

ISSN 1729-7516

Вестник НЯЦ РК

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ВЫПУСК 4(32), ДЕКАБРЬ 2007

Издается с января 2000 г.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – д.ф.-м.н. КАДЫРЖАНОВ К.К.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: к.х.н. АРТЕМЬЕВ О.И., д.т.н. Байгурин Ж.Д.,
БЕЛЯШОВА Н.Н., к.ф.-м.н. ВОЛКОВА Т.В. к.т.н. ГИЛЬМАНОВ Д.Г.,
д.ф.-м.н. ЖОТАБАЕВ Ж.Р. – **заместитель главного редактора**,
д.г.-м.н. ЕРГАЛИЕВ Г.Х., к.б.н. КАДЫРОВА Н.Ж., к.ф.-м.н. КЕНЖИН Е.А.,
КОНОВАЛОВ В.Е., д.ф.-м.н. МИХАЙЛОВА Н.Н., к.ф.-м.н. МУКУШЕВА М.К., д.т.н. Уманец В.Н.
д.б.н. ПАНИН М.С., к.г.-м.н. ПОДГОРНАЯ Л.Е., к.ф.-м.н. СОЛОДУХИН В.П. д.ф.-м.н. ТАКИБАЕВ Ж.С.

ҚР ҰЯО Жаршысы

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫНЫҢ
МЕРЗІМДІК ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ ЖУРНАЛЫ

4(32) ШЫҒАРЫМ, ЖЕЛТОҚСАН, 2007 ЖЫЛ

NNC RK Bulletin

RESEARCH AND TECHNOLOGY REVIEW
NATIONAL NUCLEAR CENTER OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ISSUE 4(32), DECEMBER 2007

Сообщаем Вам, что периодический научно-технический журнал "Вестник НЯЦ РК", решением Комитета по надзору и аттестации в сфере науки и образования включен в перечень изданий, рекомендованных для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций по физико-математическим наукам. В настоящее время редакция располагает возможностью быстрой публикации статей.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИФРАКЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ В РАМКАХ ОПТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ	5
Нурабаева Г.У.	
ВЛИЯНИЕ МОЩНОГО ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРУ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ И ЧИСТЫХ МЕТАЛЛОВ	8
Кадыржанов К.К., Ермаков Е.Л., Кислицин С.Б.	
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПОТОКА В КАНАЛЕ ПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ	12
Жукешов А.М.	
КОРРЕЛЯЦИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОЛЛЕКТИВНОГО И КЛАСТЕРНОГО ДВИЖЕНИЙ В ЛЕГКИХ АКТИНОИДНЫХ ЯДРАХ	18
Кабулов А.Б.	
РАСЧЕТ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК НА РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ЛУГОВЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА	24
Соломатин В.М., Спиридонов С.И., Тетенькин В.Л., Мукушева М.К., Карпенко Е.И.	
ОЦЕНКА ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ НАСЕЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА	28
Спиридонов С.И., Мукушева М.К., Соломатин В.М., Баранов С.А.	
МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОНА ГЛОБАЛЬНЫХ ВЫПАДЕНИЙ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ	32
Митяев А.В., Стрильчук Ю.Г., Осинцев А.В.	
КОНСЕРВАТИВНАЯ ОЦЕНКА СТОХАСТИЧЕСКИХ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ ДЛЯ ЛУГОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА	37
Тетенькин В.Л., Спиридонов С.И., Мукушева М.К.	
КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СИСТЕМЫ "АТМОСФЕРА - ПОДСТИЛАЮЩАЯ ПОВЕРХНОСТЬ" И ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ СЕМИПАЛАТИНСКОГО РЕГИОНА	44
Артемьев О.И., Осинцев А.Ю., Газиев Я.И., Крышев И.И., Гордеев С.К., Газиев И. Я., Крышев А.И., Колесникова Л.В., Огородников Б.И., Мартыненко В.П., Уваров А.Д.	
ПОДХОДЫ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА (НА ПРИМЕРЕ ПЕРСОНАЛА НЯЦ РК)	53
Березина М.В., Кенжина Г.Т.	
ОЦЕНКА УРОВНЯ МУТИРОВАНИЯ ХРОМОСОМНОГО АППАРАТА AGROPYRON CRISTATUM	57
Минкенова К.С., Бигалиев А.Б., Каримбаева К.С., Силкина Г.П., Степачева Н.М.	
МИГРАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ И ПО ПИЩЕВОЙ ЦЕПИ НА ПАСТБИЩНЫХ УГОДЬЯХ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ЗИМОВКИ САРТАЙ КОРА	63
Магашева Р.Ю., Ястребкова Н.В., Ларионова Н.В., Кабдыракова А.М., Паницкий А.В.	

ТРАНСГРАНИЧНЫЕ РЕКИ КАЗАХСТАНА - РАДИАЦИОННЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ.....	70
Солодухин В.П.	
РОЛЬ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА В РЕШЕНИИ АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ НЕФТЯНОГО КОМПЛЕКСА И РАДИОЭКОЛОГИИ КАЗАХСТАНА	74
Солодухин В.П.	
ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРИТИЯ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ТЕРРИТОРИИ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ ДЕГЕЛЕН.....	80
Ляхова О.Н., Лукашенко С.Н., Субботин С.Б., Айдарханов А.О., Кубенов А.М.	

УДК 539.173

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИФРАКЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ В РАМКАХ ОПТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Нурабаева Г.У.

Семейский государственный педагогический институт, Казахстан

С помощью оптической модели проанализированы мировые данные по угловым распределениям дифракционного рассеяния быстрых нейтронов при энергиях 14 МэВ. Проведено сравнение с экспериментальными мировыми данными. Обнаружены новые аномалии в форме угловых распределений: подъем сечений под малыми углами, сдвиг фазы для углов задней полусферы и отсутствие глубоких провалов сечений для касательных к поверхности ядра траекторий.

Основные сведения о структуре и свойствах ядер дают ядерные реакции и, в первую очередь, реакции упругого рассеяния. Варьируя тип налетающих частиц и их энергию, можно включать ту или иную часть ядерного потенциала и изучать его свойства. Рассеяние нейтронов на ядрах позволяет получить уникальную структурную информацию, так как нейтронная амплитуда не содержит кулоновских фаз в S – матрице рассеяния.

На основе мировых литературных данных, выполнен теоретический анализ в рамках оптической модели, угловых распределений дифференциальных сечений упругого рассеяния нейтронов при энергии 14 МэВ.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЯДЕРНОЙ ДИФРАКЦИИ НЕЙТРОНОВ В РАМКАХ ОПТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Точная теоретическая интерпретация экспериментальных результатов по взаимодействию нейтронов с ядрами чрезвычайно затруднена, поскольку для этого в общем случае требуется решать задачу о взаимодействии многих тел. Такая задача еще не решена ни в классической, ни в квантовой механике. Задача осложняется еще и тем, что до сих пор понимание природы ядерных сил (взаимодействий) далека от удовлетворительной. Поэтому нет общей теории ядерных взаимодействий, которая могла бы с единых позиций истолковать получаемые экспериментальные сведения о характеристиках (прежде всего сечениях) ядерных взаимодействий. Поэтому приходится по необходимости решать задачу приближенно, по частям, прибегая к теоретическому моделированию процессов. Методы модельного анализа ядерных реакций, в частности в области энергий налетающих частиц единицы-десятки МэВ, довольно хорошо развиты и эффективны в интерпретации экспериментальных данных и предсказании их поведения в неисследованных энергетических и массовых диапазонах.

Основой теоретического описания является оптическая модель, трактующая процесс взаимодействия частицы с ядром, как чисто оптическую задачу. В рамках этой модели падающая волна разделяется на две части: отраженную (рассеянную) и поглощенную. Модель дает возможность с помощью комплексного

ядерного потенциала рассчитать полное сечение взаимодействия и сечение рассеяния на потенциале ядра (упругое потенциальное рассеяние). Все же остальные взаимодействия в оптической модели объединяются в сечение поглощения, почему и модель, в принципе, является одноканальной. Для расчета сечений прямых взаимодействий в других каналах (неупругое рассеяние, реакции с перераспределением частиц) нужны дополнительные методы: метод искаженных волн, метод связанных каналов.

Термин «Оптическая модель» впервые появился в 1952 году. До этого времени ранний, полуклассический вариант оптической модели был развит на основе описания ядра как «мутного» (частично прозрачного) шарика, сменившем представление Бете о ядре, как о «черном» шарике. Естественно следующим шагом был переход к квантовомеханическим методам и решению уравнения Шредингера для реакций на комплексном потенциале ядра.

При энергиях налетающих частиц около 10 МэВ/нуклон длина волны частицы становится сравнимой и даже меньшей размеров ядра. Это в сочетании с эффектом поглощения приводит к дифракционным явлениям в угловых распределениях: дифференциальное сечение носит довольно сложный характер, имея ярко выраженные минимумы и максимумы. Такое проявление волновой природы взаимодействующих ядерных объектов, выражаемой уравнением Шредингера, наблюдается в подавляющем числе ядерных реакций, например (p, p) , (n, n) :

$$\Delta\Psi + [k^2 - V(r, R(n))]\Psi = 0, \quad (1)$$

где: k - волновой вектор; $V(r, R(n))$ - потенциал несферического поля; R - параметр потенциала;

$$n = \frac{\vec{r}}{r}$$

Качественно волновые свойства частиц в этих взаимодействиях проявляются на форме угловых распределений, обнаруживающих осцилляции сечений в зависимости от угла вылета θ . Формализм описания упругого рассеяния сводится к следующему. Пусть на ядро A падает поток частиц a , описываемых волной де-Бройля ψ_a . Поскольку до ядра

частицы движутся свободно без взаимодействия $U(x,y,z)=0$, то их движение описывается уравнением Шредингера для свободного движения:

$$\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \Psi_a = E \cdot \Psi_a \quad (2)$$

Решение такого дифференциального уравнения есть плоская монохроматическая волна:

$$\Psi_a(r) = A \cdot e^{-ikr} \quad (3)$$

После взаимодействия с ядром волновая функция выходного канала будет $\psi_b(r)$, тогда полная волновая функция представится в виде суперпозиции падающей и рассеянной волн:

$$\Psi(r) = \psi_a(r) + \psi_b(r), \quad (4)$$

а уравнение движения запишется в виде:

$$(\Delta + k^2) \cdot \Psi(r) = V(r) \cdot \Psi(r) \quad (5)$$

Использование потенциала физически оправдано. Эксперименты Хофштадтера впервые показали, что можно выбрать потенциал в виде:

$$V(r) = \frac{V_0}{1 + \exp\left[\frac{r - R}{a}\right]} \quad (6)$$

Его называют потенциалом Вудса-Саксона. Практически в потенциал добавляют и мнимую часть:

$$U(r) = V_0 \cdot f_v(r) + iW_0 \cdot f_w(r), \quad (7)$$

где радиальные функции:

$$f_v(r) = \{1 + \exp[(r - R_v)/A_v]\}^{-1}, \quad (8)$$

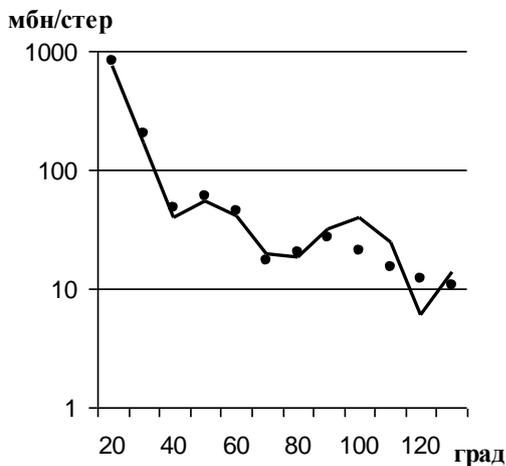
$$f_w(r) = \{1 + \exp[(r - R_w)/A_w]\}^{-1}. \quad (9)$$

имеющиеся в формулах (7-9) параметры: V_0 ; W_0 ; R_v ; A_v ; R_w ; A_w подвергаются последующей оптимизации при сравнении теоретического расчета с экспериментальными данными. Оптическая модель явилась мощным аппаратом исследования упругого рассеяния, ее развитие и усовершенствование является до сих пор весьма актуальной задачей.

На рисунках 1-2 представлены результаты сравнения теоретических расчетов [1,2] упругого рассеяния нейтронов с энергией 14 МэВ на ядрах ^{48}Ti и ^{92}Zr с мировыми экспериментальными данными [3]. В таблице 1 даны оптимизированные к эксперименту теоретические параметры оптической модели.

Таблица 1. Оптические параметры для упруго рассеянных нейтронов

Ядро	E_n , МэВ	Оптические параметры								
		V	r_v	a_v	W_d	r_d	a_d	$V_{s,o}$	$r_{s,o}$	$a_{s,o}$
^{48}Ti	14	44.9	4.62	1.27	5.52	4.4	1.21	5.8	3.23	0.89
^{92}Zr	14	44.3	5.64	1.25	6.02	5.91	1.31	5.8	4.02	0.89



Точки - данные из мировых источников [3], сплошная кривая - расчет по теоретической модели

Рисунок 1. Дифференциальные сечения рассеяния нейтронов с энергией 14 МэВ на ядре ^{48}Ti

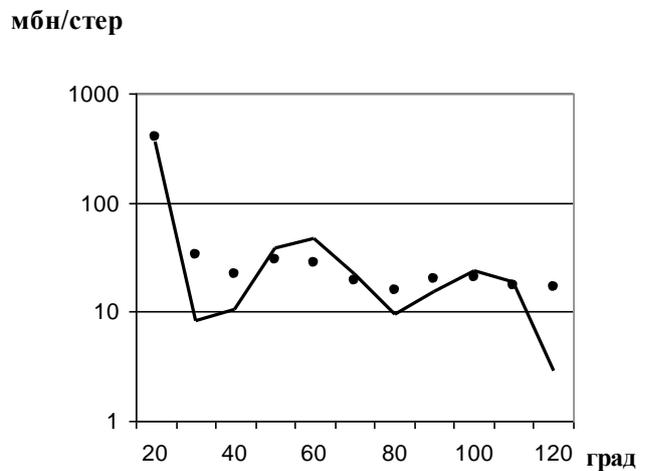


Рисунок 2. Дифференциальные сечения рассеяния нейтронов с энергией 14 МэВ на ядре ^{92}Zr

ЛИТЕРАТУРА

1. Тищенко, Б. И. Характерные особенности сечений дифракционного рассеяния / Б. И. Тищенко, Е. В. Инопин. // Ядерная физика, – 1968. – Т.7, – вып. 5. – С. 1029-1036.
2. Инопин, Е. В. Дифракционное рассеяние и полюсы Редже. / Е. В. Инопин // Журнал экспериментальной и теоретической физики, – 1965. – Т.48, – вып. 6. – С. 1620-1624.
3. Rapaport, J. A global optical-model analysis of neutron elastic scattering data / J. Rapaport, V. Kulkarni, R.W. Finlau // Nuclear Physics, – 1979. – Vol, A33. – P. 15-28.
4. Ходгсон, П. Е. Оптическая модель упругого рассеяния / П. Е. Ходгсон. – М.: Атомиздат, – 1966. – 232с.

**ЖЕДЕЛ НЕЙТРОНДАРДЫҢ ДИФРАКЦИЯЛЫҚ
ШАШЫРАУЫНЫҢ ОПТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬ ТЕОРЕТИКАЛЫҚ АНАЛІЗЫ**

Нурабаева Г.У.

Жедел нейтрондардың дифракциялық шашырауы бойынша әлемдік деректер жиналған, бағаланған және жүйеленген. Бұрыштық таралулар оптикалық модель әдісі аумағында талданған. Бұрыштық таралулар түрінде жаңа аномалиялар табылған: қималардың азғантай бұрыштармен көтерілуі артқы жарты сфера бұрыштары үшін фаза ығысуы және траекториялардың ядро бетіне жанамалары үшін қималарда терең түсулердің болмауы.

ANALISED IN THE FRAME OF OPTICAL MODEL DIFFRACTION SCATTERING OF FAST NEUTRONS

G.U. Nurabaeva

Of the world given date about diffraction scattering of fast neutrons to 14 MeV energy has been collected, estimated and systemized. The angular distributions were analyzed in the frame of optical model. A new anomaly in form of angular distribution has been discovered: increasing of cross-section at angles, phase shift for half-sphere back angles and there is no deep failure in cross-section by the tangential for the nuclear surface track.

УДК 669.018: 539.104

ВЛИЯНИЕ МОЩНОГО ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРУ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ И ЧИСТЫХ МЕТАЛЛОВ

Кадыржанов К.К., Ермаков Е.Л., Кислицин С.Б.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Методами растровой электронной микроскопии проведен фрактографический анализ нержавеющей стали 12X18H10T, 03X20H45M4БРЦ и технического чистого молибдена после облучения импульсными наносекундными электронными пучками и разрушения в результате одноосного растяжения.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальной задачей является создание реакторов нового поколения и термоядерных установок. Однако процессы, происходящие при работе термоядерных реакторов, такие как срыв плазмы, могут отрицательно влиять на механические свойства конструкционных материалов и металлов использующихся в реакторостроении.

Импульсное электронное облучение имитирует процессы термоядерных реакций, которые могут происходить в процессе эксплуатации установок.

В зависимости от рода и условий облучения структура материала претерпевает различные изменения, влияющие на его механические свойства. Поскольку формирование поверхности разрушения связано со структурой и свойствами металлов и сплавов, то фрактографические исследования позволяют выявить влияние внешних факторов на формирование и структуру изломов. Весьма важной особенностью воздействия наносекундных ($\tau \leq 100$ нс) импульсных электронных потоков на металлические материалы является формирование в кристаллической решетке ударных волн, которые вызывают структурно-фазовые превращения не только в поверхностных слоях, но и в объеме материала. Этот эффект проявляется, например, в изменении механических характеристик поликристаллов, подвергнутых облучению ИЭП.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследовали поликристаллический молибден чистотой 99,96 вес.% и нержавеющей стали аустенитного класса 12X18H10T, 03X20H45M4БРЦ. Образцы для облучения и дальнейших исследований изготавливались в виде двойной лопатки, с помощью специально разработанного штампа, с размерами рабочей части $10 \times 3,5 \times 0,3$ мм. Термообработку плоских образцов проводили в вакууме не ниже $6,7 \times 10^{-3}$ Па при температуре 1150°C в течение одного часа.

Облучение термообработанных образцов проводили однократным импульсом на модифицированном ускорителе «Нептун» (Алматы) [1] с энергией электронов 540 кэВ и плотностью мощности 5×10^8 Вт/см². Часть образцов облучали с обеих сто-

рон на ускорителе «Кальмар» (Москва) с энергиями электронов 180-520 кэВ, при плотности мощности $3,6 \times 10^8 - 5,1 \times 10^9$ Вт/см². Длительность импульса электронного пучка не превышала 100 нс [2].

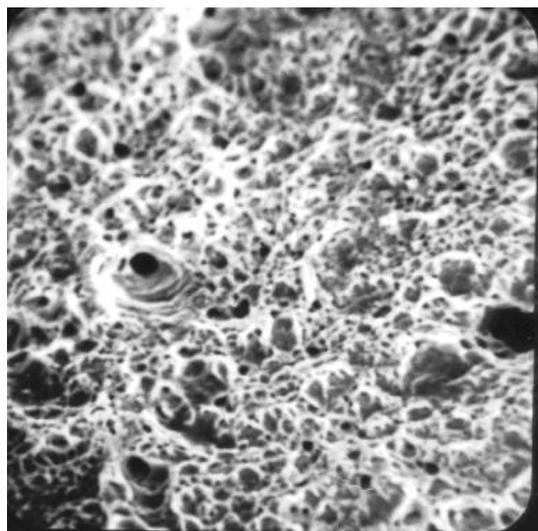
Одноосное растяжение образцов производилось при комнатной температуре на универсальной испытательной машине «Instron-1195» со скоростью 0,5 мм в мин.

Топографию поверхности и фрактографию облученных образцов изучали на растровом электронном микроскопе Amray-1200 В и «Philips SEM 515» в режиме вторичных электронов.

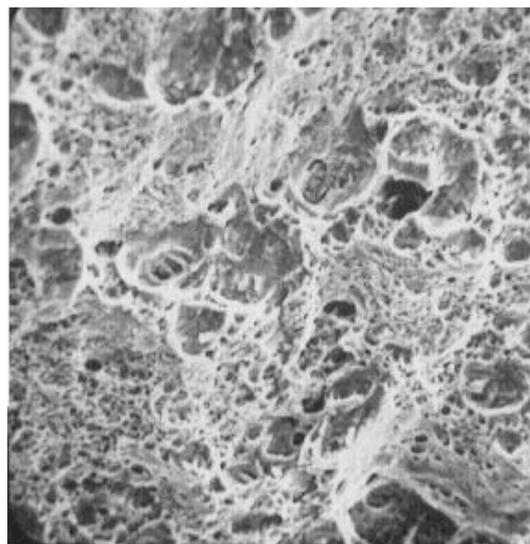
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Импульсное электронное облучение имеет два воздействия на материал, во-первых, это удар, во-вторых – высокие температуры. В результате ударных воздействий происходит деформация образца. Под воздействие высоких температур происходит оплавление поверхности и изменение химического состава на глубину около 40-50 мкм. На рисунке 1 а, б представлены фрактограммы необлученных сталей 03X20H45M4БРЦ и 12X18H10T после механических испытаний на одноосное растяжение.

Известно, что конструкционные стали аустенитного класса 12X18H10T, 08X16H11M3 обладают хорошими пластическими характеристиками в температурном интервале $20 - 500^\circ\text{C}$. При этом разрушение материала при кратковременных механических испытаниях носит вязкий характер, что подтверждается литературными данными, а также результатами фрактографического изучения поверхности излома образцов сталей 12X18H10T и 03X20H45M4БРЦ выполненных нами. Поверхность вязкого разрушения в плоскости максимальных касательных напряжений характеризуется наличием крупных (6-8 мкм) и мелких чашек (1-6 мкм) с выраженными гребнями отрыва. Чашки имеют форму правильных полусфер, либо эллипсоида в сечении. Крупные чашечные образования свидетельствуют о том, что в месте их образования находились включения.



а – 03X20H45M4БРЦ



б – 12X18H10Т. x500

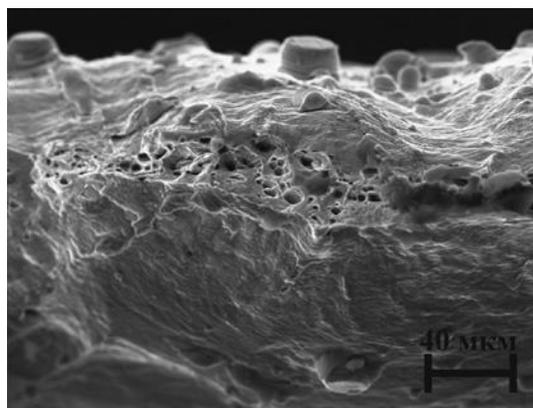
Рисунок 1. Поверхность разрушения необлученной нержавеющей стали

На рисунке 2 а, б представлены фрактограммы облученных сталей 03X20H45M4БРЦ и 12X18H10Т после механических испытаний на одноосное растяжение. Для облученной стали 03X20H45M4БРЦ характерно вязкое разрушение (рисунок 2а). Поверхность излома представляет собой чашечную структуру с развитыми гребнями отрыва, ширина самого излома составляет 35-40 мкм, наблюдается значительное сужение образца и на его боковой поверхности видны следы деформации. Все эти факторы говорят о высокой пластичности материала.

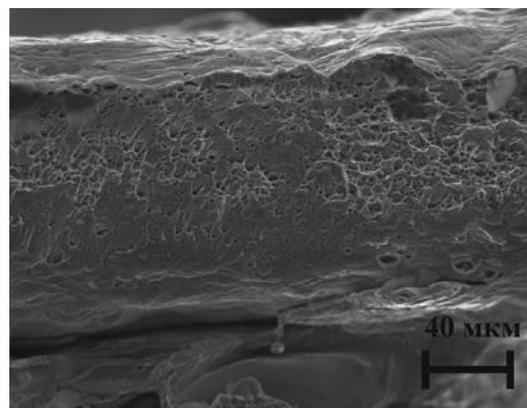
Излом облученной стали 12X18H10Т резко отличается от излома стали 03X20H45M4БРЦ. Поверхность разрушения представляет собой сухой волокнистый излом (рисунок 2б). Топография поверхности излома характеризуется чашечным строением без образования выраженных гребней отрыва. Ширина излома около 120 мкм – это примерно в 3 раза меньше чем у стали

03X20H45M4БРЦ. Такое строение и вид излома говорят о низкой пластичности материала.

Результаты фрактографических исследований молибдена до и после облучения представлены на рисунке 3. Большинство образцов молибдена, облученных на ускорителе «Кальмар» с плотностью мощности 2×10^9 Вт/см² и выше, разрушались непосредственно под пучком электронов. Поверхность излома облученных образцов не зависимо от одностороннего или двухстороннего облучения представляет собой хрупкий характер разрушения. На фрактограмме (рисунок 3а) видно, что разрушение произошло по границам зерен с образованием межзеренных фронтальных трещин. Также на разрушенной поверхности имеет место внутризеренное хрупкое разрушение по кристаллографическим плоскостям, о чем свидетельствует наличие участков квазискола на изломе образцов (рисунок 3б).

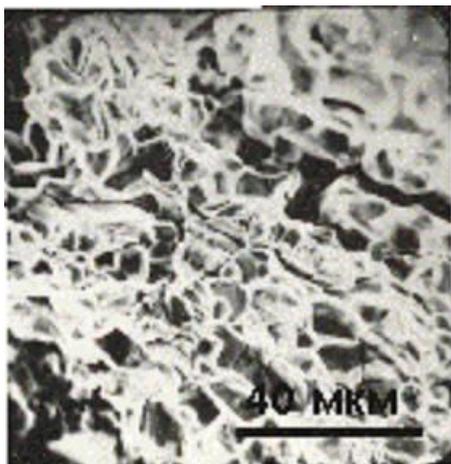


а – 03X20H45M4БРЦ

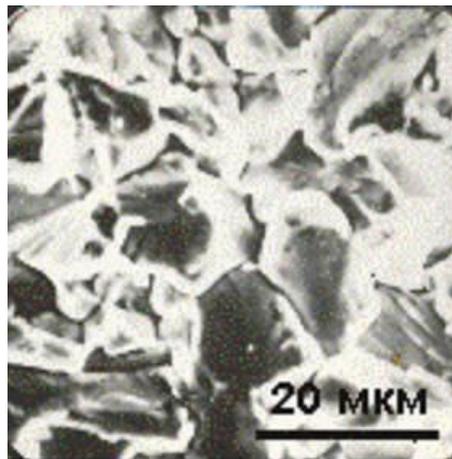


б – 12X18H10Т

Рисунок 2. Фрактограммы образцов сталей подвергнутых воздействию импульсного электронного облучения



а – Фрактограмма облученного Мо



б – участки квазискола

Рисунок 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Импульсное электронное облучение по-разному влияет на свойства сталей и металлов. Поскольку ударное воздействие охватывает весь объем образца в отличие от температурного поверхностного воздействия то в стали 12Х18Н10Т происходит образование мартенситной фазы, что вызывает снижение пластичности материала и изменение морфологии излома [3, 4]. Сталь 03Х20Н45М4БРЦ не подвержена мартенситным превращениям из-за высокого содержания никеля и сохраняет свойства исходного

материала после облучения импульсными электронными пучками.

Нейтронное облучение привело к резкому охрупчиванию молибдена, о чем свидетельствует изменение характера разрушения. Разрушение происходит в результате формирования ударных волн, локальное давление в которых превышает динамический предел прочности металла, это объясняет разрушение материала в процессе облучения.

Полученные результаты показывают, что механизмы разрушения чувствительны к условиям испытаний и режимам облучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Модернизированный импульсный электронный ускоритель «Нептун» / К. А. Байгарин, Х. Г. Кадыров, Б. М. Верменичев [и др.] // Изв. АН РК. Сер. физ.-мат. -1992. -№6. - С. 79-80.
2. Импульсный электронный ускоритель «Кальмар» с плотностью мощности ИЭП до 5×10^{12} Вт/см² / Б.А. Демидов, М. В. Ивкин, В.А. Петров [и др.] // Атомная энергия. -1979. -Т.46, -вып.2. - С. 100-104.
3. Мурр, Л. Е. Микроструктура и механические свойства металлов и сплавов после нагружения ударными волнами. Ударные волны и явления высокоскоростной деформации металлов/ Л.Е. Мурр -М.: Металлургия, -1984. -312 с.
4. Дефектная структура стали 12Х18Н10Т, подвергнутой облучению импульсными электронными потоками и деформированию / О. П. Максимкин, Х. Г. Кадыров, К. В. Цай, Н. В. Щербинина // ФММ. -2004. -Т. 97, -№4. -С. 42-48.

АУСТЕНИТТІК БОЛАТТАР МЕН ТАЗА МЕТАЛДАР ҚҰРЫЛЫМЫНА ҚАУАТТЫ ИМПУЛЬСТІК ЭЛЕКТРОНДЫҚ СӘУЛЕЛЕНДІРУДІҢ ЫҚПАЛЫ

Қадыржанов Қ.Қ., Ермаков Е.Л., Кислицин С.Б.

ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

12Х18Н10Т, 03Х20Н45М4БРЦ тоттанбайтын болат пен техникалық тазалықтағы молибденге импульстік наносекундтық электрондық шоктармен сәулелендіргеннен және біресті созудың нәтижесінде бүлінуден кейін растрлы электрондық микроскопия әдістерімен фрактографиялық талдау жүргізілген.

**INFLUENCE OF THE POWERFUL PULSE ELECTRONIC IRRADIATION
ON STRUCTURE AUSTENIT STEELS AND PURE METALS**

K. Kadyrzhanov, Ye. Yermakov, S. Kislitsin

Institute of nuclear physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

Methods of scanning electronic microscopy it is lead fraktografy the analysis of stainless steels Cr18Ni10Ti, 03Cr20Ni45MoBReZr and technically pure molybdenum after an irradiation pulse by electronic beams and destructions as a result stretching.

УДК 539.2:533.9.004.14

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПОТОКА В КАНАЛЕ ПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ

Жукешов А.М.

Казахский Национальный Университет им. Аль-Фараби, Алматы

Представлены результаты исследования формирования потока в электродинамическом плазменном ускорителе с симметричной геометрией электродов. Численный расчет проведен на основе модели двухкомпонентной блочной плазмы в применении к импульсному плазменному ускорителю КПУ-30. Показано, что структура потока существенно зависит от плотности плазмы, определяемой начальным рабочим давлением. Проведено сравнение полученных расчетов с экспериментальными данными ускорителя.

ВВЕДЕНИЕ

Плазменные потоки, формируемые сильноточными импульсными ускорителями большой мощности, широко применяются в различных физических и технологических установках. Несмотря на довольно простую схему устройства, динамика формируемой в канале ускорителя плазмы сложным образом зависит от условий эксперимента и существенно от геометрии электродной системы. Поэтому, экспериментальные исследования параметров формируемого потока необходимо проводить для каждого конкретного ускорителя. Подробные исследования работы импульсных плазменных ускорителей, проведенные в [1,2] показали, что для этих ускорителей существует «критическая» величина тока $J_{кр}$, при достижении которого происходит резкий рост напряжения на разряде и наблюдается изменение формы ВАХ ускорителя. При этом в ускорителе раскачиваются колебания большой амплитуды. Этот результат авторы связывают с влиянием эффекта Холла при течении плазмы поперек магнитного поля, приводящего к возникновению продольной компоненты электрического поля, из-за чего и происходит перестройка структуры разряда. А.И.Морозов на основе анализа ускорения плазмы в магнитном поле показал, что проявление эффекта Холла возможно при достаточно высокой плотности газа, когда выполняется условие квазинейтральности плазмы [3]. Дальнейшие эксперименты [4], проведенные на ускорителях КСПУ свидетельствуют, что влияние эффекта Холла приводит к сжатию плазмы в сторону одного из электродов и выносу тока за срез электродов.

В связи с этим, представляет интерес исследовать работу плазменного ускорителя в режиме со сплошным наполнением. В этом режиме рабочий газ заполняет рабочую камеру при заданном начальном давлении, что предоставляет возможность варьировать в широких пределах плотность формируемой плазмы. Этот режим позволяет получать ионно-плазменные потоки определенного состава, что пер-

спективно для различных технических и технологических применений плазменных ускорителей [5-8]. В данной работе проведена диагностика плазменного потока, формируемого при различных начальных давлениях и разрядных напряжениях на импульсном плазменном ускорителе КПУ-30.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Созданный в НИИЭТФ коаксиальный ускоритель КПУ-30 используется как для апробации вновь разрабатываемых диагностических методик, так и для модификации поверхности материалов. Ускоритель имеет цилиндрические электроды из меди длиной 45 см, диаметр внешнего электрода 9 см, внутреннего – 3 см. В отличие от стандартного «коаксиала», у которого центральный электрод близок по длине к наружному, в данном ускорителе внутренний электрод на 5 см короче внешнего и имеется буферный объем в начале электродов. Накопительная система состоит из 25 конденсаторов ИК-50-3 с рабочим напряжением 30 кВ, суммарной емкостью 75 мкФ. Рабочим газом являлся воздух, который оставался в камере после откачки до рабочего давления.

Для исследования применяли пояса роговского с различным количеством витков, свернутых в виде колец и установленных снаружи на разрядной шине и внутри ускорителя в плоскости, перпендикулярной к направлению плазменного потока. Таким образом, внутри ускорителя измеряется ток, проходящий через сечение кольца. В случае внешнего пояса этот ток соответствует разрядному току конденсаторов, а в случае внутреннего – току в плазме. Схема эксперимента показана на рисунке 1. Для регистрации сигнала с поясов использовали запоминающий осциллограф С8-14, сигнал подавали без усиления на вход осциллографа по коаксиальному кабелю 50 Ом. Осциллограммы сигналов получены путем фотографирования экрана осциллографа.

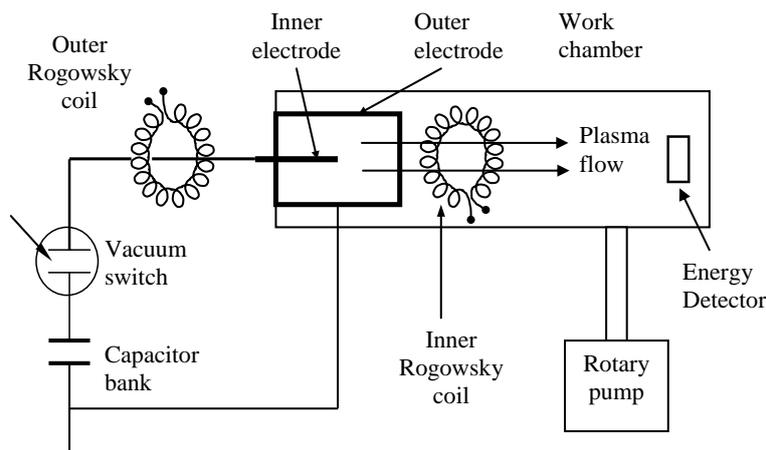


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки КПУ-30

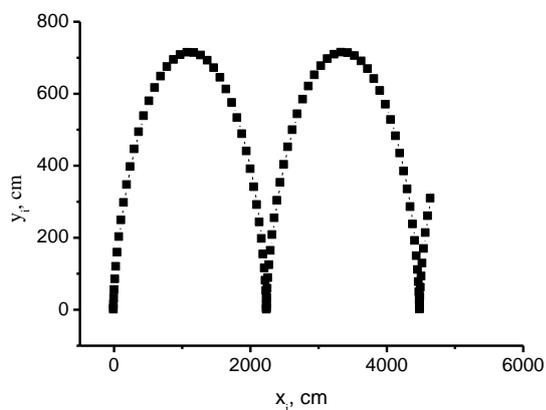
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Рассмотрим поведение двухкомпонентной плазмы, состоящей из электронного и ионного блоков в скрещенных электрическом и магнитном полях, с учетом квазинейтральности плазмы. Последнее обстоятельство учтем, введя продольную компоненту электрического поля, возникающую в результате сдвига блоков друг относительно друга за счет разности масс и зарядов ионов и электронов, как показано в [9]. Уравнения, описывающие движения центров тяжести ионного и электронного блоков, а также x -компоненты электрического поля, направленной вдоль оси электродной системы, имеют вид:

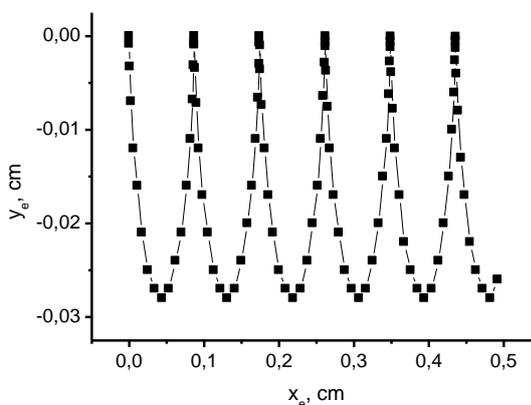
$$M \frac{dV_{ix}}{dt} = eE_x + \frac{e}{c} B_0 V_{iy}; \quad M \frac{dV_{iy}}{dt} = eE_0 - \frac{e}{c} B_0 V_{ix};$$

$$m \frac{d\mathcal{G}_{ex}}{dt} = -eE_x - \frac{eB_0}{c} \mathcal{G}_{ey}; \quad m \frac{d\mathcal{G}_{ey}}{dt} = -eE_0 - \frac{eB_0}{c} \mathcal{G}_{ex};$$

$$E_x = 4\pi en_0 (x_e - x_i) .$$



а



б

Рисунок 2. Траектории ионов а) и электронов б) при малой плотности.

Численное решение данной системы линейных уравнений проводили в среде MathCAD7, с учетом следующих начальных условий: напряжение на разряде 20 кВ, величина магнитного поля 2 Тл, начальная скорость частиц равна нулю. Величина магнитного поля и другие параметры для КПУ-30 были определены ранее с применением зондовых методов [10,11]. Исследовали зависимость траектории частиц от концентрации n , соответствующему рабочему давлению при температуре электронов 50 эВ.

На рисунке 2 а и б показаны траектории центров тяжести блоков при очень малой плотности плазмы $n \rightarrow 0$, т.е. когда не реализуется квазинейтральность. Видно, что при малой плотности, учитывая размер межэлектродного пространства (ширина 2 см., длина 45 см.), ионы двигаются практически в вертикальном, а электроны в горизонтальном направлении, и движение частиц происходит фактически независимо.

Другая картина для траектории частиц наблюдается при больших n , когда реализуется квазинейтральность. На рисунке 3а показаны траектории электронов при различных концентрациях. При концентрации ниже чем 10^{12} движение электронов, также как и в предыдущем случае, происходит по циклоиде вдоль оси x . Далее с ростом концентрации электроны начинают уходить далеко вдоль y , а движение ионов в этом направлении затруднено из-за влияния электрического поля электронов (рисунок 3б). Таким образом, в этом случае функцию создания тока в межэлектродном пространстве берут на себя электроны, а ионы являются «чисто инерционным» компонентом системы. Это приводит к тому, что ускорение ионов осуществляется возникающим в меж-электродном пространстве продольным (вдоль x) электрическим полем, которое называют «холловским». Происходит это следующим образом. В начале процесса скорость ионов мала, электроны их обгоняют и тянут за собой. На-

оборот, на стадии торможения электроны отстают и тянут ионы в обратную сторону. Но средние скорости дрейфа вдоль y ионов и электронов, очевидно, одинаковы при любой плотности. В результате, в ускорителе должны наблюдаться продольные колебания тока большой амплитуды. Период этих колебаний, очевидно, определяется амплитудой внешнего электрического поля.

Итак, численные расчеты показывают, что поведение частиц в межэлектродном пространстве плазменного ускорителя определяется рабочим давлением, точнее, плотностью плазмы. При низкой плотности, когда условие квазинейтральности не играет существенной роли, движение частиц независимо. Динамика частиц в плотной плазме определяется самосогласованным «холловским» полем. Величина концентрации, выше которой следует учитывать саомосогласованное поле, составляет 10^{11} - 10^{12} см⁻³.

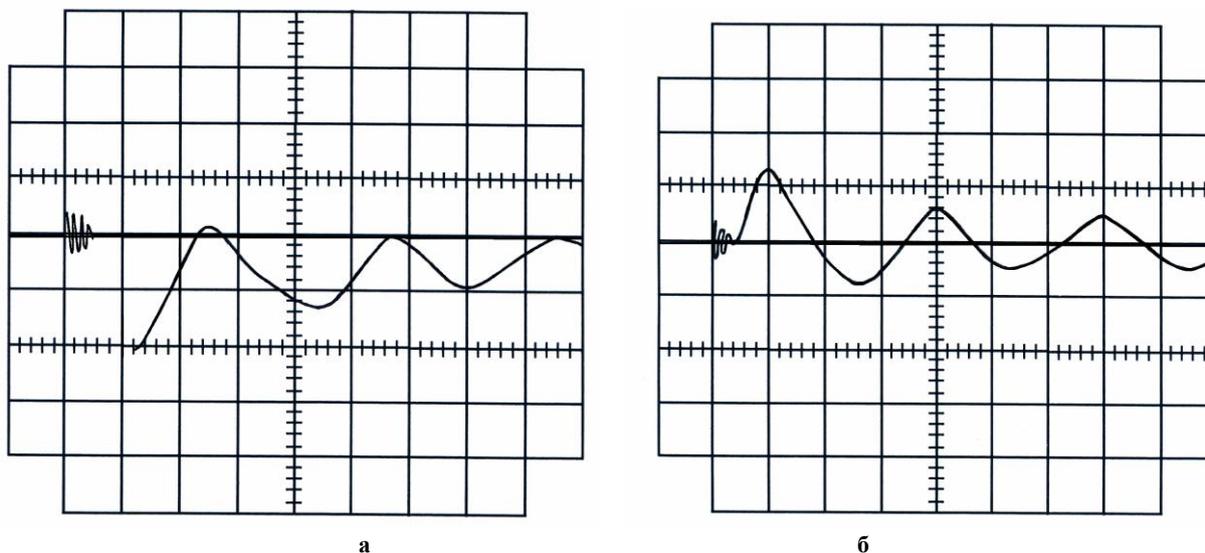
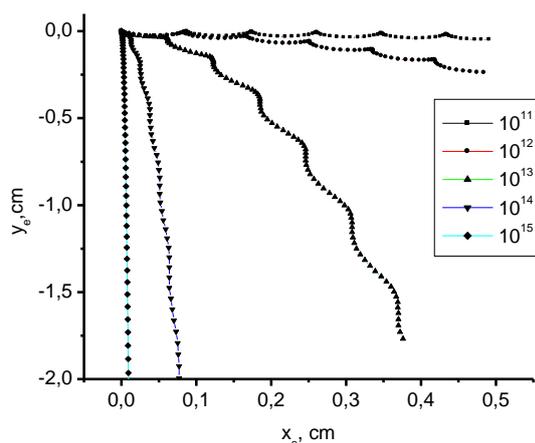


Рисунок 3. Траектории электронов (а) и ионов (б) при различных концентрациях

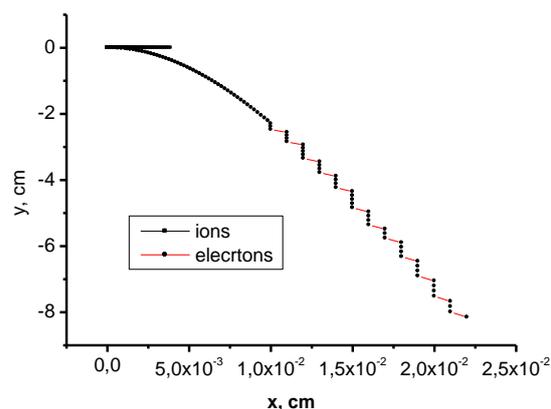
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Экспериментальные исследования проводили с целью установления динамики формирования потока внутри ускорителя. Ток через внутренний пояс определяли в зависимости от напряжения разряда при начальных давлениях 0,05, 0,08, 0,1, 0,5 и 1 торр. Напряжение разряда варьировали от 12 до 24 кВ с шагом 2 кВ. Типичные осциллограммы сигналов при 12 кВ приведены на рисунке 5. На всех картинах наблюдаются отрицательные и положительные максимумы, разделенные во времени. Поскольку временной сдвиг между пиками одинаковой полярности близок к периоду внешнего разрядного тока, можно сказать, что при каждом периоде разря-

да происходит формирование двух пиков противоположной полярности. Анализ поведения сигналов в зависимости от начального рабочего давления позволил установить новые закономерности в формировании плазменного потока. При низких давлениях на осциллограммах (рисунок 5а) амплитуда отрицательных пиков гораздо больше чем положительных. По мере повышения давления амплитуда положительных пиков растет и при давлении 1 торр (рисунок 5б) они почти одинаковы. Аналогичная картина, но менее ярко выраженная, наблюдается и при повышении разрядного напряжения при постоянном давлении.



а – 0,05 торр.



б – 1 торр.

Рисунок 4. Осциллограммы тока в плазме, полученные при разных давлениях.
По вертикали 5280 А/дел, по горизонтали 5 мкс/дел

Кроме этого, были проведены измерения с поясом, который устанавливался внутри на различном расстоянии по длине ускорителя, начиная от среза электродов. В этом случае, структура потока остается прежней, но форма и амплитуда сигналов изменяется в зависимости от расстояния. На рисунке 5 приведен график зависимости амплитуды первых положительных (I_+) и отрицательных (I_-) пиков, считая от начала развертки. Из рисунка видно, что амплитуда положительных пиков монотонно уменьшается, если не считать слабо выраженного максимума в районе 10 см. В то же время для отрицательных пиков наблюдается явно выраженный максимум на при 8 см от среза внешнего электрода. Возрастание амплитуды тока на некотором расстоянии не является фактом, что в этом месте увеличивается количество зарядов, потому что площадь под пиками постепенно уменьшается. В основном это обусловлено частичной деионизацией плазмы за счет соударений с нейтральным газом, т.е. рассеянием энергии. Поэтому, по мере удаления от среза электродов количество заряженных частиц должно падать по объективным причинам. Принимая этот факт во внимание, амплитуда тока должна постепенно падать по длине ускорителя. Этот процесс хорошо заметен для ионного тока на рисунке 5. Однако, для электронного тока на расстоянии 6 и особенно 8 см наблюдается резкое увеличение амплитуды сигнала. Уменьшение ширины пика и одновременное увеличение его амплитуды в некотором месте свидетельствует о том, что в этом месте происходит группировка частиц вдоль оси системы. Вероятно, это явление связано с формированием электромагнитного фокуса на определенном расстоянии от среза электродов. В этом случае происходит вынос линий тока за срез электродов и сжатие частиц к оси системы. Аналогичный процесс должен наблюдаться и для ионов, но так как ионы го-

раздо больше по массе, эффект фокусировки для них слабо выражен.

На основании полученных данных наблюдаемые экспериментальные результаты можно объяснить следующим. При малых рабочих давлениях электроны двигаются в сторону среза (конца) электродов с дрейфовой скоростью пропорциональной E/H .

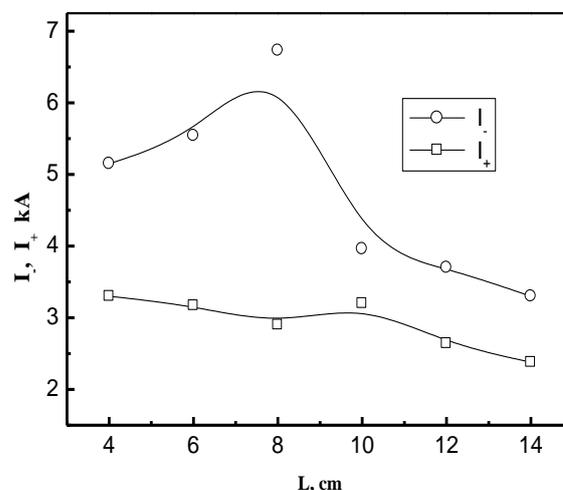


Рисунок 5. Зависимость тока в плазме от расстояния

В то же время, ионы, из-за большого ларморовского радиуса, ускоряются преимущественно в поперечном направлении и достигают стенки электродов раньше, чем они успевают выйти из межэлектродного пространства.

Поэтому на осциллограммах регистрируются лишь отрицательные пики, связанные с электронами. При высоком давлении картина существенно меняется: ионы практически двигаются в продольном направлении, ускоряясь вслед за электронами, и в канале ускорителя происходят продольные колебания плазмы. Динамика этих колебаний, естественно, определяется

внешним электрическим полем, т.е. напряжением на электродах. Поэтому на осциллограммах мы наблюдаем отрицательные и положительные пики, связанные с продольными колебаниями.

Выводы

Таким образом, пространственная структура плазменного потока существенно зависит от плотности газа в канале ускорителя. При низкой плотности (концентрация ниже 10^{11} см⁻³) плазма практически состоит из электронной компоненты тока. Это соответствует начальному рабочему давлению воздуха ниже 0,05 торр. При высоком рабочем давлении (более 0,1 торр), в КПУ реализуется холловский режим ускорения и структура потока представ-

представляет собой последовательность сгустков электронной и ионной компоненты плазмы. Однако в целом, за весь цикл колебаний, плазма нейтральна. Кроме этого, определено расстояние, на котором происходит формирование плазменного фокуса. Установлено, что положение точки фокуса для электронной и ионной компоненты различается на 2 см. Установленные особенности формирования потока могут быть использованы для создания источников заряженных частиц низких энергий. Кроме этого, указанные эффекты возможно использовать для электронно-ионной обработки материалов в технологиях производства материалов с заданными свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плазменные ускорители / под ред. Л.А.Арцимовича -М.: Машиностроение, 1973, -312 с.
2. Физика и применение плазменных ускорителей / под ред. А.И.Морозова – Минск: Наука и техника, 1974, -399 с.
3. Морозов А.И. К теории электромагнитных процессов при наличии эффекта /А.И. Морозов, А.П. Шубин // ЖЭТФ -1964, -Т.46, С. 710.
4. Асташинский В.М. Исследование физических процессов, обуславливающих режимы работы КСПУ / В.М. Асташинский, В.А. Маньковский, Л.Я. Минько, А.И.Морозов // Физика плазмы -1992, -Т.18.- №1. -С. 90-98
5. Tereshin V.I. Pulsed plasma accelerators of different gas ions for surface modification / F.N. Bandura, A.V. Bovda et al. // Rev. Sci. Instrum. - 2002. – V. 73(2). - P. 831-833.
6. Piekoszewski J. Pulse ion implantation – new single doping technique / M. Gryzicki, J. Langner, Z.Werner // Phys. Status Solidi. -1981.- А. -N 67. -P. 163–167.
7. Погребняк А.Д. Структура и свойства твердого сплава, нанесенного на медную подложку с помощью импульсно-плазменной технологии / А.Д. Погребняк, М.В. Ильяшенко, О.П. Кульментьева и др. // ЖТФ. -2001. -Т. 71. -вып. 7. –С. 111-118.
8. Жукешов А.М. Воздействие импульсной плазмы на поверхность конструкционных сталей / А.М. Жукешов // Поверхность. -2006. -№8. -С.94-97.
9. Морозов А.И. Введение в плазмодинамику / А.И.Морозов - М.: Физматлит, 2006. -С.78-80.
10. Zhukeshov A. M. Measuring the Parameters of Pulsed Plasma Flows by Means of Magnetic Probes / A.M. Zhukeshov, F. B. Baimbetov, A. U. Amrenova et al. // J. Engineering Thermophysics. -2007. -V. 16.- №. 1. -P. 40–43.
11. Baimbetov F. B. Dynamics of Plasma Flow Formation in a Pulsed Accelerator Operating at a Constant Pressure / F. B. Baimbetov, A. M. Zhukeshov, A. U. Amrenova // Tech. Phys. Let. -2007. -V. 33(1). -P.77-80.

ПЛАЗМА ҮДЕТКІШТІҢ КАНАЛЫНДАҒЫ АҒЫННЫҢ ҚАЛПТАСАСУЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІН ТЕОРИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛДЫ ТҮРДЕ ЗЕРТТЕУ

Жүкешов Ә.М.

Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы

Жұмыста электродинамикалық плазма үдеткіштің электродтарының арасында қалыптасатын ағынның құрылымы зерттеу нәтижелері ұсынылған. КПУ-30 құрылым үшін екі компоненті блокты модельді қолдана отырып, санды модельдеу жүргізілген. Ағынның құрылымы батапқы жұмыс қысымымен белгінетін плазманың тығыздығына тәуелді екені көрсетілген. Соңында, есептеп алынған ақпараттар эксперименталды нәтижелермен салыстырылған.

**THEORETICAL AND EXPERIMENTAL RESEARCH OF FEATURES OF A FLOW
FORMATION IN THE CHANNEL OF THE PLASMA ACCELERATOR**

A.M. Zhukeshov

Al-Farabi Kazakhstan National University, Almaty

The results of research of formation of a flow in the electrodynamic plasma accelerator with symmetrical geometry of electrodes are present. The numerical account is carried out on the basis of a two-component block model of plasma in application to the pulse plasma accelerator KPU-30. It is shown, that the structure of a flow essentially depends on density of plasma determined by initial working pressure. The comparison of the received accounts with experimental data of the accelerator carried out.

УДК 539.17.01

КОРРЕЛЯЦИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОЛЛЕКТИВНОГО И КЛАСТЕРНОГО ДВИЖЕНИЙ В ЛЕГКИХ АКТИНОИДНЫХ ЯДРАХ

Кабулов А.Б.

Казахский педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан

Развивается $U_d(6) \otimes U_p(4) \supset U_d(5) \otimes U_p(3) \supset O_d(5) \otimes O_p(3) \supset O_d(3) \otimes O_p(3) \supset O(3)$ симметрия обобщенной кластерной бозонной модели. Исследуется структура коллективных и кластерных состояний атомных ядер радиа (A=218,220,222), тория (A=220, 222).

Атомные ядра, как известно, проявляют кроме кластерной и другие формы коллективного движения. Хорошо известный пример – это коллективная мода, возникающая из движения валентных нуклонов. В реальных атомных ядрах конкретный вид коллективизации в чистой форме наблюдается редко. Поэтому необходимо развитие таких моделей ядра, которые учитывали бы как коллективную, так и кластерную моды, а также их корреляции. Если коллективная мода имеет квадрупольный характер, а кластерная – дипольный, в бозонном формализме такая модель будет описываться динамической симметрией $U(6) \otimes U(4)$. Здесь квадрупольное коллективное движение нуклонов отражается s - и d -бозонами, в свою очередь, кластерная мода – s_p - и p -бозонами.

Коллективная и кластерная моды движения нуклонов атомного ядра по сути своей разные и поэтому требуется введение двух типов s -бозонов. Итак, квадрупольное коллективное движение симметрично $U(6)$ группе [1], а дипольное кластерное – $U(4)$ [2], и, если они между собой коррелируют, то мы получим общую группу $U(6) \otimes U(4)$.

Общий гамильтониан, симметричный $U(6) \otimes U(4)$ группе, имеет вид

$$H = H_d + H_p + V_{pd}, \tag{1}$$

где первый член H_d , симметричный $U(6)$ группе, отражает квадрупольное коллективное движение нуклонов, второй член H_p , симметричный $U(4)$ группе, описывает дипольную кластерную моду, третий член V_{pd} представляет собой диполь-квадрупольное взаимодействие, обусловленное корреляцией квадрупольного коллективного и кластерного движений нуклонов в атомном ядре. Гамильтониан (1) аналогичен оболочечно-модельному гамильтониану с двумя типами частиц, каждый из которых может занимать два уровня и может быть диагонализирован в базисе $\left| s^{N_s} d^{N_d} N_1 L_d; s_p^{N_{sp}} p^{N_p} N_2 L_p; IM \right\rangle$ с $N = N_s + N_{sp} + N_d + N_p$. Операторы s - и d -, а также s_p - и p -бозонов заполняют пространство, кото-

рое обеспечивает базис для представления группы $U(6) \otimes U(4)$. Диагонализация гамильтониана (1) должна проводиться численными методами. Однако, существуют предельные симметрии, позволяющие проводить редукцию исходной группы, и тогда проблема собственных значений гамильтониана может быть решена аналитически.

Исследуем вибрационный предел $U(6) \otimes U(4)$ группы. Соответствующая этому пределу редукционная цепочка для группы $U(6) \otimes U(4)$ записывается в следующей форме

$$U_d(6) \otimes U_p(4) \supset U_d(5) \otimes U_p(3) \supset O_d(5) \otimes O_p(3) \supset O_d(3) \otimes O_p(3) \supset O(3) \tag{2}$$

Редукция (2) приемлема при изучении кластерных состояний сферических и слабо деформированных атомных ядер.

Как и в квадрупольном случае следует ожидать, что члены бозон-бозонного взаимодействия C_L, C_{pL}, χ_L будут определяющими в вибрационном пределе, и, потому, мы рассмотрим гамильтониан

$$H = \varepsilon_d \sum_m d_m^+ d_m + \sum_L \frac{1}{2} 2L+1 \frac{1}{2} C_L \left[d^+ d^{+L} dd^L \right]^0 + \varepsilon_p \sum_m p_m^+ p_m + \sum_L \frac{1}{2} 2L+1 \frac{1}{2} C_{pL} \left[p^+ p^{+L} pp^L \right]^0 + \sum_L \chi_L \left[d^+ p^{+L} dp^L \right]^0. \tag{3}$$

Диагонализация гамильтониана (3) в базисе $\left| d^{N_d} \chi_d L_d; p^{N_p} \chi_p L_p; IM \right\rangle$ должна производиться численными методами. Но если ограничить число p -бозонов единицей, то имеют место значительные упрощения расчетов. В таком случае диагональные матричные элементы уравнения (3) с базисными состояниями $\left| d^{N_d} \chi_d L_d; p; IM \right\rangle$ записываются

$$\left\langle d^{N_d} \chi_d L_d; p; IM \left| H \right| d^{N_d} \chi_d L_d; p; IM \right\rangle = E d^{N_d} \chi_d L_d + \varepsilon_p + N_d 2L_d + 1 \cdot \sum_{\chi J} \left[d^{N_d-1} \chi J d L_d \right] \left| d^{N_d} \chi_d L_d \right\rangle^2 \sum_{J'} 2J'+1 X_{J'} \begin{Bmatrix} J & 2 & L_d \\ 1 & 1 & J' \end{Bmatrix}^2, \tag{4}$$

где $[d^{N_d-1} \chi J dL_d | d^{N_d} \chi_d L_d]$ являются d - бозонными генеалогическими коэффициентами, а $\begin{Bmatrix} a & b & c \\ \alpha & \beta & \gamma \end{Bmatrix}$ обозначают $6j$ – символы Вигнера. В

выражении (3) $E \alpha^{N_d} \chi_d L_d$ представляет собой энергию d^{N_d} конфигурации, метод вычисления которой описан в [1]. Можно получить дальнейшие упрощения, если учитывать связь p -бозона с состояниями d^{N_d} - конфигурации, относящимися к основной полосе $L_d = 2N_d$. Так как в этом случае генеалогические коэффициенты в уравнении (4) равны единице, то

$$\langle d^{N_d}, L_d = 2N_d; p; IM | H | d^{N_d}, L_d = 2N_d; p; IM \rangle = E(d^{N_d}, L_d = 2N_d) + \varepsilon_p +$$

$$+ N_d(2L_d + 1) \sum_{J'} (2J' + 1) X_{J'} \cdot \begin{Bmatrix} L_d - 2 & 2 & L_d \\ 1 & I & J' \end{Bmatrix}.$$

Значения матричных элементов (5) для состояний с $I = 2N_d + 1$ и $I = 2N_d$ равны:

$$E(d^{N_d}, L_d = 2N_d; p; I = 2N_d + 1) = E(d^{N_d}, L_d = 2N_d) + \varepsilon_p + N_d \cdot X_3,$$

$$E(d^{N_d}, L_d = 2N_d; p; I = 2N_d) = E(d^{N_d}, L_d = 2N_d) + \varepsilon_p + N_d \cdot X_3 + 2N_d + 1 / 3 \Delta_2$$

где

$$\Delta_2 = X_2 - X_3.$$

В данной схеме генерируются: основная полоса $Y 0^+, 2^-, 4^+, \dots$ и полосы отрицательной четности $N 1^-, 3^-, 5^-, \dots$ и $N' 2^-, 4^-, 6^-, \dots$. Другие состояния отрицательной четности $I = 2N_d - 1$, которые возникают из связи $d^{N_d} \otimes p$, не формируют отдельную полосную структуру, так как

$$|d^{N_d}, L_d = 2N_d; p; I = 2N_d - 1\rangle \text{ смешивается с } |d^{N_d}, L_d = 2N_d - 2; p; I = 2N_d - 1\rangle.$$

Отметим что, что межполосные $E1$ - переходы разрешены как с основной на полосу с отрицательной четностью, так и наоборот.

Общие виды операторов $E2$ - и $E1$ -переходов в низшем порядке записываются

$$T_k E2 = \tilde{q}_2 d^+ s + s^+ d_k^2. \quad (8)$$

$$T_k E1 = \tilde{q}_1 p^+ s_p + s_p^+ p_k^1 + \tilde{q}'_1 \left[d^+ s^2 s_p^+ p^1 + p^+ s_p^1 s^+ d^2 \right]_k + \tilde{q}''_1 \left[d^+ d^2 s_p^+ p + p^+ s_p^1 \right]_k. \quad (9)$$

В вибрационном пределе без обрезания (8) и (9) становятся

$$T_k E2 = q_2 d_k^+ + (-)^k d_{-k}^2. \quad (10)$$

$$T_k(E1) = q_1 p^+ + (-)^{1-k} p_{-k} + q'_1 d^+ p + p^+ d_k^1 + q''_1 \left[d^+ d^1 p + p^+ \right]_k, \quad (11)$$

где $q_i = \tilde{q}_i N^{1/2}$. Следует заметить, что первый и третий члены (11) обуславливают $E1$ -переходы с полосы отрицательной четности на основную $N \rightarrow Y$, а второй член (11) описывает обратные $Y \rightarrow N$ $E1$ -процессы. Используя алгебру тензорных операторов для определения матричных элементов $T(E2)$ и $T(E1)$ в базисе состояний $|d^{N_d} \chi_d L_d; p; IM\rangle$, вычислим приведенные вероятности $E2$ - и $E1$ -переходов

$$B E2 = q_2^2 \cdot N_d + 1 \cdot \begin{cases} I_i = 2N_d + 2 \rightarrow I_f = 2N_d, \\ I_i = 2N_d + 3 \rightarrow I_f = 2N_d + 1. \end{cases} \quad (12)$$

$$B E1; I_i = 2N_d + 1 \rightarrow I_f = 2N_d = \left\{ q_1 + q''_1 N_d / 35^{1/2} \right\}^2. \quad (13)$$

$$B E1; I_i = 2N_d + 2 \rightarrow I_f = 2N_d + 1 = \frac{3}{5} q_1'^2 N_d + 1. \quad (14)$$

Представляет интерес также анализ отношения приведенных вероятностей $E1$ - и $E2$ -переходов в зависимости от спинов уровней I . Комбинируя уравнения (12), (13) и (14), можно получить отношения $B(E1)/B(E2)$ вероятностей переходов

$$\frac{B E1, I_i = 2N_d + 2 \rightarrow I_f = 2N_d + 1}{B E2, I_i = 2N_d + 2 \rightarrow I_f = 2N_d} = \frac{3}{5} \left(\frac{q'_1}{q_2} \right)^2, \quad (15)$$

$$\frac{B E1, I_i = 2N_d + 1 \rightarrow I_f = 2N_d}{B E2, I_i = 2N_d + 1 \rightarrow I_f = 2N_d - 1} = \frac{\left[q_1 + q''_1 \cdot N_d / 35^{1/2} \right]^2}{q_2^2 \cdot N_d}. \quad (16)$$

Проведем анализ экспериментальных [3-5] данных и сравнение их с расчетными, полученными в предположении существования дипольных степеней

свободы наряду с квадрупольными коллективными переменным, для четных изотопов радия ($A=218, 220, 222$) и тория ($A=220, 222$). Выбор этих ядер обусловлен тем, что легкие актиноиды являются сферическими или слабо деформированными и их энергетические спектры носят вибрационный и квазиротационный характеры. Как известно, актиноидные ядра обладают рядом структурных аномалий: во-первых, чередующаяся последовательность уровней положительной и отрицательной четностей $0^+, 2^+, 1^-, 4^+, 3^-, \dots$, во-вторых, усиление E1-переходов, а также большие значения приведенных α -ширин и малые – для факторов α -запрета. Эти аномалии интерпретируются нами на основе изложен-

ного выше метода связью кластерных степеней свободы с коллективными квадрупольными переменными в вибрационном пределе. С помощью уравнения (6) вычислены энергетические спектры приведенных выше ядер. Параметры теории ε_d и C_4 получены из сопоставления с экспериментальными данными основной полосы, а характеристики кластерных состояний ε_p, X_3 из подгонок по уровням отрицательной четности $1^-, 3^-, 5^-, \dots$. На рисунке 1 дано в качестве иллюстрации сравнение экспериментального [3-5] и вычисленного энергетических спектров соответственно для ${}^{222}_{90}\text{Th}$.

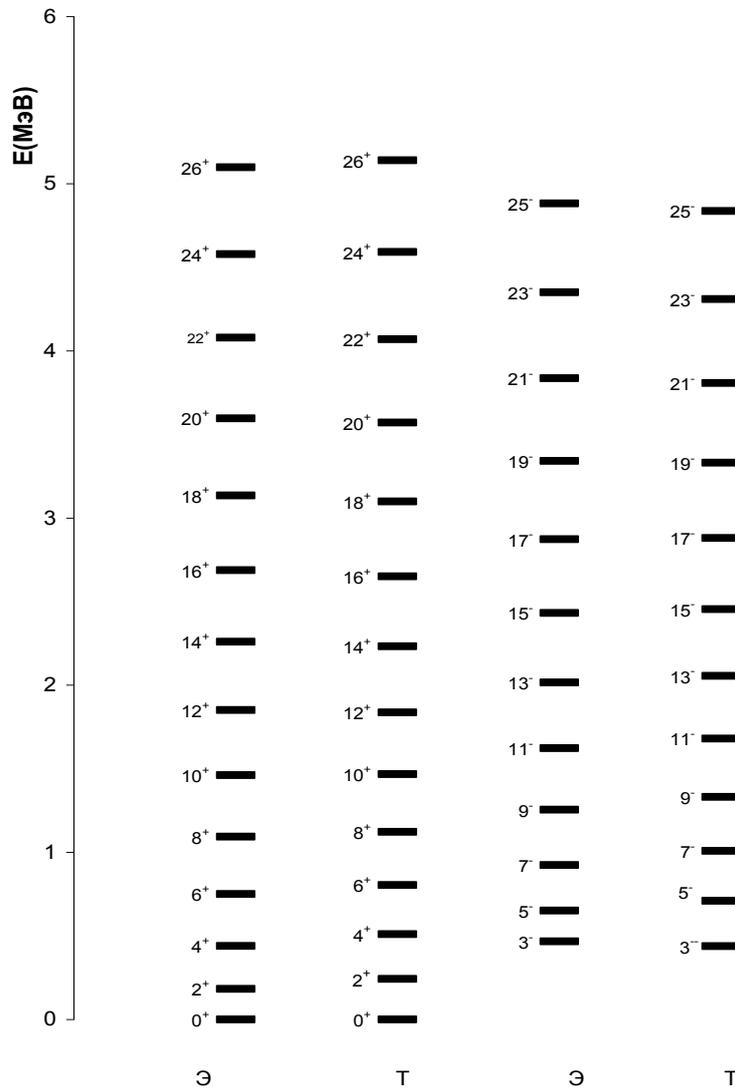


Рисунок 1. Экспериментальный и теоретический $U_d(6) \otimes U_p(4) \supset U_d(5) \otimes U_p(3) \supset O_d(5) \otimes O_p(3) \supset O_d(3) \otimes O_p(3) \supset O(3)$ энергетические спектры атомного ядра ${}^{222}_{90}\text{Th}$

Как видно из рисунка 1 имеется удовлетворительное согласие между теоретическим и экспериментальным спектрами. Систематика вычисленных значений параметров теории для всех указанных изотопов радия и тория приведена в таблице 1, из которой следует, что по мере увеличения A : ε_d для всех изотопов данного ядра падает, а абсолютное значение X_3 уменьшается. Ход параметра дипольных состояний ε_p , в общем, повторяет поведение положения уровня 1^- в зависимости от массового числа A для этих ядер.

В таблицах 2 и 3 сравниваются экспериментальные [6-8] и теоретические значения отношений $B(E1)$ и $B(E2)$ соответственно для

$${}^{218}_{88}\text{Ra} [q_1'/q_2'^2 = 5,74 \cdot 10^{-6} \Phi_M^{-2}; (q_1/q_2)^2 = 7,55 \cdot 10^{-5} \Phi_M^{-2}] =$$

при $q_1'' = 0$ и $q_1/q_2'^2 = 2,59 \cdot 10^{-5} \Phi_M^{-2}$ при $q_1''/q_1 = 1,4$

и

Таблица 1. Параметры теории коррелированных состояний сферических и слабо деформированных актиноидных ядер

Ядро	ε_d , кэВ	C_4 , кэВ	ε_p , кэВ	x_3 , кэВ
${}^{218}_{88}\text{Ra}$	390	5,2	410	-25
${}^{220}_{88}\text{Ra}$	200	40,0	240	-20
${}^{222}_{88}\text{Ra}$	120	35,0	235	-20
${}^{220}_{90}\text{Th}$	375	12,5	250	-10
${}^{222}_{90}\text{Th}$	242	25,5	191	-5

Таблица 2. Сравнение экспериментальных и теоретических $B(E1/B(E2)) \cdot 10^{-6} \Phi_M^{-2}$ для атомного ядра ${}^{218}_{88}\text{Ra}$

$\frac{I^+ \rightarrow I-1^-}{I^+ \rightarrow I-2^+}$	$\frac{B(E1)\varepsilon}{B(E2)\varepsilon}$ [6]	$\frac{B(E1)\delta}{B(E2)\delta}$	$\frac{I^- \rightarrow I-1^+}{I^- \rightarrow I-2^-}$	$\frac{B(E1)\varepsilon}{B(E2)\varepsilon}$ [6]	$\frac{B(E1)\delta}{B(E2)\delta}$ $q_1'' = 0$	$\frac{B(E1)\delta}{B(E2)\delta}$ $q_1''/q_1 = 1,4$
$\frac{6^+ \rightarrow 5^-}{6^+ \rightarrow 4^+}$	$3,7 \pm 0,8$	3,5	$\frac{7^- \rightarrow 6^+}{7^- \rightarrow 5^-}$	$2,8 \pm 0,6$	2,8	2,8
$\frac{8^+ \rightarrow 7^-}{8^+ \rightarrow 6^+}$	$3,5 \pm 0,4$	3,5	$\frac{9^- \rightarrow 8^+}{9^- \rightarrow 7^-}$	$2,2 \pm 0,4$	2,1	2,7
$\frac{10^+ \rightarrow 9^-}{10^+ \rightarrow 8^+}$	$1,1 \pm 0,2$	3,5	$\frac{11^- \rightarrow 10^+}{11^- \rightarrow 9^-}$	$3,6 \pm 0,4$	1,7	2,7
$\frac{12^+ \rightarrow 11^-}{12^+ \rightarrow 10^+}$	$1,8 \pm 0,3$	3,5	$\frac{13^- \rightarrow 12^+}{13^- \rightarrow 11^-}$	$2,9 \pm 0,4$	1,4	2,8
$\frac{14^+ \rightarrow 13^-}{14^+ \rightarrow 12^+}$	$1,3 \pm 0,3$	3,5	$\frac{15^- \rightarrow 14^+}{15^- \rightarrow 13^-}$	$2,9 \pm 0,4$	1,3	2,9

$${}^{222}_{90}\text{Th} [q_1'/q_2'^2 = 2,67 \cdot 10^{-6} \Phi_M^{-2}; (q_1/q_2)^2 = 4,8655 \cdot 10^{-5} \Phi_M^{-2}] =$$

при $q_1'' = 0$ и $q_1/q_2'^2 = 1,3 \cdot 10^{-5} \Phi_M^{-2}$ при $q_1''/q_1 = 1,84$.

Для переходов с состояний основной полосы на уровни отрицательной четности наш метод, как следует из уравнения (15), дает постоянное значение для $B(E1/B(E2))$. Что касается $E1$ -процессов с уровнями отрицательной четности на состояния основной полосы, то при допущении равенства нулю параметра q_1'' , как это видно из таблиц 2 и 3 теория предсказывает уменьшение $B(E1/B(E2))$ в зависимости от спина возбужденного состояния I , а при более точном расчете $q_1'' \neq 0$ теория дает небольшое уменьшение, а затем медленный рост $B(E1/B(E2))$ отношений в зависимости от I .

Таблица 3. Сравнение экспериментальных и теоретических $B(E1/B(E2)) \cdot 10^{-6} \text{Фм}^{-2}$ для атомного ядра $^{222}_{90}\text{Th}$

$\frac{I^+ \rightarrow I-1^-}{I^+ \rightarrow I-2^+}$	$\frac{B(E1)_э}{B(E2)_э}$ [7,8]	$\frac{B(E1)_Г}{B(E2)_Г}$	$\frac{I^- \rightarrow I-1^+}{I^- \rightarrow I-2^-}$	$\frac{B(E1)_Г}{B(E2)_Г}$ [7,8]	$\frac{B(E1)_Г}{B(E2)_Г}$ $q_1'' = 0$	$\frac{B(E1)_Г}{B(E2)_Г}$ $q_1'' / q_1 = 1,84$
$\frac{6^+ \rightarrow 5^-}{6^+ \rightarrow 4^+}$	$1,6 \pm 0,3$	1,6	$\frac{7^- \rightarrow 6^+}{7^- \rightarrow 5^-}$	$1,8 \pm 0,7$	1,8	1,8
$\frac{8^+ \rightarrow 7^-}{8^+ \rightarrow 6^+}$	$1,5 \pm 0,3$	1,6	$\frac{9^- \rightarrow 8^+}{9^- \rightarrow 7^-}$	$1,4 \pm 0,3$	1,4	1,8
$\frac{10^+ \rightarrow 9^-}{10^+ \rightarrow 8^+}$	$2,9 \pm 1,6$	1,6	$\frac{11^- \rightarrow 10^+}{11^- \rightarrow 9^-}$	$2,1 \pm 0,6$	1,1	1,9
$\frac{12^+ \rightarrow 11^-}{12^+ \rightarrow 10^+}$	$2,2 \pm 1,1$	1,6	$\frac{13^- \rightarrow 12^+}{13^- \rightarrow 11^-}$	$1,9 \pm 0,5$	0,9	2,0
$\frac{14^+ \rightarrow 13^-}{14^+ \rightarrow 12^+}$	$0,9 \pm 0,3$	1,6	$\frac{15^- \rightarrow 14^+}{15^- \rightarrow 13^-}$	$2,0 \pm 0,6$	0,8	2,1
$\frac{16^+ \rightarrow 15^-}{16^+ \rightarrow 14^+}$	$0,8 \pm 0,4$	1,6	$\frac{17^- \rightarrow 16^+}{17^- \rightarrow 15^-}$	$2,2 \pm 0,8$	0,7	2,2

В работе [9] предпринята попытка интерпретации коллективных состояний ^{218}Ra совместным рассмотрением N квадрупольных бозонов и одного октупольного бозона. Этот метод позволяет правильно запрещает $E1$ -переходы с состояний основной полосы на уровни отрицательной четности, в то время как на эксперименте наблюдаются $E1$ -процессы как с уровней основной полосы на состояниях отрицательной четности, так и обратно. В рамках же гипотезы существования дипольных степе-

ней свободы наряду с приемлемым описанием энергий возбуждений актиноидных ядер предсказываются обе ветви $E1$ -переходов как с полосы отрицательной четности на положительную, так и обратно.

Таким образом, модель корреляции колебательного коллективного и кластерного движений удовлетворительно описывает основные характеристики кластерных возбуждений четно-четных легких изотопов актиноидных ядер радия ($A=218 \div 222$), тория ($A=220, 222$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Arima A., Iachello F. Interacting boson model of collective states I. The vibrational limit // Ann. Phys. – 1976. – Vol. 99. – P. 253-317.
2. Бактыбаев К.Б., Кабулов А.Б., Кабулова Г.С., Раманкулов К.Е. Модель дипольной кластеризации нуклонов в атомных ядрах // Изв. РАН. Сер. физ. – 1996. – Т. 60, № 5. – С. 118-122.
3. Shirley V.S. Tables of isotopes. – New York: Jon Wiley and Sons, 1996. – 296 p.
4. Lederer C.M., Shirley V.S., Table of isotopes. – N.Y., 1978. – 216 p.
5. Richard B. Firestone Table of isotopes CD-ROM Lawrence Berkley National Laboratory. – Berkley: University of California, USA, 1999. – 432 p.
6. Gai M., Ennis J.F., Ruscev M. et al. Molecular alpha-particle clustering in ^{218}Ra // Phys.Rev.Lett.-1983.-Vol.51, N8.-P.646-649.
7. Ward D., Dranconlis G.D., Leigh J.R. et al. High-spin states in ^{222}Th Nucl. Phys.- 1983.-Vol.A406, N3.-P.591-612.
8. Bonin W., Dahlinger M., Glienke S. et al. Evidence for molecular cluster states in ^{222}Th // Z. Phys.- 1983.-Vol.A310, N3.-P.249-250.
9. Fernander-Niello J., Puchta H., Ries F. et al. High-spin states in ^{218}Ra // Nucl. Phys.- 1982.-Vol.A391, N1.-P.221-236.

**ЖЕНІЛ АКТИНОИД ЯДРОЛАРЫНЫҢ ТЕРБЕЛІМЕ КОЛЛЕКТИВТІК
ЖӘНЕ КЛАСТЕРЛІК ҚОЗҒАЛЫСТАРЫНЫҢ КОРРЕЛЯЦИЯСЫ**

Кабулов А.Б.

Абай атындағы Қазақ педагогика университеті, Алматы, Қазақстан

Жалпыланған кластерлік бозон моделінің $U_d(6) \otimes U_p(4) \supset U_d(5) \otimes U_p(3) \supset O_d(5) \otimes O_p(3) \supset O_d(3) \otimes O_p(3) \supset O(3)$ симметриясы дамытылынады. Радий (A=218, 220, 222), торий (A=220, 222) атом ядроларының коллективтік және кластерлік күйлерінің структурасы зерттелінеді.

**THE CORRELATION OF VIBRATIONAL COLLECTIVE
AND CLUSTERING MOTIONS IN LIGHT ACTINIDES**

A.B. Kabulov

Abai Kazakh Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

It is developed $U_d(6) \otimes U_p(4) \supset U_d(5) \otimes U_p(3) \supset O_d(5) \otimes O_p(3) \supset O_d(3) \otimes O_p(3) \supset O(3)$ symmetry of generalized clustering boson model. It is investigated the structure of collective and clustering states of atomic nuclei radium (A=218, 220, 222), thorium (A=220, 222).

УДК 504.054:539.16

РАСЧЕТ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК НА РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ЛУГОВЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

¹⁾Соломатин В.М., ¹⁾Спиридонов С.И., ¹⁾Тетенькин В.Л., ²⁾Мукушева М.К., ¹⁾Карпенко Е.И.

¹⁾Всероссийский НИИ сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия

²⁾Национальный ядерный центр Республики Казахстан, Курчатов, Казахстан

В результате присутствия радионуклидов в почвах на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) компоненты луговых экосистем подвергаются воздействию ионизирующего излучения. По этой причине представляет интерес оценка доз облучения луговой растительности СИП, являющейся ценозообразующим компонентом указанных экосистем. Объект, для которого оценивали дозовые нагрузки, представляет собой семена (генеративные органы) растений, произрастающих на территориях испытательных площадок “Опытное поле” и “Балапан” Семипалатинского испытательного полигона.

В данной работе представлены результаты оценки дозовых нагрузок на травянистые растения на наиболее загрязненных участках, расположенных вблизи эпицентров ядерных взрывов.

Наиболее загрязненными в результате ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) являются технические площадки “Опытное поле”, “Балапан”, “Дегелен”. На “Опытном поле” находятся эпицентры наземных и атмосферных взрывов. На площадке “Балапан” был произведен экскавационный взрыв, в результате которого территория, прилегающая к месту взрыва, подверглась существенному радиоактивному загрязнению. При проведении ядерных испытаний в окружающую среду поступило большое количество долгоживущих радионуклидов. К числу последних относятся радионуклиды, образовавшиеся в результате ядерных взрывов (¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ¹⁵²Eu, ¹⁵⁴Eu), и изотопы наведенной активности (⁶⁰Co, ¹⁵²Eu, ¹⁵⁴Eu). Кроме того, на территориях указанных площадок присутствуют естественные радионуклиды, такие как ⁴⁰K, ²³²Th, ²³⁸U, ²²⁶Ra.

В результате присутствия радионуклидов в почвах на территории СИП компоненты луговых экосистем подвергаются воздействию ионизирующего излучения. По этой причине представляет интерес оценка доз облучения луговой растительности СИП, являющейся ценозообразующим компонентом указанных экосистем. Объект, для которого оценивались дозовые нагрузки, представляет собой семена (генеративные органы) растений, входящих в состав луговых экосистем на территориях испытательных площадок “Опытное поле” и “Балапан” Семипалатинского испытательного полигона. На основе ана-

лиза характеристик радионуклидов, перечисленных выше, выделены следующие основные пути облучения генеративных органов травянистых растений:

- внешнее γ -облучение от радионуклидов, содержащихся в почве;
- внешнее β -облучение от радионуклидов, содержащихся в верхнем почвенном слое;
- внутреннее облучение от α -излучающих радионуклидов, поступивших в растения корневым путем из почвы.

При определении геометрии источника γ -облучения растений рассматривались два почвенных слоя (0-5 и 5-10 см), которые можно представить в виде двух толстых бесконечных источников (бесконечных “пластин”). При этом принято допущение о равномерном распределении радионуклидов в пределах каждого слоя. Концептуальная схема модели, предназначенной для оценки доз облучения растений от γ -излучающих радионуклидов представлена на рисунке 1.

В рамках концептуальной схемы дозиметрической модели выделено три зоны - зона 1, представляющая надземную часть фитоценоза травянистых растений, зона 2 и зона 3, описывающие слои почвы – от 0 до 5 см и от 5 до 10 см, соответственно. Зона 2 и зона 3 рассматриваются в качестве бесконечных толстых источников (бесконечных “пластин”) с концентрациями радионуклидов Q_1 и Q_2 , соответственно.

Зона 1 – надземная часть фитоценоза травянистых растений
Зона 2 – почвенный слой 0–5 см Концентрация радионуклидов – Q_1
Зона 3 – почвенный слой 5–10 см Концентрация радионуклидов – Q_2

Рисунок 1 Концептуальная схема модели, предназначенной для расчета дозовых нагрузок на растения от γ -излучающих радионуклидов

Для максимально адекватной оценки мощности дозы от толстых бесконечных источников, имитирующих зоны, выделенные в луговой экосистеме, использовался подход, позволяющий учесть рассеяние γ -квантов [1, 2]. В рамках этого подхода моделируется многократное рассеяние излучения путем учета фактора накопления – кратности превышения характеристик поля нерассеянного и рассеянного излучения над характеристиками поля рассеянного излучения. Фактор накопления в форме Тейлора, использованный при разработке модели, представлен в виде [1]:

$$B E_0, \mu d = A \exp -\alpha_1 \mu d + 1 - A \exp -\alpha_2 \mu d, \quad (1)$$

где E_0 – энергия γ -квантов, μ – линейный коэффициент ослабления, d – толщина защиты, A , α_1 , α_2 – численные коэффициенты.

Выражения, позволяющие рассчитать мощность дозы (P) от источника в виде пластины за защитой, имеет вид [2]:

$$P = \frac{2\pi\Gamma\gamma_1}{\mu_s\gamma_2} q_v \left[E_2^* \mu_s d - E_2^* \mu_s d + \mu_s h \right] \quad (2)$$

$$E_2^* z = \frac{A}{1+\alpha_1} E_2 \left[1 + \alpha_1 z \right] + \frac{1-A}{1+\alpha_2} E_2 \left[1 + \alpha_2 z \right] \quad (3)$$

$$D_1 = \int_{t_1}^{t_2} \frac{2 \cdot \pi \cdot \Gamma \cdot Q_1 \cdot \rho_0}{\mu_0 \cdot \rho_1} \cdot \left(E^* \mu_0 \cdot h(t) - E^* \left(\mu_0 \cdot h(t) + \mu_0 \cdot h_1 \cdot \frac{\rho_1}{\rho_0} \right) \right) dt \quad (4)$$

$$D_2 = \int_{t_1}^{t_2} \frac{2 \cdot \pi \cdot \Gamma \cdot Q_2 \cdot \rho_0}{\mu_0 \cdot \rho_2} \cdot \left(E^* \left(\mu_0 \cdot h(t) + \mu_0 \cdot h_1 \cdot \frac{\rho_1}{\rho_0} \right) - E^* \left(\mu_0 \cdot h(t) + \mu_0 \cdot h_2 \cdot \frac{\rho_2}{\rho_0} + \mu_0 \cdot h_1 \cdot \frac{\rho_1}{\rho_0} \right) \right) dt, \quad (5)$$

где D_1 и D_2 – дозы облучения от слоев 0-5 и 5-10 см; ρ_0 – плотность воздуха; μ_0 – линейный коэффициент ослабления γ -излучения в воздухе; ρ_1 и ρ_2 – плотности 1-го и 2-го слоев почвы; t_1 – время начала формирования генеративных органов, t_2 – время отбора проб; $h(t)$ – расстояние от места расположения генеративного органа до поверхности почвы; h_1 и h_2 – толщины 1-го и 2-го слоев почвы.

При разработке концептуальной модели, предназначенной для оценки дозы, формируемой β -излучением, в качестве источника рассматривался только верхний слой почвы. Это обусловлено небольшим пробегом β -частиц в почве, по сравнению с пробегом этих частиц в воздухе.

При расчете дозовых нагрузок, формируемых β -излучением, в качестве источника излучения рассматривался верхний почвенный слой. Концептуальная схема модели, предназначенной для расчета дозовых нагрузок на растения от β -излучающих радионуклидов представлена на рисунке 2. Для определения дозы от бесконечно плоского источника

где Γ – гамма-постоянная; qv – концентрация радионуклидов в источнике; γ_1 и γ_2 – массовые коэффициенты ослабления γ -излучения в воздухе и защите; μ_s и μ_s' – линейные коэффициенты ослабления γ -излучения в материале защиты и источника; d – толщина защиты, h – толщина источника, E_2 – функция Кинга.

Указанный подход был использован для расчета доз облучений генеративных органов травянистых растений, произрастающих на территории Семипалатинского испытательного полигона. При этом учитывалось то обстоятельство, что концентрация γ -излучающих радионуклидов в зоне 1 существенно ниже концентрации радионуклидов в почве, вследствие невысокой плотности фитомассы травяного покрова на территориях, прилегающих к площадкам “Опытное поле” и “Балапан”. По этой причине зона 1 не рассматривалась в качестве источника γ -излучения.

Таким образом, дозовые нагрузки на генеративные органы растений от толстых бесконечных источников γ -излучения, представляющих слои почвы толщиной 5 см, рассчитывались с использованием следующих формул:

толщины h использовался подход, описанный в работе [3]:

$$D^\beta = \int_x^{x+h} \rho \cdot \frac{\tau}{\sigma} \cdot D(y) dy, \quad (6)$$

где σ – поверхностная плотность активности; τ – количество распадов радиоактивного вещества в единице массы источника, произошедшее за рассматриваемый период времени; ρ – плотность среды; $D(y)$ – доза излучения на расстоянии x от тонкого плоского источника.

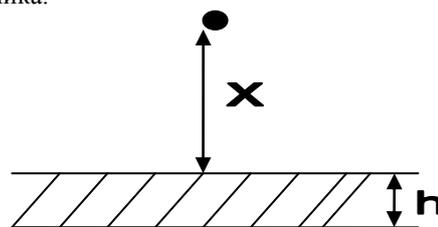


Рисунок 2. Концептуальная схема модели, предназначенной для расчета дозовых нагрузок на растения от β -излучающих радионуклидов

Функция $D(y)$ описывается следующей формулой:

$$D(y) = k \cdot v \cdot \overline{E}_\beta \cdot \alpha \cdot \sigma \cdot \left\{ c \cdot \left(1 + \ln \frac{c}{v \cdot x} \right) - e^{-\frac{v \cdot x}{c}} \right\} + e^{1-v \cdot x} \quad (7)$$

$$[] \equiv 0, \text{ при } x \geq c/v,$$

где v – эффективный коэффициент поглощения; \overline{E}_β – средняя энергия спектра β -частиц, приходящаяся на 1 распад; x – расстояние по перпендикуляру до поверхности плоского источника; k – численный коэффициент; c – функция максимальной энергии β -спектра, определяемая следующим соотношением:

$$c = k_1 \cdot e^{-k_2 \cdot E_0}, \quad (8)$$

где E_0 – максимальная энергия β -спектра, k_1 и k_2 – численные коэффициенты; α – параметр, зависящий от c .

$$\alpha = [3c2 - (c2 - 1)e] \quad (9)$$

Дозовая нагрузка на компоненты травянистых растений от α -излучающих радионуклидов формируется в случае накопления радионуклидов в этих компонентах. Поскольку размеры генеративных органов растений велики по сравнению с пробегом α -частиц, мощность поглощенной дозы рассчитывалась, как мощность дозы, создаваемой в бесконечном объеме поглощающего вещества с равномерным распределением радионуклидов.

Для определения дозовых нагрузок на генеративные органы травянистых растений от α -излучения инкорпорированных радионуклидов, использовалось уравнение описанное в работе [4]:

$$R = P \cdot \overline{E}_\alpha \cdot C \quad (10)$$

где R – мощность дозы α -излучения в ткани, C – концентрация радионуклидов, \overline{E}_α – средняя энергия α -излучения на распад, P – численный коэффициент.

Оценка концентраций α -излучающих радионуклидов в семенах растений (C) выполнялась на основе коэффициентов перехода радионуклидов в растения из почвы.

В результате расчетов установлено, что мощность суммарной дозы облучения генеративных органов травянистых растений, произрастающих на территории "Опытного поля", изменяется в широких пределах (от 0,006 до 0,27 мГр/сут). При этом

вклад отдельных радионуклидов в формирование дозовой нагрузки существенным образом варьирует. Так на участке, находящемся вблизи эпицентра ядерного взрыва, наибольший вклад в дозу вносит ^{152}Eu (78%). Значимыми радионуклидами являются также ^{137}Cs (10%) и $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ (4%).

На участках с невысокими уровнями радиоактивного загрязнения среди радионуклидов техногенного происхождения следует выделить ^{137}Cs и $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$, вклады которых в суммарную дозу облучения на отдельных участках достигают 24 и 37%, соответственно. Среди естественных радионуклидов, присутствующих в почвах указанных участков следует выделить ^{40}K . Вклад этого радионуклида в суммарную дозовую нагрузку варьирует в диапазоне 34-48%.

На участке, находящемся вблизи эпицентра взрыва, преобладающим является γ -облучение (75%), в то время, как на территориях с невысокими уровнями радиоактивного загрязнения преобладает облучение от β -излучающих радионуклидов (52-80%).

В результате расчетов установлено, что дозовые нагрузки на травянистые растения не превышают используемые в литературе [5] стандарты предельных доз для популяций наземных растений (10 мГр/сут). В то же время, согласно литературным данным [6] на территории СИП существуют небольшие участки, характеризующиеся значительными уровнями радиоактивного загрязнения. Так, на приустьевой площадке аварийной скважины №1069, расположенной на площадке "Балапан", плотности загрязнения по ^{137}Cs и ^{90}Sr достигают 400 и 30 Ки/км² соответственно [6]. Эти данные были использованы для оценки дозовых нагрузок на генеративные органы травянистых растений. При выполнении расчетов учитывалось приведенное в литературе соотношение $^{137}\text{Cs}/^{152}\text{Eu}$ (0.32 - 15.2) [7]. В результате проведенной консервативной оценки установлено, что мощность дозы облучения чувствительных компонентов растений может достигать 5.8 мГр/сут. Таким образом, на небольших участках СИП, характеризующихся значительными уровнями радиоактивного загрязнения, дозовая нагрузка на растения может быть сопоставима со стандартами предельных доз. В этом случае представляется необходимой оценка неопределенностей дозовых нагрузок и критических значений доз с последующей оценкой радиоэкологических рисков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев Н.Г., Машкович В.П., Суворов А.П. Физические основы защиты от излучений. Том 1. М., Атомиздат, 1980, 461 с.
2. Фесенко С.В. Действие радиационного фактора на экосистему пресноводного водоема. Дис. ...канд. физ.-мат. наук. Москва, 1985, 182 с.
3. Хайн Дж., Браунелл Г. Радиационная дозиметрия. Перевод с англ. под ред. Н.Г. Гусева, К.А. Труханова. М., издательство иностр. лит., 1958.
4. Моисеев А.А., Иванов В.И. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. М., Энергоатомиздат, 1990, 215 с.
5. Основные принципы оценки воздействия ионизирующих излучений на живые организмы за исключением человека. Публикация 91 МКРЗ. Ред. Я. Валентин. М., 2004, 76 с.

6. Ядерные испытания СССР: современное радиэкологическое состояние полигонов. Кол. авторов под рук. проф. В.А. Логачева. М., Изд.АТ, 2002, 639 с.
7. Артемьев О.И., Умаров М.А., Ларин В.Н., Процкий А.В. Изучение особенностей распределения радионуклидов в радиоактивных выпадениях атмосферных ядерных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне. Вестник НЯЦ РК. 2002, вып. 3, с. 24-29.

СЕМЕЙ СЫНАҚ ПОЛИГОНЫНЫҢ ШАЛҒЫНДЫ ЭКОЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ӨСІМДІКТЕРІНЕ ТҮСЕТІН ДОЗАЛЫҚ ЖҮКТЕМЕНІҢ ЕСЕБІ

¹Соломатин В.М., ¹Спиридонов С.И., ¹Тетенькин В.Л., ²Мұқышева М.Қ., ¹Карпенко Е.И.

¹*Бүкілресейлік ауылшаруашылық радиология және агроэкология ФЗИ, Обнинск, Ресей*
²*Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығы, Курчатов, Қазақстан*

Семей сынақ полигоны (ССП) аумағындағы топырақтарда радионуклидтердің болуы нәтижесінде шалғынды экожүйелер компоненттері иондауыш сәулелену әсеріне шалдығады. Сол себепті, көрсетілген экожүйелердің баға туындатушы компоненті болып табылатын ССП шалғынды өсімдіктерінің дозаларын бағалау қызығушылық туындатады. Дозалық жүктемелер бағаланған объект – Семей сынақ полигонының «Тәжірибе алаңы» және «Балапан» сынақ алаңдарының аумақтарында өсетін өсімдіктердің тұқымдары (генеративтік органдары).

Аталмыш жұмыста ядролық жарылыстардың эпиорталықтарына жақын орналасқан неғұрлым ластанған учаскелердегі шөптесін өсімдіктерге түсетін дозалық жүктемелердің бағаларының нәтижелері ұсынылған.

CALCULATION OF RADIATION EXPOSURE FOR VEGETATION OF SEMIPALATINSK TEST SITE GRASSLAND ECOSYSTEMS

¹V.M. Solomatin, ¹S.I. Spiridonov, ¹V.L. Teten'kin, ²M.K. Mukusheva, ¹E.I. Karpenko

¹*All-Russian SRI of Agricultural Radiology and Agroecology, Obninsk, Russia*
²*National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov, Kazakhstan*

Grassland ecosystem components are exposed to ionizing radiation due to radionuclide content in soil of Semipalatinsk test site (STS). Therefore, assessment of radiation dose to STS vegetation being the cenosis forming component of the ecosystems is of interest. Radiation exposure is assessed for seeds (generative parts) of plants growing at *Experimental Field* and *Balapan* experimental sites of Semipalatinsk test site.

The report presents assessment results of the radiation exposure to herbage plants at the most contaminated sites located close to ground zeroes of nuclear explosions.

УДК 504.054:539.16

ОЦЕНКА ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ НАСЕЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

¹⁾Спирidonov С.И., ²⁾Мукушева М.К., ¹⁾Соломатин В.М., ²⁾Баранов С.А.

¹⁾Всероссийский НИИ сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия

²⁾Национальный ядерный центр Республики Казахстан, Курчатов, Казахстан

Существенные уровни радиоактивного загрязнения некоторых участков Семипалатинского испытательного полигона (СИП) и активное ведение сельскохозяйственного производства приводят к необходимости оценки радиозоологической ситуации на территории СИП. Важными направлениями исследований являются: прогнозирование миграции биологически значимых радионуклидов в “критических” луговых экосистемах СИП, оценка накопления радионуклидов в сельскохозяйственной продукции и дозовых нагрузок на население.

Выполнена оценка пространственного распределения плотностей загрязнения долгоживущих радионуклидов (¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr) в ареалах выпаса лошадей и овец на территории Семипалатинского испытательного полигона. Осуществлен прогноз дозовых нагрузок на различные категории населения, проживающего на территории полигона и употребляющего загрязненную животноводческую продукцию.

Рассчитана динамика дозовых нагрузок на население, перемещающееся по территории СИП, и пастухов, выпасающих лошадей и овец.

Существенные уровни радиоактивного загрязнения некоторых участков на территории СИП и активное ведение сельскохозяйственного производства приводят к необходимости оценки радиозоологической ситуации на территории полигона. Важными направлениями исследований являются: прогнозирование миграции биологически значимых радионуклидов в “критических” луговых экосистемах СИП, оценка накопления радионуклидов в сельскохозяйственной продукции и дозовых нагрузок на население.

На основе использования комплекса математических моделей, описывающих поведение ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs в луговых экосистемах Семипалатинского испытательного полигона [1-2], были проведены скрининговые оценки накопления этих радионуклидов в сельскохозяйственной продукции, производимой на территории СИП. Результаты расчетов показали, что при выпасе лошадей и овец на наиболее загрязненных участках технических площадок “Балапан” и “Опытное поле” концентрации долгоживущих радионуклидов в продукции животноводства могут превышать нормативы, установленные в Республике Казахстан.

Таким образом, результаты скрининговых оценок продиктовали необходимость проведения дальнейших исследований, связанных с прогнозированием доз облучения населения, проживающего на территории СИП и употребляющего загрязненную продукцию. Основные этапы этих исследований включают:

- идентификацию ареалов выпаса лошадей и овец на территориях, прилегающих к площадкам “Балапан” и “Опытное поле”,
- изучение пространственного распределения плотностей загрязнения долгоживущими радионуклидами (¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr) территорий выпаса животных с оценкой средневзвешенных показателей,

- прогнозирование доз внутреннего облучения населения, употребляющего загрязненную сельскохозяйственную продукцию,
- прогнозирование доз внешнего облучения и суммарных дозовых нагрузок на различные категории населения.

Следует подчеркнуть, что расчеты выполнялись с целью определения дополнительных доз облучения населения в результате радиоактивного загрязнения территории Семипалатинского испытательного полигона после ядерных испытаний. Критерием оценки величины этих дозовых нагрузок является допустимый уровень облучения - 1 мЗв/год. Население, подвергающееся облучению в результате загрязнения территории СИП, можно разделить на 3 группы: пастухи, выпасающие сельскохозяйственных животных; население, проживающее на территории полигона и население за пределами полигона, употребляющее загрязненную продукцию.

Сельскохозяйственные животные выпасаются на участках, прилегающих к техническим площадкам “Опытное поле” и “Балапан”. На этих участках расположены населенные пункты и пастбища коллективных сельскохозяйственных предприятий, к которым относятся хозяйства “Чаганское” (зимовка “Атомное озеро”) и “Акжарское” (зимовка “Тактайколь”). В результате обработки информации, характеризующей ареалы выпаса лошадей и овец, получены доли площадей (от общих площадей указанных ареалов), с различными плотностями загрязнения ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr. Средневзвешенные плотности загрязнения долгоживущими радионуклидами (q_{ij}) рассчитывались по формуле:

$$q_i^j = \sum_j Q_i^j \cdot \delta_i^j, \quad (1)$$

**ОЦЕНКА ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ НАСЕЛЕНИЯ
НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА**

где Q_{ij} – j -я плотность загрязнения i -м радионуклидом, δ_i^j – доля площади участков с j -ой плотностью загрязнения i -м радионуклидом.

Средневзвешенные плотности загрязнения ^{137}Cs территорий выпаса с центрами в зимовках “Тактайколь” и “Атомное озеро” составили 6.81 кБк/м² (0.184 Ки/км²) и 12.9 кБк/м² (0.349 Ки/км²). Значения аналогичных показателей для ^{90}Sr – 5.14 кБк/м² (0.139 Ки/км²) и 7.58 кБк/м² (0.205 Ки/км²), соответственно.

Проведена консервативная оценка накопления радионуклидов в сельскохозяйственной продукции и дозовых нагрузок на население. При реализации этого подхода полагалось, что овцы и лошади выпасаются в наиболее загрязненных секторах ареалов выпаса. Средневзвешенные плотности загрязнения долгоживущими радионуклидами территорий указанных секторов составили для ^{137}Cs – 29.5 кБк/м² (0.798 Ки/км²) и 70.3 кБк/м² (1.9 Ки/км²) при выпасе сельскохозяйственных животных в непосредственной близости от зимовок “Тактакойль” и “Атомное озеро”, соответственно. Средневзвешенные плотности загрязнения ^{90}Sr территорий выделенных секторов для зимовок “Тактакойль” и “Атомное озеро” составили 11.9 кБк/м² (0.321 Ки/км²) и 52.5 кБк/м² (1.42 Ки/км²).

Расчет доз внутреннего и внешнего облучения населения, проживающего на территории Семипалатинского испытательного полигона и употребляющего загрязненную радионуклидами продукцию, осуществлялся на основе подходов, разработанных при анализе последствий аварии на Чернобыльской АЭС [3]. При этом в качестве входной информации использовались результаты прогнозирования содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в компонентах луговых экосистем СИП, полученные с помощью миграционных моделей [1-2].

Результаты расчетов суммарных доз облучения населения в 2006 г. при выпасе сельскохозяйственных животных на различных участках Семипалатинского испытательного полигона представлены в табл. 1. Источники внутреннего и внешнего облучения – радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr “взрывного” происхождения, находящиеся в почве рассматриваемых участков, а также в продукции животноводства, употребляемой населением в пищу. Дозовые нагрузки оценивались для 3-х категорий населения, определенных выше, при этом дозы внешнего облучения пастухов рассчитывались с учетом двух вариантов пастьбы – кругло-

годового выпаса и выпаса в отсутствие снежного покрова. Согласно второму варианту овцы зимой не выпасаются, а находятся в кошарах.

Из таблицы 1 видно, что дополнительные дозовые нагрузки на население, проживающее за пределами Семипалатинского испытательного полигона, находятся в настоящее время в диапазоне от 0.036 до 0.37 мЗв/год. Следует подчеркнуть, что даже при употреблении продукции животноводства, полученной при выпасе лошадей и овец в пределах наиболее загрязненного сектора в районе зимовки “Атомное озеро”, дополнительная дозовая нагрузка не превышает допустимого уровня (1 мЗв/год). Аналогичный вывод можно сделать и для населения, проживающего на территории СИП. Для этой категории людей годовые эффективные дозы составляют в настоящее время 0.073-0.749 мЗв, в зависимости от плотности загрязнения долгоживущими радионуклидами территорий, прилегающих к зимовкам.

Максимальные дозы облучения получают пастухи, представляющие критическую группу населения СИП. В результате выпаса сельскохозяйственных животных на наиболее загрязненной территории (в районе “Атомного озера”) суммарная годовая доза облучения этой категории населения достигает значений 1.13–1.47 мЗв. При этом наибольшему облучению подвергаются пастухи, выпасающие животных круглогодично.

На основе анализа полученной информации можно заключить, что наиболее радиологически опасная ситуация возникает в случае совпадения трех условий:

- критическая группа населения – пастухи;
- максимально загрязненный долгоживущими радионуклидами (критический) участок;
- наиболее интенсивный (круглогодичный) режим пастьбы сельскохозяйственных животных.

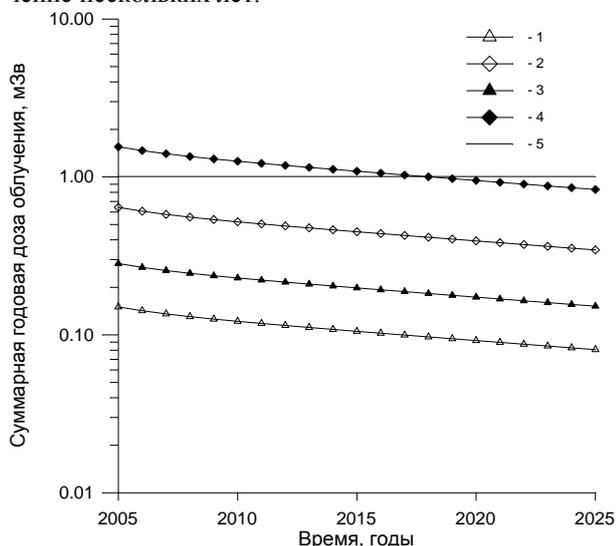
Анализируя источники формирования суммарной эффективной дозы облучения различных категорий населения, следует отметить, что вклад внутреннего облучения в суммарную дозу варьирует от 49.5% для населения, не участвующего в выпасе животных, до 25.3-32.9% - для пастухов. Максимальную дозу внешнего облучения получают пастухи, выпасающие животных круглый год (вклад внутреннего облучения – 25.3%).

Таблица 1. Суммарные дополнительные дозы облучения различных категорий населения, сформированные ^{137}Cs и ^{90}Sr в 2006 г. при выпасе сельскохозяйственных животных на различных территориях, мЗв/год

Категории населения	Территории выпаса сельскохозяйственных животных			
	Зимовка “Тактакойль”		Зимовка “Атомное озеро”	
	Ареал выпаса	Наиболее загрязненный сектор	Ареал выпаса	Наиболее загрязненный сектор
Население, проживающее за пределами СИП	0.036	0.146	0.066	0.370
Население, проживающее на СИП	0.073	0.305	0.136	0.749
Пастухи (круглогодичная пастьба)	0.142	0.606	0.268	1.47
Пастухи (в зимний период животные не выпасаются)	0.109	0.463	0.205	1.13

ОЦЕНКА ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ НАСЕЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Динамика суммарных дозовых нагрузок на пастухов с круглогодичным режимом пастбы представлена на рисунке 1. Видно, что превышение допустимого уровня облучения пастухов, выпасающих овец в наиболее загрязненном секторе (ареал выпаса в районе зимовки “Атомное озеро”) сохранится в течение нескольких лет.



1 – ареал выпаса (зимовка “Тактайколь”), 2 - наиболее загрязненный сектор (зимовка “Тактайколь”), 3 - ареал выпаса (зимовка “Атомное озеро”), 4 - наиболее загрязненный сектор (зимовка “Атомное озеро”), 5 – допустимый уровень дополнительного облучения

Рисунок 1. Суммарные годовые дозовые нагрузки на пастухов с круглогодичным режимом пастбы

Таким образом, оценка уровней облучения различных категорий населения, проживающего на СИП и употребляющего животноводческую продукцию показала, что дозовые нагрузки в большинстве случаев не превышают допустимого уровня (1 мЗв/год). Это связано с тем, что в состав ареалов

выпаса сельскохозяйственных животных помимо участков с высоким содержанием радионуклидов в почве входят значительные по площади территории с фоновыми уровнями радиоактивного загрязнения. Максимальные дозы облучения получает критическая группа населения СИП - пастухи, выпасающие лошадей и овец в районе зимовки “Атомное озеро”.

На основе анализа полученных результатов можно сделать вывод о необходимости дальнейших работ по оценке дозовых нагрузок на население, проживающее на территории Семипалатинского испытательного полигона. Эти работы должны быть направлены на уточнение ряда показателей, влияющих на формирование доз облучения, в частности – пространственных и временных характеристик режимов выпаса сельскохозяйственных животных и поведения населения. Важным условием оценки радиэкологической обстановки на полигоне является идентификация территорий заготовки сена, используемого в качестве корма для овец в зимний период. Содержание радионуклидов в этом виде корма может быть значительным при его заготовке на участках с повышенным содержанием радионуклидов (например, вблизи ручьев, вытекающих из штолен технической площадки “Дегелен”). Представляется необходимым уточнение вклада трансурановых радионуклидов в формирование дозы внутреннего облучения вследствие ингаляционного и перорального поступления этих радионуклидов в организм человека. Таким образом, на основе проведенных оценок доз облучения населения, проживающего и работающего на территории Семипалатинского испытательного полигона, можно заключить, что проблема, связанная с радиационным воздействием на население СИП, требует дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Спиридонов С.И., Мукушева М.К., Гонтаренко И.А. и др. Прогнозирование поведения ^{137}Cs в системе почва-растения на территории Семипалатинского испытательного полигона. Радиационная биология. Радиэкология. 2005, т. 45, № 4. с. 488-497.
2. Спиридонов С.И., Мукушева М.К., Гонтаренко И.А. и др. Разработка модели и оценка параметров переноса радионуклида ^{90}Sr в системе почва-растение на территории, прилегающей к технической площадке “Опытное поле”. Вестник Евразийского Национального Университета им. Л.Н. Гумилева, Серия естественно-технических наук, 2005, №2, с. 60-71.
3. Реконструкция средней накопленной в 1986-1995 гг. эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году. Методические указания. МУ 2.6.1.579-96. Минздрав России, Москва, 1996, 28 с.

**СЕМЕЙ СЫНАҚ ПОЛИГОНЫ АУМАҒЫ ХАЛҚЫНЫҢ
СӘУЛЕЛЕНУ ДОЗАСЫНЫҢ ӘРТҮРЛІ САНАТЫН БАҒАЛАУ**

¹⁾Спиридонов С.И., ²⁾Мұқышева М.К., ¹⁾Соломатин В.М., ²⁾Баранов С.А.

¹⁾*Бүкілресейлік ауылшаруашылық радиология және агроэкология ФЗИ, Обнинск, Ресей*

²⁾*Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығы, Курчатов, Қазақстан*

Семей сынақ полигонының (ССП) кейбір учаскелерінің радиоактивтік ластануының айтарлықтай деңгейлері мен ауылшаруашылығының белсенді жүргізілуі ССП аумағындағы радиоэкологиялық жағдайды бағалаудың қажеттілігіне әкеліп тіреді. Зерттеулердің маңызды бағыттары ССП «сындық» шалғынды экожүйелеріндегі биологиялық маңызды радионуклидтердің миграциясын болжау, ауылшаруашылығы өнімдеріндегі радионуклидтер жиналуын және халыққа түсетін дозалық жүктемені бағалау болып табылады.

Семей сынақ полигоны аумағындағы жылқы мен қой жайылымы аралдарындағы ұзақ өмір сүретін радионуклидтердің (¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr) ластану тығыздығының кеңістікте таралуын бағалау орындалды. Полигон аумағында тұратын және ластанған мал шаруашылығы өнімдерін пайдаланатын халықтың әртүрлі деңгейіне түсетін дозалық жүктемелердің болжауы жүзеге асырылды.

ССП аумағы бойында жер алмастырып отыратын халыққа, жылқы мен қой жаятын малшыларға түсетін дозалық жүктемелер динамикасы есептелді.

**EXPOSURE DOSES ASSESSMENT FOR DIFFERENT
POPULATION CATEGORIES AT THE SEMIPALATINSK TEST SITE**

¹⁾ S.I. Spiridonov, ²⁾ M.K. Mukusheva, ¹⁾ V.M. Solomatin, ²⁾ S.A. Baranov

¹⁾*All-Russian SRI of Agricultural Radiology and Agroecology, Obninsk, Russia*

²⁾*National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov, Kazakhstan*

Considerable levels of radioactive contamination at some areas of Semipalatinsk test site (STS) as well as agricultural activity bring to necessity in evaluation of radioecological situation at the STS. Important researches include: predict migration of biologically significant radionuclides in “critical” STS grassland ecosystems, assess radionuclides accumulation in agricultural products and radiation exposure to population.

Contamination space distribution is assessed for long-lived radionuclides (¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr) at areas where horses and sheep are grazed at STS. Radiation exposure doses are predicted for different population categories living at the test site area and consuming contaminated animal products.

Radiation exposure history is calculated for population moving at the STS as well as for shepherds.

УДК 519.24(577.4)

МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОНА ГЛОБАЛЬНЫХ ВЫПАДЕНИЙ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ

Митяев А.В., Стрильчук Ю.Г., Осинцев А.В.

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Разработана и апробирована на реальных данных методология определения фона глобальных выпадений техногенных радионуклидов. Результаты работы позволят определить уровни глобальных выпадений для территории СИП и прилегающих регионов.

ВВЕДЕНИЕ

На данный момент развития радиоэкологии существует трудности с выбором методов статистической обработки данных радиологических площадных исследований. Основная часть методов заимствуется из смежных наук, таких как геохимия, геология и др. Основные принципы исследований в данных науках и радиоэкологии во многом сходятся. Поиск локальных участков загрязнения и фоновых величин содержания радиоактивных элементов при обследовании территорий подобен поиску рудных тел и определению кларков содержания элементов на обследуемой территории. В случае изучения радионуклидного загрязнения не все эти методы применимы. Это связано с тем, что распределение естественных элементов в земной коре, как правило, подчиняется нормальному или логнормальному законам распределения. В связи с различными условиями формирования радиоактивного загрязнения (глобальные и локальные радиоактивные выпадения) при определении фоновых значений нельзя полностью применять те же методы статистической обработки. В связи с выше сказанным, проблема определения фоновых значений для территорий подвергшихся локальному радиоактивному загрязнению является весьма актуальной.

МЕТОДОЛОГИЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ И ЛОКАЛЬНЫХ ВЫПАДЕНИЙ

В результате проведения радиоэкологического обследования получен большой массив данных радиационных параметров, характеризующий радиоактивное загрязнение территории СИП. Эти данные необходимо анализировать методами математической статистики. Это в первую очередь связано с тем, что статистические приёмы обработки эмпирических данных позволяют получать обоснованные выводы в условиях неопределённости, что в значительной мере повышает эффективность радиоэкологических исследований. Использование статистических методов позволяет получить основные статистические параметры, которые в дальнейшем необходимы для оценки величин, полученных в результате исследования.

Значения радиационных параметров, измеренных на территории СИП и прилегающих к нему территориях, имеют очень большой разброс данных.

Это связано с различными условиями формирования радиоактивного загрязнения (глобальные и локальные радиоактивные выпадения). Как следствие можно говорить о двух генеральных совокупностях радиационных параметров для данной территории. В связи с этим для достижения цели исследования необходимо разделить данные на две выборки, принадлежащие к разным генеральным совокупностям, и анализировать их отдельно. При проведении литературного обзора по данной тематике приемлемых методов математической статистики для разделения смешанной выборки, содержащей данные двух различных генеральных совокупностей, не было обнаружено. Большинство методов основывается на введении дополнительного фактора влияющего на разбиение выборки (например: пол населения, место нахождения, высотная привязка и др.). В описываемой задаче таким фактором могло бы служить площадное разбиение территории на сильно загрязненные и слабо загрязненные участки, но для этого необходимо установить уровни загрязнения.

Для выделения из общей выборки данных, принадлежащих глобальным выпадениям, в данной работе предлагается использовать метод последовательных итераций для определения и последующего удаления статистических артефактов [1]. Статистический артефакт (аномальное значение) – процесс, явление, образование, не свойственные изучаемому объекту как таковому и возникающие в ходе его исследования вследствие применения теорий, методов, инструментов, организационных приемов. Так как глобальные и локальные выпадения принадлежат различным генеральным совокупностям, то значения, принадлежащие одной из этих совокупностей будут являться артефактами для другой.

Обычно степень загрязнения выражается определенным именованным числом. Этот основной способ характеристики наблюдения оказывается недостаточным, когда требуется определить ценность наблюдения. Для решения таких проблем был введен особый показатель ценности пробы по отношению к выборке – нормированное отклонение, вычисляемое по формуле:

$$X_{\text{норм}} = \frac{x - \text{Avg}_{\text{эзв}}}{\sigma}, \quad (1)$$

Нормированное отклонение помогает определить выпад (аномальные значения) из выборки. Выпады находятся по следующей системе: считаем для подозрительных значений выборки нормированное отклонение и сравниваем его с критерием выпадов ($T_{\text{вып}}$), значения которого даются в таблице 1. Этим способом проводится ряд итераций до тех пор, пока значения из выборки больше не будут относиться к выпадам.

Следующий этап разделения двух выборок, принадлежащих к разным генеральным совокупностям, заключается в разделении выборок на участке пере-

сечения их вариационных кривых распределения (правая ветвь глобальных выпадений и левая ветвь локальных выпадений) (рисунок 1).

Таблица 1. Стандартные значения критерия выпадов $T_{\text{вып}}$, (1)

Кол-во измерений	$T_{\text{вып}}$	Кол-во измерений	$T_{\text{вып}}$
47-66	2.8	125-174	3.2
67-84	2.9	175-349	3.3
85-104	3.0	350-599	3.4
105-124	3.1	600-1500	3.5

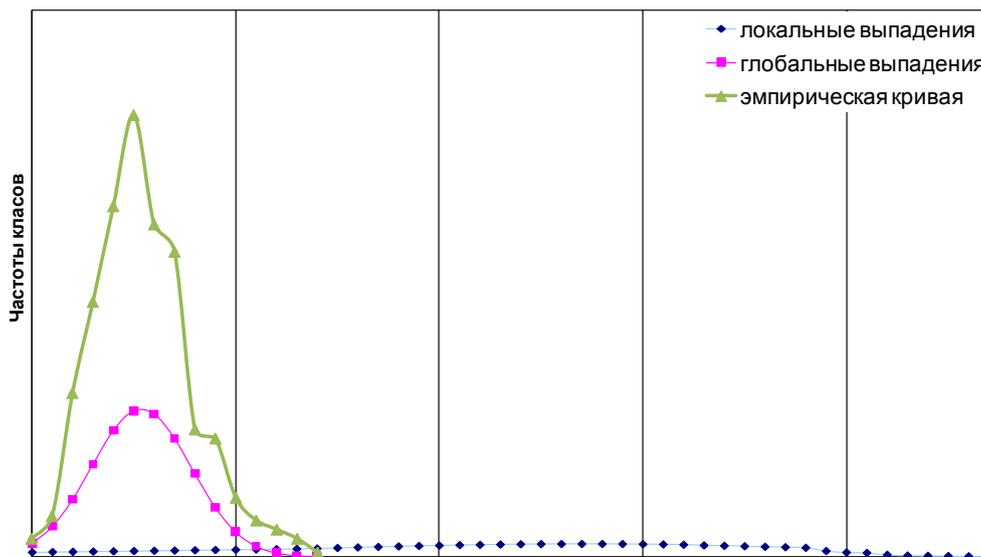


Рисунок 1. Зона пересечения распределений

Для этого необходимо удалить все значения, падающие в зону влияния точек со значениями, расцененными как артефакты для выборки глобальных выпадений. Данный этап предусматривает построение карты-схемы с расположением точек обследования и заданием радиуса влияния для выброшенных значений.

Следующим шагом требуется проверить гипотезу о нормальности, полученного одномерного распределения, одним или несколькими из имеющихся способов [2]. В случае подтверждения гипотезы о нормальности полученного распределения, предлагается фоновыми значением считать среднее арифметическое выборки глобальных выпадений.

АПРОБИРОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ НА ДАННЫХ КАРАГАНДИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Для апробирования метода были взяты данные радиологического обследования территории Карагандинской области, проведенного в 2002 году [3]. Обследование территории проводилось по регулярной сетке 1,5*1,5 км, пробы почвы отбирались на

глубину 5 см. Имеющийся набор данных (удельная активность ^{137}Cs) был выбран в виду того, что работа была проведена в течение короткого периода времени (один полевой сезон) с использованием одних и тех же приборов, методик измерений, обора проб, одним и тем же персоналом, а так же в виду достаточности выборки (627 измерений). Общие статистические параметры выборки представлены в таблице 2. Данная выборка характерна сильной левой асимметрией (рисунок 2), что свидетельствует о наличии локальных выпадений.

Таблица 2. Статистические параметры выборки

количество значений в выборке	627
минимум, (Бк/кг)	2.1
максимум, (Бк/кг)	708
средняя арифметическая, (Бк/кг)	56.2
ошибка средней арифметической, (Бк/кг)	3.3
среднее квадратическое отклонение(сигма), (Бк/кг)	82.8
коэффициент вариации (%)	147
асимметрия	4.2

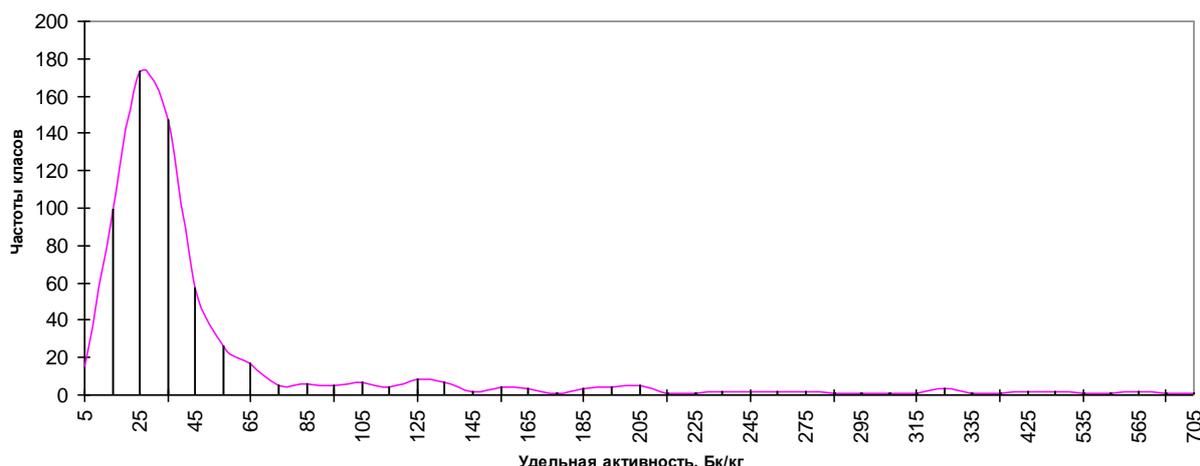


Рисунок 2. Вариационная кривая распределения

Для разделения выборок на участке пересечения, была построена карта-схема с отображенными на ней всеми точками и точками удаленных значений (рисунок 3). За радиус зоны влияния, было взято значение равное двум усредненным расстояниям между точками обследования.

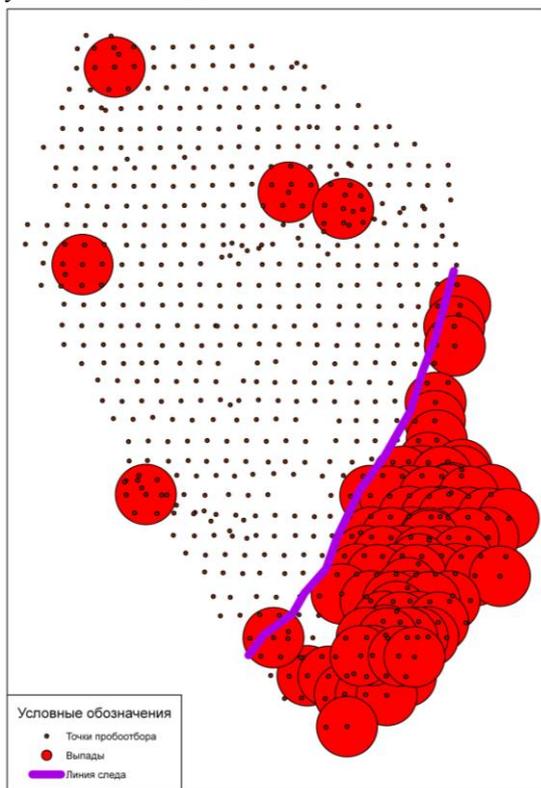


Рисунок 3. Карта выпадов

Как видно на карте, большая часть значений выпадов сгруппирована в одном месте, что свидетельствует о наличии anomalно высоких значений удельной активности ^{137}Cs на данном участке. Природа происхождения данного загрязнения связана с

локальными выпадениями из облака ядерного взрыва, проходящего над данной территорией. По краям радиусов влияния была проведена линия следа и все значения, попадающие на территорию следа, были удалены, поскольку эти значения (сомнительные) являются левой ветвью распределения ближних выпадений и тем самым уводят среднее значение глобальных выпадений в сторону увеличения.

Оставшиеся после удаления из выборки anomalных и сомнительных величин значения (таблица 3), являются глобальными выпадениями и должны подчиняться нормальному закону распределения.

Таблица 3. Статистические параметры выборки

количество значений в выборке	506
минимум, (Бк/кг)	2
максимум, (Бк/кг)	70
средняя арифметическая, (Бк/кг)	29.4
ошибка средней арифметической, (Бк/кг)	0.5
среднее квадратическое отклонение(сигма), (Бк/кг)	12.3
коэффициент вариации (%)	42
асимметрия	0.6
эксцесс	0.5

Гипотеза о нормальности распределения проверялась двумя тестами: тест хи-квадрат и тест Колмогорова-Смирнова (лямбда).

Выборка была разбита на 15 частотных классов. При проверке оба теста подтверждают нормальность распределения до 12 класса. Как видно на рисунке 4, последние 3 класса частот в практическом и теоретическом распределениях расходятся на единицы значений, что является влиянием значений, относящихся к локальным выпадениям. Таким образом, фон глобальных выпадений для данной территории составляет 29,4 Бк/кг. Для сравнения, фон глобальных выпадений по данным [4.] составляет 65 мКи/км^2 или $\sim 30 \text{ Бк/кг}$ для глубины отбора 5 см.

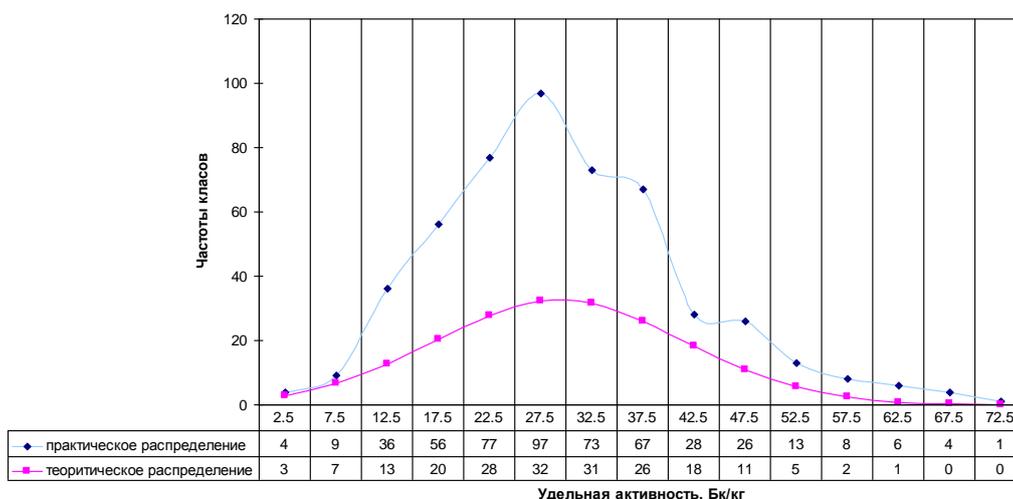


Рисунок 4. Вариационная кривая распределения после проведения итераций

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе обобщены результаты собственных исследований и литературных источников, на основе которых разработана и апробирована на реальных данных методология определения фона глобальных выпадений техногенных радионуклидов. Но данная методология имеет ряд условий применения:

- необходимо, чтобы обследование территории проводилось по равномерной сети обследования;
- пробы должны быть отобраны на участках почвы не подверженной ни какому интрузивному воздействию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плохинский Н.А. Биометрия. - М.: Издат. Московский университет, 1970. – 367 с.
2. Шарапов И. П. Применение математической статистики в геологии. - М.: Издат. «НЕДРА», 1971. -244 с.
3. Отчет о научно-технической деятельности Института радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, выполненный по договору № 8 от 29.07.02 «Завершение 1 этапа радио-эколого-гео-химического обследования территории Карагандинской области, возвращаемой Семипалатинским ядерным полигоном»: отчет за 2002 г. (заключительный) / ИРБЭ НЯЦ РК; рук. работы Стрильчук Ю.Г.- Курчатова, 2002.- 101с. – Библиогр.: с.100.–101; 33 рис., 26 табл., 3 прил., – Инв. № о-408
4. Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред. / Под редакцией Ю.А. Израэля, Лен: Гидрометеоздат, 1990.

ТЕХНОГЕНДІ РАДИОНУКЛИДТЕРДІҢ ЖАҒАНДЫҚ ТҮСУЛЕРІНІҢ АЯСЫН АНЫҚТАУ ӘДІСТЕМЕСІ

Митяев А.В., Стрильчук Ю.Г., Осинцев А.В.

ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатова, Қазақстан

Техногенді радионуклидтердің жағандық түсулерінің аясын анықтау әдістемелері әзірленді және шынайы деректер негізінде қолданылып көрінді. Жұмыстардың нәтижелері ССП аумағы мен оған жақын жатқан аймақтар үшін жағанды түсулердің деңгейін анықтауға мүмкіндік береді.

**METHODOLOGY OF BACKGROUND DETERMINATION
OF MAN-CAUSED RADIONUCLIDE GLOBAL FALL-OUTS**

A.V. Mityaev, Yu.G. Strilchuk, A.V. Ossintsev

Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Methodology of background determination of man-caused radionuclide global fall-outs was developed and approved on real data. Results of the work will allow to determine levels of global fall-outs for STS territory and adjacent regions.

УДК 504.054:539.16

**КОНСЕРВАТИВНАЯ ОЦЕНКА СТОХАСТИЧЕСКИХ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ
ДЛЯ ЛУГОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА**¹Тетенькин В.Л., ¹Спиридонов С.И., ²Мукушева М.К.¹Всероссийский НИИ сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия²Национальный ядерный центр Республики Казахстан, Курчатов, Казахстан

В результате проведения ядерных испытаний территория Семипалатинского испытательного полигона (СИП) загрязнена долгоживущими радионуклидами, в состав которых входят как продукты ядерного деления, так и изотопы с наведенной активностью. Основным, ценозообразующим компонентом луговых экосистем СИП является травянистая и кустарниковая растительность, подвергающаяся перманентному воздействию ионизирующего излучения.

В силу специфики радиоактивных выпадений загрязнение территории СИП, в том числе и основных испытательных площадок («Опытное поле», «Балапан»), характеризуется высокой степенью неоднородности. Другой источник неопределенности оценки влияния радиационного фактора на фитоценоз, – различная радиочувствительность входящих в него растительных видов и отдельных живых организмов. Для адекватного описания радиационных эффектов в растительных сообществах предлагается использовать метод оценки стохастических рисков, позволяющий учесть упомянутые типы неопределенностей.

В данной работе представлены разработанные статистические методы, предназначенные для оценки действия этого фактора на луговую растительность СИП.

Территория СИП характеризуется значительной радиационно-экологической неоднородностью, и необходимы специальные статистические методы для оценки действия ионизирующего излучения на луговую растительность СИП. Альтернативный подход, основанный на анализе пространственного распределения луговой растительности СИП, не выявил какой-либо связи распределения флоры и радиационных загрязнений [1].

Для описания радиационных эффектов в растительных сообществах разработаны модели, которые позволяют адекватно оценить дозовые нагрузки на растительность в пределах основного вегетационного сезона [2] и использован метод оценки стохастических рисков, позволяющий учесть пространственную неоднородность радиоактивных загрязнений и неопределенность индивидуальной радиочувствительности растений. Под экологическим риском понимается *вероятность* неблагоприятных последствий загрязнения природных и аграрных экосистем.

Экологические риски, оцениваемые для луговой растительности Семипалатинского испытательного полигона, должны отражать вероятностный характер негативных последствий действия радиационного фактора с учетом тяжести этих последствий.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основные формулы и методика обработки экспериментальных данных представлены в таблице 1 и на рисунках 1 и 2.

Результаты математической обработки пространственной неоднородности дозовых нагрузок представлены на рисунках 3, а статистические параметры распределений – в таблице 2.

Как видно из рисунка и таблицы, радиоактивность на пастбищах очень низка, на два–четыре порядка ниже значений, оказывающих заметное действие на растения.

На пастбищах зимовок «Тактакойль» и «Атомное озеро» большая часть радиации (более 60%) обусловлена естественной радиоактивностью (в основном от ⁴⁰K), радиационный фон составляет ~0,225 мкГр/ч; средние значения *m* вместе с фоном составляют 0,365 мкГр/ч («Атомное озеро») и 0,295 мкГр/ч («Тактакойль»).

Флора Казахстана уникальна: нет ни одного вида, произрастающего на СИП, для которого существует количественная информация о его радиорезистентности.

**КОНСЕРВАТИВНАЯ ОЦЕНКА СТОХАСТИЧЕСКИХ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ
ДЛЯ ЛУГОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА**

Таблица 1. Методика и формулы расчетов.

Формулы расчета рисков	<p>Основные типы оценки рисков представлены на рис. 1. Площади заштрихованных областей соответствуют величинам рисков. Выведенные нами формулы для расчета рисков представлены ниже.</p> $Risk_a = \int_x^{\infty} P_1 \partial D ; Risk_b = \int_0^X P_2 \partial D \quad (1)$ $Risk = \int_0^{\infty} P_2(X) \left[\int_x^{\infty} P_1(D) \partial D \right] \partial X = \int_0^{\infty} P_1(X) \left[\int_0^X P_2(D) \partial D \right] \partial X \quad (2)$ <p>Общие формулы (2) могут рассматриваться как обобщение формул полустохастических рисков (1), а формулы (1) полустохастических рисков представляют собой частные случаи общих формул (2), когда один из компонентов риска задан точно или ширина его распределения пренебрежимо мала.</p>
Пространственное распределение дозы	<p>Оценку параметров распределений для гетерогенных групп производили методом минимизации остаточной дисперсии с использованием кумулятивных гистограмм экспериментальных значений радиорезистентности. Расчет дозовых нагрузок выполнен для территорий пастбищ, прилегающих к площадкам «Опытное поле» (зимовка «Тактакойль») и «Балапан» (зимовка «Атомное озеро») для растительных объектов на высоте 40 см от почвы, что соответствует положению точек роста наиболее радиочувствительных растений на территории СИП – кустарников бобовых и хвойных. Математическое описание распределения дозовых кривых выполнено с использованием суперпозиции двух кумулятивных функций гамма-распределения:</p> $F(X) = \int_0^X \{ C \cdot \alpha / m \Gamma(\alpha) \cdot (X \cdot \alpha / m)^{\alpha-1} \cdot \exp(-X \cdot \alpha / m) \} dX$ <p>Максимальная мощность дозы была оценена для аварийной скважины № 1069 («Балапан») с концентрацией ¹³⁷Cs = 400 Ки/км², а также для «пятен» максимальных загрязнений на «Опытном поле» с мощностью экспозиционной дозы 14 мР/ч [3]. Для обеих точек максимальная поглощенная доза на уровне поверхности почвы составляет 0,24 ± 0,04 мГр/ч.</p>
Расчет радиорезистентности луговых растений	<p>На основе анализа возможных показателей, характеризующих радиационные эффекты в растительных популяциях, выбраны следующие критерии оценки радиационных рисков: LD₅₀ (50%-ная гибель растений) для многолетних и SD₁₀₀ (100%-ная стерильность) для однолетних травянистых растений. Радиорезистентность – случайная величина, которая может быть адекватно описана функцией распределения в зависимости от мощности дозы. Многие случайные величины (в том числе LD₅₀ и SD₁₀₀) хорошо описывает универсальное гамма-распределение, формула плотности вероятности которого имеет вид:</p> $G_{\alpha, m}(x) = \frac{\alpha}{m \Gamma(\alpha)} \left(x \frac{\alpha}{m} \right)^{\alpha-1} \exp\left(-x \frac{\alpha}{m} \right)$ <p>где <i>m</i> – среднее значение случайной величины, α (параметр формы) = m^2/s^2, s^2 – дисперсия случайной величины (<i>s</i> – стандартное отклонение), $\Gamma(\alpha)$ – нормировочный коэффициент (гамма-функция Эйлера), <i>x</i> – переменная (мощность дозы).</p> <p>Мощность дозы (мГр/ч) для LD₅₀ за сезон (90 дней) для однолетних растений рассчитана по данным для 32 видов травянистой растительности, представленным в работах [4–9]. Мощности дозы для LD₅₀ за 6 лет для 54 видов кустарниковых растений представлены в работе [10]. Экспериментальная гистограмма распределения кустарников и ее математическое описание представлены на рис. 2.</p> <p>Коэффициенты для пересчетов между параметрами радиорезистентности растений взяты из работы [11]; соотношения соответствующих параметров для различных растительных групп получены в настоящей работе. LD₅₀ за 6 лет вегетации для многолетних трав и некоторых кустарников и SD₁₀₀ для однолетних за сезон получены путем пересчета математических параметров распределений с использованием соответствующих коэффициентов.</p> <p>Например, расчетное среднее значение LD₅₀ для хвойных кустарников (1,6 мГр/ч) практически совпадает с экспериментальным значением для можжевельника 1,8 мГр/ч [10].</p>

Однако для больших групп растений характерна общность радиочувствительности. Например, все хвойные и все семейство бобовых обладают высокой радиочувствительностью, а все семейство капустных (крестоцветных) – высокой радиорезистентностью [7].

Кроме того, наши исследования показали, что неопределенность параметров радиорезистентности естественных популяций и видов, которая определя-

ется неоднородностью экологических условий и индивидуальной радиорезистентностью особей, оказывается вполне сопоставима с таковой для целых семейств растений.

Это означает, что оценка параметров радиорезистентности луговой растительности СИП может быть выполнена на уровне семейств растений (с учетом жизненных форм).

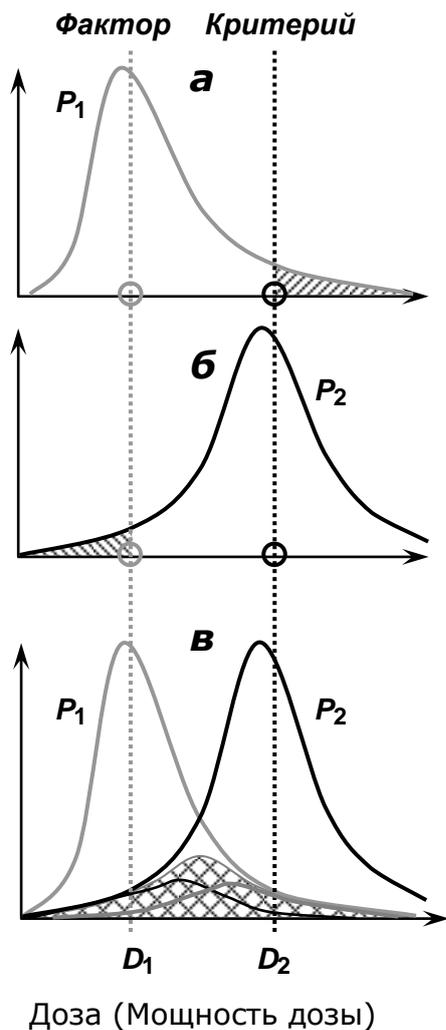


Рисунок 1. Типы и методы расчета радиационных рисков: а) полустохастический Risk_a; б) полустохастический Risk_b; в) стохастический Risk (интеграл перекрытия распределений)

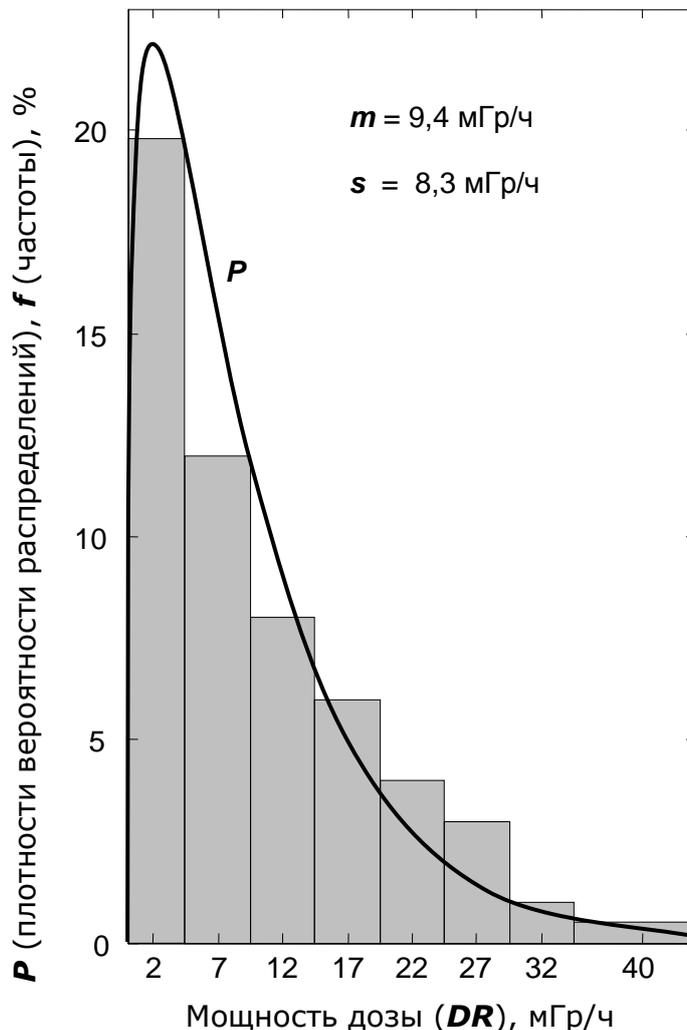


Рисунок 2. Гистограмма и нормированная плотность вероятности (P) дозовой зависимости радиорезистентности кустарничковых растений: LD₅₀ к концу 6 года хронического γ-облучения

Таблица 2. Параметры распределения дозовых нагрузок (за вычетом фона = 0,225 мкГр/ч).

№	территория	α_1	m_1 , мкГр/ч	C_1 (%)	α_2	m_2 , мкГр/ч	C_2 (%)	ошибка (%)*
1	«Атомное озеро»	0,403	0,096	98,7	5,82	3,58	1,28	5,4
2	«Тактакойль»	0,177	0,053	99,6	12,3	3,71	0,44	5,9

* минимальная величина ошибки (вследствие сглаживания) составляет ~ 4,5%

Групповые параметры радиорезистентности растений представлены в таблице 3. Там же приведены стохастические оценки критериев радиорезистентности и дозовые нагрузки, соответствующие величинам критериев на 10%-ном (DR_{10}) и 5%-ном (DR_{05}) уровнях.

Как видно из таблицы 3, различия в показателях, характеризующих радиорезистентность групп луговой растительности, достигают 38 раз. В полном соответствии с литературными данными [7], наиболее радиорезистентными объектами оказались крестоцветные, а наиболее чувствительными – хвойные и бобовые кустарники.

**КОНСЕРВАТИВНАЯ ОЦЕНКА СТОХАСТИЧЕСКИХ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ
ДЛЯ ЛУГОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА**

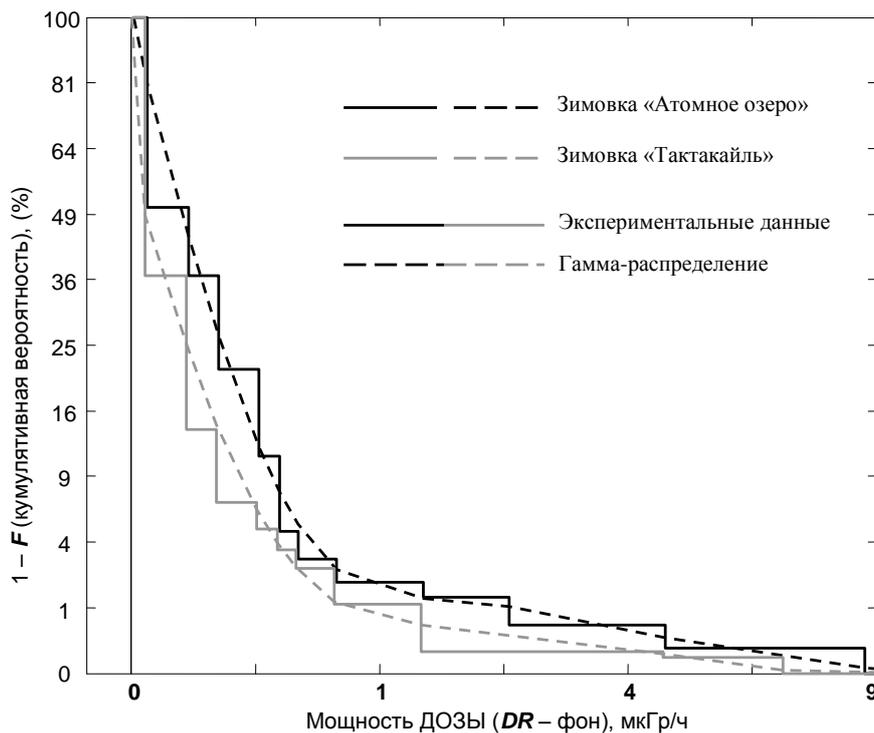


Рисунок 3. Сопоставление расчетных функций распределения и экспериментальных кумулятивных гистограмм для пастбищных угодий СИП. Для выразительности обе оси пропорциональны $\sqrt{\cdot}$.

Таблица 3. Статистические параметры радиорезистентности семейств луговых растений (DR_N – критическое значение мощности дозы, где N – коэффициент доверия, %)

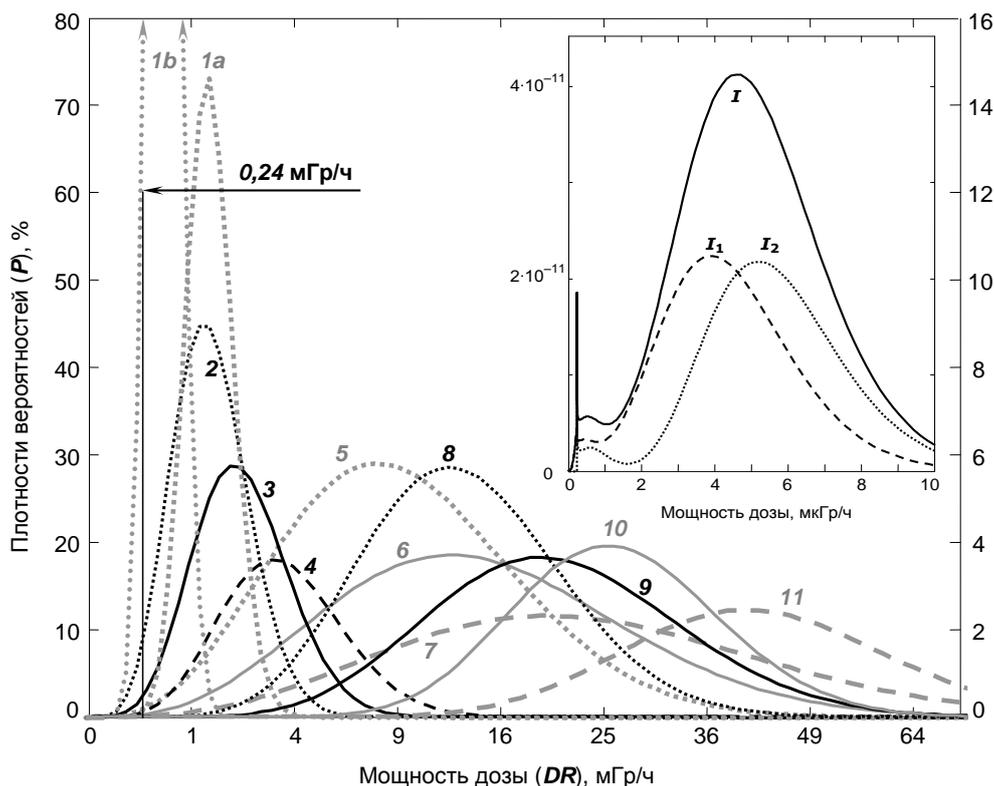
№	Семейство (группа)	Жизненная форма	критерий *	мГр/ч				
				α	m	s	DR_{10}	DR_{05}
1a	Эфедровые (хвойные)	кустарниковые	LD_{50}	7,7	1,60	0,58	0,9	0,8
1b			SD_{100}	7,7	0,64	0,23	0,4	0,3
2	Бобовые	кустарниковые	LD_{50}	3,4	1,87	1,02	0,75	0,55
3			многолетние	LD_{50}	3,4	2,94	1,59	1,2
4		однолетние	SD_{100}	3,4	4,70	2,55	1,9	1,4
5		Сложноцветные (Астровые) и Злаки	кустарниковые	LD_{50}	2,5	13,3	8,41	4,3
6	многолетние		LD_{50}	2,5	20,8	13,1	6,7	4,8
7	однолетние		SD_{100}	2,5	33,3	21,0	10,7	7,6
8	Розоцветные	кустарниковые	LD_{50}	4,3	16,1	7,78	7,3	5,8
9		многолетние	LD_{50}	4,3	25,2	12,2	11,4	9,0
10	Крестоцветные (Капустные)	многолетние	LD_{50}	7,4	29,4	10,8	16,7	14,2
11		однолетние	SD_{100}	7,4	47,0	17,3	26,7	22,6

Плотности вероятностей распределений радиорезистентности семейств (групп) и жизненных форм луговой растительности представлены на рисунке 4. Там же показаны перекрытия распределений дозовых нагрузок и радиорезистентности бобовых кустарников.

Величины рисков ($Risk_b$) при максимальных дозовых нагрузках на территории СИП и статистических рисков на пастбищах СИП для луговой расти-

тельности представлены в таблице 4. Из таблицы видно, что стохастические риски исчезающе малы (значительно меньше оценки точности расчетов радиационных рисков $\sim 10^{-3} = 0,1\%$) вследствие очень низкой радиоактивности на пастбищах. Полустихастические риски для «пятен» существенно выше и изменяются в широком диапазоне, достигая наибольших значений для хвойных и бобовых кустарников (на СИП это *Ephedra* и *Caragana*).

**КОНСЕРВАТИВНАЯ ОЦЕНКА СТОХАСТИЧЕСКИХ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ
ДЛЯ ЛУГОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА**



Шкала слева: 1 – хвойные кустарники: 1a – LD_{50} , 1b – SD_{100} ; 2 – кустарниковые бобовые LD_{50} ; 3 – многолетние бобовые LD_{50} ; 4 – однолетние бобовые SD_{100} . **Шкала справа (1:5):** 5 – кустарниковые астровые LD_{50} ; 6 – многолетние астровые и злаки LD_{50} ; 7 – однолетние астровые и злаки SD_{100} ; 8 – кустарниковые розовые (розоцветные) LD_{50} ; 9 – многолетние розовые LD_{50} ; 10 – многолетние капустные (крестоцветные) LD_{50} ; 11 – однолетние капустные SD_{100} ; **На вкладке** – перекрывание распределений ($I = I_1 + I_2$) радиорезистентности бобовых кустарников и пространственного распределения радиации на пастбище «Атомное озеро». (I_1 и I_2 соответствуют двум интегралам в формуле риска, таблица 1).

Рисунок 4. Плотности вероятностей распределения параметров радиорезистентности семейств (групп) луговой растительности (с учетом жизненных форм)

Все приведенные оценки рисков для растительности показывают, что радиационный фактор не оказывает влияния на луговую растительность СИП.

Следует отметить, что мы не учитывали прямое внешнее действие α -излучения на корневую меристему растений и синергизм действия радиационного фактора с другими техногенными воздействиями, например, педотурбациями [1]. Вряд ли это могло сказаться на исчезающе малых рисках для растительности пастбищ. Но для «пятен», значение доз-

вых нагрузок в которых (~2 Гр/год) вполне сопоставимо с оценками предельных нагрузок для наземной растительности (1–4 Гр/год, [11]), учет этих факторов может существенно увеличить величину рисков. Поэтому представляется целесообразным проведение дальнейших полевых и теоретических исследований для повышения достоверности и информативности радиоэкологических рисков для растительных популяций в наиболее радиоактивно загрязненных участках территории СИП.

Таблица 4. Стохастические риски на пастбищах СИП и полустохастические риски в наиболее загрязненных радионуклидами местах («пятнах») СИП для луговых растений.

№	Объект	Территория	Пастбище зимовки «Атомное озеро»		Пастбище зимовки «Тактакойль»		«Пятна» (-0,24 мГр/ч)
1a	Хвойные	кустарники	LD_{50}	$5,0 \cdot 10^{-19}$	$5,6 \cdot 10^{-20}$	$5,1 \cdot 10^{-5}$	
			SD_{100}	$5,5 \cdot 10^{-16}$	$6,2 \cdot 10^{-17}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	
2	Бобовые	кустарники	LD_{50}	$1,0 \cdot 10^{-10}$	$3,0 \cdot 10^{-11}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$	
3		многолетние	LD_{50}	$2,2 \cdot 10^{-11}$	$6,6 \cdot 10^{-12}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	
4		однолетние	SD_{100}	$4,4 \cdot 10^{-12}$	$1,3 \cdot 10^{-12}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	
5	Астровые и злаки	кустарники	LD_{50}	$8,1 \cdot 10^{-11}$	$3,1 \cdot 10^{-11}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	
6		многолетние	LD_{50}	$2,7 \cdot 10^{-11}$	$1,0 \cdot 10^{-11}$	$4,2 \cdot 10^{-5}$	
7		однолетние	SD_{100}	$8,2 \cdot 10^{-12}$	$3,1 \cdot 10^{-12}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	
8	Розовые	кустарники	LD_{50}	$1,1 \cdot 10^{-16}$	$2,9 \cdot 10^{-17}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$	
9		многолетние	LD_{50}	$1,7 \cdot 10^{-17}$	$4,3 \cdot 10^{-18}$	$2,7 \cdot 10^{-8}$	
10	Капустные	многолетние	LD_{50}	$8,5 \cdot 10^{-28}$	$1,0 \cdot 10^{-28}$	$7,9 \cdot 10^{-14}$	
11		однолетние	SD_{100}	$2,6 \cdot 10^{-29}$	$3,2 \cdot 10^{-30}$	$2,5 \cdot 10^{-15}$	

ЛИТЕРАТУРА

1. Тетенькин В.Л., Спиридонов С.И., Мукушева М.К. (2007) Статистика распределения растительности и оценка состояния луговых экосистем Семипалатинского испытательного полигона (в настоящем сборнике).
2. Соломатин В.М., Спиридонов С.И., Тетенькин В.Л., Мукушева М.К., Карпенко Е.И. (2007) Расчет дозовых нагрузок на растительность луговых экосистем Семипалатинского испытательного полигона (в настоящем сборнике).
3. Ядерные испытания СССР: современное радиоэкологическое состояние полигонов (2002) Коллектив авторов под рук. проф. В.А. Логачева, М., ИздАт., – 639 с.
4. Sarapultsev, V.I., Zolotova, A.I., and Semichastnova, L.M. Changes in the genetic structure of model spelt wheat populations induced by chronic gamma irradiation, *Radiobiology*, 1988, 28, 1, 84-86
5. Davies, C.R. (1973) Effects of gamma irradiation on growth and yield of agricultural crops. III. Root crops, legumes and grasses. *Radiation Botany*, 13, 127-136.
6. Zavitokovski J., Salmonson B.J. (1975) Effects of gamma radiation on biomass production of ground vegetation under broadleaved forests of Northern Wisconsin. *Radiation Botany*, 15, 4, 337-348
7. Гродзинский Д.М. (1989) Радиобиология растений, Киев, Наукова Думка, –380 с
8. Гудков И.Н. (1985) Клеточные механизмы пострадиационного восстановления растений, Киев, Наукова Думка, –223 с
9. Пристер Б.С., Кальченко В.А., Полякова В.И., Шевченко В.А., Шейн Г.П., Алексахин Р.М. (1979) Биологическое влияние радионуклидов на растения. *Известия АН СССР, серия Биологическая*, т. 4, 576-585
10. Dugle, J.R., and Mayo, K.R. (1984) Responses of 56 naturally-growing shrub taxa to chronic gamma irradiation. *Environmental and Experimental Botany*, 24, 3, 267-276
11. Framework for Assessment of Environmental Impact (2003) Radiation Effects on Plants and Animals (Eds. Dennis Woodhead, CEFAS, and Irene Zinger, EA), A project within the EC 5th Framework Programme, FASSET 2, Contract No FIGE-CT-2000-00102

СЕМЕЙ СЫНАҚ ПОЛИГОНЫНЫҢ ШАЛҒЫНДЫ ӨСІМДІКТЕРІ ҮШІН СТОХАСТИКАЛЫҚ РАДИАЦИЯЛЫҚ ҚАТЕРЛЕРДІ КОНСЕРВАТИВТІК БАҒАЛАУ

¹⁾Тетенькин В.Л., ¹⁾Спиридонов С.И., ²⁾Мұқышева М.К.

¹⁾*Бүкілресейлік ауылшаруашылық радиология және агроэкология ФЗИ, Обнинск, Ресей*

²⁾*Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығы, Курчатов, Қазақстан*

Ядролық сынаулар жүргізілуі нәтижесінде Семей сынақ полигонының (ССП) аумағы құрамына ядролық бөліну өнімдері, сондай-ақ жасанды активті изотоптар кіретін ұзақ өмір сүретін радионуклидтермен ластанған. ССП шалғынды экожүйелерінің негізгі баға құраушы компоненті – иондауыш сәулелендірудің перманенттік әсеріне шалдығатын шөптесін өсімдіктер мен бұталар болып табылады.

Радиоактивті түсінділер ерекшелігіне қарай, ССП аумағының, соның ішінде негізгі сынақ алаңдарының («Тәжірибе алаңы», «Балапан») ластануы біртектіліктің болмауының жоғары деңгейімен сипатталады. Радиациялық фактордың фитоценозға әсер етуін бағалаудың анық еместігінің екінші себебі – оның құрамындағы өсімдік түрлері мен жекеленген тірі организмдердің әрқилы радиосезімталдығы. Өсімдіктер бірлестігіндегі радиациялық әсерлерді дәл бағалау үшін, анық еместіктің аталған тұрпаттарын ескеру мүмкіндігін беретін стохастикалық қатерлерді бағалау әдісін пайдалану ұсынылады.

Бұл жұмыста осы фактордың ССП шалғынды өсімдіктеріне әсер етуін бағалауға арналып әзірленген статистикалық әдістер ұсынылған.

CONSERVATIVE ASSESSMENT OF STOCHASTIC RADIATION RISKS FOR GRASSLAND VEGETATION AT SEMIPALATINSK TEST SITE

¹⁾ V.L. Teten'kin, ¹⁾ S.I. Spiridonov, ²⁾ M.K. Mukusheva

¹⁾*All-Russian SRI of Agricultural Radiology and Agroecology, Obninsk, Russia*

²⁾*National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov, Kazakhstan*

As a result of nuclear tests conducted at Semipalatinsk test site (STS) the area is contaminated with long-lived radionuclides which include nuclear fission products as well as isotopes with induced activity. Herbage and shrub vegetation exposed to permanent ionizing radiation is the main cenosis forming component of the STS grassland ecosystems.

Due to specificity of radioactive fallouts, contamination of STS and basic experimental sites (Experimental Field, Balapan) is characterized for high inhomogeneity. Different radio-sensitivity of constituent plant types and separate life

forms is another source of uncertainty in assessment of radiation factor effect to phytocenosis. To give correct description to the radiation effects in plant community it is proposed to use the method of stochastic risks assessment which enables to consider the mentioned uncertainty types.

The report addresses statistic methods to assess the factor effect to STS grassland vegetation.

УДК 577.4: 504.3.054

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СИСТЕМЫ «АТМОСФЕРА - ПОДСТИЛАЮЩАЯ ПОВЕРХНОСТЬ» И ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ СЕМИПАЛАТИНСКОГО РЕГИОНА

¹⁾Артемов О.И., ¹⁾Осинцев А.Ю., ²⁾Газиев Я.И., ²⁾Крышев И.И., ³⁾Гордеев С.К., ²⁾Газиев И.Я.,
²⁾Крышев А.И., ²⁾Колесникова Л.В., ⁴⁾Огородников Б.И., ²⁾Мартыненко В.П., ²⁾Уваров А.Д.

¹⁾Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

²⁾Институт экспериментальной метеорологии НПО "Тайфун", Обнинск, Россия

³⁾ГУП Мос. НПО "Радон", Москва, Россия

⁴⁾Физико-химический институт им. Карпова, Москва, Россия

В 2004–2007 гг. в рамках работ по проекту МНТЦ К-928 выявлены и детально обследованы на территории бывшего СИП многочисленные радиоактивные "пятна", образовавшиеся в зонах проведения гидроядерных экспериментов и испытаний боевых радиоактивных веществ. На площадках П-2Г и на участке 14 площадки 4А указанных зон подготовлены и проведены полевые исследования радионуклидных составов и дисперсных характеристик продуктов техногенного пылеподъема и пожаров, организованных на радиоактивных "пятнах" этих площадок. Получены данные, показывающие перспективность таких полевых экспериментов для уточнения параметров и совершенствования физико-математических моделей аэриальной загрязненности окружающей среды радиоактивными аэрозольными и аэрозолями от различных источников их интенсивного поступления в атмосферу. Выполнен расчет пожизненных индивидуальных радиационных рисков для населения Семипалатинского региона от поступления радионуклидов местными продуктами питания и ингаляционным путем. Расчет проводился в соответствии с методикой Международной комиссии по радиационной защите.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

1. Аппаратура

При выполнении работ использовали высокообъемную Российскую воздухофильтрующую установку (ВФУ) Тайфун 4к и Американский пробоотборник импакторного типа РМ10.

Тайфун 4к – высокообъемная воздухофильтрующая установка производительностью около

500 м³/час, с использованием ткани Петрянова ФПП-15-1,5 в качестве фильтрующего элемента.

РМ10-устройство отбора проб аэрозолей, размером менее 10 мкм; фильтрующий элемент-Glass Fiber G810. Скорость воздуха при прокачке поддерживается в 1,3 м³/мин ($\pm 10\%$), что необходимо для "отсечки" частиц >10 мкм.

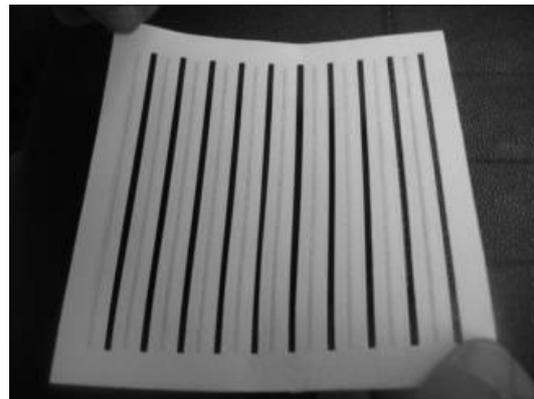
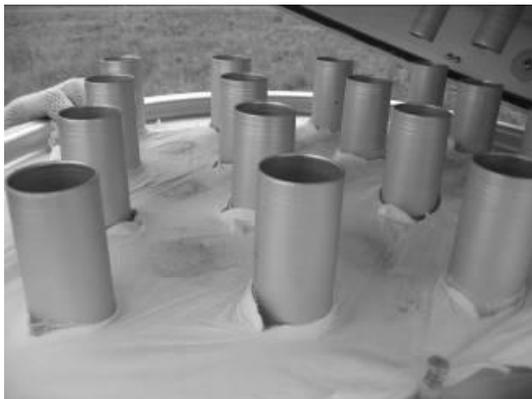


Рисунок 1. Воздухозаборник и фильтр установки РМ10 после пыления

В процессе экспериментов на установке РМ10 американский фильтр Glass Fiber G810 меняли на стопку из 3 фильтров ФПП-15-1,5, что приблизительно соответствовало сопротивлению американского фильтра.

2. ОБРАБОТКА ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Для анализа распределений аэрозольных частиц (<10 мкм) во время проведения полевых экспери-

ментов в установке РМ10 использовался пятистадийный щелевой импактор SA-235.

В качестве фильтрующих материалов применялись следующие материалы: для фракций >10 мкм – ткань Петрянова; для фракций импактора (0,49 – 10) мкм – фильтр из кварцевых волокон; для фракций <0,49 – фильтр из стекловолна. Частицы, уловленные тканью Петрянова, отделялись методом озонения, а частицы уловленные фильтрами с квар-

цевыми и стеклянными волокнами отделялись методом интенсивной ультразвуковой обработки в 3М растворе HCl.

Учитывая, что радионуклидный состав выделенных фракций ранее не исследовался, был применен модифицированный метод жидкостной сцинтилляционной (ЖС) спектрометрии, который позволяет обнаружить все радионуклиды в счетном образце и определить их активности.

Измерения проводили с помощью низкофонового ЖС-спектрометра TRI-CARB 2550 TR/AB, а для приготовления счетных образцов использовали сцинтиллятор Ultima Gold AB и пластиковые флаконы объемом 20 мл.

Экспериментальные исследования показали, что около 99% активности фильтра с кварцевым волокном выщелачивается за одну ультразвуковую обработку длительностью 20 минут.

Для фильтра с стекловолокном полнота извлечения несколько ниже – на фильтре оставалось около 12–15% активности, но этот факт был учтен путем измерения оставшейся бета активности. Высокоэнергетическое бета-излучение от ^{90}Y может быть измерено практически без искажения непосредственно от фрагментов фильтра, помещаемых в сцинтиллятор.

Для фильтра из стекловолокна применяется усиленный режим ультразвуковой обработки, чтобы провести более полное выщелачивание.

Таким же образом была предпринята попытка обработать фильтр из ткани Петрянова (фракция >10 мкм). Однако, даже при 2-х стадийном выщелачивании с использованием ПАВ, из фильтра было извлечено менее половины активности, поэтому для повышения надежности результатов фрагмент фильтра был озолен, и зола после растворения исследована методом ЖС.

3. АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ РАДИОАКТИВНЫХ ЧАСТИЦ ПО РАЗМЕРАМ В АЭРОЗОЛЬНЫХ ПРОБАХ

На рисунке 2 представлен бета-спектр раствора после обработки фильтра (проба пыли с 4 стадии импактора, фракция 1,5-0,95 мкм). Спектр обработан с помощью программного пакета RadSpectaDec, разработанного и запатентованного в ГУП Мос. НПО "Радон", который прошел проверку в тестах МАГАТЭ.

Аналогичным образом были исследованы все фракции, полученные во время экспериментов на участке 14 площадки 4А (БРВ).

Распределение радиоактивности аэрозолей по размерам частиц при проведении экспериментального техногенного пылеподъема и искусственного пожара на этой площадке приведено в таблицах 1 и 2.

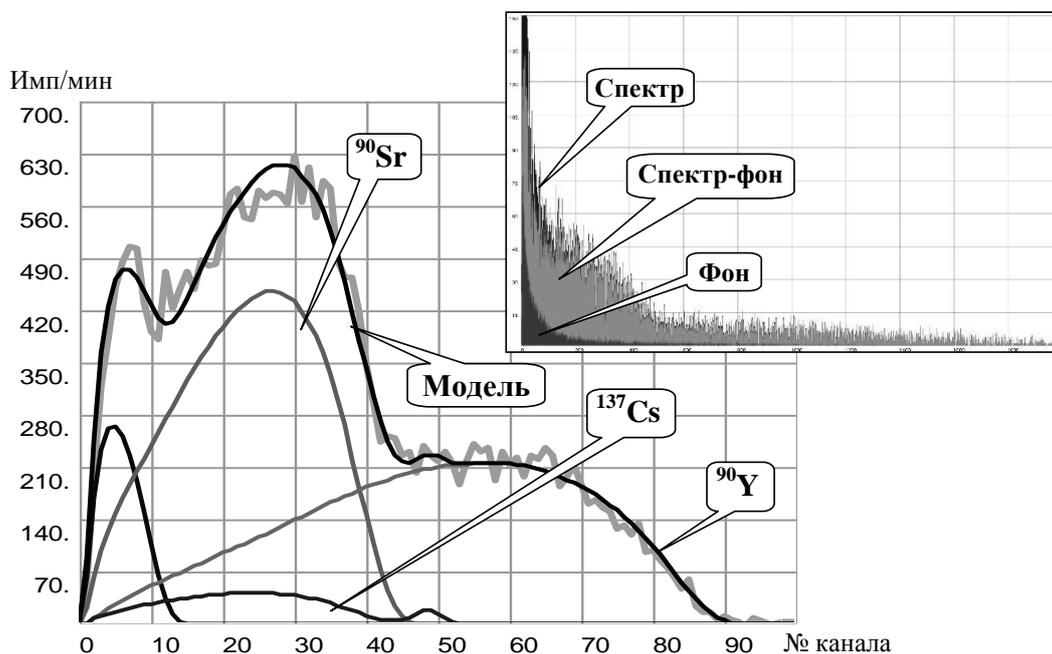


Рисунок 2. Бета-спектр раствора после обработки фильтра

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СИСТЕМЫ "АТМОСФЕРА - ПОДСТИЛАЮЩАЯ ПОВЕРХНОСТЬ" И ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ СЕМИПАЛАТИНСКОГО РЕГИОНА

Таблица 1. Распределение объемных активностей ^{90}Sr и ^{137}Cs по размерам частиц, отобранных с помощью высокообъемного импактора в условиях техногенного пылеподъема

Фракция, мкм	^{137}Cs , Бк/м ³	2σ%	^{90}Sr , Бк/м ³	2σ%
>10	0,5	16,4	15,2	0,8
10-7,2	24,5 10 ⁻³	30	32,8 10 ⁻³	19
7,2-3,0	52,8 10 ⁻³	17	1,0	1,9
3,0-1,5	14,8 10 ⁻³	26,5	79,2 10 ⁻³	5
1,5-0,95	41,5 10 ⁻³	24,3	0,94	2,1
0,95-0,49	15,1 10 ⁻³	30	47,2 10 ⁻³	7
<0,49	122,6 10 ⁻³	18,1	2,2	1,8
<10	0,27	30	4,3	5
Σ	0,77	30	19,5	5

Таблица 2. Распределение объемной активности ^{137}Cs по размерам частиц, отобранных с помощью высокообъемного импактора в условиях искусственного пожара

Фракция, мкм	^{137}Cs , Бк/м ³	2σ%
10-7,2	5,5 10 ⁻³	16,6
7,2-3,0	10,5 10 ⁻³	18
3,0-1,5	<МДА	
1,5-0,95	15,2 10 ⁻³	17,8
0,95-0,49	12,1 10 ⁻³	21,8
<0,49	80,3 10 ⁻³	22
<10	125,5 10 ⁻³	18

Основной целью предварительных экспериментов являлось определение общего радионуклидного состава фракций, а также выявление фракций, наиболее обогащенных плутонием с целью их дальнейших более подробных исследований методом альфа-спектрометрии.

Ниже представлен ЖС-спектр пробы одной из фракций пыли с участка П-2Г и его расшифровка на составляющие с помощью программы RadSpectaDec (рисунок 3).

Из-за плохого разрешения альфа-линий в ЖС-спектре, точное отнесение энергии альфа-линий, а следовательно, корректная идентификация альфа-излучающих радионуклидов, является весьма трудноразрешимой задачей.

Для точной калибровки использовался внутренний стандарт – изотоп ^{148}Gd с энергией альфа-излучения 3180 кэВ, который вводили в пробу после предварительных измерений.

Результаты распределения радионуклидов по фракциям импактора SA-235 в эксперименте по техногенному пылеобразованию на площадке П-2Г и измерения фоновой объемной концентрации радионуклидов на площадке П-2Г с помощью РМ10 представлены в таблицах 3,4.

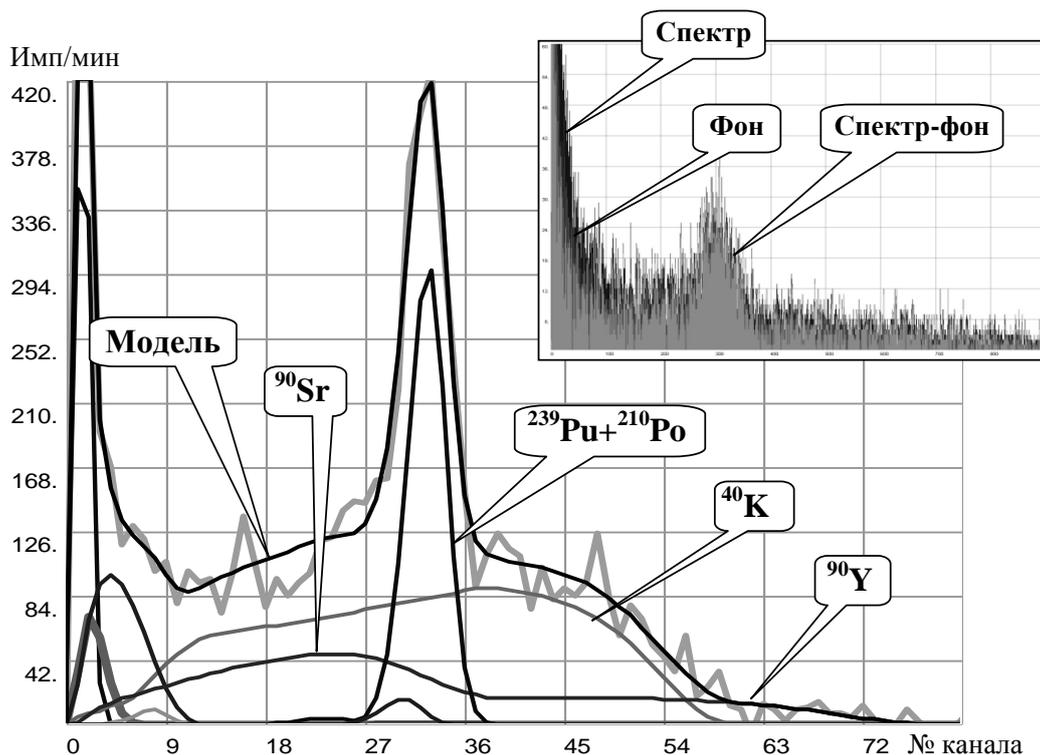


Рисунок 3. Аппаратный ЖС-спектр раствора после обработки фильтра (проба пыли фракция пыль >10мкм, участок П2Г) (справа вверху) и его расшифровка на компоненты программой RadSpectaDec (слева внизу)

Таблица 3. Результаты исследования распределения радионуклидов по фракциям импактора SA-235 в эксперименте по техногенному пылеобразованию на площадке П-2Г

Фракция, мкм	¹³⁷ Cs, Бк/м ³	⁹⁰ Sr, Бк/м ³	²¹⁰ Po, Бк/м ³	^{239,240} Pu, Бк/м ³	²³⁸ Pu, Бк/м ³
>10мкм	1,7Е-3	1,7Е-2	1,0Е-2	2,2Е-2	2,0Е-3
1ст, 10-7,2мкм	<МДА	4,8Е-3	<МДА	<МДА	<МДА
2ст, 7,2-3,0мкм	1,0Е-3	<МДА	<МДА	<МДА	<МДА
3ст, 3,0-1,5мкм	0,8Е-3	1,2Е-2	1,1Е-3	4,2Е-3	4,0Е-4
4ст, 1,5-0,95мкм	<МДА	2,2Е-3	7,5Е-4	1,4Е-3	1,3Е-4
5ст, 0,95-0,49мкм	<МДА	<МДА	7,5Е-4	1,6Е-3	1,3Е-4
<0,49мкм	<МДА	<МДА	<МДА	<МДА	<МДА
<10мкм	1,8Е-3	1,9Е-2	2,6Е-3	7,2Е-3	6,6Е-4
Σ, мкм	3,5Е-3	3,6Е-2	1,26Е-2	2,92Е-2	2,66Е-3

Таблица 4. Результаты измерения фоновой объемной концентрации радионуклидов на площадке П-2Г с помощью РМ10

Фракция, мкм	¹³⁷ Cs, Бк/м ³	⁹⁰ Sr, Бк/м ³	²¹⁰ Po, Бк/м ³	^{239,240} Pu, Бк/м ³	²³⁸ Pu, Бк/м ³
>10мкм	-	5,8Е-4	1,2Е-4	2,7Е-4	2,6Е-5
<10мкм	3,5Е-5	1,8Е-3	1,0Е-3	2,2Е-3	2,2Е-4
Σ, мкм	-	2,4Е-3	1,1Е-3	2,5Е-3	2,5Е-4

Исходя из полученных данных можно сделать следующие выводы:

- объемная концентрация плутония при естественном ветровом пылеподъеме в ингалируемой фракции <10 мкм превышает на порядок объемную концентрацию в крупной фракции >10 мкм;
- при техногенном пылеподъеме максимум активности плутония в ингалируемом диапазоне <10 мкм принадлежит фракции 1,5-3,0 мкм;
- при техногенном пылеподъеме активность плутония в мелкой фракции <10 мкм увеличивается приблизительно в 3 раза, в крупной фракции (>10 мкм) увеличивается почти на 2 порядка: ^{239,240}Pu в 81 раз, ²³⁸Pu в 77 раз.

НЕКОТОРЫЕ ОБОБЩЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОЕКТУ К-928 ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ИСКУССТВЕННЫМИ РАДИОНУКЛИДАМИ ВО ВРЕМЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ПЛОЩАДКЕ П-2Г И НА УЧАСТКЕ 14 ПЛОЩАДКИ 4А

1. Площадка П-2Г

Во время эксперимента по интенсивному техногенному пылеподъему на площадке П-2Г были получены для высот отбора проб радиоактивной пыли 1-1,5 м данные об объемных активностях ^{239,240}Pu, ²⁴¹Am и ¹³⁷Cs в приземной атмосфере в зоне контрольных наблюдений. Эти данные представлены в таблице 5.

Из таблицы 5 видно, что объемная активность ^{239,240}Pu в атмосферном воздухе в зоне наблюдений во время полевого эксперимента по пылеподъему 19.07.06 г. на 5 порядков превышала его ОА в воздухе, наблюдавшуюся в г. Курчатове (на "фоновом" участке) также в летний период.

Оценены коэффициенты искусственного пылеподъема радионуклидов K_п из верхнего пятисантиметрового слоя почвы в атмосферный воздух с пылевыми частицами – их носителями. В качестве коэффициентов K_п используются отношения концентраций q к средним удельным активностям A_{уд}

радионуклидов в отмеченном верхнем слое почвы (q/A_{уд}). Результаты оценок приведены в таблице 6.

Таблица 5. Объемные активности (q) ^{239,240}Pu, ²⁴¹Am и ¹³⁷Cs в приземной атмосфере в приграничной к радиоактивному "пятну" зоне наблюдений на площадке П-2Г

Радионуклид	q, Бк·м ⁻³
^{239,240} Pu	(0,40±0,08) [(0,4±0,1)·10 ⁻⁵]
²⁴¹ Am	(2,3±0,6)·10 ⁻² [не опр.]
¹³⁷ Cs	(8,3±1,6)·10 ⁻³ [≤0,2·10 ⁻⁵]

Примечание. В квадратных скобках – объемные активности q_ф (^{239,240}Pu) и q_ф (¹³⁷Cs), наблюдавшиеся ИРБЭ в атмосферном воздухе г. Курчатова с 22.05.06 г. по 08.07.06 г. По порядкам их величин они рассматриваются в качестве реперов региональных "фоновых" уровней загрязнения приземной атмосферы в летние месяцы в районе расположения бывшего СИП.

Таблица 6. Отношения объемных активностей (q) ^{239,240}Pu, ²⁴¹Am и ¹³⁷Cs в приземной атмосфере к их удельным активностям A_{уд} в верхнем пятисантиметровом пылящем слое почвы на радиоактивном "пятне" площадки П-2Г (19.07.2006 г.)

Радионуклид	q/A _{уд} , кг·м ⁻³
^{239,240} Pu	(3,6±1,1)·10 ⁻⁶
²⁴¹ Am	(2,4±0,7)·10 ⁻⁶
¹³⁷ Cs	(2,0±0,6)·10 ⁻⁶

Из таблицы 6 видно, что коэффициенты пылеподъема K_п = q/A_{уд} рассматриваемых радионуклидов из почвы в приземную атмосферу во время полевого эксперимента по искусственному пылеподъему 19.07.2006 г. оказались в пределах погрешностей оценок этих коэффициентов близкими к их среднему значению 2,7·10⁻⁶ кг·м⁻³. Поэтому, естественно, и соотношения между объемными активностями q(^{239,240}Pu), q(²⁴¹Am) и q(¹³⁷Cs) были примерно такими же, как и соответствующие им отношения удельных активностей отмеченных радионуклидов в поверхностном слое почвы на площадке 4А. Это иллюстрируют данные, приведенные в таблице 7.

Таблица 7. Соотношения между объёмными активностями (q) $^{239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am и ^{137}Cs , наблюдавшимися в приземной атмосфере 19.06.2006 г. во время полевого эксперимента по искусственному пылеподъёму на площадке П-2Г

Отношения объёмных активностей радионуклидов	Значения отношений
$\frac{q(^{239,240}\text{Pu})}{q(^{241}\text{Am})}$	17±5[10±2]
$\frac{q(^{239,240}\text{Pu})}{q(^{137}\text{Cs})}$	50±20[23±5]
$\frac{q(^{241}\text{Am})}{q(^{137}\text{Cs})}$	3±1[2,3±0,1]

Примечание. В квадратных скобках – отношения средних удельных активностей радионуклидов, наблюдавшихся ИРБЭ в пылящем верхнем пятисантиметровом слое почвы на радиоактивном "пятне" площадки П-2Г.

Необходимо отметить, что указанные выше радионуклиды практически полностью обуславливали радиоактивное загрязнение атмосферного воздуха в зоне контрольных наблюдений во время искусственного пылеподъёма на площадке П-2Г. Причём, около 90% и 6% этой радиоактивности приходились на $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am соответственно.

Путём селективного отбора в приземной атмосфере проб радиоактивных частиц с аэродинамическими диаметрами $d_a > 50$ мкм и $d_a < 50$ мкм и последующего радиохимического анализа отобранных проб было получено, что активность загрязнявшего атмосферный воздух $^{239,240}\text{Pu}$, приходилась в основном на плутониевые частицы, содержащиеся в первой из указанных фракций радиоактивных частиц. Эти плутониевые частицы, вероятно, были продуктами диспергирования использованного в гидроядерном эксперименте плутония.

Отбор проб радиоактивных частиц в зоне контрольных наблюдений на площадке П-2Г проводился также во время искусственного степного пожара, организованного на её радиоактивном "пятне" 19.07.2006 г. Результаты показали что, наблюдавшиеся во время пожара объёмные активности $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{137}Cs в приземной атмосфере составляли $(3\pm 1) \cdot 10^{-2}$ Бк·м⁻³ и $(2,5\pm 0,8) \cdot 10^{-2}$ Бк·м⁻³ соответственно. Естественно, что в этом случае загрязнение атмосферного воздуха на пробоотборной площадке $^{239,240}\text{Pu}$ было существенно меньшим, чем во время интенсивного пылеподъёма на радиоактивном "пятне" этой площадки (Таблица 5). Причём, отношение объёмных активностей $\frac{q(^{239,240}\text{Pu})}{q(^{137}\text{Cs})}$ составляло $(1,2\pm 0,6)$ и было примерно в 20 раз меньше отношения их удельных активностей в почве, покрытой горевшей во время пожара степной растительностью. Это обуславливалось в значительной степени известными различиями в коэффициентах перехода из почвы растения $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{137}Cs на радиоактивно загрязнённых территориях.

2. Площадка 4А

Представлены данные, относящиеся к радиоэкологическим характеристикам продуктов интенсивного пылеподъёма и искусственного степного пожара, наблюдавшихся в приземной атмосфере на участке 14 площадки 4А. В таблице 8 приведены данные об объёмных активностях ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{137}Cs в атмосферном воздухе в зоне наблюдений во время полевого эксперимента по искусственному пылеподъёму проведенного 21.07.2006 г.

Таблица 8. Объёмные активности (q) ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{137}Cs в приземной атмосфере в приграничной к радиоактивной "пятне" зоне наблюдений на участке 14 площадки 4А во время эксперимента по пылеподъёму 21.07.2006 г.

Радионуклид	q , Бк·м ⁻³
^{90}Sr	$(18\pm 5)[(0,55\pm 0,02) \cdot 10^{-4}]$
$^{239,240}\text{Pu}$	$(0,25\pm 0,05)[(0,4\pm 0,1) \cdot 10^{-5}]$
^{137}Cs	$(0,60\pm 0,15)[\leq 0,2 \cdot 10^{-5}]$

Примечание. В квадратных скобках – используемые для сравнения уровни загрязнения атмосферного воздуха ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{137}Cs , наблюдавшиеся в ИРБЭ в г. Курчатове с 22.05.06 г. по 08.07.2006 г.

Данные, приведённые в таблице 8, свидетельствуют о том, что радиоактивные "стронциевые пятна" при интенсивном поступлении почвенной пыли в атмосферу становятся источниками аномально высоких уровней загрязнения атмосферного воздуха ^{90}Sr . Как видно из таблицы 8, различия между этими уровнями и уровнями загрязнения ^{90}Sr атмосферного воздуха в г. Курчатове в летние месяцы могут достигать пяти порядков.

Данные о коэффициентах искусственного пылеподъёма ($K_p = q/A_{уд}$) ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{137}Cs из поверхностного слоя почвы на радиоактивном "пятне" в приземную атмосферу во время эксперимента по пылеподъёму 21.07.2006 г. представлены в таблице 9.

Таблица 9. Отношения $q/A_{уд}$ по данным контрольных наблюдений, проведённых во время искусственного пылеподъёма на участке 14 площадки 4А

Радионуклид	$q/A_{уд}$, кг·м ⁻³
^{90}Sr	$(3,0\pm 1,1) \cdot 10^{-5}$
$^{239,240}\text{Pu}$	$(5,3\pm 1,5) \cdot 10^{-5}$
^{137}Cs	$(4,0\pm 1,5) \cdot 10^{-5}$

Из таблицы 9 видно, что коэффициенты искусственного пылеподъёма K_p на площадке 4А рассматриваемых радионуклидов в пределах погрешностей оценок оказались близкими к их среднему значению $4 \cdot 10^{-5}$ кг·м⁻³.

Необходимо здесь отметить, что эта величина согласно таблице 6 примерно на порядок больше среднего значения коэффициентов пылеподъёма на площадке П-2Г для представленных в этой таблице радионуклидов, включая ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ ($\sim 3 \cdot 10^{-6}$ кг·м⁻³). Причём, методики пылеподъёма и наблюдений загрязнения приземной атмосферы радиоактивной пылью в обоих отмеченных случаях были практически одинаковыми.

Следует также отметить, что в районе рассматриваемых наблюдений в дни, предшествующие началу полевых экспериментов, прошли сильные продолжительные дожди. Поэтому, вероятно, 19.07.2006 г. поверхностный слой почвы на площадке П-2Г оставался в значительной степени увлажнённым. Напротив, к 21.07.2006 г. в период сухих жарких дней поверхностный слой почвы в районе испытаний БРВ и, в частности, на участке 14 площадки 4А, должен был в основном уже просохнуть. Возможно, во всём этом и кроется причина указанного выше различия оценок коэффициентов искусственного пылеподъёма K_p на площадках П-2Г и 4А в июле 2006 г.

На территории отмеченного радиоактивного "пятна", расположенного на участке 14 площадки 4А 21.07.2006 г. был организован искусственный степной пожар. В зоне контрольных наблюдений был проведён отбор проб на трёхслойный пакет фильтров ФХИ. Путём гамма-спектрометрического и радиохимического анализов проб радиоактивных продуктов пожара, отобранных на фильтры этого пакета в приземной атмосфере с помощью воздухо-фильтрующей установки Тайфун-4К, были получены следующие результаты. Объёмные активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в атмосферном воздухе в зоне наблюдений составляли $(0,14 \pm 0,04) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ и $(3,7 \pm 1,0) \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ соответственно, что говорит о сильном загрязнении растительности ^{137}Cs и особенно ^{90}Sr на площадке БРВ.

ОЦЕНКА СРЕДНЕГОДОВЫХ ОБЪЕМНЫХ АКТИВНОСТЕЙ ^{137}Cs И $^{239,240}\text{Pu}$ В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ Г. КУРЧАТОВ И С. САРЖАЛ

В рамках проекта была проведена оценка среднегодовой интенсивности ветрового подъема $\bar{\alpha}$ (с^{-1}) легкой радиоактивной примеси на основании экспериментальных данных о загрязнении исследованных участков $^{239,240}\text{Pu}$ и среднегодовой концентрации $^{239,240}\text{Pu}$ в приземном воздухе г. Курчатова [1]. Оценка $\bar{\alpha}$ проводилась с использованием аналитического решения полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии от стационарного точечного источника невесомой примеси [2]. Интенсивность ветрового подъема долгоживущих радионуклидов с подстилающей поверхности зависит от многих параметров, важнейшими из которых являются: уровень радиоактивного загрязнения поверхностного слоя почвы, физико-химические характеристики почвы, растительный покров, микрометеорологические параметры. К настоящему времени зависимость интенсивности ветрового подъема от перечисленных выше параметров изучена недостаточно. Анализ имеющейся научной литературы по данной проблеме позволяет отметить лишь некоторые выявленные особенности ветрового подъема радионуклидов, которые могут быть полезны при исследовании радиоактивного загрязнения приземной атмосферы в районе СИП и прилегающих областях.

Особого внимания заслуживают, естественно, проблемы формирования дисперсной фазы и атмосферных выпадений радиоактивных продуктов наземных ядерных испытаний. Именно они, как известно, явились основным источником радиоактивного загрязнения территории СИП и прилегающих к нему районов. Методы и принципиально важные результаты решения этих проблем подробно описаны в монографии Ю.А. Израэля [3].

После наземного взрыва в зоне воздействия на грунт интенсивного теплового излучения огненного шара происходит оплавление и испарение содержащихся в верхнем слое грунта материалов. В это время сильно прогревается и приземный воздух в указанной зоне. В процессе быстрого всплывания в атмосфере горячих воздушных масс вместе с ними в атмосферу поступают около 5000 т минеральной составляющей грунта в расчете на 1 кт мощности взрыва, из которых 180-200 т находятся в расплавленном состоянии [3]. В паровую фазу переходит от 1,5 до 25 т минеральной компоненты грунта в расчете на 1 кт мощности взрыва. Значительная часть грунта поступает в атмосферу в мелко раздробленном состоянии.

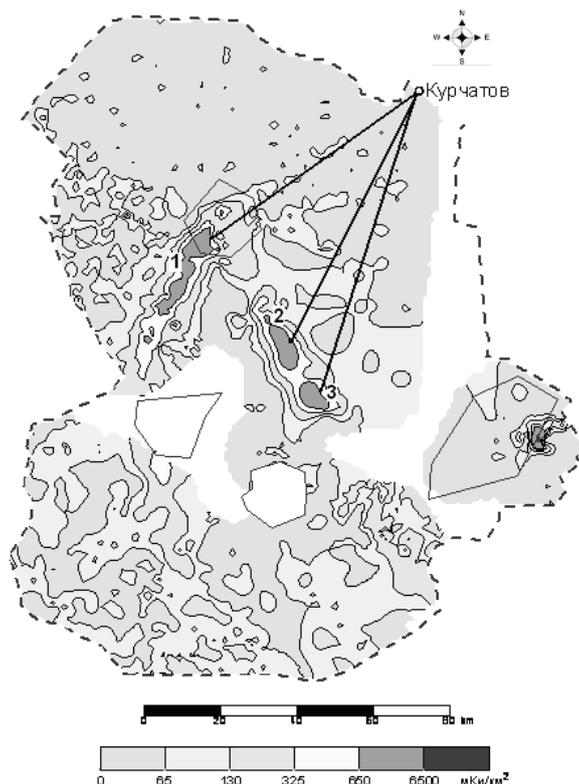
Полученное среднее значение $\bar{\alpha} = 10^{-10} \text{ с}^{-1}$ характерно для больших площадей (сотни кв. километров) и длительных промежутков времени (год).

На основании полученного значения $\bar{\alpha}$ и данных о загрязнении площади СИП ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ были проведены модельные оценки загрязнения этими радионуклидами приземной атмосферы г. Курчатова и с. Саржал при средней скорости ветра 4 м/с.

Для оценки радиоактивного загрязнения атмосферы этих населенных пунктов принимались во внимание площади зон на территории СИП с высокими уровнями загрязнения указанными радионуклидами.

Исходными данными для проведения оценки объёмной активности (ОА) ^{137}Cs в приземном воздухе г. Курчатова являются данные о поверхностной плотности (А) загрязнения почвы территории СИП ^{137}Cs , представленные на рисунке 4. Как видно из этого рисунка, наиболее важными источниками загрязнения этим радионуклидом приземной атмосферы г. Курчатова являются три "цезиевых пятна" с поверхностной плотностью 650 - 6500 мКи/км² ($24,05 \times 10^3 - 240,5 \times 10^3 \text{ Бк/м}^2$). Эти "пятна" охватывают значительные площади и расположены более близко к г. Курчатова, чем другие интенсивно загрязненные ^{137}Cs участки почвы. На карте указанные пятна обозначены цифрами – 1, 2, 3, их площади составляют приблизительно 65 км², 42 км² и 28 км² соответственно. Для $^{239,240}\text{Pu}$ использовались экспериментальные данные полученные в ходе выполнения проекта К-928.

Рассматривались направления ветрового переноса радиоактивной примеси, вызывающие загрязнение атмосферы отмеченных населенных пунктов $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{137}Cs . Среднегодовая ОА радионуклидов рассчитывались на основании [2] (таблица 10).



1, 2, 3 отмечены номера "цезиевых пятен", для которых производились расчеты

Рисунок 4. Поверхностная плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в районе СИП

Таблица 10. Результаты расчётов среднегодовых объемных активностей ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в приземной атмосфере города Курчатова и села Саржал, обусловленные ветровым переносом невесомой радиоактивной примеси от наиболее интенсивных площадных источников (цезиевых и плутониевых "пятен") на территории бывшего СИП

Среднегодовая ОА, Бк/м ³	г. Курчатов	с. Саржал	НРБ-99
^{137}Cs	$2,6 \cdot 10^{-7}$	–	27 Бк/м ³
$^{239,240}\text{Pu}$	$3,7 \cdot 10^{-7}$ *	$7,1 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$ Бк/м ³

* - данные наблюдений за период 2000-2001 гг. [1]

Необходимо подчеркнуть, приведенные оценки среднегодовой ОА ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ являются предварительными и носят ориентировочный характер. Дополнительный вклад в формирование ОА ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ в приземной атмосфере г. Курчатова вносят глобальный фон и ветровой перенос от других площадных источников, расположенных на территории СИП. В то же время нормируемая НРБ-99 среднегодовая ОА ^{137}Cs и $^{239,240}\text{Pu}$ на много порядков выше полученных в работе оценочных значений.

ОЦЕНКА ПОЖИЗНЕННЫХ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ СЕМИПАЛАТИНСКОГО РЕГИОНА С УЧЕТОМ ВОЗРАСТНОЙ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТОВ РИСКА И РАЦИОНОВ

Выполнен расчет пожизненных индивидуальных радиационных рисков для населения Семипалатинского региона от поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr с местными продуктами питания и ингаляционным путем. Расчет проводился в соответствии с методикой Международной комиссии по радиационной защите (ICRP, 1990). При расчетах пожизненных

рисков учитывались зависимости коэффициентов рисков для каждого радионуклида от возраста человека, а также зависимость годовых рационов по отдельным продуктам питания от возраста.

За основу при расчетах взяты значения современных уровней поступления основных дозообразующих радионуклидов в организм человека.

Радиационный риск оценивался от поступления ^{137}Cs и ^{90}Sr для населения, проживающего на территориях, прилегающих к бывшему Семипалатинскому полигону за 70 лет, начиная от 1990-х гг. (данные измерений, относящиеся к этому времени использовались в расчетах как начальные значения), а также с учетом полученных данных измерений концентраций радионуклидов в местной продукции в 2003-2004 гг. При расчетах учтены основные пути поступления радионуклидов: потребление баранины; потребление конины; потребление молока лошадей; потребление молочных продуктов; потребление коровьего молока; потребление овощей и корнеплодов; потребление картофеля; потребление питьевой воды.

При расчетах долгосрочного поступления радионуклидов с продуктами питания для оценок пожизненного риска было принято во внимание изменение концентраций радионуклидов в поверхностном слое почвы и, соответственно, в продуктах питания, как за счет радиоактивного распада, так и факторов окружающей среды. Это, в свою очередь, приводит к постепенному снижению поступления радионуклидов в организм человека и уменьшению вкладов в пожизненный риск рисков от потребления продуктов питания в течение каждого последующего года проживания.

На рисунке 5 представлены результаты расчетов вклада ^{137}Cs в пожизненный радиационный риск на население, проживающее на территориях, прилегающих к бывшему Семипалатинскому полигону и вклад в риск различных путей поступления радионуклидов. Как показывают сделанные оценки, основной вклад в пожизненный риск от ^{137}Cs вносит потребление мяса – средняя оценка пожизненного риска от потребления баранины и конины местного производства составляет $3 \cdot 10^{-5}$. Далее по значимости идет вклад молока и молочных продуктов – в сумме пожизненный риск от этого компонента рациона составляет $1,2 \cdot 10^{-5}$; суммарный риск от потребления овощей и картофеля, содержащих ^{137}Cs , оценен равным $5 \cdot 10^{-6}$. Существенно ниже риски от потребления питьевой воды $1 \cdot 10^{-8}$ и оцененный ранее риск от вдыхания ^{137}Cs $5,5 \cdot 10^{-13}$.

На рисунке 6 представлены результаты расчетов вклада ^{90}Sr в пожизненный радиационный риск на население, проживающее на территориях, прилегающих к бывшему Семипалатинскому полигону. В отличие от ^{137}Cs основной вклад в пожизненный риск от ^{90}Sr в пищевых продуктах вносит потребление молока и молочной продукции (средняя оценка риска $5 \cdot 10^{-5}$ от потребления молока коровьего и $1 \cdot 10^{-5}$ от потребления молока лошадей). Риск от потребления мяса, содержащего ^{90}Sr значительно ниже (в сумме $1 \cdot 10^{-6}$ от потребления баранины и конины). Риск от потребления овощей и картофеля, содержащих ^{90}Sr , оценен $5 \cdot 10^{-6}$. Значительно ниже риск от вдыхания ^{90}Sr , равный $4,5 \cdot 10^{-12}$. Отметим большой разброс в данных наблюдений по концентрациям ^{90}Sr в местных овощах, что является причиной значительного различия между нижней и верхней оценками риска от потребления овощей.

Средняя оценка пожизненного риска от потребления местных продуктов питания составляет $1,2 \cdot 10^{-4}$, в среднем за 1 год пребывания $1,7 \cdot 10^{-6}$. Максимальная оценка пожизненного риска составляет $3,4 \cdot 10^{-4}$, в среднем за 1 год пребывания $3,5 \cdot 10^{-6}$. Предел индивидуального пожизненного риска в течение 1 года для дополнительного техногенного облучения населения принят равным $5 \cdot 10^{-5}$. Уровень пренебрежимого риска, разделяющий области оптимизации риска и безусловно приемлемого риска по оценкам Крышева И.И. и других ученых составляет 10^{-6} . Можно сделать вывод что, как среднее

расчетное значение индивидуального риска от потребления продуктов питания за 1 год $1,7 \cdot 10^{-6}$, так и максимальное значение $3,5 \cdot 10^{-6}$ находятся в области оптимизации риска.

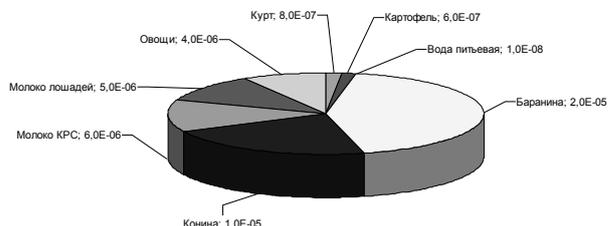


Рисунок 5. Пожизненный риск от потребления местных продуктов питания, содержащих ^{137}Cs (средняя оценка)

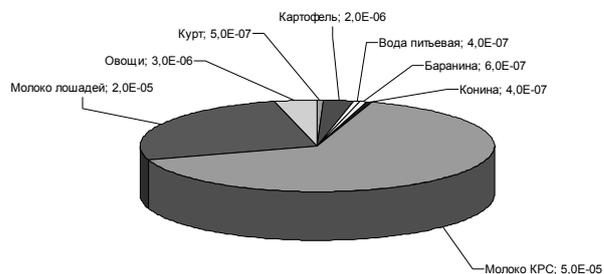


Рисунок 6. Пожизненный риск от потребления местных продуктов питания, содержащих ^{90}Sr (средняя оценка)

Выводы

- На основании ранее полученных данных о среднегодовой объёмной активности $^{239,240}\text{Pu}$ в атмосферном воздухе г. Курчатова получены ориентировочные оценки физических характеристик процесса пылеподъёма в наиболее радиоактивно загрязнённых зонах территорий бывшего СИП и последующего атмосферного переноса радиоактивной пыли на расстоянии порядка 100 км от места её поступления в приземную атмосферу;

- Объёмная концентрация плутония при естественном ветровом пылеподъёме в ингалируемой фракции <10 мкм превышает на порядок объёмную концентрацию в крупной фракции >10 мкм;

- При техногенном пылеподъёме максимум активности плутония в ингалируемом диапазоне <10 мкм принадлежит фракции 1,5-3,0 мкм;

- При техногенном пылеподъёме активность плутония в мелкой фракции <10 мкм увеличивается приблизительно в 3 раза, в крупной фракции (>10 мкм) увеличивается почти на 2 порядка: $^{239,240}\text{Pu}$ в 81 раз, ^{238}Pu в 77 раз.

- Среднее расчетное значение индивидуального риска за 1 год $1,7 \cdot 10^{-6}$, так и максимальное значение $3,5 \cdot 10^{-6}$ находятся в области оптимизации риска.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лехто Ю. Плутоний в воздухе г. Курчатова / Ю. Лехто, С. Саллинен, Т. Яаккола [и др.]. // Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и проблемы нераспространения: доклад на Междунар. конф. 7-9 окт. 2003 г. - Курчатова, Казахстан.
2. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы/ М.Е. Берлянд. – Ленинград: Гидрометеониздат, 1975. – 448 с.
3. Израэль Ю.А. Радиоактивные выпадения после ядерных взрывов и аварий/Ю.А. Израэль. - СПб: Прогресс-Погода, 1996. – 355 с.

СЕМЕЙ АЙМАҒЫНЫҢ ТҮРҒЫНДАРЫ ҮШІН РАДИАЦИЯЛЫҚ ҚАТЕРДІ БАҒАЛАУ ЖӘНЕ «АТМОСФЕРА-БЕТКІ ЖАМЫЛҒЫ» ЖҮЙЕСІНІҢ РАДИОАКТИВТІ ЛАСТАНУЫН КЕШЕНДІ ЗЕРТТЕУ

¹⁾Артемьев О.И., ¹⁾Осинцев А.Ю., ²⁾Газиев Я.И., ²⁾Крышев И.И., ³⁾Гордеев С.К., ²⁾Газиев И.Я.,
²⁾Крышев А.И., ²⁾Колесникова Л.В., ⁴⁾Огородников Б.И., ²⁾Мартыненко В.П., ²⁾Уваров А.Д.

¹⁾ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатова, Қазақстан

²⁾«Тайфун»ҒӨБ Эксперименталды метеорология институты, Обнинск, Ресей

³⁾«Родон»ҒӨБ Мәскеу МУК, Мәскеу, Ресей

⁴⁾Ларионов ат. Физико-химиялық институт, Мәскеу, Ресей

2004-2007 жж. К-928 МНТЦ жобасы бойынша жасалған жұмыстар шеңберінде бұрынғы ССП аумағында әскери радиоактивті заттар сыналған жерлер мен гидроядролық тәжірибелер өткізілген аймақта пайда болған, көптеген радиоактивті «дақтар» анықталды және жете зерттелді. П-2Г алаңдары мен 4А алаңының 14 телімдерінің көрсетілген аймақтарында, аталған алаңдарда радиоактивті «дақтар», өрттер мен техногенді шаң көтерілу нәтижесінде пайда болған өнімдердің дисперсті сипаттамасы мен радионуклидті құрамын зерттеу үшін далалық зерттеулер дайындалды және жүргізілді. Алынған деректер, қоршаған ортаны аэралды ластаудың физико-математикалық үлгісін жетілдіруде және атмосфераға әртүрлі көздерден радиоактивті аэрожамылғылар мен аэрозолдардың түсу қарқынының параметрлерін нақтылау үшін осындай далалық зерттеулердің келешегі барын көрсетеді. Жергілікті тағам өнімдері мен ингаляциялық жолдар арқылы түсетін радионуклидтердің Семей аймағының тұрғындары үшін өмірбойғы жекелей радиациялық қатерінің есебі жасалды. Есеп радиациялық қорғаныс жөніндегі Халықаралық комиссияның әдістемесіне сәйкес жүргізілді.

INTEGRATED STUDY OF RADIOACTIVE CONTAMINATION OF "ATMOSPHERE-GEOLOGICAL SUBSTATE" SYSTEM AND RADIATION RISK ASSESSMENT FOR POPULATION OF SEMIPALATINSK REGION

¹⁾O.I. Artem'yev, ¹⁾A.Yu. Osintsev, ²⁾Ya.I. Gaziyeu, ²⁾I.I. Kryshev, ³⁾S.K. Gordeyev, ²⁾I.Ya. Gaziyeu,
²⁾A.I. Kryshev, ²⁾L.V. Kolesnikova, ⁴⁾B.I. Ogorodnikov, ²⁾V.P. Martynenko, ²⁾A.D. Uvarov

¹⁾Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

²⁾Institute of Experimental Meteorology НПО "Typhoon", Obninsk, Russia

³⁾SUI Mos. SIA "Radon", Moscow, Russia

⁴⁾Karpov Physical-chemical Institute, Moscow, Russia

Multiple radioactive "spots" generated by hydronuclear tests and tests of fighting radioactive agents in the zones of conducting were detected and in detail investigated at the former STS area in 2004-2007 in the framework on the ISTC K-928 project. Field researches of radionuclide compositions and dispersed characteristics of man-caused dust-rising products generated on radioactive "spots" of these areas were prepared and carried out at the P-2G areas and 14 site of 4A site of indicated zones. Data were received which show perceptivity such as field test for parameter specifications and perfection of physico-mathematical models of aerarium contamination of environment with radioactive aerovzvyases and particulate pollutants from different sources of their intensive intake in the atmosphere. Calculation of lifelong individual radiation risks for population of Semipalatinsk regions from radionuclide intake was carried out by local foodstuff and inhalation way. Calculation was carried out in accordance with the method of International Commission of Radiation Protection.

УДК 504.75.05:615.849

ПОДХОДЫ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА (НА ПРИМЕРЕ ПЕРСОНАЛА НЯЦ РК)

Березина М.В., Кенжина Г.Т.

Национальный ядерный центр Республики Казахстан, Курчатов

Представлена информация о создании системы мониторинга индивидуальных дозовых нагрузок и состояния здоровья персонала НЯЦ РК, работающего во вредных условиях, на основе использования средств компьютерной техники и достижений современных информационных технологий.

Система мониторинга, созданная в рамках медицинского обеспечения радиационной безопасности, дает возможность хранения и анализа информации о состоянии здоровья персонала реакторных комплексов НЯЦ РК, автоматизированной обработки данных для разработки системы мероприятий, направленных на сохранение здоровья людей и проведения научных исследований.

В последнее время большое внимание исследователей привлекает проблема эффектов малых доз радиации на биологические объекты в связи с увеличивающимся радиоактивным загрязнением окружающей среды.

Актуальность проведения исследований по оценке влияния на здоровье населения деятельности Семипалатинского ядерного полигона определяется несколькими моментами: население продолжает проживать на территориях, загрязненных долгоживущими радионуклидами; нарастает использование радиоактивных изотопов в ядерной энергетике; риску облучения подвергаются работники объектов атомной промышленности.

Необходимо отметить, что само понимание значимости данной проблемы разделяется большинством исследователей.

Принято считать, что малые дозы радиации не вызывают манифестных, патогномичных эффектов. Однако, в длительном экспозиционном режиме дополнительная дозовая нагрузка, обусловленная малыми дозами, значима для организма человека [1].

При низкодозовых радиационных воздействиях следует учитывать, что "отдаленные изменения в облученном организме развиваются от длительного компенсаторного напряжения его адаптационных возможностей, обусловленного действием радиации и сопутствующих факторов". Эти изменения реализуются на всех структурно-функциональных уровнях организма и обеспечиваются разнообразными механизмами адаптации, которые в своей совокупности определяются как саногенетические механизмы [2].

В настоящее время назрела необходимость эпидемиологического изучения влияния, оказываемого малыми дозами радиационного облучения на здоровье человека, и в том числе оценки радиационных канцерогенных рисков малых доз облучения (0-0,1 Зв).

Анализ отечественных и зарубежных исследований, посвященных изучению настоящей проблемы, показал, что одним из путей ее решения является создание медико-дозиметрических регистров.

Так, например, японский регистр в Хиросиме и Нагасаки функционирует около 50 лет и, казалось бы, обеспечивает Международную комиссию по радиологической защите необходимой информацией о радиационном канцерогенезе на основе прямых эпидемиологических исследований. Вместе с тем, в последние 15-20 лет в ряде развитых стран мира (США, Англия, Франция, Канада, Япония) были созданы эпидемиологические регистры атомных работников. Это объясняется тем, что основной проблемой современной радиационной эпидемиологии являются малые дозы и риски онкологических заболеваний с учетом фактора пролонгированного (для профессионалов) облучения [3].

В последние годы были опубликованы данные о значимых радиационных рисках онкозаболеваний среди работников ПО "Маяк", получивших достаточно высокие накопленные дозы облучения в конце 40-х и начале 50-х годов (внешнее гамма- и внутреннее альфа-облучение от инкорпорированного плутония). Вместе с тем, крайне ограниченным остается число исследований (а следовательно, и публикаций в отечественных и зарубежных изданиях) по оценке радиационных рисков среди работников Минатома России, получивших малые накопленные дозы облучения (0-100 мЗв). В настоящее время Российский Национальный регистр завершил исследования по оценке радиационных рисков онкологических заболеваний среди сотрудников ГНЦ РФ - ФЭИ (г. Обнинск), а также работников атомной промышленности, принимавших участие в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС [4].

Работа персонала предприятий атомной энергетики в силу специфики отрасли всегда была связана с опасностью воздействия радиации на здоровье человека.

Сегодня задача сохранения здоровья и профессионального долголетия квалифицированных специалистов поставлена на новую ступень и, с точки зрения экономики и перспективы развития предприятий, является одним из самых существенных для любой отрасли. В атомной энергетике эта проблема

связана еще и с обеспечением безопасной эксплуатации технологических систем [5].

Очевидно, что сегодня возникла необходимость создания системы, которая позволила бы обеспечить единый контроль индивидуальных доз облучения в масштабах каждого предприятия атомной энергетики, а также мониторинг состояния здоровья профессионалов с учетом обследования на предмет радиационно-индуцированной патологии.

В такой автоматизированной системе мониторинга должна регистрироваться информация о том, когда, кто, где и в какой степени подвергся радиационному облучению, представлены данные о состоянии здоровья персонала.

Нами предпринята попытка создания системы мониторинга индивидуальных дозовых нагрузок и состояния здоровья персонала, работающего в условиях влияния ионизирующих излучений на объектах Института атомной энергии Национального ядерного центра Республики Казахстан (ИАЭ НЯЦ РК).

Целью настоящей работы явилась разработка единой системы мониторинга (далее - СМ) состояния здоровья и индивидуальных дозовых нагрузок персонала НЯЦ РК, работающего во вредных условиях, на основе использования средств компьютерной техники и достижений современных информационных технологий.

Создание такой базы данных даст возможность хранения и анализа информации о состоянии здоровья лиц, подвергшихся воздействию радиации, автоматизированной обработки данных для разработки системы мероприятий, направленных на сохранение здоровья персонала и обеспечение научных исследований.

Назначением СМ является информационная поддержка, повышение качества и эффективности:

- работ по изучению структуры, характера, динамики и тенденций в заболеваемости, потерь трудоспособности и смертности наблюдаемого контингента;
- работ по формированию Банка данных об индивидуальных дозах облучения;
- выработки рекомендаций на всех уровнях ведения СМ по улучшению профилактики, диагностики и лечения радиационно-индуцированных заболеваний, проведению защитных мероприятий, а также совершенствованию системы оказания медицинской помощи персоналу КИР «Байкал-1», КИР ИРГ, Стенда EAGLE НЯЦ РК;
- специальных и научных программ изучения медицинских последствий влияния малых доз радиации.

Задачи СМ:

- Создание системы персонального автоматизированного учета паспортно-регистрационных данных лиц, работающих в

условиях влияния ионизирующих излучений на КИР «Байкал-1», КИР ИРГ, Стенда EAGLE НЯЦ РК;

- многолетний контроль за состоянием здоровья лиц, подлежащих учету в СМ;
- автоматизированный учет индивидуальных доз облучения персонала;
- выявление причинно-следственных связей между показателями здоровья и факторами риска радиационной природы;
- формирование по запросам пользователей информационно-справочных данных, хранящихся в СМ;
- информационная поддержка специальных радиационно-эпидемиологических исследований по объективной оценке зависимости доза-эффект и радиационных рисков;
- информационная поддержка разработки мероприятий, направленных на снижение негативных последствий влияния ионизирующих излучений для здоровья персонала.

Структура СМ формируется и функционирует в иерархическом порядке и включает в себя 2 уровня ведения наблюдения:

1-й уровень - РГП НЯЦ РК;

2-й уровень - ИАЭ НЯЦ РК (служба дозиметрии) и Городская больница г. Курчатова.

Группы наблюдения СМ:

1 группа - лица, работающие в условиях влияния ионизирующих излучений на КИР «Байкал-1», КИР ИРГ, Стенда EAGLE НЯЦ РК;

2 группа - лица, участвовавшие в ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС, работающие в условиях влияния ионизирующих излучений на КИР «Байкал-1», КИР ИРГ, Стенда EAGLE НЯЦ РК;

3 группа - лица, работающие в условиях влияния ионизирующих излучений на КИР «Байкал-1», КИР ИРГ, Стенда EAGLE НЯЦ РК, родившиеся и проживавшие до работы в НЯЦ в зонах чрезвычайного и максимального радиационного риска;

4 группа - дети, родившиеся от лиц 1 и 2 группы первичного учета, работающие в условиях влияния ионизирующих излучений на КИР «Байкал-1», КИР ИРГ, Стенда EAGLE НЯЦ РК.

В СМ установлен следующий **порядок функционирования:**

На первом уровне СМ проводится полный персональный учет всех лиц, работающих в условиях влияния радиационного фактора на КИР «Байкал-1», КИР ИРГ, Стенда EAGLE НЯЦ РК, и подлежащих внесению в СМ; осуществляется обработка, накопление, хранение и обновление регистрационной и медико-дозиметрической информации о наблюдаемых лицах, переданной со второго уровня СМ; проводится программный контроль полученной информации. Ошибочные документы, не удовлетво-

ряющие требованиям контроля, возвращаются на второй уровень СМ для исправления ошибок.

На втором уровне производится сбор первичной информации об индивидуальных дозовых нагрузках персонала КИР «Байкал-1», КИР ИГР, Стенда EAGLE НЯЦ РК и состоянии его здоровья (на основании медицинских документов, утвержденных Минздравом РК), полученной в ходе ежегодных медицинских осмотров персонала, диспансерного наблюдения и дополнительного обследования работников указанных объектов НЯЦ РК с последующей передачей ее на первый уровень СМ.

Передача информации с одного уровня на другой осуществляется на бумажных или электронных носителях в согласованном порядке.

Настоящая Система мониторинга, как средство проспективного когортного исследования, предназначена для получения более полного представления о влиянии малых доз ионизирующих излучений на организм человека.

В СМ предусмотрены: учет распространенности "маркерных" – радиационно-индуцированных заболеваний [6], сопоставление с дозовыми нагрузками и проведение медико-эпидемиологического анализа. Решение этих задач в полном объеме (а не в виде выборочных исследований) возможно практически только при использовании компьютеризированных информационных систем.

Для создания системы мониторинга выбрана программная система, представляющая собой базу данных Ms. Access, которая позволяет обеспечить сбор и анализ информации о состоянии здоровья персонала (по показателям заболеваемости, смертности) и вредных факторах окружающей среды – ионизирующих излучений, ее обуславливающих, и одновременно контролировать как медицинские показатели (состояние здоровья персонала, в том числе и по выбранным "маркерным" группам патологии), так и индивидуальные дозовые нагрузки, оценивая характер связи между ними.

СМ содержит следующие регистрационные и учетные формы:

1. Форма полицейского учета персонала КИР «Байкал - 1», КИР ИГР и Стенда EAGLE НЯЦ РК, работающего в условиях влияния ионизирующих излучений.
2. Регистрационная карта лица, работающего в условиях влияния ионизирующих излучений.
3. Форма учета индивидуальных дозовых нагрузок лиц, работающих в условиях влияния ио-

низирующих излучений на КИР «Байкал -1», КИР ИГР и Стенда EAGLE НЯЦ РК.

4. Отчетная форма «Показатели заболеваемости и смертности персонала КИР «Байкал-1», КИР ИГР и Стенда EAGLE НЯЦ РК, работающего в условиях влияния ионизирующих излучений».
5. Классификация заболеваний, связанных с воздействием ионизирующих излучений.

Компьютерная программа (База данных) «Система мониторинга персонала КИР «Байкал-1», КИР ИГР и Стенда EAGLE НЯЦ РК, работающего в условиях влияния ионизирующих излучений» представляет собой базу данных по индивидуальным дозовым нагрузкам и информации о состоянии здоровья персонала НЯЦ РК, работающего в условиях влияния ионизирующих излучений в динамике разработана в системе управления базами данных (СУБД) Microsoft Access.

Программное обеспечение, использованное для разработки Базы данных:

- Операционная система: Windows 98 (2000).
- Система управления базами данных: Access 97 или 2000 версия.

На начало 2005 года в СМ введены данные на 319 лиц, работающих в условиях влияния ионизирующих излучений, в том числе:

- КИР «Байкал-1» - на 157 человека;
- КИР ИГР и Стенд EAGLE - на 162 человека.

Медико-экологические оценки состояния здоровья профессионалов имеют прямое отношение к проблеме радиационно-экологической безопасности ядерной энергетики.

Созданная Система мониторинга персонала КИР «Байкал-1», КИР ИГР и Стенда EAGLE НЯЦ РК, работающего в условиях влияния ионизирующих излучений способна служить основой для проведения в дальнейшем эпидемиологических исследований по оценке воздействия "малых" доз ионизирующего излучения на состояние здоровья персонала объектов НЯЦ РК методом статистической оценки показателей состояния здоровья и их динамику в зависимости от уровней индивидуальной дозовой нагрузки персонала.

Динамический характер созданной Системы мониторинга позволяет при необходимости расширять круг задач и усовершенствовать программную реализацию ее элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сорокин А.В. К вопросу организации эффективной системы медицинского и психофизиологического обеспечения персонала атомной станции. / А.В. Сорокин., Е.Г. Горбачева // Медицина экстремальных ситуаций. – М., 2000. - № 2 (5). - С.42- 44.
2. Баевский Р.М. Оценка и классификация уровней здоровья с точки зрения теории адаптации. / Р.М. Баевский // Вестник АМН СССР. - 1989. - №8.
3. Гуськова А.К. Авария на ЧАЭС и ее медицинские последствия. / А.К. Гуськова // РАМН. - М., 2001.

4. Цыб А.Ф. Медицинские последствия аварии на ЧАЭС: прогноз и фактические данные национального регистра. / А.Ф. Цыб, В.К. Иванов // Медицинский радиологический научный центр РАМН. - Обнинск, 2001.
5. Сорокин А.В. Вопросы медицинского и психофизического обеспечения безопасности и надежности персонала ядерно-энергетического комплекса. / А.В. Сорокин, Е.Г. Горбачева, О.В. Лосева // Медицина экстремальных ситуаций. – М., 1999. - № 1. - С.63.
6. Постановление Правительства РК от 13 января 2004 года № 34 «Об утверждении перечня заболеваний, связанных с воздействием ионизирующих излучений, и Правил установления причинной связи заболеваний с воздействием ионизирующих излучений».
7. Киселев А.В. Оценка риска здоровью. Подходы к использованию в медико-экологических исследованиях и практике управления качеством окружающей среды. / А.В.Киселев, К.Б. Фридман // Международный институт оценки риска здоровью. - Санкт-Петербург, 1997.

**КЕШЕНДІ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГ ЖҮЙЕСІНДЕ, ИОНДАУШЫ СӘУЛЕ ШЫҒАРУ
ӘСЕРІНДЕ ЖҰМЫС ІСТЕЙТІН КІР «БАЙКАЛ-1», КІР ИҒР ЖӘНЕ ҚР ҰЯО EAGLE СТЕНД
ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРІНІҢ МОНИТОРИНГ ЖҮЙЕСІН ҚҰРУ**

Березина М.В., Кенжина Г.Т.

Қазақстан Республикасының Ұлттық Ядролық Орталығы, Курчатов

Компьютерлік техника құралдары мен ақпаратты технологиялардың қазіргі кездегі жетістіктерін пайдалану негізінде, зиянды жағдайларда жұмыс істейтін ҚР ҰЯО қызметкерлерінің денсаулық жағдайы мен жеке дозалы жүтемесінің мониторинг жүйесін құру туралы ақпарат берілген.

Радиациялық қауіпсіздікті медицинамен қамтамасыз ету шеңберінде құрылған мониторинг жүйесі ҚР ҰЯО реактор кешендері қызметкерлерінің денсаулықтары туралы ақпаратты талдауға және сақтауға, ғылыми зерттеулер жүргізу мен халықтың денсаулығын сақтауға бағытталған шаралар жүйесін дайындауға арналған деректерді автоматтандырылған өндеуден өткізуге мүмкіндік береді.

**CREATION OF MONITORING SYSTEM FOR THE NNC RK PERSONNEL WORKING UNDER
CONDITIONS OF IONIZING RADIATION EFFECT IN THE FRAMEWORK
OF COMPREHENSIVE ECOLOGICAL MONITORING**

M.V. Berezina, G.T. Kenzhina

National Nuclear Centre of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov

This paper presents information of the monitoring system creation for individual radiation doses and health condition for the NNC RK personnel working in harmful conditions on the basis of use of computer means and up-to-date advances in the information technologies.

The monitoring system created in the framework of medical radiation safety gives the opportunities to store and review information about health condition of the reactor complexes' personnel (RK NNC), and automated processing of data for development of system activities directed to people health saving and scientific

УДК 577.391:504.054:539.16

ОЦЕНКА УРОВНЯ МУТИРОВАНИЯ ХРОМОСОМНОГО АППАРАТА *AGROPYRON CRISTATUM*¹Минкенова К.С., ²Бигалиев А.Б., ¹Каримбаева К.С., ¹Силкина Г.П., ¹Степачева Н.М.¹Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан²Казахский Национальный Университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Рассмотрены накопление естественных и искусственных радионуклидов в надземной части, в корнях и в почве *Agropyron cristatum*, произрастающих в районе радиационно-загрязненных участков. Выполнен анализ частоты хромосомных нарушений в апикальной меристеме корешков проростков семян *Agropyron cristatum*, произрастающих на территории площадки «Балапан» при разном уровне радиоактивного загрязнения. Показано увеличение частоты структурных аберраций хромосом в делящихся клетках меристемных корешков проростков семян у *Agropyron cristatum*.

ВВЕДЕНИЕ

Реакция природной среды на воздействие ионизирующих излучений в степном биоме Казахстана до настоящего времени слабо изучена. Основной проблемой является отсутствие критериев оценки состояния экосистем и их компонентов (почв, растительности и др.) на воздействие радиационных факторов.

Для объективной оценки биологических последствий радиоактивных загрязнений на природные популяции организмов необходимо изучение цитогенетических эффектов ионизирующих излучений в хронически облучаемых популяциях растений.

Дубининым Н.П. [1] отмечено, что наиболее распространенным и точным методом оценки цитогенетического эффекта ионизирующих излучений является учет частоты структурных перестроек хромосом.

После закрытия полигона специалисты биологического профиля ИРБЭ НЯЦ РК начали проводить исследования на популяционном, видовом и анатомо-морфологическом уровнях. Известно, что индуцированные изменения в растениях наблюдается и на клеточном уровне. Более тонким инструментом на этом уровне являются цитогенетические исследования.

Изучения последствий ядерных испытаний и других антропогенных воздействий на растительные сообщества важны, поскольку растения являются одним из основных и показательных элементов экосистемы. Для изучения цитогенетических изменений выбрана популяция *Agropyron cristatum* поскольку.

Это злаковое растение, один из главных компонентов пастбищной растительности, имеет сельскохозяйственную ценность, используется в животноводстве как кормовая культура.

Agropyron cristatum (житняк гребенчатый) относится к многолетним культурам, образует дернину, поэтому можно проследить влияние радиации на его поколения. Смена поколений у этого объекта происходит каждые 5-7 лет, что дает возможность проследить изменения биологических показателей и формирования структуры популяций в динамике.

Число аберраций хромосом в первом митозе является одним из критериев радиочувствительности

семян. Известно, что радиочувствительность может использоваться для биоиндикации радиационного загрязнения.

В связи с вышеизложенным, актуальность данных исследований не вызывает сомнений, т.к. оценка биологических последствий радиоактивного загрязнения, на популяциях растений, имеет важное значение.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Оценка уровня мутирования хромосомного аппарата популяции *Agropyron cristatum*.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выявить типы структурных перестроек хромосом; Изучить частоту возникновения структурных преобразований хромосом.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является верхушечная меристема кончиков корешков из проростков семян популяций дикорастущего растения *Agropyron cristatum*. Выбор этого объекта обусловлен следующими причинами: Во – первых, *Agropyron cristatum* относится к семейству злаковых, это преобладающее семейство в условиях сухих степей, к которым относится территория Семипалатинского испытательного полигона. Во – вторых, этот объект имеет удобные для цитогенетических исследований тест-системы, такие как апикальные корневые меристемы, и широко используется в мониторинге токсических и канцерогенных веществ. В - третьих, *Agropyron cristatum* многолетнее растение, имеет крупное ядро, что делает исследования более удобными.

Для сравнительного изучения цитогенетических эффектов были собраны семена доминирующего вида многолетней травы, взятой на радиационно-загрязненном и относительно "чистом" участках.

Для цитогенетического изучения был проведен анализ частоты хромосомных нарушений в апикальной меристеме корешков из проросших семян растений из разных радиоактивно загрязненных участков урочища "Балапан".

Цитогенетический анализ частоты хромосомных нарушений в апикальных меристематических ко-

решках прорастающих семян *Agropyron cristatum* проводился по общепринятой методике [2]. Микроскоп Micmed 2, Axioskop при увеличении объектива $\times 100$ (масляная иммерсия). Статистическая обработка проведена по общепринятой методике [3].

На выбранных участках производился отбор проб почвы и растений на радиохимический и гамма-спектрометрический анализы, согласно методике [4, 5].

1. ХАРАКТЕРИСТИКА РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ИССЛЕДУЕМЫХ УЧАСТКОВ

Выбор участков был обусловлен разным уровнем радиоактивного загрязнения. На площадке "Балапан" были выбраны 2 участка (относительно чистый и опытный), с разным уровнем радиационного загрязнения. При выборе участков учитывали одинаковые условия среды обитания *Agropyron cristatum*.

В качестве опытного участка выбрана территория северо-западного берега "Атомного озера" с максимальным значением радиационного фона 23 мкЗв/ч и плотностью потока β - частиц 775 част/(мин·см²). Северо-западный берег "Атомного озера" находится в понижении между отвалами берега "Атомного озера". Почва представляет собой

техногенный грунт. Опытный участок находится на расстоянии менее 100 метров от "Атомного озера". Растительный покров образован из полынно-типчачково-ковыльных (*Stipa capillata*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia marschaliana*), полынно-житняково-ковыльных (*Artemisia marschaliana*, *Agropyron cristatum*, *Stipa capillata*), таволга-типчачково-ковыльных (*Spiraea hypericifolia*, *Festuca valesiaca*, *Stipa capillata*) растительных сообществ.

В качестве относительно чистого участка была выбрана ОИП-2, расположенная в юго-западном направлении на расстоянии 12 км от "Атомного озера". Уровень гамма-излучения находится на уровне естественного радиационного фона 0,10 мкЗв/ч и плотностью потока β - частиц составляет <10 част/(мин·см²). Тип почвы светло-каштановая. Растительный покров представлен таволга-полынно-ковыльными (*Spiraea hypericifolia*, *Artemisia marschaliana*, *Stipa capillata*), полынно-ковыльными (*Artemisia marschaliana*, *Stipa capillata*), житняково-типчачково-ковыльными (*Agropyron cristatum*, *Festuca valesiaca*, *Stipa capillata*) растительными сообществами (рисунок 1).

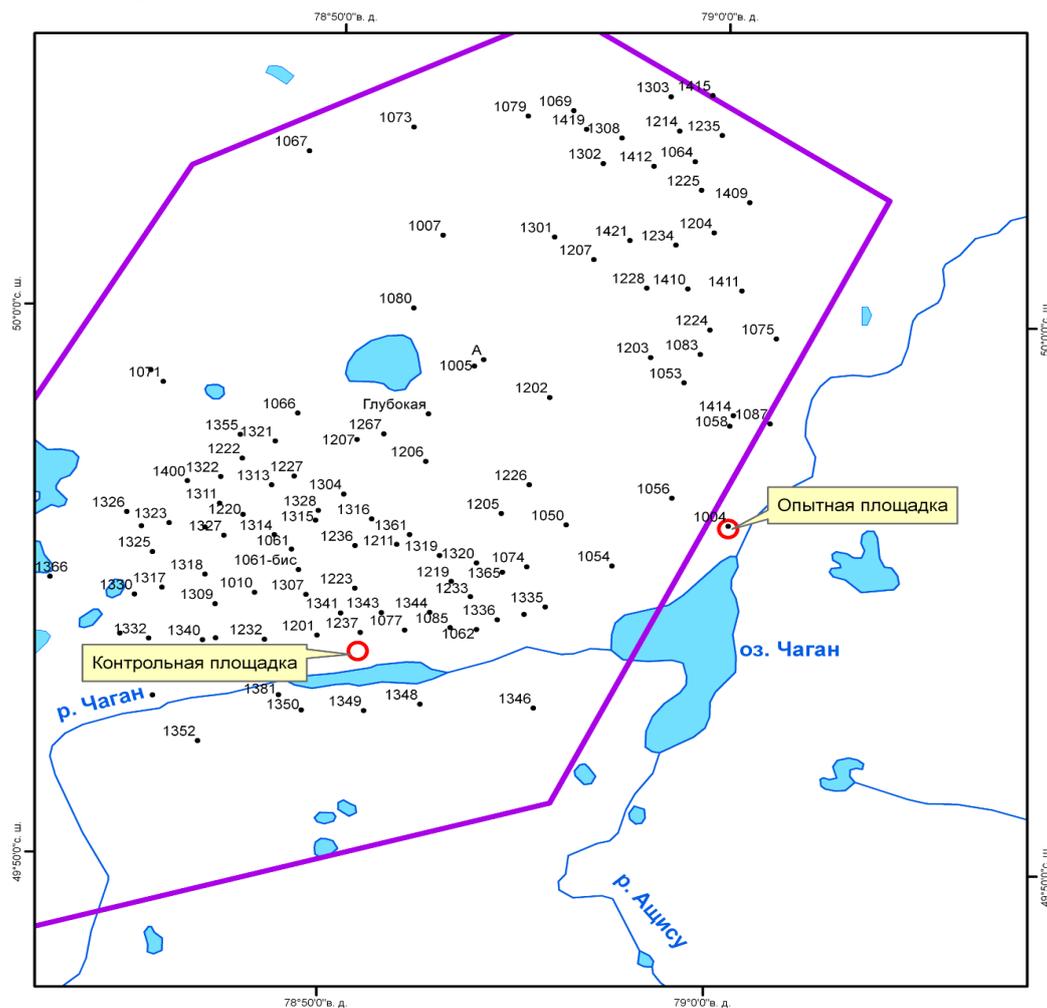


Рисунок 1. Схема расположения контрольного и опытного участка на площадке "Балапан"

Отбор образцов на содержание радионуклидов в почвах и в растениях (надземная часть и корни) произведен одновременно и на одном участке. На северо-западном берегу "Атомного озера" значения ¹³⁷Cs в надземной части житняка достигает 0,04 кБк/кг, а в корнях несколько больше 1,2 кБк/кг. Удельная активность ⁹⁰Sr в надземной части растения составила 0,77 кБк/кг, в корнях 0,89 кБк/кг.

Вместе с тем, в надземной части определены радионуклиды ⁶⁰Co - 0,77 кБк/кг, в корнях ⁶⁰Co - 0,15 кБк/кг, ¹⁵²Eu - 0,17 кБк/кг, ¹⁵⁴Eu - 0,06 кБк/кг, ²⁴¹Am - 0,05 кБк/кг (таблица 1).

Из представленных в таблице 1 данных следует, что на северо - западном берегу "Атомного озера" высокой степенью накопления радионуклидов характеризуется, в основном, корневая система по сравнению с надземной частью растения. Удельная активность техногенных радионуклидов в почве, где растет *Agropyron cristatum* составляет для ¹³⁷Cs – 22 кБк/кг, ⁹⁰Sr - 1,9 кБк/кг, ⁶⁰Co - 3,7 кБк/кг, ¹⁵²Eu - 5,9 кБк/кг, ¹⁵⁴Eu - 9,0 кБк/кг, ²⁴¹Am - 1,1 кБк/кг. Ак-

кумуляция искусственных радионуклидов в почве опытного участка, где произрастает *Agropyron cristatum* остаётся высоким. Показано, что максимальные значения удельной активности радионуклидов зарегистрированы в пробах почвы, отобранных на западном берегу воронки "Атомного озера". Они обусловлены проведением экскавационного ядерного взрыва на бывшей испытательной площадке "Балапан"[6].

На относительно чистом участке количество искусственных радионуклидов ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co, ⁹⁰Sr в надземной части *Agropyron cristatum* составляло соответственно <0,003 кБк/кг, 0,003 кБк/кг, и 0,003 кБк/кг. Удельная активность техногенного радионуклида ⁹⁰Sr в пробах почв <0,003 кБк/кг; ¹³⁷Cs в пробах почвы <0,01 кБк/кг (таблица 1).

В местах произрастания *Agropyron cristatum* опытного участка наблюдается значительное превышение удельной активности техногенных радионуклидов по сравнению с относительно чистой (таблица 1).

Таблица 1. Содержание техногенных радионуклидов в пробах вегетативных органов популяций растения *Agropyron cristatum* и в пробах почвы

Участок	Название пробы		Удельная активность радионуклидов кБк/кг					
			¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹⁵² Eu	¹⁵⁴ Eu	²⁴¹ Am	⁶⁰ Co
опытный	Вегетативные органы растений	надземная часть	0,04	0,77	-	-	-	0,77
		корневая система	1,2	0,89	0,17	0,06	0,05	0,15
	почва		22	1,9	5,9	9,0	1,1	3,7
относительно чистый	растение	надземная часть	<0,003	0,003	-	-	-	0,003
	почва		0,01	<0,003	-	-	-	-

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У ПОПУЛЯЦИЙ *AGROPYRON CRISTATUM*, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА ТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛОЩАДКЕ "БАЛАПАН"

Применяли анафазный цитогенетический метод, который позволяет учесть частоту и типы структурных aberrаций хромосом в клетках *Agropyron cristatum*. При анализе учитывались такие аномалии, как мосты, фрагменты и отстающие хромосомы.

Для оценки биологических последствий различных доз ионизирующих излучений на флору на клеточном уровне, нами учитывалось количество хромосомных aberrаций в клетках меристемных корешков.

Результаты цитогенетического анализа показывают наличие структурных повреждений хромосом в митотических клетках корешков у исследованных видов дикорастущих многолетних растений, собранных с радиоактивно загрязненной территории по сравнению с относительно чистым участком (таблица 2).

Как видно из данных таблицы 2, в первых митозах меристематических корешков проростков семян *Agropyron cristatum*, произрастающих на опытном

участке (северо-западный берег "Атомного озера") количество aberrантных клеток в 2 раза больше, чем на относительно чистой группе (участок ОИП-2). В зародышевой меристеме проростков *Agropyron cristatum* количество изученных клеток составило 1725, из них количество клеток с хромосомными aberrациями при ана-телофазном анализе 81, что составляет 4,7%. На относительно чистом участке изучено 1100 ана-телофазных клеток, из них 24 aberrантные клетки, что составляет 2,2%.

В таблице 3 и рисунке 2 представлены данные о разных типах цитогенетических нарушений. Для обеих популяций наблюдаются "легкие" хромосомные aberrации, обычно индуцируемые химическими мутагенами и "тяжелые" нарушения как в популяциях с самым высоким уровнем радиационного фона (23 мкЗв/ч) так и для относительно чистых участков. Возможное объяснение этого явления заключается в том, что относительно чистый участок выбран по уровню гамма-излучения, который находится на уровне естественного радиационного фона.

ОЦЕНКА УРОВНЯ МУТИРОВАНИЯ ХРОМОСОМНОГО АППАРАТА *AGROPYRON CRISTATUM*

*Таблица 2. Частота структурных нарушений хромосом в клетках корневой меристемы семян *Agropyron cristatum*, произрастающих на территории площадки "Балапан"*

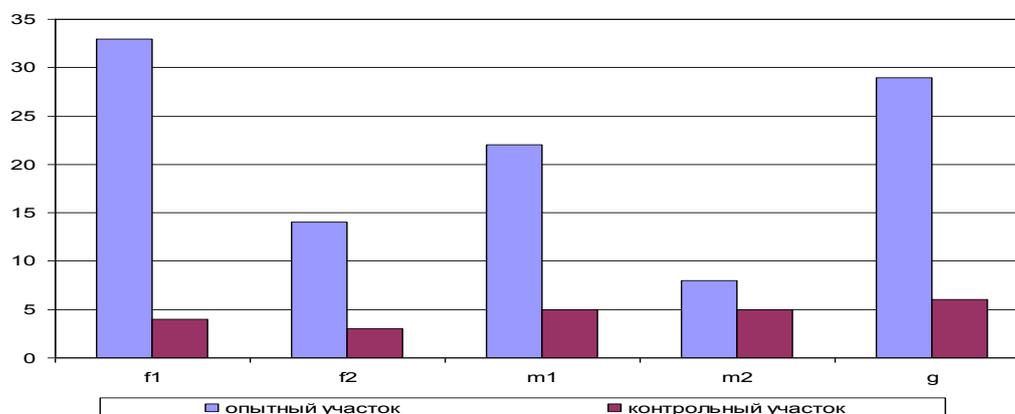
Участок	Исучено			Аберрантные клетки, %
	Корешков, количество	анателофаз, количество	аберрантные клетки, количество	
опытный	125	1725	81	4,7±0,5*
относительно чистый	95	1100	24	2,2±0,4*

Примечание: Различия достоверны F факт. > теор. на 0,05 уровне значимости

*Таблица 3. Число аберраций разных типов в клетках корешков *Agropyron cristatum**

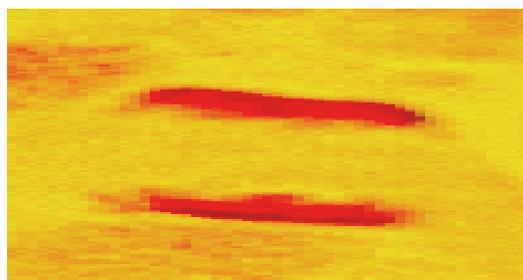
Участок	Число аберраций, шт				
	fI	fII	mI	mII	g
опытный	33	14	22	8	29
контрольный	4	3	5	5	6

Примечание: fI и fII – одиночные и двойные фрагменты; mI и mII – одиночные и двойные мосты; g – отставания хромосом

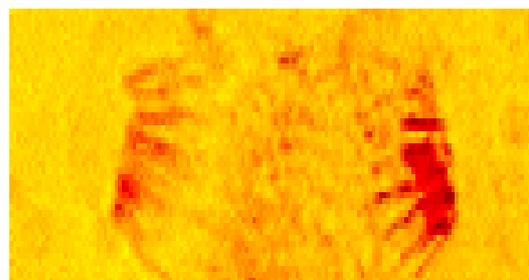


Опытный участок - Северо-западный берег "Атомного озера", относительно чистый участок - опытно измерительная площадка 2

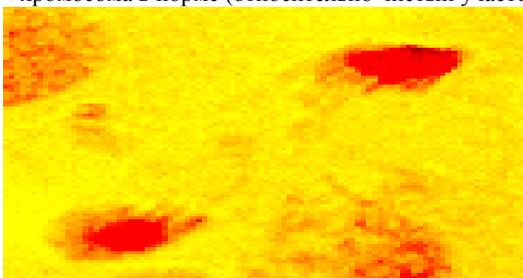
Рисунок 2. Число аберраций разных типов в клетках апикальной меристемы проростков семян



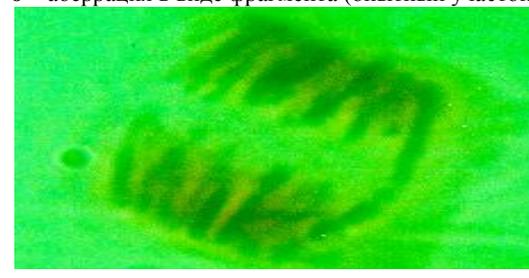
а – хромосома в норме (относительно чистый участок)



б – аберрация в виде фрагмента (опытный участок)



в – аберрация в виде хроматидного моста (опытный участок)



г – аберрация в виде хромосомного моста (опытный участок)

*Рисунок 3. Хромосомы в ана-телофазных клетках меристематических корешков проростков семян *Agropyron cristatum* из разных участков площадки "Балапан"*

Для действия химических мутагенов, в отличие от радиации, является характерным индуцирование в подавляющем количестве фрагментов [7].

Наиболее часто встречающимися хромосомными перестройками были фрагменты и мосты (рисунок 3), отчасти отстающие хромосомы.

Фрагменты – это отделившиеся участки хромосом или хроматид. В каждом случае возникают два типа фрагментов: центрические и ацентрические (участок хромосомы не имеющий центромеры).

Большинство фрагментов лишено центромера, участвующего в движении хромосом. Поэтому ацентрические фрагменты остаются неподвижными и отстают при движении хромосом во время метакинеза и при расхождении к полюсам. При массовой фрагментации хромосом (пульверизация) фрагменты беспорядочно рассеяны по цитоплазме и не участвуют в общем движении хромосом. Иногда они сосредотачиваются вокруг веретена и даже проникают между его нитями, но никогда не собираются в экваториальной плоскости. Судьба фрагментов различна. Они могут попасть в одно из дочерних ядер, резорбироваться или образовать дополнительное микроядро. Фрагменты обладают способностью воссоединяться своими концами. Воссоединение носит случайный характер и приводит к хромосомным абберациям-нехваткам, инверсии, дупликации и транслокации.

Мосты являются следствием фрагментации хромосом. При воссоединении фрагментов, содержащих центромер, образуется дицентрическая хромосома, которая испытывает воздействие обоих митотических центров и, растягиваясь между дочерними группами анафазных или телофазных хромосом, образует мост. При воссоединении двух разорванных хромосом возникает хромосомный (обычно двойной) мост, а при воссоединении двух сестринских хроматид – хроматидный мост (обычно одиночный). Образование мостов приводит не только к генотипической разнородности дочерних ядер, но и углубляет патологию митоза, нарушая течение завершающих стадий деления. Образование моста задерживает завершение цитотомии. Между дочерними клетками длительно сохраняется цитоплазматическая перетяжка, напоминающая амитотическую

перешнуровку, а внутри ее проходит хромосомный мост, связывающий дочерние ядра и сохраняющийся иногда даже в интерфазе. Мосты в анафазе, т.е. соединенные между собой хромосомы образования, приводящие при делении клетки к потере участков или целых хромосом.

Отставание хромосом в метакинезе и при расхождении к полюсам возникает при повреждении хромосомы в области кинетохора.

Такие хромосомы беспорядочно располагаются в цитоплазме и не попадают в дочерние ядра. Отставание целых хромосом в метакинезе и при расхождении их к полюсам часто встречается в клетках культуры ткани и в опухолевых клетках. На стадии телофазы хромосомы с поврежденным кинетохором либо оттесняются цитоплазматической перетяжкой в одной из дочерних ядер, либо образуют добавочные микроядра.

Судьба отставших хромосом различна. Они либо разрушаются и элиминируются из клетки, либо случайно попадают в одно из дочерних ядер, либо, наконец, формируют дополнительное микроядро. У *Agropyron cristatum* собранных с загрязненных и относительно чистых участков происходят цитогенетические изменения на хромосомном уровне.

По данным [8], в результате видимых в анафазной стадии митоза хромосомных перестроек образуются по хромосомному и генетическому содержанию неполноценные дочерние клетки и погибают или утрачивают способность к дальнейшему размножению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных цитогенетических исследований на популяции *Agropyron cristatum* были выявлены цитогенетические эффекты в виде превышения частоты аномального клеточного деления в митозе меристематических корешков у проростков *Agropyron cristatum* при различных уровнях радиоактивного загрязнения.

Существует зависимость выхода абберантных клеток у *Agropyron cristatum* от содержания радионуклидных веществ в природной среде (на 0,05 уровне значимости).

ЛИТЕРАТУРА

1. Дубинин Н.П. Механизм действия ионизирующих излучений на наследственность/Н.П. Дубинина // Ионизирующие излучения и наследственность/М, 1960. - С.61-103.
2. Паушева З.В. Практикум по цитологии растений./ З. В. Паушева. – М., 1970. –.303 с.
3. Плохинский З.В. Алгоритмы биометрии. / З. В. Плохинский. – М.: Изд Моск. Унив, 1967. – 82 с.
4. Инструкция и методические указания по оценке радиационной обстановки на загрязненной территории утвержденные Межведомственной комиссией по радиационному контролю природной среды. – М., 1989.
5. Методические указания по обследованию радиационной обстановки и радиозоологической агрооценке с.-х. угодий на территории бывшего СИП и прилегающих к нему регионов. – Курчатов, 1998. - .29 с.
6. Оценка радиологической обстановки и мониторинг на территории Семипалатинского испытательного полигона и прилегающих к нему регионов. Разработка природоохранных мероприятий: отчет о НИР/ ИРБЭ НЯЦ РК; Птицкая Л.Д. – Курчатов, 2002. – 18 с.

7. Сень Л.А. Влияние некоторых химических мутагенов на частоту хромосомных и генных мутаций.: автореф. дис. ... канд.биол. наук. - Минск, 1974. - 23 с.
8. Стрельчук С.И. Основы экспериментального мутагенеза./ С. И. Стрельчук. - Киев: - Вища школа, 1981. - 107 с.

AGROPYRON CRISTATUM ХРОМОСОМДЫҚ АППАРАТЫНЫҢ ӨЗГЕРІСТЕР ДЕҢГЕЙІНІҢ БАҒАСЫ

¹⁾Мінкенова Қ.С., ²⁾Биғалиев А.Б., ¹⁾Кәрімбаева Қ.С.

¹⁾*ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов, Қазақстан*

²⁾*Әл – Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан*

Радиациялық ластанған телімдерде жер астындағы жасанды және табиғи радионуклидтердің *Agropyron cristatum* өсетін аудандағы топырақта және тамырларда жиналуы қарастырылған. «Балапан» алаңының аумағында әр түрлі радиоактивті ластану деңгейінде өсіп жатқан *Agropyron cristatum* тамырларының өсінділерінің тұқымдарының апикалды түзуші ұлпалығындағы хромосомдық бұзылу жиілігіне талдау жасалды. *Agropyron cristatum* тамырларының өсінділерінің тұқымдарындағы түзуші ұлпалығында бөлінетін клеткалардағы хромосомалық құрылғы абберациясының жиілігі ұлғайғаны көрсетілді.

MUTATION LEVEL ASSESSMENT OF AGROPYRON CRISTATUM CHROMOSOME APPARATUS

¹⁾K.S. Minkanova, ²⁾A.B. Bigaliev, ¹⁾K.S. Karimbaeva

¹⁾*Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan*

²⁾*Al-Faraby Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

Accumulations of natural and artificial radionuclides in the soil, the roots and the tops of *Agropyron cristatum*, growing in the regions of radiation-contaminated sites were considered. Analysis of chromosome disturbance frequency in the rootlet apical meristem of *Agropyron cristatum* germs, growing at the “Balapan” site area under the different levels of radioactive contamination, was made. Frequency increase of chromosome structural aberrations in the dividing cells of meristem rootlets of *Agropyron cristatum* germs was shown.

УДК 577.391: 504.53:539.16

МИГРАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ И ПО ПИЩЕВОЙ ЦЕПИ НА ПАСТБИЩНЫХ УГОДЬЯХ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ЗИМОВКИ САРТАЙ КОРА

Магашева Р.Ю., Ястребкова Н.В., Ларионова Н.В., Кабдыракова А.М., Паницкий А.В.

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В статье представлены результаты исследований по изучению миграции радионуклидов в почвенно-растительном покрове и по пищевой цепи на пастбищных угодьях действующей зимовки Сартай Кора. Показаны особенности распределения радионуклидов в исследуемых почвах, параметры их накопления в растениях, содержание в коровьем молоке. Рассмотрены годовое поступление радионуклидов в сельскохозяйственных животных с пастбищным кормом и прогнозируемые величины удельной активности радионуклидов в продукции животноводства.

Исследуемая территория пастбища зимовки Сартай Кора расположена в пределах Карагандинской и Павлодарской областей, в непосредственной близости с радиационно-загрязненной площадкой "4", где проводились испытания боевых радиоактивных веществ. Для выпаса лошадей и крупного рогатого скота используется территория в радиусе до 10 км, овец - до 5-7 км от домостроения (по данным опроса жителей зимовки). При этом наличие зимовки на северо-западе, по-видимому, ограничивает площадь выпаса в этом направлении до 5-7 км. Следовательно, общая площадь выпаса достигает 500 км² (рисунок 1). На схеме показана территория, используемая для выпаса овец и удойного стада коров. Площадь этого пастбища не превышает 140 км². Но по данным опроса жителей наиболее используемая для пастбы скота является территория в пределах межрядового понижения, площадь которой находится в пределах 70 км². поголовье скота составляет: лошадей – более 800, крупного рогатого скота – 150-200, овец – более 500 голов.

По характеру рельефа территория пастбищных угодий представляет собой северо-восточную окраину Казахского мелкосопочника. Это приподнятая равнина с абсолютными отметками в пределах исследуемой территории 300-500 м, среди которой повсеместно встречаются различные по величине сглаженные сопки, гряды и невысокие горы, чередующиеся с наклонными равнинами и межсопочными понижениями.

Пастбищные угодья зимовки Сартай Кора относятся к естественным суходольным пастбищам. Здесь выделяются участки: чистые, засоренные камнями, с кустарничком и заросшие кустарником [1]. Такое районирование земель согласуется с рельефом местности, так как щебенчатость поверхности отмечается на повышенных элементах рельефа и в небольших межсопочных понижениях, кустарник появляется у подножья сопок, а максимальное его зарастание отмечается в ложинах и западинах. Про-

дуктивность пастбищ обусловлена местоположением участка в мелкосопочном рельефе и изменяется от 0–1 до 3–4 ц/га (рисунок 1).

На повышенных элементах мелкосопочника развиваются маломощные или малоразвитые каштановые почвы [2]. Эти земли пригодны только для пастбищных угодий, что имеет место на исследуемой территории. Растительный покров представлен злаково-полынными и осоково-полынными растительными сообществами. Доминантами выступают полыни (*Artemisia albida*, *Artemisia gracilescens*), осока (*Carex supina*) и плотнодерновинные ксерофитные злаки: типчак (*Festuca valesiaca*) и ковыли (*Stipa capillata*, *Stipa lessingiana* и др.). В сложении растительности присутствуют лапчатка (*Potentilla bifurca*), зопник (*Phlomis agraria*), грудница (*Crinitaria tatarica*). Сомкнутость травостоя колеблется около 30-40 %. Такие пастбища, часто каменистые или засоренные камнями, заросшие кустарником (таволга (*Spiraea hypericifolia*), карагана (*Caragana Frutex*)) [3]. По результатам проведенных исследований их продуктивность достигает 1-2 ц/га (рисунок 1), при среднем значении по региону – 2-3 ц/га [4].

На выровненных водораздельных участках, слабосхолмленных равнинах, по пологим нижним склонам развиваются почвы каштановые с полностью развитым профилем [2]. Площади этих почв, в пределах пастбищных угодий зимовки Сартай Кора, невелики. Продуктивность таких участков, представленных в основном дерновиннозлаковыми сообществами, до 3-4 ц/га (рисунок 1), при проективном покрытии до 50 %. Доминантами являются типчак (*Festuca valesiaca*) и ковыль (*Stipa capillata*) с полынью (*Artemisia albida*) и незначительным разнотравьем. Среди таких пастбищ выделяются чистые участки и с кустарником (таволга (*Spiraea hypericifolia*)).

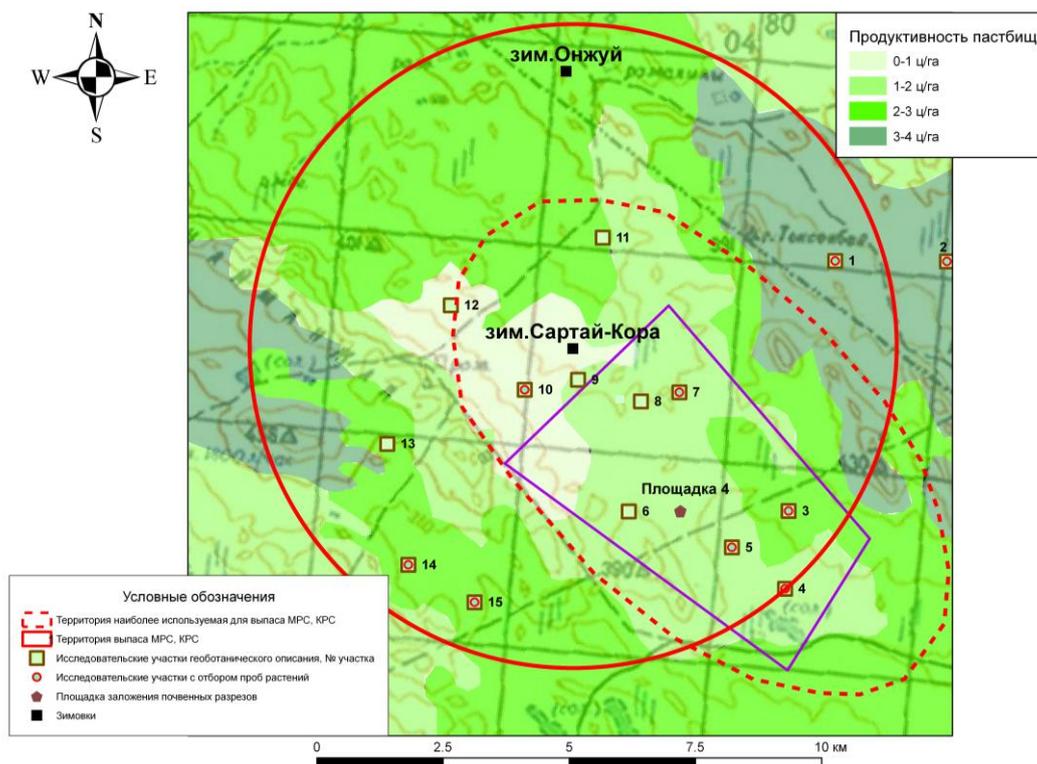


Рисунок 1. Карта-схема исследовательских работ на пастбищных угодьях зимовки Сартай Кора

Почвы, формирующиеся в межопочных понижениях, могут быть в разной степени засолены или заболочены. Здесь в условиях периодического увлажнения поверхностными стоками, могут формироваться типчаково-ковыльно-волоснецово-разнотравные сообщества с продуктивностью до 5 ц/га [4]. Но согласно проведенным исследованиям было выявлено, что на таких участках исследуемой территории в основном формируются злаково-полынные сообщества (*Artemisia austriaca*, *Artemisia albida*, *Festuca valesiaca*, *Stipa capillata*) с продуктивностью 2-3 ц/га, а в местах непосредственно прилегающих к домостроению зимовки не превышающей 1 ц/га при проективном покрытии не более 20%. (рисунок 1). Среди разнотравья здесь встречаются осока (*Carex supina*), тонконог (*Koeleria cristata*), пырей (*Agropyron repens*) и др.

Превышение пастбищной нагрузки, связанное с безотгонной системой животноводства и сверхнормативным использованием кормовых ресурсов, отмечаемое в районе зимовки Сартай Кора, вызывает негативные изменения степных растительных сообществ - пастбищную дигрессию. В местах интенсивного использования пастбищ (особенно возле зимовки) наблюдается выпадение из травостоя ведущих злаков (в частности ковылей) и эдификаторная роль переходит к полыням. Доля относительной продуктивности полыней в таких сообществах возрастает, при этом кормовая ценность пастбищ, как правило, падает, так как полыни, вытесняющие дерновинные злаки, обладают сравнительно меньшей

поедаемостью. Повышение относительной продуктивности полыней, а также осок и разнотравья, также связано и с очень низкой продуктивностью имеющихся кормовых злаков (ковыль, типчак), отрастание отавы которых замедлено из-за многолетнего перевыпаса на данной территории.

В начале вегетационного периода на территории пастбищных угодий зимовки Сартай Кора были проведены рекогносцировочные работы, включающие оконтуривание пастбища и геоботаническое описание отдельных участков. На основании проведенных исследований и данных крупномасштабного площадного обследования территории полигона в районе зимовки Сартай Кора для сравнительного анализа был выбран участок, площадью более 200 км², прилегающий к воронке от взрыва авиабомбы, где были заложены 2 полнопрофильных почвенных разреза и 4 прикопки в аналогичных природных условиях (с учетом абсолютной отметки поверхности, элемента рельефа, его экспозиции и растительного покрова) и с разным уровнем радиационного загрязнения. В почвенном разрезе № I отбор проб почвы производился послойно по 5 см (3 образца) и по генетическим горизонтам (5 образцов), в разрезе № II – по генетическим горизонтам (5 образцов). Также были отобраны 2 смешанные пробы растений для изучения параметров перехода радионуклидов из почвы в поедаемую сельскохозяйственными животными часть растений. В прикопках для изучения распределения радионуклидов в верхней части почвенного профиля отбор проб

**МИГРАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ
И ПО ПИЩЕВОЙ ЦЕПИ НА ПАСТБИЩНЫХ УГОДЬЯХ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ЗИМОВКИ САРТАЙ КОРА**

почвы выполнен по генетическим горизонтам до глубины 25 см (12 образцов).

По ранее выделенным на космическом снимке контурам на территории пастбищных угодий зимовки было проведено полевое опознавание контуров и объектов местности. Всего на территории пастбищ зимовки Сартай Кора было обследовано 15 участков (рисунок 1), на каждом из которых проведено геоботаническое описание (выявлено растительное сообщество, установлены доминантные виды растений, определено проективное покрытие). Для определения продуктивности пастбищ по весовым характеристикам из 15 участков на выбранных 9 площадках (рисунок 1) был произведен отбор проб растительности методом укосов. Кроме того, на площадке "4" и северном участке, прилегающем к ней, для сопряженного анализа радионуклидного состава проведен отбор проб растений (13 смешанных проб).

Для выявления наличия радионуклидов и динамики их содержания в коровьем молоке с начала июня начат отбор смешанных проб молока (из об-

щей фляги) с интервалом 15 дней. Всего отобрано 6 проб молока.

Для изучения распределения радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239,240}\text{Pu}$ по профилю исследуемых почв и накопления их в поедаемой части растений были проведены γ -спектрометрический и радиохимический анализы в почвенных и растительных образцах, результаты которых представлены в таблице 1.

Содержание радионуклида ^{137}Cs в пробах почвы обоих разрезов не превышает 30-50 Бк/кг, радионуклида ^{90}Sr достигает 1000 Бк/кг. В пробах растений содержание ^{137}Cs незначительно, тогда как удельная активность ^{90}Sr почти в 2 раза превышает предельно-допустимые уровни радиоактивного загрязнения кормовых растений, установленных Минсельхозом Республики Казахстан (1994) [5].

Удельная активность радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвенном профиле прикопок представлена в таблице 2.

Значения удельной активности ^{137}Cs в почвенном профиле прикопок не превышают 50 Бк/кг, ^{90}Sr – достигают 1000 Бк/кг.

Таблица 1. Удельная активность радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239,240}\text{Pu}$ в пробах почвы разрезов № I и II и смешанных пробах растений

№ разреза	Название пробы	Глубина почвенного горизонта	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг		
			^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239,240}\text{Pu}$
I	растения	-	5±1	220±40	-
	почва	0-3	31±5	9000±1000	<1
	почва	3-18	<0,1	450±90	3±1
	почва	18-39	<0,1	80±20	<1
	почва	39-100	<0,1	15±4	<1
	почва	100-110	<0,1	-	<1
II	растения	-	0,5±0,4	33±6	-
	почва	0-5	50±4	34±8	14±3
	почва	5-24	<0,1	<2	<1
	почва	24-43	<0,1	3±2	-
	почва	43-75	<0,1	-	-
	почва	75-101	<0,1	-	-
	почва	101-125	<0,1	-	-

Таблица 2. Удельная активность радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в пробах почвы прикопок

№ прикопки	Название пробы	Глубина почвенного горизонта	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг	
			^{137}Cs	^{90}Sr
I	почва	0-5	30±2	900±200
	почва	5-15	2±1	430±70
	почва	15-25	2,0±0,4	41±9
II	почва	0-5	23±2	1000±200
	почва	5-15	<0,5	380±70
	почва	15-25	<0,5	60±10
III	почва	0-5	51±3	35±8
	почва	5-15	0,3±0,1	8±3
	почва	15-25	0,6±0,1	<2
IV	почва	0-5	21±2	60±10
	почва	5-15	<0,5	8±3
	почва	15-25	<0,5	12±3

**МИГРАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ
И ПО ПИЩЕВОЙ ЦЕПИ НА ПАСТБИЩНЫХ УГОДЬЯХ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ЗИМОВКИ САРТАЙ КОРА**

Известно, что распределение радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239,240}\text{Pu}$ в почвах зависит как от форм нахождения радионуклидов, так и от физико-химических характеристик почв. Для установления типа исследуемых почв и их характеристик, в образцах, отобранных по генетическим горизонтам почвенных разрезов и прикопок, были определены механический состав, щелочность и содержание общего гумуса, CO_2 , суммы легкорастворимых солей, обменных Ca и Mg. Для этих почв характерно изменение реакции почвенного раствора от слабощелочной до щелочной вниз по профилю. По механическому составу все почвы обследуемой территории легкосуглинистые, защебненные с поверхности. Содержание гумуса в каштановых почвах колеблется, в основном, от 2,5 до 3,5 %, но может достигать 4-5% при дополнительном увлажнении. Мощность

гумусового горизонта колеблется около 30 см. По результатам проведенных анализов выявлено, что почвы исследуемой территории относятся к каштановым, легкосуглинистым, глубоковскипающим, незасоленным.

Для оценки радиационного загрязнения растительности на всей территории пастбищных угодий зимовки Сартай Кора в смешанных пробах растений было определено содержание радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr . Определение удельной активности в пробах растений проводилось без предварительной обработки в лаборатории (очистка от почвенных частиц и пыли), так как данные пробы отбирались с учетом дальнейшего определения поступления радионуклидов в животных. В таблице 3 приведены результаты γ -спектрометрического и радиохимического анализов.

Таблица 3. Удельная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в смешанных пробах растений

Место отбора	№ точки отбора	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг	
		^{137}Cs	^{90}Sr
Пастбище зимовки Сартай Кора	1	0,5±0,3	16±3
	2	0,3±0,2	180±30
	3	<0,2	4,4±0,9
	4	0,6±0,3	5±1
	5	11,0±0,8	39±7
	5	5,0±0,6	3,0±1,0
	7	0,4±0,2	560±90
Площадка "4"	8	0,4±0,2	7±2
	9	1,7±0,4	250±50
	10	0,8±0,3	9±2
	11	7±1	<1,6
	12	0,5±0,1	10±2
	13	0,8±0,2	7±1

Содержание радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в смешанных пробах растений, в основном, не превышает предельно-допустимых уровней радиоактивного загрязнения кормовых растений, установленных Минсельхозом Республики Казахстан (1994) [5]. Исключение составили пробы в точках №№ 5, 29, 22, в которых наблюдается увеличение удельной активности ^{90}Sr , что обусловлено радионуклидным загрязнением почвы.

Удельная активность радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239,240}\text{Pu}$ была определена в отобранных пробах молока (таблица 4).

Проанализировано 6 проб молока. Анализ содержания радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239,240}\text{Pu}$ в этих пробах показал, что в них присутствует ^{137}Cs , ^{90}Sr , но значения этих радионуклидов находятся в допустимых пределах (^{137}Cs - 100 Бк/кг, ^{90}Sr - 25 Бк/кг), установленных санитарными нормами [6].

Таблица 4. Удельная активность в пробах молока, отобранных на зимовке Сартай Кора

№ пробы	Дата отбора	Удельная активность, Бк/кг		
		^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239,240}\text{Pu}$
1	01.06.2006 г.	6±1	-	-
2	15.06.2006г.	8±2	<0,16	<0,13
3	01.07.2006 г.	6±1	<0,16	-
4	15.07.2006г.	<0,30	0,2±0,03	-
5	01.08.2006г.	21±3	0,6±0,2	-
6	01.09. 2006 г.	10±2	-	-

Распределение радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr по профилю каштановых почв было рассмотрено на верхних гумусосодержащих горизонтах почвенных разрезов и прикопок, заложенных на участках с разным уровнем радиоактивного загрязнения (рисунок 2).

**МИГРАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ
И ПО ПИЩЕВОЙ ЦЕПИ НА ПАСТИЩИХ УГОДЬЯХ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ЗИМОВКИ САРТАЙ КОРА**

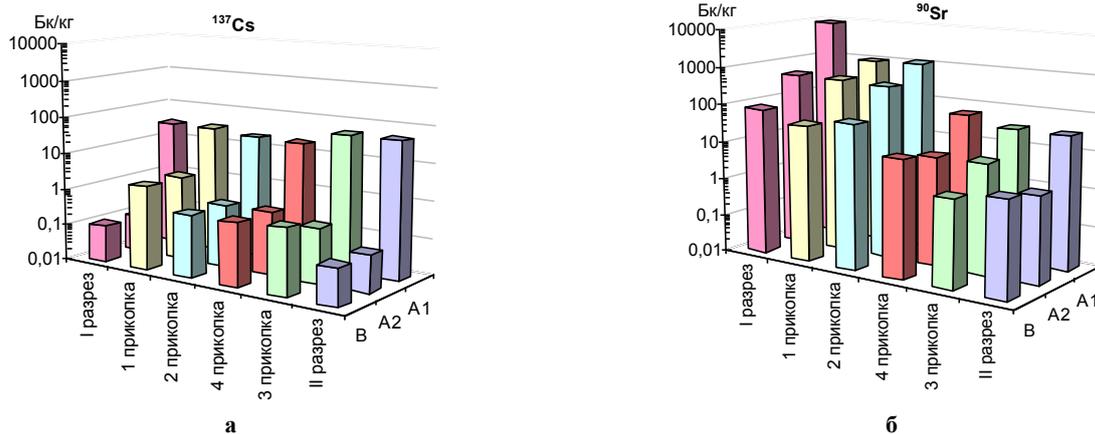


Рисунок 2. Распределение радионуклидов ^{137}Cs (а) и ^{90}Sr (б) в гумусосодержащих генетических горизонтах (A1, A2 и B) каштановых почв

Несмотря на то, что почвенные разрезы и прикопки были заложены на участках с разным уровнем радиационного загрязнения, удельная активность радионуклида ^{137}Cs не отражает этих уровней и находится в пределах 50 Бк/кг. Основное содержание как ^{137}Cs , так и ^{90}Sr отмечается в верхнем генетическом горизонте A1 – поверхностной корочке (мощность 3-5 см). Ниже по профилю (в горизонтах A2 и B) значения удельной активности обоих радионуклидов резко падают. Однако, радионуклид ^{90}Sr как более подвижный, чем ^{137}Cs , в большей степени проникает в нижние горизонты.

Согласно ранее проведенным исследованиям радиационное загрязнение почв исследуемой территории носит локальный характер. Для оценки поступления радионуклидов из почвы в растения были рассчитаны коэффициенты накопления (Кн) радионуклидов в надземной части растений. Полученные значения Кн ^{137}Cs варьируют от 0,001 до 0,78, Кн ^{90}Sr - от 0,02 до 2,2. Следовательно, содержание радионуклида ^{90}Sr в исследуемых растениях превышает его значения в почве, тогда как ^{137}Cs накапливается в меньших количествах. Таким образом, в большей степени в растения поступает ^{90}Sr , Кн которого на порядок выше, чем Кн ^{137}Cs , что можно объяснить как его большей подвижностью, так и большей биотропностью.

По данным проведенного γ -спектрометрического анализа было выявлено, что значения радионуклида ^{137}Cs в исследуемых пробах растений не превышает 11 Бк/кг. При этом сравнительно повышенная удельная активность ^{90}Sr зафиксированная в отобранных смешанных пробах растений (таблица 3), предполагает, что основной вклад в поступление радионуклидов в организм сельскохозяйственных животных, вследствие потребления ими радиационно-загрязненных растений, вносит ^{90}Sr .

Для расчета поступления в организм животных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr были использованы данные площадного обследования. Учитывая площади

и уровень загрязнения почв, продуктивность пастбищ и средние Кн ^{137}Cs – 0,1 и Кн ^{90}Sr – 1,0 в растительности были рассчитаны данные максимально возможного поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в организм выпасаемых животных, с учетом коэффициента полноты использования пастбищ [4]. Данные представлены в таблице 5.

Полученные данные представляют собой средние показатели поступления радионуклидов в организм сельскохозяйственных животных при выпасе на большей части пастбища зимовки Сартай Кора. Однако, учитывая то, что радиационное загрязнение данной территории носит локальный характер, и значения удельной активности на некоторых участках могут достигать величин на порядки превышающие значения площадного загрязнения, поступление радионуклидов в этих условиях может увеличиваться. Так, при постоянном выпасе скота на участке с удельной активностью ^{90}Sr в растениях 560 Бк/кг (таблица 3), поступление этого радионуклида в организм животных при достаточном количестве пастбищного корма максимально могло бы достигать в день: для лошади - 10080 Бк; для коровы – 8960 Бк; для овцы – 1680 Бк. Но в связи с тем, что площадь подобных участков на исследуемой территории очень мала, даже при продуктивности пастбищ до 4 ц/га, общая масса пастбищной растительности с высоким содержанием радионуклидов будет недостаточной для суточной потребности животных в корме.

При поступлении радионуклидов в организм сельскохозяйственных животных, ^{90}Sr более чем на 90% откладывается в костях, а накопление ^{137}Cs , в основном, происходит в мышцах. При этом ^{137}Cs более интенсивно переходит из кормов в молоко и мясо по сравнению со ^{90}Sr . Для дальнейшего расчета поступления радионуклидов в продукцию животноводства были использованы коэффициенты перехода радионуклида из рациона в 1 кг продукции [7]. Результаты расчета представлены в таблице (таблица 6).

**МИГРАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ
И ПО ПИЩЕВОЙ ЦЕПИ НА ПАСТИБИЩНЫХ УГОДЬЯХ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ЗИМОВКИ САРТАЙ ҚОРА**

Таблица 5. Результаты расчета поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в организм животных

С/х животные	Средняя масса особи, кг	Суточная норма потребления пастбищного корма (на сухой вес), кг	Поступление радионуклидов в организм 1 животного, Бк			
			^{137}Cs		^{90}Sr	
			годовое	суточное	годовое	суточное
Лошадь	350-400	18	299	0,8	5200	14
Корова	400	16	271	0,7	4715	13
Овца	50-60	3	51	0,1	888	2

Таблица 6. Прогнозируемые величины удельной активности радионуклидов в продукции животноводства

Вид продукции	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг	
	^{137}Cs	^{90}Sr
Говядина	0,03	0,005
Баранина	0,02	0,002
Молоко коровье в пастбищный период	0,005	0,02

Примечание: из-за отсутствия в литературных источниках коэффициентов перехода радионуклида из рациона в 1 кг продукции, удельная активность радионуклидов в конине не приводится

Полученные прогнозируемые величины удельной активности радионуклидов в мясе сельскохозяйственных животных незначительны и составляют менее 1% от установленных нормативов (^{137}Cs – 160 Бк/кг, Sr – 50 Бк/кг) [6]. Результаты определения удельной активности радионуклидов в отобранных пробах молока (таблица 6) выше вычисленных средних значений, что может быть связано с повышенным содержанием радионуклидов в растительности на отдельных участках. При этом в обоих случаях содержание радионуклидов в молоке не превышает установленных нормативов [6].

Проведенные исследования показали, что при выпасе сельскохозяйственных животных на естественных пастбищных угодьях зимовки Сартай Қора поступление в них радионуклидов вместе с кормовыми растениями не будет превышать нормативов (НРБ-99) и соответственно не представляет угрозы для здоровья населения при употреблении мяса и молока. Определенную опасность могут представлять лишь единичные участки, характеризующиеся наиболее высоким уровнем радиационного загрязнения, которые необходимо вывести из пастбищепользования угодий зимовки Сартай Қора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по дешифрированию аэрофотоснимков и фотопланов в масштабах 1:10000 и 1:25000 для целей землеустройства государственного учета земель и земельного кадастра. Москва, 1978. - С. 25-87.
2. Джанпеисов Р. Почвы Казахской ССР. Павлодарская область/ Р. Джанпеисов, А. А. Соколов., К. Ш. Фаизов. - Алма-Ата: АН КазССР, 1960. - Вып. 3. - С. 17-19.
3. Инструкция по дешифрированию аэрофотоснимков и фотопланов в масштабах 1:10000 и 1:25000 для целей землеустройства государственного учета земель и земельного кадастра. - Москва, 1978. - С. 25-87.
4. Исаков К.И. Пастбища и сенокосы степной зоны/ К.И. Исаков. - Алматы: Гылым, 1993. - С.51-62.
5. Временные допустимые уровни содержания радионуклидов в объектах контроля Минсельхоза Республики Казахстан, не вошедших в перечень Минздрава Республики, 22.02.94.
6. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов: Санитарные правила и нормы от 11 июня 2003г. № 4.01.071.03, утв. приказом министра здравоохранения Республики Казахстан от 11 июня 2003 года № 447.
7. Лысенко Н. Ведение животноводства в условиях радиоактивного загрязнения среды/ Н. Лысенко, А. Пастернак, Л. Рогожина. - СПб: Лань, 2005. - С. 39-41.

ҚОЛДАНЫСТАҒЫ САРТАЙ ҚОРА ҚЫСТАУЫНЫҢ ЖАЙЫЛЫМДАРЫНДАҒЫ ТОПЫРАҚ-ӨСІМДІК ЖАМЫЛҒЫСЫ МЕН ТАҒАМДЫҚ ТІЗБЕК БОЙЫНША РАДИОНУКЛИДТЕРДІҢ ЖЫЛЫСТАУЫ

Мағашева Р.Ю., Ястребкова Н.В., Ларионова Н.В., Қабдырақова А.М., Паницкий А.В.

ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Қурчатов, Қазақстан

Мақалада қолданыстағы Сартай Қора қыстауының жайылымдарындағы топырақ-өсімдік жамылғысы мен тағамдық тізбек бойынша радионуклидтердің жылыстауын зерттеу бойынша жасалған жұмыстардың нәтижелері ұсынылған. Зерттеліп жатқан топырақтағы радионуклидтердің бөліну ерекшелігі, олардың өсімдіктерде жинақталу параметрлері, сиырдың сүтіндегі құрамы көрсетілген. Жайылымдық азықпен ауылшаруашылығы малдарының ағзасына радионуклидтердің жылдық түсімін және малшаруашылығы өнімдерінде радионуклидтердің тиесілі белсенділігінің болжанған шамасы қарастырылған.

**RADIONUCLIDE MIGRATION IN THE SOIL-PLANT COVER AND ON FOOD CHAIN AT
THE GRAZING LANDS ACTING SARTAY KORA WINTERING**

Yu. R. Magasheva, N.V. Yastrebkova, N.V. Larionova, A. M. Kabdyrakova, A.V. Panitskiy

Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Results of researches of radionuclide migration study in the soil-plant cover and researches of food chain on the grazing lands acting Sartay Kora wintering were presented in the article. Features of radionuclide distribution in researched soils, parameters of their accumulation in plants, radionuclide content in cow's milk were showed. Annual intake of radionuclides in farm animals with grazing fodder and predictable specific activity values of radionuclides in animal husbandry products were considered.

УДК 502.65: 556.114: 574.4

ТРАНСГРАНИЧНЫЕ РЕКИ КАЗАХСТАНА - РАДИАЦИОННЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Солодухин В.П.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Представлены результаты анализа радиационных и экологических рисков в бассейнах трансграничных рек Казахстана. Предложена методология контроля радиационной и экологической обстановки в бассейнах рек, основанная на ядерно-физических методах анализа и развитая при выполнении работ по международному проекту «Навруз». Приведены отдельные результаты радиационного и экологического обследования р. Сырдарья и первые результаты обследования приграничных участков всех трансграничных рек Казахстана.

Состояние водных ресурсов Республики Казахстан характеризуется общей их недостаточностью, а также – значительным их загрязнением и истощением. Ситуация усугубляется еще и тем, что после развала СССР и разобщения отдельных республик последовало ослабление координации работ по регулированию потоков трансграничных рек и контролю качества их вод. Отсутствие объективной информации о состоянии речных вод и источниках их загрязнения создает угрозу повышенного экологического риска и психологического стресса для жителей населенных пунктов, расположенных в бассейнах этих рек [1]. В связи с этим, весьма актуальным для республики является вопрос организации систем радиационного и гидрохимического мониторинга, вклю-

чающих в себя средства контроля радионуклидного и элементного составов природных объектов (в первую очередь воды), в бассейнах трансграничных рек Казахстана.

К наиболее крупным трансграничным рекам Казахстана, втекающим из сопредельных стран (страна указана в скобках), относятся следующие: р. Иртыш и р. Или (КНР), р. Сырдарья (Узбекистан), р. Урал (Россия). В перечень трансграничных входят также следующие, менее полноводные, реки: р. Эмель (КНР), р. Шу, р. Аксу, р. Карабалта, р. Талас (Кыргызстан). На рисунке 1 представлены все трансграничные реки Казахстана. Общие сведения об основных из них приведены в таблице 1.

Таблица 1. Общие сведения об основных трансграничных реках Казахстана

Название реки	Трансграничные страны	Общая длина реки, км	Поток воды в Казахстане, м³/с
Урал	Россия	2428	400
Сырдарья + Нарын	Узбекистан	3019	450
Или	Китай	1001	330
Иртыш + Черный Иртыш	Китай, Россия	4248	800

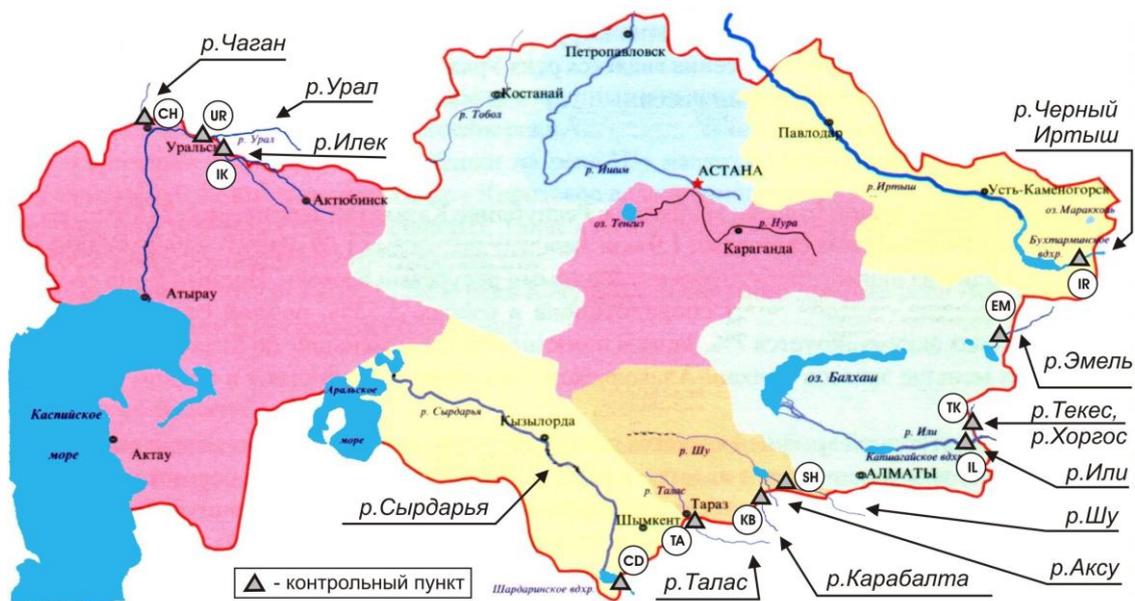


Рисунок 1. Карта трансграничных рек Казахстана

Все эти реки имеют большое значение для жизнеобеспечения населения республики. Вместе с тем, наличие ряда крупных промышленных комбинатов, сельскохозяйственных предприятий и радиационно-опасных объектов в бассейнах этих рек создает потенциальную угрозу химического и радиационного загрязнения их водотоков. К основным факторам радиационного и экологического риска в бассейнах этих рек можно отнести следующее:

- Река Урал берет начало на южных отрогах Уральского хребта, где широко развита горнодобывающая и металлургическая промышленность. Эта река и ее притоки сопричастны к радиоактивным выпадениям от воздушного ядерного взрыва 14 сентября 1954 г., проведенного в ходе Тоцких общевоинских учений ($W=40$ kt тротилового эквивалента). Верховья р. Урал сопричастны также к территориям радиоактивных загрязнений вследствие радиационной аварии на предприятии "Маяк" в 1957 г (Кыштымская авария) и ветрового переноса радиоактивных илов с берегов оз. Карачай в 1967 г (Карачаевский инцидент). На территории Казахстана в бассейне этой реки расположены объекты Лира (6 подземных ядерных взрывов), и ряд промышленных предприятий по добыче и переработке органических и минеральных ископаемых. На экологическое состояние территорий бассейна р. Урал, несомненно, повлияла и деятельность полигона «Капустин Яр» [2].

- Река Сырдарья является основной жизнеобеспечивающей пресноводной артерией Южного Казахстана. На территориях соседних государств к обширному бассейну р. Сырдарья причастны многочисленные горнометаллургические, химические и другие промышленные комбинаты и предприятия. Среди них можно выделить горнопромышленный комплекс Майлуу-Суу (Кыргызстан); крупнейшее предприятие по переработке урана "Востокредмет" в г. Чкаловск (Таджикистан), многочисленные промышленные предприятия и комбинаты в Узбекистане (г. Кибрай, г. Ангрэн, г. Янгиабад, г. Навои и др.). Кроме того, в бассейне р. Сырдарья на территориях этих стран (особенно Узбекистана) ведется интенсивная сельскохозяйственная деятельность. На территории Казахстана в бассейне этой реки имеется множество промышленных предприятий по добыче и переработке урана (г. Шыили) и тяжелых металлов (г. Шымкент) [3].

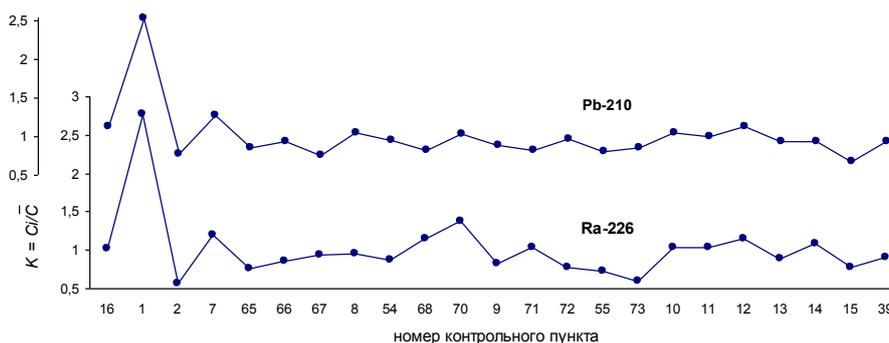
- Реки Шу, Аксу, Карабалта и Талас берут начало в Кыргызстане. В бассейнах этих рек на территории Кыргызстана ведется интенсивная сельскохозяйственная деятельность. Кроме того, к ним причастны многие горно-металлургические предприятия и комбинаты. Самые крупные из них - Актюзский комбинат (месторождение тория) и Карабалтинский химико-металлургический завод (переработка урана). В Казахстане русло реки Шу простирается по

Шу-Сарысульской урановорудной провинции, одной из самых крупных в мире по запасам урана [3].

- Реки Или, Эмель и Иртыш (Черный Иртыш) берут начало в Китае. Китай - страна с высокой плотностью населения. На ее территории в бассейнах этих рек ведется интенсивная хозяйственная и промышленная деятельность. Кроме того, на состав воды в этих реках могли повлиять радиоактивные выпадения от ядерных взрывов на полигоне Лобнор (более 43 взрывов). Особые негативные последствия могут быть связаны с 16 воздушными и с наземными взрывами, произведенными в период 1964-1980 г.г. ($W=10$ Mt). На территории Казахстана в бассейнах этих рек размещено множество сельскохозяйственных предприятий и горнометаллургических комбинатов. Особо следует отметить, что к бассейну р. Иртыш причастен Семипалатинский испытательный полигон, на территории которого произведено 456 ядерных взрывов [2,3].

Все перечисленные события и обстоятельства с большой степенью вероятности могут влиять на качество воды всех перечисленных выше рек. Необходима объективная информация о степени этого влияния. Сложившаяся ситуация вызывает озабоченность общественности и авторитетных Международных организаций (UNEP, UNDP, OSCE, NATO, IAEA и др.) [1,3].

Наиболее приемлемой формой контроля радиационной и гидрохимической ситуации в бассейнах трансграничных рек является их мониторинг на основе современных ядерно-физических методов анализа. Весьма важным фактором в организации такой системы мониторинга является участие всех стран, причастных к бассейну контролируемой реки. В Центральной Азии имеется многолетний опыт работ по обследованию и мониторингу крупных рек Сырдарья и Аму-Дарья. Эти работы проводятся с 2000 г. в рамках международного проекта «Навруз» [4-6]. Участниками этого проекта являются организации ядерного профиля из Узбекистана, Кыргызстана, Таджикистана и Казахстана. Коллаборатором этого проекта являются Сандийские Национальные Лаборатории (SNL), США. В процессе выполнения работ по этому проекту установлено, что верховья р. Сырдарья (отрезок реки от границы с Узбекистаном до Шардаринского водохранилища) заметно загрязнены отдельными радионуклидами и токсичными элементами. Об этом свидетельствуют результаты радионуклидного и элементного анализов проб донных отложений, отобранных в русле этой реки на отдельных контрольных пунктах (КП), от Узбекистана до Аральского моря. На рисунке 2, в качестве одного из примеров, приведено распределение радионуклидов ^{226}Ra и ^{210}Pb в донных отложениях, отобранных в ноябре 2006 г.



(\bar{C} - среднее значение концентрации радионуклида по всем КП, за исключением КП-1)

$$\bar{C}_{Pb-210} = (39.1 \pm 4.0) \text{ Бк/кг}; n=22, P=0.95. \quad \bar{C}_{Ra-226} = (31.3 \pm 4.7) \text{ Бк/кг}; n=22, P=0.95$$

Рисунок 2. Распределение отдельных радионуклидов семейства ^{238}U в донных отложениях вдоль русла р. Сырдарья

Видно, что концентрации этих радионуклидов на контрольном пункте 1 (место впадения р. Сырдарья в Шардаринское водохранилище) превышают уровень их средних значений на всем остальном протяжении реки (от г. Шардара до Аральского моря) более, чем в 2.5 раза. В таблице 2 приведены усредненные значения результатов нейтроноактивационного (Co, Ni, Zn, As) и рентгенофлуоресцентного (Pb) анализов проб донных отложений, отобранных в русле р. Сырдарья в процессе 8 экспедиций (осень 2003 г. – весна 2007 г.). Из приведенных данных следует, что средние значения концентраций всех этих элементов в донных отложениях, отобранных выше Шардаринского водохранилища, превышают соответствующие значения для всего остального отрезка р. Сырдарья, находящегося ниже этого водохранилища, в (1.4-1.8) раза. Приведенные отдельные результаты являются конкретным свидетельством необходимости регулярного контроля радионуклидного и элементного состава водных поступлений на приграничных участках трансграничных рек Казахстана.

Опыт работ по проекту «Навруз» использован также в подготовке международного проекта "Реки Каспия" [7], предусматривающего организацию системы радиационного и гидрохимического мониторинга рек Волга, Урал, Эмба, Кура, стоки которых составляют 90 % всех стоков в Каспийское море. Участниками этого проекта являются научные орга-

низации из России, Грузии, Армении, Азербайджана и Казахстана. Коллаборатором этого проекта также являются SNL, США. В настоящее время этот проект (в виде отдельных проектов от каждой страны) находится на рассмотрении в ISTC и STCU.

В 2007 г. ИЯФ НЯЦ РК, совместно с РГП Казгидромет, приступил к выполнению работ по радиационному и экологическому контролю приграничных участков в бассейнах всех перечисленных выше рек. Первые результаты этих исследований выявили повышенные (но ниже соответствующих санитарных нормативов) концентрации естественных радионуклидов и отдельных токсичных элементов в водах и донных отложениях рек юго-восточного региона Казахстана, особенно – рек Шу и Карабалта. Несомненно, что для этих рек необходимо проведение детального их обследования и регулярного контроля.

В рамках программы МООС РК 008 «Проведение наблюдения за состоянием окружающей среды» планируется создание системы мониторинга, обеспечивающей регулярную и объективную информацию об уровне загрязненности трансграничных водотоков радионуклидами и токсичными элементами. Такая информация будет способствовать нормализации психологического состояния населения и послужит аргументированной основой для урегулирования вопроса качества трансграничных вод с полномочными представителями сопредельных государств.

Таблица 2. Средние значения концентраций отдельных элементов в донных отложениях р. Сырдарья, отобранных выше ($\bar{C}_{\text{верх.}}$) и ниже ($\bar{C}_{\text{низ}}$) Шардаринского водохранилища, мкг/г

Элемент	Co	Ni	Zn	As	Pb
$\bar{C}_{\text{верх.}}$ n=(10-15), p=0.95	10.4±1.5	39±6	67±10	9.5±1.4	17.3±2.7
$\bar{C}_{\text{низ}}$ n=(67-84), p=0.95	7.4±1.1	27±3	44±5	6.2±0.9	9.6±1.2
$K = \bar{C}_{\text{верх.}} / \bar{C}_{\text{низ}}$	1.4	1.4	1.5	1.5	1.8

Убедительным свидетельством актуальности изложенной проблемы является обсуждение вопроса необходимости изучения и контроля водной среды р. Иртыш на уровне глав государств Казахстана и России.

Успешная реализация намеченных проектов и программ в значительной степени будет способствовать решению экологических, социальных и политических проблем, связанных с трансграничными водотоками Республики Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

1. Водные ресурсы Казахстана в новом тысячелетии. Серия публикаций ПРООН в Казахстане, № 7 UNDPKAZ 07, Алматы, 2004, 132 с.
2. В.И. Булатов. Россия радиоактивная. Изд. ЦЕРНС, Новосибирск, 1996, 271 с.
3. L. Martino, A. Carisson, G. Rampolla, I. Kadyrzhanova, P. Svedberg, N. Denisov, V. Novikov, Ph. Rekeawicz, O. Simonett, J.F. Skaalvik, D. Pietro, D. Rizzolio, M. Palosaari. Environment and Security. Transformation Risks into Cooperation. Copyright 2005: UNEP, UNDP, OSCE, NATO. ISBN: 82-7701-035-4, 2005, 54 p.
4. B.S. Yuldashev, U.S. Salikhbaev, A.A. Kist, R.I. Radyuk, D.S. Barber, H.D. Passell, J.D. Betsill, R. Matthews, E.D. Vdovina, L.I. Zhuk, V.P. Solodukhin, V.L. Poznyak, I.A. Vasiliev, V. M. Alekhina, A.A. Djuraev. Radioecological monitoring of transboundary rivers of the Central Asian region. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2005, v. 263, № 1, p. 219-228.
5. K.K. Kadyrzhanov, D.S. Barber, V.P. Solodukhin, V. L. Poznyak, I.V. Kazachevskiy, B.B. Knyazev, S.N. Lukashenko, S. Khazhekber, J.D. Betsill, H.D. Passell. Radionuclide contamination in the Syr Darya river basin of Kazakhstan; Results of the Navruz Project. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2005, v. 263, № 1, p. 197-205.
6. V.P. Solodukhin, V.L. Poznyak, I.V. Kazachevskiy, B.B. Knyazev, S.N. Lukashenko, S. Khazhekber. Some peculiarities of the contamination with radionuclides and toxic elements of the Syrdarya river basin, Kazakhstan. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2004, v. 259, No. 2, p. 245-250.
7. H.D. Passell, D.S. Barber, K.K. Kadyrzhanov, V.P. Solodukhin, E.E. Chernykh, R.V. Arutyunyan, A.N. Valyaev, A.A. Kadik, O.V. Stepanets, V.I. Vernadsky, A.A. Alizade, I.S. Guliev, R.F. Mamedov, K.S. Nadareishvili, A.G. Chkhartishvili, M.S. Tsitskishvili, E.V. Chubaryan, R.G. Gevorgyan, K.I. Puskyulyan. The international project of radiation and hydrochemical investigation and monitoring of general Caspian rivers. 5-th International Conference "Nuclear and Radiation Physics", Almaty, Kazakhstan, 2006, v. 1, p. 69-76.

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ТРАНСШЕКАРАЛЫҚ ӨЗЕНДЕРІ - РАДИАЦИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕР

Солодухин В.П.

ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Қазақстанның трансшекаралық өзендерінің су алабында радиациялық және экологиялық қауіп-қатерді талдаудың нәтижелері көрсетілген. Талдаудың ядролық-физикалық әдістеріне негізделген және "Наурыз" халықаралық жобасы бойынша жұмыстар орындаған кезде дамытылған, өзендердің су алабында радиациялық және экологиялық жағдайды бақылаудың әдіснамасы ұсынылған. Сырдария өзенін радиациялық және экологиялық тексеріп қараудың жекелеген нәтижелері және Қазақстанның барлық трансшекаралық өзендерінің шекараға жақын телімдерін тексеріп қараудың алғашқы нәтижелері келтірілген

TRANSBOUNDARY RIVERS IN KAZAKHSTAN - RADIATION AND ECOLOGICAL PROBLEMS

V.P. Solodukhin

The Institute of Nuclear Physics of the Kazakhstan National Nuclear Center, Almaty, Kazakhstan

Results of evaluation of radiological and ecological risks for basins of the transboundary rivers in Kazakhstan are presented. Methodology of radiological and ecological monitoring is proposed for river basins. The methodology is based on nuclear-physics methods of analysis and developed in course of implementation of the international project «Navruz». Some results of radiological and ecological survey of the Syrdaria River are given along with results of surveying of boundary sections of all transboundary rivers in Kazakhstan.

УДК 502.65: 504.052: 574.4

**РОЛЬ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА В РЕШЕНИИ
АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ НЕФТЯНОГО КОМПЛЕКСА И РАДИОЭКОЛОГИИ КАЗАХСТАНА**

Солодухин В.П.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Рассмотрены наиболее актуальные направления аналитических исследований в нефтяном комплексе и радиоэкологии Казахстана. Представлена современная аппаратурно-методическая база ядерно-физических методов анализа, разработанная и созданная в ИЯФ НЯЦ РК при активной поддержке со стороны международных организаций (МАГАТЭ, МНТЦ, НАТО и др.). Отмечается высокая эффективность и значимость комплексных исследований, включающих в себя использование ядерно-физических и других макро- и микроскопических методов анализа.

Последнее столетие на Земле ознаменовалось особым демографическим событием - население нашей планеты увеличилось в шесть раз, с 1 до 6 млрд. человек [1]. Столь стремительный рост народонаселения вполне естественно привел к необходимости решения множества жизненных проблем и активизации всех видов деятельности человека. Существенно возросла потребность в энергоносителях. Интенсифицировались разведка и добыча традиционных органических источников энергии - нефть, уголь, газ. Во второй половине столетия во всем мире бурно развивается нефтехимическая промышленность, что влечет за собой дополнительный рост добычи нефти. В ходе этих событий пришло осознание ограниченности этого ценного углеводородного сырья, понимание необходимости более бережного к нему отношения и более рационального его использования. Появилась потребность в новых источниках углеводородов. В Канаде, Венесуэле, США и во многих других странах в нефтехимическую отрасль интенсивно вовлекаются такие нетрадиционные ископаемые, как тяжелые нефти и природные битумы [2,3]. Остро обозначилась проблема комплексного освоения органических ископаемых.

В Казахстане на сегодняшний день открыто более 200 месторождений нефти. Её запасы оцениваются миллиардами тонн (гарантированные - до 3.6 млрд.т., прогнозные - до 12 млрд.т.) [4,5]. Но даже столь значительные запасы не бесконечны. Достаточно упомянуть, что объём гарантированных запасов нефти в нашей стране - это всего лишь объём ежегодной мировой добычи нефти. Вместе с тем недра республики, особенно Западного Казахстана, насыщены нетрадиционными органическими ископаемыми многих разновидностей: высоковязкие нефти, природные битумы, нефтебитуминозные породы, горючие и углистые сланцы [2,3]. Все они по углеводородному составу являются достойной альтернативой традиционной товарной нефти. Более того, из-за ряда особых уникальных свойств углеводороды этих ископаемых представляют большой интерес для химической промышленности. Отличительной особенностью всех этих органических ископаемых,

обладающих свойствами своеобразных природных сорбентов, является наличие в них весьма высоких содержаний редких и рассеянных элементов-примесей. Некоторые из них (Pd, Ag, Pt, Au) представляют большой интерес как драгоценные металлы. Многие из примесей (Ti, V, Cr, Co, Ni, Mo, W) также являются ценными, поскольку в качестве легирующих добавок используются в металлургии для получения конструкционных материалов (специальных сталей, чугунов, сплавов), повышающих надежность и снижающих металлоемкость изделий. Вместе с тем, эти же примеси и ряд других токсичных элементов (S, As, Se, Br, Cd, Sb), содержащихся в органических ископаемых и продуктах их переработки, попадая в окружающую среду (в процессе добычи органических ископаемых, с промышленными отходами нефтехимических предприятий, в результате сжигания нефтепродуктов на ТЭЦ, с выхлопными газами автотранспорта и т.д.), могут вызывать серьезные негативные экологические последствия. Отсюда следует, что успех развития нефтяного комплекса напрямую связан с необходимостью применения аналитических методов и в значительной степени зависит от степени их эффективности. При этом, требования, выдвигаемые к этим методам, могут варьировать в широких пределах. Так, геохимические и экологические исследования включают в себя необходимость определения большого количества (несколько десятков) элементов. При этом, для определения концентраций редких и рассеянных элементов требуется высокая чувствительность (предел обнаружения - до 10^{-8} - 10^{-9} %) аналитических методов. Решение задач по контролю отработки технологических процессов чаще всего предусматривает необходимость определения концентрации только одного или нескольких элементов, но при этом, наряду с высокой чувствительностью, требуется еще высокая точность и правильность (1 или несколько %) анализа. Для оценки и подсчета геологических запасов ценных элементов (или вредных примесей), наряду с высокой точностью и правильностью, требуется также высокая производительность и относительно низкая себестоимость анализа. Ядерно-физические

методы анализа, включающие в себя большой арсенал физических, химических и радиохимических вариантов и сочетающие в себе широкий спектр уникальных свойств (высокая чувствительность, многоэлементность, возможность проведения анализа в камеральных условиях, в отдельных случаях - высокая экспрессность, производительность и низкая себестоимость анализа и др.), в наибольшей степени соответствуют этим требованиям [13,14]. В связи с этим, вопросы разработки и адаптации эффективных ядерно-физических методов анализа применительно к задачам нефтяного комплекса и проблеме комплексного освоения органических ископаемых являются весьма актуальными. Учитывая постоянный рост и прогноз добычи нефти в Казахстане (1999 г. - 30 млн. т., 2001 г. - 40 млн. т., 2002 г. - 47.2 млн. т., 2005 г. - 60 млн. т., 2010 г. - 100 млн.т.) [5], а также определяющую роль углеводородного сырья в экономике страны, острота этой актуальности сохранится на ближайшие десятилетия.

Наиболее серьёзной альтернативой тепловой энергетике (вклад которой в общую энергетiku Казахстана превышает 80 % [6,7]) является ядерная энергетика. В настоящее время во многих странах этот вид энергии успешно используется. В отдельных государствах (Франция, Бельгия, Швеция, Южная Корея, Япония) на атомных электростанциях (АЭС) производится от 30 до 70 % всей электроэнергии. Во всем мире действует более 400 атомных энергоблоков, вырабатывающих 17 % мирового производства электроэнергии [6,7]. Развитие ядерной энергетики на нашей планете исторически проходило в условиях жесткой политической конкуренции двух разных систем (социалистической и капиталистической) и во многом определялось ходом реализации военных ядерных программ [1]. Эти события развивались очень быстро, что попутно обеспечило решение в короткий срок многих научно-производственных и технических задач. Ядерные методы и технологии стремительно внедрились практически во все сферы деятельности, и даже быт человека. За короткий исторический срок, с конца 30-х годов по настоящее время, количество искусственных радионуклидов на Земле выросло в 10^6 раз, от нескольких сотен до сотен миллионов Ки [8]. Столь стремительное развитие ядерных технологий и ядерной энергетики не обошлось и без печальных последствий. Человечеству не удалось избежать значительных людских потерь (Хиросима, Нагасаки), тяжелых радиационных аварий (Чернобыль) и существенных радиоактивных загрязнений окружающей среды. Кроме того, даже штатное функционирование многих предприятий атомной и горной промышленности связано с реальной и потенциальной опасностью для окружающей среды. Хвостохранилища, пульпоохранилища, могильники и специальные хранилища радиоактивных отходов уже не обеспечивают нужды этих предприятий и зачастую не соответствуют современным требованиям [1]. Челове-

чество поставлено перед необходимостью всестороннего изучения и решения острых радиоэкологических проблем, обусловленных столь бурной историей развития ядерной энергетики.

Республика Казахстан, как ни одна страна в мире, исторически представлена разнообразными процессами и событиями, в различной степени, но, несомненно, повлиявшими на радиационное состояние окружающей среды. К таковым можно отнести следующие [9-12]:

- ядерные испытания (456 взрывов) на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП), приведшие к радиационному загрязнению как самой территории СИП, так и её окрестностей (следы радиоактивных выпадений);
- высотные и космические ядерные взрывы (10 взрывов) на полигоне Капустин Яр, приведшие к повышению уровня глобального радиоактивного загрязнения;
- мирные подземные ядерные взрывы (32 взрыва) в Западном, Центральном и Южном Казахстане, приведшие к частичному локальному радиоактивному загрязнению территорий в окрестностях взрывов и создавших потенциальную опасность в связи с возможным загрязнением грунтовых вод, либо выходом на поверхность значительного количества искусственных радионуклидов вследствие коллапса подземных ёмкостей;
- ядерные реакторы и специфическая деятельность на них, связанная с наработкой радиоактивных продуктов, требующая постоянного контроля как за самой продукцией, так и за состоянием санитарно-защитных зон реакторов;
- добыча и переработка урановой руды (6 урановородных провинций, 25-30 % мировых запасов урана) и наличие в связи с этой деятельностью более 100 хранилищ и могильников радиоактивных отходов (более 200 млн. т., активностью более 250 тыс. Ки);
- добыча, транспортировка и переработка нефти, приводящие в ряде случаев к значительному загрязнению ($n\cdot 10$ мкЗв/ч) производственных территорий и оборудования естественными радионуклидами.

На рисунке 1 представлено расположение месторождений органических ископаемых и радиационно-опасных объектов на территории Казахстана. Все перечисленные основные особенности и события свидетельствуют о чрезвычайной необходимости и актуальности радиоэкологических исследований и, особенно, на территории Казахстана. Поскольку основой этих исследований служит информация о радионуклидном составе и уровне радиоактивности объектов окружающей среды, роль ядерно-физических методов анализа для их реализации, несомненно, является определяющей.

Изложенные события и обстоятельства определили актуальную направленность в прикладной тематике института: решение аналитических задач в сферах нефтяной геологии и нефтехимии; радиоэкологические исследования.

В настоящее время в ИЯФ НЯЦ РК при поддержке Международных организаций (МАГАТЭ, МНТЦ, НАТО, ООН, Лос-Аламосские и Сандийские Национальные лаборатории США и других) создана современная аппаратно-методическая база для изучения элементного и радионуклидного составов ископаемых углеводородов (а также их отдельных фракций и

продуктов переработки) и объектов окружающей среды. Базовыми установками для таких аналитических исследований служат: атомный реактор ВВР-К, изохронный циклотрон У-150, ускоритель каскадный перезарядный УКП-2, комплексы современной спектрометрической аппаратуры: "Aspect", "Ortec", "Canberra", ЭПР-спектрометр "Брюкер" ESP-300E (дар Правительства Японии), ЯГР-спектрометр CM2201, электронный микроскоп AMRAY 1200, атомно-эмиссионный (JY-70P) и масс-(ELAN 9000) спектрометры с индуктивно-связанной плазмой.

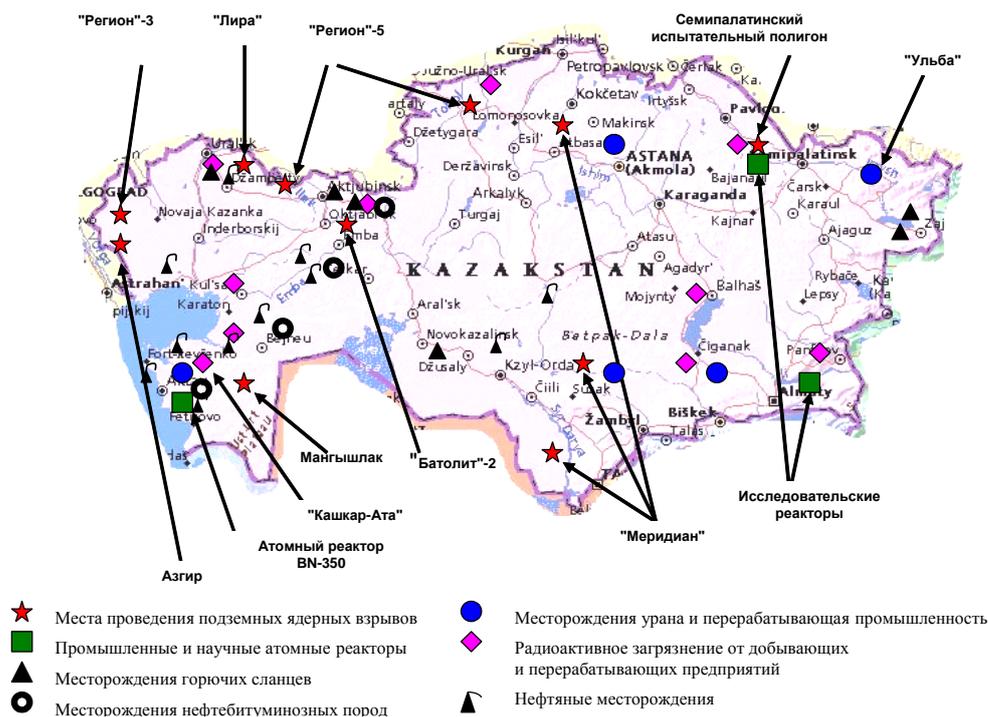


Рисунок 1. Месторождения органических ископаемых и места радиоактивных загрязнений на территории Республики Казахстан

Основными методами для определения элементного и микроэлементного составов являются: нейтроноактивационный (НАА) и рентгенофлуоресцентный (РФА) анализы, атомно-эмиссионная и масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (АЭС-, МС-ИСП). Специалистами института разработан ряд оригинальных методик, основанных на этих методах. В некоторых случаях, для определения отдельных элементов и изучения их химического состояния в углеводородах, привлекаются методы электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), ядерно-магнитного резонанса (ЯМР) и ядерного гамма-резонанса (ЯГР). Результаты исследований, выполненных с привлечением этих методов, доложены на многочисленных конференциях и опубликованы во многих научных изданиях [13-19].

Радионуклидный анализ в основном базируется на современной α -, β -, γ -спектрометрии и включает в себя как инструментальные, так и радиохимические ме-

тоды. В отдельных случаях в радиоэкологических исследованиях используются методы ЭПР-дозиметрии (для оценки дозовой нагрузки), электронной микроскопии и микроPIXE (микрондирование пучком протонов) - для изучения состава и структуры "горячих" частиц; магнитной масс-спектрометрии - для изучения изотопного состава тория, урана и трансураниевых радионуклидов. Следует отметить, что экспериментальная радиоэкологическая база в институте создавалась в основном под проблемы, связанные с последствиями ядерных испытаний, а также - добычи и переработки ядерного топлива [20-28]. Вместе с тем, ядерный аппаратно-методический комплекс успешно используется также и в решении радиоэкологических задач, связанных со спецификой добычи, разведки и переработки ископаемых углеводородов [29-30]. Общая схема аналитических исследований представлена на рисунке 2.

**РОЛЬ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА В РЕШЕНИИ
АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ НЕФТЯНОГО КОМПЛЕКСА И РАДИОЭКОЛОГИИ КАЗАХСТАНА**

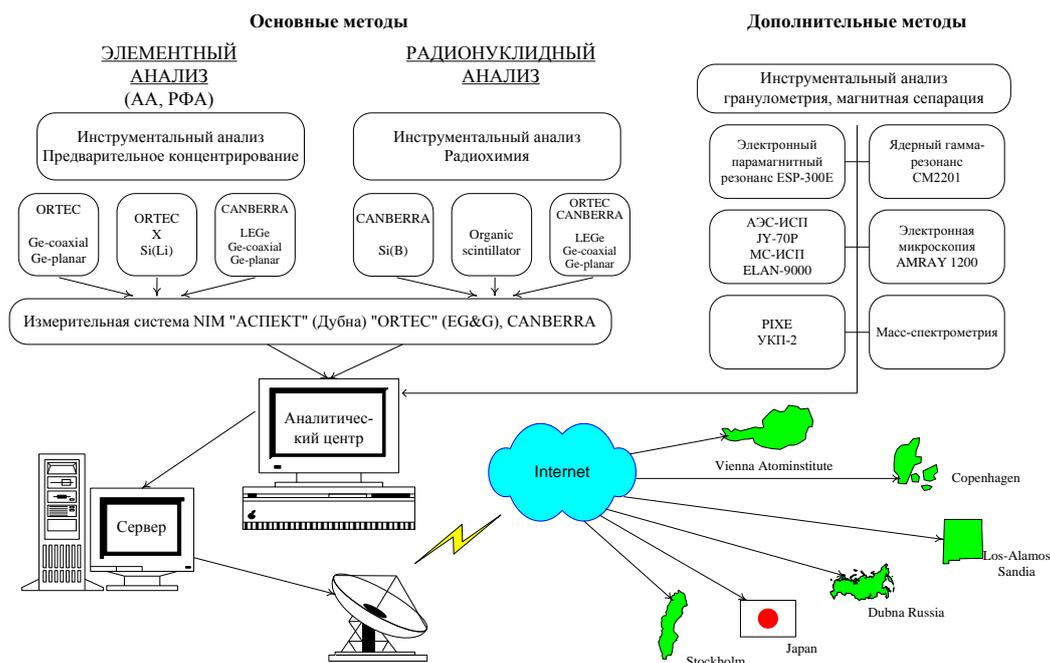


Рисунок 2. Общая схема ядерно-физических исследований состава ископаемых углеводородов и объектов окружающей среды

Большинство исследовательских работ проводится по аттестованным методикам. Ряд лабораторий института также аттестован на проведении радиоэкологических исследований и изучение геологических (в том числе и ископаемых углеводородов) объектов. ИЯФ НЯЦ РК имеет лицензию на радиоэкологические исследования и мониторинг в местах проведенных ядерных взрывов, контроль за радиационной обстановкой на территории Республики Казахстан, научные исследования с использованием источников ионизирующего излучения и радиоактивных веществ, производство радиоактивных изотопов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ИЯФ НЯЦ РК, при активной поддержке Международных организаций (МАГАТЭ, МНТЦ, НАТО и др.), разработана и создана аппаратно-методическая база ядерно-физических методов анализа. Результаты научных и практических

исследований, полученные на основе этой базы, вносят значительный вклад в решение актуальных проблем комплексного освоения ископаемых углеводородов и нормализации радиационной ситуации в Республике Казахстан.

Радиоэкологические и экологические исследования, основанные на ядерно-физических методах анализа и особо развитые в ИЯФ за последние 15 лет, обеспечивают получение объективной информации и способствуют снижению риска для здоровья населения Казахстана.

Следует особо отметить высокую эффективность и значимость комплексных исследований, включающих в себя использование ядерно-физических методов анализа и других методов: ЭПР-, ЯГР-спектроскопию, МС- и АЭС-спектрометрию, радиографию, электронную микроскопию, микроPIXE и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Н. Михайлов. Двадцатый век и ядерное оружие России. Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях, т. 1. Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 2000, с. 17-20.
2. Н.К. Надиров, Г.Д. Закумбаева, Г.Н. Ксандопуло. Использование вторичного углеводородного сырья. Алма-Ата: Наука, 1987, 240 с.
3. Н.К. Надиров, А.В. Котова, В.Ф. Камьянов, В.И. Титов, Г.Н. Алешин, В.П. Солодихин, С.Ф. Бакирова, Г.Г. Глухов, Н.М. Корябина. Металлы в нефтях. Алма-Ата: Наука, 1984. 448 с.
4. Д. Ахметов. Большое будущее Казахской нефти. Промышленность Казахстана. 12. 2000, с. 16-17.
5. Н. Погарская. Содружество: объединение экспортных стратегий и транспортных мощностей. Промышленность Казахстана. 05. 2003, с. 14-16.
6. Б. Иришев. Атомная энергетика: восхождение или закат? Опыт Франции. Промышленность Казахстана. 12. 2000, с. 69-71.
7. Ш. Жанибекова. Стратегия интенсивного развития. Промышленность Казахстана. 04. 2005, с. 20-21.
8. И.Н. Верхонская. Задачи, методы и перспективы радиоэкологических исследований в различных биогеоценозах. Методы радиоэкологических исследований. М. Атомиздат. 1971, с. 3-15.
9. Ядерные испытания СССР. Коллектив авторов под ред. В.Н. Михайлова. М., 1997, 304 с.

10. И.А. Андрушин и др. Ядерные испытания СССР. Гидроядерные эксперименты. Инвентаризация затрат плутония. РФЯЦ-ВНИИЭФ, ФТИ, Саров, 1998, 22 с.
11. В.И. Булатов. Россия радиоактивная. ЦЕРИС. Новосибирск, 1996, 266 с.
12. Т.С. Сайбеков, Д.К. Даукеев, Г.И. Краснов. Радиоэкологическая обстановка на территории Казахстана (нефтепромыслы Западного Казахстана). Алматы: Минэкобиоресурсов РК, 1997, 73 с.
13. В.В. Сокольский, В.П. Солодухин, И.В. Казачевский. Ядерно-физические методы анализа для науки и промышленности Казахстана. В сб.: "Ядерная и радиационная физика". Алматы, 1997, с. 208-216.
14. В.В. Сокольский, В.П. Солодухин, И.В. Казачевский. Ядерно-физические методы анализа в решении актуальных проблем Казахстана. В сб.: Институт ядерной физики Национального ядерного центра Республики Казахстан 50 лет. Алматы, 2007, с. 69-85.
15. В.П. Солодухин. Ядерно-физические методы анализа углеводородных ископаемых. Новости науки Казахстана. 1997, № 1, с. 47-50.
16. В.П. Солодухин. Ядерно-физические методы исследований в решении проблемы комплексного освоения ископаемых углеводородов. Нефть и газ. 2002, № 1, с.67-74.
17. В.П. Солодухин. Ядерная аналитика в нефтяном комплексе. Промышленность Казахстана. 04. 2004, с. 26-31.
18. Н.К. Надилов, В.П. Солодухин. Содержание ванадия в ископаемых углеводородах Казахстана по данным ядерно-физических методов анализа. Доклады МН-АН РК. 1998, № 1, с.32-40.
19. И.С. Гольдберг, А.А. Мицкевич, Г.В. Лебедева, В.П. Солодухин. Состав и рудная специализация фанерозойских черных сланцев. Советская геология. 1991, № 2, с.23-29.
20. K. Kadyrzhanov, V.P. Solodukhin, I.V. Kazachevskiy, S. Khazhekber, S.N. Lukashenko, G.N. Chumikov, M.F. Verestchak, A. Eliseev, A.K. Zhetbaev, L.M. Nazarenko, S.P. Pivovarov, A. Platov, A.B. Rukhin, P.V. Chakrov, E.M. Yakushev. Techniques Used at the INP NNC RK for Studying Soil Probes and Soil Fragments at SNTS. Nuclear Physical Methods in Radioecological Investigations of NTS. NATO Science Series. 1 Disarmament Technologies - Dordrecht / Boston / London. 2000, v. 31, p. 17 – 42.
21. V.P. Solodukhin. Nuclear-Physical Methods in Macro- and Microanalytical Investigations of Contamination with Radionuclides at Semipalatinsk Nuclear Test Site. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2005, v.264, № 2, p. 457-462.
22. K.K. Kadyrzhanov, S. Khazhekber, V.P. Solodukhin, S.N. Lukashenko, L.M. Nazarenko, E.M. Yakushev. Plutonium at the Semipalatinsk Nuclear Test Site (SNTS). Journal of Radioanalytical and Nuclear chemistry, 2005, v.263, № 1, p. 229-234.
23. К.К. Кадыржанов, А.Ж. Тулеушев, С.Н. Лукашенко, В.И. Филиппов, В.П. Солодухин, И.В. Казачевский. Комплексный мониторинг объектов Лира. Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях. С-Петербург. Гидрометеоздат, 2000, т. 1, с. 650-656.
24. K.K. Kadyrzhanov, A.Zh. Tuleushev, S.N. Lukashenko, V.P. Solodukhin, I.V. Kazachevskiy, S.V. Reznikov, V.L. Poznyak. Radionuclide Contamination of the Lira Facilities Territory. Czechoslovak Journal of Physics. 2003, v. 53, p. 45-50.
25. K.K. Kadyrzhanov, A.Zh. Tuleushev, Zh.N. Marabaev, I.V. Kazachevskiy, S.N. Lukashenko., V. Pekhachek, V.P. Solodukhin, L.I. Pikalova, B.B. Knyazev, V.M. Stepanov, G.M. Kabirova, V.A. Feofanov. Radioactive Components Scales at the Inner Surface of Pipes in Oil Fields of Kazakhstan. Journal of Radioanalytical and Nuclear chemistry, 2005, v.264, № 2, p. 413-416.
26. V.P. Solodukhin, V.L. Poznyak, I.V. Kazachevskiy, B.B. Knyazev, S.N. Lukashenko, S. Khazhekber. Some Peculiarities of Contamination with Raionuclides and Toxic Elements of the Syrdarya River Basin, Kazakhstan. J. Radioanal. Nucl. Chem. 2004, v. 259, № 2, p. 245-250.
27. K.K. Kadyrzhanov, V.P. Solodukhin, S. Khazhekber, V.L. Poznyak, I.V. Kazachevskiy, D.S. Barber, H.D. Passel., J.D. Betsill. Research and Monitoring of Radiation and Ecological Situation in Syrdarya River Basin at the Territory of the Republic of Kazakhstan. Eurasia, Nuclear Bulletin, 2004, № 3, p. 66-69.
28. K.K. Kadyrzhanov, D.S. Barber, K.K., V.P. Solodukhin, V.L. Poznyak, I.V. Kazachevskiy, B.B. Knyazev, S.N. Lukashenko, S. Khazhekber, J.D. Betsill, H.D. Passell. Radionuclide Contamination in the Syrdarya River Basin of Kazakhstan. Results of the Navruz Project. Journal of Radioanalytical and Nuclear chemistry, 2005, v.263, № 1, p. 197-205.
29. V.P. Solodukhin. Nuclear-Physical Methods of Analysis in Oil Geology and Industry of Kazakstan. Journal of Radioanalytical and Nuclear chemistry, 1998, № 234, p. 101-105.
30. В.П. Солодухин. Комплекс ядерно-физических методов в решении аналитических задач по проблемам радиоэкологии и освоения ископаемых углеводородов. Сборник 3-ей Международной конференции: Ядерная и радиационная физика. Алматы: Изд-во ИЯФ НЯЦ РК, 2001, т. III, с.145-156.

ҚАЗАҚСТАННЫҢ МҰНАЙ КЕШЕНІ МЕН РАДИОЭКОЛОГИЯСЫНЫҢ КӨКЕЙТЕСТІ КЕЛЕЛІ МӘСЕЛЕЛЕРІН ШЕШУДЕ ТАЛДАУДЫҢ ЯДРОЛЫҚ-ФИЗИКАЛЫҚ ӘДІСТЕРІНІҢ РӨЛІ

Солодухин В.П.

ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Қазақстанның мұнай кешені мен радиэкологиясында аналитикалық зерттеулердің ең көкейтесті бағыттары қарастырылған. Халықаралық ұйымдар (АТЭХАГ, ХҒТО, САТУ және бс.) тарапынан белсенді қолдау таба отырып, ҚР ҰЯО ЯФИ-де әзірленген және жасалған, талдаудың ядролық-физикалық әдістерінің заманауи аппаратуралы-

әдістемелік базасы келтірілген. Талдаудың ядролық-физикалық және басқа да макро- мен микроскопиялық әдістерін өзіне қамтитын, комплексті зерттеулердің жоғары тиімділігі мен маңыздылығы көрсетілген.

**A ROLE OF NUCLEAR-PHYSICAL METHODS OF ANALYSIS IN SOLUTION OF URGENT PROBLEMS
OF THE KAZAKHSTAN OIL COMPLEX AND RADIOECOLOGY**

V.P. Solodukhin

The Institute of Nuclear Physics of the Kazakhstan National Nuclear Center, Almaty, Kazakhstan

The most urgent trends of analytical studies are considered in the areas of the Kazakhstan oil complex and radioecology. Modern hardware-methodical base of nuclear-physical methods of analysis, developed in the Institute of Nuclear Physics INP with sound support of international institutions (IAEA, ISTC, NATO, etc.), is presented here. High efficiency and significance of integrated studies, including nuclear-physical and other macro/microscopic methods of analysis is marked.

УДК: 577.4:504.064:549.11.02.3

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРИТИЯ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ТЕРРИТОРИИ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ ДЕГЕЛЕН

Ляхова О.Н., Лукашенко С.Н., Субботин С.Б., Айдарханов А.О., Кубенов А.М.

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Проведено исследование содержания трития в объектах окружающей среды на территории Семипалатинского испытательного полигона на примере испытательной площадки «Дегелен». Проведен анализ и оценка данных по содержанию трития в штольневых, грунтовых и поверхностных водах, а так же в атмосферном, штольневом и почвенном воздухе на территории испытательной площадки «Дегелен». Разработан и внедрен метод отбора проб почвенного воздуха для косвенного определения содержания трития в грунтовых водах.

ВВЕДЕНИЕ

Многолетние испытания ядерного оружия на территории СИП привели к необратимым процессам в окружающей среде, связанным с нарушением природного равновесия в растительном и животном мире, а также нанесших значительный ущерб здоровью населения прилегающих к полигону районов. К одной из потенциальных, мало изученных опасностей полигона можно отнести проблему распространения трития в воде, воздухе, в продуктах животноводства и растительности.

Тритий – радиоактивный изотоп водорода с периодом полураспада 12,3 года. Образуясь в атмосфере, литосфере и гидросфере тритий участвует в круговороте воды в природе. Тритий, наряду с углеродом-14, занимает особое место в радиоактивном загрязнении окружающей среды и создает в ядерных технологиях специфическую проблему по сравнению с большинством радионуклидов. Эта проблема состоит в том, что элементарный тритий (НТ), вступая во взаимодействие с почвой, растительностью и с атмосферным воздухом, становится составной частью воды (НТО) и органического вещества биологических объектов. Тритий, в виде этих соединений, за счет ингаляции и по пищевым цепочкам поступает в организм человека. Опасность трития в качестве источника внутреннего облучения определяется возможностью его присутствия в любых тканях в биологическом объекте, включая генетический материал клетки. Круговорот трития в природе в виде НТ и НТО изучен достаточно детально. Однако, учитывая специфичный характер загрязнения территории бывшего СИП, где содержание трития в объектах окружающей среды в сотни и тысячи раз превышает нормативные уровни, требуется особенный подход к изучению путей поступления и круговорота трития в окружающей среде.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПЛОЩАДКИ «ДЕГЕЛЕН»

Испытательная площадка «Дегелен» расположена в южной части территории Семипалатинского ис-

пытательного ядерного полигона. Она является одной из основных испытательных площадок СИП, где проводились подземные ядерные взрывы (ПЯВ) мощностью до 20 кт в горизонтальных горных выработках – штольнях. Всего за период с 1961 г. по 1989 г. в одноименном горном массиве была пройдена 181 штольня, в которых было проведено 209 ядерных испытаний [1].

Горный массив «Дегелен» имеет изометричную, подковообразную форму. Абсолютные отметки горных вершин достигают 1100 м. и возвышаются над окружающей местностью до 500 м. Горный массив «Дегелен» входит в состав региональной гидрогеологической системы левобережья реки Иртыш и является областью питания и транзита подземных вод за счет инфильтрации атмосферных осадков. Подземные воды имеют инфильтрационное происхождение. Уровень подземных вод в межгорных долинах находится на глубинах от 0 до 2-6 м. За пределами горной местности уровень понижается до 10-12 м.

В горах «Дегелен» выделяются три типа подземных вод. Это поровые воды современных делювиально-пролювиальных отложений, поровые воды аллювиально-пролювиальных отложений, в том числе подрусловые воды и трещинные воды палеозойских пород (в качестве разновидности трещинных вод выделяются трещинножильные воды водоносных разломов) [2].

Горные выработки для проведения ПЯВ в горном массиве «Дегелен» были пройдены в зоне транзита атмосферных осадков – выше уровня трещинных вод. В результате, при проходке во многих штольнях наблюдались сезонные водопоявления, связанные с инфильтрацией атмосферных осадков. В ряде штолен были зафиксированы постоянные водопоявления в виде струйного высачивания различной интенсивности, что указывает на вскрытие обводненных участков разрывных нарушений. На рисунке 1 показана схема расположения штолен с устойчивыми водотоками.

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРИТИЯ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
НА ТЕРРИТОРИИ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ ДЕГЕЛЕН**

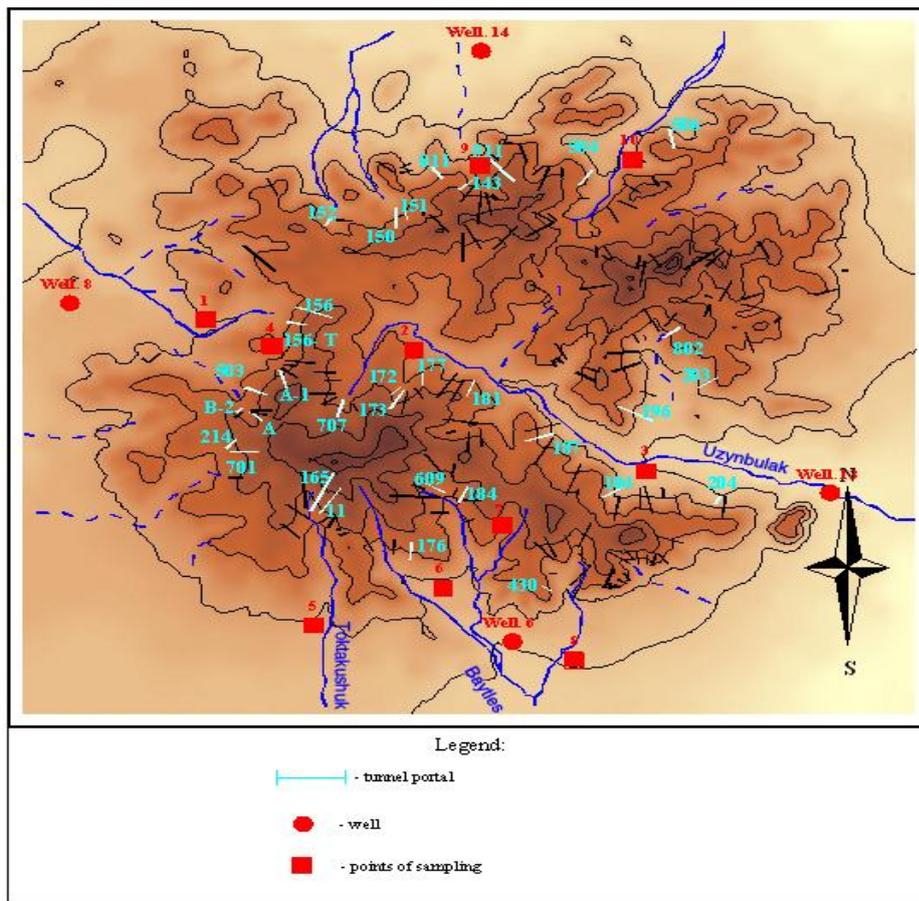


Рисунок 1. Схема расположения штолен с устойчивыми водоками на горном массиве Дегелен

АНАЛИЗ И ОБОБЩЕНИЕ ДАННЫХ ПО СОДЕРЖАНИЮ ТРИТИЯ В ШТОЛЬНЕВЫХ, ГРУНТОВЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ

Исследование загрязнения тритием территории испытательной площадки «Дегелен» проводилось с 2000 года, когда начались работы по закрытию штолен. Объектами исследований являлись штольневые и под-

земные воды, как основные источники миграции радионуклидов из мест проведения ядерных испытаний.

ШТОЛЬНЕВЫЕ ВОДЫ

Средняя концентрация трития в штольневых водах за время исследований составила 340 кБк/л. Максимальное значение содержания трития было отмечено в 2000 году порядка 900 кБк/л (рисунок 2).

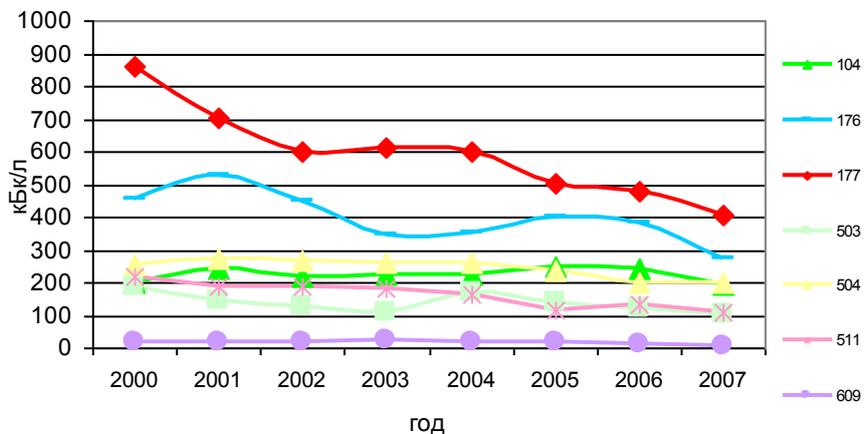


Рисунок 2. Результаты исследований штольневых вод на площадке Дегелен

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРИТИЯ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ТЕРРИТОРИИ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ ДЕГЕЛЕН

Сравнительный анализ данных показывает, что изменение активности трития со временем колеблется незначительно. Учитывая результаты работ 2007 года видно, что значительных изменений содержания трития в штольневых водах за последние годы не произошло. В основном значения концентрации трития находятся на одном уровне, и не превышают отметки 400 кБ/л. Замеченная многими исследователями стабильность содержания трития в штольневых водах на одном уровне в течение многих лет представляет интерес для дальнейшего изучения путей миграции трития в окружающей среде.

ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ

Для оценки загрязнения грунтовых вод на испытательной площадке «Дегелен» была оборудована сеть наблюдательных скважин. Схема расположения скважин показана на рисунке 1. Подобное месторасположение скважин выбрано для оценки характера выноса техногенных радионуклидов с подземными водами за пределы горного массива. Максимальное

значение трития – 135 кБк/л наблюдалось в подземных водах юго-восточного направления (well 6), минимальное значение – 86 кБк/л – в водах северного направления (well 14).

Содержание трития за время проведения исследований в пробах воды из скважин представлено на рисунке 3.

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ

Содержание трития в ручьях и родниках, протекающих на территории горного массива «Дегелен», составляет не более 250 кБ/л. С течением времени наблюдается тенденция к спаду активности трития в воде родников и ручьев (рисунок 4). Анализ графика показывает, что при больших концентрациях трития в воде ручьев и родников изменение активности происходит не равномерно, при более низких показателях активности наблюдается относительная стабилизация содержания трития в воде. Подобная картина наблюдалась и в случае исследования штольневых вод.

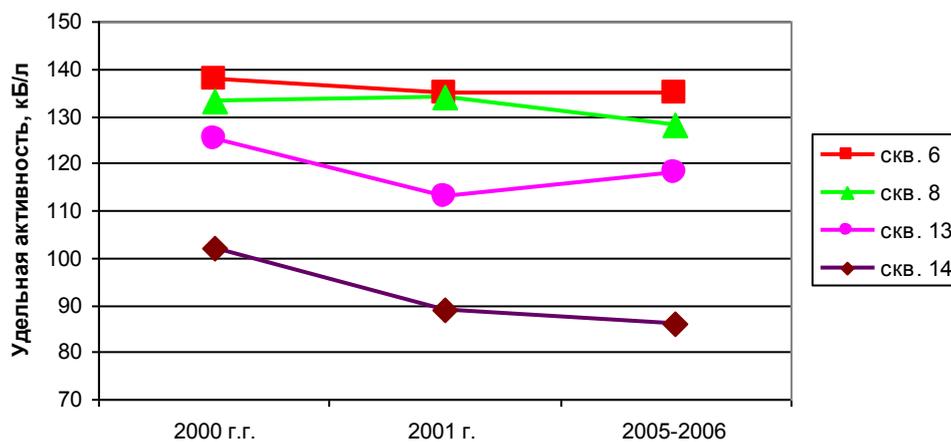


Рисунок 3. Результаты исследований воды в скважинах на площадке Дегелен

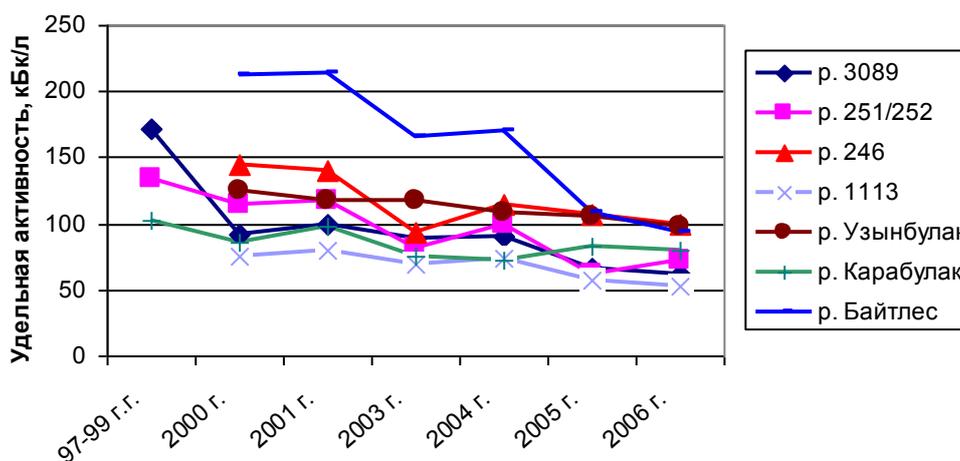


Рисунок 4. Содержание трития в ручьях и родниках горного массива Дегелен

**ОЦЕНКА УРОВНЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТРИТИЕМ
АТМОСФЕРНОГО, ШТОЛЬНЕВОГО И ПОЧВЕННОГО
ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИИ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ
ПЛОЩАДКИ «ДЕГЕЛЕН»**

Учитывая условия проведения ядерных испытаний на территории горного массива «Дегелен» и по результатам проводимых исследований, пути миграции трития в окружающей среде можно представить в виде следующей схемы (рисунок 5).

Помимо непосредственного выхода трития из штолен, существует другой путь его поступления в водоемы – обмен между парами трития в атмосфере и поверхностью воды. При контакте поверхности воды с атмосферой, содержащей пары трития, тритий поступает в воду и растворяется в ней [3]. Помимо этого тритий поступает в водоемы путем вымывания из воздуха осадками. Тритий может поступать в почву из водоемов, загрязненных тритием, а также в результате поглощения его почвенной влагой из воздуха и с каплями дождя (вымывание атмосферными осадками). Из воздуха, почвы и водоемов тритий поступает в растительность и животный мир. Данная информация послужила причиной для проведения исследований концентрации трития в штольневом, атмосферном и почвенном воздухе.

В основу методики отбора проб воздуха положена способность водяных паров, содержащихся в нем, конденсироваться на поверхности охлаждаемой ниже точки росы. С этой целью радиатор с хладопроводом помещался в сосуд Дьюара, наполненный жидким азотом. Контакт водяных паров, содержащихся в воздухе, с поверхностью пластин радиатора

завершался кристаллизацией. После окончания процесса вымораживания пробу помещали в сосуд для оттаивания, отфильтровывали и анализировали. Измерение активности трития проводилось бета-спектрометрическим методом с использованием жидкоцинтилляционного бета-спектрометра TRI CARB 2900TR.

**ИССЛЕДОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ТРИТИЯ
В ШТОЛЬНЕВОМ ВОЗДУХЕ**

Для исследования выхода трития с воздушным потоком из штолен была проведена работа по определению содержания трития в штольневом воздухе. Содержание трития в воздухе определялось путем анализа проб водяных паров, содержащихся в штольневом воздухе. Вымораживание водяных паров штольневого воздуха осуществлялось в контейнере, обеспечивающем поступление воздуха из штольни и изолирование его от внешнего атмосферного воздуха. Отбор проб проводился в летнее время, так как в этот период из-за разности температур, поток воздуха идет в направлении портала штольни («печной эффект»).

Так же для сравнения концентраций трития в штольневом и атмосферном воздухе, в 50 метрах от каждой исследуемой штольни проводился отбор проб водяных паров атмосферного воздуха так же путем вымораживания.

Результаты лабораторных анализов по содержанию трития в пробах водяных паров, отобранных на порталах штолен и в 50 метрах от них, представлены на рисунке 6.

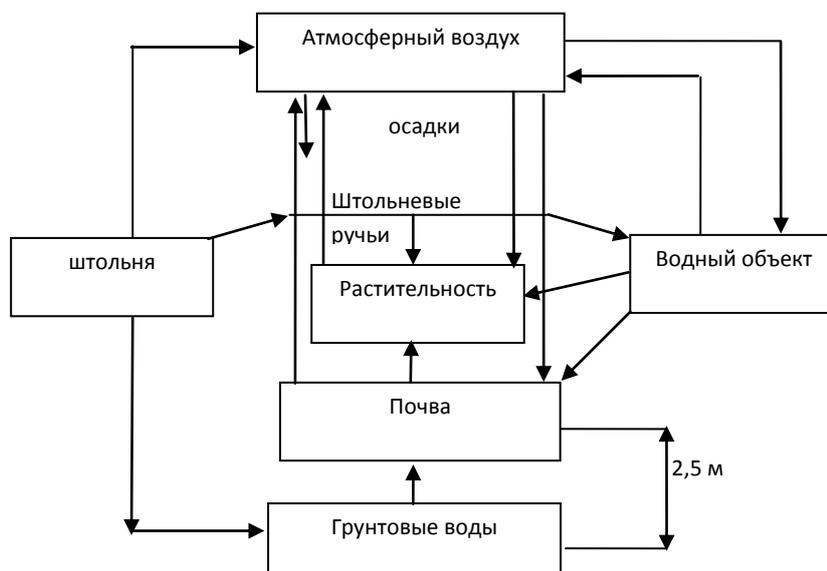


Рисунок 5. Схема миграции трития на испытательной площадке Дегелен

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРИТИЯ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
НА ТЕРРИТОРИИ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ ДЕГЕЛЕН**

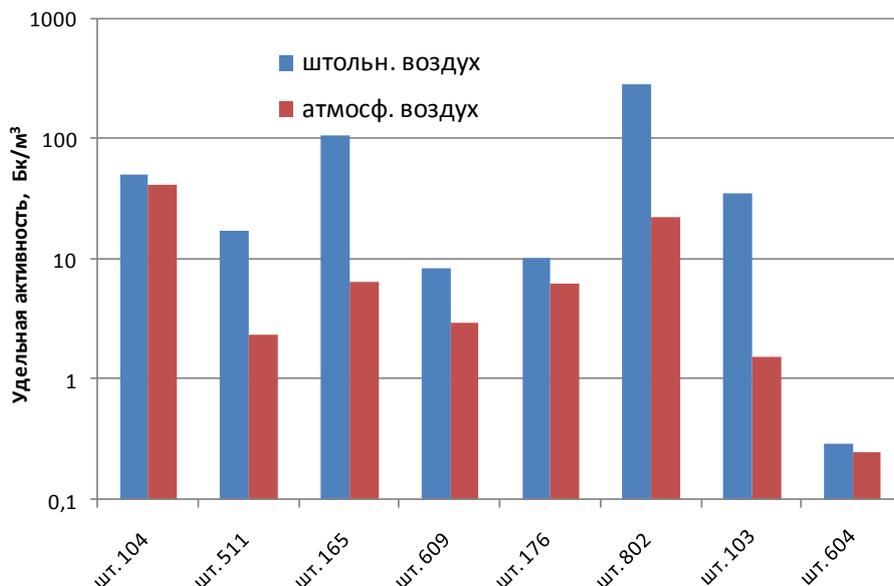


Рисунок 6. Распределение трития в пробах водяных паров штольневого и атмосферного воздуха

Концентрация трития в штольневом воздухе варьирует в широком диапазоне значений от десятков до сотен Бк/м³ и в ряде случаев значительно превышает концентрацию трития в воздухе на открытой местности.

В результате проведенной работы было отмечено, что уровень значений удельной активности трития в штольневом воздухе не зависит от наличия или отсутствия постоянного водотока из штольни. Таким образом, для более полной и достоверной оценки значимости источника поступления трития со штольневым воздухом необходимо провести работы по определению объема воздуха проходящего по штольне, как в теплое, так и холодное время года.

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ТРИТИЯ
В ПОЧВЕННОМ ВОЗДУХЕ**

Следует отметить, что поверхностные и подземные воды, выходящие за пределы горного массива

«Дегелен» имеют замкнутые бессточные бассейны. В связи с этим, основная часть подземных вод расходуется на испарение и транспирацию растениями. При данных условиях можно полагать, что весь тритий с испаряемой влагой, с поверхности земли поступает в атмосферный воздух. Процесс испарения подземных вод с поверхности земли детально исследован при решении вопросов водоснабжения и представлен на рисунке 7 [4].

На графике видно, что испарение подземных вод начинается с глубины 2,5 м, где с учетом транспирации растениями количество испаряемой воды составляет 100 мм. Максимальных значений до 700 мм в год этот процесс достигает на глубинах до 20 см. Таким образом, при наличии данных о глубине залегания подземных вод можно проводить оценочные расчеты концентрации трития, поступающего в атмосферный воздух с испаряемой влагой.

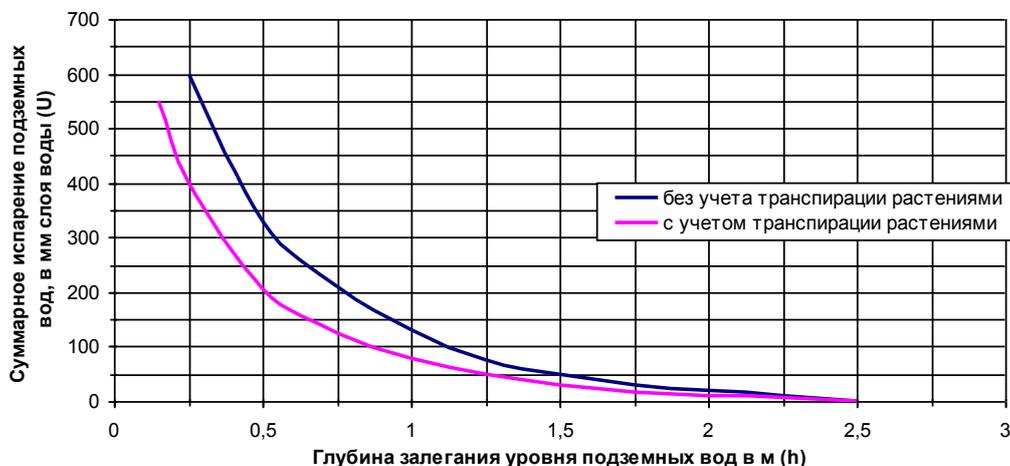


Рисунок 7. График зависимости суммарного испарения подземных вод от глубины залегания

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРИТИЯ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
НА ТЕРРИТОРИИ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ ДЕГЕЛЕН**

Первым этапом исследования перехода трития из почвы в атмосферный воздух являлась разработка и внедрение метода отбора проб почвенного воздуха для косвенного определения содержания трития в грунтовых водах. С этой целью были отобраны пробы водяных паров по руслу ручьев Карабулак, Байтлес, Узынбулак, ручей штольни 504, 503 и 156 на расстояниях 1,5 – 2 км между точками. В каждой точке отбор проб проводился одновременно двумя методами. Отбор проб почвенного воздуха производился с помощью емкости, конструкция которой позволяла изолировать поступление атмосферного воздуха в отбираемую пробу (с изоляцией). После установки пробоотборника, вакуумным насосом производилась откачка атмосферного воздуха из емкости. Таким образом, активизировался процесс поступле-

ния почвенного воздуха в исследовательский контейнер. Считалось, что на пластины радиатора поступал только почвенный воздух.

Отбор проб атмосферного воздуха отбирался таким же пробоотборником, но уже открытым способом (без изоляции). Схематически эксперимент представлен на рисунке 8.

Всего было отобрано и проанализировано 66 проб водяных паров, отобранных описанными выше методами. Наиболее представительные результаты лабораторных анализов отображены на рисунке 9.

Анализ полученных данных говорит о том, что концентрация трития в почвенном воздухе на горном массиве «Дегелен» в большинстве случаев выше, чем в атмосферном воздухе.

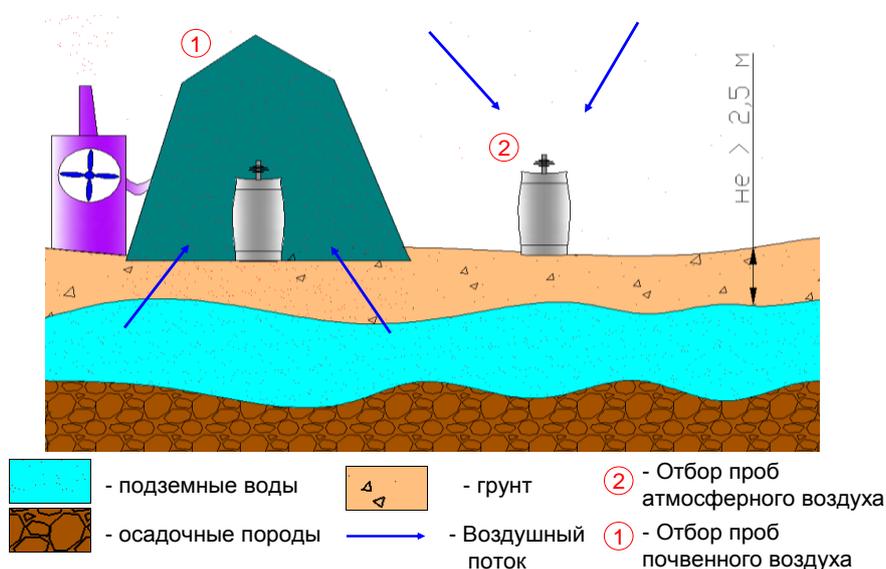


Рисунок 8. Схема проведения эксперимента по определению концентрации трития в почвенном воздухе

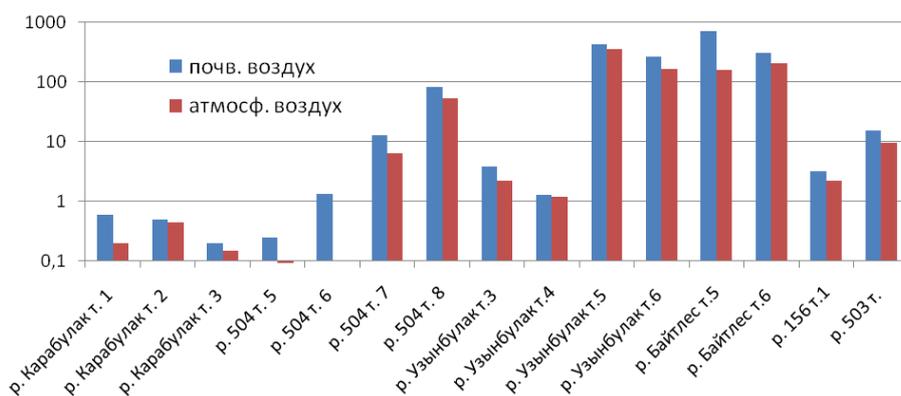


Рисунок 9. Распределение трития в пробах водяных паров почвенного и атмосферного воздуха

Высокие концентрации трития (до 700 Бк/м³) в почвенном воздухе, вероятно, являются следствием интенсивного перераспределения трития из подземных вод в атмосферу. При этом количество трития, поступающего в атмосферу, будет зависеть от метеорологических условий (влажность, температура окружающей среды), а так же от глубины залегания подземных вод.

Для проверки данной теории планируется проведение дальнейших экспериментальных исследований. В местах отбора проб почвенного и атмосферного воздуха будут пробурены скважины для отбора проб воды и определения глубины залегания подземных вод. В каждой исследуемой точке будут отобраны пробы атмосферного, почвенного воздуха, пробы грунтовых вод и атмосферных осадков. Результаты подобного исследования, позволят оценить, на сколько применим метод измерений концентрации трития в почвенном воздухе для проведения оценочных расчетов концентраций трития в грунтовых водах.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ядерные испытания СССР: Современное радиоэкологическое состояние полигонов. /Кол. Авторы под рук. проф. В.А. Логачева – М.: Изд.АТ, 2002. – 519 с. ISBN 5-86656-2
- 2 Ахметов М.А., Артемьев О.И., Птицкая Л.Д., Синяев В.А. Радиационный мониторинг водотоков и проблемы реабилитации в горном массиве Дегелен Семипалатинского испытательного полигона.//Вестник НЯЦ РК. - Курчатов: НЯЦ РК, 2000.- Вып. 3. - С. 23 – 28
- 3 Тритий-это опасно. /Под. ред. Батурина В.А.- Челябинск, 2001.
- 4 Белянин В.И. Опыт определения испарения грунтовых вод в аридных условиях Восточного Казахстана; ЭИ ВИМС, Сер. VIII.- Вып. 1, 1978
- 5 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99), СП 2.6.1. 758-99 Издание официальное. – Алматы, 2000.- 80с.

ДЕГЕЛЕҢ СЫНАҚ АЛАҢЫНЫҢ АУМАҒЫНДАҒЫ ҚОРШАҒАН ОРТА НЫСАНДАРЫНДА ТРИТИЙДІҢ ҚҰРАМЫН ЗЕРТТЕУ

Ляхова О.Н., Лукашенко С.Н., Субботин С.Б., Айдарханов А.О., Кубенов А.М.

ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов, Қазақстан

Дегелең сынақ алаңының үлгісінде Семей сынақ полигонының аумағындағы қоршаған орта нысандарында тритийдің құрамын зерттеу жұмыстары жүргізілді. Дегелең сынақ алаңының аумағында штольнялық, топырақтық және жерүсті суларының құрамында, сонымен қатар атмосферадағы, штольнядағы және топырақтағы ауада тритийдің құрамын бағалау және талдамалау бойынша жұмыстар жүргізілді. Топырақтағы суларда тритийдің құрамын жанама анықтау үшін топырақтағы ауа сынамасын іріктеп алу әдісі әзірленді және енгізілді.

INVESTIGATION OF TRITIUM CONTENT IN ENVIRONMENTAL OBJECTS AT THE DEGELEN TEST SITE AREA

O.N. Lyahova, S.N. Lukashenko, S.B. Subbotin, A.O. Aidarkhanov, A.M. Kubenov

Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Investigation of tritium content in environmental objects at the Semipalatinsk Test Site area by the example of Degelen Test Site was carried out. Analysis and data evaluation on tritium content in adit, soil and surface waters, and also in atmospheric, adit and soil air at the Degelen Test Site were conducted. Method of soil air sampling for indirect determination of tritium content in soil waters was developed and implemented.

СПИСОК АВТОРОВ

- Айдарханов А.О., 80
Артемов О.И., 44
Баранов С.А., 28
Березина М.В., 53
Бигалиев А.Б., 57
Газиев И.Я., 44
Газиев Я.И., 44
Гордеев С.К., 44
Ермаков Е.Л., 8
Жукешов А.М., 12
Кабдыракова А.М., 63
Кабулов А.Б., 18
Кадыржанов К.К., 8
Каримбаева К.С., 57
Карпенко Е.И., 24
- Кенжина Г.Т., 53
Кислицин С.Б., 8
Колесникова Л.В., 44
Крышев А.И., 44
Крышев И.И., 44
Кубенов А.М., 80
Ларионова Н.В., 63
Лукашенко С.Н., 80
Ляхова О.Н., 80
Магашева Р.Ю., 63
Мартыненко В.П., 44
Минкенова К.С., 57
Митяев А.В., 32
Мукушева М.К., 24, 28, 37
Нурабаева Г.У., 5
- Огородников Б.И., 44
Осинцев А.В., 32
Осинцев А.Ю., 44
Паницкий А.В., 63
Силкина Г.П., 57
Солодухин В.П., 70, 74
Соломатин В.М., 24, 28
Спиридонов С.И., 24, 28, 37
Степачева Н.М., 57
Стрильчук Ю.Г., 32
Субботин С.Б., 80
Тетенькин В.Л., 24, 37
Уваров А.Д., 44
Ястребкова Н.В., 63

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Статьи предоставляются в виде электронной (на гибком диске или по электронной почте присоединенным (attachment) файлом) в формате MS WORD и печатной копии.

Текст печатается на листах формата А4 (210×297 мм) с полями: сверху 30 мм; снизу 30 мм; слева 20 мм; справа 20 мм, на принтере с высоким разрешением (300-600 dpi). Горизонтальное расположение листов не допускается.

Используются шрифт Times New Roman высотой 10 пунктов для обычного текста и 12 пунктов для заголовков. Пожалуйста, для заголовков используйте стили (Заголовок 1, 2...) и не используйте их для обычного текста, таблиц и подписанных подписей.

Текст печатается через одинарный междустрочный интервал, между абзацами – один пустой абзац или интервал перед абзацем 12 пунктов.

В левом верхнем углу должен быть указан индекс УДК. Название статьи печатается ниже заглавными буквами. Через 3 интервала после названия, печатаются фамилии, имена, отчества авторов и полное наименование, город и страна местонахождения организации, которую они представляют. После этого, отступив 2 пустых абзаца или с интервалом перед абзацем 24 пункта, печатается основной текст.

При написании статей необходимо придерживаться следующих требований:

- Статья должна содержать аннотации на казахском, английском и русском языках (130-150 слов) с указанием названия статьи, фамилии, имени, отчества авторов и полного названия, города и страны местонахождения организации, которую они представляют;
- Ссылки на литературные источники даются в тексте статьи цифрами в квадратных [1] скобках по мере упоминания. Список литературы следует привести по ГОСТу 7.1-2003;
- Иллюстрации (графики, схемы, диаграммы) должны быть выполнены на компьютере (ширина рисунка 8 или 14 см), либо в виде четких чертежей, выполненных тушью на белом листе формата А4. Особое внимание обратите на надписи на рисунке – они должны быть различимы при уменьшении до указанных выше размеров. На обороте рисунка проставляется его номер. В рукописном варианте на полях указывается место размещения рисунка. Рисунки должны быть представлены отдельно в одном из форматов *.tif, *.gif, *.png, *.psx, *.dxf с разрешениями 600 dpi.
- Математические формулы в тексте должны быть набраны как объект Microsoft Equation или MathType. Химические формулы и мелкие рисунки в тексте должны быть вставлены как объекты Рисунок Microsoft Word. Следует нумеровать лишь те формулы, на которые имеются ссылки.

К статье прилагаются следующие документы:

- рецензия высококвалифицированного специалиста (доктора наук) в соответствующей отрасли науки;
- выписка из протокола заседания кафедры или методического совета с рекомендацией к печати;
- акт экспертизы (экспертное заключение);
- на отдельном листе автор сообщает сведения о себе: фамилия, имя, отчество, ученая степень, должность, кафедра и указывает служебный и домашний телефоны, адрес электронной почты.

Текст должен быть тщательным образом выверен и отредактирован. В конце статья должна быть подписана автором с указанием домашнего адреса и номеров служебного и домашнего телефонов, адрес электронной почты.

Статьи, оформление которых не соответствует указанным требованиям, к публикации не допускаются.

Ответственный секретарь д.т.н. М.К. Мукушева
тел. (722-51) 2-33-35, E-mail: MUKUSHEVA@NNC.KZ

Технический редактор А.Г. Кислухин
тел. (722-51) 2-33-33, E-mail: KISLUHIN@NNC.KZ

Адрес редакции: 071100, Казахстан, г. Курчатов, ул. Ленина, 6.
<http://www.nnc.kz/vestnik>

© Редакция сборника «Вестник НЯЦ РК», 2001.

Регистрационное свидетельство №1203-Ж от 15.04.2000г.
Выдано Министерством культуры, информации и общественного согласия Республики Казахстан

Тираж 300 экз.

Выпуск набран и отпечатан в типографии
Национального ядерного центра Республики Казахстан
071100, Казахстан, г. Курчатов, ул. Ленина, 6.

