantity of radionuclides felt on the territory it is possible to apply different defensive countermeasures which efficiency is determined by a series of factors.

Application of models and reliability theory for investigation of ecological processes in different types of ecosystems is useful because allows to estimate main characteristics and main properties of ecosystems by observing behavior of tracer – radionuclide ^{137}Cs.

Key words: *radionuclides transport, reliability of agroecosystem, radiocapacity of agroecosystem.*

Постановка проблемы. Агроэкосистема является важным источником транспорта радионуклидов. Чем больше коэффициент радиоемкости (определяемом в работе, как вероятность удержания радионуклидов в каждом компоненте и в экосистеме в целом данной исследуемой агроэкосистемы), тем выше её надежность в плане минимизации поступления радионуклидов к человеку.

Основываясь на скорости миграции, распределения и перераспределения радионуклида-трассера – ^{137}Cs в

компонентах агроэкосистемы, можно рассчитать параметр надежности исследуемой агроэкосистемы и оценить вклад различных компонентов агроэкосистемы в формирование дозы для населения. В зависимости от количества радионуклидов, выпавших на территорию, можно применять различные защитные контрмеры, эффективность которых зависит от ряда факторов.

Применение моделей и теория надежности для исследования экологических процессов в различных типах экосистем является полезной, так как позволяет оценить основные характеристики и основные свойства экосистем путем наблюдения поведения трассера-радионуклида ^{137}Cs.

Поэтому для оценки и прогноза таких процессов нами предложено использовать модели и теорию надежности. Для этого агроэкосистема рассматривается как система транспорта радионуклидов от почвы к человеку. Нами предложены количественные методы оценки надежности отдельных элементов агроэкосистемы и агроэкосистемы в целом. Данный метод и модели позволили по-новому взглянуть на проблему экологической безопасности человека и рассмотреть проблемы применения защитных контрмер.

Исследования радиоэкологических процессов в агроэкосистемах особенно важны для оценки и прогноза их экологической безопасности для населения, особенно при формировании дозовых нагрузок. Кроме ранее использованного нами метода камерных моделей, считаем необходимым разработать подходы к более общей оценке надежности и устойчивости агроэкосистемы. Речь идет об анализе агроэкосистемы, как системы транспорта радионуклидов от почвы к человеку, средствах и методах модификации данных процессов.

Методика исследований. Данная работа опирается на экспедиционные и литературные данные о потоках и харатеристиках миграции радионуклидов в экосистеме с. Галузия. По 7-летним экспедиционным данным рассчитаны скорости переноса радионуклидов между камерами блок-схемы и к людям. Скорость здесь определяется как доля запаса радионуклидов переносимая из камеры в камеру за один год. Используемый в работе метод математического моделирования и метод камерных моделей опирается на эти исходные данные.

Моделирование и анализ полученных результатов. Разработанные нами модели и теория радиоемкости экосистем позволяют ввести адекватный параметр – фактор радиоемкости – для определения состояния биоты экосистемы [1; 2; 3].

Радиоемкость – лимит радионуклидного загрязнения биоты экосистемы, при котором не прослеживаются изменении ее функционирования. При превышении данного лимита могут наблюдаться угнетение и/или подавление роста биоты. Фактор радиоемкости определяется как часть радионуклидного загрязнения, способного накапливаться в той или иной части (компоненте) экосистемы, без нарушения ее структуры.

Экспериментальными и теоретическими исследованиями установлено, что чем выше параметр радиоемкости биоты, тем выше уровень благополучия и надежности биоты в экосистеме. В частности, в исследованиях с растительными экосистемами показано, что способность биоты накапливать и удерживать радионуклидный трассер ^{137}Cs, аналог минерального элемента питания растений калия, отображает устойчивость и надежность биоты данной экосистемы [1; 2; 3; 4]. Установлено, что снижение показателя радиоемкости биоты в растительной экосистеме при гамма-облучении и при влиянии химических поллютантов растений четко отображает снижение благополучия биоты и надежности экосистемы.

Исходя из проведенных теоретических исследований, можно считать, что, используя параметры скоростей обмена радионуклидов между камерами (α_{ij} и α_{ji}) можно оценивать надежность компонента экосистемы, как элемента системы транспорта радионуклидов по камерам, используя формулу:

$$P_i = \Sigma\, \alpha_{ij} / (\Sigma\, \alpha_{ij} + \Sigma\, \alpha_{ji}), \qquad (1)$$

где P_i – надежность i-того элемента экосистемы, как удерживателя трассера (радионуклида), $\Sigma\, \alpha_{ij}$ – сумма скоростей перехода радионуклидов в сопряженные с ней камеры, $\Sigma\, \alpha_{ji}$ – сумма скоростей перехода радионуклидов в камеру i из сопряженных с ней камер, от которых радионуклиды поступают в данную камеру, надежность этого процесса мы оцениваем через P_i [7; 8].

Таким образом, исходя из задачи данной работы, оцениваем надежность i-того элемента экосистемы по его способности удерживать попадающие в него радионуклиды. Далее, зная надежностную схему, структуру обеспечения надежности транспорта радионуклидов от компонентов экосистемы к человеку, на основе модели надежности можно оценить надежность всей системы транспорта радионуклидов от экосистемы к популяции людей [8].

Моделирование агроэкосистемы методами теории надежности. Полученные результаты и анализ. Основные блоки транспорта радионуклидов в исследуемой агроэкосистеме с. Галузия [5; 6] представлены на рис. 1.

Нами установлено, что основными дозообразующими компонентами данной агроэкосистемы являются 4 пастбища. Эти пастбища функционируют, в надежностном смысле, как параллельная система. Согласно теории надежности [2] общая надежность данной агроэкосистемы, как системы транспорта радионуклидов от пастбищ к людям, может быть представлена в виде суммы параметров надежности составляющих блоков-пастбищ.

Камерную модель данной агроэкосистемы мы описали в виде блок-схемы. Установлено, что транспортный поток радионуклидов от каждого пастбища к популяции населения образует четкую последовательную систему: почва → трава → корова → молоко → мясо → люди. На основе экспедиционных исследований, по результатам наблюдений и расчетов, нами получены оценки скоростей перехода между камерами исследуемой агроэкосистемы. В таблице 1 показаны данные расчета параметров перехода радионуклидов между камерами агроэкосистемы села Галузия на примере первого пастбища.

Таблица 1

Параметры скоростей перехода радионуклидов между камерами агроэкосистемы с. Галузия

Параметр	Минимальное значение	Среднее значение	Максимальное значение	Описание перехода
Пастбище 1				
a_{12}	0,02	0,06	0,1	почва – растения на пастбище
a_{23}	0,18	0,38	0,58	трава – корова
a_{34}	0,08	0,13	0,18	корова – молоко
a_{35}	0,32	0,52	0,72	корова – мясо
a_{36}	0,6	0,36	0,1	корова – отходы
a_{47}	0,2	0,22	0,36	молоко – дети
a_{48}	0,1	0,15	0,2	молоко – пенсионеры
a_{49}	0,3	0,47	0,47	молоко – рабочие
a_{410}	0,5	0,1	0,0	молоко – вывоз
a_{57}	0,00	0,005	0,009	мясо – дети
a_{58}	0,001	0,004	0,007	мясо – пенсионеры
a_{59}	0,008	0,013	0,018	мясо – рабочие
a_{510}	0,58	0,978	0,98	мясо – вывоз
a_{24}	0,2	0,4	0,6	продукция огорода – вывоз

Аналогичные расчеты проведены и для остальных пастбищ, а также для огорода и леса.

Данные таблицы 1 позволяют провести оценки надежности компонентов экосистемы по предложенной формуле (1) и, зная последовательный характер связи отдельных компонентов агроэкосистемы с популяцией населения, провести оценку надежности данной агроэкосистемы как системы транспорта радионуклидов от пастбищ к населению.

Получая сельскохозяйственную продукцию с загрязненных территорий, пищевыми цепями радионуклиды попадают в организм человека, формируя, таким образом, дозовую нагрузку. Поэтому для снижения отрицательного влияния радионуклидов на популяцию людей на загрязненных территориях возникает необходимость применения защитных контрмер.

Нами проведена оценка надежности исследуемой агроэкосистемы (на примере с. Галузия) без применения контрмер и оценка эффективности использования разных контрмер путем оценки поступления радионуклидов ^{137}Cs от пастбищ при средних скоростях перехода радионуклидов между камерами модели.

В агроэкосистемах целесообразно применять различные контрмеры. В таблице 2 представлены расчетные данные по ряду возможных контрмер для снижения коллективных доз для населения с. Галузия. Из возможных контрмер [4; 5; 6] мы выбрали только некоторые. По имеющимся в с. Галузия и в литературе данным рассчитаны данные о запасе радионуклидов на каждом из пастбищ. Затем по натурным данным об уровнях загрязнения молока, мяса, овощей и продуктов леса (грибы, ягоды), оцениваем вероятности удержания радионуклидов каждой из камер блок-схемы, а по ним (по формуле 1) рассчитываем надежность транспорта радионуклидов к населению. Это позволяет оценить переход (Ки) активности к людям. Зная объем перехода радионуклидов к людям, через дозовый коэффициент, оценить ожидаемую коллективную дозу для населения (чел. Зв). Для сравнения вводим Кд (1) – известный коэффициент дезактивации после применения контрмер. Для ситуации без применения контрмер полагаем Кд = 1. В качестве контрмер используем широко известные контрмеры. Внесение повышенных вдвое норма удобрений, которые позволят снизить индивидуальные дозы облучения до 2 раз. При этом анализируя изменения по всем пастбищам, на основе анализа надежности общего транспорта радионуклидов к людям, показано, что в целом коллективная доза может быть снижена в 1,74 раза. Использование сеянки (так в Галузии называют коренное улучшение пастбища), за счет высева культурных трав с относительно более низкими коэффициентами накопления (чем для диких трав). Известно из литературы и из натурных данных, что при использовании такой сеянки можно до 3 раз снизить поступление радионуклидов в кормовые травы (Кд (1) = 3). Если же использовать такое коренной улучшение всех пастбищ в селе, то можно ожидать снижения коллективной дозы до 2,75 раза (Кд (2) = 2,75) Применение феррациновых болюсов и феррациновых фильтров было реализовано в с. Галузии на избранной группе коров, что реально позволяло снижить загрязнение молока до 4-5 раз (Кд (1). Если бы эта контрмера была применена для всех коров села, то данная контрмера могла бы позволить снизить коллективную дозу до 1,8 раз. Удаление верхнего слоя дернины специальной машиной – TURF CUTTER, по данным наших натурных исследований могло до 10 раз снижать уровень загрязнения молока и мяса (Кд (1) = 10), а Кд (2) – по коллективной дозе – до 60 раз.

В первом блоке таблицы представлены данные по расчетам надежности транспорта радионуклидов по пастбищам: сначала при ситуации формирования дозы за счет использования молока, а потом – за счет употребления говядины.

По этим данным были рассчитаны величины перехода радионуклидов Cs^{137} ко всем группам населения. Эту величину можно использовать для расчета коллективной дозы, используя величины дозового коэффициента для Cs^{137} ($2 \cdot 10^{-8}$ Зв/Бк) [4; 5; 6]. Полученная оценка коллективной дозы составляет около 1,6 чел. Зв в год. При этом оценка средней величины индивидуальной дозы облучения людей составляет около 1,1 мЗв/год (при норме – 1 мЗв/год).

Таблица 2

Оценка надежности агроэкосистемы без применения контрмер и оценка эффективности использования разных контрмер путем оценки надежности поступления радионуклидов Cs^{137} от основных пастбищ при средних скоростях перехода радионуклидов между камерами модели

Контрмера	$К_д$ (1)	№ пастбища	Запас р/н, Ки	Надежность общего транспорта р/н	Переход р/н (Ки)	Суммарный переход р/н (Ки) по пастбищам, коллективная доза и $К_д$	$К_д$ (2) по надежности
Контрмеры не применялись	1	1	0,0056	0,052	0,0008	0,0022 (1,6 чел. Зв) $К_д = 1$	1
		2	0,0169	0,044	0,0007		
		3	0,0003	0,056	0,0004		
		4	0,0011	0,074	0,0008		
Удобрения	2	1	0,0056	0,026	0,00015	0,013 (0,96 чел. Зв) $К_д = 1,7$	0,0022/ 0,0013 = 1,74
		2	0,0169	0,022	0,00037		
		3	0,0003	0,041	0,00026		
		4	0,0011	0,044	0,00048		
Сеянка	3	1	0,0056	0,0185	0,0001	0,008 (0.6 чел. Зв) $К_д = 2,7$	2,75
		2	0,0169	0,014	0,0002		
		3	0,0003	0,033	0,0002		
		4	0,0011	0,030	0,0003		
Уборка дернины (3-5 см)	10	1	0,0056	0,0057	0,00003	0,000032 (0,024 чел. Зв) $К_д = 66,7$	69
		2	0,0169	0,0051	0,00009		
		3	0,0003	0,0134	0,00008		
		4	0,0011	0,0108	0,000012		
Феррациновые болюсы	4	1	0,0056	0,027	0,0002	0,0012 (0,88 чел. Зв) $К_д = 1,8$	1,8
		2	0,0169	0,025	0,0004		
		3	0,0003	0,0206	0,0001		
		4	0,0011	0,045	0,0005		
Феррациновые фильтры (для молока)	5	1	0,0056	0,0497	0,0003	0,0021 (1,6 чел. Зв) $К_д = 1$	1,05
		2	0,0169	0,0426	0,0007		
		3	0,0003	0,05	0,0003		
		4	0,0011	0,0709	0,0008		
Огород						0,2 чел. Зв	

При этом оценки добавки к коллективной дозы за счет использования лесной продукции составляют 0,34 чел. Зв/год, а продукции огорода – 0,2 чел. Зв/год. Тогда суммарная коллективная доза составляет около 2,14 чел. Зв/год, а индивидуальная доза облучения для каждого жителя данного села может составить 1,4 мЗв/год.

Контрмера, чаще всего используемая после аварии на Чернобыльской АЭС, – внесение повышенных норм удобрений. При этом коэффициент дезактивации ($К_д$) составляет около 2 единиц. Это означает, что при выращивании продукции растениеводства при повышенных нормах удобрений ожидаемая индивидуальная доза может быть снижена в 2 раза.

Расчет показал, что применяя повышенные нормы удобрений, наблюдается снижение поступления радионуклидов в продукты питания людей в 1,74 раза. То есть, получено, что $К_д$ по величине экономии коллективной дозы для всего села за счет использования 4-х пастбищ составляет 1,74.

После аварии на ЧАЭС также была использована такая контрмера, как «сеянка», когда дикие пастбища засевают культурными травами.

Системные расчеты методами теории надежности (при этом экосистема рассматривается как надежностная, параллельная система из четырех пастбищ) составили по всем пастбищам значения $К_д = 2,75$. Это приемлемые значения коэффициента дезактивации.

Эффективным методом дезактивации может быть и удаление на пастбищах верхнего слоя дернины с помощью специальной машины TURF CUTTER. Применение данной контрмеры в 30-км зоне на территории Беларуси и Украины показало резкое, более чем в 10 раз, снижение загрязнения молока и мяса от коров, которых выпасали на обработанном таким образом пастбище. Расчеты показали, что после использования снятия дернины $К_д$ может составить 69 единиц. Следует отметить, что данная контрмера трудоемка и достаточно дорогая.

В Ровенской области в качестве контрмер были апробированы такие методы, как введение в желудок коровы феррациновых болюсов ($К_д = 4$), а также сепарацию полученного от коров молока через специальные фильтры, которые обработаны феррацином ($К_д = 5$). Как известно, молоко является основным дозообразующим продуктом питания особенно у жителей сельской местности. Феррацин имеет избирательную способность связывать цезий и тем самым, снижать его содержание в молоке.

Более детальный расчет на основе предложенной модели надежности позволил провести всестороннюю оценку эффективности данных контрмер. Показано, что по результатам таких системных расчетов $К_д$ для феррациновых болюсов составил около 1,8 единиц, феррациновых фильтров 1,05. Это показывает, что локальная эффективность контрмеры еще не гарантирует общей системной эффективности для всей агроэкосистемы.

Для полноты картины на основе предложенного метода мы рассмотрели вариант совместного использования нескольких контрмер: внесение удобрений, снятия дернины и применения болюсов. Считалось, что комбинация контрмер окажется заметно эффективнее каждой отдельно примененной

контрмеры. Расчет показал, что комбинированное использование контрмер может позволить заметно, до 90 раз, снизить коллективную дозу для данного села. Ясно, что в условиях относительно малых уровней радионуклидного загрязнения использования комбинированной системы контрмер нереально. В то же время, подобные комбинации могут быть полезными для других интенсивно загрязненных радионуклидами регионов Украины и Беларуси.

Заключение и выводы

1. Агроэкосистема является важным источником для последующего транспорта радионуклидов из окружающей среды к человеку. Чем больше фактор радиоемкости данной агроэкосистемы, тем она более надежна в понимании надежности поступления радионуклидов к популяции людей. В контексте данной статьи радиоемкость компонентов экосистемы – ее способность удерживать попавшие в них радионуклиды, позволяет минимизировать поток радионуклидов от агроэкосистемы к людям, о есть снизить надежность транспорта радионуклидов цезия к людям, и тем самым уменьшить дозовые нагрузки.

2. Опираясь на натурные и литературные данные по скоростям миграции, распределения и перераспределения радионуклидов-трассеров ^{137}Cs в компонентах агроэкосистемы, а также по величине перехода цезия ко всем группам населения, можно рассчитывать величину надежности транспорта радионуклидов от данной агроэкосистемы к людям и оценить вклад разных составляющих агроэкосистемы в формирование дозовых нагрузок на население.

3. Описанный в статье подход к анализу транспорта радионуклидов от локальной агроэкосистемы к людям позволяет провести расчет эффективности использования различных типов контрмер для снижения дозовых нагрузок, даже не проводя их в реальности. В модели контрмера вводится через снижение скоростей перехода радионуклидов между камерами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агре А. Л. О распределении радиоактивных загрязнений в медленно обмениваемом водоеме / А. Л. Агре, В. И. Корогодин // Мед. радиология. – 1960. – № 1. – С. 67–73.
2. Kutlakhmedov Yu. A. Theory of Reliability in Radiation Ecology in Proceedings of International Symposium on Stochastic Models in Reliability Engineering, Life Science and Operations Management / Yu. A. Kutlakhmedov, I. V. Matveeva I. V. and other. – Israel, 2010. – 275 p.
3. Kutlakhmedov Yu. A. Radiocapacity of Ecosystems / Yu. A. Kutlakhmedov, V. I. Korogodin, V. Yu. Kutlakhmedova-Vyshnyakova J. Radioecol. – 1997. – № 5 (1). – P. 25–35.
4. Кутлахмедов Ю. А. Основы радиоэкологии / Ю. А. Кутлахмедов, В. И. Корогодин, В. К. Кольтовер. – К. : Вища шк. – 2003. – 319 с.
5. Кутлахмедов Ю. А. Моделирование радиоэкологических процессов методом камерных моделей на примере села в Волынской области Ю. А. Кутлахмедов, И. В. Матвеева, В. Р. Заитов // Вісник Національного авіаційного університету. – 2005. – № 3. – С. 173–176.
6. Кутлахмедов Ю. А. Особенности радиоэкологических процессов в селе Тернопольской области, оцененных по методу камерных моделей / Ю. А. Кутлахмедов, И. В. Матвеева, В. Н. Исаенко // Вісник Національного авіаційного університету. – 2006. – № 2. – С. 126–128.
7. Кутлахмедов Ю. А. Теория и модели радиоемкости в современной радиоэкологии / Ю. А. Кутлахмедов, В. И. Корогодин, В. В. Родина. И. В. Матвеева,В. П. Петрусенко, А. Г. Саливон, А. Н. Леншина // Международная конференция «Радиоэкология: итоги, современной состояние и перспективы» : сб. материалов. – Москва, 2008. – С. 177–193.
8. Кутлахмедов Ю. А. Надежность экологических систем / Ю. А. Кутлахмедов, И. В. Матвеева, В. В. Родина. – Saarbrucken : Palamarium academic publishing, 2013. – 318 с.

Рецензенты: **Лапшин Ю. С.,** д. т. н., профессор;
Гроза В. А., к. физ.-мат. н., доцент.

© Матвєєва І. В., 2014

Дата надходження статті до редколегії 06.03.2014 р.

МАТВЄЄВА Ірина Валеріївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології Інституту екологічної безпеки Національного Авіаційного університету, м. Київ.

Коло наукових інтересів: екологія, техногенна екологічна безпека, надійність екологічних систем.