

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ У РАСТЕНИЙ ОТ ВЕЛИЧИНЫ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ

Т.А. Горшкова*, Р.С. Чурюкин**, О.А. Карагузова*, Н.В. Амосова*,
Н.Н. Павлова*, Ю.М. Мартиросян*, О.П. Власова*, И.М. Симакова*

*Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ, г. Обнинск

**Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии, г. Обнинск



Приведены результаты исследования показателя флуктуирующей асимметрии листьев трех видов растений в зависимости от радиационного фона и удельной активности радиоцезия на территории Ульяновского района, загрязненного в результате аварии на ЧАЭС. Проведен корреляционный анализ, обнаружена сходная реакция растений на радиоактивное загрязнение территории. Это позволяет предположить, что исследованные виды растений могут быть использованы для биоиндикации данного вида антропогенного изменения среды.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, флуктуирующая асимметрия.
Key words: contamination, fluctuating asymmetry.

Мониторинговые исследования, проводимые на отдельных территориях Калужской области, загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС, по сей день не утратили актуальности. В связи с длительным периодом полураспада некоторых радионуклидов, в частности, радиоактивных цезия и стронция, попавших с осадками в природные биогеоценозы в 1986 г., их присутствие в среде может отражаться не только на количественном содержании их в живых системах, но и на некоторых морфологических показателях отдельных организмов. В связи с этим представляется перспективным поиск среди живых объектов наиболее доступных индикаторов, отражающих текущий уровень отдаленных последствий воздействия чернобыльского радиоактивного следа. Одной из форм реакции индикаторных систем является изменение величины коэффициента флуктуирующей асимметрии у индикаторных видов растений.

Под флуктуирующей асимметрией (ФА) понимают незначительные и ненаправленные отклонения от строгой билатеральной симметрии, которые проявляются при нарушении стабильности развития организма и выражаются тем отчетливее, чем сильнее внешние воздействия, в первую очередь, антропогенное загрязнение

© Т.А. Горшкова, Р.С. Чурюкин, О.А. Карагузова, Н.В. Амосова, Н.Н. Павлова,
Ю.М. Мартиросян, О.П. Власова, И.М. Симакова, 2013

[1, 2]. Дестабилизация развития для метрических и меристических признаков наблюдается уже на относительно низком уровне средовых нарушений, которые еще не связаны с необратимыми изменениями в популяциях. Это позволяет использовать ФА как индикатор даже незначительных отклонений параметров среды от фонового состояния, еще не приводящих к существенному снижению жизнеспособности особей.

Из всех органов растений самыми чувствительными ко многим антропогенным факторам являются листья. Такая чувствительность объясняется тем, что лист является высокопластичным органом, в котором осуществляется большое количество важных физиологических процессов, поэтому характер изменчивости его морфоструктуры может служить индикатором загрязнения условий внешней среды.

Пластинка листа формируется в течение достаточно длительного времени благодаря активности краевой (маргинальной) меристемы, которая функционирует билатерально, на двух сторонах листового зачатка. Производные маргинальной меристемы продолжают делиться в качестве интеркалярных (вставочных) меристем. До выхода листа из почки формируется только от 1 до 40% клеток будущего взрослого листа, остальные – после выхода листа из почки (два-шесть циклов асинхронных делений клеток; один цикл – 24–48 часов). Первой останавливается митотическая активность клеток верхушки листа, затем снижение митотической активности идет в базипетальном направлении [3]. Таким образом, лист может проявлять чувствительность к вызывающим его асимметрию факторам, в том числе радиоактивному загрязнению территории, на ранних этапах развития, пока функционируют наиболее уязвимые его ткани – меристемы.

Оценка флуктуирующей асимметрии является доступным и быстрым методом определения стабильности развития живых организмов [1, 4–6], показателем, насколько «хорошо» или «плохо» живет организм в сообществе. Однако в некоторых случаях интегральность этого показателя становится минусом данного метода, поскольку он не может обнаружить, на какое именно воздействие организм реагирует асимметричным изменением своих структур. Поэтому для применения метода оценки ФА с целью определения ответа растений на конкретное изменение среды необходим тщательный подбор сходных условий в опыте и контроле с различием в один фактор. При этом хорошим свидетельством справедливости оценки состояния сообщества по данному параметру в данных условиях может быть сходная реакция разных индикаторных видов.

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования были проведены в 2010–2012 гг. на территории Государственного природного заповедника «Калужские засеки» (Калужская обл., Ульяновский район). Выбор расположения учетных точек изначально основывался на анализе карт радиоактивного загрязнения территории, предоставленных руководством заповедника. На этих территориях сведены к минимуму все формы антропогенного воздействия кроме радиоактивного загрязнения.

В качестве контрольных были выбраны территории лесных растительных сообществ в окрестностях г. Обнинска. Учетные точки находились на участках, минимально подверженных рекреационной, автотранспортной и радиоактивной нагрузкам.

На всех учетных точках проводился пробоотбор почвы методом конверта на глубину около 20 см и весом порядка 1 кг с целью дальнейшего анализа удельной активности ^{137}Cs . Глубина пробоотбора определялась тем, что максимальные запасы радионуклидов, в частности, радиоцезия, сосредоточены в почве на глубине

5–20 см [7]. Пробные образцы почвы имели схожую влажность и гранулометрический состав.

В качестве биоиндикаторов были взяты липа сердцевидная (*Tilia cordata* Mill.), майник двулистный (*Maianthemum bifolium* L.) и ландыш майский (*Convallaria majalis* L.). Удобство выбора именно этих растений в качестве биоиндикаторов заключается в том, что они имеют общий ареал обитания и схожий вегетационный период, а также в том, что для них достаточно просто осуществлять необходимые промеры и рассчитывать коэффициент ФА.

Листья липы сердцевидной собирали с подростка на высоте 1–1,5 м по 50 листьев на точку. Измерения проводили по шести параметрам справа и слева: 1 – расстояние от центральной жилки до края листа посередине листовой пластинки; 2, 3 – расстояние от центральной жилки до края листа в верхней и нижней четвертях листа; 4 – расстояние от черешка листовой пластинки до начала жилки второго порядка; 5 – расстояние второй жилки второго порядка до третьей жилки второго порядка; 6 – перпендикуляр от нижнего края листа до линии второго промера.

Листья майника двулистного собирали в количестве 30 на учетную точку в силу того, что ценопопуляции майника на учетных территориях были представлены небольшим количеством экземпляров. Расчет коэффициента ФА вели по пяти промерам справа и слева: 1 – расстояние от центральной жилки до края листа посередине листовой пластинки; 2 – расстояние от центральной жилки до второй главной жилки посередине листовой пластинки; 3 – расстояние от второй главной жилки до третьей посередине листовой пластинки; 4 – перпендикуляр от черешка (начала центральной жилки) до края листа; 5 – перпендикуляр от нижнего края листа до линии четвертого промера.

В каждой точке брали также по 50 листьев ландыша майского. Для него был разработан метод из одиннадцати промеров листа, по которым производился поиск коэффициента ФА: 1 – расстояние от центральной жилки до края листа посередине листовой пластинки; 2, 3 – расстояние от центральной жилки до края листа в верхней и нижней 1/4 листа; 4–7 – расстояние от центральной жилки до края листа в верхней и нижней 1/8 листа; 8 – расстояние от верхнего края листа до четвертого промера; 9 – расстояние от начала главной центральной жилки листа до седьмого промера; 10 – расстояние от центральной жилки листа до первой от нее жилки посередине листа; 11 – расстояние от первой до второй жилки посередине листа.

После промеров каждого из предлагаемого признака осуществляли расчет коэффициента флуктуирующей асимметрии. Интегральный индекс равен среднему арифметическому сумм относительных значений асимметрии по всем признакам у каждого листа. Относительное значение асимметрии в данном случае вычисляется как среднее арифметическое отношения разности к сумме промеров листа слева и справа, отнесенное к числу признаков [1].

Оценку мощности экспозиционной дозы радиации на учетных точках в заповеднике «Калужские засеки» и в окрестностях г. Обнинска осуществляли с помощью дозиметров Radex QUARTA и ДБГ-06Т. Относительная погрешность обоих дозиметров не превышает 15 %. Измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения производили на уровне почвы, а также на высоте 1 и 2 м. По результатам десяти замеров в каждой учетной точке определяли максимальную мощность дозы и ее среднее значение.

Определение активности ^{137}Cs проводилось на сцинтилляционном гамма-спектрометре с программным обеспечением «Прогресс» в лаборатории радиационно-

го контроля ГНУ ВНИИСХРАЭ Россельхозакадемии (г. Обнинск). Активность ^{137}Cs определяли как в просушенных почвенных образцах, так и в высушенном растительном материале – образцах листьев липы и ландыша.

По величине УА ^{137}Cs рассчитывали плотность загрязнения территории. Плотность загрязнения представляет собой активность изотопа на единицу площади, при этом считается, что на 1 м^2 приходится 100 кг почвы, т.е. удельная активность радионуклида 100 Бк/кг соответствует плотности загрязнения 10 кБк/ м^2 (или 0,24 Ки/ км^2) [8].

Для оценки величины поступления из почвы ^{137}Cs в растения использовали коэффициенты накопления и перехода. Коэффициент накопления (КН) определяется как отношение удельной активности радионуклида в единице массы растений к активности радионуклида в почве. Коэффициент перехода (КП) определяются как отношение удельной активности радионуклида в единице массы растений к плотности загрязнения единицы площади почвы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 1 представлены данные по радиационному фону, плотности загрязнения и удельной активности (УА) ^{137}Cs в почве, расположенные по возрастанию средней величины радиационного фона.

Из таблицы видно, что на территории учетных точек в г. Обнинске удельная активность ^{137}Cs в почве близка к значению фонового уровня, который для данного радионуклида составляет около 24 Бк/кг, что соответствует плотности загрязнения 0,06 Ки/ км^2 [9]. Этот уровень принят в качестве фонового после массовых испытаний ядерного оружия в 50–60-х годах XX в. и рассеяния в окружающей среде продуктов радиоактивного распада.

На учетных точках на территории ГПЗ «Калужские засеки» при незначительном (от 1,3 до 3,6 раз) превышении мощности экспозиционной дозы по сравнению с обнинскими показателями удельная активность и плотность загрязнения ^{137}Cs превышают соответствующие фоновые значения в 17–101 раз. Колебание величины плотности загрязнения на территории заповедника в пределах 1,2–6,5 Ки/ км^2 соответствует современному уровню загрязнения буферной и даже импактной зоны Восточно-Уральского радиационного следа (ВУРС). Так, по данным В.Н. Позолотиной и др. на территории Южного Урускуля (импактная зона ВУРС, 9 км. от ПО «Маяк») плотность загрязнения ^{137}Cs в почве в начале двухтысячных годов составляла 5,9 Ки/ км^2 , а в буферной зоне ВУРС запас этого радионуклида колебался от 0,2 до 0,6 Ки/ км^2 [7].

Таким образом, территория заповедника «Калужские засеки» мозаично загрязнена ^{137}Cs , причем связи между удельной активностью изотопа и мощностью экспозиционной дозы излучения в нашем исследовании не обнаружено. Коэффициент корреляции между этими показателями, рассчитанный как для средней, так и для максимальной мощности дозы, близок к значению 0,1.

Логично предположить, что концентрация радионуклидов в растениях должна линейно возрастать с увеличением их концентрации в почве. Радиоактивный изотоп цезия является химическим аналогом калия, входящего в состав растительных тканей. Поэтому цезий поступает в растение и замещает калий в жизненно важных для растения соединениях. При этом многим растениям свойственно накопление некоторых радионуклидов в зеленой массе и генеративных органах. Таким образом содержание радиоизотопов в растениях может значительно превышать соответствующий показатель в почве, что показано в работах разных авторов [7, 8].

Таблица 1

Мощность радиационного фона, плотность загрязнения и удельная активность (УА) ^{137}Cs в почве исследованных территорий (в процентах приведены погрешности измерения УА ^{137}Cs)

Номер учетной точки	Мощность экспозиционной дозы, мкР/ч		УА ^{137}Cs в почве, Бк/кг	Плотность загрязнения ^{137}Cs , Ки/км ²
	средняя	максимальная		
1*	12,2 ± 1,8	14 ± 2,1**	27 (15%)	0,07
2*	16,0 ± 2,4	17 ± 2,5	27 (14%)	0,07
3	18,9 ± 2,8	30 ± 4,5	1157 (11%)	3,12
4	21,9 ± 3,2	27 ± 4,0	571 (11%)	1,42
5	25,5 ± 3,8	32 ± 4,8	–	–
6	25,7 ± 3,8	30 ± 4,5	977 (10%)	2,61
7	26,6 ± 3,9	40 ± 6,0	–	–
8	29,2 ± 4,8	34 ± 5,1	–	–
9	30,3 ± 4,5	31 ± 4,6	812 (9%)	2,19
10	30,3 ± 4,5	39 ± 5,8	527 (9%)	1,42
11	31,4 ± 4,7	42 ± 6,3	1499 (9%)	4,05
12	32,8 ± 4,9	41 ± 6,1	785 (10%)	2,12
13	34,2 ± 5,1	51 ± 7,6	–	–
14	34,4 ± 5,1	43 ± 6,4	2433 (9%)	6,57
15	36,6 ± 5,4	43 ± 6,4	474 (9%)	1,28
16	37,6 ± 5,6	41 ± 6,1	–	–
17	38,0 ± 5,7	40 ± 6,0	861 (8%)	2,32
18	38,0 ± 5,7	41 ± 6,1	824 (9%)	2,22
19	38,9 ± 5,6	45 ± 6,7	683 (11%)	1,84
20	47,6 ± 7,1	49 ± 7,3	650 (8%)	1,75
21	49,6 ± 7,4	59 ± 8,8	400 (9%)	1,08

* – контрольные точки в окрестностях г. Обнинска;

** – погрешность дозиметра

В таблице 2 представлены данные по удельной активности ^{137}Cs в листьях липы и ландыша, для наглядности расположенные по возрастанию удельной активности цезия в почве.

На процесс перехода радионуклидов из почвы в растения могут оказывать воздействие различные факторы. Установлено, что в зависимости от физико-химических свойств почв и видовых особенностей растений коэффициенты перехода радионуклидов могут варьировать в широких пределах (от 0,03 до 79,9, т.е. в 2700 раз). При этом минимальные значения коэффициента перехода наблюдались на дерново-подзолистой почве, а максимальные – на торфяно-глеевых почвах [10]. О сложном характере перехода радионуклидов в растения свидетельствует и В.Н. - Позолотина [7], утверждающая, что сравнение величин содержания ^{137}Cs в растениях и почве может не давать прямой зависимости между ними. Коэффициент перехода для одного и того же вида растений на разных участках сходной по почвенным характеристикам территории может варьировать в пределах порядка величины.

Таблица 2

Удельная активность ^{137}Cs в почве и растениях в контроле (Обнинск) и на загрязненных территориях (ГПЗ «Калужские засеки»), коэффициенты накопления и перехода (В процентах приведены погрешности измерения УА ^{137}Cs)

Номер	УА ^{137}Cs , Бк/кг			КН		КП	
	в почве	в листьях липы	в листьях ландыша	липа	ландыш	липа	ландыш
1*	27 (15%)	9 (15%)	20 (15%)	3,5	7,5	0,3	0,7
10	527 (9%)	–	475 (28%)	–	0,9	–	0,1
4	571 (11%)	153 (23%)	244 (40%)	1,3	2,1	0,13	0,2
19	683 (11%)	18 (48%)	3880 (23%)	0,1	15,0	0,01	1,5
12	785 (10%)	141 (55%)	814 (20%)	0,9	5,4	0,1	0,5
6	977 (10%)	390 (13%)	5386 (19%)	5,5	55,0	0,4	4,0
3	1157 (11%)	17 (65%)	51 (49%)	0,2	0,7	0,02	0,07
11	1499 (9%)	236 (25%)	9235 (20%)	4,4	17,0	0,4	1,7
14	2433 (9%)	52 (46%)	732 (20%)	3,0	0,02	0,30	0,02

* – контрольная точка в г. Обнинск

В нашем случае колебания величины коэффициента перехода радиоактивного цезия из почвы в листья растений составляют от 0,01 до 0,4 для липы и от 0,02 до 55 для ландыша. Эти результаты, с одной стороны, близки к данным [10], с другой – отличаются от десятикратного различия в работе [7]. Возможно, данные различия можно объяснить некоторыми особенностями взятых на территории «Калужских засек» почвенных проб.

Для получения достоверных данных по переходу радионуклидов из почвы определенного типа в разные структуры одного и того же вида растения необходимо проведение специального лабораторного экспериментального исследования. В нашем случае в условиях нахождения исследуемых видов растений на территории естественных сообществ можно только со значительной долей допущения говорить о возможном влиянии радиоизотопов на некоторые биологические характеристики, например, стабильность развития, оцениваемую по изменению величины флуктуирующей асимметрии.

В нашем исследовании выявлена корреляционная зависимость средней степени (значение 0,5 по Спирмену) между удельной активностью ^{137}Cs в листьях ландыша и почве. Коэффициент корреляции между активностью цезия в почве и листьях липы оказался ниже – 0,3. Зеленые однолетние побеги эфемероидных растений, в том числе ландыша, основная биомасса которых заключена в листьях, должны более выражено реагировать на увеличение содержания радиоизотопов в почве по сравнению с древесными растениями, что и было отмечено по результатам проведенного исследования. Эти данные соответствуют общему правилу увеличения содержания ^{137}Cs в частях растений травянистого яруса по сравнению с древесным [11].

Интересным является тот факт, что при слабой корреляции между уровнем содержания радиоактивного цезия в почве и показаниями дозиметра существует близкая по степени к средней корреляционная связь между радиационным фоном и удельной активностью ^{137}Cs , содержащегося в листьях ландыша (коэффициент 0,47 по Спирмену для средней и 0,51 – для максимальной мощности экспозиционной дозы).

О том, что на одних и тех же территориях существует единый принцип перехода радиоактивного цезия в растения, возможно, свидетельствует высокий показатель корреляции (0,78) между удельной активностью радиоактивного цезия в листьях ландыша и липы, а также связанные с УА коэффициенты накопления и перехода. Кроме того, сходная реакция растений на содержание ^{137}Cs в почве в некоторой степени «оправдывает» возможность сравнения данных полевого исследования, когда некоторые другие характеристики почвы могут различаться между собой.

Коэффициенты флуктуирующей асимметрии как для древесных, так и для травянистых растений даже на близко расположенных учетных точках заповедника имеют отличающиеся значения. Связь между этими и остальными показателями представлена в табл. 3.

Таблица 3

Корреляция между значениями радиационного фона, удельной активности ^{137}Cs в почве, листьях ландыша и липы, а также асимметрии листовых пластинок этих растений на исследованных учетных точках заповедника

	СЗ ЭД*, мкР/ч	МЗ ЭД**, мкР/ч	УА ^{137}Cs , Бк/кг			ФА липы	ФА ландыша
			в почве	в липе	в ландыше		
МЗ ЭД	0,90						
УА ^{137}Cs (почва)	0,10	0,14					
УА ^{137}Cs (липа)	0,23	0,08	0,30				
УА ^{137}Cs (ландыш)	0,47	0,51	0,50	0,78 ($p < 0,05$)			
ФА липы	0,43	0,13	-0,62	-0,08	0,16		
ФА ландыша	0,35	0,27	0,69 ($p < 0,05$)	0,01	0,26	0,28	
ФА майника	0,27	0,26	0,70 ($p < 0,05$)	0,16	0,47	-0,10	0,31

* СЗ ЭД – среднее значение мощности экспозиционной дозы

** МЗ ЭД – максимальное значение мощности экспозиционной дозы

($p < 0,05$) – достоверность полученного коэффициента корреляции

Корреляционный анализ данных показал, что существует тенденция зависимости ФА липы сердцевидной от среднего значения радиационного фона с коэффициентом корреляции, равным 0,43. Зависимости ФА майника двулистного и ландыша майского от мощности средней экспозиционной дозы выявлено не было. Таким образом, увеличение радиационного фона на учетных территориях вносит свой вклад в развитие листовых пластинок липы при их формировании в несколько большей степени, чем ландыша и майника. Это может быть связано с различны-

ми сроками роста листа до его конечных размеров – более долгим у липы и более сжатым у майника и ландыша.

Коэффициенты зависимости индекса ФА листьев *Maianthemum bifolium* и *Convallaria majalis* от удельной активности ^{137}Cs в почве составляют 0,70 и 0,69 соответственно. По-видимому, это связано с возможным влиянием уровня содержания радионуклидов на процесс формирования побега в целом и листовой пластинки травянистого растения в частности особенно на ранних стадиях ее развития. Небольшая вегетативная масса этих растений и расположение их корневищ в зоне максимальной концентрации изотопа, по-видимому, являются факторами, усиливающими радиочувствительность этих растений по показателю стабильности развития к содержанию радиоактивного цезия в почве.

Необычным является тот факт, что коэффициент корреляции между ФА липы и удельной активностью ^{137}Cs имеет отрицательное значение (минус 0,62). О том, что это может служить доказательством радиационного гормезиса в отношении действия этого изотопа на рост листовых пластинок липы, говорить пока преждевременно.

Примечательно, что статистически значимо не коррелируют между собой показатели асимметрии у разных растений на одних и тех же территориях. Возможно, это говорит все-таки о существовании иных, не связанных с содержанием ^{137}Cs , факторов, вызывающих изменение ФА на учетных точках.

Если рассматривать показатель ФА листьев липы, ландыша и майника как индикатор качества среды в трактовке, предложенной для березы [6], то можно отметить, что учетные территории, в том числе сходные по значениям радиационного фона и содержанию радионуклидов, в отношении показателя асимметрии листьев липы и майника демонстрируют полный спектр классов качества среды. Значения ФА ландыша и вовсе не превышают уровня, соответствующего верхней границе индекса ФА для первого («чисто») класса качества среды. Все исследованные виды растений довольно слабо изучены в радиобиологическом плане, кроме того, весьма ограниченны сведения об изменении показателя флуктуирующей асимметрии у этих растений в ответ не только на радиоактивное загрязнение, но и на другие формы антропогенного воздействия. Поэтому представляется актуальной дальнейшая работа по выяснению значимости этих растений и показателей их ФА в качестве биоиндикаторов радиоактивного загрязнения.

В целом, как видно из результатов данного исследования, пока рано говорить о наличии определенных зависимостей между изучаемыми показателями у растений обследованных природных растительных сообществ и параметрами радиоактивного загрязнения. Присутствие различий в почвенных характеристиках, гидрологическом, температурном и других режимах на пробных участках, некоторая разница в видовом составе и структуре изученных сообществ, в освещенности целых растений или отдельных их частей и т.д. – все эти факторы могут влиять на появление у растений различий физиологического и морфологического плана, не связанных напрямую с удельной активностью радионуклидов или повышенным радиационным фоном. Однако одним из обоснований применения в данной работе и в перспективе именно выбранного метода – оценки флуктуирующей асимметрии билатеральных структур – может служить то, что «обычные» отклонения в параметрах среды, к которым растения адаптированы в течение миллионов лет эволюции, должны оказывать меньшее влияние на асимметрию, чем относительно «новый» экологический фактор – присутствие в среде повышенного количества радионуклидов (адаптацию к которому у растений данных территорий, впрочем, также не стоит сбрасывать со счетов). И важным обстоятельством, приближаю-

щим экологические условия в контроле (окрестности г. Обнинска) и опыте (заповедник «Калужские засеки») к различию в один этот фактор, в данном исследовании является отсутствие или пренебрежимо малые уровни остальных форм антропогенной нагрузки – автотранспортной, рекреационной и пр.

Для установления более определенных зависимостей между показателем флуктуирующей асимметрии у растений и уровнем радиоактивного загрязнения необходимы лабораторные исследования, а в полевых условиях – усиление «стандартизации» в пробоотборе для минимизации возможного влияния иных факторов, увеличение объема выборок (количества измерений, проб почвы и растительного материала) для более строгого статистического обоснования результатов. Основанием для предварительного утверждения исследованных видов травянистых растений в качестве индикаторов может служить достаточно высокий уровень корреляции флуктуирующей асимметрии их листовых пластинок с удельной активностью цезия в почве.

Литература

1. Захаров В.М. Здоровье среды: практика оценки. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 320 с.
2. Зорина А.А. Характеристика флуктуирующей асимметрии листа берез в Карелии//Экология. Экспериментальная генетика и физиология. – 2007. – Вып. 11. – С. 28–36.
3. Корона В.В. Строение и изменчивость листьев растений. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 280 с.
4. Гелаишвили Д.Б. Статистический анализ флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков разноцветной ящурки *Eremias arguta*//Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2007. – Т. 9. – №4. – С. 941–949.
5. Кожара А.В. Структура показателя флуктуирующей асимметрии и его пригодность для популяционных исследований//Биологические науки. – 1985. – №6. – С. 100–103.
6. Стрельцов А.Б. Региональная система биологического мониторинга. – Калуга: Калужский ЦНТИ, 2003. – 158 с.
7. Позолотина В.Н. Современное состояние наземных экосистем восточно-радиоактивного следа: уровни загрязнения, биологические эффекты. – Екатеринбург: Изд-во «Гощицкий», 2008. – 204 с.
8. Экологические последствия радиоактивного загрязнения на Южном Урале. – М.: Наука, 1993. – 336 с.
9. Доклад о состоянии природных ресурсов и охране окружающей среды на территории Калужской области в 2010 году. – Калуга: Манускрипт, 2011. – 344 с.
10. Перепелятников Г.П. Рациональное использование лугов зоны Полесья УССР, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС/Третья Всесоюзная конференция по сельскохозяйственной радиологии: Тез. докл. – 1990. – Т.1 – С. 39.
11. Варфаламеева К.В. Особенности формирования радиоактивного загрязнения лесной экосистемы после аварии на ЧАЭС//Радиационная гигиена. – 2008. – Т. 1. – №3. – С. 49–53.

Поступила в редакцию 26.10.2012

References, 3 titles.

The possibility of increasing in ^{99}Mo production with WWR-c reactor core and uranium-containing targets modernization have been discussed in this paper. We found that there is a large possibility of ^{99}Mo production increasing.

УДК 577.34

Study of the Dependence of Fluctuating Asymmetry in Plants of the Size of Radioactive Contamination | Gorshkova T.A., Churyukin R.S., Karaguzova O.A., Amosova N.V., Pavlova N.N., Martirosyan Y.M., Vlasova O.P., Simakova I.M.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Hier Schools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 9 pages, 9 tables. – References, 11 titles.

The article is devoted investigation of the dependence fluctuating asymmetry of leaves of three plant species of background radiation and activity of radioactive cesium in the Ulyanovsk region, contaminated by the Chernobyl accident. A correlation analysis found a similar reaction of plants in the contaminated area. This suggests that the studied species can be used for biological indication of this type of anthropogenic environmental changes.

УДК 539.1.074.3

Nitrogenous Explosives Detection by Neutron-Radiation Method Using Gamma Radiation Heterogeneous Scintillation Detector | Yudov A.A., Sokolov Yu.A., Chernukhin Yu.I.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Hier Schools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 8 pages, 2 tables, 6 illustrations. – References, 6 titles.

This paper describes a heterogeneous scintillation detector (HSD) which can increase the sensitivity and reliability of explosives (HE) detection. The HSD consists of alternating layers of converting material where gamma quanta transform into electrons and positrons, and of detecting material where the energy of charged particles is transformed into light scintillations. Spectral sensitivity of the HSD can be varied by selecting thickness and number of layers. Thickness of the layers can be chosen so that charged particles which created in the converting layers can be registered in two or more scintillation layers. The calculations results of detection sensitivity of nitrogenous explosives by neutron-radiation method using HSD was presented. It was shown that the sensitivity of the described method using an optimal HSD would be significantly higher than in the traditional formulation of such measurements using large NaI (Tl) detectors, and in the future can be reduced to ~ 100 – 200 grams of TNT at the time of measurement less than one minute.

УДК 621.039.52:615.849.1

Modeling of Hyperthermia at Stabilizing Percutaneous Vertebroplasty | N.K. Voznesensky, N.V. Bogdanov, S.L. Dorokhov, Yu.G. Zabaryansky, Eu.S. Matusevich, Yu.A. Kurachenko, V.A. Levchenko, Yu.S. Mardynsky, N.N. Voznesenskaya; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Hier Schools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 11 pages, 9 tables, 9 illustrations. – References, 20 titles.

For modelling of the local irradiation and hyperthermia synergetic at the radionuclide vertebroplasty, the study of the temperature fields caused by bone cement polymerization is carried out. Two groups of experiments involving the non-stationary temperatures distribution measurements were done, namely, the cement polymerization a) in the isolated cuvette, and b) in a vertebra. For experiments numerical modeling, the 3D non-stationary KANAL code applied in thermohydraulics of nuclear power installations is adapted. The consistency of measured data and simulated ones is obtained for temperature distributions, the spatial and time-dependent as well. The most important is the closeness in experimental and simulating temperature maximum value at cement polymerization in a vertebra. The executed study grants the theoretical support of vertebroplasty in two aspects: a) by providing with the developed calculation techniques, and b) by estimating the curative effect because of the bone tissue heating.