

ISSN 1729-7516

Вестник НЯЦ РК

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ВЫПУСК 4(20), ДЕКАБРЬ 2004

Издается с января 2000 г.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – к.т.н. ТУХВАТУЛИН Ш.Т.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: д.т.н. АРЗУМАНОВ А.А., БЕЛЯШОВА Н.Н.,
к.т.н. ГИЛЬМАНОВ Д.Г., д.ф.-м.н. ЖОТАБАЕВ Ж.Р. – **заместитель главного редактора**,
д.г.-м.н. ЕРГАЛИЕВ Г.Х., д.ф.-м.н. КАДЫРЖАНОВ К.К., КОНОВАЛОВ В.Е., к.ф.-м.н. МУКУШЕВА М.К.,
д.б.н. ПАНИН М.С., ПИВОВАРОВ О.С., ПТИЦКАЯ Л.Д., д.б.н. СЕЙСЕБАЕВ А.Т., к.ф.-м.н. СОЛОДУХИН В.П.,
д.ф.-м.н. ТАКИБАЕВ Ж.С. – **заместитель главного редактора**, д.ф.-м.н. ТАКИБАЕВ Н.Ж.

ҚРҰНДЫҚ

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫНЫҢ
МЕРЗІМДІК ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ ЖУРНАЛЫ

4(20) ШЫҒАРЫМ, ЖЕЛТОҚСАН, 2004 ЖЫЛ

NYC IRK Bulletin

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

ISSUE 4(20), DECEMBER 2004

СОДЕРЖАНИЕ

СТЕПЕНЬ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОЧВ РАЗЛИЧНЫХ ЛАНДШАФТОВ СЕМИПАЛАТИНСКОГО РЕГИОНА α-АКТИВНЫМИ РАДИОНУКЛИДАМИ И ИХ РОЛЬ В ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ЛАНДШАФТОВ РЕГИОНА.....	5
Тугельбаев С.С.	
МЕТОДИКА СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ГАММА-КАРОТАЖА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ^{137}Cs В СКВАЖИНАХ.....	9
Гринштейн Ю.А., Хайкович И.М.	
ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ ПРИ РАСЧЕТЕ РАДИАЦИОННОГО ФОНА ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ.....	16
Митяев А.В., Осинцев А.Ю., Стрильчук Ю.Г.	
О СОСТОЯНИИ ИЗУЧЕННОСТИ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА АДМИНИСТРАТИВНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ	21
Якупов В.С., Самойлов В.Я., Потапов А.А.	
РАДИОЭКОЛОГИЯ РЕКИ ТУРЫ И ЕЕ ПОЙМЕННЫХ ВОДОЕМОВ НА ТЕРРИТОРИИ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ	25
Трапезникова В.Н., Трапезников А.В., Николкин В.Н., Юшков П.И.	
РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ПОПУЛЯЦИЯХ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ, ОБИТАЮЩИХ В МЕСТАХ ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ.....	33
Сыпин В.Д., Осипов А.Н., Польский О.Г., Елаков А.Л., Сынзыныс Б.И., Егоров В.Г.	
ЭНДОКРИНОПАТИИ КАК СЛЕДОВЫЕ РЕАКЦИИ И ЭФФЕКТЫ ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ МАЛЫХ ДОЗ РАДИАЦИИ.....	38
Талалаева Г.В., Мыларщиков А.В., Зайкова И.О., Антропова Т.Б.	
НАРУШЕНИЕ МЕТАБОЛИЗМА НЕКОТОРЫХ ОКСИДОРЕДУКТАЗ В ПОЧЕЧНОЙ ТКАНИ ЖИВОТНЫХ ПРИ ДЕЙСТВИИ РАДИАЦИИ.....	48
Утешев А.Б., Макашев Ж.К., Утешев Т.А.	
ОКСИДОРЕДУКТАЗЫ В ПЕЧЕНОЧНОЙ ТКАНИ ЖИВОТНЫХ ПРИ ДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ.....	52
Утешев А.Б., Макашев Ж.К., Утешев Т.А.	
ОБМЕН ПУРИНОВЫХ НУКЛЕОТИДОВ ПРИ АДАПТАЦИИ ОБЛУЧЕННОГО РАДИАЦИЕЙ ОРГАНИЗМА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ	56
Жетписбаев Г.А. Жакиянова Ж.О., Аргынбекова А.С., Жетписбаев Б.А.	
СОСТОЯНИЕ ЛИМФОИДНЫХ ОРГАНОВ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ МАЛОЙ ДОЗЫ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ.....	59
Жетписбаев Г.А. Калибекова А.Д., Аргынбекова А.С., Жетписбаев Б.А.	
СОСТОЯНИЕ ЛИПОПЕРОКСИДАЦИИ В ИММУНОКОМПЕТЕНТНЫХ ОРГАНАХ И КЛЕТКАХ ПРИ ДЕЙСТВИИ МАЛОЙ ДОЗЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ	62
Жетписбаев Г.А. Аргынбекова А.С., Жетписбаев Б.А., Усенова О.	
ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПК «CRISTA» ДЛЯ РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА МАТЕРИАЛОВ.....	65
Логачев Ю.В.	
РАДИАЦИОННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ КРАТЕРОВ НА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ МИКРОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ	72
Гулькин А.В., Постников Д.В., Плотников С.В.	

УПРУГОЕ ДИФРАКЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛЕГКИХ КЛАСТЕРНЫХ ЯДЕР ПРИ НИЗКИХ И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЭНЕРГИЯХ С ЯДРАМИ	76
Исматов Е.И., Тукашев Ж.Б., Ажниязова Г.Т., Кутербеков К.А., Молдагалиев А.К.	
РАДИАЦИОННАЯ И КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ БЕРИЛЛИЕВЫХ ОБРАЗЦОВ-СВИДЕТЕЛЕЙ РЕАКТОРА ИВГ.1М.....	85
Бакланов В.В., Дерявко И.И., Коянбаев Е.Т., Кукушкин И.М., Малышева Е.В.	
РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СТЕРЖНЕВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ТВЭЛОВ НА ДВИГАТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ РЕАКТОРА ЯРД ИЛИ ЯЭДУ	90
Дерявко И.И.	
ВЫБОР РЕАКТОРА ДЛЯ АТЭЦ МАЛОЙ МОЩНОСТИ.....	99
Соловьев Ю.А., Лотов А.Б.	

УДК 504.5:539.16

**СТЕПЕНЬ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОЧВ РАЗЛИЧНЫХ ЛАНДШАФТОВ
СЕМИПАЛАТИНСКОГО РЕГИОНА α -АКТИВНЫМИ РАДИОНУКЛИДАМИ
И ИХ РОЛЬ В ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ЛАНДШАФТОВ РЕГИОНА**

Тугельбаев С.С.

Казахский национальный Университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан

В статье приводятся данные по распределению суммарных α -активностей в почвенном покрове различных ландшафтов территорий, прилегающих к полигону. Показаны некоторые связи в распределении с ландшафтно-климатическими условиями, в частности, с ветровым режимом данного региона.

Исследование проблемы радиационного загрязнения ландшафтов огромной территории прилегающей к бывшему Семипалатинскому испытательному полигону (СИП) на сегодняшний день остается одним из наиболее актуальных. Особенности загрязнения ландшафтов территории прилегающих к СИП, до сих пор изучены недостаточно. Большинство работ освещает характер распределения долгоживущих радионуклидов (^{137}Cs и ^{90}Sr) глобального выпадения [1-5] и их миграцию в различных ландшафтно-геохимических и климатических условиях. За время существования и после закрытия СИП радиационная обстановка региона перетерпела существенные изменения. Особенность СИП заключается в том, что на его территории многократно накладывались друг на друга радиоактивные осадки и локальные выпадения, которые распространялись в различных направлениях и далеко от эпицентра взрыва. Большинство опубликованных данных по региону отражают лишь часть обширной информации, касающейся в основном самой территории полигона. По другим же направлениям где радиоэкологическая обстановка не менее сложная, данных, к сожалению, немного или они отсутствуют.

В этой связи проблема загрязнения территории долгоживущими α -излучателями на сегодняшний день стоит особо остро. Основными α -излучателями являются, разумеется заряд боеголовок и естественные радионуклиды U и Th переплавленных горных пород. Общеизвестно, что при взрывах ядерных боеголовок, основная часть боезаряда не успевает вступить в ядерную реакцию и выпадает в виде различных соединений плутония и урана. В работе приводятся данные по содержанию α -излучателей в почвах различных ландшафтов региона. Такие исследования имеют теоретическое и практическое значение при прогнозировании радиационной обстановки конкретного региона.

В аридных территориях ветровой перенос радионуклидов с почв имеет важное значение, в особенности, для сухих территорий со скудной растительностью. Радионуклиды, переносимые ветром и водой, вместе с пылью скапливаются не только у основания кустов растений, где протекают важные жизненные процессы, характерные для пустынных

районов, но они могут интенсивно поступать в организм и ингаляционным путем, так как есть благоприятные условия для этого. Это, прежде всего, связано с мехсоставом почвенного покрова. Для исследуемого региона характерны, в основном, светлокаштановые почвы с легким мехсоставом, что поддается ветровой эрозии. Поэтому ветровой режим и связанный с ним перенос пыльных частиц имеет принципиальное значение для гигиенической оценки воздуха региона исследований.

Более подробно остановимся на некоторых климатических характеристиках района. Для примера выбраны две метеостанции, которые по нашему мнению являются репрезентативными для данного региона. Эти станции расположены в районе мелкосопочника, примыкающей к полигону территории. Основной цифровой материал приводится в таблицах 1 и 2. Расположенный внутри азиатского материка район мелкосопочника характеризуется континентальным с суровой зимой, жарким летом и короткими весенними и осенними периодами климатом. В летний сезон в условиях хорошо развитого Азорского антициклона на территорию Казахстана перемещаются сухие воздушные массы. Формы меридиональной циркуляции характеризуются разнообразием, что порождает и разнообразие ветрового режима. При зональном типе циркуляции имеет место западный перенос воздушных масс, который в ослабленном виде достигает и наш регион. Небольшие высоты Казахского мелкосопочника влияют на мезомасштабные процессы. Выпуклая форма рельефа и вытянутость ее вдоль 50-й параллели приводит к усилению возникающих процессов антициклогенезиса. На эти процессы накладываются локальные орографические влияния, обуславливающие проявление местных, локальных циркуляций, связанных с конкретными формами рельефа. Исходя из краткого описания циркуляционных процессов, перейдем к особенностям ветрового режима на исследуемой территории. Рассмотрим распределение значений средних месячных скоростей ветра по данным станций Баршата и Кайнар. Для района характерны умеренные потоки у земли, преимущественно в пределах 3 - 5 м/сек, за исключением отдельных локальных территорий, где скорости значительно усиливаются рельефом.

**СТЕПЕНЬ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОЧВ РАЗЛИЧНЫХ ЛАНДШАФТОВ СЕМИПАЛАТИНСКОГО РЕГИОНА
α-АКТИВНЫМИ РАДИОНУКЛИДАМИ И ИХ РОЛЬ В ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ЛАНДШАФТОВ РЕГИОНА**

Таблица 1. Средняя месячная и годовая скорость ветра (м/сек)

Станция	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
Кайнар	5,5	5,3	5,0	4,7	4,5	4,3	3,8	3,6	3,8	5,0	5,2	5,6	4,7
Баршатас	3,1	3,7	4,0	4,3	3,9	4,0	3,7	3,8	3,4	3,4	3,0	3,1	3,6

Таблица 2. Повторяемость направления ветра и штилей (%)

Месяц	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
Кайнар									
Январь	15	2	1	11	44	19	3	5	24
Июль	33	15	3	3	13	13	11	9	21
Баршатас									
Январь	19	39	6	22	9	3	0,5	1	11
Июль	20	29	8	10	3	10	8	7	6

В годовом ходе по станциям Кайнар максимум скоростей ветра наблюдается зимой. А по станции Баршатас максимум скоростей ветра наблюдается на оборот в весенне-летнее время. Под влиянием рельефа и характера подстилающей поверхности скорости существенно возрастают на отдельных участках района исследования. Режим направлений потоков у поверхности земли хорошо увязывается с упомянутыми циркуляционными процессами (таблица 2).

Так, зимой по станции Кайнар преобладают южные и юго-западные ветры, штиль составляет 24%. Летнее время по данной станции явно преобладают северные составляющие. Для станции Кайнар этот факт имеет принципиальное значение, поскольку именно с севера расположен полигон. На станции Баршатас зимой преобладают северо-восточные и юго-восточные направления. В отдельных случаях хорошо просматривается влияние рельефа на местные направления ветров. Горными долинами определяются юго-восточные и южные ветры на станции Кайнар. К лету вместе с ослаблением скоростей потоков менее устойчивыми становятся и их направления. Заметно возрастает число дней с северными преобладающими ветрами, что определяется большой повторяемостью северных вторжений и ветрами северной периферии среднеазиатской термической депрессии.

Анализ направлений и скоростей ветров и их сезонный характер показывает, что годовой режим ветров, в целом, циркулируя в пределах регионов восточной части мелкосопочника, постепенно ослабляясь, способствует осаждению пылевых частиц в данном регионе. Радионуклиды, в частности Pu и U выпадают в регионе в составе радиоактивных осадков локального выпадения. В почве, например, Pu очевидно, малоподвижен, поскольку находится в самом верхнем слое почвы в течение длительного времени. Токсичность плутония связана, прежде всего, с его радиологическими свойствами, т.е. при попадании Pu в организм происходит облучение альфа-частицами тех тканей, где он "застрял" [6]. По данным [7], концентрация Pu лишь в отдельных случаях достигает максимальных значений в слое глубже 10 см, а по нашим данным, в регионе СИП Pu достигает глубин до 15 см.

В таблице 3 приведены данные, полученные авторами в экспедиционных исследованиях 1993 г. [8]. В этой таблице приведены также результаты α-спектрометрического определения ^{238}U , ^{234}U и ^{239}Pu , радиохимически выделенных из 23 проб почв с повышенной α-активностью. В три пробы при радиохимическом выделении урана и плутония была добавлена известная активность ^{232}U (625 распадов/мин) в качестве индикатора химического выхода. Выход ^{232}U установлен от 18 до 23% при среднем значении 20%. В связи с этим измеренные активности изотопов урана и плутония умножались на 5.

В пробах установлено присутствие ^{239}Pu в количестве от $0,7 \times 10^{-10}$ до 42×10^{-10} Ки/кг. Максимальному значению активности соответствует весовая концентрация ^{239}Pu 67 нг/кг. Важно отметить, что максимальное количество ^{239}Pu установлено в пробе почвы, в которой выявлена максимальная концентрация ^{137}Cs (324×10^{-10} Ки/кг). Активность изотопов урана в большинстве проб превосходит активность ^{239}Pu и изменяется для ^{238}U от $0,4 \times 10^{-10}$ до 11×10^{-10} Ки/кг; максимальное значение соответствует весовой концентрации урана 3300 мкг/кг, что близко к среднему содержанию урана в гранитах. Отношение $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в большинстве проб больше 1 (до 3,7), что характерно для миграционного урана, выщелачиваемого из горных пород [9]. Однозначной корреляции между обнаруженными количествами урана и плутония и суммарной α-активностью проб не наблюдается, что, возможно, обусловлено пока еще малой статистикой данных, а также тем, что даже в состоянии радиоактивного равновесия в семействе урана на изотопы урана приходится всего 25% суммарной α-активности, а учитывая α-излучатели ториевого семейства доля урана составит 10-12%. Несмотря на относительно невысокое выявленное количество ^{239}Pu в почвах, следует учитывать, что этот изотоп относится к высшей группе радиационной опасности, допустимая концентрация его в воздухе 3×10^{-17} Ки/кг (5×10^{-7} нкг/л) [10]. Расчеты показывают, что такая концентрация ^{239}Pu может быть достигнута, если в 1 литре воздуха будет содержаться 10 мкг пыли вещества (например, почвы), содержащего 30×10^{-10} Ки/кг ^{239}Pu (максимальное установленное нами в почве 42×10^{-10} Ки/кг).

**СТЕПЕНЬ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОЧВ РАЗЛИЧНЫХ ЛАНДШАФТОВ СЕМИПАЛАТИНСКОГО РЕГИОНА
α-АКТИВНЫМИ РАДИОНУКЛИДАМИ И ИХ РОЛЬ В ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ЛАНДШАФТОВ РЕГИОНА**

Таблица 3. Результаты α-спектрометрического определения естественных (^{238}U , ^{234}U) и искусственных (^{239}Pu) радионуклидов

Номер пробы	Интенсивность α-излучения, ($\text{п} \times 10^{-10}$ Ки/кг)				Активность проб почв
	^{238}U	^{234}U	^{239}Pu	^{232}U (выход%)*	
II-5П(0-15)	≤0,3	≤0,3	≤0,3		19
IV-4П(0-15)	2,2	3,7	≤0,3		112
II-2П(0-5)	6,2	23	42		119
II-40П(0-5)	5,1	6,8	6,2		126
III-48П(0-15)	0,4	0,4	≤0,3	16	154
II-44П(0-15)	1,5	3,4	1,1		174
II-3П(0-15)	6,7	8,7	≤0,3	25	176
III-56П(0-15)	1,1	1,8	≤0,3		207
II-9П(0-5)	≤0,3	≤0,3	≤0,3		221
IV-17П(0-5)	0,7	1,3	0,7		228
II-24П(0-15)	11,0	14,6	2,0		236
IV-1П(0-15)	4,5	8,5	1,8		240
IV-33П(0-15)	11,6	14,3	≤0,3		242
II-16П(15-30)	5,3	10,7	≤0,3		246
III-25П(0-15)	10,3	14,9	≤0,3	18	252
III-63П(0-15)	≤0,3	≤0,3	≤0,3		271
II-37П(0-15)	1,0	1,7	1,8		289
II-38П(0-15)	≤0,3	≤0,3	≤0,3		318
II-40П(0-15)	4,5	7,5	1,3		324
IV-28П(0-15)	≤0,3	≤0,3	≤0,3		332
IV-4КП(15-30)	≤0,3	≤0,3	≤0,3		357
IV-17П(15-30)	0,4	1,1	1,4		359
II-43П(0-15)	3,1	3,2	2,1		386

* U^{232} выносился в процессе радиохимического выделения изотопов урана и плутония для оценки полноты выхода.

Общей закономерностью миграции всех исследованных радионуклидов независимо от источников их поступления в окружающую среду является вторичное их накопление в местных геохимических барьерах в результате дефляции и эрозии, и в условиях сильного испарительного и эвапорационного процесса в условиях сухого климата. В аридных районах, ветровой перенос пылеватых частиц почв, помимо их миграции по водным потокам, имеет важное значение, прежде всего, для сухих, со скудной растительностью районов. Поэтому можно предположить, что роль процессов дефляции, эрозии и вторичной аккумуляции радионуклидов в геохимических барьерах очень велика. Так как большая часть района исследования находится в замкнутом внутреннем бассейне, и здесь преобладает мелкопочный рельеф, то создаются идеальные условия для вторичного перераспределения и концентрации радионуклидов в естественных геохимических барьерах - пониженных участках района исследований.

Существенная роль рельефа земной поверхности в ряду факторов определяющих процессы миграции и аккумуляции вещества очевидна. Данные [11] аэрогаммаспектрометрических съемок, проведенных в различных регионах, показывают, что, в ряде случаев, наблюдается хорошая корреляция участков с относительно повышенной плотностью загрязнения радионуклидами с некоторыми аккумулятивными формами рельефа: участками выглаживания склонов, бессточными депрессиями (воронки, котловины), конусами выноса, фрагментами поим рек и ручьев и другими. Имеются основания считать, что таким образом проявляются процессы вторичной аккумуляции загряз-

няющего агента транспортируемого жидкими или сухими стоками из области первичного осаждения. Установлено, что в результате дефляции и эрозии в регионе произошло перераспределение радионуклидов в пониженные участки рельефа.

Резюмируя вышесказанное, можно отметить следующее. Радиохимическое выделение ^{238}U , ^{234}U и ^{239}Pu из 23 проб почв с последующим α-спектрометрическим их измерением, позволило выявить присутствие ^{239}Pu в 10 пробах от $0,7 \times 10^{-10}$ до 42×10^{-10} Ки/кг (предел обнаружения $0,3 \times 10^{-10}$ Ки/кг). Активность ^{238}U и ^{234}U в большинстве проб выше активности ^{239}Pu , при этом отношение $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ практически во всех пробах больше 1 (от 1,23 до 3,7), что является обычным для урана, выщелачиваемого из пород природными водами. Тем не менее, установленные нами факты присутствия в почвах ^{239}Pu однозначно подтверждает наличие радиоактивного следа ядерных взрывов далеко за пределами территории СИП.

Установленные уровни содержания радионуклидов как фактор *внешнего облучения* (только не внутреннего) для людей и животных опасности не представляют. Однако, как показывает расчет, допустимая концентрация ^{239}Pu в воздухе 3×10^{-17} Ки/л может быть достигнута, если в 1 литре воздуха будет находиться 10мкг пыли вещества (например, почвы), содержащего 30×10^{-10} Ки/кг ^{239}Pu (максимально установленное нами в почве 42×10^{-10} Ки/кг). Эти данные представляют важное значение с точки зрения гигиенической оценки количества радиоактивной пыли, поступающей в легкие в условиях пыльных бурь и постоянных ветров, что характерно для исследуемого региона.

ЛИТЕРАТУРА

1. О поведении радиоактивных продуктов деления в почвах, их поступление в растения и накопление в урожае./Под ред. В.М. Ключковского. –М.: АН СССР, 1956. - 171 с.
2. Марей А.Н., Бархударов Р.М., Новикова Н.Я. Глобальные выпадения цезия-137 и человек. –М.: Атомиздат, 1974, - 168 с.
3. Алексахин Р.М. Радиоактивное загрязнение почвы и растений. –М.: АН СССР, 1963. – 156 с.
4. Архипов Н.Г., Бондарь П.Ф. Накопление радиостронция сельскохозяйственными растениями из почвы в разных почвенно-климатических условиях: Материалы ГКИАЭ и НКРЗ. – М.: Атомиздат, 1978. – 24 с.
5. Павлоцкая Ф.И., Коробова Е.М., Горяченкова Т.А. Ландшафтно-геохимические исследования поведения искусственных радионуклидов. Тезисы докладов. Всесоюзное совещание. Суздаль 1989. Принципы и методы ландшафтно-геохимических исследований миграции радионуклидов. –М, 1989. – 44 с.
6. Кудрявцев Е.Г. Плутоний: разнообразие подходов и мнений.//Природа. 1995. - №12. - 5 с.
7. Essington, E.H., E.B.Fowler, R.O.Gilbert, and L.L.Ederhardt, 1976, Plutonium, Americium, and Uranium Concentration in Nevada Test Site soil Profiles, in Transuranium Nuclides in the Environment, Symposium Proceedings, San Francisco, 1975, pp.157-173, STI/PUB/410, International Atomic Energy Agency, Vienna.
8. Ибраев Р.А., Сыромятников Н.Г., Тугельбаев С.С. Отчет о НИР "Предварительная оценка распределения и концентрации химических элементов (включая искусственные ^{235}U , ^{239}Pu , ^{90}Sr , ^{137}Cs и естественные ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{232}Th , и ^{40}K радионуклиды) и биогеоценозах по магистральным биогеохимическим профилям на территориях критических зон СИП". –Алматы, 1993.
9. Сыромятников Н.Г., Иванова Э.И., Трофимова Л.А. Радиоактивные элементы как геохимические индикаторы породы- и рудообразования. –М.: Атомиздат. 1978. - 236с.
10. Нормы радиационной безопасности НРБ-76/87. М. Энергоатомиздат, 1988. - С. 74-75.
11. Гуров В.Н., Керцман В.М. Рельеф как фактор возможного перемещения радионуклидов.//В сб. Геохимические пути миграции искусственных радионуклидов в биосфере. Тезисы докладов V Конференции. Пушино. 1991. – 17 с.

СЕМЕЙ АЙМАҚТАРЫНЫҢ ӘРТҮРЛІ ЛАНДШАФТАРЫНДАҒЫ ТОПЫРАҚТАРДЫҢ α-АКТИВТІ РАДИОНУКЛИДТЕРМЕН ЛАСТАНУ ДӘРЕЖЕСІ ЖӘНЕ АЙМАҚТЫҚ ЛАНДШАФТАРДЫ ГИГИЕНАЛЫҚ БАҒАЛАУДАҒЫ ОЛАРДЫҢ РӨЛІ

Түгелбаев С.С.

Әл-Фараби атындағы қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

Мақалада полигон аймағы ландшафтарының топырақ жамылғысындағы жалпы альфа активті радионуклидтердің белсенділік деңгейі көрсетілген. Радионуклидтердің тарауының бөл іктердің нақтылы табиғи жағдайына соның ішінде ландшафтың – климаттық көрсеткіштердің әсіресе желдің бағыты мен күштілігіне байланысты екендігі келтірілген.

LEVEL OF SOIL CONTAMINATION OF DIFFERENT LANDSCAPES OF SEMIPALATINSK REGION BY α-ACTIVE RADIONUCLIDES AND THEIR ROLE IN SANITARY ESTIMATION OF REGION LANDSCAPES

S.S. Tugelbaev

Kazakh National University of Al-Farabi, Almaty, Kazakhsta

The data on distribution total α- activities in soil surface of various landscapes of the STS territory are resulted in the article. Some communications are shown in spread nuclear with landscape-climate conditions, in particular by wind conditions of the given region.

УДК 621.039.9:504.054

**МЕТОДИКА СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ГАММА-КАРОТАЖА
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ^{137}Cs В СКВАЖИНАХ**¹Гринштейн Ю.А., ²Хайкович И.М.¹*Институт геофизических исследований ННЦ РК, Курчатов, Казахстан*²*Всероссийский институт разведочной геофизики им. А.А.Логачева, Санкт-Петербург, Россия*

Излагается опыт применения малоканального спектрометрического гамма-каротажа (СГК), используемого в поисково-разведочной геофизике, для изучения распределения ^{137}Cs в скважинах Семипалатинского испытательного ядерного полигона (СИП). Отличительная черта методики – использование для калибровки аппаратуры интервалов скважин, в которых заведомо отсутствуют продукты ядерных взрывов. Измерения по предложенной методике проведены в 5-ти скважинах участка Балапан, что позволило установить наличие значимого содержания ^{137}Cs (до 400 Бк/кг в отдельных точках). Несмотря на то, что полученные результаты рассматриваются как предварительные (калибровка аппаратуры СГК выполнена на малогабаритных моделях), спектрометрический гамма-каротаж представляется перспективным для изучения миграции радионуклидов в глубине горного массива, а также при проведении Инспекции на месте (в соответствии с Договором о всеобщем запрещении ядерных испытаний - ДВЗЯИ). Однако для этого необходимо разработать аппаратуру и метрологическое обеспечение, отвечающие современным требованиям.

Большинство подземных ядерных взрывов в скважинах, выполненных в течение 1963- 1989 гг., проведены на площадке Балапан Семипалатинского испытательного полигона, а также на ряде полигонов, где они произведены в составе экспериментов при решении ряда задач народного хозяйства: интенсификации притока нефти, создания резервных емкостей – хранилищ углеводородного сырья, создания крупных гидротехнических сооружений, сейсмического зондирования земной коры и др.

После снятия завесы секретности появилось множество публикаций, освещающих различные аспекты воздействия ПЯВ на окружающую среду [1 - 4]. Однако в этих работах сравнительно мало фактических данных по распределению техногенных радионуклидов внутри горных массивов, по механизму и скорости миграции радионуклидов. В основном, приводятся результаты математического моделирования и предположительные оценки, которые часто отличаются друг от друга на порядки. Так, судя по [10], скорость миграции радионуклидов в подземных водах составляет 2 см/год, в [11] указан диапазон значений от 0,16-0,4 м/год до 7,7-123 м/год, а в [7, 8] говорится, что скорость миграции может достигать нескольких километров в год. В частности, в [7] указывается, что ^{137}Cs обнаружен в колодце на расстоянии 18 км от площадки Лира и в 1,5 км от скважин площадки Вега, а на Гежском и Осинском нефтяных месторождениях радиус загрязнения определен в пределах 1,0 - 10,0 км [8]. В большинстве публикаций о радиоэкологической ситуации в местах проведения ПЯВ приводятся данные, относящиеся к дневной поверхности, которые, характеризуют, в основном, фоновые значения содержания техногенных радионуклидов [6] и выявляют локальные аномалии. Не приводятся сведения ни об уровне загрязнения, ни о распределении ра-

дионуклидов внутри горных массивов или по глубине геологического разреза отдельных скважин. Частично это может быть связано с тем, что бурение экспериментальных скважин не сопровождалось проходкой и изучением глубоких контрольно-наблюдательных скважин. Кроме того, практически не уделялось внимания методам изучения радионуклидов внутри горных массивов.

Для изучения распределения ^{137}Cs по скважинам участка Балапан Семипалатинского испытательного полигона в опытном порядке в 2001 г. была применена методика малоканального спектрометрического гамма-каротажа (СГК), основанного на измерении спектра в ограниченном числе энергетических окон, соответствующих определяемым радионуклидам [14, 15]. В составе метода для учета фона многократного рассеяния квантов в области аналитической линии ^{137}Cs предложена и реализована методика, суть которой состоит в том, что вклад рассеянного излучения в аналитический канал цезия от естественных излучателей учитывается с помощью коэффициентов, устанавливаемых по результатам измерения интенсивности излучения, в энергетических интервалах аналитических линий соответствующих естественных радионуклидов.

Выбор метода обусловлен большим положительным опытом его применения в поисково-разведочной геофизике, а также тем, что проведение СГК не требуют дополнительного оборудования или специальной подготовки скважин (например, установки фильтров, отбора и анализа большого числа проб и т.д.). Метод и может составить основу при организации радиоэкологического мониторинга радиоактивного загрязнения на объектах проведения подземных ядерных взрывов.

Всего на участке Балапан исследовано 5 скважин, из них 4 - гидрогеологические (4002, 4003,

4018 и 4019) и одна (скважина 1340-II – подготовленная, но не использованная для ядерного испытания. Конструкция всех гидрогеологических скважин примерно одинакова: до 40-60 м скважины обсажены трубами диаметром 146 мм толщиной до 5 мм, глубже – диаметр обсадки уменьшается до 132-112 мм. Ни одну из скважин не удалось исследовать до забоя, поскольку в них проводились взрывы при сейсмических исследованиях. Глубина исследованных интервалов колеблется в пределах 40-80 м.

Геологический разрез, вскрываемый гидрогеологическими скважинами, сложен углистыми сланцами коконской свиты, содержащей редкие прослои

песчаников и туфов. Породы характеризуются северо-западным простиранием с падением на юго-запад под углами 40-50°. В верхней части разреза на глубинах 15-30 м развита мезозойская кора выветривания, переходящая ниже в зону трещиноватых пород, к которой приурочен горизонт трещинно-поровых вод. Разрез перекрыт неогеновыми глинами мощностью до 20 м.

Параметры взрывов и расстояния между исследованными скважинами и скважинами, в которых ранее были взорваны ядерные заряды, так называемыми «боевыми» скважинами, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры взрывов и расстояния до изучаемых скважин

«Боевые» скважины				Гидрогеологические скважины		
№№ скв.	Дата взрыва	Глубина взрыва	Мощность взрыва в кт	№№ скв	Расстояние до боевой скв. в км	Глубина каротажа в м
1314	05.12.82	529	120	4002	0,50	60
				4003	0,25	40
				4018	0,60	80
				4019	0,75	80
1061	02.11.72	521	160	4002	1,0	60
				4003	0,75	40
				4018	0,40	80
				4019	0,75	80
1010	11.06.78	505	60	1340-II	1,9	360
1232	22.04.81	535	90		1,1	
1201	21.04.76	515	20		1,0	
1341	15.06.85	485	115		1,6	
1307	26.10.83	505	115		0,85	

Постановке СГК предшествовали опытные работы на малогабаритных моделях рудных тел, которые представляют собой цилиндры из полиэтилена длиной 200 мм, с внутренним диаметром 100 мм и внешним диаметром 200 мм, заполненные однородной рудной массой с известным содержанием ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th . Масса радиоактивного материала в каждой модели составляла порядка 6 кг и, в первом приближении, модели обеспечивали «насыщение по спектру гамма-излучения» в 4π - геометрии. Параметры моделей приведены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры моделей, имитирующих «насыщение по спектру гамма-излучения» в 4π - геометрии

Модель	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг			
	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Фоновая	<2	<2	<2	<20
Цезиевая-1	800	<3	<3	<20
Цезиевая-2	1500	<7	<7	<20
Калиевая	<1	16	26	800
Радиевая	<1	1600	<20	<20
Ториевая	60	<10	100	<20

Измерения методом СГК проводились в энергетическом диапазоне 0,2-3,0 МэВ с регистрацией полного гамма-спектра на жесткий диск персонального компьютера типа Notebook, который входил в комплект измерительного комплекса. Последний был смонтирован на базе каротажной станции СК-1-74 и состоял из:

- 6-и канального каротажного гамма-спектрометра ПСК-1;
- скважинного прибора СГСЛ-2, где в качестве детектора использовался кристалл NaI(Tl) размером 30х70мм и ФЭУ-85;
- анализатора импульсов АИ-1024.

Стабилизация энергетической шкалы спектрометра осуществлялась цифровой дифференциальной системой автостабилизации спектрометра ПСК-1, опорным сигналом служил световой репер. При обработке спектров было установлено, что разрешение аппаратуры по линии ^{40}K (1460 кэВ) с доверительной вероятностью 0,95 не выходит за пределы (6,90 ± 0,25)%, что свидетельствует о хорошей стабильности энергетической шкалы спектрометра.

Разрешение спектрометрического тракта по линии 0,661 кэВ (^{137}Cs) составило 8%.

По спектрам, измеренным на моделях, установлено, что энергия излучения Y (кэВ) и номер канала расположения фотопиков гамма-излучателей X связаны линейной зависимостью

$$Y = 5,76X - 44,8. \quad (1)$$

Результаты измерения положения фотопиков и значения интегральной нелинейности, рассчитанной с использованием формулы (1), приведены в таблице 3.

Таблица 3. Положение фотопиков и значения интегральной нелинейности

Наименование источника	Энергия излучения (кэВ), (Y)	Номер канала расположения фотопика (X)	Расчетная энергия (кэВ)	Относительная погрешность %
Торий	582	109	583	0,49
Радий	608	112	600	1,29
Цезий	661	123	663	0,38
Радий	1120	203	1124	0,37
Калий	1460	262	1464	0,27
Радий	1760	314	1763	0,19
Торий	2620	462	2616	0,17
Среднее				0,45

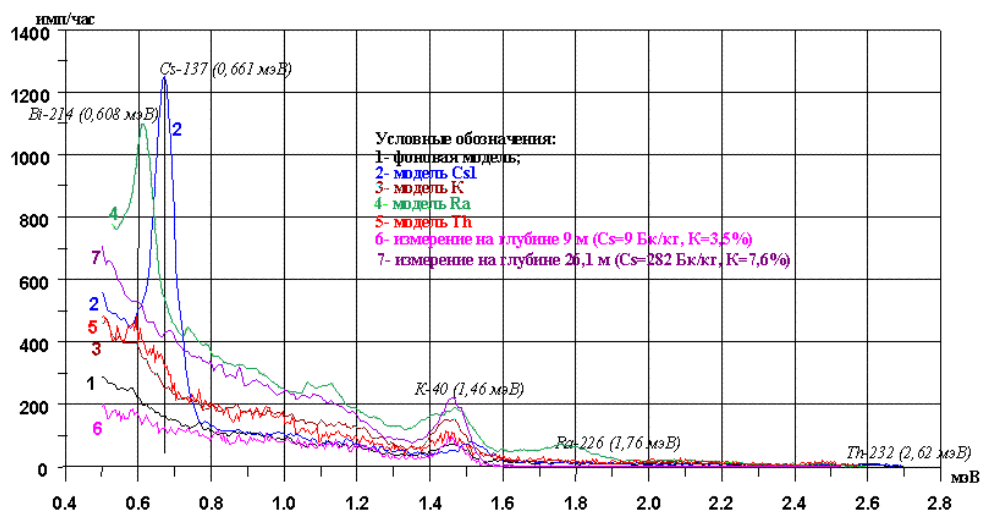


Рисунок 1. Спектральное распределение гамма-квантов, измеренное на моделях и в скважине 4018

Из таблицы 3 следует, что нелинейность энергетической характеристики усилительного тракта не превышала 1,3% и в среднем составила 0,45%. Из (1) следует, что энергетическая характеристика спектрометра имеет положительную отсечку, равную, примерно, 8 каналам, а фотопик ^{40}K (1460 кэВ) располагается в районе 250-260 канала. Пик светового репера был установлен в районе 650 канала.

Спектры, измеренные на моделях, приведены на рисунке 1.

Из рисунка 1 видно, что фотопик ^{137}Cs (0,661 МэВ) расположен в области достаточно высокого и «крутого» участка комптоновского рассеяния и при разрешении по этой энергии 8% на фотопик цезия накладывается гамма-излучение линии 0,609 МэВ ^{214}Bi . Это может приводить к тому, что в скважинных условиях и при малых содержаниях ^{137}Cs его фотопик не будет проявляться на фоне интенсивного комптоновского рассеяния естественных радионуклидов – калия, урана/радия и тория. В этом нетрудно убедиться на простой математической модели, когда на «гауссиан» $\dot{o}_0 = C \exp\left(\frac{(E - E_0)^2}{2\sigma^2}\right)$, имитирующий фотопик с максимумом в точке E_0 , накладывается фон в виде линейной зависимости $y_1 = ax + b$, так что результирующий сигнал равен

$$Y = aE + b + C \exp\left(\frac{(E - E_0)^2}{2\sigma^2}\right). \quad (2)$$

Если в (2) ввести замену $(E - E_0)/\sqrt{2}\sigma = t$, то Y можно записать в виде:

$$Y = At + B + e^{-t^2},$$

$$A = \frac{\sqrt{2}aE_0}{C}\sigma_0, \quad B = \frac{aE_0 + b}{C} \dots \quad (3)$$

$$\sigma_0 = \frac{\sigma}{E_0}$$

Максимум Y будет, очевидно, в точке T , которая удовлетворяет уравнению

$$T \exp(-T^2) = A/2, \quad (4)$$

причем, если $A < 0$, то $T < 0$ и, следовательно, $E < E_0$, т.е. максимум сместится влево от точки E_0 .

Нетрудно подсчитать, что при $\sigma_0 = 8\%$ и $C/(|a|E_0) = 0,2$ (фон превышает сигнал не менее, чем в 5 раз) $|T| \approx 0,31$ и максимум сигнала 0,661 МэВ сместится на 23,2 кэВ или более, чем на 4 канала, а при $C/(|a|E_0) < 1,166\sigma_0 \approx 0,09$ максимум не будет проявляться. Отмеченный эффект наблюдается на спектре, полученном при измерениях в сква-

жине на глубине 26,1 м (рисунок 1, кривая 7), где в результате интерпретации установлено, что в точке измерения содержание ^{137}Cs составляет примерно 280 Бк/кг, однако при этом фотопик линии цезия практически не наблюдается.

Вышеприведенное обсуждение свидетельствует о том, что при использовании аппаратуры, разрешение которой по линии 0,661 МэВ не превышает 8%, для определения малых содержаний ^{137}Cs в скважине можно использовать только метод «малоканальной» гамма-спектрометрии [14,15].

Таблица 4. Положение энергетических «окон» и результаты измерений в них скоростей счета на моделях

Модель	Скорость счетов в имп/час, положение каналов в мэВ			
	0,64-0,72 МэВ	1,42-1,50 МэВ	1,70-1,82 МэВ	2,5-2,7 МэВ
	$J_{Cs}, \text{ч}^{-1}$	$J_K, \text{ч}^{-1}$	$J_{Ra}, \text{ч}^{-1}$	$J_{Th}, \text{ч}^{-1}$
Фоновая	4000	1690	410	200
Цезиевая1	14560	1740	480	250
Цезиевая2	24600	1700	450	220
Калиевая	4760	2400	510	270
Радиевая	7100	2550	1310	230
Ториевая	5320	1780	610	380

По результатам измерений на моделях рассчитана чувствительность аппаратуры к анализируемым элементам. Чувствительность (в имп/час на 1 Бк/кг) составила для цезия – 13,2; для калия – 0,775; для радия – 0,379, для тория – 1,4.

Интерпретация результатов малоканального СГК обычно проводится с использованием стандартных образцов (СО), имитирующих условия измерений, причем их должно быть на единицу больше числа определяемых радионуклидов. В условиях отсутствия СО для интерпретации полученных данных СГК использована методика, предложенная Ю.А. Гринштейном и имеющая следующее обоснование.

При отсутствии ^{137}Cs в исследуемом интервале, измеренная скорость счета в цезиевом канале J_{Cs} будет зависеть только от рассеянного гамма-излучения естественных радионуклидов и потому, поэтому можно записать:

$$J_{Cs}^{(0)} = (k_1 J_K + k_2 J_{Ra} + k_3 J_{Th} + A_0), \quad (5)$$

где J_K, J_{Ra}, J_{Th} – измеренные скорости счета в энергетических «окнах», соответствующих гамма-излучению калия, радия и тория; k_1, k_2, k_3 – коэффициенты вкладов в цезиевое «окно» от излучения калия, радия и тория, соответственно; A_0 – свободный член.

Предположим, что в скважине имеется $n \geq 4$ интервалов, в которых отсутствует цезий. Тогда для них можно составить систему уравнений типа (5), результатом решения которой (например, методом наименьших квадратов) будут значения коэффициентов k_i ($i=1,2,3$) и A_0 . Затем, используя полученные коэффициенты, по интервалам, где предположительно есть цезий, можно из результатов измерений скоростей счета в «окне» цезия, вычесть вклад излу-

чения от естественных радионуклидов (для каждого измерения в скважинах) и определить вклад гамма-излучения именно для ^{137}Cs – J_{Cs} :

$$J_{Cs} = J_{Cs}^{(1)} - (k_1 J_K^{(1)} + k_2 J_{Ra}^{(1)} + k_3 J_{Th}^{(1)} + A_0), \quad (6)$$

где $J_{Cs}^{(1)}, J_K^{(1)}, J_{Ra}^{(1)}, J_{Th}^{(1)}$ – измеренные значения скорости счета в энергетических «окнах», соответствующих гамма-излучению цезия, калия, радия и тория.

Отсюда можно получить значение удельной активности цезия (первое приближение)

$$C_{Cs} = \frac{J_{Cs}}{13,2} \text{ Бк/кг} \quad (7)$$

где 13,2 – чувствительность метода в имп/час на 1 Бк/кг, установленная по результатам измерения на моделях.

Затем из полученных данных можно вновь отобрать в градуировочный массив измерения, где содержание цезия близко к нулю, из них составить систему уравнений типа (5), решение которой позволит получить уточненные значения коэффициентов k_i ($i=1,2,3$) и A_0 для скважинных условий и т.д. Таким образом, методом последовательных приближений можно провести поиск коэффициентов k_i ($i=1,2,3$) и A_0 до тех пор, пока изменение подсчитанных значений удельной активности цезия в градуировочном массиве не станут меньше ± 12 Бк/кг, т.е. тройного порога чувствительности.

В таблице 5 даны значения коэффициентов k_i ($i=1,2,3$) и A_0 , с использованием которых проведена интерпретация данных СГК по скважинам участка Балапан Семипалатинского испытательного полигона.

Таблица 5. Численная величина коэффициентов k_i ($i=1,2,3$) и A_0

Объект	$A_0, \text{ч}^{-1}$	k_1	k_2	k_3
Модели	650	0,771	3,556	0,46
Скважины	12	1,62	1,71	1,61

Полевые измерения проведены в скважинах по следующей методике:

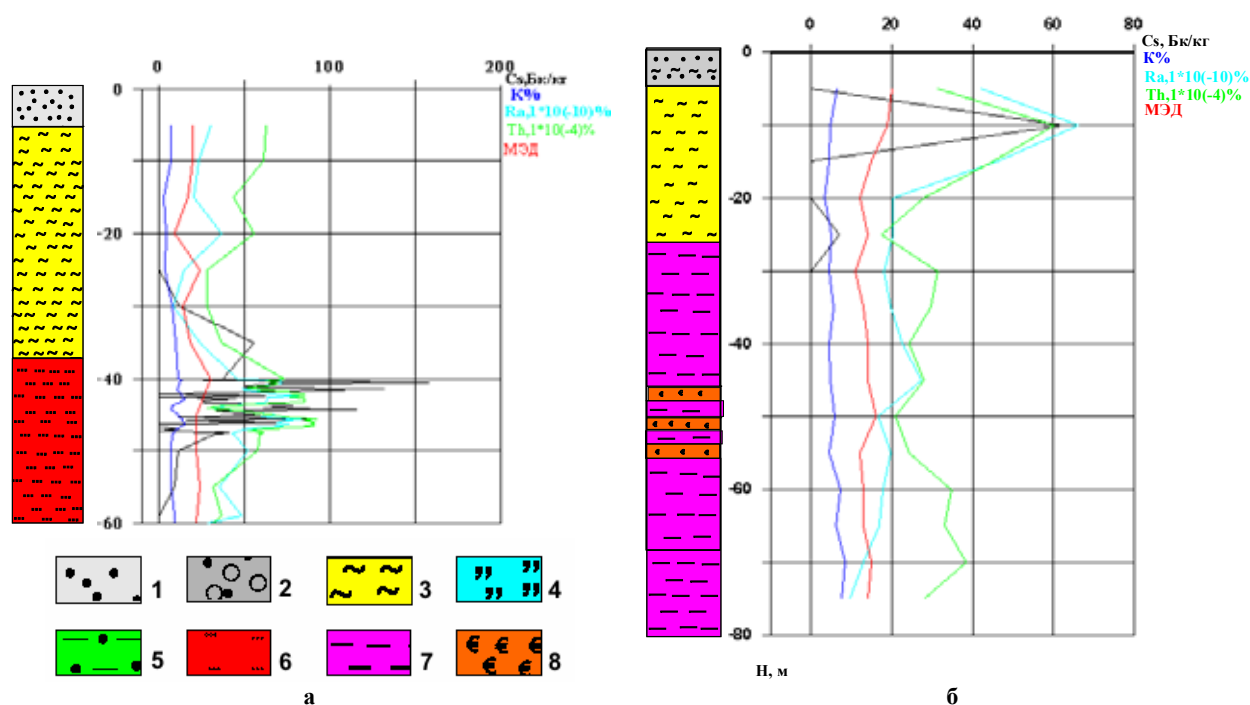
1. В скважине выполнялся гамма-каротаж. В пределах зарегистрированных гамма-аномалий выбирались точки для спектрометрических измерений со средним шагом около 5 м.

2. Проводился спектрометрический каротаж с шагом порядка 5 м. Продолжительность каждого измерения составляла 1 час.

Поскольку обсадные трубы были частично разрушены взрывами во время проведения сейсморазведки, измерения, как правило, начинались с глубины 3-5 м.

3. На некоторых аномалиях, например, в скважинах 4002 и 4018, проводилась детализация с шагом 0,2 м.

Результаты интерпретации данных SGK по всем исследованным скважинам в обобщенном виде приведены в таблице 6, а по скважинам 4002 и 4019 – еще и на рисунке 2.



1-песок; 2 – песок, глины; 3 – глины; 4 – кора выветривания; 5 – алевролиты; 6 - песчаник; 7 – углистые сланцы; 8 – туфы андезитов

Рисунок 2. Результаты ГК и SGK по скважинам участка Балапан: а – 4002; б – 4019

Таблица 6. Средние значения удельных активностей ^{137}Cs по выделенным интервалам

Скв. 4002		Скв. 4003		Скв. 4018		Скв. 4019		Скв. 1340-II	
Интервал, м	$C_{\text{Cs}}, \text{Бк/кг}$	Интервал, м	$C_{\text{Cs}}, \text{Бк/кг}$	Интервал, м	$C_{\text{Cs}}, \text{Бк/кг}$	Интервал, м	$C_{\text{Cs}}, \text{Бк/кг}$	Интервал, м	$C_{\text{Cs}}, \text{Бк/кг}$
0-25	0	0-10	0	0-20	14	0-5	0	5-20	70
25-47,6	60	10-39	5	20-25	25	5-15	50	20-160	10
47,6-60	5	39-40	105	25-30	275	15-75	0	160-225	38
				30-50	50			225-290	25
				50-55	350			290-320	43
				55-66,3	40			320-355	55

Данные, приведенные в таблице 6, получены в условиях, когда для определения чувствительности метода были использованы малообъемные модели. В этой связи эти данные следует рассматривать как сугубо предварительные.

В то же время из полученных данных видно что:

- содержание ^{137}Cs в разрезе колеблется в пределах 0-275 Бк/кг.
- наблюдается преимущественная приуроченность аномалий ^{137}Cs к уровню грунтовых вод;

- из результатов каротажа по скважине №1340-II видно, что с увеличением глубины наблюдается плавное возрастание содержания ^{137}Cs , что, может быть связано с приближением к ядерным полостям, окружающих исследуемую скважину;
- максимальные аномалии ^{137}Cs (до 400 Бк/кг) наблюдаются в скважине 4018. Скважина расположена в 400 м к северо-востоку от «боевой» скв. 1061.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в районе проведения подземных ядерных взрывов спектрометрический гамма-каротаж является перспективным методом обнаружения ^{137}Cs – для оценки масштабов радиоактивного загрязнения горного массива, при изучении процессов миграции радионуклидов из полостей ПЯВ, при выполнении миссии «Инспекция на местах» в соответствии с Договором о всеобщем запрещении ядерных испытаний. Перспективно применение SGK для организации мониторинга процессов миграции продуктов ядерных взрывов. Однако, для достоверного решения перечисленных задач необходимо улучшить аппаратуру и метрологическое обеспечение метода. В частности, необходимо:

- создать скважинный прибор с детектором - кристаллом NaI(Tl) объемом не менее 0,5 л, что

позволит значительно повысить производительность метода за счет уменьшения времени экспозиции;

- разработать блок наземного АЦП с управляемым усилителем, который должен позволить проводить стабилизацию энергетической шкалы спектрометра по фотопику излучения ^{40}K (1460 кэВ). Использование этого устройства значительно повысит стабильность измерительного тракта;
- создать комплект моделей скважин, отвечающих по своим параметрам современным требованиям, предъявляемым к подобным изделиям;
- разработать пакет программ, позволяющих проводить дополнительную стабилизацию шкалы спектрометра и автоматизировать весь процесс обработки.

В заключение следует отметить, что описанная методика SGK в 2002 г. была рассмотрена и одобрена Научно-методическим Советом по геолого-геофизическим технологиям поисков и разведки твердых полезных ископаемых при ВИРГ-Рудгеофизика Министерства природных ресурсов Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адушкин В.В. Характеристика выхода радиоактивных продуктов ПЯВ. Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях. Международная конференция. Труды. М., 24-26 апреля 2000. - М.: Гидрометеоиздат, 2000.
2. Адушкин В.В. Влияние геологических факторов на распространение радиоактивных продуктов при подземных ядерных взрывах//Труды Международной конференции «Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях». 24-26 апреля, 2000. - М.: Гидрометеоиздат. - С. 585-593.
3. Адушкин В.В., Спивак А.А. Характеристики выхода радиоактивных продуктов подземного взрыва в атмосферу//Труды Международной конференции «Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях». 24-26 апреля, 2000. - М.: Гидрометеоиздат. - С. 601-615.
4. Александров О.Е., Селезнев В.Д. Проблемы диффузии радиоактивных загрязнений в горных породах//Изв. Вузов. Ядерная энергетика, 1997, № 2.
5. Алексеев А.А. и др. Некоторые предварительные оценки закономерностей распределения радионуклидов вблизи скважин ПЯВ//Радиационное загрязнение территории Республики Саха (Якутия): проблемы радиационной безопасности. Якутск, 1993 г. - С.90-109.
6. Адамский В.Б., Турчин И.Ф., Чернышев А.К. Ядерные взрывные эксперименты на площадке ГАЛИТ и радиационная обстановка на площадке в настоящее время. – РФЯЦ – ВНИИЭФ. Доклад на Междунар. научно-практич. совещании в НЯЦ РК г.Курчатов, 7-8 октября 1996 г.
7. Бахарев П. и др. Радиоактивное "загрязнение". Экологические последствия использования подземных ядерных взрывов на объектах нефтегазового комплекса//Нефть России, 2001, №1. - С.86-89.
8. Бахарев П., Кирюхина Н., Шахиджанов Ю. Полигон//Нефть России, 2001, №12. - С.74-76.
9. Бачурин Б.А. Подземные ядерные взрывы в районах нефтедобычи Пермского Прикамья: Радиоэкологические аспекты//Проблемы безопасности при эксплуатации месторождений полезных ископаемых в зонах градопромышленных агломераций: Материалы международного симпозиума, SRM-95. [Екатеринбург], сент., 1995. - Екатеринбург, 1997. - С.420-427.
10. Ганеев Г.З., Кислицын С.Б., Туркебаев Т.Э. Моделирование распространения радионуклидов из подземной полости объекта «Ли́ра»//Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде, Семипалатинск, 2000. - С.328-330.
11. Геворкян С.Г., Голубов Б.Н. О деформациях полостей подземных ядерных взрывов в р-не Астраханского газоконденсатного м-ния (АГКМ)//Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология, 1998, №2. - С.17-37.
12. Кадыржанов К.К. и др. Комплексный мониторинг объектов Ли́ра//Труды Международной конференции «Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях». 24-26 апреля, 2000. – М.: Гидрометеоиздат. - С. 650-656.
13. Бахарев П., Кирюхина Н., Шахиджанов Ю. Радиоактивное «загрязнение»//Нефть России, №1, 2001.
14. Методическое руководство по пешеходной, автомобильной и скважинной гамма-спектральным съемкам. - М., 1975. - 107 с.
15. Аэрогамма-спектрометрический метод поисков рудных месторождений. Методическое руководство. Под ред. Воробьева В.П. - Л.: Недра, 1977.

**ӘР МАҚСАТТАҒЫ ҰҢҒЫМАЛАРДА ^{137}Cs МӨЛШЕРІН АНЫҚТАУ
ҮШІН СПЕКТРОМЕТРЛІК ГАММА-КАРОТАЖЫНЫҢ ӘДІСТЕМЕСІ**

¹⁾Гринштейн Ю.А., ²⁾Хайкович И.М.

¹⁾*ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

²⁾*А.А. Логачев атындағы Бүкілресейлік барлау геофизика институты, Санкт-Петербург, Ресей*

Семей сынау полигонының (ССП) ұңғымаларында ^{137}Cs таралуын зерделеу үшін азарналы спектрметрлік гамма-каротажын қолдану тәжірибесі баяндалады. Әдістеменің ерекше белгісі – ядролық жарылыстар өнімі жоқ ұңғымалардың жоларалықтарын аппаратураны калибрлеу үшін пайдалануы. Ұсынылған әдістеме бойынша Балапан бөлікшесінде 5 ұңғымасында өлшеулер өткізілген. Барлық ұңғымаларда ^{137}Cs маңызды мөлшері (кейбір нүктелерде 400 Бк/кг дейін) болуы анықталған. Алынған нәтижелер алдын ала болуы ретіндегіне қарамастан (СГК аппаратурасының калибрлеуі кішігабаритті үлгілерде орындалған) спектрметрлі гамма-каротаж тау массивтері тереңдігінде радионуклидтер миграциясын зерделеуіне, сондай-ақ Орнындағы инспекциясын өткізуінде (Ядролық сынауларына бәрін сыйдыратын тыйым салу туралы шартының шегінде) перспективті болып көрінеді. Бірақ бұл үшін қазіргі заманның талаптарына жауап беретін аппаратурасы мен тиісті метрологиялық қамтамасыздығын жасау қажет.

**METHODOLOGY OF SPECTROMETRIC GAMMA-LOGGING
FOR ^{137}Cs CONTENT DETERMINATION IN BOREHOLES**

¹⁾Yu.A. Greenshtein, ²⁾I.M. Khaikovich

¹⁾*Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan*

²⁾*All-Russian Institute of Exploration Geophysics after A.A. Logachev, Saint-Petersburg, Russia*

Experience of using the low-channel spectrometric gamma-logging (SGL) in order to study the distribution of ^{137}Cs in boreholes of Semipalatinsk Nuclear Test Site (STS) is being described. The distinguishing peculiarity of the methodology is boreholes intervals use (which lack nuclear fission products) for equipment calibration. The measurement on the proposed methodology was carried out in 5 boreholes of Balapan Site. Significant content of ^{137}Cs was observed in all boreholes (up to 400 Bq/kg in separate spots). Despite the obtained results are considered as preliminary ones (SGL equipment calibration was carried out at small-size models), spectrometric gamma-logging seems to be perspective for radionuclide migration investigation in the depth of mountain massive and also at On-Site Inspection activities conduction (in accordance with the Comprehensive Nuclear Test-Ban-Treaty – CTBT). However, it is necessary to create equipment and proper metrologic provision that meets modern requirements.

УДК 519.24(577.4)

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ ПРИ РАСЧЕТЕ РАДИАЦИОННОГО ФОНА ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

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

Институт радиационной безопасности и экологии ННЦ РК, Курчатов, Казахстан

Приведен математический аппарат, применяемый при статистической обработке данных, полученных в результате обследований на полигоне. Приведены расчеты радиационного фона обследованной территории СИП. Предложена градация радиоактивного загрязнения территории. Был обработан большой массив данных содержания ^{137}Cs в почвах СИП, определены фоновые значения содержания ^{137}Cs . Проведено ранжирование загрязнения радионуклидом ^{137}Cs и построена карта его распределения на территории СИП.

ВВЕДЕНИЕ

Современные радиоэкологические исследования, позволяющие получать большие массивы данных, не могут обходиться без математической обработки. Применение математической статистики необходимо для решения одной из основных задач, стоящих при обследовании мест антропогенного радиационного загрязнения – выявление радиационного фона и дифференциация территорий по уровню загрязнения [1].

В настоящее время методы статистической обработки результатов исследований площадных загрязнений техногенными радионуклидами недостаточно освещены. Основные методы статистической обработки нашли применение в геостатистике, геохимии, геологии, геологическом картировании и др. Основные положения исследований в данных науках и радиоэкологии во многом сходятся [2]. Поиск очагов загрязнения и фоновых величин содержания радиоактивных элементов при обследовании территорий похож на поиск рудных тел и определение кларков. В случае изучения радионуклидного загрязнения не все эти методы применимы. Это связано с тем, что распределение естественных элементов носит закономерный характер (как правило, подчиняется нормальному или логнормальному законам распределения), в то время как характер техногенного радиоактивного загрязнения пока недостаточно изучен, и, как следствие, не определен закон его распределения. Поэтому невозможно говорить о местах загрязнения с той же долей вероятности, на какую указывают методы обработки, взятые у смежных наук. Так же для обработки радиоэкологических данных невозможно полностью использовать методы заимствованные у других наук, так как радиационное загрязнение, как правило, носит крайне неравномерный характер. Нужно ли для определения радиационного фона территории и разграничения более или менее загрязненных участков обрабатывать весь массив данных или сначала необходимо исключить известные загрязненные территории? На этот вопрос ни один метод смежных наук не дает точного ответа. Поэтому приходится опытным путем проверять правильность уже имеющихся методов и разрабатывать новые. Для этого приходится

вводить поправки в существующие методы, комбинировать их, чтобы добиться наиболее вероятного распределения, а в конечном результате обоснованно определить радиационный фон территории и провести ранжирование территории по степени загрязнения. Радиационный фон территории является расчётной величиной и зависит от многих факторов, таких как методы радиологического обследования, географическое положение, близость каких либо радиационно-загрязнённых объектов (штолен, скважин, мест проведения атмосферных ядерных испытаний) и другие факторы. Для дифференциации загрязнения на данный момент мы можем опираться только на одну более или менее достоверную величину – это фон глобальных выпадений. Но эта величина не может однозначно характеризовать загрязнение территории полигона и прилегающих к нему регионов. Данное утверждение связано с тем, что территория полигона и прилегающих регионов находится в зоне ближних радиоактивных выпадений и как следствие подверглась гораздо большему радиоактивному воздействию. Оценка величины плотности глобальных выпадений в конкретной местности зависит от многих факторов, поэтому для корректных сравнительных оценок следует пользоваться местными (региональными) значениями, которые следует вычислять. В этой работе предлагается метод вычисления, на наш взгляд, наиболее приемлемый для расчета радиационного фона территории бывшего СИП.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ

Полученный в результате радиоэкологических исследований большой массив данных, характеризующий распределение радионуклидного загрязнения территории СИП, 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. Статистическая обработка данных позволяет, мате-

математически обосновано ранжировать территорию по уровню загрязненности местности тем или иным радионуклидом, а так же определять радиационный фон обследованной территории.

РАСЧЕТ РАДИАЦИОННОГО ФОНА ТЕРРИТОРИИ

В настоящее время не существует точной и однозначной формулировки понятия радиационного фона территории, а также методов расчёта его величины. Разные источники [3,4] предлагают разные определения для данной величины. Так же предлагаются разные методики для их нахождения. Некоторые авторы [3] считают, что фон – это все значения принадлежащие диапазону значений до фона глобальных выпадений, рассчитанному для территорий дальних выпадений. Другие источники [4] считают, что фон – это усредненное значение изучаемой характеристики для достаточно большой территории. В данной работе поддерживается второе определение, но при этом предлагаются некоторые поправки.

Радиационным фоном территории является усредненное значение исследуемого параметра, характеризующее большую часть значений изучаемого параметра на данной территории в данный момент времени. Фон территории – это диапазон значений приближенных к взвешенной средней арифметической на одно среднеквадратическое отклонение. При такой формулировке дается более точное выражение фона через конкретные значения. Так же в расчетах применяемых в данной работе участвует взвешенная средняя арифметическая. И разработчики данной методики считают обязательным ее применение, так как радиационное загрязнение, как правило, носит очень неравномерный характер и при использовании не взвешенной средней арифметической большие значения исследуемого признака (радионуклида, тяжелого металла) будут сильно завышать оценку фона территории.

Формула расчета фона имеет следующий вид [5]:

$$\text{Фон} = \text{Avg}_{\text{взв}} + \sigma,$$

ВЫПАДЫ И АНОМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ

Для получения более достоверных результатов статистической обработки (расчёта фоновых величин, изучение характера распределения загрязнения и т.д.) весь массив данных анализируется на наличие аномальных значений - выпадов. Выпады – это значения, резко отличающиеся от остальных значений в выборке. Выпады являются аномальными значениями, единичными случаями проявления активности в определенном измерении в силу различных обстоятельств.

Наличие выпадов может быть обусловлено наличием аномально высокого радиационного загрязнения, не характерного для всей обследуемой территории. Это загрязнение в пределах территории СИП может быть обусловлено содержанием в пробах "горячих" частиц, проведением испытаний боевых ра-

диоактивных веществ или гидроядерных экспериментов, где на не большом (локальном) участке присутствуют значительные концентрации радиоактивных элементов. Наличие аномальных значений не характеризует площадное загрязнение и является случайным фактором, за исключением площадок проведения ядерных испытаний, где количество выпадов может быть достаточно большим. Данный метод предлагается использовать при обработке результатов анализа проб, отобранных с территории СИП и прилегающих к нему регионов, а также на следах радиоактивных выпадений, так как на данных территориях могут содержаться локальные участки ("пятна") с аномально-высоким радиоактивным загрязнением характерным для зон ближнего выпадения радиоактивных осадков.

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 [4]:

$$X_{\text{норм}} = \frac{x - \text{Avg}_{\text{взв}}}{\sigma},$$

Нормированное отклонение помогает определить выпад, так называемые выбросы, из выборки. Выпады – это такие значения выборки, которые резко отличаются от остальных значений выборки. Выбросы находятся по следующей системе: считаем для подозрительных значений выборки нормированное отклонение и сравниваем его с критерием выпадов ($T_{\text{вып}}$), значения которого даны в таблице 1.

Таблица 1. Стандартные значения критерия выпадов $T_{\text{вып}}$ [5]

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

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Для дифференциации уровней радиоактивного загрязнения территории нами предлагаются следующие критерии, основанные на величине фона:

1. Фон – диапазон значений приближенных к взвешенной средней арифметической на одно среднеквадратическое отклонение.
2. Превышение фона – диапазон значений превышающих фон, но не превышающие два среднеквадратических отклонения взвешенной арифметической средней.
3. Значительное превышение фона – все значения лежащие за пределом в два среднеквадратических отклонения, включая аномальные значения ($T_{\text{вып}}$).

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ СИП РАДИОНУКЛИДОМ ^{137}Cs

Для оценки загрязнения территории СИП радионуклидом ^{137}Cs были выбраны все пробы почвы, отобранные при площадных обследованиях с глубины 0-5 и 0-10 см. Из них были удалены все пробы, отобранные с испытательных площадок, мест проведения БРВ и следов прохождения облаков атмосферных испытаний, так как данные территории относятся к другой генеральной совокупности, являясь территорией не ближних выпадений а непосредственного проведения испытаний. После этого все измерения были переведены в мКи/км² и по этим данным был построен вариационный ряд распределения количества проб по активности, а так же вычислены все основные статистические параметры (* - в скобках даны значения статистических параметров до удаления аномальных выпадений):

- количество проб (n) – 718 (729)*
- минимальное значение – 12 мКи/км²
- максимальное значение – 324(648) мКи/км²
- среднее арифметическое (M) – 69 (102) мКи/км²
- ошибка средней арифметической – 2 (2,9) мКи/км²
- коэффициент вариации (%) – 82 (148) %
- среднее квадратическое отклонение (σ) – 56,5 (124) мКи/км²

- взвешенная средняя арифметическая ($M_{\text{взв}}$) – 36,5 (41) мКи/км²

По этим данным был рассчитан радиационный фон территории СИП, который равняется 93 мКи/км². В результате расчёта выпадов из выборки были удалены 11 аномальных значений, которые составили 2% от всех проб. На рисунке 1 представлены вариационные кривые распределения количества проб по активности, а также распределение площади загрязнения по активности (распределение площади загрязнения по активности для всех радионуклидов были получены на основе проинтерполированных данных при помощи программы "Surfer 7.04"). Распределение активности по количеству проб и по площади имеют хорошую сходимость. Их коэффициент корреляции равен 0,9, что говорит о достаточной равномерности точек отбора проб на обследуемой территории, а также об обоснованности радиационного фона территории. На графике представлены средневзвешенная величина, значение фона глобальных выпадений для средних широт северного полушария равное 65 мКи/км², а также расчётные величины фона и его превышений для данной территории.

По полученным данным была построена карта загрязнения СИП радионуклидом Cs^{137} (рисунок 2). На карте отчетливо видно, что вся территория вне особо грязных мест находится в пределах вычисленного фона.

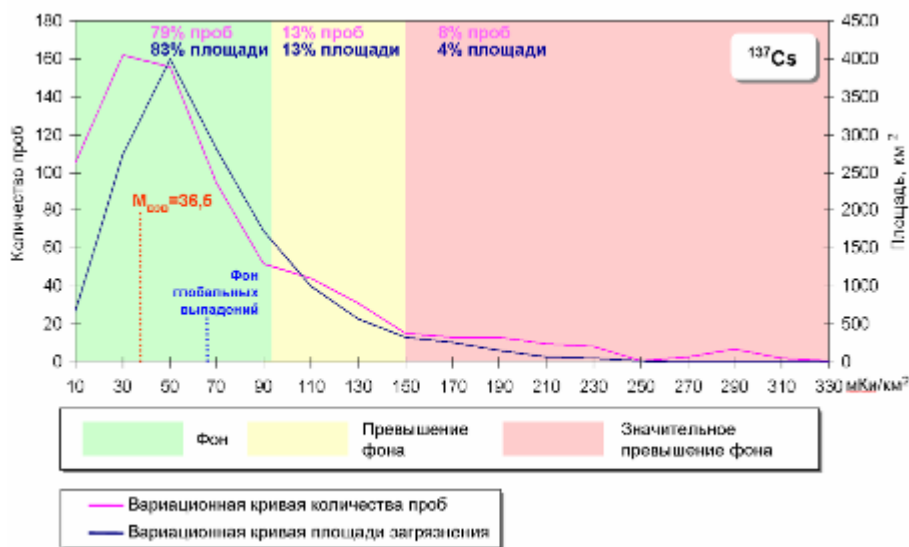


Рисунок 1. Вариационная кривая распределения количества проб по активности

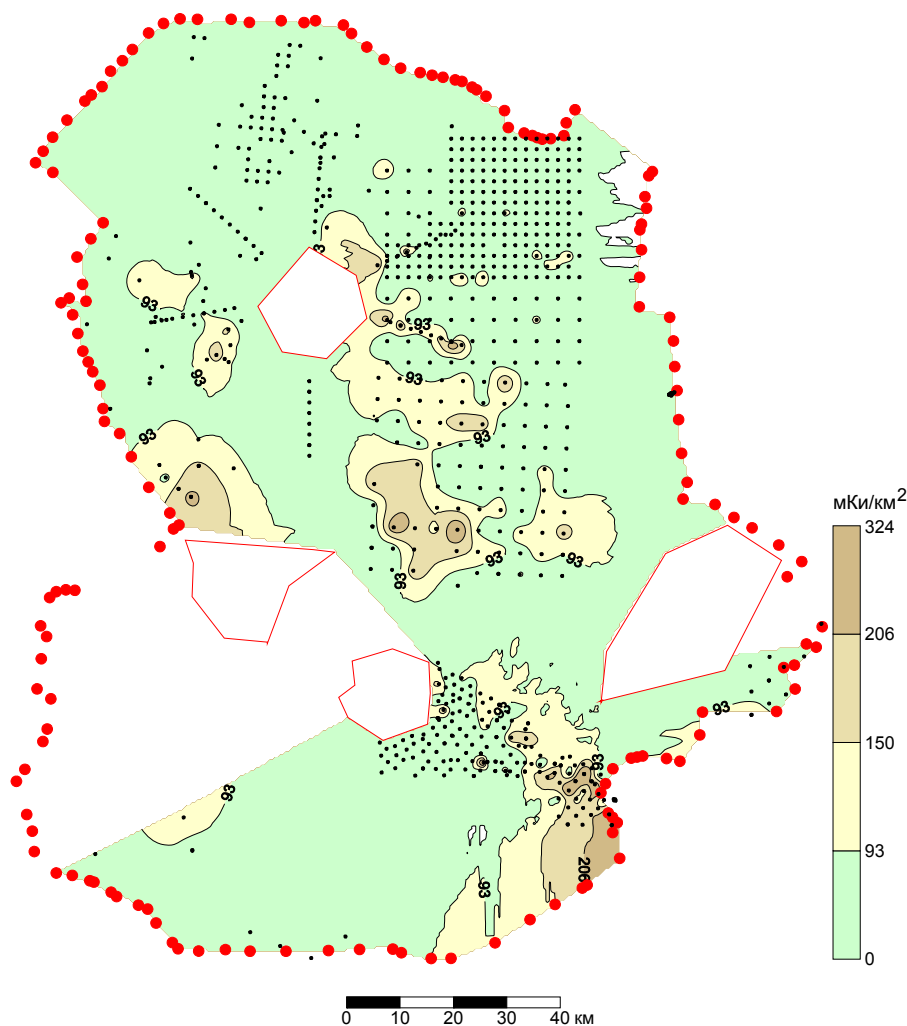


Рисунок 2. Карта распределения радионуклида Cs^{137} на обследованной территории СИП

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье предложен метод вычисления радиационного фона территории. Метод расчета радиационного фона имеет большое практическое значение для радиоэкологии. Ранжирование территории по степени загрязненности всегда было проблемой при анализе радиационной обстановки на той или иной территории. И, как правило, при ранжировании всегда отталкивались от фона глобальных выпадений, но этот показатель не корректен при работе в зоне ближних выпадений и прохожде-

нии следов. Предложенный же здесь радиационный фон более уместен при работе на таких территориях, так как он не является общим для всех территорий, а рассчитывается для каждой территории свой. Конечно, в этой статье не утверждается, что данный метод является единственно правильным решением. У разработчиков данного метода уже на данный момент имеется несколько наработок, как более точно вычислять радиационный фон территорий. Но все они еще находятся в стадии разработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов М.Ю., Силантьев А.Н., Сныков В.П. Загрязнение радионуклидами и мощность дозы на территории России и Беларуси после аварии на Чернобыльской АЭС/ Атомная энергия, сентябрь 1992. - Т.3, - Вып. 3.
2. Кузьмин И. И., Сергеев Г. А. / Теория математической обработки геодезических измерений.- М.: Военное издательство. - 1987. - 271с.
3. Шарапов И. П. / Применение математической статистики в геологии.- М.: НЕДРА. - 1971. -244 с.
4. Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред. Под ред. Ю.А. Израэля, Л.: Гидрометеиздат. - 1990.
5. Плохинский Н.А. / Биометрия.- М.: Изд-во Московский университет. - 1970. – 367 с.

**ЛАСТАНҒАН АУМАҚТАҒЫ РАДИАЦИЯЛЫҚ ФОННЫҢ
ЕСЕПТЕУДЕГІ МАТЕМАТИКАЛЫҚ СТАТИСТИКАНЫ ҚОЛДАНУ**

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

ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов, Қазақстан

ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институтының полигонында өткізілген нәтижелерінен алған зерттеулерде, статистикалық өңдеулерде қолданылатын математикалық аппарат келтірілді. ССП зерттелген аумағының радиациялық фонның есептеуін келтірді. ССП топырағында ^{137}Cs құрамының үлкен массивті мәліметтері жасалып, ^{137}Cs құрамының фондық маңызы анықталды. ССП аумағында ^{137}Cs радионуклидтік ластануының бөлінісі өткізіліп және оның бөлінуінің картасы құрылды.

**USE OF MATHEMATICAL STATISTICS AT CALCULATION
OF RADIATION BACKGROUND OF CONTAMINATED TERRITORY**

F.V. Mityaev, F.Yu. Osintsev, Yu.G. Strilchuk

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

Mathematical apparatus used at statistical data processing, received as a result of the STS investigation conducted by the Institute of Radiation Safety and Ecology of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, was carried out. Calculations of the radiation background of the investigated STS territory are represented. Gradation of the radiation contaminated territory is represented. Great data array of ^{137}Cs contents in soil of the STS is worked up, background importance of ^{137}Cs contents is estimated. Rank of ^{137}Cs radionuclide contamination is carried out and a map of its distribution on the STS territory is made.

УДК 504.064:539.16

О СОСТОЯНИИ ИЗУЧЕННОСТИ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА АДМИНИСТРАТИВНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Якупов В.С., Самойлов В.Я., Потапов А.А.

*Восточно-Казахстанское областное управление Государственного
санитарно-эпидемиологического надзора, Усть-Каменогорск, Казахстан*

Проведены исследования по определению концентрации искусственных радионуклидов, выпадавших на территорию Восточно-Казахстанской области после испытаний ядерного оружия, в т.ч. основных продуктах питания: молоко, мясо, хлеб, картофель, рыба, вода. Показано, что проводимые испытания ядерного оружия могли оказывать на население Восточно-Казахстанской области негативное влияние.

При осуществлении испытаний ядерного оружия на Семипалатинском испытательном ядерном полигоне (СИП) наиболее значительному воздействию подвергалось население, находившееся непосредственно возле полигона и близлежащих районов. Из документов международной организации – Научного комитета по действию атомной радиации (НКДАР) суммарная мощность ядерных взрывов произведенных в бывшем СССР с 1951 – 1980 гг. составила 110,9 лигатонн. При этом большая часть по мощности приходится на период 1951-1963 гг., когда испытания проводились в атмосфере [1].

Всего на территории полигона было произведено 125 атмосферных ядерных испытаний, в т.ч. 100 воздушных (из них 8 высотных) и 25 наземных [2]. Кроме того, с 1961 – 1989 гг. проведено 348 подземных ядерных взрывов [5]. Так по данным правительственной комиссии РК общее количество взрывов определено 470, в т.ч. 26 наземных, 90 воздушных и 354 подземных.

Выход радиоактивных продуктов в биосферу колеблется в широких пределах: до 100% от наземных ядерных взрывов, от 0 до 100% от воздушных взрывов и до долей процента от подземных ядерных взрывов.

Учет Господствующих ветров свидетельствует о возможном движении радиоактивных облаков в направлении территории Восточно-Казахстанской области (ВКО). Последнее подтверждается исследованиями воды и донных осадков, почвы, в которых находятся в остаточных количествах ^{137}Cs и ^{90}Sr , а также выявлены геохимические поля накопления этих радионуклидов, имеющих контрастную струйчатопятнистую структуру. Общее расположение струй веерообразное, сходящиеся в направлении на СИП. Уровни содержания радионуклидов в пределах всех выявленных "струй" до 10-12 раз превышают условный

геохимический фон содержания радионуклидов, связанных с ядерными испытаниями [6].

Собственные наблюдения, проводимые Восточно-Казахстанским областным управлением Госсанэпиднадзора (ранее ВК областная СЭС) с 1965 г, подтверждают долговременное загрязнение, прежде всего, почвенного покрова (таблица 1-3, рисунок 1, 2). Результаты наблюдений показывают, что концентрации продуктов ядерных взрывов в 1965 г по ^{90}Sr в 20-25 раз и по ^{137}Cs в 40-45 раз превышали уровни 1992-1993 гг., хотя и находились в пределах допустимых величин. Уровни концентраций радионуклидов в объектах внешней среды 1992-1993 гг. сохранялись до 1999 г.

Анализ данных по содержанию ^{137}Cs и ^{90}Sr в объектах окружающей среды по наиболее отдаленным от СИП районам ВКО (Курчумский, Маркакольский, Зайсанский, Катон-Карагайский, Зыряновский, Самарский) показывает присутствие их во всех основных продуктах питания, хотя и в меньших величинах, чем на остальных территориях. Характерные результаты (в единицах $\text{п} \times 10^{-12} \text{ кил/л кг}$): мясо (^{137}Cs – 1,3.....3,0 и ^{90}Sr - 0,4 – 0,9), молоко (0,5.....2,0 и 0,6.....1,2) картофель (0,5.....2,3 и 0,4...1,5).

По результатам дозиметрических замеров в ДДУ, ЛПУ, школах, жилых зданиях и других объектах мощность γ -излучения внутри помещений колеблется от 0,09 до 0,27 мкЗв\час, что не превышает уровни, нормируемые НРБ. В обследованных зданиях и помещениях не обнаружены строительные конструкции с повышенным γ -излучением. Внешний γ -фон на обследованных территориях составляет от 0,06 до 0,16 мкЗв\час.

Таблица 1. Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в объектах внешней среды в 1992-93 гг. по Восточно-Казахстанской области

№№п/п	Объекты наблюдения	^{90}Sr в кил/л кг п $\times 10^{-12}$	^{137}Cs в кил/л кг п $\times 10^{-12}$
1.	Почва	151,4 – 793,0	30,8 – 67,9
2.	Растительность	4,5 – 156,0	7,7 – 67,0
3.	Вода	0,94 – 1,5	0,7- 3,1

**О СОСТОЯНИИ ИЗУЧЕННОСТИ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ
НА АДМИНИСТРАТИВНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Таблица 2. Содержание ^{90}Sr в продуктах питания по Восточно-Казахстанской области

№№ п/п	Года	Молоко	Мясо говядина	Мясо баранина	Хлеб 1 - сорт
Концентрация (сырой вес) 10^{-12} кюри/кг					
1	2	3	4	5	6
1.	1965	6,4	15,2	69,0	51,4
2.	1966	114,7	30,1	120,0	53,3
3.	1967	26,3	32,8	35,0	45,2
4.	1968	39,2	21,0		40,5
5.	1969	22,6	10,5	13,0	22,9
6.	1970	13,9	10,3	9,8	16,7
7.	1971	6,8	17,5	10,5	10,0
8.	1972	2,7	2,7	2,4	11,3
9.	1973	1,1	1,6	0,4	1,3
10.	1974	6,4	4,0	6,6	19,5
11.	1975				
12.	1976	7,6	9,6	10,7	9,5
13.	1977	6,9	7,8	7,4	11,9
14.	1978	7,4	6,5	9,8	10,6
15.	1979	2,4	3,5	4,1	1,5
16.	1980	2,5	4,0	3,5	3,9
17.	1981	2,5	2,7	3,1	2,4
18.	1982	1,4	2,2	1,8	2,6
19.	1983	2,9	3,5	2,2	3,9
20.	1984	2,9	2,2	2,3	2,0
21.	1985	2,4	1,8	2,0	2,0
22.	1986	4,4	2,1	2,6	1,85
23.	1987	3,9	1,7	1,6	1,7
24.	1988	2,2	1,6	1,3	1,3
25.	1989	2,7	1,6	1,3	1,6
26.	1992	2,4	1,4	1,3	2,0
27.	1993	2,3	1,85		2,0
28.	1994	2,3	2,15		1,95
29.	1995	2,65	2,15		2,1
30.	1996	2,7	2,2		2,0
31.	1997	2,3	2,6		1,65
32.	1998	2,4	2,6		1,5
33.	1999	3,0			1,2
34.	2000	2,9	2,5		1,15
35.	2001	2,9	2,7		1,2
36.	2002	2,9			1,2

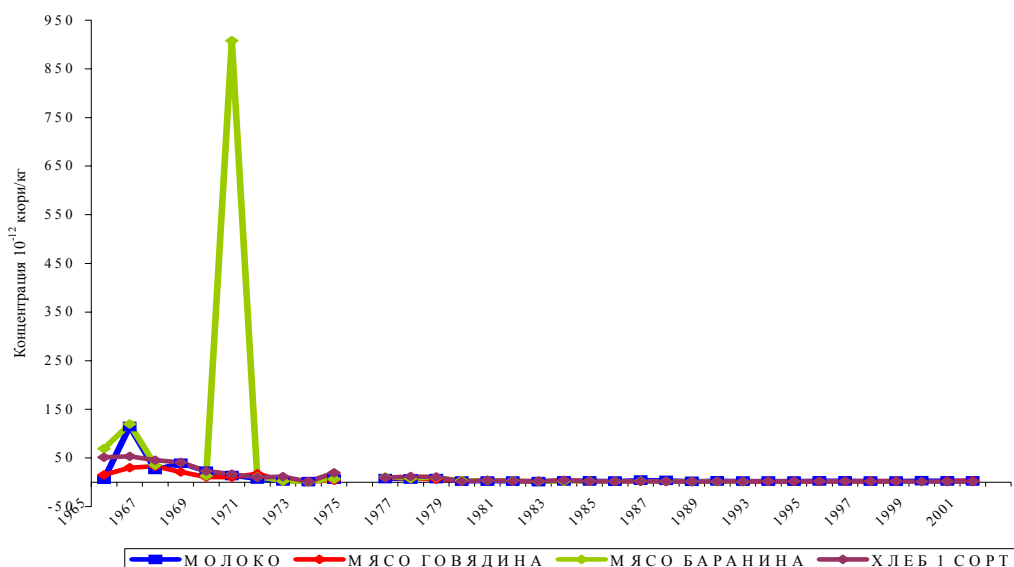


Рисунок 1. Содержание ^{90}Sr в продуктах питания по Восточно-Казахстанской области

**О СОСТОЯНИИ ИЗУЧЕННОСТИ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ
НА АДМИНИСТРАТИВНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Таблица 3 - Содержание ^{137}Cs в продуктах питания по Восточно-Казахстанской области

№№ п/п	Года	Молоко	Мясо говядина	Мясо баранина	Хлеб 1 - сорт
Концентрация (сырой вес) 10^{-12} кюри/кг					
1	2	3	4	5	6
1.	1965	629,5	252,0		13,1
2.	1966	143,1	138,0	277,5	173,6
3.	1967	40,0	105,0	120,0	72,5
4.	1968	93,7	63,6		66,5
5.	1969	23,9	43,5	22,7	31,1
6.	1970	16,0	115,6		20,35
7.	1971	21,4	35,6	50,7	21,7
8.	1972	8,9	10,4	7,45	9,4
9.	1973	4,8	81,4	8,6	9,0
10.	1974	25,4	25,5	35,2	13,2
11.	1975				
12.	1976	30,1	32,0	26,75	40,6
13.	1977	22,5	40,5		18,7
14.	1978	10,6	14,4		10,0
15.	1979	5,1	10,8		4,9
16.	1980	4,2	8,9		7,8
17.	1981	3,4	5,0		3,3
18.	1982	1,9	3,7		2,0
19.	1983	2,0	4,9		2,0
20.	1984	1,5	3,3		1,1
21.	1985	1,4	3,6		2,0
22.	1986	30,2	8,1		7,4
23.	1987	4,2	11,4		6,2
24.	1988	1,4	2,8		1,2
25.	1989	1,6	4,5		1,3
26.	1992	3,3	3,7		1,25
27.	1993	2,9	3,5		1,45
28.	1994	3,2	3,55		1,5
29.	1995	3,7	3,3		2,6
30.	1996	3,7	4,1		1,55
31.	1997	3,4	4,4		1,35
32.	1998	2,9	3,5		1,7
33.	1999	3,1			1,15
34.	2000	2,95	3,3		1,3
35.	2001	2,9	3,1		1,0
36.	2002	2,9			0,9

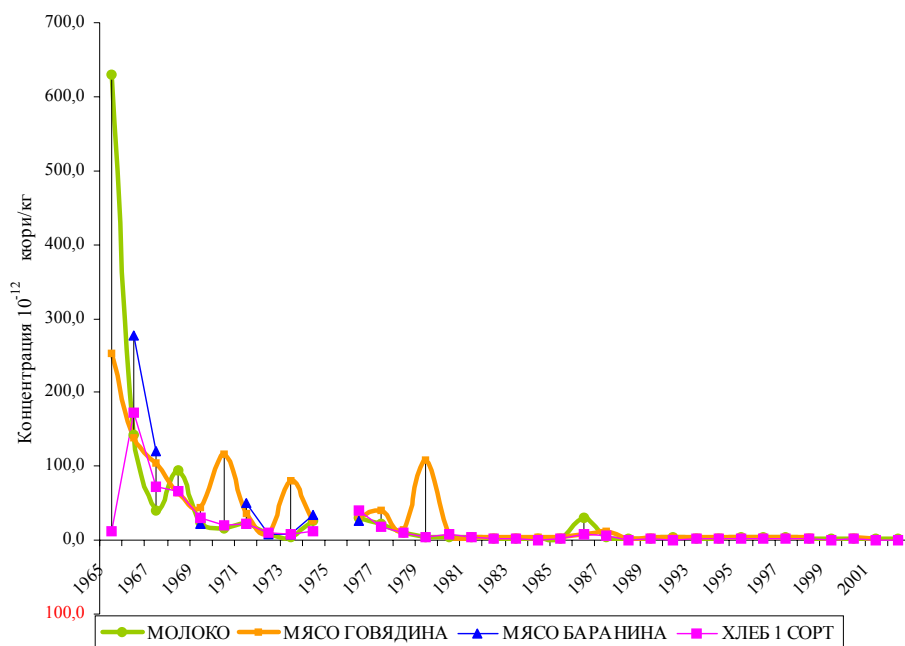


Рисунок 2. Содержание ^{137}Cs в продуктах питания по Восточно-Казахстанской области

Выводы

1. Проводимые ранее испытания ядерного оружия могли оказывать негативное влияние на население Восточно-Казахстанской области.
2. Вследствие имеющих место физических, геохимических процессов за последние годы образовавшиеся продукты ядерных взрывов в значительной степени уменьшились в пищевой цепочке: "почва–растения–животные–человек".
3. Относительно высокая энергия и большой период полураспада ^{137}Cs и ^{90}Sr , а также способность их надолго задерживаться в различных органах человека и животных создают необходимость, для выработки стратегии и тактики защиты населения от радиационного воздействия на современном этапе, проведения комплексных радиологических исследований возможных цепей кругооборота радионуклидов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радиация. Дозы, эффекты, риск – Москва. 1988 г. – 79 с.
2. Бюллетень Центра общественной информации по атомной энергии. Москва. ЦНИИ атоминформ. № 2/94. 1994 г.
3. Бюллетень Центра общественной информации по атомной энергии. Москва. ЦНИИ атоминформ. № 9/93. 1993 г.
4. Ядерные взрывы в СССР. Выпуск 4. Мирное использование подземных ядерных взрывов. Москва. 1994 166 с.
5. Харькин Б.И. Отчет – Оценка радиозоологической обстановки на территории бывшего СЯП. Алматы – 1994 г.
6. Сергийко Ю.И., Иванов А.М., Спирина М.Б. Геохимическое опробование и анализ донных осадков рек и водоемов ВКО. г. Усть-Каменогорск 1992 г.

ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНЫҢ ӘКІМШІЛІК АУМАҚТАРЫНДАҒЫ РАДИАЦИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙДЫ ЗЕРТТЕУ ТУРАЛЫ

Якупов В.С., Самойлов А.Я., Попов А.А.

*Шығыс-Қазақстан облысы Өскемен қаласының мемлекеттік
санитарно-эпидемиологиялық қадағалау басқармасы, Өскемен, Қазақстан*

Ядролық қарулардың сынақтарынан кейін Шығыс-Қазақстан облысының аумақтарына түскен жасанды радионуклидтердің концентрациясын анықтау үшін зерттеулер жүргізілген, соның ішінде негізгі азық-түліктер: сүт, ет, нан, картоп, балық, су. Шығыс-Қазақстан облысының тұрғындарына, жүргізілген ядролық қарулардың сынақтары негативтік әсерін тигізу мүмкіндігінен алынған нәтижелерін көрсетеді.

STATE OF KNOWLEDGE ABOUT RADIATION SITUATION ON ADMINISTRATIVE TERRITORIES OF EAST KAZAKHSTAN OBLAST

V.S. Yakupov, V.Ya. Samoilov, A.A. Potapov

East Kazakhstan Oblast Administration of State Sanitary-and-Epidemiological Control, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

Studies have been carried out to determined man-made radionuclide concentrations deposited within East Kazakhstan Oblast after nuclear weapons tests in major foodstuffs, such as milk, meat, bread, potato, fish, water. Results obtained show that nuclear weapon tests conducted could have an adverse impact on the East Kazakhstan population.

УДК 577.4:504.4.054

**РАДИОЭКОЛОГИЯ РЕКИ ТУРЫ И ЕЕ ПОЙМЕННЫХ
ВОДОЕМОВ НА ТЕРРИТОРИИ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ****Трапезникова В.Н., Трапезников А.В., Николкин В.Н., Юшков П.И.***Институт экологии растений и животных Уральское отделение Российской академии наук, Екатеринбург, Россия*

Река Тура принадлежит к речной системе Тобол-Иртыш-Обь. Несколько лет назад Тура была загрязнена ^{137}Cs от сбросов ядерного предприятия. В настоящее время ее пойма содержит около 93 ГБк ^{137}Cs . Исследования показали, что загрязнение донных отложений в пойменных водоемах в несколько раз выше, чем от глобальных выпадений.

Тюменская область является единственной из четырех областей Урало-Сибирского региона, где отсутствуют предприятия ядерно-топливного цикла. Радиоэкологическая обстановка в этом регионе обусловлена глобальными радиоактивными выпадениями, воздушным переносом радионуклидов из районов ядерных аварий (Кыштымская авария, 1957 г.; авария на Чернобыльской АЭС, 1986 г.), трансграничным переносом по речным системам из Челябинской (ПО "Маяк") и Свердловской областей (Белоярская АЭС). Кроме того, на территории Тюменской области проводились подземные ядерные взрывы в технических целях.

В отличие от соседних областей, в радиоэкологическом отношении Тюменская область до сих пор остается малоизученной. В одну из наиболее исследованных рек региона - р. Тобол - впадает в р. Исеть, притоком которой является р. Теча, загрязненная поступающими в нее радиоактивными сбросами с атомных заводов Производственного Объединения "Маяк" Челябинской области. Если радиоэкологическая ситуация на р. Тече и ее пойме подвергалась обширным исследованиям [1-5], то данные о радиоэкологической обстановке на р. Туре - другому крупному левобережному притоку р. Тобол - практически отсутствуют, хотя на этой реке и ее притоках находится несколько ядерных предприятий, из которых очень важным является расположенная на р. Пышме Белоярская АЭС [6]. Эксплуатация Белоярской АЭС началась в 1964 г. За это время на атомной станции использовали реакторы типа АМБ-100 и АМБ-200, последний из которых выведен из эксплуатации в сентябре 1989 г. С апреля 1980 г. работает энергоблок с реактором на быстрых нейтронах типа БН-600 с жидкотеплоносительным теплоносителем. Поступление жидких сбросов с БАЭС в р. Пышму производится через водоем-охладитель и Ольховское болото.

На территории Свердловской области непосредственно на р. Туре в ее верхнем течении находится предприятие ядерного цикла, которое также потенциально может являться источником поступления радионуклидов в ее бассейн.

В данной статье представлена часть материалов радиоэкологических исследований на р. Туре в пре-

делах Тюменской области, проведенных в 1999-2000 гг., которые затрагивают в основном изучение распределения ^{137}Cs в воде реки и донных отложениях пойменных водоемов и водной системе.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выбор объектов исследований. Радиоэкологическое исследование рек сопряжено с рядом методических трудностей, одна из которых состоит в том, что определение содержания радионуклидов только в воде отражает лишь ситуацию, сложившуюся в момент отбора проб. Определение содержания радионуклидов в биоте, особенно в растениях, может характеризовать радиоэкологическую ситуацию в водоеме за большее время, определяемое в значительной степени продолжительностью жизни биологических объектов. Еще более информативным представляется изучение содержания радионуклидов в донных отложениях, аккумулирующих химические элементы в течение продолжительного времени. Послойный отбор проб донных отложений позволяет получить данные по стратиграфии радиоактивных слоев практически с начала радиоактивного загрязнения реки, уровни его и радионуклидный состав, а в благоприятных ситуациях - хронологию загрязнения. Однако в реках с сильным течением донные отложения переносятся по руслу вниз со стоком воды по течению и через несколько лет заменяются вновь образующимися. Поэтому, более надежным источником сведений о радиоэкологической ситуации в реках является изучение радиоактивного загрязнения донных отложений пойменных озер и стариц, в которых, как правило, не происходит сильного перемещения грунтов. Учитывая, что уральские реки характеризуются интенсивным переносом русловых отложений, особенно в период паводков, нами для изучения текущего и прошлого радиоактивного загрязнения рек Тюменской области были избраны пойменные водоемы. Подобный подход нами с успехом был использован при радиоэкологических исследованиях рек Течи, Исети, Тобола и Оби [1-3,6].

Основным объектом данных исследований являлся участок р. Туры, начиная от створа № 1 в районе с. Усть-Ницинское на территории Свердловской

области (выше места слияния с р. Ницей) и далее вдоль ее русла на территории Тюменской области вплоть до места слияния с р. Тоболом, рисунок 1. В целом, исследованиями был охвачен участок реки длиной около 410 км, из которых 320 – на территории Тюменской области.

Кроме этого, исследованию подверглись пойменные водоемы р.Пышмы вблизи впадения ее в р.Туру в районе базы отдыха Белый Яр (створ № 9), а так же в пойме р. Тобол - выше (створ № 13) и ниже (створ № 14) впадения в р.Тобол реки Туры. В пойменных водоемах каждого створа отобрано по

два керна до глубины 22-40 см. Образцы донных отложений отбирали с помощью специального пробоотборника с площадью сечения 36 см². Колонки кернов разделяли на слои по 5 см. В большинстве случаев каждый слой керна анализировали отдельно. Грунты высушивали и просеивали через сито с размером ячейки 1 мм. Пробы воды из реки отбирали по 80 л на каждую повторность и подкисляли соляной кислотой во избежание сорбции на стенках сосуда. В стационарных условиях воду фильтровали, выпаривали, и сухие остатки озоляли при 450°C.



Рисунок 1. Схема расположения точек отбора проб донных отложений из пойменных водоемов р. Туры (подчеркнуты номера створов, в скобках указаны номера точек отбора проб).

Методы исследований и оборудование. Радионуклидный состав и активность проб грунтов определялись на компьютеризированной γ -спектрометрической установке типа Genie-PC (модель S400 Genie-PC Spectroscopy System 1995 г. выпуска с полупроводниковым детектором, "Canberra" (США), с сертифицированным программным обеспечением этой же фирмы). Содержание ^{137}Cs по γ -активности измеряемой пробы определяли по пику с энергией 661 кэВ ($t_{1/2} = 30,1$ лет). Анализ и расчет концентрации (Бк/кг) выполнялся автоматически по программе. Время измерения проб составляло 1800 - 216000 сек., геометрия измерения - "чашка Петри".

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ниже приведены результаты исследований вертикального распределения ^{137}Cs в донных отложениях пойменных водоемов р. Туры, включающие данные послойной γ -спектрометрии проб и представленные в виде математических моделей.

Используя результаты гравиметрии проб, концентрации радионуклида в слоях керна (Бк/кг), полученные γ -спектрометрическими измерениями,

пересчитывались в удельные объемные концентрации (Бк/м³), и далее на основе этих данных были найдены уравнения регрессии в виде экспоненциальных уравнений вида $y(x) = a \cdot e^{-bx}$, где a и b – параметрические константы, x – вертикальная координата, м. В случаях, когда аппроксимация экспоненциальным уравнением оказывалась неудовлетворительной, рассматривалось двухкусочное представление [6]. Полученные таким образом функции описывали вертикальное распределение ^{137}Cs в исследованных точках.

Приведем типичный пример вертикального распределения ^{137}Cs в донных отложениях пойменных водоемов.

Усть-Ницинская-1 (Створ №1) Свердловская обл., выше слияния рек Туры и Ницы). Из рисунка 2 видно, что в пойменном водоеме концентрация радионуклида в донных отложениях монотонно падает с глубиной, слабо изменяясь в верхнем 30-сантиметровом слое, и более круто – в нижних слоях.

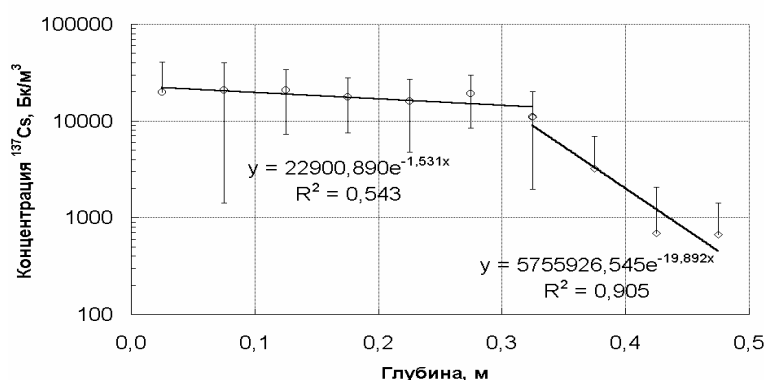


Рисунок 2. Вертикальное распределение ^{137}Cs в донных отложениях пойменных водоемов в створе №1 (Усть-Ницинское-1)

В данном случае распределение ^{137}Cs удовлетворительно описывается двухэкспоненциальным представлением для различных пластов донных грунтов:

Усть-Ницинское-1:

$$y(\text{Бк/м}^3) = 22900,9e^{-1,53x}; R^2=0,54; x=(0-0,3 \text{ м})$$

$$y(\text{Бк/м}^3) = 5755926,5e^{-19,89x}; R^2=0,91; x=(0,3-0,5 \text{ м})$$

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЙМЕННОЙ СИСТЕМЫ Р. ТУРЫ

Своеобразие формирования донных отложений пойменных водоемов обусловлено рядом факторов, (объем и продолжительность поступления в эти водоемы воды из русла реки, уровень стояния вод, количество привносимого и перемещаемого материала и др.), степень влияния которых, очевидно, варьирует от года к году и различна в разных водоемах. Эти факторы, наряду с процессами вертикальной миграции радионуклидов, влияют как на количество приносимого радиоактивного материала, так и на характер его распределения в толще донных отложений. Это наглядно демонстрируется представленным выше графическим материалом и довольно широким спектром математических моделей, описывающих картину загрязнения радионуклидами донных отложений пойменных водоемов. Многообразие процессов формирования донных отложений в конкретных пойменных водоемах проявляется в изменениях содержания радионуклидов с глубиной. При анализе приведенного выше графического материала следует учитывать следующие моменты:

а) Более крутой спад экспоненциальных зависимостей связан с резким снижением концентрации радионуклида с глубиной, что указывает на наличие лимитирующих факторов, сдерживающих его миграцию вглубь. С другой стороны, слабая зависимость концентрации радионуклида от глубины вплоть до почти равномерного распределения может быть обусловлена высокой проницаемостью донных грунтов пойменных озер, способствующей выравниванию концентрации нуклида по вертикали.

б) Немонотонность вертикального распределения радионуклида может быть связана с наличием дополнительных факторов, воздействующих на структуру

верхних слоев донных отложений. К таковым можно отнести нанос нерадиоактивного материала с загрязненной части поймы или вынос радиоактивного материала с паводковыми водами, маскирующие первичное распределение радионуклида.

Исходя из этого можно отметить, что вертикальное распределение ^{137}Cs в донных отложениях пойменных водоемов в створах Елкина, Кулаково, Матуши, Дубровное, Тарханы, а также в пойме Пышмы близко к экспоненциальному, и можно предполагать, что оно слабо изменено вследствие наноса грунтов с других участков. Вертикальное распределение в грунтах пойменных водоемов вблизи Усть-Ницинского, Речкина, Яр, Каскара, Никитина характеризуется либо наличием пологого плато в верхнем слое, либо максимума на глубинах от 0,1 до 0,3 м.

Интегрирование полученных функций вертикального распределения дает общее содержание:

$$q_i (\text{Бк/м}^2) = a \int_0^h e^{-bx} dx$$

радионуклида q_i в гипотетическом столбе грунта с сечением 1 м^2 и высотой h , задаваемой верхним пределом интегрирования (в данном случае $h = 0,5 \text{ м}$), т.е. фактически представляет локальную плотность загрязнения, выраженную в Бк/м^2 . Кроме того, с учетом возможности горизонтальной миграции радионуклидов, логически обоснованным представлялось выделить из общих запасов часть, аккумулированную в верхнем слое грунтов, поскольку эта часть запасов, как нам представляется, наиболее подвержена процессам горизонтальной миграции. В этом случае верхний предел интегрирования в приведенном выше интеграле принимался равным 0,1 м. Горизонтальное же распределение оставшейся глубинной части запасов рассматривалось как обусловленное долговременными процессами, являющееся своеобразной “хронограммой” и, следовательно, может указывать на основной источник поступления радионуклидов, воздействие которого отдалено во времени.

Ниже приведены примеры вычисления плотности загрязнения с использованием полученных зави-

симостей вертикального распределения для створа №1 (Усть-Ницинское):

В слое 0-10см (Бк/м²):

$$\int_0^{0.1} 22900.890e^{-1.531 \cdot x} dx = 2.123 \times 10^3$$

В слое 0-50см (Бк/м²):

$$\int_0^{0.3} 22900.890e^{-1.531 \cdot x} dx + \int_{0.3}^{0.5} 5755926.545e^{-19.892 \cdot x} dx = 6.236 \times 10^3$$

Полученные расчетные оценки для плотностей радиоактивного загрязнения пойменных водоемов ¹³⁷Cs приведены в таблице 1. Отдельным столбцом даны расчеты плотностей загрязнения, учитывающие запасы только в верхнем 10-сантиметровом слое донных грунтов пойменных водоемов. Как уже подчеркивалось выше, эта часть загрязнения наиболее подвержена вторичному перераспределению, и ее обособление позволяет сделать определенные заключения о характере распределения оставшейся глубинной (более «ранней» по возрасту и менее искаженной вторичным перераспределением) части радионуклидов.

Наглядное представление о радиоактивном загрязнении донных отложений в пойменных водоемах исследованного участка р. Туры дает рисунок

3, на котором в виде продольного профиля графически представлены результаты математического моделирования. Видно, что в целом плотность содержания ¹³⁷Cs, хотя и флуктуирует на протяжении всего обследованного участка р. Туры, имеет явную тенденцию к спаду при приближении к устью. Такая тенденция присуща как интегральной плотности запасов, аккумулированных в толще от 0 до 50 см, так и запасам в нижнем (10-50 см) слое донных отложений. Запасы в верхнем слое с некоторой степенью вариации примерно одинаковы на всем протяжении исследованного участка реки.

Таблица 1. Плотность содержания ¹³⁷Cs донных грунтов пойменных водоемов на реке Туре, Бк/м²

Точка отбора пробы	в слое 0-50 см	в слое 0-10 см
Усть-Ницинское 1	2123	6236
Усть-Ницинское 2	684	3331
Елкина	3624	4154
Речкина	350	4420
Кулаково	5013	6658
Яр	982	2786
Каскара	525	3968
Созоново	2364	5748
Матуши	2879	3111
Дубровное	2728	3500
Никитина	1772	2432
Карбаны	1364	3109
пойма Тобола	1762	3181
пойма Пышмы	4437	5273

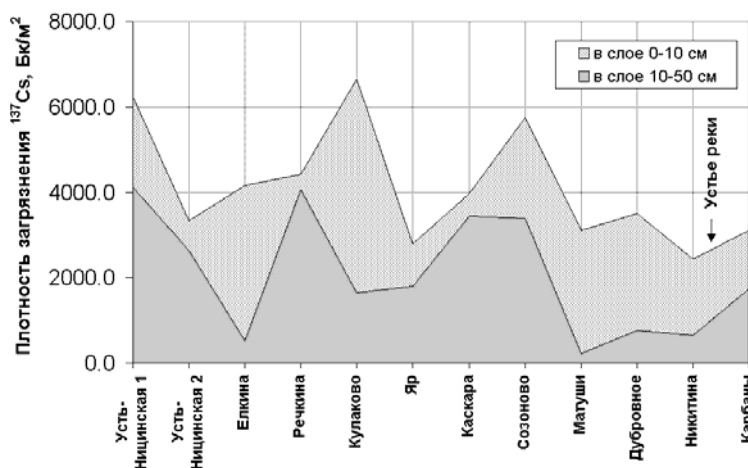


Рисунок 3. Профиль изменения плотности загрязнения ¹³⁷Cs донных отложений пойменных озер вдоль русла р. Туры

Используя распределение Стюдента, при доверительной вероятности 95% были оценены доверительные интервалы полученных средних значений уровней загрязнения для выборки по каждому створу. Эти оценки были приняты нами в качестве вероятностной характеристики загрязнения рассматриваемого участка поймы реки. Допустив существование общей закономерности в распределении радионуклидов вдоль русла реки, которую необходимо было выявить, и, полагая, что отдель-

ные величины локальных плотностей загрязнения в створах q_i с заданной вероятностью укладываются в эту закономерность, для найденной выборки значений (l_i, q_i) был проведен регрессионный анализ (где l_i — линейное расстояние до выбранного створа от условной нулевой отметки - створа № 1). Принятый подход позволяет установить функциональную зависимость продольного распределения ¹³⁷Cs вдоль русла Туры в виде регрессионного уравнения $y=y(l)$.

Графики на рисунке 4 демонстрируют результат такого моделирования, представляя плотность загрязнения ^{137}Cs вдоль поймы Туры в виде частных экспоненциальных зависимостей: для всей толщи (0-50 см) донного грунта, а так же в слоях (0-10 см) и (10-50 см). Согласно развитой модели, в верхнем 10-см слое плотность загрязнения практически постоянна по всей длине исследуемого участка реки (или незначительно падает с расстоянием), и в среднем равна 2186 ± 752 Бк/м². Вариация локальных значений поверхностных уровней загрязнения ^{137}Cs достаточно велика, что отражается в низком значении коэффициента достоверности аппроксимации R^2 .

Изменение плотности запасов ^{137}Cs с расстоянием для нижнего (10-50 см) - слоя описывается уравнением $y(\text{Бк/м}^2) = 816,666 \cdot \exp(0,0039x)$, а для всей толщины 0-50 см уравнением $y(\text{Бк/м}^2) = 2999,6 \cdot \exp(0,00165x)$. Тенденция спада значений общих уровней загрязнения в слое (0-50 см) целиком обусловлена уменьшением с расстоянием содержания ^{137}Cs в нижних слоях грунтов (10-50 см), что выражается в почти одинаковом наклоне частных зависимостей для этих слоев, и, по всей видимости, отражает ситуацию глубинной миграции, сложившуюся в течение длительного периода времени. Это уравнение с некоторыми допущениями, как это ранее было принято в работе по исследованию р. Течи [7], было использовано для оценки общих запасов радионуклида на протяженном участке поймы реки:

$$\Sigma Q (\text{Бк}) = 2 \cdot w_0 \cdot \int_0^L y(l) dl$$

здесь: L – общая длина рассматриваемого участка реки; $2w_0$ – условная средняя ширина двусторонней полосы поймы вдоль русла реки, на которой ведется расчет запасов (в наших расчетах, как и в упоминавшейся выше работе, принято $2w_0 \approx 100$ м);

Используя полученные представления для горизонтального распределения ^{137}Cs вдоль поймы, ниже сделана оценка его общих запасов (Бк) в 100-метровой пойме р. Туры в пределах Тюменской области:

В слое 0-10 см:

$$100 \cdot 10^3 \int_0^{296} (1912,347 \cdot e^{-0,00124x}) dx = 4,738 \times 10^{10} \text{ Бк}$$

В слое 10-50 см:

$$100 \cdot 10^3 \int_0^{296} (816,666 \cdot e^{-0,00388x}) dx = 4,532 \times 10^{10} \text{ Бк}$$

В слое 0-50 см:

$$4,738 \times 10^{10} + 4,532 \times 10^{10} = 9,27 \times 10^{10} \text{ Бк}$$

Расчеты показывают, что запасы ^{137}Cs в пойме р. Туры на территории Тюменской области, аккумулированные в поверхностном слое 0-10 см, близки к таковым в глубинном слое 10-50 см, а интегральные запасы в слое 0-50 см составляют около 93 ГБк (2,5 Ку).

Таким образом, на основе полученных моделей можно утверждать, что основным источником поступления радиоактивного цезия на этом участке Туры является входной створ со стороны Усть-Ничинского, куда в свою очередь этот радионуклид, скорее всего, поступил с предприятия ЯТЦ в верхнем течении Туры. На это указывает как ход зависимости общей плотности загрязнения, так и, в частности, тенденция увеличения глубинных запасов цезия в пойме вверх по течению реки. Не выявлено статистически значимого заметного воздействия Белоярской АЭС на радиоэкологическую ситуацию в р. Туре через систему: БАЭС - Ольховское болото (место сброса слаборадиоактивных вод АЭС) - р. Ольховка - р. Пышма - р. Тура.

Приведенные выше данные о радиоактивном загрязнении водоемов в пойме низовья р. Туры, а также водоемов в пойме р. Тобола выше и ниже места впадения в нее р. Туры, указывает так же на отсутствие в настоящее время заметного влияния вод последней на радиоэкологическую ситуацию в р. Тоболе.

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНОЙ СИСТЕМЫ Р. ТУРЫ

Ниже, в таблице 2 представлены результаты определения содержания ^{137}Cs в пробах воды р. Туры и Тобола, отобранных в части створов, отмеченных на рисунке 1.

Таблица 2. Содержание ^{137}Cs в пробах воды

№ створа	Место отбора	Повторн.	Объем пробы V, л	масса золы, г	Концентрация ^{137}Cs , п.10 ⁻² Бк/л	
					В пробах	Средняя
4	Речкина	1	38	14,4	4,93	3,685
		2	36	10,8	2,44	
9	Яр	1	36	39,3	1,48	1,825
		2	37	20,62	2,17	
8	Созоново	1	37	11,47	0,37	0,2845
		2	37	13,85	0,20	
10	Матуши	1	37	8,01	0,78	0,839
		2	36	10,29	0,88	
12	Никитино	1	37	9,53	0,52	0,505
		2	36	13,71	0,49	
13	Тарханы*	1	36	11,69	0,30	0,273
		2	33	10,07	0,24	
14	Карбаны*	1	35	13,94	0,14	0,1675
		2	34	11,05	0,18	

* - относится к водной системе р. Тобол

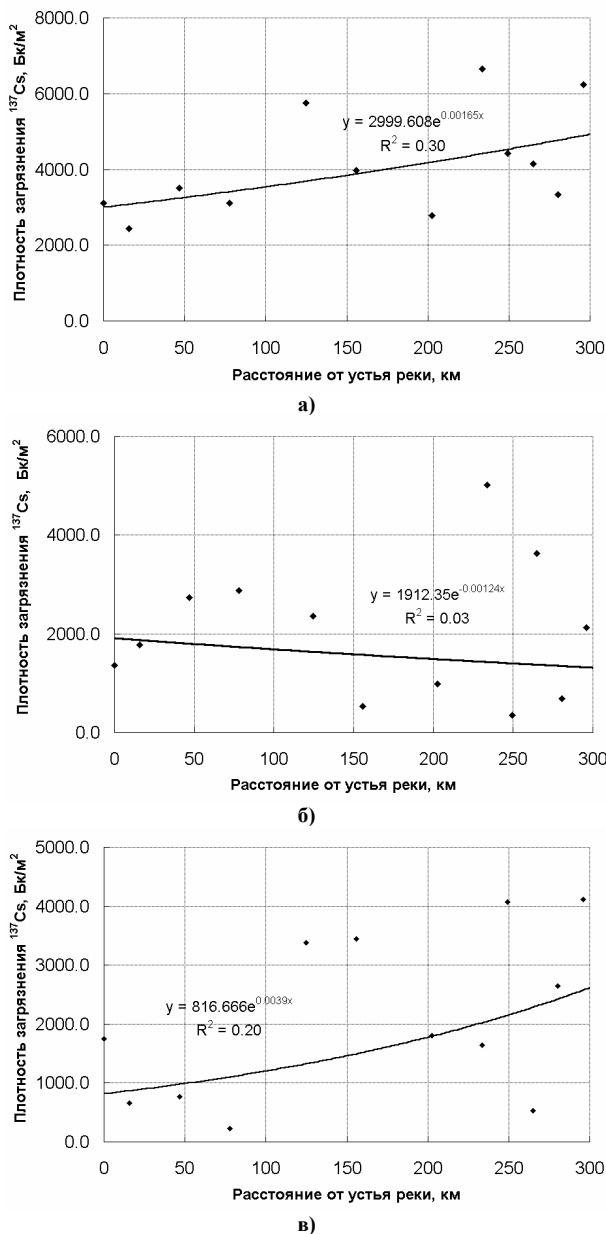


Рисунок 4. Математические модели изменения плотности содержания ^{137}Cs в различных слоях донных отложений пойменных водоемов вдоль русла р. Туры: в толще 0-50 см (а), верхнем 0-10 см (б) и нижнем 10-50 см (в) слоях

Изменение концентрации ^{137}Cs в воде вдоль реки, представлено на рисунке 5, где также условно в “нулевой” точке от устья Туры приведена точка в створе н.п. Карбаны на р. Тобол.

Математическая модель такого распределения описывается уравнением регрессии y (Бк/м^3) $= 2,96 \cdot \exp(0,00865 \cdot x)$ при коэффициенте достоверности аппроксимации $R^2 = 0,7$ где продольная координата x выражена в километрах.

Определим потоки ^{137}Cs на входном и выходном створах участка реки как произведения соответствующих концентраций C на расход воды в створе J .

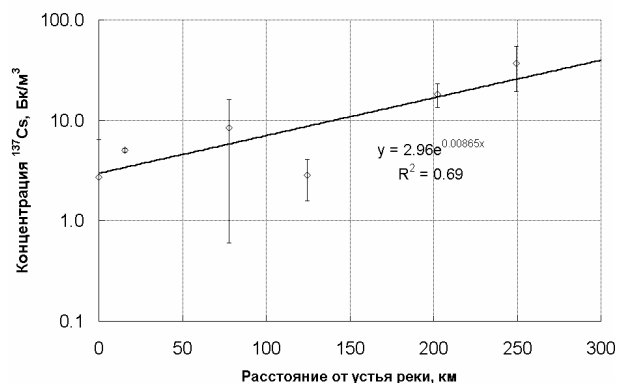


Рисунок 5. Изменение концентрации ^{137}Cs в воде р. Туры

Составим уравнение баланса для этих потоков:

$$f_s = C_{\text{вх}} \cdot J_{\text{вх}} - C_{\text{вых}} \cdot J_{\text{вых}}$$

где f_s представляет скорость накопления радионуклида (в Беккерелях за единицу времени). Если концентрация радионуклида выражена в Бк/м^3 , а расход воды – в $\text{м}^3/\text{с}$, то параметр f_s выражен в Бк/с .

Очевидно, что если входной поток радионуклида равен выходному, то $f_s = 0$ и накопления радионуклида в пойменно-русловой системе реки не происходит. С другой стороны, если входной поток превышает выходной (скорость накопления радионуклида положительная), то в систему поступает радиоактивного материала больше, чем выводится, и, соответственно, эта разница аккумулируется в донных отложениях русла реки и ее поймы. Наконец, если выводится радиоактивных веществ больше, чем поступает (скорость накопления радионуклида отрицательная), то происходит вынос радионуклидов в другую речную экосистему. Приведенные рассуждения носят общетеоретический характер и соответствуют стационарному процессу. Для получения надежной информации необходимо проведение более глубоких исследований во временной динамике, позволяющих учесть как сезонные изменения концентрации, так и эффекты запаздывания при возможных залповых сбросах.

Расчет баланса стационарных потоков для участка от Тюмени до устья Туры дает следующую величину для скорости накопления ^{137}Cs :

$$f_s = 2.96 \exp(0.00865 \cdot 184) \cdot 176 - 2.96 \exp(0.00865 \cdot 0) \cdot 216 = 1919.4 \text{ Бк/с}$$

В расчет заложены следующие параметры:

- Расстояние от Тюмени до устья реки $x = 184$ км;
- Средний годовой расход воды за многолетний период наблюдений: на Тюменской отметке – $176 \text{ м}^3/\text{с}$, в устье – $216 \text{ м}^3/\text{с}$;
- Использовано полученное выше уравнение $y = 2,96 \cdot \exp(0,00865 \cdot x)$ для вычисления концентрации цезия на расстоянии x от устья Туры.

Положительная величина баланса $f_s = 1919.4 \text{ Бк/с}$ означает, что поступление ^{137}Cs в рассматриваемую часть речной системы превышает его вынос, т.е.

процесс загрязнения поймы этим радионуклидом продолжается и в настоящее время. Суточное поступление равно $Q_d = 1919,4 \cdot 86400 = 1,7 \cdot 10^8$ Бк/сут, что соответствует $6,1 \cdot 10^{10}$ Бк/год. Отметим, что найденная величина сопоставима с полученной выше оценкой запасов в условной 100-метровой пойме реки на участке между Усть-Ницинским и устьем Туры $9,3 \cdot 10^{10}$ Бк.

Расчет годового стока ^{137}Cs в р. Тобол при допущении, что его замеренная концентрация в устье Туры близка к среднегодовой, дает величину $3,4 \cdot 10^{10}$ Бк/год (0,93 Ки/год).

Далее рассмотрим закономерности накопления ^{137}Cs на различных участках реки в пределах Тюменской области, для чего применим приведенное выше уравнение баланса для соседних створов реки. В силу того, что расстояния между различными соседними створами различны, введем также нормированный на единицу длины русла показатель скорости накопления f_N , разделив f_s на расстояние между соседними створами L_i :

$$f_N = f_s / L_i$$

Определенный таким образом нормированный параметр f_N представляет скорость накопления нуклида на погонном километре поймы i -участка реки.

Для построения модели у нас отсутствуют данные по расходам воды в рассматриваемых створах. Воспользуемся для этого результатами многолетних наблюдений водного режима на 8 постах вдоль рус-

ла реки [9], из которых только два расположены на исследуемом нами участке Туры в пределах Тюменской области. Результат математического моделирования расхода воды представлен на рис.6 и с высоким коэффициентом достоверности аппроксимации $R^2=0,98$ дает следующее уравнение для водного расхода в зависимости от расстояния до устья Туры:

$$J_i(\text{м}^3/\text{с}) = -0.219x + 212,73$$

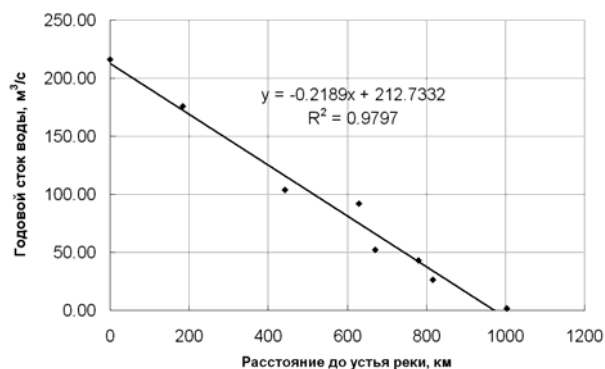


Рисунок 6. Изменение среднего годового стока вдоль реки Туры (по результатам многолетних наблюдений режима реки на 8 постах)

Используя также полученную ранее модель, описывающую изменение концентрации ^{137}Cs в воде р. Туры, получим следующие значения, представленные в таблице 3.

Таблица 3. Расчет погонной скорости накопления ^{137}Cs на различных участках поймы р. Туры

	Расчетный средний годовой расход воды, м³/с	$f_N = (C_i J_i - C_{i+1} J_{i+1}) / L_i$ Бк/с·км
Усть-Ницинская 1	147.94	-
Усть-Ницинская 2	151.35	38.53
Елкина	154.76	34.60
Речкина	158.17	31.04
Кулаково	161.58	27.83
Яр	168.40	23.64
Каскара	178.63	17.95
Созоново	185.45	13.52
Матуши	195.68	10.21
Дубровное	202.50	7.64
Никитина	209.32	6.07

Как следует из таблицы 3, расчетные скорости накопления ^{137}Cs на всех участках реки имеют положительные значения, что означает превышение величины поступления цезия на некоторый участок над величиной его выноса с данного участка. Это может быть обусловлено аккумулярованием нуклида в пойме и русловых донных отложениях, вследствие чего концентрация в воде реки уменьшается быстрее, чем возрастает расход воды. Наблюдаемое в таблице 3 увеличение скорости накопления ^{137}Cs вверх по течению соответствует более интенсивному процессу его депонирования в верхнем течении Туры.

Источником поступления цезия в водную систему Туры на территории Тюменской области может

являться как одно из предприятий ядерного цикла в верхнем течении Туры, так и загрязненная этим радионуклидом пойма Туры на территории Свердловской области. Более детальные исследования этой реки в Свердловской области позволили бы локализовать источник загрязнения, определить степень его опасности для проживающего в бассейне реки населения и выработать рекомендации по снижению степени его воздействия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выше представлены данные впервые проведенного на территории Тюменской области радиоэкологического изучения р. Туры. Они позволяют сделать вывод о том, что уровень содержания ^{137}Cs на этом участке

р. Туры обусловлен не только глобальными выпадениями радионуклидов, но также дополнительным техногенным воздействием водным путем с территории Свердловской области, источником поступления которого может являться как одно из предприятий в верхнем течении Туры, так и загрязненная этим радионуклидом пойма реки. Воздействие Белоярской АЭС через р. Пышму на радиоэкологическую ситуацию в р. Туре протекает значительно в меньшей степени, чем от указанного источника.

С помощью математического моделирования проведена оценка запасов ^{137}Cs в пойме р. Туры от н.п. Усть-Ницинское до ее устья, давшая величину 93 ГБк. В целом, уровни содержания ^{137}Cs в воде р. Туры и на территории Тюменской области не превышают установленных норм.

Работа выполнена при поддержке грантов Российского фонда фундаментальных исследований № 04-05-64172а и Программы Президиума РАН №12 «Научные основы сохранения биоразнообразия России».

ЛИТЕРАТУРА

1. Trapeznikov A., Aarkrog A. et.al. Radioactive contamination of the Ob'river system from the nuclear enterprise "Mayak" in the Urals //Environmental Radioactivity in the Arctic and Antarctic. Osteras. 1993 (a). P.129-134.
2. Trapeznikov A., Pozolotina V., et.al. Radioactive contamination of the Tcha river, the Urals //Health Physics. V.65 N5.- 1993 (b) 481-488.
3. Trapeznikov A., Aarkrog A. et.al. Radioactive Pollution of the Ob River System from Urals Nuclear Enterprise "MAJAK" //Environ. Radioactivity 25. - 1994. -P.85-98.
4. Chesnokov A.V., Govorun A. P., Linnik V.G., Shcherbak S.B. Cs-137 contamination of Tcha flood plain near village Muslumovo //Proc. of Symposium on Radiation Measurements and Applications. 12-14 May 1998, Michigan, USA.
5. Радиоэкологические исследования пресноводных экосистем. Оценка запасов радионуклидов и тяжелых металлов в основных компонентах озер на территории ВУРСа в Свердловской обл. Исследование вертикального распределения радионуклидов в донных отложениях.: Отчет / Фонды научной библиотеки ИЭРиЖ УрО РАН. - Екатеринбург, 1992. - 200 с.
6. Трапезников А.В. Распределение радионуклидов по основным компонентам озер на территории восточно-уральского радиоактивного следа в пределах свердловской области. / Трапезников А.В., Юшков П.И., Николкин В.Н., Трапезникова В.Н., Чеботина М.Я., Екидин А.А.; Под ред. А.В.Трапезникова и С.М.Вовка // Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин. / Институт экологии растений и животных УрО РАН. - Заречный, 1999. - Вып.3. - с. 54-94.
7. Трапезников А.В. Влияние стоков реки Течи на радиоэкологическое состояние реки Исеть. / Трапезников А.В., Чеботина М.Я., Юшков П.И., Трапезникова В.Н., Гусева В.П. //Экология.- 1997. - №6. - с.474-477.
8. Трапезников А.В. Влияние стоков реки Течи на радиоэкологическое состояние реки Исеть. / Трапезников А.В., Чеботина М.Я., Юшков П.И., Трапезникова В.Н., Гусева В.П. //Экология.- 1997. - №6. - с.474-477.
9. Ресурсы поверхностных вод. Т 11 – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 848 с

ТЮМЕНЬ ОБЛЫСЫ АУМАҒЫНДАҒЫ ТУРА ӨЗЕНІ МЕН ОНЫҢ ЖЫЛҒАЛЫ СУ ҚОЙМАСЫНЫҢ РАДИОЭКОЛОГИЯСЫ

Трапезникова В.Н., Трапезников А.В., Николкин В.Н., Юшков П.И.

Ресей ғылым академиясының Урал бөлімінің жануарлар және өсімдік экологиясының институты, Екатеринбург, Ресей

Тура өзені Тобол – Ертіс – Обь өзенінің жүйесіне жатады. Ядролық кәсіпорынының лақтырындыларынан бірнеше жыл бұрын Тура өзені Cs^{137} -мен ластанылды. Қазіргі уақытта оның жылғасында 93 ГБк шамасында Cs^{137} бар. Осы зерттеулерде, глобалды түсімдерге қарағанда, жылғалы су қоймаларындағы шөгінділердің ластануы бірнеше есе жоғары екенін көрсетілген.

RADIO-ECOLOGY OF THE TURA RIVER AND ITS FLOOD PLAIN RESERVOIRS IN THE TERRITORY OF TUMEN REGION

V.N. Trapeznikova, A.V. Trapeznikov, V.N. Nikolkin, P.I. Yushkov

Institute of Plant and Animal Ecology of RAS, Yekaterinburg, Russia

The Tura river belongs to Tobol-Irtysh-Ob river system. Some years back the Tura was polluted ^{137}Cs from dumps of the nuclear enterprise. Now flood plain of the river Tura contains about 93 GBq Cs^{137} . Researches have shown that pollution of the sediments of the flood plain reservoirs is some times higher, than from global fallout levels.

УДК 577.391:621.039.7

**РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ПОПУЛЯЦИЯХ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ,
ОБИТАЮЩИХ В МЕСТАХ ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**¹Сыпин В.Д., ¹Осипов А.Н., ¹Польский О.Г., ¹Елаков А.Л., ²Сынзыныс Б.И., ¹Егоров В.Г.¹Государственное унитарное предприятие г. Москвы - Объединенный эколого-технологический и научно-исследовательский центр по обезвреживанию радиоактивных отходов и охране окружающей среды (ГУП МосНПО "Радон"), Россия²Университет атомной энергетики, Обнинск, Россия

Главная задача оценки экологической приемлемости системы утилизации радиоактивных отходов состоит в предотвращении экологического риска, который может возникнуть под воздействием излучения в будущем. Но вокруг любой оценки доз или риска существуют сомнения из-за нехватки знаний о предстоящей ситуации. Следовательно, адекватная оценка экологической приемлемости системы утилизации радиоактивных отходов требует комплекс радиозоологических и радиобиологических подходов. Контроль окружающей среды на Сергиево-Посадской системе утилизации радиоактивных отходов научной и промышленной ассоциации "Радон" в приложение к стандартному комплексу радиологических испытаний также включает изучение радиобиологических воздействий на различные биологические объекты зараженных областей. В данном докладе отображены и изучены результаты, полученные в результате исследования мелких грызунов (мышей и полевых мышей), отобранных из определенных районов и огражденных зон системы утилизации.

ВВЕДЕНИЕ

Основной подход к оценке экологической безопасности комплекса по хранению твердых радиоактивных отходов (ТРО) состоит в том, чтобы предотвратить возможность увеличения экологического риска в обозримом будущем. Помимо технических мероприятий, снижающих возможность разрушения мест хранения радиоактивных веществ, необходимо проводить экологический мониторинг для изучения состояния флоры и фауны, существующих на территории такого комплекса. Таким образом, корректная оценка экологической пригодности систем размещения ТРО требует комплексного радиозоологического подхода.

Контроль состояния окружающей среды на Сергиево-Посадском комплексе по хранению радиоактивных отходов ГУП МосНПО "Радон" дополнительно к стандартному комплексу радиологического тестирования включает в себя также отбор различных биологических объектов, пригодных для оценки потенциальных радиобиологических эффектов. Считается, что одной из наиболее приемлемых моделей для проведения радиобиологического мониторинга являются мелкие млекопитающие, постоянно обитающие в зонах хранилищ РАО [1]. В настоящем докладе представлены и обсуждаются результаты, полученные на мелких грызунах (мыши и полевки), отловленных в зоне строгого режима и санитарно-защитной зоне этого комплекса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на половозрелых полевых мышках (*Apodemus agrarius*) и рыжих полевах (*Clethrionomys glareolus*) в период с 1996 по 2002 гг. Животные в возрасте 2-6 месяцев отлавливались на территории зоны строгого режима Сергиево-Посадского технологического комплекса ГУП МосНПО "Радон" с уровнем радиоактивного загряз-

нения от 50 до 1000 мкР/ч. Дозы, полученные животными с учетом внутреннего облучения, варьировали в пределах 0,1 – 5 мГр. Контрольных животных отлавливали на территории санитарно-защитной зоны Сергиево-Посадского технологического комплекса ГУП МосНПО "Радон". Радиационный фон на контрольных участках был в пределах 8 – 12 мкР/ч. Пойманных животных взвешивали, определяли возраст и декапитировали. Для исследований отбирали кровь и внутренние органы. Проводили патолого-анатомическое исследование органов грудной и брюшной полости. Подсчет эритроцитов и лейкоцитов производился на приборе "Пикоскель" фирмы "Medicot" (Венгрия). Лейкоформулу определяли по общепринятой методике. Активность миелопероксидазы в нейтрофилах периферической крови определяли цитохимическим методом [2]. Количество одноклеточных разрывов и щелочнолабильных сайтов ДНК определяли с использованием метода детергентного осаждения в щелочных условиях [3]. Содержание металлотионеинов в почках определяли кадмий-гемоглобиновым методом [4].

Определение суммарной β -активности зверьков проводилось путем радиометрии золь на установке УМФ-1500 М (СССР), а также на установке HT 1000 W Alpha/Beta System (Canberra Nuclear, USA). Содержание металлов в золе животных определяли атомно-адсорбционным методом на спектрометре С-115 М1 (Россия). Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием программы Statistica 6.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**Удельная β -радиоактивность и содержание тяжелых металлов в тушках мышей и полевок**

Результаты измерений удельной суммарной β -радиоактивности тушек животных показали, что у грызунов, обитающих на территории зоны строгого

режима, β -радионуклидов в $\sim 2-4$ выше, чем у животных обитающих на контрольных участках (таблица 1). Важно отметить, что рыжие полевки аккумулируют радионуклиды в большей степени, чем полевые мыши.

Для оценки возможного сопутствующего загрязнения исследуемых территорий тяжелыми металлами,

которое могло бы оказать значительное влияние на биологические параметры, мы провели измерение содержания тяжелых металлов в тушках животных. Результаты представленные в таблице 2 показывают, что не отмечается статистически достоверной разницы в содержании тяжелых металлов у грызунов, пойманных на различных участках.

Таблица 1. Суммарная удельная β -радиоактивность почвы, растений и грызунов из территории зоны строгого режима и санитарно-защитной зоны Сергиево-Посадского технологического комплекса ГУП МосНПО "Радон"

Участок	Удельная β -радиоактивность, Бк/кг			
	почва	растения	грызуны	
			полевые мыши	рыжие полевки
ЗСР	1928 $\pm$ 408*	575 $\pm$ 43*	176 $\pm$ 25*	381 $\pm$ 114*
СЗЗ	417 $\pm$ 113	262 $\pm$ 57	95 $\pm$ 10	98 $\pm$ 19

* - $p < 0.05$

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в тушках грызунов пойманных на территории зоны строгого режима и санитарно-защитной зоны Сергиево-Посадского технологического комплекса ГУП МосНПО "Радон"

Участки	Содержание тяжелых металлов, мг/кг					
	Pb		Cd		Zn	
	Мыши	полевки	мыши	полевки	мыши	полевки
ЗСР	1,06 $\pm$ 0,15	1,42 $\pm$ 0,21	0,21 $\pm$ 0,09	0,30 $\pm$ 0,03	28,4 $\pm$ 3,8	42,95 $\pm$ 4,17
СЗЗ	0,90 $\pm$ 0,14	1,69 $\pm$ 0,26	0,44 $\pm$ 0,10	0,34 $\pm$ 0,03	29,5 $\pm$ 1,5	49,47 $\pm$ 11,54

Патолого-анатомические исследования

Патолого-анатомические исследования всех мышевидных грызунов, пойманных за 6 лет исследований, не выявили каких-либо морфологических аномалий или уродств. В 1998-2002 гг. производили взвешивание селезенки и печени у пойманных зверьков, затем рассчитывали отношение массы органа к массе тела (данные представлены в таблице 3). Результаты измерений показали, что у животных, обитающих на территориях, загрязненных радионуклидами, отмечается тенденция к уменьшению соотношения масса селезенки/масса тела и увеличению соотношения масса печени/масса тела.

Гематологические исследования

В таблице 4 представлено содержание эритроцитов и лейкоцитов в периферической крови грызунов. Видно, что содержание эритроцитов и лейкоцитов в периферической крови грызунов, пойманных на

территории зоны строгого режима, не отличается от тех же показателей у контрольных животных.

Анализ лейкоформулы периферической крови показал, что у рыжих полевок существуют выраженные отрицательная корреляционная связь между процентом нейтрофилов и уровнем удельной β -радиоактивности животных (рисунок 1). То есть, у рыжих полевок, обитающих на наиболее загрязненных радионуклидами участках, отмечается снижение относительного количества нейтрофилов и соответственно увеличение относительного количества лимфоцитов в крови. Однако, для полевых мышей такой закономерности отмечено не было. Это легко объясняется более низким накоплением радионуклидов полевыми мышами в сравнении с рыжими полемками.

Таблица 3. Соотношение масса органа/масса тела у грызунов, пойманных на территории зоны строгого режима и санитарно-защитной зоны Сергиево-Посадского технологического комплекса ГУП МосНПО "Радон"

Участок	Грызуны	Масса печени / масса тела, $\times 10^3$	Масса селезенки / масса тела, $\times 10^3$
ЗСР	Полевки	53,7 $\pm$ 2,9	3,0 $\pm$ 0,31
	Мыши	58,3 $\pm$ 2,6	3,8 $\pm$ 0,6
СЗЗ	Полевки	46,5 $\pm$ 2,9	3,2 $\pm$ 1,0
	Мыши	53,8 $\pm$ 4,7	4,0 $\pm$ 0,5

Таблица 4. Содержание эритроцитов и лейкоцитов в периферической крови грызунов, пойманных на территории зоны строгого режима и санитарно-защитной зоны Сергиево-Посадского технологического комплекса ГУП МосНПО "Радон"

Участок	Эритроциты, $\times 10^{12}/л$		Лейкоциты, $\times 10^9/л$	
	полевые мыши	рыжие полевки	полевые мыши	рыжие полевки
ЗСР	9,8 $\pm$ 0,8	10,6 $\pm$ 0,9	5,4 $\pm$ 1,9	3,92 $\pm$ 1,75
СЗЗ	9,5 $\pm$ 1,2	9,97 $\pm$ 1,67	4,6 $\pm$ 2,5	4,12 $\pm$ 1,64

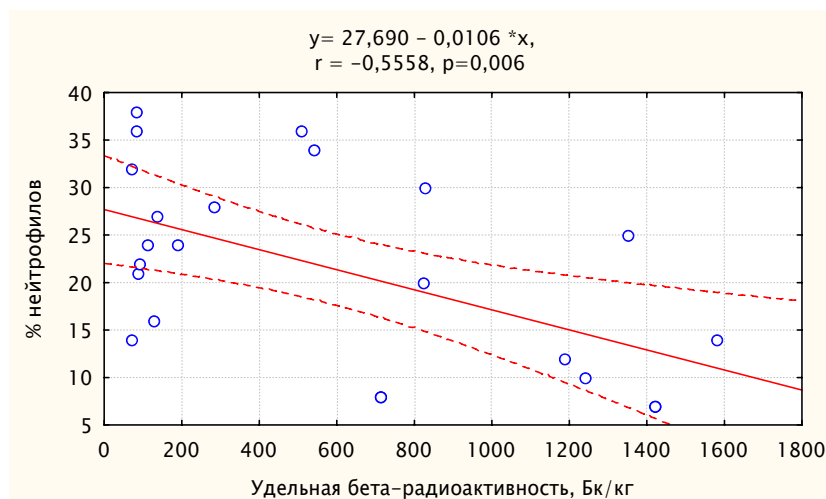


Рисунок 1. Зависимость % нейтрофилов в периферической крови рыжих полевок, обитающих на загрязненных радионуклидами территориях, от уровня удельной β -активности

В таблице 5 представлена активность миелопероксидазы в нейтрофилах периферической крови грызунов. У рыжих полевок, обитающих в зоне строгого режима, отмечается тенденция к увеличению активности миелопероксидазы в нейтрофилах, тогда как для полевых мышей, обитающих на той же территории, существует тенденция к снижению активности миелопероксидазы.

Корреляционный анализ показывает, что у рыжих полевок отмечается слабая отрицательная корреляционная связь между активностью миелопероксидазы в нейтрофилах и удельной β -активностью животных. Для полевых мышей отсутствует корре-

ляция между активностью миелопероксидазы и удельной β -активностью.

Таблица 5. Активность миелопероксидазы в нейтрофилах периферической крови грызунов, пойманных на территории зоны строгого режима и санитарно-защитной зоны Сергиево-Посадского технологического комплекса ГУП МосНПО "Радон"

Участок	Полевые мыши	Рыжие полёвки
ЗСР	1,29 $\pm$ 0,41	1,49 $\pm$ 0,10
СЗЗ	1,48 $\pm$ 0,29	1,35 $\pm$ 0,15

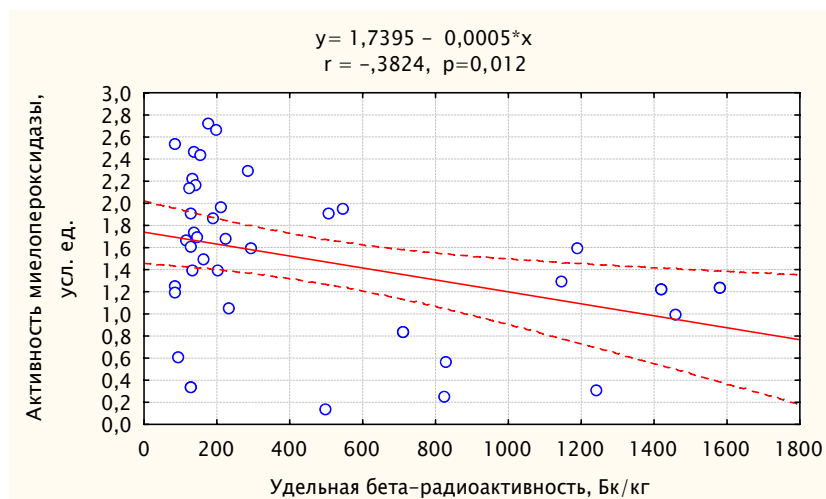


Рисунок 2. Зависимость активности миелопероксидазы нейтрофилов периферической крови рыжих полевок, обитающих на загрязненных радионуклидами территориях, от уровня удельной β -активности

Оценка общего состояния антиокислительных систем в лимфоцитах селезенки у мышевидных грызунов, обитающих на территориях, загрязненных радионуклидами

Состояние антиокислительных систем существенно влияет на течение метаболических процессов в живых клетках [5]. Для оценки общего состояния антиокислительных систем в лимфоцитах селезенки у рыжих полевок, отловленных на территории зоны строгого режима Сергиево-Посадского технологического комплекса ГУП МосНПО "Радон", использовали методику обработки суспензии клеток перекисью водорода [6]. Обработка лимфоцитов селезенки перекисью водорода в концентрации 0,5 мМ/л и 5 мМ/л приводила к достоверному повышению уровня одонитевых разрывов в обеих исследуемых группах (рисунок 3). В то же время, лимфоциты селезенки рыжих полевок, отловленных на загрязненных радионуклидами территориях, реагировали на воздействие перекиси водорода несколько слабее, чем лимфоциты селезенки полевок, отловленных контрольных участках. Это может быть связано с повышенной активностью антиокислительных систем в клетках этих животных. Возможно, обитание на территориях, загрязненных радионуклидами, приводит к формированию популяций, отличающихся высокой активностью антиокислительных систем. Однако, для окончательного заключения необходимы дальнейшие исследования.

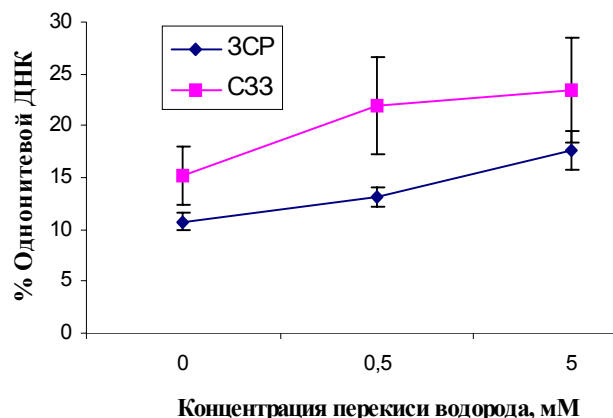


Рисунок 3. Образование пероксид-индуцированных одонитевых разрывов ДНК в лимфоцитах селезенки рыжих полевок, обитающих на загрязненных радионуклидами территориях и контрольных участках

ЛИТЕРАТУРА

1. Маслов В.И. О проведении комплексных радиоэкологических исследований в биогеоценозах с повышенной радиоактивностью. / Сб. тр.: Радиоэкологические исследования в природных биогеоценозах. Под ред. И. Н. Верховской – Москва: Наука.-1972.-С. 9-21.
2. Нарцисов Р.П. Оценка активности миелопероксидазы в нейтрофилах крови цитохимическим методом. // Лабораторное дело. 1964. - № 3. - С. 150-153.
3. Olive P.L. DNA precipitation assay: A rapid and simple method for detecting DNA damage in mammalian cells. // Envir. and Molec. Mutagenesis. 1988. - V. 11. - P.487-495.
4. D. Eaton, M. Cherian Determination of metallothionein in tissues by cadmium-hemoglobin affinity assay. // Methods. Enzymol. 1991. - V. 205. - P. 83-90.

Содержание металлотионеинов в почках грызунов

Увеличение содержания металлотионеинов в тканях животных является хорошо известным биоиндикатором загрязнения окружающей среды. [7]. Наши исследования показали, что у рыжих полевок отмечается незначительная тенденция к увеличению содержания металлотионеинов в почках. У полевых мышей не отмечалось даже тенденции к увеличению содержания металлотионеинов.

Таблица 6. Содержание металлотионеинов в почках грызунов, пойманных на территории зоны строгого режима и санитарно-защитной зоны Сергиево-Посадского технологического комплекса ГУП МосНПО "Радон"

Участок	Полевые мыши	Рыжие полёвки
ЗСР	12,5±5,4	23,0±10,6
СЗЗ	13,5±12,0	15,6±4,4

Таким образом, многолетние исследования мышей и полевок, обитающих на территории Сергиево-Посадского технологического комплекса ГУП МосНПО "Радон", показали, что животные, обитающие на загрязненных территориях, характеризуются нормальными клиническими показателями. Не отмечено каких-либо тератогенных эффектов и патолого-морфологических изменений во внутренних органах, мышечной и костной ткани. Возможно, дозовые нагрузки, получаемые животными на загрязненных территориях, являются "подпороговыми". С другой стороны, на момент начала исследований в зоне строгого режима Сергиево-Посадского филиала со времени установления радиоактивного загрязнения почвы и растений за счет миграции радионуклидов из мест захоронения обитало 35-е поколение мышевидных грызунов. Не исключено, что мы имеем дело с радиорезистентными популяциями животных. В пользу этого предположения говорит факт увеличения резистентности лимфоцитов селезенки рыжих полевок, обитающих на загрязненных территориях, к воздействию перекиси водорода. Наши результаты показывают, что изучение мелких грызунов позволяет получить ценную информацию для корректного заключения о радиоэкологической безопасности комплексов по хранению и переработке радиоактивных отходов.

5. Скулачев В.П. Кислород в живой клетке: добро и зло. // Природа.-1997.- № 11. - С. 26-35.
6. A.N. Osipov, A.L. Elakov, P.V. Puchkov, M.D. Pomerantseva, L.K. Ramaiya, D.Yu. Klokov, V. D. Sypin, V.A. Shevchenko The Estimation of Molecular and Cytogenetic Effects in Mice Exposed to Chronic Low Dose-Rate Gamma-Irradiation. // Russian Journal of Genetics. 2002. - Vol. 38. - No. 10. - P. 1140-1144.
7. G. Rott, B. Romantseva, B. Synzynys The metallothionein content in freshwater molluscs inhabited in reservoirs of the Middle Russia. // Russian Journal of Ecology. 1999. - No. 4. - P. 306-308.

РАДИОАКТИВТІ ҚАЛДЫҚТАР КӨМІЛГЕН АЛАНДАРДА МЕКЕНДЕУШІ ҰСАҚ СҮТҚОРЕКТІЛЕР ПОПУЛЯЦИЯСЫНА РАДИОБИОЛОГИЯЛЫҚ ЗАРДАПТАРЫ

¹Сыпин В.Д., ¹Осипов А.Н., ¹Польский О.Г., ¹Елаков А.Л., ²Сынзыныс Б.И., ¹Егоров В.Г.

¹Мәскеудің "Радон" өнеркәсіп және ғылыми ассоциациясы, Мәскеу, 11912 Ресей

²Атом энергетикасы университеті, Обнинск, Ресей

Радиоактивті қалдықтарды экологиялық тиімді пайдалану жүйесін бағалаудың басты міндеті, алдағы уақытта сәуле шығаруы мүмкін болғандықтан, экологиялық қауіп-қатердің алдын алу. Бірақ-та дозаны бағалауда немесе қауіп-қатердің маңайында, алдағы болатын ситуацияға байланысты білімнің жеткіліксіздігінен шұбалану болады. Радиоактивті қалдықтарды пайдалану жүйесінің экологиялық тиімділігін барабар бағалау, радиобиологиялық және радиоэкологиялық комплексті көзқарасты қажет етеді. Сергиево-Посад радиоактивті қалдықтарды пайдалану жүйесінің қоршаған ортаны бақылау және "Радон" өнеркәсіп пен ғылыми сынақтар комплексіне әртүрлі биологиялық ластанған облыстардың объектілерін зерттеуі келтірілген. Баяндамада қоршалған пайдалану жүйесінің зонасы мен белгілі бір аудандардан алынған ұсақ кеміргіштерді (тышқан және дала тышқандарын) зерттеу нәтижелері бейнеленіп қорытындыланған.

RADIOBIOLOGICAL EFFECTS IN SMALL MAMMALS POPULATIONS DWELLED AT RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL SITES

¹V.D. Sypin, ¹A.N. Osipov, ¹O.G. Polsky, ¹A.L. Elakov, ²B.I. Synzynys, ¹V.G. Egorov

¹Moscow Industrial and Scientific Association "Radon", Moscow, Russia

²University of Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia

A major issue in evaluating the ecological acceptability of a disposal system for radioactive waste is in preventing the ecological risk that may arise from exposures in the distant future. There is uncertainty surrounding any estimate of these doses or risks due to lack of knowledge about future conditions. Therefore, the adequate estimation of the ecological acceptability of a radioactive waste disposal system required a complex radioecological and radiobiological approach. Environmental surveillance at the Sergievo-Posadsky radioactive waste disposal system of the Scientific and Industrial Association "Radon" in addition to a standard complex radiological testing includes also the study of the radiobiological effects in different biological objects sampled from the contaminated areas. In present report the results obtained on small rodents (mice and voles) sampled from the strict mode and fence zones of this disposal system are displayed and discussed.

УДК 574:539.16.047+616.43+575.21

ЭНДОКРИНОПАТИИ КАК СЛЕДОВЫЕ РЕАКЦИИ И ЭФФЕКТЫ ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ МАЛЫХ ДОЗ РАДИАЦИИ

¹⁾Талалаева.Г.В., ²⁾Мыларщиков А.В., ²⁾Зайкова И.О., ³⁾Антропова Т.Б.

¹⁾Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия

²⁾Уральская государственная медицинская академия, Екатеринбург Россия

³⁾Областная больница №2 – Региональный центр радиационной медицины, Екатеринбург, Россия

Изучены эндокринопатии в качестве акселераторов модификационной изменчивости уральцев. Проведен ретроспективный анализ показателей здоровья ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС, лиц, пострадавших в связи с деятельностью ПО «Маяк» и их потомков I-II поколений. Эндокринный статус изучен у 524 подростков: 88 жителей урбанизированного г.Екатеринбурга (контрольная группа) и 436 потомков жителей ВУРСа (основная группа). Приведены авторские данные о статических и динамических характеристиках экологической нормы эндокринного статуса молодых уральцев. Статические характеристики представлены уровнем гонадных, надпочечников и гипофизарных гормонов в сыворотке крови, динамические - хронологией процесса полового созревания у здоровых подростков. Роль эндокринопатий в нарушении скорости онтогенеза в пубертате прогнандирована на примере больных с задержкой полового созревания тяжелой и легкой степени тяжести. Семейные и перинатальные факторы риска эндокринопатий классифицированы. Выделены детерминирующие, модулирующие и вероятностные градации эндокринопатий как модуляторов биологического времени. Описано изменение вектора онтогенеза в пубертате у подростков, чьи предки подверглись хроническому действию малых доз радиации. Предложено рассматривать модификационную изменчивость уральцев в рамках немарковского процесса, в котором эндокринопатии родителей являются предысторией, а нарушение репродуктивных перспектив их потомков I-II поколений – последствием.

В последние годы специалисты в области радиобиологии пришли к консолидированному мнению, что биологические эффекты больших и малых доз радиации существенно отличаются друг от друга, что они имеют разные точки приложения, разные органы-«мишени» и не одинаковые социальные и популяционные последствия. Согласно современной радиобиологической парадигме большие дозы радиации оказывают прямое повреждающее действие на ткани, тогда как малые дозы вызывают существенные сдвиги в структуре общего адаптационного синдрома (ОАС). Сравнительная характеристика

радиобиологических эффектов больших и малых доз радиации приведена в таблице 1. Типичным эффектом малых доз считается активация “болезней круга хронического стресса” [1]. Однако, схемы развития болезней адаптации под влиянием малых доз радиации изучены недостаточно. В решении IV съезда по радиационным исследованиям (Москва, 2001) четко обозначена необходимость дальнейших исследований в этом направлении и целесообразность изучения радиобиологических эффектов на различном уровне организации живых систем.

Таблица 1. Радиобиологические эффекты больших и малых доз радиации

Радиобиологические эффекты	Величина дозовых нагрузок	
	Большие дозы	Малые дозы
Органы-«мишени»	Костный мозг	Эндотелий сосудов, миелиновые волокна
Отношение к делящимся клеткам	Тропность к быстро делящимся клеткам	Тропность к медленно делящимся клеткам
Патология острого периода	Лучевая болезнь	Болезни адаптации
Характерная патология отдаленного периода	Онкопатология у облученных, аномалии развития у потомков	Болезни адаптации у облученных и потомков
Наличие эффектов последствия на уровне популяций	Отсутствуют, лучевые эффекты реализуются в среде облученных	Существенны, проявляются в виде эпигенетических транс-генерационных эффектов
Особенность влияния на биологическую изменчивость организмов	Изменение генотипической изменчивости, возникновение мутаций	Изменение фенотипической изменчивости, возникновение модификаций
Связь «доза-эффект»	Детерминированная	Вероятностная
Моделирование эффектов	Линейные модели	Нелинейные модели

Изучение радиобиологических эффектов малых доз радиации, проведенное в постчернобыльский период, показало, что радиоактивно индуцированный ОАС представляет собой многомерный феномен, в реализации которого большую роль играют нарушения функциональной активности эндокринной системы [2-9]. Общеизвестно, что ОАС реализуется фазно, может протекать по различным схемам и приводит к различным исходам в зависимости не только от интенсивности стрессирующего фактора, но и от индивидуальной реактивности человека [10]. Исследования показали, что проявления радиоактивно индуцированного ОАС также имеют фазную динамику; описан порядок реализации острофазовых реакций, следовых реакций и эффектов последствий при радиоактивно индуцированном ОАС [11-13].

Установлено, что проявления радиоактивно индуцированного ОАС обладают некоторыми особенностями: они характеризуются множественностью и выраженной внутригрупповой вариативностью симптомов дезадаптации; а также наличием продолжительного «шлейфа» отсроченных эффектов с ретенцией признаков дезадаптации через 5-7 лет после облучения [14-22].

Вариабельность эндокринопатий в когортах облученных ранее подробно не исследовалась. Однако, в публикациях последних лет авторы стали все чаще обращать внимание на то, что эндокринопатии регистрируются не только в когортах облученных, но и у их потомков [23-27]. Вместе с тем, закономерности трансляции эндокринопатий от когорты облученных к их потомкам до сих пор не проанализированы. Мы полагаем, что системный анализ, активно применяемый сейчас в экологических исследованиях [28-31], поможет познать механизм экстраполяции эндокринопатий от поколения облученных к поколениям их детей и внуков. Наши прежние работы [32] показали успешность применения системного анализа к оценке кардиопатий у облученных. Настоящее сообщение продолжает тему на примере исследования специфики эндокринопатий у лиц из категорий радиационного риска.

Постановка проблемы. Цель работы – исследовать закономерности экстраполяции эндокринопатий в сообществе стрессированных людей, в том числе среди лиц, подвергшихся хроническому воздействию малых доз радиации.

Для достижения указанной цели были обозначены две задачи.

1) На примере ликвидаторов аварии на ЧАЭС (ЛПА) изучить экспрессию и хронологию эндокринопатий отдаленного периода.

2) На примере потомков жителей Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС) изучить взаимосвязь между эндокринопатиями пубертата у подростков и несостоятельностью ОАС у их предков.

Выбор контроля в нашем исследовании осуществлен с учетом двух требований.

1) Контрольная система, служащая эталоном, должна иметь ту же размерность и сложность структурной организации, что и опытная.

2) Контрольная система должна находиться в тех же фоновых антропогенных нагрузках, что и опытная, за исключением воздействий, подлежащих анализу в рамках данной работы, то есть за исключением участия в ликвидации аварии на ЧАЭС и смены постоянного места жительства в связи с деятельностью ПО «Маяк».

Материал и метод. Основную группу наблюдений составили пациенты Регионального центра радиационной медицины г.Екатеринбурга. Под наблюдением находилось 4367 ЛПА на ЧАЭС, жителей Свердловской области, а также 4470 взрослых жителей ВУРС и 1280 их потомков, сегодняшних жителей г.Екатеринбурга или Каменск-Уральского района Свердловской области. У 436 потомкам жителей ВУРС проведено углубленное клинико-генеалогическое исследование, при этом у 88 из них определен гормональный профиль. В качестве контроля были использованы данные медицинской статистики о структуре заболеваемости жителей Свердловской области и темпы полового созревания уральцев, оттитрованные путем обследования 529 школьников г.Екатеринбурга. Распространенность эндокринопатий среди ЛПА фиксировалась путем ежегодных целевых диспансеризаций, проводимых по унифицированному протоколу Российского государственного медико-дозиметрического регистра (программный продукт Медицинского радиологического научного центра РАМН, г.Обнинск).

Комплексное обследование подростков также проводилось по унифицированному протоколу, который включал в себя сбор генеалогического, семейного, акушерского и перинатального анамнеза; выявление стигм дизэмбриогенеза, антропо- и гениометрию, консультацию ортопеда, невролога и детского эндокринолога. При наличии клинических признаков ЗПР больным по показаниям осуществлялось углубленное обследование: исследовался кариотип, проводилась электроэнцефалография, компьютерная томография мозга; УЗИ щитовидной железы и половых органов. Гормональный профиль определялся методом иммуноферментного анализа. В сыворотке крови определялись гормоны щитовидной железы, гипофиза, надпочечников и гонад, в том числе тиреотропный гормон, свободный тироксин; пролактин, фолликулостимулирующий гормон, лютеинизирующий гормон, общий тестостерон, эстрадиол, прогестерон, гидроксипрогестерон, андростендион, дигидроэпиандростерона сульфат, кортизол. У лиц с подозрением на аутоиммунную патологию щитовидной железы определялся титр антитиреоидных антител.

Математическая обработка результатов исследования выполнена с применением прикладных программ «Statistica». Достоверность выявляемых закономерностей проверена методами вариационной и непараметрической статистики с использованием критерия Стьюдента и критерия Пирсона. Выявление факторов риска ЗПР проведено на основе методики расчета коэффициента атрибутивного риска (АР), рекомендованной ВОЗ (1984). Ранжирование факторов риска ЗПР как модуляторов скорости и качества пубертата проведено по авторской методике.

Полученные результаты. Наблюдаемые нами ЛПА были мужчинами в возрасте от 35 до 45 лет, большинство из них (76,6%) принимали участие в аварийных работах на ЧАЭС в 1986-1987 гг. У всех ЛПА доза внешнего облучения была значительно ниже той границы, при которой возможно развитие лучевой болезни. У 47,2% ЛПА дозовая нагрузка была менее 5 рад, у 25,9% - колебалась в пределах от 5 до 10 рад, у 17,3% - от 11 до 20 рад, у 8,0% ЛПА - от 21 до 24 рад. У ЛПА на ЧАЭС структурно-функциональные характеристики эндокринопатий отличались от контрольных. Удельный вес эндокринной патологии в структуре общей заболеваемости ЛПА на седьмом году после аварии равнялся 4,9%, что в 2 раза превышает уровень заболеваемости эндокринной патологией у трудоспособных жителей Свердловской области. Эутиреоидный зоб был обнаружен у 15,4% ЛПА. Это почти в 3 раза чаще, чем среди сопоставимого по возрасту мужского населения Свердловской области. В структуре патологии щитовидной железы у ЛПА чаще, чем в общей популяции уральцев, встречались случаи диффузного токсического зоба и случаи аутоиммунных форм патологии щитовидной железы. Специфика эндокринопатий у ЛПА в отсроченном периоде наблюдений не была связана с онкологической патологией щитовидной железы. Развитие тиреотоксикоза у ЛПА имело своеобразную хронологию. Тиреотоксикоз развивался у ЛПА,

как правило, не сразу после возвращения из Чернобыля, а в отсроченном периоде после облучения, на 5-7 году после их участия в аварийных работах. Для сравнения: фоновое значение удельного веса эндокринопатий в структуре общей заболеваемости ЛПА равнялось 1,7%, а в 1992-1993 гг. почти в 3 раза и достиг 4,9%.

Следующим этапом нашей работы был анализ эндокринопатий пубертата 2-го поколения жителей ВУРС как эффектов последствие радиоактивно индуцированного ОАС у их прародителей. В этом блоке работ мы сначала определили региональные особенности пубертата, свойственные уральцам; а потом сопоставили эти данные с показателями пубертата у подростков, являющихся потомками жителей ВУРС.

Характеристика эндокринопатий пубертата у подростков контрольной группы, служившая нам эталоном, была следующей. Нарушение полового развития (НПР) имело место у 56,3% девушек и у 17,6% юношей. Случаи НПР в контрольной группе достоверно чаще ($\chi^2=29,5$) наблюдались у девушек по сравнению с юношами. Соотношение встречаемости НПР между полами было равно 3,2. Частота тяжелых форм НПР в виде задержки полового и физического развития (ЗПФР) в контрольной группе не имела гендерных различий, наблюдаясь одинаково часто среди юношей и девушек (в 8,2% и в 8,6% наблюдений соответственно). Нарушение менструального цикла у школьниц контрольной группы являлось функциональной патологией и было обусловлено дисбалансом репродуктивных гормонов в эндокринном статусе пациенток. По данным УЗИ органов малого таза и компьютерной томографии мозга органической патологии репродуктивной сферы у девушек контрольной группы, страдающих ЗПР, обнаружено не было. Данные о различиях в гормональном статусе больных ЗПР и лиц с нормальным темпом полового развития представлены в таблице 2.

Таблица 2. Гормональный статус у здоровых уральцев и больных ЗПР

Гормоны	Содержание в норме	Больные ЗПР
Девушки: I фаза менструального цикла		
Лютеинизирующий гормон (мМЕ/л)	4,10±0,20	5,46±1,70
Прогестерон (нмоль/л)	2,30±0,10	2,60±0,45
Эстрадиол (нмоль/л)	206,70±14,20	118,59±17,41 *
Кортизол (нмоль/л)	380,00±27,30	384,19±40,22 *
Девушки: II фаза менструального цикла		
Лютеинизирующий гормон (мМЕ/л)	4,28±0,41	7,52±1,05 *
Прогестерон (нмоль/л)	24,65±1,71	2,95±0,67 *
Эстрадиол (нмоль/л)	398,60±21,98	136,10±39,25 *
Кортизол (нмоль/л)	348,10±41,48	445,50±68,91
Юноши:		
Тиреотропный гормон (МЕ/л)	1,50±0,07	2,10±0,15 *
Пролактин (мМЕ/л)	285,0±9,0	209,4±16,1 *
Фолликулостимулирующий гормон (МЕ/л)	3,50±0,17	2,20±0,18 *
Лютеинизирующий гормон (МЕ/л)	2,30±0,10	1,11±0,10 *
Общий тестостерон (нмоль/л)	16,50±0,80	0,58±0,07 *

Примечание: * - различие между группами ЗПФР и СПП достоверно.

У девочек больных ЗПР уровень общего тестостерона в сыворотке крови был в полтора раза выше, чем у их здоровых сверстниц: $1,47 \pm 0,34$ нмоль/л против $1,02 \pm 0,10$ нмоль/л в первую фазу менструального цикла и $1,65 \pm 0,49$ нмоль/л против $1,02 \pm 0,10$ нмоль/л – во вторую. При этом, уровень общего тестостерона в сыворотке крови у подростков Урала убывал в следующем порядке: здоровые юноши, девушки с ЗПР, здоровые девушки, юноши с ЗПР ($16,50 \pm 0,80$; $1,65 \pm 0,49$; $1,02 \pm 0,10$ и $0,58 \pm 0,07$ нмоль/л соответственно). Выявленная закономерность свидетельствует о гормональной инверсии пола у больных ЗПР при сохранении ими своей естественной гено- и фенотипической принадлежности. Открытый нами феномен чреват функциональным нарушением репродуктивных качеств подростков, имеющих признаки ЗПР.

Структурно-функциональный анализ показал, что гормональный статус больных ЗПР характеризовался переходом с естественного алгоритма саморегуляции на патофизиологический. Суть патофизиологического механизма заключалась в том, что независимо от пола пациента в гормональном профиле больного ЗПР регистрировалось снижение уровня репродуктивных гормонов, свойственных генетическому полу пациентов, и увеличивался уровень половых гормонов, свойственных противоположному полу. У девушек, страдающих ЗПР, фиксировалась гиперандрогения, а у юношей, диагностировалось повышение уровня эстрадиола. Указанный дисбаланс репродуктивных гормонов (своего рода гормональная инверсия пола) у больных ЗПР происходил на фоне нарушения адаптивной функции надпочечников. Последнее проявлялось в том, что уровень кортизола, основного адаптивного гормона надпочечников прогрессивно снижался в параллель с нарастанием степени тяжести ЗПР. У юношей это снижение носило монотон-

ный характер, у девушек – стадийный. При легкой форме ЗПР достоверно увеличивалась амплитуда месячных флюктуаций уровня кортизола, свойственная здоровым девушкам; а при тяжелой форме ЗПР уменьшалась, все больше приближаясь к монотонному типу секреции кортизола, характерному для юношей.

Степень тяжести ЗПР у молодых уральцев зависела от степени дефицитности ОАС. Эта взаимосвязь проявлялась как по данным объективного осмотра, так и по результатам анализа истории жизни и развития пациентов. Параллель между тяжестью ЗПР и дефицитностью ОАС, выявленная путем соматического и неврологического обследования пациентов представлена в таблице 3. Установлено, что тяжелые формы ЗПР достоверно чаще встречались у подростков, в семейном и (или) перинатальном анамнезе которых имелись сведения о дефицитности ОАС. Нами установлено, что в градицию детерминирующих факторов риска ЗПР, предопределяющих сам факт задержки полового развития в пубертате, вошли такие факты семейного анамнеза, как поздний пубертат родителей, эндокринная и иммунная патология у родителей. В градицию модифицирующих факторов риска ЗПР, усиливающих тяжесть ЗПР, приводящих к сочетанному замедлению и полового и физического развития, вошли следующие факты семейного и перинатального анамнеза пациентов: хроническая гипоксия плода ($\chi^2=47,3$), профпатология отца, включая алкоголизм отца, ($\chi^2=19,3$), гестозы у матери во время беременности ($\chi^2=15,7$), ожирение по линии матери ($\chi^2=14,1$), воспалительная патология репродуктивной сферы матери ($\chi^2=14,1$), анемии у матери во время настоящей беременности ($\chi^2=11,7$), соматическая патология матери ($\chi^2=10,9$), гинекологическая патология у матери и ее родственниц ($\chi^2=6,8$) и перинатальное повреждение нервной системы новорожденного ($\chi^2=5,8$).

Таблица 3. Морфо-функциональные признаки дефицитности ОАС у больных ЗПР

Клинические признаки дезадаптации	Встречаемость признака у больных ЗПР	
	Легкая форма (n=32)	Тяжелая форма (n=56)
Тип телосложения (в % к числу в группе):		
-инфантильный морфотип	-	89,3
-инфантильно-евнухоидный морфотип	-	10,7
-андроидный морфотип	87,5	-
-гиноидный морфотип	12,5	-
Нарушение осанки (в % к числу в группе):	65,6	89,3*
Признаки врожденной соединительно-тканной недостаточности (в % к числу в группе):		
-суммарно (варикоцеле, паховые грыжи, дополнительные хорды в левой камере сердца; дисплазии мочеполовой системы и позвоночного столба)	46,9	85,7*
-в том числе варикоцеле	15,6	44,6*
Вегето-сосудистая дистония (в % к числу в группе):	65,6	92,9*
Резидуальная церебральная органическая недостаточность (в % к числу в группе):	28,1	100,0*
Начало пубертата (возраст в годах):	$14,6 \pm 0,6$	$16,5 \pm 0,9$
Степень физического развития, достигнутая к 18-19-летнему возрасту	Достижение целевого роста, обусловленного конституцией	Отставание от целевого конституционального роста

Примечание: * - различие между группами ЗПР и СПП по критерию Пирсона достоверно.

Ранжирование факторов риска ЗПР по величине атрибутивного риска показало, что наибольший риск формирования тяжелых форм ЗПР присущ тем эпизодам дефицитарности ОАС, которые сопровождаются наиболее длительными эпизодами гипоксии пациента. Так, например, коэффициент атрибутивного риска ЗПР при хронической внутриутробной гипоксии плода был равен 87,0%, а при кратковременной гипоксии, обусловленной стремительными родами, он был на 3 порядка ниже и составлял лишь 0,3%.

Обнаружено, что прогностическая значимость факторов риска ЗПР семейного и перинатального анамнезов не одинакова. В структуре семейного

анамнеза преобладают факторы риска ЗПР детерминирующей градации, что предопределяет сам факт повторения в потомстве замедленных темпов пубертата, свойственных их предкам; тогда как в структуре перинатального анамнеза доминируют факторы риска ЗПР модифицирующей градации, утяжеляющие экспрессию ЗПР у пациентов. Это означает, что даже в случае сохранения генетической стабильности людей, появление в их анамнезе стрессовых факторов, вызывающих дефицитарность ОАС, с неизбежностью приводит к замедлению темпов полового и физического развития (ЗПР) их потомков, рисунок 1.

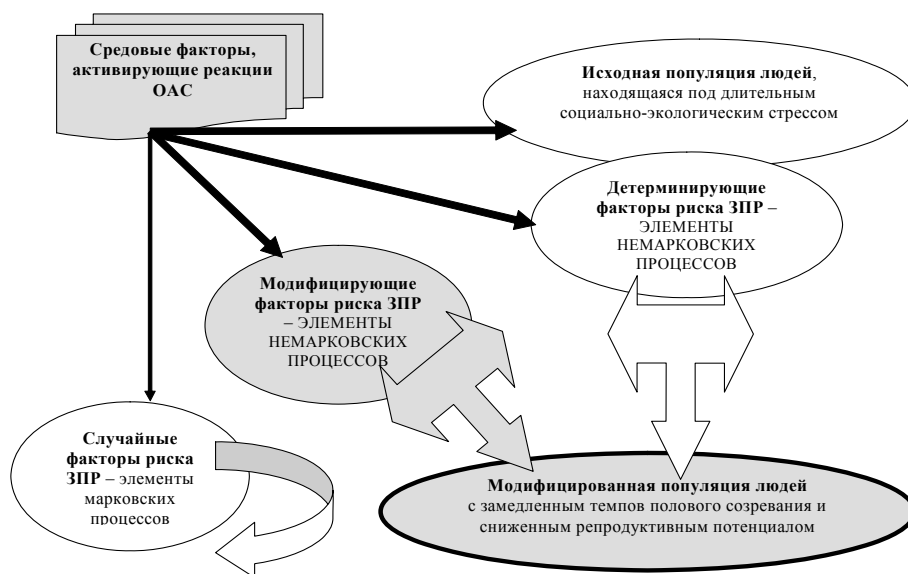


Рисунок 1. Алгоритм трансформации дефицитарности ОАС предков в замедление темпов полового созревания их потомков. Детерминирующие факторы риска ЗПР обеспечивают репликацию в череде потомков темпа полового созревания предков, модифицирующие факторы риска ЗПР увеличивают экспрессию ЗПР у потомков

Наши наблюдения за потомками жителей ВУРС подтвердили эти предположения. Данные о возрастном составе потомков жителей ВУРС демонстрируют актуальность проблемы пубертата для лиц данной категории: в 2002 г 50,8% лиц данной группы наблюдения находились в возрасте от 10 до 15 лет. Эти лица либо вступали в пубертат, либо находились в процессе полового созревания. Три четверти из числа прикрепленных находятся в возрасте от 10 до 18 лет и, следовательно, принадлежат к тому периоду онтогенеза, который имеет важное прогностическое значение для осуществления их последующей репродуктивной функции. Структура потомков жителей ВУРС, состоящие на диспансерном учете в ОБ №2, представлена в таблице 4.

При оценке уровня физического и полового развития установлено, что большая часть детей среди потомков второго поколения жителей ВУРСа 10,8% обследованных девочек и 17,5% мальчиков имеют задержку физического и полового созревания (ЗПР). При УЗИ исследовании гонад и определении костного возраста диагноз полового инфантилизма у этих детей был подтвержден. Достоверных различий по полу в частоте данного показателя у подростков основной группы обнаружено не было. Установлено, что подростки основной группы вступают в пубертат в возрасте 12-13 лет (мальчики) и 11-12 лет (девочки).

Таблица 4. Структура потомков жителей ВУРС, наблюдаемых в ОБ № 2 (в %)

Пол потомков	Категории наблюдений				Суммарно
	Потомки эвакуированных		Потомки переселенцев		
	Дети	Внуки	Дети	Внуки	
Мужской	12,5	11,9	4,8	23,8	53,0
Женский	8,9	9,5	7,7	20,9	47,0
Итого	21.4	21.4	12.5	44.7	100.0

Сопоставление показателей пубертата основной группы с контролем выявило следующие особенности полового созревания потомков жителей ВУРС. У девочек основной группы частота ЗПФР была сопоставима с аналогичным показателем контрольной группы (10,8% против 8,2%). У мальчиков основной группы частота ЗПФР была в 2 раза выше аналогичного показателя контрольной группы (17,5% против 8,6%). Случаи задержки полового и физического развития среди мальчиков основной группы по сравнению с контролем регистрировались достоверно чаще ($\chi^2=4,6$). У юношей основной группы, имеющих признаки ЗПФР, уровень общего тестостерона в сыворотке крови характеризовался очень низкими значениями, будучи почти в 5 раз ниже региональной возрастной нормы. Уровень гипофизарных гонадотропинов и надпочечниковых стероидов имел тенденцию к понижению. Такой гормональный профиль в пубертате является фактором риска гипогонадизма и мужского бесплодия в будущем.

Таким образом, несмотря на одинаковый возраст начала пубертата, подростки основной группы достоверно отличались от контроля пониженным темпом полового созревания у юношей и нарастанием гендерных различий в скорости пубертата между юношами и девушками. Достоверное превышение частоты ЗПФР среди мальчиков основной группы над контролем дает основания утверждать, что репродуктивный потенциал в мужской популяции потомков ВУРС подвергся более глубокой деструкции, чем репродуктивный потенциал юношей контрольной группы.

Результаты клинико-функционального обследования уточнили выраженность эндокринопатий пубертата у девушек основной группы. Встречаемость нарушений менструального цикла (НМЦ) среди девушек основной группы составила 53,2%. Это было несколько выше значений контрольной группы, в которой данный показатель составлял 47,8%, но не достигало степени статистических различий. На этом фоне признаки гиперандрогении в виде гипоменструального синдрома и гирсутизма у девушек основной группы были более распространенным феноменом, чем у больных НМЦ контрольной группы. В основной группе гипоменструальный синдром как клиническое выражение гиперандрогении наблюдался почти у 2/3 больных НМЦ, тогда как в контроле гиперандрогения была причиной менструальной дисфункции лишь у 1/5 больных НМЦ. Фенотипический признак андрогении в виде оволосения по мужскому типу (гирсутизм) в основной группе диагностирован в 28,1% наблюдений. У девочек с синдромом гирсутизма зафиксировано значительное повышение уровня тестостерона сыворотки крови: выше 2,5 нмоль/л при норме уровня тестостерона для взрослых женщин Среднего Урала 0-2 нмоль/л. Установлено, что в структуре НМЦ у больных ЗПР гипоменструальный синдром встре-

чался в 2 раза чаще гиперменструального. Кроме того, среди патогенетических причин, приводящих к развитию НМЦ, у девушек основной группы, страдающих ЗПР, присутствовала органическая патология, не характерная для аналогичных больных контрольной группы. Так, у каждой пятой девушки основной группы, страдающей НМЦ, УЗИ обследование органов малого таза обнаружило формирующийся синдром поликистоза яичников. НМЦ на фоне ожирения и избыточной массы тела имело место у 2,5% девушек основной группы. Тщательный клинико-лабораторный анализ показал, что в указанных случаях ожирение носило не алиментарный, а эндокринный характер и было манифестацией гипоталамического синдрома пубертата.

Таким образом, отличительной чертой НМЦ у девушек основной группы по сравнению с контролем была большая распространенность гиперандрогений и органической патологии репродуктивной сферы как причин менструальных дисфункций в пубертате. Подчеркнем, что в контроле ведущей причиной менструальных дисфункций была не органическая патология репродуктивных органов, в функциональные нарушения баланса половых гормонов в организме пациенток.

Ретроспективный анализ историй болезней показал, что дефицитарность ОАС у подростков основной группы встречалась достаточно часто. У 90% второго поколения жителей ВУРС перинатальный анамнез был отягощен хронической внутриутробной гипоксией. Среди причин гипоксии были факторы риска ЗПФР семейного регистра, включая соматическую патологию матери, эндокринную патологию и профессиональные вредности у родителей, вредные привычки в семейном образе жизни родителей, включая алкоголизм. В соматоневрологическом статусе подростков основной группы присутствовали многочисленные указания на несостоятельность их адаптивных реакций. Так, у 89% детей и подростков основной группы были выявлены клинические признаки иммунодефицитных состояний в виде наличия очагов хронической инфекции. Последние были представлены полинозологической патологией, в структуре которой доминировали хронический тонзиллит, хронические воспалительные заболевания мочеполовой системы и желчевыводящих путей. Патология желудочно-кишечного тракта диагностирована у 61,6% подростков основной группы. Астенический синдром как проявление дефицитарности адаптивных реакций организма был диагностирован у 82% обследованных. В структуре астенического синдрома присутствовали признаки вегетососудистой дистонии и энцефалопатии. Электроэнцефлографическая диагностика (ЭЭГ) выявила патологические изменения в биофизической активности мозга у всех обследованных подростков основной группы. Глубина органического поражения мозга, определенная с помощью ЭЭГ, находилась в зави-

симости от степени тяжести энцефалопатии. У подростков с полиморфной психопатологической симптоматикой пароксизмального характера на ЭЭГ регистрировались выраженные диффузные изменения органического типа с эпилептическими знаками.

Нарушение осанки как свидетельство несостоятельности мезенхимальных структур и признак нарушения адаптивной функции опорно-двигательного аппарата зарегистрировано у 75% подростков основной группы. Консультативный осмотр детского хирурга-ортопеда показал, что только 3,6% лиц из числа потомков жителей ВУРС, прикрепленных к детскому отделению ОБ №2, были практически здоровыми. 23,6% обследованных имели соматическую патологию без признаков дизэмбриогенеза («благополучная подгруппа»); 72,4% характеризовались полинозологической патологией, сопровождающейся множественными стигмами дизэмбриогенеза в виде заболеваний опорно-двигательного аппарата («неблагополучная подгруппа»). Помимо стигм дизэмбриогенеза в «неблагополучной» подгруппе потомков достоверно чаще ($\chi^2=11,2$), чем в «благополучной» встречались клинические признаки иммунодефицита в виде очагов хронической инфекции (хронического тонзиллита, хронического холецистита, колита и пиелонефрита). В группе «неблагополучных» детей достоверно чаще ($\chi^2=7,7$) при рождении регистрировались крайние варианты весоростовых показателей (ниже или выше нормы). «Синдром дефицита внимания» и «минимальные мозговые нарушения» у детей «неблагополучной» группы также наблюдались достоверно чаще ($\chi^2=7,8$).

Распределение реакций дезадаптации по возрастным периодам у детей из «благополучной» и «неблагополучной» подгрупп было не одинаковым. У детей «благополучной» подгруппы случаи дезадаптации, выявленные с помощью лимфолейкоцитарного индекса крови, были кратковременным явлением и концентрировались в интервале с 11 до 13 лет. У детей «неблагополучной» подгруппы случаи дезадаптации были равномерно распределены по всем возрастным периодам наблюдения и указывали на перманентную иммунологическую и адаптивную несостоятельность данных лиц.

Установлено, что распределение потомков жителей ВУРС на «благополучную» и «неблагополучную» подгруппы зависело от радиационного анамнеза их предков. У пациентов «благополучной» подгруппы родители были эвакуированы из зоны радиоактивного загрязнения в период раннего детства последних, когда их индивидуальный возраст не превышал 1 года. У пациентов «неблагополучной» подгруппы достоверно чаще ($\chi^2=5,7$) родители переселялись из зоны радиоактивного загрязнения в более позднем биологическом возрасте; индивидуальный возраст родителей лиц «неблагополучной» группы на момент эвакуации варьировал от 2-х до

12-ти лет. Таким образом, чем в более раннем биологическом возрасте были эвакуированы родители из зоны радиоактивного загрязнения, тем менее выраженными были эффекты последствия в виде нарушения ОАС у их потомков.

Анализ данных, имеющихся в нашем распоряжении, показал, радиационный анамнез предков влияет на репродуктивный потенциал их потомков и по признаку стратегии репродукции (таблица 4.). Как следует из таблицы 4, различий в соотношении полов между первым и вторым поколением жителей ВУРСа, а также между потомков «эвакуированных» и «переселенцев» выявлено не было. Эти факты указывают на морфоанатомическую стабильность полового диморфизма в когортах облученных. Однако, стратегии репродукции у «эвакуированных» и у «переселенцев» были не одинаковыми. У «эвакуированных» отсутствует нарастание числа потомков при переходе от первого поколения ко второму, тогда как для «переселенцев» характерным было расширенное воспроизводство, при котором численность потомков 2-го поколения в 3,6 раза превышала численность потомков 1-го поколения.

Суммируя результаты обследования лиц основной группы, можно сказать, что в представленных данных, также как и в данных обследования контрольной группы, отчетливо проявляется взаимосвязь между дефицитарностью ОАС у предков и ЗПР у их потомков. Следовательно, для описания взаимосвязей в системе «дефицитарность ОАС облученных – снижение репродуктивного потенциала потомков», также как и для описания ЗПР контрольной группы применима модель немарковских процессов (рисунок 1). Вместе с тем, нарушения репродуктивного потенциала потомков жителей ВУРС проявляются более отчетливыми и грубыми изменениями, чем нарушения репродуктивного потенциала подростков контрольной группы. Последнее дает основания заключить, что малые дозы радиации являются фактором, усиливающим экспрессию немарковских эпигенетических процессов в сообществе облученных и их потомков.

Обсуждение. Полученные данные, на наш взгляд, интересны тем, что они не могут быть объяснены радиационными эффектами, связанными с прямым повреждающим действием больших доз ионизирующего излучения на органы и ткани. Полученные результаты также не могут быть объяснены и процессами мутагенеза, которые закономерно возникают при непосредственном поглощении энергии в ядре облученной клетки. Скорее всего, увеличение случаев эндокринопатий у ЛПА на ЧАЭС, возникающее спустя 5-7 лет после лучевой нагрузки, можно отнести к эпигенетическим эффектам радиации, а утяжеление эндокринопатий пубертата у потомков жителей ВУРС – к трансгенерационным эффектам облучения. Подобная трактовка результатов исследования полностью соответствует совре-

менному взгляду на проблему отдаленных эффектов малых доз ионизирующих излучений.

Мы полагаем, что алгоритм возникновения эндокринопатий как эпигенетических трансгенерационных эффектов облучения может быть объяснен в моделях немарковских процессов в виде цепной физиологической реакции, эффект которой экстраполируется от поколения облученных к поколениям их потомков. Основными звеньями подобного рода цепной реакции, на наш взгляд, являются следующие события.

А – первичное перенапряжение реакций общего адаптационного синдрома (ОАС) в ответ на радиоактивный стресс у самих облученных.

В – вторичное появление эндокринных дисфункций (эндокринопатий) как следовых реакций несостоятельности ОАС в отсроченный период после облучения.

С – третичные физиологические реакции реализуются уже как эффекты последствий в виде де-

фицитарности адаптивных реакций у потомков облученных. В ключевой момент онтогенеза потомков, в период полового созревания, несостоятельность ОАС проявляется эндокринопатиями пубертата и задержкой полового и физического развития потомков.

Согласно предлагаемой схеме эндокринопатии облученных и их потомков представляют собой разные звенья одной цепи – цепи реализации эпигенетических трансгенерационных эффектов облучения. Можно предполагать, что описанная цепная реакция, однажды запущенная, будет продолжаться до тех пор, пока из популяции облученных не будут элиминированы индивиды с низким уровнем стрессоустойчивости и пока не сформируется модифицированная популяция людей, обладающая качествами радиорезистентности.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант № 01-05-64116).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуськова А.К. Радиация и мозг / Материалы международной конференции “Актуальные и прогнозируемые нарушения психического здоровья после ядерной катастрофы в Чернобыле.” Украина– Киев, 1995.-С. 22-23.
2. Нягу А.И., Логановский К.Н. Нейропсихиатрические эффекты ионизирующих излучений. –Киев, 1998.- 350 с.
3. Орадовская И.В., Фадеева И.Д., Хорошилова Н.В. и др. Эпидемиологическая оценка иммунологической недостаточности и другой хронической патологии среди взрослого населения Брянской области, проживающего на территории, загрязненной радионуклидами. / Гематология и трансфузиология, 1995, Т.40, №3 С. 34- 38.
4. Подпалов В.П. Развитие дизадаптационного синдрома у населения, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях. / Здравоохранение Беларуси.- 1994.-№5.- С. 36-38.
5. Талалаева Г.В., Антропова Т.Б. О перспективности клинко-генетического подхода к реабилитации детей - жителей Восточно-Уральского радиационного следа (ВУРСа). / Проблемы и гипотезы. Вып. N 2. г.Екатеринбург: Изд. УГМА, 1999.- С.57-59.
6. Туков А.Р., Дзгоева Л.Г., Никитина Н.И., Прохорова О.Н. Заболеваемость болезнями системы кровообращения ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС. / Здравоохранение Российской Федерации.-1998.-№4.- с. 33-36.
7. Хорьякова С.Х., Талалаева Г.В. К вопросу о психосоматической реабилитации участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС – жителей Среднего Урала. / Материалы международной конференции “Актуальные и прогнозируемые нарушения психического здоровья после ядерной катастрофы в Чернобыле.” Украина. – Киев, 1995.-С.232.
8. Шмигельская Л.Г. Влияние темперамента и тревожности на иммунный статус //Социально-психологическая реабилитация населения, пострадавшего от экологических и техногенных катастроф. Материалы V Международной конференции. Минск, 1998.- С. 206.
9. Дедов В.И., Дедов И.И., Степаненко В.Ф. Радиационная эндокринология. – М.: Медицина, 1983.- 208 с.
10. Селье Г. Стресс без дистресса / Пер. с англ. А.Н.Лука и И.С.Хорола. Общ. ред. Е.М.Крепса. Рига: «Виеда», 1992. – 106 с.
11. Коровина Н.А., Коренков И.П., Заплатников А.А. и др. Центральная гемодинамика, вегетативный статус и экскреция К-40 у детей из районов радиационного загрязнения. / Медицинская радиология и радиационная безопасность. 1996.-№6.-С. 40-44.
12. Пивник А.В., Моисеева Т.Н., Домрачева Е.В. и др. Клинико-гематологические показатели участников ликвидации последствий Чернобыльской аварии. / Терапевтический архив.- 1996.-№7.-С. 73-77.
13. Талалаева Г.В. Представленность программ кратко- и долгосрочных стратегий адаптации у лиц, переживших хроническое экстремальное воздействие. / Материалы Международной междисциплинарной научно-практической конференции "Диагностика, лечение и реабилитация пострадавших в чрезвычайных ситуациях".- Казань.-2001.- С. 75-77.
14. Клиническая иммунология: учебник для студентов медицинских вузов / Под ред. А.В.Караулова.–М.: Медицинское информационное агентство, 1999.- 604 с.
15. Нериши К., Ямада М., Кодама К., Шигемацу И. Психологические нарушения как отдаленные медицинские последствия у переживших атомные бомбардировки / Мат-лы международной конференции “Актуальные и прогнозируемые нарушения психического здоровья после ядерной катастрофы в Чернобыле” Украина, Киев, 1995.-С.28-29.
16. Новодержкина Ю.К., Шишканова З.Г., Погорелов В.М. и др. Морфологическая характеристика лимфоцитов через 6 лет после аварии в Чернобыле. / Гематология и трансфузиология, 1995, Т.40, №3 С. 39-42.
17. Талалаева Г.В., Жариков В.Н., Юшков П.И. К проблеме биосоциальной типологизации лиц, подвергшихся психоэкологическому стрессу / Мат-лы 2-й Международной конференции "Отдаленные медицинские последствия Чернобыльской катастрофы".- Киев.- 1998.-С. 498-499.

18. Талалаева Г.В., Рогачева Т.В., Антропова Т.Б. Клинико-генетические подходы к оценке вариативности радиационно-индуцированных деформаций поведения (к постановке проблемы). Хроническое радиационное воздействие: возможности биологической индикации / Материалы международного симпозиума.-Челябинск.-2000. С. 68-69.
19. Тельнов В.И., Жунтова Г.В. Мочевая кислота сыворотки крови и распространенность гиперурикемии у облученных людей, связь с радиационными и нерадиационными факторами. / Вопросы медицинской химии, 1995, №4.- С. 57-60.
20. Румянцев Г.М., Лебедева М.О. Посттравматическое стрессовое расстройство (PTSD): на материале популяций, проживающей на территории, пострадавшей в результате аварии на ЧАЭС // Материалы международной конференции «Актуальные и прогнозируемые нарушения психического здоровья после ядерной катастрофы в Чернобыле». – Киев, 1995. С.118.
21. Генетические структуры и тритий / Г.С.Мушкачева, Г.Г.Русинова, К.Н.Муксимова и др. Под ред. Акад. АМН РФ Л.А.Булдакова. – М.: Энергоатомиздат, 1994.- 192 с.
22. Запесочный А.З., Гончар Н.М., Бурдыга Г.Г. Влияние малых доз ионизирующего излучения на организм / Авария на Чернобыльской АЭС: радиационный мониторинг, клинические проблемы, социально-психологические аспекты, демографическая ситуация, малые дозы ионизирующего излучения / Информационный бюллетень. Выпуск 2, Т.2. Украинский Научный Центр Радиационной Медицины МЗ И АН Украины. Киев, 1992.- С. 145-173.
23. Колпаков И.Е., Степанова Е.И., Кондрашова В.Г. и др. Функциональное состояние организма детей в динамике поставарийного периода Чернобыльской катастрофы / Авария на Чернобыльской АЭС: радиационный мониторинг, клинические проблемы, социально-психологические аспекты, демографическая ситуация, малые дозы ионизирующего излучения / Информационный бюллетень. Выпуск 2, Т.2. Украинский Научный Центр Радиационной Медицины МЗ И АН Украины. Киев, 1992.- С. 74-85.
24. Омелянец Н.И., Волковинская И.Н., Карташова С.С. и др. Оценка и прогноз смертности населения Украины на загрязненных выбросами ЧАЭС территориях /Авария на Чернобыльской АЭС: радиационный мониторинг, клинические проблемы, социально-психологические аспекты, демографическая ситуация, малые дозы ионизирующего излучения / Информационный бюллетень. Выпуск 2, Т.2. Украинский Научный Центр Радиационной Медицины МЗ И АН Украины. Киев, 1992.-С. 5-46.
25. Сухов В.Ю., Шубик В.М., Фадеев Н.П. Радиоиммунологический анализ гормонов гипоталамо-адреналовой системы и психоэмоциональное состояние населения в зоне аварийного выброса Чернобыльской АЭС./ Медицинская радиология и радиационная безопасность.-1996.-№6.-С. 45-49.
26. Гильманов А.А., Молокович Н.И., Садыкова Ф.Х. Состояние здоровья детей-чернобыльцев. / Мат-лы Международной междисциплинарной научно-практической конференции "Диагностика, лечение и реабилитация пострадавших в чрезвычайных ситуациях".- Казань.-2001.- С. 25-26.
27. Гильманов А.А., Садыкова Ф.Х. Состояние здоровья ликвидаторов аварии на ЧАЭС. / Мат-лы Международной междисциплинарной научно-практической конференции "Диагностика, лечение и реабилитация пострадавших в чрезвычайных ситуациях".- Казань.-2001.- С. 26- 28.
28. Реушкин В.Н. Суточные ритмы и проблемы адаптации / Кибернетика живого: Человек в разных аспектах. – М.: Наука, 1985. - С. 54-80.
29. Розенберг Г.С., Мозговой Д.П., Гелашвили Д.Б. Экология. Элементы теоретических конструкций современной экологии (Учебное пособие).- Самара: Самарский научный центр РАН, 1999.- 396 с.
30. Фридланд А.Я. Информатика: процессы, системы, ресурсы. / А.Я.Фридланд. – М.:БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. – 232 с.
31. Гераськин С.А. Закономерности формирования цитогенетических эффектов малых доз ионизирующего излучения / Автореф. докт. биол. наук. –Обнинск, 1998.- 50 с.
32. Талалаева Г.В. Адаптивные возможности сердечно-сосудистой системы ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС - жителей Среднего Урала / Автореф. дис. ... доктора мед.наук.-Екатеринбург.-1999.-55 с.

АЗ ДОЗАЛЫ РАДИАЦИЯ ӘСЕРІНЕН КЕЙІН ЭНДОКРИНОПАТИЯНЫҢ ІЗДІ РЕАКЦИЯЛАРЫ МЕН ЭФФЕКТІЛЕРІ

¹⁾Талалаева Г.В., ²⁾Мыларшиков А.В., ³⁾Зайкова И.О., ³⁾Антропова Т.Б.

¹⁾Өсімдіктер мен жануарлар экологиясы институты Урал бөлімі Ресей ғылым академиясы, Екатеринбург, Ресей

²⁾Урал мемлекеттік медициналық академиясы, Екатеринбург, Ресей

³⁾№ 2-Облысты ауруханасы, Радиациялық медицина аймақтық орталығы, Екатеринбург, Ресей

Уралдықтардың модификациялық өзгергіштігінің акселераттары ретінде эндокринопатиялары зерттелген. І-ІІ ұрпақтары мен ОБ «Маяк» іскерлігі нәтижесінде, Чернобыль АЭС-ғы апатты жоюшылардың ретроспективалық талдауының көрсеткіштері жасалды. 524 жасөспірімнің эндокринологиялық статусы зерттелді: тығыз орналасқан Екатеринбург қ. 88 тұрғынына (бақылау тобы) және 436 ШҰРІ тұрғындарының ұрпақтарына (негізгі топ) зерттеу жүргізілді. Жас уралдықтардың эндокринологиялық статусының экологиялық мөлшерінің динамикалық сипаттамасы мен статистикасы туралы авторлық мәліметтері келтірілген. Статистикалық сипаттамалар жыныстық бездің, бүйрекүсті безінің және мидың қосымша бөлігінің қозғағыштарының қанның сары суындағы деңгейінде, динамикалығы - дені сау жасөспірімдердің жыныстық жетілу процесінің хронологиясында көрсетілген. Эндокринопатияның рөлі, пубертаттағы онтогенездің бұзылу жылдамдығы, ауыр және жеңіл дәрежеде жыныстық жетілудің баяу дамыған ауруларды үлгі ретінде ала отырып бөліктелген. Эндокринопатиялық катердің отбасылық және перинаталдық факторлары

топтастырылған. Биологиялық уақыттың модуляторы ретінде эндокринопатияның мүмкіншілікті дамыту және модуляциялық, детерминділігі ерекшеленген. Аз дозада радиацияға шалдыққан адамдардың жасөспірім балаларының пубертаттағы онтогенез векторының өзгерісі сипатталған. Уралдықтардың модификациялық өзгергіштігінің марковместік процесс аумағында қарастыру ұсынылған, онда ата-аналардың эндокринопатиясы тарихалдылық, ал олардың I-II ұрпақтарының репродуктивтілігінің болашағы - істегі соңғы әрекет болып табылады.

**ENDOCRINE DISORDERS AS THE FOLLOWING REACTIONS
AND AS THE CONSEQUENCES BY THE LOW RADIATION DOSES**

¹⁾G.V. Talalaeva, ²⁾A.V. Milarchikov, ²⁾I.O. Zayikova, ³⁾T.B. Antropova

¹⁾*Institute of Plant and Animal Ecology, Ural department of Russian Academy of Science, Ekaterinburg, Russia*

²⁾*Uralsk State Medicine Academy, Ekaterinburg, Russia*

³⁾*Oblast Hospital No.2 - Regional Center of Radiation Medicine, Ekaterinburg, Russia*

The present study reports about endocrine disorders as the accelerators of the modifical variability in the cohorts of the Urals' inhabitants. The retrospective analysis of the endocrine and reproductive health by the emergency workers of Chernobyl accident, victims of the Eastern Urals Radiation Track (EURT) and their descendants in the first and second generation was implemented. The hormonal status of the 524 juveniles including 88 townspeople of Ekaterinburg as a control group and 436 grandchildren of the EURT-victims as a basic group was studied. The authors' data about static and dynamic characteristics of the ecological endocrine standards was described. The blood serum level of the thyroid, hypothalamic and hypophyseo-gonadal hormones as the static parameters was used. The chronology of the sexual and physical ripening as the dynamic parameters was observed. The endocrine disorders as a reason to changing the speed of the biological time during the hebetic period of the ontogenesis was noted. The peculiarities of the hebetic vector by the control group subjects with different degree of the hebetic ripening disturbances and the peculiarity of such vector by the EURT-victims descendants were singled out and classified. We hypothesize that the modifical variability can be considered across the frame of the successive non-marcov process. In this case the parents' endocrine disorders we can marked as a previous history of this process and the descendants' reproductive dysfunctions as a consequences of own.

УДК 577.158.42:578.085.2

НАРУШЕНИЕ МЕТАБОЛИЗМА НЕКОТОРЫХ ОКСИДОРЕДУКТАЗ В ПОЧЕЧНОЙ ТКАНИ ЖИВОТНЫХ ПРИ ДЕЙСТВИИ РАДИАЦИИ

Утешев А.Б., Макашев Ж.К., Утешев Т.А.

Алматинский государственный институт усовершенствования врачей, Алматы, Казахстан

В ранний период острой лучевой болезни (9Гр) наблюдается угнетение активности некоторых дегидрогеназ цикла трикарбоновых кислот, снижение концентрации ряда цитохромов и увеличение содержания общего железа в почках облученных животных.

В последние годы накопились данные о ранних повреждениях окислительного метаболизма в тканях облученных животных. Приводятся немало фактов о существенном влиянии радиации на активность многих ферментов, в том числе и железосодержащих биологических катализаторов, повреждению которых придается большое значение в патогенезе лучевой болезни.

При действии ионизирующей радиации глубокие нарушения происходят в системе окисления аминокислот, так как поглощение кислорода облученными бактериями наиболее сильно выражено, если они культивируются в присутствии глутамата, аспартата и других субстратов. Чувствительно также и окисление пирувата, тогда как окисление глюкозы, α -кетоглутарата, фумарата и сукцината у этих объектов более устойчиво.

Известен также факт инактивации при лучевой болезни свободных SH-групп, входящих в коферментные группировки большинства энзимов. При этом тиоловые и дисульфидные группы могут являться особо чувствительными мишенями, как при прямом облучении, так и при некоторых других генетически значимых воздействиях на клетку.

Эксперименты были проведены на 210 белых крысах линии Вистар массой 180-220 г и 193 морских свинок массой 280-350 г. Общее облучение проводили на аппарате Терикс "ТНХ-250" при следующих условиях: напряжение 190кВ, сила тока 18мА, фильтры 0,5 мм Си и мм АI, кожно-фокусное расстояние 40 см, мощность дозы 72 р/мин, время облучения 13 минут, доза облучения 9Гр. Животные использовались в опытах через 6, 24 и 48 часов после облучения и изучались активности каталазы, цитохромоксидазы, концентрации цитохромов и железа, а также активности некоторых дегидрогеназ ЦТК в гомогенате почек контрольных и облученных животных (таблицы 1 и 2).

Активность каталазы (КФ 1.11.1.6) в почках 31 крысы и 24 морских свинок определялась общепринятым титрометрическим методом. При действии общего рентгеновского облучения в дозе 9Гр активность каталазы, рассчитанная на массу почки, угнетается через 6, 24 и 48 часов у крыс и повышается у морских свинок через 6, 24 и 48 часов после воздействия радиации.

Таблица №1. Изменение активности и концентрации оксидоредуктаз в почечной ткани облученных крыс.

№ н/п	Ферменты	Серии опытов, ч			
		Контроль	6 часов	24 часа	48 часов
		$M \pm m$	$M \pm m$	$M \pm m$	$M \pm m$
1.	Каталаза	37,2 $\pm$ 4,23	25,7 $\pm$ 1,56*	25,3 $\pm$ 1,85*	25,4 $\pm$ 1,39*
2.	Цитохромы (в М/мг белка $\times 10^{-10}$)				
	a	0,45 $\pm$ 0,05	0,37 $\pm$ 0,06	0,39 $\pm$ 0,03	0,55 $\pm$ 0,09
	b	0,08 $\pm$ 0,04	0,08 $\pm$ 0,06	0,03 $\pm$ 0,01*	0,06 $\pm$ 0,02
	c	0,24 $\pm$ 0,01	0,31 $\pm$ 0,04	0,22 $\pm$ 0,02	0,33 $\pm$ 0,06
	cl	1,39 $\pm$ 0,02	1,11 $\pm$ 0,08*	1,04 $\pm$ 0,08*	1,57 $\pm$ 0,04*
	b дит	0,29 $\pm$ 0,03	0,33 $\pm$ 0,03	0,25 $\pm$ 0,02	0,45 $\pm$ 0,08
3.	ЦХО	193,7 $\pm$ 23,8	172,3 $\pm$ 14,8	228,2 $\pm$ 12,8	249,3 $\pm$ 27,2
4.	Общее железо	38,8 $\pm$ 6,9	52,7 $\pm$ 24,9	43,5 $\pm$ 2,4	86,6 $\pm$ 11,1*
5.	Дегидрогеназы				
	СДГ	12,47 $\pm$ 1,3	11,22 $\pm$ 0,5	12,24 $\pm$ 1,0	10,74 $\pm$ 1,1
	ИДГ (с НАД)	6,81 $\pm$ 0,54	6,48 $\pm$ 0,48	5,71 $\pm$ 0,38	5,53 $\pm$ 0,27*
	α - КДГ	9,73 $\pm$ 0,97	8,46 $\pm$ 0,76	7,63 $\pm$ 0,37*	6,47 $\pm$ 0,28*
	МДГ (с НАД)	10,70 $\pm$ 0,98	10,17 $\pm$ 0,90	8,24 $\pm$ 0,34*	7,55 $\pm$ 0,48*
	МДГ (с НАДФ)	7,42 $\pm$ 0,26	7,62 $\pm$ 0,50	6,50 $\pm$ 0,32*	5,86 $\pm$ 0,42*

*- достоверные результаты.

Таблица №2. Изменение активности и концентрации оксидоредуктаз в почечной ткани облученных морских свинок.

№ н/п	Ферменты	Серии опытов, ч			
		Контроль	6 часов	24 часа	48 часов
		M ± m	M ± m	M ± m	M ± m
1.	Каталаза	42,7±0,67	60,0±2,13*	61,4±3,31*	54,5±2,86*
2.	Цитохромы (в М/мг белка ×10 ⁻¹⁰)				
	a	0,39±0,05	0,40±0,04	0,27±0,03*	0,38±0,06
	b	0,27±0,01	0,29±0,02	0,11±0,02*	0,16±0,03*
	c	0,34±0,01	0,39±0,08	0,20±0,02*	0,21±0,03*
	c1	0,34±0,01	0,46±0,10	0,20±0,05*	0,25±0,05
	b дит	2,02±0,05	1,00±0,13*	1,26±0,07*	1,31±0,10*
3.	ЦХО	80,8±10,8	74,8±19,5	154,1±39,9*	64,9±9,6
4.	Общее железо	28,2±2,1	12,6±1,1*	17,3±6,1*	21,3±4,3*
5.	Дегидрогеназы				
	СДГ	9,88±0,4	10,45±1,2	11,02±0,9	7,65±0,3*
	ИДГ (с НАД)	6,91±0,83	8,61±0,50*	9,59±0,86*	7,94±0,76
	α- КДГ	8,94±0,51	9,21±0,68	10,22±0,87	8,35±0,38
	МДГ (с НАД)	11,63±0,61	11,07±0,53	10,72±1,15	11,23±0,85
	МДГ (с НАДФ)	8,23±0,61	7,93±0,47	8,53±0,79	8,71±0,61

*- достоверные результаты.

Известно, что у крыс под влиянием радиации изменяются высокомолекулярные компоненты клетки, с которыми была ассоциирована каталаза, высвобождение которой и приводит, по-видимому, к наблюдаемой инактивации. При этом образующиеся в организме H₂O₂ и другие перекисные соединения липидного происхождения обладают выраженными окислительными свойствами, вызывающими также инактивацию этого фермента. В почках облученных морских свинок, где отмечается повышение каталазной активности, вероятно, не накапливаются перекисные соединения. Кроме того, сдвиги в активности этого гемосодержащего хромопротеида объясняются в некоторой степени также увеличением массы этого органа (1). Однако относительная радиорезистентность каталазы в этой ткани еще не означает, что в них не происходит каких-либо изменений каталитической активности этого фермента. В основном высвобождение каталазы из ядер в цитоплазму, при котором общая каталазная активность в гомогенате остается не измененной, приводит к большей уязвимости структуры клетки к разрушающему действию перекисей (2).

Цитохромы a, b, c, c1 и бдит измеряли в гомогенате почек 19 крыс и 19 морских свинок. Перфузию, измельчение и гомогенизирование ткани почек проводили в холодной комнате при 0-(+4°)С. Гомогенизация почек осуществлялась в стеклянном гомогенизаторе Поттера с тефлоновым пестиком в течение 45 секунд в полуторакратном объеме ледяной среды выделения (300мМ сахара, 20мМ трис буфера, рН 7,5). Количество цитохромов определяли на двухлучевом дифференциальном спектрофотометре по методу Ю.В. Евтодиенко и Е.Н. Моховой (3), сравнивая спектры препаратов, цитохромы которых полностью восстановлены и полностью окислены. Д цитохрома а рассчитывали по максимуму поглощения при 605ммк и двум минимумам и максимумам-590 и 624ммк. Соответственно вычислены и цито-

хромы b (562, 540, 572), c (550, 540, 572), c1 (554, 540, 572), бдит (560, 540, 572). Спектры записаны на одном и том же препарате почек. Количество цитохромов пересчитывали на 1мг белка по Лоури. Содержание цитохромов выражали М/мг белка ×10⁻¹⁰.

Через 6 часов после общего облучения в дозе 9 Гр концентрация всех цитохромов в почечной ткани крыс не меняется, за исключением Су С1, количество которого снижается на 20,0% относительно контрольного уровня. При этом содержание цитохрома С1 оказалось повышенным по сравнению с контролем на 29,1% (t=1,9; p<0,1). Через 24 часа после воздействия радиации продолжает снижаться концентрация цитохрома С1 до 1,04±0,08 (на 25%), а также цитохрома b на 26% по сравнению с контролем. Через 48 часов после облучения наблюдается некоторое повышение цитохрома С и достоверное увеличение на 12,9% цитохрома С1. (таблица 1).

Исследование концентрации в почечной ткани морских свинок через 6 часов после облучения показало, что количество цитохрома бдит оказалось пониженным по сравнению с контролем на 50,5%. К концу первых суток лучевой болезни в почках отмечается снижение содержания цитохрома а (на 80%), b (на 49,3%), c и c1 (на 41,2%) и бдит (на 35,7%) по сравнению с контрольными величинами. В заключительной серии опытов через 48 часов после облучения характерным является достоверное снижение концентрации цитохрома b, c и бдит по сравнению с животными контрольного ряда (таблица 2).

Таким образом, снижение концентрации цитохромов в почечной ткани животных происходит, в основном, на первые-вторые сутки лучевой болезни. Поскольку методом дифференциальной спектрофотометрии не выявляются все цитохромы в гомогенате ткани, мы цитохромоксидазу (ЦХО, КФ 1.9.3.1) определяли спектрофотометрически в некоторой модификации (4) у 40 крыс и 40 морских свинок. ЦХО расположена во внутренних мембранах мито-

хондрий и, следовательно, не доступна для субстрата окисления-экзогенного Су с. Поэтому ткани почек подвергались обработке 0,75%-ным раствором дезоксихолата натрия и гипотоническим раствором сахарозы (0,06 М и 0,02 М трис буфера, рН 7,4 при 0°). Все эти манипуляции приводили к увеличению проницаемости митохондриальных мембран и полному освобождению ЦХО. Скорость окисления экзогенного восстановленного цитохрома с 1г сухой ткани за 1мин является мерой активности ЦХО. Из таблиц 1 и 2 видно, что у облученных крыс наблюдается некоторая активация ЦХО на 1 и 2 сутки лучевой болезни на 17,8 и 28% соответственно. У облученных морских свинок в почках отмечается повышение (на 90,7%) цитохромоксидазной активности через 24 часа и некоторое понижение через 48 часов после облучения на 20%.

Повышение активности ЦХО в почках облученных животных, по-видимому, связано с усилением обменных процессов в клетке и, вероятно, является защитной реакцией организма в ответ на лучевое воздействие.

Известно, что изменение в железосодержащих порфиринах достигает высоких величин, поскольку они являются одним из лобильных мест хромопротеидов. Поэтому частичное повреждение порфирина без раскрытия кольца или деструкция последнего обуславливает потерю ферментативной активности (5,6). Об этом свидетельствует снижение по нашим данным концентрации протопорфирина 1Х в периферической крови в облученных животных, связанное, по-видимому, с нарушением синтеза гемина, гемоглобина и снижением включения радиоактивного железа (^{59}Fe) в гемоглобин и миоглобин (7).

В связи с этим для определения общего железа в почках 31 крысы и 23 морских свинок после высушивания в течение суток при температуре 100-105°С и озоления в муфельной печи при 450-500°С на дифракционном спектрофотометре ДФС-8 измеряли его концентрацию методом эмиссионного спектрального анализа. Количество железа в испытуемых пробах устанавливали на микрофотометре МФ-2 по изменению абсолютного почернения с учетом фона.

Установлено, что если в почках облученных крыс отмечается повышение концентрации общего железа на вторые сутки лучевой болезни (на 123,3%), то у облученных морских свинок его содержание снижается через 6,24 и 48 часов после облучения на 56, 39 и 25% соответственно (таблица 2).

Резкое повышение общего Fe в почках облученных крыс объясняется увеличением в ней количества железосодержащего пигмента гемосидерина. Понижение концентрации Fe в почечной ткани морских свинок при воздействии радиации обусловлено дистрофическими изменениями эпителия, особенно извитых канальцев. Описанные изменения позволяют заключить, что при лучевых поражениях имеет место своеобразная нефропатия с различной

степенью функциональных и морфологических изменений.

Для понимания механизма действия ионизирующей радиации на биологические объекты большое значение имеет характер изменений активности ферментных систем, в частности дегидрогеназ ЦТК. Поэтому нами исследованы активности некоторых дегидрогеназ цикла Кребса сукцинатдегидрогеназы (СДГ, КФ 1.3.99.1), НАД-зависимой изоцитратдегидрогеназы (ИДГ с НАД, КФ 1.1.1.41), α -кетоглутаратдегидрогеназы (α -КДГ, КФ 1.2.4.2) и НАД-и НАДФ-зависимой малатдегидрогеназы (МДГ с НАД и НАДФ, КФ 1.1.1.37) неотетразолиевым методом в некоторой модификации (8). Активность СДГ измерялась в почечной ткани 48 крыс и 44 морских свинок, а активность ИДГ (с НАД), α -КДГ, МДГ (с НАД и НАДФ) исследованы в почках 41 крысы и 43 морских свинок. Для количественного выражения активности этих дегидрогеназ готовили калибровочную кривую из 0,1%-ного раствора хлористого неотетразолия, восстановленного гидросульфитом натрия. Активность ферментов приводится в мкг восстановленного неотетразолия на 1 мг высушенной ткани при инкубации (37°) в течение 30 минут.

Через 6 часов после общего рентгеновского облучения в дозе 9Гр активность исследуемых дегидрогеназ ЦТК в почках облученных животных в основном находится в пределах контрольных величин. Исключение составляет НАД-зависимая изоцитратдегидрогеназа, активность которой повышается в почках облученных морских свинок на 24,8 и 37,3% через 6 и 24 часа после облучения. В почках облученных крыс через 24 часа после облучения наблюдается достоверное угнетение активности α -КДГ, МДГ (с НАД) и МДГ (с НАДФ) на 13,23 и 12% соответственно (таблица 1).

На вторые сутки лучевой болезни в почечной ткани морских свинок происходит угнетение активности СДГ на 23% относительно контрольных величин. В этот период лучевого поражения активности ИДГ (с НАД), α -КДГ, МДГ (с НАД) и МДГ (с НАДФ) не изменяются. У облученных же крыс в почках наблюдается угнетение активности ИДГ (с НАД) на 19%, α -КДГ на 34%, МДГ (с НАД) на 30% и МДГ (с НАДФ) на 21% по сравнению с почками контрольных животных.

Нарушения, происходящие с дегидрогеназами, ответственными за перенос электронов в цепи биологического окисления, свидетельствуют о глубоких изменениях в процессе тканевого дыхания.

Установлено, что ионизирующая радиация сильно влияет состояние митохондрий, возбуждая их или приводя к полному разрушению. Причем в периоды наиболее сильного функционального нарушения нервной системы отмечается резко выраженное торможение окислительного фосфорилирования и нарушения в цепи цикла Кребса (5,6). Возможно, что на первые-вторые сутки после радиационного

поражения угнетение в ферментативной активности некоторых дегидрогеназ ЦТК связано с повреждением мембран митохондрий. Известно, что при действии ионизирующей радиации окисление тиоловых групп может также вызвать нарушение в цепи некоторых ферментативных процессов, что приводит к накоплению токсических метаболитов, среди которых имеется ряд тиоловых ингибиторов вызывающих появление в клетках видимых хромосомных разрывов (9,10). В результате радиации вызывает блокирование транспорта электронов в цепи дыхательных переносчиков на цитохромном участке (b + b дит) - C1 и C – (a+a3) и a3-O2, а также угнетение активности всех изучаемых дегидрогеназ, вследствие

их прямой инактивации или выхода некоторых ферментов и кофакторов из структурно измененных митохондрий.

Таким образом, при повреждении этого нормального пути эффективного биологического окисления в тканях облученного организма начинает действовать оксидативный путь окисления, приводящий образованию многочисленных недоокисленных продуктов, являющихся крайне токсичными для организма (радиотоксины). Усиление этого пути катализируется неорганическими металлами, в частности железом, накапливающимися в тканях облученного организма вследствие разрушения металло-содержащих высокомолекулярных соединений (11).

ЛИТЕРАТУРА

1. Утешев А.Б. Нарушение процесса энергетики в тканях животных при действии ионизирующей радиации. Здравоохранение Казахстана, 1993, № 10, 28-31.
2. Манойлов С.Е., Челябин Л.Д., Возохина Ю.В. Влияние активного облучения рентгеновыми лучами на активность каталазы в опытах in vitro. Радиобиология, 1978, т.18, №3, с.429-432.
3. Евтодченко Ю.В., Мохова Е. Н. Спектрофотометрическое количественное определение цитохромов в митохондриях. В кн.: Митохондрии. Структура и функции. Изд. «Наука», М., 1966, с. 95.
4. Гулидова Г.П., Сорокина И.Н. Некоторые условия спектрофотометрического определения активности сукцинатдегидрогеназы и цитохромоксидазы митохондриях мозга. Бюлл. эксп. биол. и мед., 1967, 63, №1, с. 41-44.
5. Ревин А.Ф., Копылов В.А., Куций М.П. Опосредованные эффекты ионизирующего излучения на транспорт электронов в дыхательной цепи и окислительное фосфорилирование. Радиочув. и проц. восст. у жив. и раст. Тез.докл.симп., Ташкент, 1979, с.26-27.
6. Утешев А.Б. Взаимосвязь между сопряженным фосфорилированием и содержанием цитохромов в облученном организме. В сб.: Пробл.энергетики в облученном организме. Серия совр.пробл.радиобиологии. 1977, т.6, с.108-116.
7. Утешев А.Б., Абдраков Б.К., «Нарушение пигментного обмена при действии проникающей радиации». Тр. КазНИИОиР, 1970, т.7, с.39-42.
8. Аблаев Х.А. Активность дегидрогеназ цикла Кребса в филогенезе позвоночных. Канд. дисс., Алма-ата, 1968.
9. Сатхожина Э.А., Утешев А.Б. Цитогенетическое исследование клеток костного мозга животного при действии ионизирующей радиации. Тр. Казах. института онкологии и радиологии., 1970, т. V11, 43-46.
10. Шабдаш А.Л. Цитохимические изменения митохондрий при действии ионизирующих излучений и их роль в оценке лучевого поражения. Матер.науч.конф. по вопр.биоф. и механ.действия иониз.радиации. Киев, 1960, 195-196.
11. Кузин А.М. Радиационная биохимия. М., 1962.

ЖАНУАРЛАРДЫҢ БҮЙРЕК ҰЛПАСЫНДА РАДИАЦИАНЫҢ ӘСЕРІНЕН КЕЙБІР ОКСИДОРЕДУКТАЗДАРДЫҢ ЗАТ АЛМАСУЫНЫҢ БҰЗЫЛУЫ

Утешев А.Б., Макашев Ж.К., Утешев Т.А.

Мемлекеттік Алматы дәрігерлер жетілдіру институты, Алматы, Қазақстан

Жедел сәуле ауруының ерте кезеңде сәулеленген (9Гр) жануарлардың (тышқан мен теңіз шошқасының) бүйрегінде каталаза, кейбір дегидрогеназа мен цитохромдар ферменттерінің белсенділігінің төмендегені және темірдің көбейгені байқалады.

METABOLIC DISTURBANCE OF OXIDOREDUCTASES IN NEPHRITIC TISSUE OF ANIMALS AS A RESULTS OF RADIATION

A.B. Uteshev, Zh.K. Makashev, T.A. Uteshev

Almaty State Extension Course Institute for Medical Officers, Almaty, Kazakhstan

In an early period of acute radiation illness (9Gr), the following is observed: suppression of activity of some dehydrogenases of tricarboxylic acid cycle, reduction of a number of cytochromes and hyperferremia in kidneys of the irradiated animals.

УДК 577.158.42:578.085.2

**ОКСИДОРЕДУКТАЗЫ В ПЕЧЕНОЧНОЙ ТКАНИ ЖИВОТНЫХ
ПРИ ДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ**

Утешев А.Б., Макашев Ж.К., Утешев Т.А.

Алматинский государственный институт усовершенствования врачей, Алматы, Казахстан

При действии общего рентгеновского облучения в дозе 9 Гр наблюдается снижение концентрации ряда цитохромов, активности каталазы, цитохромоксидазы некоторых дегидрогеназ цикла Кребса и накопление общего железа в печени облученных животных, что свидетельствует о конформационных изменениях ультраструктуры митохондриальных мембран.

В последние годы в радиобиологической литературе появляется все большее число экспериментальных доказательств в пользу того, что в патологии лучевой болезни имеют немаловажное значение нарушения в процессе биоэнергетики живого организма. Установлено, что при облучении нарушается перенос электронов в цитохромной системе митохондриальной фракции клеток, что ведет к разобщению окислительного фосфорилирования. Выяснено также, что основная масса энергии, освобождаемая при тканевом дыхании, кумулируется в виде химических связей и уже затем расходуется на нужды организма, в первую очередь, на процессы синтеза органических веществ.

Характер изменений активности ферментных систем в клетке или ткани имеет исключительно важное, значение для понимания механизма действия радиации на биологические объекты. При этом все процессы обмена неразрывно связаны и полностью определены сложными системами энзимов. Следовательно, одной из причин изменения обмена веществ, при облучении является, по-видимому, нарушение процессов биологического окисления, побудившее нас к детальному изучению влияния радиации на порфириносодержащие хромопротеиды и дегидрогеназы ЦТК.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперименты были проведены на 210 белых крысах линии Вистар массой 180-220 г и 193 морских свинок массой 280-350 г. Общее рентгеновское облучение проводили на аппарате Терикс «ТНХ-250» при следующих условиях: напряжение 190кВ, сила тока 18 мА, фильтры 0,5 мм меди и 1,0 мм алюминия, кожно-фокусное расстояние 40 см, мощность дозы 0,72 Р/мин, время облучения 13 мин, доза облучения 9 Гр. Затем через 6, 24 и 48 часов после облучения изучались активности каталазы, цитохромоксидазы (ЦХО), концентрация цитохромов, железа и активности некоторых дегидрогеназ ЦТК в гомогенате печени контрольных и облученных животных.

Активность каталазы (КФ 1.11.1.6) в печени 31-й крысы и 24-х морских свинок определялось общепринятым титриметрическим методом. Цитохромы А, В, В₅, С, С₁ измеряли методом дифференциаль-

ной спектрофотометрии в гомогенате печеночной ткани 19 крыс и 19 морских свинок. Перфузию и измельчение печени проводили в холодной комнате при 0...+4С, а гомогенизацию в стеклянном гомогенизаторе Поттера тefлоновым пестиком в течение 45 сек. в полуторократном объеме ледяной среды выделения (300 мМ сахарозы, 20мМ трис-буфера рН 7,5). Количество цитохромов определяли на двулучевом дифференциальном спектрофотометре (Чанс) по методу Н.В.Евтодченко и Е.Н.Моховой (5), сравнивая спектры препаратов, цитохромы которых полностью восстановлены и полностью окислены. Д цитохрома А рассчитывали по максимуму поглощения при 603 мкм и двум минимумам – 585 и 620 мкм, соответственно вычислены и цитохромы В (562, 540, 572), С (550, 540, 572), С₁ (554, 540, 572), В₅ (560, 540, 572). Спектры записаны на одном и том же препарате печени. Количество цитохромов пересчитывали на 1 мг белка по Лоури.

Активность цитохромоксидазы (ЦХО, КФ 1.9.3.1) мы определяли спектрофотометрически в некоторой модификации (6) у 40 крыс и 40 морских свинок. Поскольку ЦХО расположена во внутренних мембранах митохондрий и, следовательно, недоступна для субстрата окисления - эндогенного цитохрома С, ткани печени подвергались обработке 0,75% раствором дезоксихолата натрия и гипотоническим раствором сахарозы (0,06М и 0,02М трис-буфера, рН 7,4 при 0°С). Все эти манипуляции повышали проницаемость митохондриальных мембран и полностью высвобождали ЦХО.

Для определения общего железа (Fe) у 31-й крысы и 23-х морских свинок навеска печеночной ткани после высушивания в течение суток при температуре 100-105°С и озоления в муфельной печи при 450-500°С на дифракционном спектрографе ДФС-8 измеряли его концентрацию методом эмиссионного спектрального анализа. Количество железа в исследуемых пробах измеряли на микрофотометре МФ-2 по изменению абсолютного почернения с учетом фона.

Исследование активности некоторых дегидрогеназ цикла Кребса (сукцинатдегидрогеназы, СДГ, КФ 1.3.99.1), НАД-зависимой изоцитратдегидрогеназы (ИДГ с НАД, КФ 1.1.1.41) α -кетоглутаратдегидрогеназы (α -КДГ, КФ 1.2.4.2) и

НАД- и НАДФ-зависимой малатдегидрогеназы (МДГ с НАД и НАДФ, КФ 1.1.1.37) неотетразолиевым методом в некоторой модификации (7). Активность СДГ измерялась в печеночной ткани 48 крыс и 44 морских свинок, а активность ИДГ, α -КДГ и МДГ исследована в печени 41 крыс и 43 морских свинок. Для количественного выражения активности этих дегидрогеназ готовили калиброванную кривую из 0,1% раствора хлористого неотетразолия восстановленного гидросульфитом натрия. Активность ферментов проводится в мкг восстановленного неотетразолия на 1 мг высушенной ткани при инкубации при 37°C в течение 30 мин.

Таблица 1. Изменение активности каталазы, цитохромоксидазы, дегидрогеназ ЦТК, концентрации цитохромов и общего железа в печени облученных животных

Биохимические показатели.	Контроль	Серии опытов, часы		
	M $\pm$ m	6	24	78
	M $\pm$ m	M $\pm$ m	M $\pm$ m	M $\pm$ m
Крысы				
Каталаза	329,9 $\pm$ 25,3	238,6 $\pm$ 18,6	281,9 $\pm$ 10,5	346,6 $\pm$ 27,4
Цитохромы, М/мг белка $\times 10^{-10}$ А	0,63 $\pm$ 0,05	0,54 $\pm$ 0,08	0,54 $\pm$ 0,09	0,45 $\pm$ 0,05
В	0,45 $\pm$ 0,07	0,70 $\pm$ 0,12	0,48 $\pm$ 0,03	0,16 $\pm$ 0,05
В5	0,78 $\pm$ 0,07	0,71 $\pm$ 0,16	0,54 $\pm$ 0,06	0,78 $\pm$ 0,03
С	0,84 $\pm$ 0,06	1,02 $\pm$ 0,09	0,67 $\pm$ 0,08	0,45 $\pm$ 0,06
С1	0,91 $\pm$ 0,07	1,20 $\pm$ 0,13	0,74 $\pm$ 0,6	0,43 $\pm$ 0,06
Цитохромоксидаза	116,2 $\pm$ 5,4	112,2 $\pm$ 9,7	113,9 $\pm$ 9,3	133,3 $\pm$ 12,8
Общее железо	40,4 $\pm$ 2,2	28,8 $\pm$ 4,9	58,7 $\pm$ 11,6	86,6 $\pm$ 14,1
Дегидрогеназы ЦТК:				
СДГ	8,24 $\pm$ 0,60	8,08 $\pm$ 0,6	7,7 $\pm$ 0,6	7,24 $\pm$ 0,8
ИДГ (с НАД)	6,63 $\pm$ 0,60	6,28 $\pm$ 0,30	6,63 $\pm$ 0,31	6,45 $\pm$ 0,51
α -КДГ	7,80 $\pm$ 0,8	7,61 $\pm$ 0,40	7,90 $\pm$ 0,41	7,19 $\pm$ 0,38
МДГ (с НАД)	7,85 $\pm$ 0,38	7,55 $\pm$ 0,28	7,28 $\pm$ 0,33	7,83 $\pm$ 0,53
МДГ (с НАДФ)	6,54 $\pm$ 0,51	6,73 $\pm$ 0,26	6,69 $\pm$ 0,37	7,15 $\pm$ 0,53
Морские свинки				
Каталаза	416,1 $\pm$ 34,8	482,9 $\pm$ 20,5	564,8 $\pm$ 26,0	522,0 $\pm$ 30,0
Цитохромы, М/мг белках $\times 10^{-10}$ А	0,45 $\pm$ 0,05	0,42 $\pm$ 0,1	0,35 $\pm$ 0,02	0,28 $\pm$ 0,03
В	0,49 $\pm$ 0,07	0,68 $\pm$ 0,1	0,39 $\pm$ 0,04	0,29 $\pm$ 0,01
В5	0,91 $\pm$ 0,10	1,02 $\pm$ 0,11	0,97 $\pm$ 0,12	0,80 $\pm$ 0,05
С	0,59 $\pm$ 0,06	0,65 $\pm$ 0,08	0,50 $\pm$ 0,16	0,45 $\pm$ 0,08
С1	0,69 $\pm$ 0,06	0,79 $\pm$ 0,08	0,59 $\pm$ 0,03	0,40 $\pm$ 0,02
Цитохромоксидаза	55,1 $\pm$ 5,2	69,3 $\pm$ 8,5	104,2 $\pm$ 25,9	46,4 $\pm$ 5,2
Общее железо	35,1 $\pm$ 5,2	193,7 $\pm$ 52,2	33,2 $\pm$ 3,9	170,4 $\pm$ 45,0
Дегидрогеназы ЦТК:				
СДГ	8,40 $\pm$ 1,2	6,93 $\pm$ 0,2	7,27 $\pm$ 0,7	8,08 $\pm$ 0,6
ИДГ (с НАД)	6,19 $\pm$ 0,21	6,65 $\pm$ 0,87	5,03 $\pm$ 0,34	6,43 $\pm$ 0,42
α -КДГ	7,41 $\pm$ 0,26	7,62 $\pm$ 0,40	7,36 $\pm$ 0,65	7,21 $\pm$ 0,56
МДГ (с НАД)	8,00 $\pm$ 0,42	7,17 $\pm$ 0,34	8,00 $\pm$ 0,42	8,23 $\pm$ 0,51
МДГ (с НАДФ)	5,69 $\pm$ 0,31	6,13 $\pm$ 0,23	5,41 $\pm$ 0,43	5,96 $\pm$ 0,45

Известно, что под влиянием радиации изменяется высокомолекулярные компоненты клетки, ассоциированные с каталазой, высвобождение которой приводит, вероятно, к наблюдаемой инактивации в печени облученных крыс. Кроме этого, образующиеся в организме H₂O₂ и другие пероксидные соединения липидного происхождения обладают выраженными окислительными свойствами, вызывающими также инактивацию этого фермента. Однако относительная радиоустойчивость активности каталазы в ткани печени морских свинок еще не означает, что в них не происходят какие-либо изме-

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ.

В печеночной ткани крыс через 6 часов после облучения в дозе 9 Гр наблюдается снижение каталазной активности на 27,7%, активность которой нормализуется на первые и вторые сутки лучевой болезни. У облученных же морских свинок через 24 и 48 часов после облучения активность этой оксидоредуктазы повышается на 28,5 и 25,4% соответственно (таблица 1.). Таким образом, активность каталазы в печеночной ткани животных, обладающих различной радиочувствительностью, в ранний период лучевой болезни существенно изменяется.

Чаше всего высвобождение каталазы из ядер в цитоплазму, при котором общая каталазная активность в гомогенате печени остается не измененной, приводит к большей уязвимости структуры клетки к разрушающему действию пероксидов (8).

Через 6 часов после облучения в печени крыс больше всего содержится цитохрома С (1,02 $\pm$ 0,9), чем остальных цитохромов, причем его концентрация несколько превышает таковую контрольных животных на 24%. Количество цитохрома В также характеризуется тенденцией к увеличению на 43% по сравнению с

его нормальным уровнем ($p < 0,2$). В этом же периоде лучевой болезни наблюдается повышение в печени содержания цитохрома C1 на 32% по сравнению с контрольными животными. При этом концентрация цитохромов A и B5 находится в пределах нормы. Результаты изучения изменений в содержании цитохромов в печени крыс через 24 часа после облучения показали, что в этом периоде лучевого поражения уменьшается количество цитохрома B5 (на 31%). У облученных крыс остается без изменений концентраций цитохромов A и B. Необходимо отметить некоторое уменьшение содержания цитохромов C и C₁ на 20 и 19% соответственно ($p < 0,1$).

На вторые сутки лучевого поражения количество цитохрома B5 в гомогенате печени находится в пределах контрольного уровня. Для этого периода лучевой болезни характерно уменьшение концентрации цитохромов B (на 67%), A (на 29%), C (на 47%) и C₁ (на 53%) по сравнению с животными контрольного ряда (см. таблицу).

Если в печеночной ткани облученных крыс цитохромоксидазная активность находится в пределах контрольных величин, то в печени облученных морских свинок наблюдается резкое повышение активности этого хромопротеида через 24 часа после облучения на 50%.

Увеличение активности ЦХО в печени морских свинок может быть связано с усилением обменных процессов в клетке. Установлено, что изменение валентности железа в железосодержащих порфиринах достигает высоких величин, поскольку оно является одним из лабильных мест молекулы хромопротеида. Частичное повреждение порфирина без раскрытия кольца или деструкция порфиринового кольца, может приводить к потере ферментативной ЦХО (9). Об этом свидетельствует снижение концентрации протопорфирина IX в периферической крови облученных животных, связанные, по-видимому, с нарушением синтеза гемина, гемоглобина и снижением включения радиоактивного железа (^{59}Fe) в гемоглобин и миоглобин (10).

В печени животных через 6 часов после облучения концентрация общего железа достоверно снижается у крыс до $28,8 \pm 4,9$ и повышается у морских свинок до $193,7 \pm 52,2$. Если в печени облученных крыс концентрация общего железа повышается на первые и вторые сутки на 45 и 111% соответственно, то в печени облученных морских свинок наблюдается резкое повышение уровня железа на 385% на вторые сутки лучевого поражения. Увеличение количества общего железа в печени облученных крыс и морских свинок обусловлено не только разруше-

нием эритроцитов, но и перераспределением органического тканевого железа в организме. Накопление неорганического железа в купферовских клетках печени служит показателем несостоятельности печеночных клеток, которые будучи функционально изменены, не способны выбросить часть железа в кровь и тем самым ведут к депонированию его в виде ферритина и гемосидерина (11).

Как видно из таблицы в печеночной ткани облученных крыс и морских свинок активность дегидрогеназы янтарной кислоты в основном не отличается от контрольного уровня, за исключением печени крыс через 48 часов после облучения, где нами отличается достоверное угнетение активности той дегидрогеназы на 12,2% ($p < 0,05$). При исследовании других дегидрогеназ ЦТК было установлено достоверные угнетение активности только НАД – зависимой изоцитратдегидрогеназы через 24 часа после облучения на 18,8% ($p < 0,01$).

Таким образом, при действии общего рентгеновского облучения в дозе 9 Гр наблюдается только угнетение активности СДГ (48 часов) и ИДГ (с НАД) через 24 часа после облучения. Относительная резистентность других дегидрогеназ в печени животных при радиационном поражении свидетельствует о относительной радиоустойчивости этой ткани. Тем не менее нарушения, происходящими изменениями с дегидрогеназами янтарной и изолимонной кислот, ответственными за перенос электронов в цепи биологического окисления, свидетельствует о изменениях в процессе тканевого дыхания.

Таким образом, снижение концентрации цитохромов, активности каталазы, ЦХО и накопление общего железа в печеночной ткани облученных животных частично объясняется отрывом от глобина гема под влиянием радиации за счет возбуждения или ионизации атома железа с последующим разрывом координационной связи железо–имидазольного кольца, либо за счет миграции энергии по всей молекуле белка и реализации ее на месте связи гем-белок, либо за счет обоих процессов, вместе взятых (8,3).

В радиационном поражении клетки в целом важную роль, по-видимому, играют изменения физико-химических свойств биологических мембран, которые обнаруживаются вскоре после облучения и в ряде случаев при небольших дозах. Можно полагать, что именно этими нарушениями обусловлены последующие, более глубокие изменения в структуре мембраны, приводящие к увеличению проницаемости, выходу различных кофакторов и ферментов из клетки, а также, возможно и ингибированию репарационной способности клетки (12).

ЛИТЕРАТУРА

1. Утешев А.Б. Роль окислительно-восстановительных ферментов при радиационном поражении. Алма-Ата, Изд. «Наука», 1981, с. 146.
2. Утешев А.Б. Окислительно-восстановительные ферменты миокарда при действии ионизирующей радиации. Изв. АН КазССР, серия биол. 1988, №3, с.83-88.
3. Утешев А.Б. Нарушение процесса энергетики в тканях животных при действии ионизирующей радиации. Здравоохранения Казахстана, 1993, №10, 28-31.
4. Мусагалиева Г.М., Утешев А.Б. Катехоламины и радиация. Алма-Ата, Изд. «Наука», 1988, с.120.
5. Евтодиенко Н.В., Мохова Е.Н. Спектрофотометрическое количественное определение цитохромов в митохондриях. Митохондрия. Структура и функции. М., 1966, с.95.
6. Гулидова Г.П., Сорокина И.Н. Некоторые условия спектрофотометрического определения активности суцхинатдегидрогеназы и цитохромоксидазы в митохондриях мозга. Бюлл.эксп. биол. И мед. 1967, т.63, №1, с.41-44.
7. Аблаев Х.А. Активность дегидрогеназ цикла Кребса в филогенезе позвоночных. Дис.кан.мед.наук, Алма-Ата, 1968.
8. Манойлов С.Е., Челябинка Л.Д., Возохина Н.В. Влияние облучения рентгеновыми лучами на активность каталазы в опытах in vitro. Радиобиология, 1978, т.18. вып.3 с.429-432.
9. Амирагова М.И., Дуженкова Н.А., Савич А.В., Шальнов М.И. Первичные радиобиологические процессы. М. Атомиздат, 1964, с.182.
10. Утешев А.Б. Влияние общего рентгеновского облучения на метаболизм железа в тканях животных организма. Украин. биох. жур., 1962, т.34, №3, с.371-378.
11. Утешев А.Б., Сатхожина Э.А., Алтыбаева З.К. Особенности метаболизма железа в тканях животных при действии проникающей радиации. Изв. АН Каз ССР, сер.биол., 1970, №3, с.66-69.
12. Павловская Т.Е., Волкова М.С, Тонгур А.М, Калочева В. Радиационное поражение клеточных мембран. // Молекулярная радиобиология, М. 1972, с.131.

ИОНДАУ РАДИАЦИЯСЫНЫҢ ӘСЕРІНЕН ЖАНУАРЛАРДЫҢ БАУЫР ҰЛПАСЫНДАҒЫ ОКСИДОРЕДУКТАЗДАРЫ

Утешев А.Б., Макашев Ж.К., Утешев Т.А.

Мемлекеттік Алматы дәрігерлер жетілдіру институты, Алматы, Қазақстан

Жалпы рентген сәулелену 9 Гр мөлшерде әсер еткенде, сәулеленген жануарлардың бауырларында бірнеше цитохромдардың, Кребс циклының кейбір каталазаның, цитохромоксидазаның, дегидрогеназа белсенділігінің концентрациясының төмендеуі және жалпы темірдің жиналуы байқалады, бұл митохондриялардың мембраналардың ультрақұрылымдардың конформациялық өзгерістер болуын дәлелдейді.

OXIDOREDUCTASES IN NEPHRITIC TISSUE OF ANIMALS AS A RESULTS OF IONIZING RADIATION

A.B. Uteshev, Zh.K. Makashev, T.A. Uteshev

Almaty State Extension Course Institute for Medical Officers, Almaty, Kazakhstan

Under general X-ray exposure in a dose of 9 Gr, reduction in concentration of a number of cytochromes, catalase activity, cytochrome oxydase of some Krebs cycle dehydrogenases and accumulation of ferrum in liver of the irradiated animals is observed. This is an indication of conformation alterations of mitochondrial membrane ultrastructure.

УДК 616-001.28-008.9

**ОБМЕН ПУРИНОВЫХ НУКЛЕОТИДОВ ПРИ АДАПТАЦИИ
ОБЛУЧЕННОГО РАДИАЦИЕЙ ОРГАНИЗМА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ****Жетписбаев Г.А. Жакиянова Ж.О., Аргынбекова А.С., Жетписбаев Б.А.***Семипалатинская государственная медицинская академия, Казахстан*

Целью исследования явилось изучение влияния общего гамма-облучения в дозе 6 Гр на обмен пуриновых нуклеотидов в иммунокомпетентных клетках и надпочечниках. Экспериментальная работа выполнена на 45 белых половозрелых крысах, которые подвергались общему гамма-облучению в дозе 6 Гр. До и через 30 дней после облучения у всех животных определяли активность ферментов пуринового обмена в тимусе, селезенке, лимфоцитах периферической крови и надпочечниках.

Полученный фактический материал показывает, что при поражении организма гамма-лучами в дозе 6 Гр происходят нарушения обмена пуриновых нуклеотидов в различных органах и тканях, что проявляется снижением активности ферментов пуриновых нуклеотидов в тимусе, селезенке, лимфоцитах периферической крови и надпочечниках.

Неоднократно подчеркивалась решающая роль биохимических исследований в патогенезе различных заболеваний. В настоящее время внимание ученых привлекают изменения метаболизма на уровне ткани, клетки и субклеточных структур, что позволяет установить наиболее общие закономерности радиобиологического эффекта, так как в ответ на действие ионизирующей радиации незамедлительно включается неспецифическая система адаптации на клеточном уровне [1,2]. При этом нарушение регуляции элементарных внутриклеточных механизмов может быть не только следствием, но и важнейшим звеном начальных, "пусковых" механизмов лучевого поражения [3].

В настоящее время внимание ученых привлекают изменения метаболизма на уровне ткани, клетки и субклеточных структур. Это объясняется тем, что судьба облученного организма определяется степенью повреждения и восстановления клеток как радиочувствительных, так и радиорезистентных тканей. Кроме того, исследования на клеточном уровне позволяют установить наиболее общие закономерности радиобиологического эффекта, так как в ответ на действие ионизирующей радиации незамедлительно включается неспецифическая система адаптации на клеточном уровне [1,2].

Поэтому целью исследования явилось изучение обмена пуриновых нуклеотидов при адаптации организма на влияние общего гамма-облучения в дозе 6 Гр. в эксперимента.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для решения поставленной цели нами выполнены эксперименты на 45 белых крыс массой 182 ± 33 г обоего пола, преимущественно самцах, которые за месяц до эксперимента содержались отдельно при одинаковых условиях вивария. Все животные были разделены на две группы: интактные ($n=15$) и опытные ($n=30$). Опытную группу животных за 30 дней до эксперимента облучали гамма-лучами Co^{60} на радиотерапевтической установке «Луч-1» в дозе 6 Гр. До и через 30 дней

после облучения у всех животных определяли обмен пуриновых нуклеотидов в надпочечнике и иммунокомпетентных органах и клетках.

Готовили гомогенаты из тимуса, селезенки и надпочечников у облученных и необлученных животных. В них определяли активность ферментов обмена пуриновых нуклеотидов по следующим методикам: определение активности АМФ-деаминазы по Горкину В.З. с соавт. (1968) в модификации С.О. Тапбергенова (1982), 5^1 -нуклеотидазу – по методу Диксона Н. И Пурдома (1954) в модификации Мансурова И.Д.и Стосмана Р.Э. (1973), аденозиндеаминазу – по методу Straub Н (1966) и количество белка по методу Lowry O. et al., 1951. Определение индекса функции состояния Т-системы и гуморального иммунитета производили по формуле: индекс функции состояния Т-системы $ИФТ=5^1-НД/АМФ$ -деаминаза, индекс функции гуморального состояния иммунитета $ИФГ=АДА/АМФ$ -деаминаза

Результаты исследования обрабатывались общепринятыми методами вариационной статистики с вычислением критериев Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Из таблицы 1 видно, что гамма-лучи в дозе 6 Гр. вызывают в тимусе достоверное снижение активности ферментов АМФ-деаминазы, АДА и 5^1 -нуклеотидазы в 1,45, 1,4 и 1,44 раза соответственно. Индексы ИМТ и ИФГ были достоверно ниже контрольных величин ($P<0.05$).

В лимфоцитах периферической крови происходило повышение активности фермента АМФ-д-зы в 3,2 раза, тогда как активность ферментов АДА и 5^1 -нуклеотидазы достоверно снижались в 1,66 и 3,0 раза соответственно. Индексы ИМТ и ИФГ были ниже в 4,76 и 4,38 раза своих контрольных величин.

В селезенке под действием ионизирующего воздействия в дозе 6 Гр. происходит снижение активности АМФ-деаминазы с $0,390 \pm 0,079$ до $0,212 \pm 0,021$ нмоль/с на мг белка ($P<0,05$), АДА с $1,480 \pm 0,096$ до $0,589 \pm 0,031$ нмоль/с на мг белка

($P<0,05$) и 5^1 -нуклеотидазы с $0,465\pm0,022$ до $0,120\pm0,005$ нмоль/с на мг белка ($P<0,001$). Индексы ИМТ и ИФГ были достоверно сниженными.

Несколько иная картина наблюдается со стороны надпочечников. При гамма-облучении в дозе 6 Гр в надпочечниках наблюдалось снижение активности АДА с $0,801\pm0,072$ до $0,401\pm0,022$ нмоль/с на мг белка ($P<0,001$). В то же время в надпочечнике повышались активность АМФ-деаминазы с $0,060\pm0,006$ до $0,155\pm0,004$ нмоль/с на мг белка ($P<0,001$) и 5^1 -нуклеотидазы с $0,043\pm0,010$ до $0,115\pm0,006$ нмоль/с на мг белка ($P<0,001$). Изменения соотношения 5^1 -НД/АМФ-д-за существенного изменения не претерпевало, тогда как отношение величины АДА/АМФ-д-за снижалось в 3,2 раза ($P<0,05$).

Роль АДА связана больше с дифференцировкой В-клеток, чем Т-клеток. [4], поэтому считается, что данный фермент участвует в антилоообразовании и индукции толерантности, совпадает с развитием иммунного ответа. Следовательно, снижение активности АДА или ее дефицит является ранним признаком развития иммунологической недостаточности.

Снижение активности АДА вызывает снижение цитотоксичности лимфоцитов при иммунодефицитных состояниях, вызывает дисбаланс между распадом и образования аденозина в иммунокомпетентных органах и клетках [5]. Снижение активности АДА вызывает накопление аденозина в иммунных клетках [6], это сопровождается угнетением синтеза белков и нуклеиновых кислот, приводящим к снижению пролиферации, дифференцировке и эффекторной функции лимфоцитов [7,8].

Накопление аденозина оказывает депрессивное действие на пролиферацию, дифференцировку и эффекторную функцию лимфоцитов [9]. Снижение активности 5^1 -нуклеотидазы сопровождается нарушением образования аденозина из АМФ и его транспорт внутрь клетки, это приводит к нарушению регуляции уровня пуриновых нуклеотидов в

клетке и истощению энергетических ресурсов. Поэтому снижение активности 5^1 -нуклеотидазы свидетельствует об отсутствии созревания зрелых В-лимфоцитов [6,10], подавляется активность макрофагов [11].

Таблица 1. Влияние гамма-излучения в дозе 6 Гр. на активность ферментов пуринового обмена

	Показатели	Тимус	
		I-интактные	II-облученные
	АМФ-д-за	$0,120\pm0,015$	$0,105\pm0,007^*$
	АДА	$0,424\pm0,039$	$0,301\pm0,028^*$
	5^1 -нуклеотидаза	$0,138\pm0,011$	$0,09\pm0,013^*$
	ИФТ	$1,15\pm0,06$	$0,90\pm0,023^*$
	ИФГ	$3,5\pm0,08$	$1,46\pm0,18^*$
Селезенка			
	АМФ-д-за	$0,390\pm0,079$	$0,212\pm0,021^*$
	АДА	$1,480\pm0,096$	$0,589\pm0,031^*$
1.	5^1 -нуклеотидаза	$0,465\pm0,022$	$0,120\pm0,015^*$
2.	ИФТ	$1,19\pm0,27$	$0,56\pm0,002^*$
3.	ИФГ	$3,79\pm0,14$	$2,78\pm0,15^*$
Надпочечник			
5	АМФ-д-за	$0,060\pm0,006$	$0,155\pm0,004^{**}$
2.	АДА	$0,801\pm0,072$	$0,401\pm0,022^{**}$
3.	5^1 -нуклеотидаза	$0,043\pm0,010$	$0,115\pm0,006^*$
4	5^1 -НД/ АМФ-д-за	$0,72\pm0,038$	$0,76\pm0,0055$
5	АДА/ АМФ-д-за	$8,35\pm0,07$	$2,58\pm0,062^*$
Лимфоцит периферической крови			
1.	АМФ-д-за	$0,006\pm0,0021$	$0,019\pm0,004^*$
2.	АДА	$0,015\pm0,003$	$0,009\pm0,002^*$
3.	5^1 -нуклеотидаза	$0,012\pm0,003$	$0,004\pm0,003^*$
4	ИФТ	$2,0\pm0,22$	$0,21\pm0,055^*$
5	ИФГ	$2,5\pm0,12$	$0,22\pm0,032^*$

Примечание: $^{\circ}$ - достоверно к I группе ($P<0,05$); ** - ($P<0,001$)

Таким образом, приведенный фактический материал показывает, что при поражении организма гамма-лучами в дозе 6 Гр происходят нарушения обмена пуриновых нуклеотидов в различных органах и тканях, что проявляется снижением активности ферментов пуриновых нуклеотидов в тимусе, селезенке, лимфоцитах периферической крови и надпочечниках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Избасарова И.А. Влияние эмоционального стресса на активность ферментов энергетического и пуринового обмена облученного организма. Автореф. дис. канд. биол. наук, Семипалатинск. – 1999. – 26 С.
2. Исаева С.Х. Влияние ионизирующего облучения на активность ферментов пуринового и энергетического обмена в эксперименте. // Дисс. к. б. н., Семипалатинск. - 1999. – 105 С.
3. Мусагалиева Г.М., Утешев А.Б. -Катехоламины и радиация. Наука, Казахская ССР. 1988. -120 с.
4. Senesi S., Batoni F., Freer G., Dolfi A.//Develop. And Compar. Immunol. 1990. V. 14. P.95.
5. Порядин Г. В., Макаров А. И., Салмаси Ж. М. Регуляция экспрессии поверхностных структур мембраны пуриновыми соединениями в норме и при патологии. // Пат. физиол. и эксперим. терапия. -1997. -№1. -С.42-45.
6. Николенько Ю.И., Синяченко О.В., Дядык А.И. //Иммунология. –1988. -№1. –С.19-22.
7. Muller G. //Z. Klin. Med. –1985. –Bd40. –S.1655-1658.
8. Trewyn R.W. //Med. Hypotes. –1984. –V.13. –P.369-380.
9. Burrige P.W., Paetkan V., Henderson J.F.// I. Immunol., 1977, V.119, № 2, .675
10. Zimmermann H. //Biochem. J. –1992. –Vol. 285. –P.345-365
11. Митькин В.В., Волков Н.И., Пшеничникова Т.Я. и др. Действие даназола на активность 5^1 -нуклеотидазы перитонеальных макрофагов мышей. /Бюл. эксперим. биол. –1992. -№2. –С.177-178.

**ТӘЖІРИБЕДЕГІ РАДИАЦИЯМЕН СӘУЛЕЛЕНГЕН ОРГАНИЗМНІҢ
БЕЙІМДЕЛУІ КЕЗІНДЕГІ ПУРИНДІ НУКЛЕОТИДТЕРДІҢ АЛМАСУЫ**

Жетпісбаев Ғ.А., Жақиянова Ж.О., Аргынбекова А.С., Жетпісбаев Б.А.

Семей медициналық академиясы, Қазақстан

Жұмыстың мақсаты 6 Гр дозалы жалпы гамма-сәулеленудің иммундық жауап жасушалары мен бүйрек үсті бездеріндегі пуриндік нуклеотидтер алмасуына әсерін зерттеу. Эксперименттік жұмыс 45 жыныстық жетілген ақ егеуқұйрыққа 6 Гр көлемді жалпы гамма-сәуле әсер еткеннен кейін зерттелген. Жануарлардың тимусындағы, көкбауырындағы, перифериялық қанындағы лимфоциттеріндегі және бүйрек үсті безіндегі пуриндік алмасу ферменттерінің әрекетшілдігі сәулеленуге дейін және сулеленуден кейін 30 күннен соң анықталған.

Тәжірибе нәтижесінде 6 Гр дозасы бар гамма-сәулелендіру организмдегі дене мүшелері мен ұлпалардағы пуриндік нуклеотидтер алмасуын өзгерту арқылы зақымдалу тудыратыны анықталды.

Бұлардың белгісі ретінде тимус, көкбауыр, қан лимфоциттері мен бүйрек үсті безінде ферменттер активтілігі төмендеуі байқалады.

**METABOLISM OF PURINE NUCLEOTIDES IN ADAPTATION
OF RADIATION-EXPOSED ORGANISM IN THE EXPERIMENT**

G.A. Zhetpisbayev Zh.O. Zhakiyanova, A.S. Argynbekova, B.A. Zhetpisbayev

Semipalatinsk State Academy of Medicine, Kazakhstan

The goal of the investigation is to study an effect of 6 Gy gamma-radiation on metabolism of purine nucleotides in the immunocompetent cells and adrenal glands. The experimental work was carried out on 45 white viripotent rats that were exposed to gamma radiation in the dose of 6 Gy. Prior to and 30 days after the irradiation all animals were observed to have activity of purine metabolism in thymus, spleen, peripheral blood lymphocytes and adrenal glands.

The results show that when an organism is exposed to gamma-rays in the dose of 6 Gy, metabolism of purine nucleotides in different organs and tissues is disturbed. This is expressed by weakening of activity of purine nucleotide ferments in thymus, spleen, peripheral blood lymphocytes and adrenal glands.

УДК 616-097-42-001.28/.29

СОСТОЯНИЕ ЛИМФОИДНЫХ ОРГАНОВ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ МАЛОЙ ДОЗЫ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Жетписбаев Г.А. Калибекова А.Д., Аргынбекова А.С., Жетписбаев Б.А.

Семипалатинская государственная медицинская академия, Казахстан

При действии больших доз радиации общеизвестно иммуносупрессивное действие [1]. Более того, иммунная система и, в частности, лимфоциты относятся к наиболее радиочувствительным объектам. Зрелые лимфоциты начинают гибнуть за счет апоптоза уже после доз 0,25-0,5 Гр. Еще большей радиочувствительностью отличается вилочковая железа, изменения в которой отмечали после низкой дозы, как 0,05 Гр. Однако при малых и даже при промежуточных дозах имеются экспериментальные свидетельства в пользу стимулирования иммунного ответа [2].

В иммуногенезе особое место уделено роли лимфоидным органам и миграционным процессам. Снижение функции иммунитета связаны с подавлением Т-системы иммунитета, изменением функциональной активности субпопуляции Т-лимфоцитов. Нарушение иммунной системы связаны и с изменениями В-клеток лимфоидных органов. К числу основных проявлений стрессовой реакции относятся клеточные сдвиги в лимфоидной ткани, возникающие не только в результате цитолиза и угнетения пролиферации, но и вследствие мобилизации и перераспределения лимфоцитов. Эти изменения могут быть связаны с регулирующим влиянием гормонов при стрессе. Установлено, что большие дозы глюкокортикоидов подавляют функции лимфоидных клеток, макрофагальных элементов, угнетают проявления клеточного и гуморального иммунного ответа в клеточных культурах и в целостном организме [3]. В то же время в организме существуют кортикостероид-резистентные клоны клеток, которые сохраняют и даже увеличивают иммунологические способности при введении сверхмаксимальных доз глюкокортикоидов [5].

В начальные сроки развития реакции происходит опустошение тимуса и селезенки с одновременным увеличением клеток в костном мозге. В поздний период имеет место усиленная миграция клеток в указанные лимфоидные органы из костного мозга на фоне его преходящей гиперплазии. Усиленный выброс клеточных элементов из костного мозга и репопуляция ими лимфоидных органов являются соответствующим стимулом, обуславливающим активацию функции коры надпочечников в качестве механизма, регулирующего процессы клеточной пролиферации и миграции [5].

Миграция лимфоцитов в костный мозг и мобилизация гранулоцитарных резервов из костного мозга при любом виде стресса носит характер срочной

реакции, обусловленной в первую очередь изменением тонуса симпатической нервной системы, тогда как активация миелопоэза зависит от действия кортикостероидов [6].

К одним из основных проявлений стрессовой реакции относятся клеточные сдвиги в лимфоидной ткани, такие как цитолиз, угнетение пролиферации, мобилизация и перераспределение лимфоцитов в лимфоидных органах иммунной системы, связанные с ее иммунной и метаболическими функциями. Поэтому роль лимфоидных органов иммунной системы в развитии процессов иммуногенеза в общем адаптационном синдроме на воздействие малой дозы гамма-излучения требует дальнейшего своего изучения.

Отсюда вытекает необходимость изучения состояния лимфоидных органов иммунной системы при воздействиях малой дозы гамма-облучения в дозе 0,2 Гр. в эксперименте.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для решения поставленной цели нами выполнены эксперименты на 35 белых беспородных крысах массой 180 ± 25 г, преимущественно самцах, которые за месяц до эксперимента содержались отдельно при одинаковых условиях вивария. Все животные были разделены на две группы: 1 интактные ($n=10$) и 2 - опытные ($n=25$). Опытную группу животных за 30 дней до эксперимента облучали гамма-лучами Co^{60} на радиотерапевтической установке «Луч-1» в дозе 0,2 Гр. У всех животных до и через 30 дней после облучения определяли массу, лимфоидные клетки и лимфоидный индекс костного мозга бедренной кости, тимуса, селезенки и лимфатических узлов тонкого кишечника. Цифровой материал подвергнут статистической обработке.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В наших экспериментах изучены состояния центральных и периферических лимфоидных органов иммунной системы при общем гамма облучении в дозе 0,2 Гр (таблица 1, 2).

Через 1 месяц после общего гамма облучения масса тимуса и лимфоидный индекс не претерпевали существенных изменений по сравнению с интактными животными. При этом в тимусе облученных животных наблюдалось достоверное снижение числа лимфоидных клеток с $9,2 \pm 0,28 (10^6)$ до $7,9 \pm 0,34 (10^6)$.

В лимфатических узлах тонкого кишечника после воздействия общего гамма-излучения в дозе 0,2 Гр отмечалась тенденция к снижению его массы.

При этом число лимфоидных клеток достоверно превышали контрольные показатели в 1,8 раза ($P<0.05$), то есть в лимфоидных узлах тонкого кишечника при лучевом поражении наблюдается достоверное увеличение количества лимфоидных клеток с $0,72\pm 0,031$ до $1,30\pm 0,10$ (10^6). Лимфоидный индекс данного органа был меньше сравнимого показателя контрольных животных. Лимфоидный индекс лимфоузлов тонкого кишечника достоверно снизился с $0,08\pm 0,002$ до $0,06\pm 0,004$ ($P<0.05$).

Таблица 1. Состояние лимфоидных органов Т-системы иммунитета при гамма облучении 0,2 Гр

Органы и лимфоузлы	Показатели	Исследуемые группы	
		1 (n=10)	2 (n=25)
Тимус	1	$0,32\pm 0,020$	$0,30\pm 0,060$
	2	$9,2\pm 0,28$	$7,9\pm 0,34^{**}$
	3	$0,18\pm 0,012$	$0,16\pm 0,012$
Лимфоузлы тонкого кишечника	1	$0,15\pm 0,021$	$0,10\pm 0,030$
	2	$0,72\pm 0,031$	$1,30\pm 0,10^{**}$
	3	$0,08\pm 0,002$	$0,06\pm 0,004^{**}$

Примечание: * - достоверно к 1 группе, ($P<0,05$),
1 - масса органа в мг, 2- лимфоидные клетки (10^6), 3 - лимфоидный индекс.

Приведенный материал показывает, что при гамма-облучении в дозе 0,2 Гр в организме происходит миграция лимфоидных клеток в лимфатические узлы тонкого кишечника.

Установлено, что пострadiационные и постстрессорные изменения в ткани тимуса способствуют развитию вторичных иммунодефицитов, сопутствующих большинству хронических патологических процессов. Вследствие гипоплазии лимфатических узлов и прогрессивной инволюции тимуса наблюдается искажение иммунологических реакций, усиление аутоиммунных процессов, активация бактериальных и вирусных инфекций [8].

Известно, что одним из центральных органов В-системы иммунитета является костный мозг. Однако

У крыс, предрасположенных к стрессу, наблюдаются глубокие и устойчивые изменения, лимфоидной ткани в лимфатических узлах. В лимфатических узлах заметно уменьшается количество лимфоцитов и плазмоцитов, клеток с картинами митозов и молодых клеток лимфоидного ряда. В то же время резко возрастает количество разрушенных и погибающих клеток [7].

установлена также Т-клеточная регуляция пролиферации и дифференцировки стволовых кроветворных клеток костного мозга, являющихся источником предшественников Т- и В-лимфоцитов [9]. На некоторых этапах пострadiационное восстановление зависит от тимуса, который необходим также для репарации радиационных повреждений стволовых кроветворных клеток.

Под воздействием малой дозы гамма-излучения в селезеночной ткани происходило достоверное уменьшение лимфоидных клеток с $2,5\pm 0,39$ (10^6) до $1,3\pm 0,1$ (10^6). При этом масса селезенки и ее лимфоидный индекс в этот период лучевого поражения соответствовали контрольным показателям (таблица 2).

Таблица 2. Состояние лимфоидных органов при гамма облучении в дозе 0,2 Гр

Органы	Показатели	Исследуемые группы	
		1 (интактные)	Через 1 месяц (n=25)
Костный мозг	2	$0,16\pm 0,041$	$0,16\pm 0,020$
Селезенка	1	$0,70\pm 0,074$	$0,70\pm 0,030$
	2	$2,5\pm 0,39$	$1,3\pm 0,1^*$
	3	$0,09\pm 0,012$	$0,088\pm 0,005$

Примечание: * - достоверно к 1 группе, ($P<0,05$),
1 - масса органа в мг, 2- лимфоидные клетки (10^6), 3 - лимфоидный индекс

По данным микроскопического исследования [10], разрушение лимфоцитов происходит в результате нарушения целостности лизосомальных и других мембран. Все эти данные позволяют предположить, что массовая гибель клеточных элементов может быть одной из причин изменения соотношения одновалентных ионов в ткани селезенки облученных животных. Так установлено, что наиболее радиочувствительной структурой лимфоцитов, поражение которого возникает во время или сразу после облучения, является плазматическая мембрана, а все остальные морфологиче-

ские изменения вторичны и связаны с изменением концентрации электролитов в цитоплазме за счет их утечки во внешнюю среду. [11].

По мнению П.Д. Горизонтова и соавт. [12], в механизме ранней реакции селезенки на экстремальное воздействие решающая роль принадлежит симпатической нервной системе, причем опустошение зобной железы и селезенки происходит главным образом за счет миграции лимфоидных клеток в костный мозг, при этом количество лимфоцитов в костном мозге увеличивается при уменьшении зрелых ней-

трофилов. Они взаимно вытесняют друг друга из костной ткани, так как на ранней стадии адаптации нейтрофилы в роли микрофагов находятся на переднем рубеже воспалительного процесса. Усиление иммунного ответа было получено при денервации селезенки, которая, как и другие органы иммунной системы, имеют автономную иннервацию и содержат чувствительные нейроны [12].

В нашем опыте со стороны костного мозга облученных животных в дозе 0,2 Гр существенных изменений не наблюдалось между контрольными и опытными показателями.

Таким образом, через 1 месяц малые дозы гамма-излучения вызывают однотипные изменения в тимусе и селезенке: снижение числа лимфоидных клеток и лимфоидного индекса, при этом повышение количества лимфоидных клеток в лимфоидных узлах тонкого кишечника облученных животных отражает процесс перераспределения и миграции их в данную область, что, возможно, является одним из проявлений механизмов адаптации на воздействие малой дозы гамма-излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Neta R. Radiation effects on immune system. In "Immunological Encyclopedia", 1992, London, P.1298-1301.
2. Хаитов Р.В., Пинегин Б.В. Основные представления об иммуностропных лекарственных средствах. // Иммунология - 1996. - №.6. -С.4-9.
3. Ahlgvist J. Endocrin influences on lymphatic organs, inflammation and autoimmunity // Acta endocrinol. -1986. -V.83. -135p.
4. Andron B., Blomgren H. Evidence for a small pool of immunocompetent cells on the mouse thymus. //Cell. immunol. -1980. - V.1. -P.362-371
5. Фролов Б.А., Афонина С.Н. Роль кортикостероидов в регуляции процессов клеточной миграции при эмоционально-болевым стрессе //Пробл. Эндокринологии. -1983. -Т.29. - №4. -С.754-79.
6. Горизонтов П.Г., Зимин Ю.В. Лимфоидная ткань при стресс-реакции. //Актуальные проблемы стресса. Кишинев, 1976. -273С.
7. Scharenberg J. G., Rijkers G., Toedis E., Staal B. J.//Scand. J. Immunol. 1988. V. 28. P. 87.
8. Климович В.Б. // В кн. Москалева Ю.И. Отдаленные последствия ионизирующих облучений. - М. Медицина, 1991. - 464 С.
9. Ярилин А.А., Пинчук В.А., Гриневич Ю.А. Структура тимуса и дифференцировка лимфоцитов. - Киев: Наукова Думка, 1991. - 248 С.
10. Пономарева Т.В., Меркушев Г.Н. Архив анат. гистол. и эмбриол. -1978. -Т.24. -В.4. -С.47-52.
11. Малкина Р.М., Тужилкова Т.Н. О связи морфологических и физиологических изменений в селезенке мышей после гамма-облучения. // Радиобиология. -1980. -Т.20. -В.5. -С.724-728.
12. Горизонтов П.Д. Система крови, как основа резистентности и адаптации организма // Пат. физиол. -1981. -№2. -С.55-63.

ТӘЖІРИБЕДЕГІ ГАММА-СӘУЛЕЛЕНУДІҢ АЗ МӨЛШЕРІНІҢ ӘСЕРІ КЕЗІНДЕГІ ИММУНАЛДЫҚ ЖҮЙЕНІҢ БЕЗДІ ОРГАНДАРЫНЫҢ ЖАҒДАЙЫ

Жетпісбаев Ғ.А., Қалибеков А.Д., Аргынбекова А.С., Жетпісбаев Б.А.

Семей медициналық академиясы, Қазақстан

CONDITION OF IMMUNE SYSTEM LYMPHOID ORGANS UNDER EFFECT OF LOW-DOSE GAMMA RADIATION IN THE EXPERIMENT

G.A. Zhetpisbayev, A.D. Kalibekova, A.S. Argynbekova, B.A. Zhetpisbayev

Semipalatinsk State Academy of Medicine, Kazakhstan

УДК 616-097-612.015-001.28/.29

**СОСТОЯНИЕ ЛИПОПЕРОКСИДАЦИИ В ИММУНОКОМПЕТЕНТНЫХ ОРГАНАХ
И КЛЕТКАХ ПРИ ДЕЙСТВИИ МАЛОЙ ДОЗЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ****Жетписбаев Г.А. Аргынбекова А.С., Жетписбаев Б.А., Усенова О.***Семипалатинская государственная медицинская академия, Казахстан*

Анализ экспериментальной работы, проведенных на белых крысах показало, что при воздействии малой дозы гамма-излучения (0,2) концентрация ДК и МДА превышало контрольные величины в лимфоцитах периферической крови и тканях надпочечников животных.

Актуальность проблемы определяется тем, что липопероксидация является одной из универсальных реакций организма на воздействие факторов внутренней и внешней среды. На начальных стадиях выступает липопероксидация как защитно-приспособительная реакция организма, но в дальнейшем само становится фактором нарушения гомеостаза. [1,2]. Среди параметров, характеризующих состояние биологических мембран, одним из основных является липопероксидация, которое являясь нормальным метаболическим процессом, широко представленным во всех органах и тканях, участвует в регуляторных функциях клетки и контролируется высокоэффективной антиоксидантной системой (АОС), способствующим поддержанию реакции окисления на минимальном уровне.

Воздействие ионизирующего излучения характеризуется значительной активацией процессов липопероксидации. Было установлено, что ионизирующая радиация приводит к увеличению концентрации свободных радикалов в различных органах и тканях и их гомогенатах [3,4]. При облучении гомогенатов тканей большое количество свободных радикалов образуется в тканях с большим содержанием фосфолипидов [5]. В основе ряда патологических состояний, в том числе после облучения связаны с выраженной инициацией процессов липопероксидации [6].

Несмотря на большой интерес к изучению роли липопероксидации в адапционных механизмах организма, остаются не до конца выясненными молекулярные механизмы повреждения мембраны, в частности и при воздействии малой дозы общего гамма-облучения.

Поэтому целью настоящего исследования явилось изучение в эксперименте состояния липопероксидации в тканях надпочечников и иммунокомпетентных органов и клетках на фоне общего гамма-облучения в дозе 0,2 Гр.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для решения поставленной цели нами выполнены эксперименты на 30 белых беспородных половозрелых крыс обоего пола, преимущественно самцах, которые за месяц до эксперимента содержались отдельно при одинаковых условиях вивария. Подопытные животные были разделены на две группы: интактные (n=10) и опытные (n=20). Опытную группу животных за 30 дней до эксперимента облучали

гамма-лучами Co^{60} на радиотерапевтической установке «Луч-1» в дозе 0,2 Гр. До и через 30 дней после облучения у всех животных определяли состояние перекисного окисления липидов в различных органах и клетках.

Выделяли лимфоциты из периферической крови и готовили гомогенаты из тимуса, селезенки и надпочечников у облученных и необлученных животных. В них определяли содержание диеновых конъюгатов (ДК) и малонового диальдегида (МДА) по методу В.Б. Гаврилова, М.И. Мешкорудной (1983) и Ушакова В.Н. (1987).

Полученные результаты исследования обрабатывались общепринятыми методами вариационной статистики по методике Е.В. Монцевичюте-Эрингене (1964). Сравнение проводилось по критерию t-Стьюдента. Анализ цифрового материала осуществлялся методами машинной программной обработки на ПЭВМ класса Pentium-233-MMX

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Нами были исследованы состояние липопероксидация в тканях тимуса, селезенки, лимфоцитах периферической крови и надпочечников при воздействии гамма-излучения в дозе 0,2 Гр на 30 белых беспородных половозрелых крысах обоего пола. Цифровые данные таблицы 1 и 2 показывают, что при воздействии общего гамма-облучения в дозе 0,2 Гр концентрация ДК увеличивается в лимфоцитах периферической крови с $0,26 \pm 0,03$ до $0,37 \pm 0,04$ ($P < 0,05$) и в надпочечниках с $0,18 \pm 0,01$ до $0,38 \pm 0,02$ ($P > 0,05$). Существенные изменения не наблюдалось со стороны тимуса и селезенки облученных животных где концентрация ДК в этих органах соответствовали контрольным величинам.

Как известно, состояние липопероксидации является важным показателем, характеризующим результативность приспособительных процессов. Исследование первичных продуктов ПОЛ показало, что при воздействии малой дозы гамма-облучения (0,2 Гр) в тимусе и селезенке уровень диеновых конъюгатов соответствовало контрольным данным.

Уровень МДА зависит от окисляемости липидов. Снижение окисляемости липидов в условиях неблагоприятного климатоэкологического фактора является показателем глубоких адаптивных изменений на уровне клеточных мембран и увеличения мощности антирадикальных систем.

*Таблица 1. Влияние общего гамма-излучения
в дозе 0,2 Гр на содержание ДК*

Органы	1 (n=10)	2 (n=20)
Тимус	0,42±0,04	0,37±0,03
Селезенка	0,21±0,02	0,18±0,02
Лимфоциты крови	0,26±0,03	0,37±0,04*
Надпочечники	0,18±0,01	0,38±0,02*

Примечание: 1 – интактные, 2 – облученные; * – достоверно к 1 группе (P<0,05); n – количество опытов.

Из таблицы 2 видно, что при воздействии общего гамма-излучения в дозе 0,2 Гр в тканях тимуса наблюдается некоторая тенденция к повышению содержания МДА на 16%. Достоверное повышение содержания данного показателя отмечается в лимфоцитах периферической крови – в 1,35 раза (P<0.045) и надпочечниках – в 1,29 раза (P<0.05) облученных животных. Однако, со стороны селезенки существенных изменений нами не наблюдалось.

Установлено, что процессы ПОЛ активируются при многих патологических состояниях, а липидные перекисные соединения оказывают дестабилизирующее влияние на метаболические процессы в клетке, изменяя проницаемость. При этом существенные изменения уровня ПОЛ в различных органах указывает на повреждение АОС клеток.

*Таблица 2. Влияние гамма-излучения
в дозе 0,2 Гр на содержание МДА*

Органы	Интактные (n=10)	Через 1 месяц (n=20)
Тимус	1,25±0,11	1,45±0,19
Селезенка	1,18±0,11	0,99±0,08
Лимфоцит крови	0,95±0,06	1,29±0,07*
Надпочечник	1,12±0,10	1,45±0,09*

Примечание как и в таблице 1

С одной стороны перекиси липидов вызывают набухание митохондрий и разобщение окислительного фосфорилирования. Предполагается, что образование перекисей липидов изменяет проницаемость вследствие окисления ненасыщенных гидрофобных хвостов фосфолипидов. Образующие при этом гидроперекисные группы обуславливают появление дыр в гидрофобном барьере мембраны [7]. Таким образом, ПОЛ может служить регулятором проницаемости биологической мембраны. [8].

Образование перекисей липидов далеко не всегда желательно для организма, чрезмерное их накопление может привести к нарушению жизненно важных функций клетки (разрушение мембраны, инактивация ферментов), поэтому организму необходима, регулирующая процесс ПОЛ. Прежде всего это антиоксиданты (например, витамин Е), присутствующая в клетке в значительных количествах. Они тормозят окисление липидов. Кроме этого в распоряжении организма имеется способ нейтрализации гидроперекисей, связанный с окислением восстановленного глутатиона (GSH). Окисление GSH

ингибировало накопление МДА в субклеточных фракциях и гомогенатах тканей. Это привело к предположению, что окисление GSH в гомогенатах сопряжено с механизмом противодействия ПОЛ мембранных липидов. Образование МДА в суспензии не происходит до тех пор, пока концентрация эндогенных тиолов не упадет до определенного уровня [9]. Таким образом, ПОЛ в норме подвержено строгому контролю со стороны организма.

С другой стороны, было обнаружено изменение концентрации анти оксидантов при облучении. Облучение фракции увеличивает скорость накопления МДА; ингибитор ПОЛ витамин Е уменьшает скорость накопления МДА; в отсутствие кислорода накопление МДА резко снижается в облученных и интактных фракциях. Все эти работы свидетельствуют о том, что *in vitro* лучевое поражение сопровождается усилением процессов липопероксидации.. Облучение инициирует цепное окисление НЖК, приводящее к образованию летальной дозы токсических примесей. Они действуют на организм, присутствуя в мембране и нарушая ее свойства.. Возможно, что при облучении в организме образуются и другие быстро исчезающие токсические перекиси, определение которых затруднено [1,2,3].

Таким образом, высокая биологическая активность продуктов ПОЛ определяет два противоположных типа их действия в организме [4]. Первичные продукты ПОЛ, присутствующие в норме в организме в относительно невысоких концентрациях оказывают физиологическое действие, заключающееся в обратимых гидрофильно-гидрофобных превращениях жирнокислотных остатков мембранных фосфолипидов и изменением функционального состояния биомембран, обратимой инактивации многих мембраносвязанных ферментов и т.д., что нами наблюдалось при действии малой дозы гамма-облучения в дозе 0,2 Гр в тканях тимуса и селезенки. Вторичные продукты ПОЛ, имеющие помимо карбоксильной, также альдегидные, кетонные и эпоксидные группы оказывают уже повреждающее действие, что нами было отмечено в лимфоцитах периферической крови и тканях надпочечников. Отсюда можно предположить, что наиболее уязвимыми мишенями-органами при лучевом воздействии в дозе 0,2 Гр являются лимфоциты периферической крови и ткани надпочечников.

Таким образом, анализ полученных нами экспериментальных данных подтверждает тот факт, что при общем гамма-облучении в дозе 0,2 Гр концентрации ДК и МДА превышало контрольные величины в лимфоцитах периферической крови и надпочечниках животных, тогда как в тканях тимуса и селезенки концентрация ДК и МДА при радиационном поражении организма находится в пределах контрольных величин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Владимиров Ю.А., Арчаков А.И. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. М.: Наука, 1972, 252 с.
2. Бурлакова Е.Б. Влияние липидов мембран на активность ферментов // В кн.: Биоантиокислители в регуляции метаболизма в норме и патологии. М.: Наука, 1982; С.113-140.
3. Барабой В.А., Чебаторев Е.Е. //Радиобиология. –1986.-№5. –С.591-597.
4. Журавлев А.И. Биоантиокислители в регуляции метаболизма в норме и патологии. –М., 1982. –С.3-36.
5. Бебешко В.Г., Преварский Б.П., Халявко И.Г. и др. //Медицинские аспекты аварии на ЧАЭС. –Киев, 1988. –С.161-165.
6. Москалев Ю.А. Стрельцова В.Н. Отдаленные последствия радиационного поражения: Неопухолевые формы: (Итоги науки и техники. Сер. Радиационная биология. Т.6). М., 1987
7. Нейфах Е.А., Алимбекова А.И., Иваненко Г.Ф. Низкодозовый радиогенный липоперекисный стресс и сопряженные патологии у детей Чернобыля. Семипалатинский полигон/Алтай». –1993. -№2. –С.76-78.
8. Владимиров В.Г., Антушевич А.Е., Лебедев С.Н., Мясоедов А.Ф. Роль свободнорадикальных процессов окисления липидов в развитии постлучевых разрывов ДНК. // Всесоюзный радиобиологический съезд, М. 21-27 августа, 1989, Тез. докл. Т. 1, Пушино, 1989, С.56-57.
9. Hruzkewycz A.M. Evidence for mitochondrial DNA damage by lipide peroxidation. BBRC, 1988.-153(1): 191-197.

ТӘЖІРІБЕДЕГІ ГАММА-СӘУЛЕЛЕНУДІҢ АЗ МӨЛШЕРІНІҢ ӘСЕРІ КЕЗІНДЕГІ ИММУНОҚҰЫРЛЫ ОРГАНДАР МЕН КЛЕТКАЛАРДАҒЫ ЛИПЕРОКСИДАЦИЯ ЖАҒДАЙЫ

Жетпісбаев Ғ.А., Аргынбекова А.С., Жетпісбаев Б.А., Үсенова О.

Семей медициналық академиясы, Қазақстан

Ақ тышқандарға жүргізілген тәжірибелік жұмыстардың нәтижесі, гамма-сәулеленудің аз мөлшерінің (0,2) әсері кезінде, ДК мен МДА жануарлардың перифериялық қан лимфоциттерінде және бүйрекүсті тканьдеріндегі шоғырлануы бақылаулық көлемнен асып түскендігін көрсетті.

CONDITION OF LIPOPEROXIDATION IN IMMUNOCOMPETENT ORGANS AND CELLS UNDER EFFECT OF LOW-DOSE GAMMA RADIATION IN THE EXPERIMENT

G.A. Zhetpisbayev, A.S. Argynbekova, B.A. Zhetpisbayev, O. Usenova

Semipalatinsk State Academy of Medicine, Kazakhstan

An analysis of experimental work conducted at the white rats showed that under effect of the low-dose gamma-radiation (0.2), RC and MDA exceeded the control values in animals' peripheral blood lymphocytes and adrenal gland tissues.

УДК 621.78 : 621.039

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПК «CRISTA» ДЛЯ РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА МАТЕРИАЛОВ**Логачев Ю.В.***Институт атомной энергии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*

Выработаны оптимальные критерии анализа дифрактограмм, получаемых на дифрактометре ДРОН-2 и алгоритм их обработки. Разработан специализированный программный комплекс ПК «CRISTA» для автоматизированной обработки дифрактометрической информации, реализующий предварительную обработку дифрактограмм, идентификацию химических соединений (фаз), анализ достоверности идентификации и расчета их концентрации (полуколичественный анализ).

Реализованы расширенные пользовательские функции для полуавтоматического или ручного анализа дифрактограмм, в частности, функции визуального наблюдения спектров, их наложения, разделения совпадающих пиков и т.п.

Результаты работы могут быть использованы при проведении рентгеноструктурного анализа материалов в рамках материаловедческих исследований сложных композиционных материалов.

Одним из важных направлений работ, проводимых в НЯЦ РК, являются материаловедческие исследования материалов. Учитывая, что такие исследования являются эффективным инструментом при решении целого ряда научных, технических, экологических и других задач (в том числе коммерческих), их актуальность постоянно растет.

Совокупность методов, обеспечивающих реализацию материаловедческих исследований, достаточно велика, и одной из важных составных частей таких методов является рентгеноструктурный фазовый анализ, т.е. определение фазового состава сложных композиционных материалов. Являясь самим по себе эффективным инструментом научных исследований, данный метод в сочетании с методами элементного анализа, имеет повышенную значимость для НЯЦ РК в связи с большим объемом различных физических экспериментов, связанных с образованием сложных многокомпонентных материалов. Примером таких экспериментов могут служить эксперименты по плавлению топливных композиций, проводимые в рамках проектов «EAGLE» и «COTELS». Высокая значимость указанного направления работ и неуклонно возрастающие требования к достоверности и качеству материаловедческих исследований требуют постоянного совершенствования используемой методической базы. Решение этой проблемы имеет ряд методических и аппаратных аспектов.

В общем случае очевидными путями повышения качества материаловедческих исследований являются три направления - совершенствование аппаратного парка, методической базы и методов обработки первичной информации. Развитие аппаратного парка требует больших материальных затрат и само по себе не всегда приводит к требуемому результату. Учитывая это, особое значение приобретают используемые в исследованиях методическая база и методы обработки информации. Наличие соответствующей методической базы, безусловно, является

необходимым, но не достаточным условием для получения достоверных результатов фазового или элементного анализа материалов. Вторым не менее важным условием является корректная математическая обработка первичной информации (аппаратных спектров или дифрактограмм), получаемой в процессе измерений и являющейся основой для последующего анализа. В данной публикации рассмотрено последнее из указанных направлений.

Эффективность использования любого спектрометра, как и любого другого аналитического прибора, напрямую зависит от прилагаемого к нему инструментария, в данном случае, программного обеспечения, которое позволяет в полной мере реализовать потенциальные возможности аппаратуры. Высокую значимость программного обеспечения можно проиллюстрировать данными целого ряда американских компаний, в частности компании IBM, в соответствии с которыми в совокупной стоимости разработки новых образцов аппаратуры стоимость разработки программного обеспечения составляет 70 % ÷ 80 %.

Опыт анализа дифрактограмм сложных многокомпонентных и многофазных материалов, какими, в частности, являются образцы затвердевшего расплава топливных смесей, показывает, что использование стандартных программных средств и баз данных (например, PDF-2), во многих случаях, позволяет идентифицировать только основные фазы, присутствующие в простых системах. При этом достоверность такой идентификации, а также производительность и эффективность исследований в целом в ряде случаев являются неудовлетворительными.

Очевидно, что необходимо наличие эффективно-го инструмента анализа дифрактометрической информации, позволяющего реализовать необходимый набор специализированных математических методов автоматизированной и ручной обработки этой информации и адаптированного к используемой аппаратурной и методической базе. Таким инстру-

ментом является специализированное программное обеспечение, обеспечивающее широкий набор пользовательских функций, включая предварительную обработку дифрактограмм, идентификацию элементов или химических соединений (фаз), анализ достоверности идентификации, проведение расчета концентрации элементов и, в идеале, математическое моделирование дифрактограмм или спектров заданного состава. При этом программное обеспечение, по возможности, должно обеспечивать совместимость результатов с программной и методической базой, используемой другими методами анализа материалов (например, элементного рентгенофлуоресцентного анализа), а также позволять вносить оперативные изменения в используемый математический аппарат, учитывая специфические особенности, требования и возможности используемой методической базы. Особое значение наличие такого инструмента приобретает в случае исследования материалов, для которых данные по дифракционным линиям и другим фазовым характеристикам отсутствуют в известных базах данных.

Для лучшего понимания проблемы ниже приведены некоторые положения теории обработки спектрометрической информации, обеспечивающие проведение корректной автоматизированной обработки первичной информации и реализацию базовых положений используемых методик анализа.

Как указывалось выше, спектр рентгеновского излучения, являющийся откликом на поглощенную в объеме детектора энергию, достаточно сложен. Реальные спектры образцов сложного состава являются суперпозицией большого количества пиков, образованных отдельными составляющими пробы. Как набор чисел, определяющих амплитуду зарегистрированных импульсов, спектр содержит совокупность интенсивных и относительно небольших пиков, находящихся на фоновой подложке. Из-за сложного характера формирования отклика детектора на воздействие ионизирующего излучения, спектр, как правило, кроме моноэнергетических пиков содержит ряд дополнительных пиков, не несущих полезной информации и отличающихся по форме от идеальной. Наличие таких пиков обусловлено рядом физических процессов, происходящих при поглощении ионизирующего излучения (например, неполное поглощение энергии, рассеяние, тепловые аппаратные шумы и т.д.). Эти физические эффекты оказывают заметное влияние на формирование функции отклика детектора и, в большинстве случаев, затрудняют анализ спектров, т.к. при этом происходит искажение формы и полезных пиков – изменение крутизны спада в низкоэнергетической части, смещение центра тяжести пика и т.д.

Поэтому при кажущейся очевидности такого понятия, как пик, он имеет четкое определение и целый набор критериев, которые строго подчиняются ряду математических законов. Поэтому первым и

одним из основных этапов анализа спектров является определение формальных признаков пиков и их критериев, т.е. составление его «формального паспорта». Именно это позволяет формализовать процедуру обнаружения пиков в спектре и провести дальнейшую его обработку. К основным признакам пика-синглета можно отнести следующие:

- параметр положения вершины пика (x_p);
- погрешность определения положения вершины пика (Δx_p);
- полная ширина пика на половине высоты (ПШПВ) (W);
- расстояние до соседних пиков в единицах ПШПВ;
- амплитуда пика без учета его фонового вклада (A_p);
- отношение амплитуды пика A_p к $A_{\text{ф}}$;
- отличие величины ПШПВ от его значения при градуировке;
- ширина пика в его основании (Δx) и значение ширины в единицах ПШПВ;
- положение левой и правой границ пика (x_1 и x_2);
- площадь пика S_n и погрешность ее определения ΔS_n ;
- критерий статистической значимости пика.

Кроме этого, существует ряд дополнительных признаков, характеризующих мультиплет.

Анализ спектров с целью алгоритмизации процесса автоматического поиска пиков и определения их параметров включает в себя ряд значимых и незначимых (с первого взгляда) процедур. Совокупность используемых при анализе процедур по существу определяет качество конкретной программы обработки спектров.

В общем виде для выявления пиков и определения их параметров необходимо:

- определить характеристики и массивы фоновой базовой кривой дискретного распределения;
- выявить на уровне базовой кривой явные пики и определить их формальные параметры;
- проверить параметры пика на статистическую значимость;
- проверить принадлежность пиков классу пиков-синглетов или мультиплету;
- идентифицировать пики по списку их формальных признаков и сравнить с эталонным списком известных пиков из базы данных.

Одной из первых и основных процедур автоматического анализа спектров является процедура поиска пиков. Существует достаточно много методов поиска пиков, которые учитывают используемые при измерении физические принципы (дифрактометрия, рентгено-флуоресцентный анализ, γ -спектрометрия, масс-спектрометрия и т.п.), а также свойственные им аппаратные особенности формирования спектров. По применяемым математиче-

ским процедурам методы поиска пиков можно условно разделить на следующие группы:

- статистические;
- методы дифференцирования по первой – четвертой производным;
- интегральные корреляционные.

Основными трудностями при выявлении пиков являются наличие слабых пиков, отсчеты в которых лишь немного превышают их статистическую погрешность, определение слившихся пиков, определение их границ и положения максимума и т.д.

Кроме базовых процедур, при обработке используются ряд вспомогательных функций. Аппаратурный спектр рентгеновского излучения является дискретным распределением, подчиняющимся определенным статистическим законам. В частности, каждый отсчет в спектре подчиняется вероятностному закону распределения Пуассона. Поэтому при анализе спектров широко применяются статистические методы обработки. Например, в число обязательных входят процедуры устранения выбросов и грубых помех, сглаживания спектрального распределения, определение центра тяжести пика и другие.

Все указанные выше процедуры (в идеальном случае) должны быть отражены математически в программе анализа спектров. Их набор и определяет качество используемого программного обеспечения и потенциальные возможности анализа, а также сводит к минимуму вероятность субъективных ошибок оператора при проведении такого анализа. В частности, примером расширения возможностей анализа является расчет концентрации фаз как по интенсивности, так и по площади пиков. Это является принципиально важным, т.к. основной количественной характеристикой пика, слабо зависящей от изменения параметров спектрометра, является именно площадь пика, а не его интенсивность.

Выбор тех или иных математических процедур из числа перечисленных выше, наиболее приемлемых для конкретных образцов материалов, осуществляется оператором. Но, безусловно, оптимальным вариантом, позволяющим получать наиболее достоверную информацию, является использование совокупности методов анализа с последующим выбором наиболее приемлемого в каждом отдельном случае.

Однако, это возможно лишь в случае, если используемое программное обеспечение предоставляет возможность такого выбора.

Обобщая сказанное выше, можно определить оптимальный набор пользовательских функций, необходимый для эффективного проведения автоматизированного фазового анализа материала и который должен быть реализован в используемом программном обеспечении. Эти функции можно сгруппировать следующим образом:

- предварительная обработка первичного спектра;
- поиск пиков, определение их границ и формальных параметров и проверка на статистическую значимость;
- идентификация пиков;
- автоматизированный и/или ручной анализ достоверности идентификации; в случае необходимости - корректировка расчетных параметров;
- выбор метода количественного анализа и проведение этого анализа;
- проверка достоверности количественного анализа и, в случае необходимости, расчета проведения корректировки расчета;
- цифровое и графическое представление результатов расчета.

С целью реализации приведенных выше теоретических положений был разработан программный комплекс «CRISTA», предназначенный для обработки дифрактометрической информации, получаемой при проведении фазового анализа образцов с помощью дифрактометра ДРОН-2 и других типов дифрактометров. ПК «CRISTA» реализует целый ряд математических методов автоматизированной обработки дифрактометрической информации и является эффективным инструментом анализа этой информации. Он обеспечивает выполнение ручной или автоматизированной обработки информации, включая предварительную обработку дифрактограмм, идентификацию элементов или химических соединений (фаз), анализ достоверности идентификации и проведение расчета их концентрации (полуколичественный анализ). Внешний вид одного из рабочих окон ПК «CRISTA» приведен на рисунке 1.

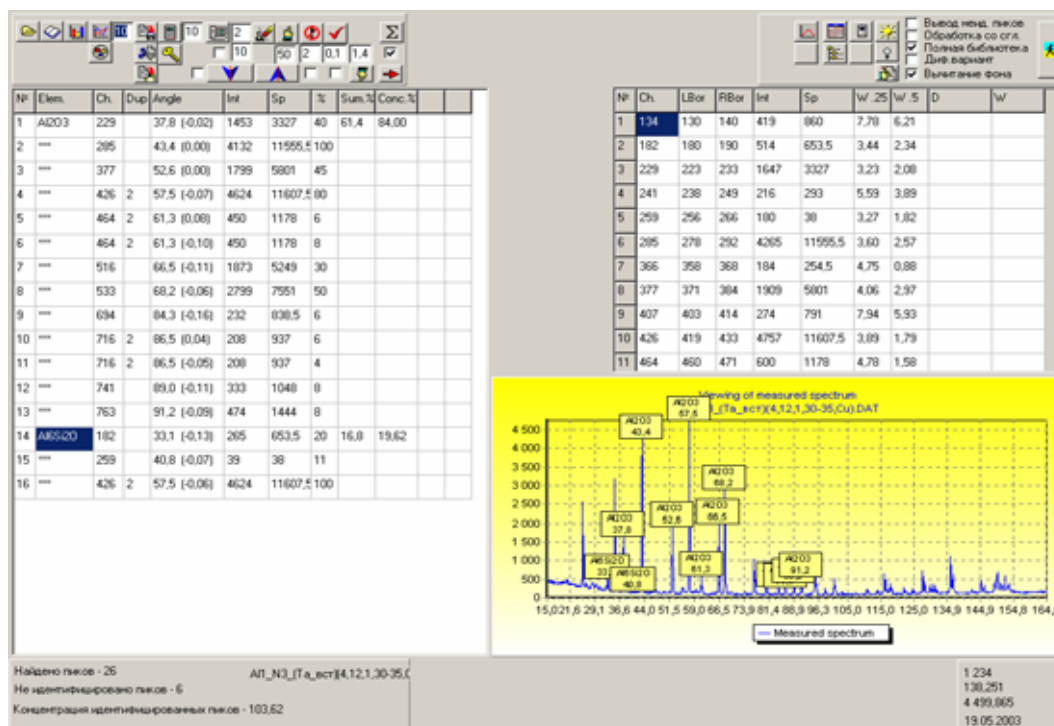


Рисунок 1. Основное рабочее окно программного комплекса CRISTA

Базовый протокол работы ПК CRISTA реализует все приведенные выше основные процедуры и функции, необходимые для корректной обработки спектра, и в обобщенном виде выглядит следующим образом:

- Ввод спектрометрической информации в ОЗУ компьютера.
- Определение характеристик и массивов фоновой базовой кривой дискретного распределения.
- Поиск на уровне базовой кривой явных пиков и расчет их формальных признаков.
- Проверка параметров пиков на статистическую значимость их принадлежности к классу синглетов или мультиплету.
- Предварительная идентификация пиков по их формальным признакам в соответствии с базой данных.
- Анализ достоверности идентификации пиков и отбраковка ошибочных фаз.
- Расчет основных параметров пиков (интенсивности, площади и т.п.).
- Проведение полуколичественного анализа (расчет концентрации идентифицированных фаз).

До начала обработки спектра, т.е. поиска пиков и их идентификации, пользователь имеет возможность выбрать ряд параметров режима обработки и формы протокола, либо оставить значения, установленные по умолчанию. К таким параметрам относятся пределы доверительного интервала идентификации, необходимость предварительного сглаживания спектра, режим поиска пиков по методу сравнения или методом дифференцирования по второй производной, необходи-

мость вычитания фона при обработке и ряд других параметров. Такой подход позволяет максимально полно учесть при обработке первичной информации особенности исследуемого материала и аппаратную специфику измерений.

В том случае, если имеется предварительная информация по составу образца, пользователь может задать приоритетные элементы, которые могут присутствовать или должны отсутствовать в материале.

Важным этапом расчетов является анализ результатов первичной обработки спектра, т.е. отбраковка элементов или соединений, которые по тем или иным признакам не должны присутствовать в материале. После исключения части данных из протокола программа проводит автоматический пересчет параметров пиков и на экране выводится новый вариант протокола. В ПК CRISTA предусмотрено 7 режимов анализа достоверности идентификации для отбраковки соединений или отдельных линий, применяемых как в автоматическом режиме, так и по команде оператора. В ходе такого анализа используется более 10 критериев достоверности, в частности, соотношение между интенсивностями отдельных линий, степень отличия их интенсивностей от теоретических значений, наличие основных линий конкретной фазы и т.п. При этом, учитывая, что в ходе анализа и отбраковки части результатов относительная значимость тех или иных параметров спектра может меняться, некоторые режимы анализа достоверности применяются циклически до достижения максимально значимого результата.

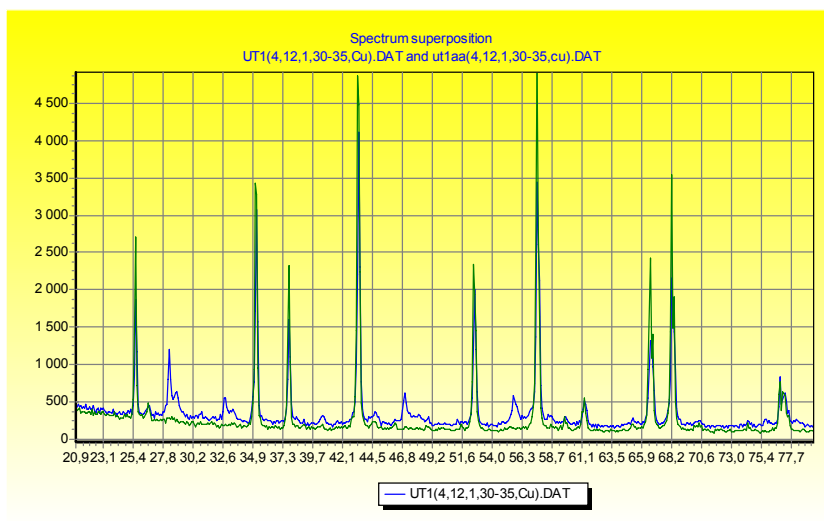


Рисунок 2. Иллюстрация работы программы в режиме наложения дифрактограмм

Кроме основных режимов обработки информации в ПК CRISTA реализован ряд расширенных пользовательских функций для полуавтоматического или ручного анализа дифрактограмм и идентификации фаз, в частности, функций ручной (выборочной) идентификации фаз, визуального наблюдения спектров, их наложения, разделения совпадающих пиков, моделирования спектров, а также расширенные возможности выбора формы представления результатов. Для иллюстрации этого на рисунке 2 показан результат наложения двух дифрактограмм, а на рисунке 3. – вспомогательное окно, используемое в режиме разделения мультиплетов.

Используемая в ходе анализа база данных, содержащая фазовые характеристики исследуемых

материалов, выполнена в удобном и наглядном текстовом формате, позволяющем оператору легко дополнять массив данных.

В ИАЭ ПК CRISTA был использован при обработке дифрактограмм, полученных при проведении материаловедческих исследований в рамках проекта «Eagle», а также в ходе маломасштабных экспериментов на установке ВЧГ. Полученные при этом данные показали высокую степень сходимости с теоретически ожидаемыми результатами. В таблице 1 приведены характерные результаты, полученные в ходе маломасштабных экспериментов, проводимых с целью сравнения состава исходного материала (алунда) с составом расплава.

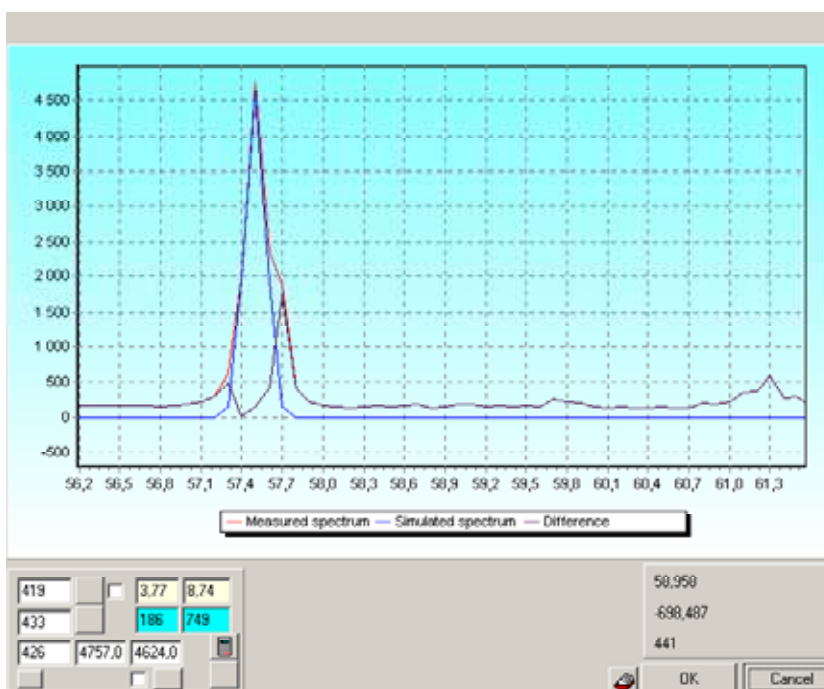


Рисунок 3. Вспомогательное графическое окно в режиме разделения мультиплета

Таблица 1. Фазовый состав расплава, полученного в ходе маломасштабных экспериментов.

	Al-3-1	Al-3-2	Al-3-3	Al-4-1	Al-4-2	Al-4-3	Al-3-core	Initial sample (Eagle)	Pure alumina
Al ₂ O ₃	94.52	89.89	91.13	91.35	84.14	75.16	26.22	89.47	93.89
TaC	5.58	0.54	8.87	1.70	8.66	12.39	-		
Al ₄ C ₃		2.30		1.45	6.98	12.45	14.86		
Al ₂ Ta ₃ C		4.66		1.80	0.22		2.91		
Ta ₅ Al ₃ C		2.52		3.63			0.86		
Al ₂ SiO ₅		-		-	-	-	-	-	
Al ₂ O ₅ C							24.59		
AlO							3.81		

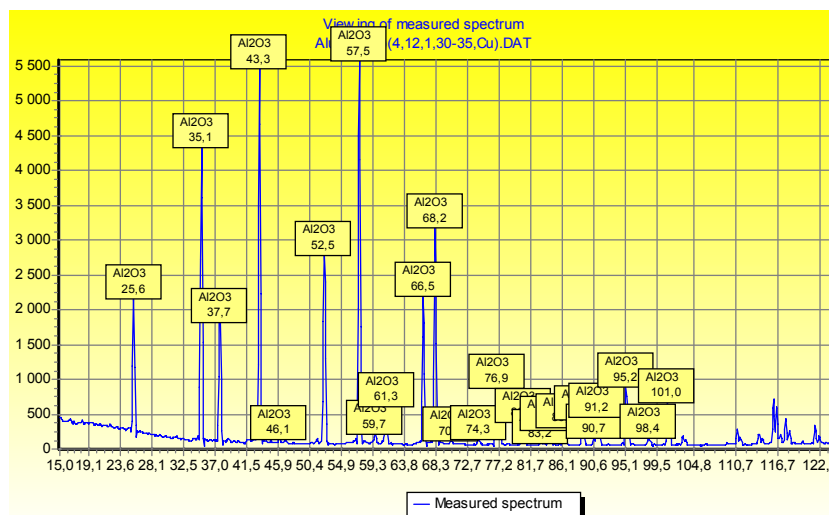


Рисунок 4. Характерный вид дифрактограммы после автоматизированной обработки с помощью ПК CRISTA

На рисунке 4. приведен один из вариантов графического представления результатов обработки.

Проведенные работы подтвердили, что ПК CRISTA значительно повышает оперативность и достоверность обработки дифрактометрической информации и является удобным и эффективным инструментом ее анализа, как в ручном, так и в автоматическом режиме. При этом следует отметить, что с целью более полной и комплексной реализации методических положений по проведению количественного фазового анализа сложных материалов, а также дополнительной проверки

результатов такого анализа и повышения достоверности результатов, необходимо проводить анализ состава материала 2 – 3 различными аналитическими методами. В частности, применительно к аппаратно-методической базе НЯЦ РК, при комплексном анализе экспериментальной информации целесообразно использовать данные элементного анализа, получаемые методами рентгенофлуоресцентных или масс-спектрометрических измерений при наличии соответствующего программного обеспечения, методически и функционально согласованного с ПК CRISTA.

МАТЕРИАЛДАРДЫ РЕНТГЕНОҚҰРЫЛЫМДЫҚ ТАЛДАУҒА АРНАЛҒАН „CRISTA“ БК БАҒДАРЛАМАЛЫҚ КЕШЕНІ

Логачев Ю.В.

ҚР ҰЯО Атом энергиясы институты, Курчатов, Қазақстан

Дрон-2 дифрактометрінде алынған дифрактограммалар талдауының оңтайлы критерийлері мен оларды өңдеу алгоритмі өндірілді. Дифрактометриялық ақпаратты автоматты түрде өңдеуге арналған, дифрактограммаларды алдын ала өңдеуді, (фазалардың) химиялық қосылысын бірегейлендіруді, бірегейлендіру шүбәсіздігін талдау мен олардың шоғырлануын (жартылай санды талдау) есептеуді жүзеге асыратын „CRISTA“ БК бағдарламалық кешені әзірлемеленді.

Дифрактограммаларды жартылай автоматты түрде немесе қолмен талдауға арналған, кеңейтілген қолданушылық функциялар, жекелей алғанда спектрлерді визуальді бақылаудың, олардың қабаттасуының, дәлдеммен шындықтың бөлінуінің функциялары, т.б. жүзеге асырылды. Жұмыс нәтижелері материалдардың күрделі композициялық материалдарды заттанушылық зерттеулер шегінде рентгенқұрылымдық талдауының жүргізілуі кезде қолданылуына болады.

PROGRAM COMPLEX PC «CRISTA» FOR MATERIALS' ROENTGEN-STRUCTURAL ANALYSIS.

Yu.V. Logachev

Institute of Atomic Energy NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The optimal diffractograms' analysis criteria, which were obtained with DRON-2 diffractometer, and algorithm of their processing were chosen. A special purpose program complex «*CRISTA*» for automated processing of diffractogram data, which carries out preliminary processing of diffractograms, identification of chemical compounds (phases), identification and concentration calculation (semi-quantitative analysis) reliability analysis was worked out.

It was implemented expanded user's functions for semiautomatic or manual analysis of diffractograms, in particular, functions of visual observation of spectrums, their superposition, separation of coinciding peaks etc.

The outcomes can be used in conduction of roentgen-structural analysis of materials in the framework with materials testing investigations of complex compositional materials.

УДК: 537.534:9

РАДИАЦИОННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ КРАТЕРОВ НА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ МИКРОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ¹Гулькин А.В., ²Постников Д.В., ²Плотников С.В.¹Институт атомной энергии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан²Восточно-Казахстанский Государственный технический университет Республика Казахстан, Усть-Каменогорск

Проведены исследования кратерообразования на поверхности металлов при облучении сильноточным импульсным пучком электронов. Изучено влияние параметров пучка на размеры и плотность кратеров. Показано, что образование кратеров происходит вследствие локального выделения энергии в поверхностных слоях образцов, ведущим фактором при этом является неоднородное распределение частиц в пучке – пинчевание. Для снижения кратерообразования предложено изменение параметров пучка.

ВВЕДЕНИЕ

Облучение пучками заряженных частиц находит всё большее применение, как технологическая операция финишной обработки изделий и как способ моделирования тепловых нагрузок материалов на установках типа ТОКАМАК в режиме срыва плазмы и воздействия потоками убегающих электронов. При моделировании тепловых нагрузок материалов дивертора и первой стенки большое распространение получило радиационное воздействие сильноточными пучками электронов (СЭП). Одной из установок позволяющей провести моделирование тепловых нагрузок материалов дивертора и первой стенки является сильноточный ускоритель электронов ГСЭП-3.

Механизмы формирования поверхностных структур и изменения, происходящие в металлах, в результате облучения потоком заряженных частиц имеют большое научное и прикладное значение. Облучение материалов пучками заряженных частиц приводит к значительным изменениям структуры и свойств поверхностных слоёв. Одним из отрицательных последствий такой обработки является возникновение кратеров и других образований на поверхности. Исследования, образовавшихся кратеров и причин, вызвавших их появление, важны не только для управления технологическим процессом при лучевой обработке материалов, но и представляют научный интерес [1]. В работе рассмотрена зависимость образования кратеров от условий облучения сильноточным электронным пучком микросекундной длительности с плотностью тока 0,9-1,5 кА/см².

Целью работы являлось изучение воздействия СЭП на материалы для моделирования условий срыва плазмы на установках типа ТОКАМАК. В работе решались следующие задачи:

1. экспериментальное изучение кратерообразования,
2. определение причин образования кратеров исходя из условий облучения и облучаемых материалов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Изучение воздействия СЭП микросекундной длительности производилось на ускорителе ГСЭП-3 (Институт Атомной Энергии г. Курчатов, Казахстан). Воздействию электронного пучка подвергались образцы из алюминия, α -Fe, 12X18H10T, титана, меди в виде цилиндров диаметром 10 мм и высотой 10 мм, и в виде пластин толщиной 2÷4 мм и площадью от 6 до 25 см². Образцы из алюминия использовались как стандартные при изучении кратерообразования, остальные материалы как контрольные. Сталь 12X18H10T изучалась как основной материал вакуумной камеры установок типа ТОКАМАК. Перед облучением поверхность обрабатывалась по стандартной методике. Облучение на ускорителе проводилось в штатных режимах импульсным пучком электронов с энергией ~500 кэВ в импульсе и длительностью импульса 2÷2,5 мкс, плотность тока пучка ~1,4 кА/см². После облучения образцы подвергались травлению по стандартной методике. Облучённые поверхности исследовались на оптическом МИМ-8 и на электронном микроскопе JEOL-5610.

Цилиндрические образцы помещались в центральную часть облучаемой зоны анода и фиксировались. Пластины укладывались на анод, так чтобы большая площадь оказалась в зоне действия пучка.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование морфологии цилиндрических образцов, обработанных СЭП с различной плотностью тока, показало, что плотность и размеры кратеров зависят от плотности тока электронного пучка. С повышением плотности тока от 0,9 до 1,4 кА/см² средняя плотность кратеров увеличивается в три-четыре раза.

Геометрическая форма кратеров разнообразна для всех облучённых материалов и изменяется от правильной окружности до эллиптической формы (рисунок 1). Облучение металлических образцов под углом приводит к образованию кратеров с вытянутой протяжённой формой, углубление воронки при таком облучении смещено по направлению падения пучка (рисунок 1г).

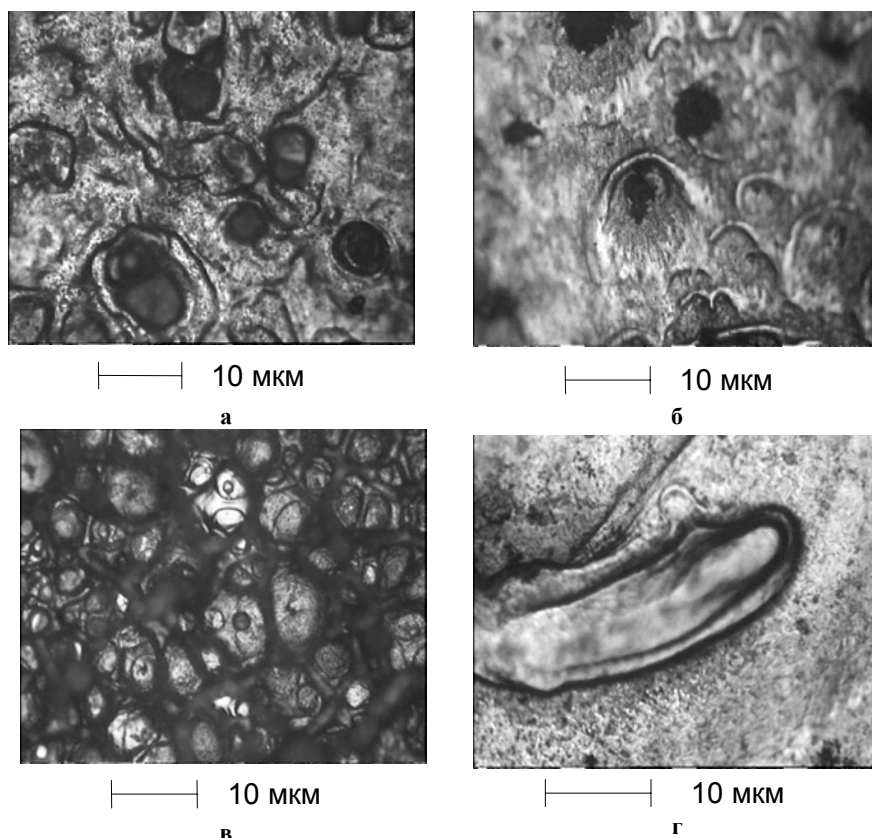


Рисунок 1. Поверхность металлических образцов после облучения импульсным СЭП на ГСЭП-3 (длительность импульса 2,5 мкс, плотность тока $0,9 \text{ кА/см}^2$): а) Al после многократного ($n=30$) облучения, б) α -Fe после многократного ($n=25$) облучения, в) Si после многократного ($n=30$) облучения, г) кратер после наклонного (10°) облучения α -Fe, плотность тока 1 кА/см^2

Вокруг образовавшейся воронки видны наплывы – результат взрывного выброса материала из центра кратера (рисунок 2а). В образовавшейся воронке наблюдаются трещины и разломы, восходящие к вершине кратера (рисунок 2б). Этот эффект связан с локальным перегревом в поверхностных слоях металла с последующим выбросом наружу перегретой массы и быстрым охлаждением. Локальное выделение энергии, характеризующее кратерообразование, в принципе может быть обусловлено либо неоднородным распределением частиц в пучке, либо рассеянием поглощенной энергии однородного пучка на различных неоднородностях, дефектах материала, примесях, а также возникновением поверхностных гравитационных волн [2]. Принимая во внимание ведущую роль при кратерообразовании выделение энергии на примесях и дефектах, снижение концентрации кратеров может быть достигнуто уменьшением неоднородностей в материале путём многократного облучения или специальной предварительной подготовкой материала [3, 4]. В наших экспериментах использовался электронный пучок и материалы с отличными, чем в [3] параметрами. Проведённые нами исследования не выявили тен-

денцию к уменьшению кратерообразования при многократном облучении для исследуемых материалов на ГСЭП-3 (рисунок 1). Анализ полученных результатов позволил сделать вывод, что подобные закономерности связаны в основном с неоднородностями пучка и его геометрией. А причина формирования такой формы кратера связана в большей степени с наличием микропучков или пинчеванием пучка [5, 6].

На основании приведённых результатов образование кратера можно представить следующим образом (рисунок 3). Энергия микропучка выделяется в приповерхностном слое на глубине нескольких микрон. При этом поверхностный слой имеет более низкую температуру. В зависимости от энергии, выделенной в материале, подповерхностный слой представляет собой либо жидкую, либо парожидкую перегретую фазу. Такая схема была использована для описания кратерообразования при импульсном облучении ионным пучком [7]. Одним из критериев справедливости такой модели является условие взрывного вскипания: диаметр микропучка должен быть много меньше глубины эффективного пробега частиц.

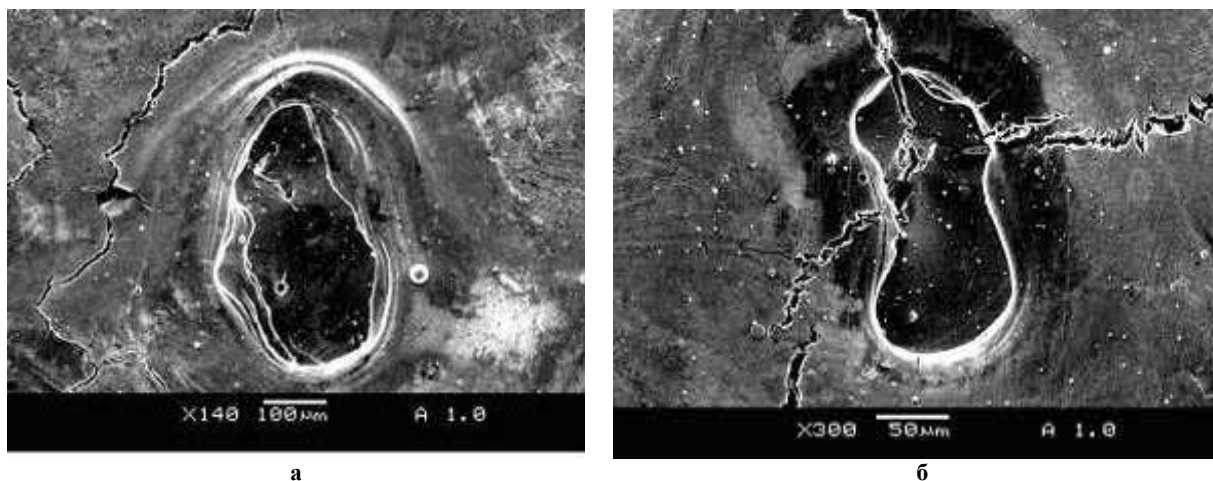


Рисунок 2. фотография кратера после облучения СЭП плотность тока 1 кА/см^2 , длительность импульса 2,5 мкс

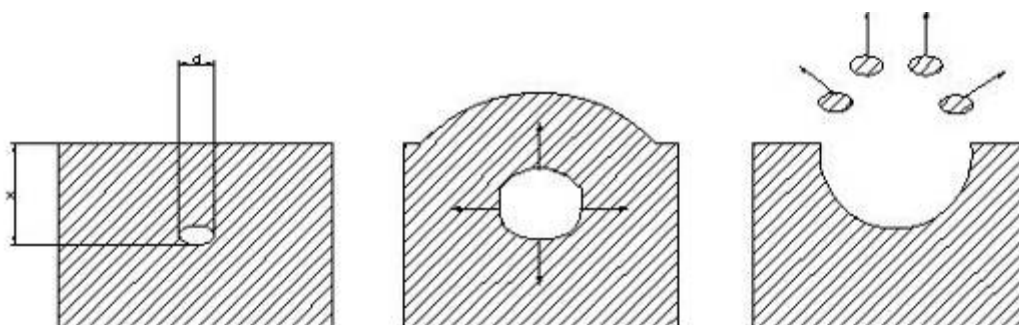


Рисунок 3. Схема формирования кратера на поверхности металлов
(x -глубина эффективного пробега частиц, d -диаметр микропучка) [7]

Анализ распределения энергии в пучке, плотности тока пучка показывают, что образование нитей для пучка на ускорителе ГСЭП-3 возможно. Для изучения влияния нитеватия электронного пучка был рассчитан диаметр нити. Расчёт производился согласно известным положениям по пинчеванию [8], по которым плотность тока в нити примерно в 3 – 10 раз больше общей. Согласно проведённым расчётам диаметр нити составляет от 10^{-8} до 10^{-7} м. Что на порядок меньше глубины эффективного пробега электронов в исследуемых металлах при облучении на ГСЭП-3. Такие параметры нити удовлетворительно соответствуют условиям взрывного вскипания, происходящего при образовании кратеров. Расчёт показал, что энергия отдельной "нити" лежит в пределах от 10^{-6} до 10^{-5} Дж, это соответствует энергии необходимой на расплавление и испарение исследуемых металлов в объеме от 10^3 мкм^3 до 10^5 мкм^3 , что соответствует среднему объёму наблюдаемых кратеров. Так как время релаксационных процессов много больше времени облучения, то испарение и выброс материала на поверхность успевает произойти.

Таким образом, на основании проведённых экспериментов можно заключить, что при облучении металлов импульсным пучком электронов на ускорителе ГСЭП-3 ведущим при кратерообразовании

является неравномерное распределение плотности электронного пучка вызванное нитеватием. Указанные рассуждения справедливы для материалов, в которых эффективная глубина пробега электронов на порядок больше диаметра микропучка. Очевидным является способ снижения кратерообразования – увеличение энергии частиц пучка, снижение плотности тока частиц, что может быть достигнуто корректировкой параметров ускорителя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены экспериментальные исследования кратерообразования при облучении сильноточным импульсным пучком электронов на ГСЭП-3. Снижение кратерообразования при облучении СЭП на ГСЭП-3 не происходит при многократном облучении. Анализ причин кратерообразования однозначно свидетельствует в пользу локального выделения энергии в поверхностных слоях образцов. Локальное выделение энергии при облучении микросекундным СЭП на ускорителе ГСЭП-3 обусловлено неоднородным распределением плотности электронного пучка - пинчеванием. Возможным путём снижения кратерообразования является коррекция энергетического спектра электронного пучка в сторону увеличения энергии частиц пучка или снижении плотности тока пучка, с целью нарушения условия взрывного вскипания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ночовная Н.А., Шулов В.А., Назаров Д.С., Озур Г.А., Проскуровский Д.И., Ротштейн В.П., Карпова И.Г. Обработка изделий из титановых сплавов низкоэнергетическими электронными пучками микросекундной длительности. Физика и химия обработки материалов. – 1998. №1.-С. 27-33.
2. Волков Н.Б., Майер А.Е., Яловец А.П. О механизме кратерообразования на поверхности твёрдых тел при воздействии интенсивных пучков заряженных частиц. ЖТФ, - 2002, том 72, вып. 8.-С. 34-43.
3. Ротштейн В.П., Иванов Ю.Ф., Проскуровский Д.И., Карлик К.В., Шулепов И.А., Марков А.Б., Почивалова Г.П. Микроструктура приповерхностных слоёв аустенитных сталей, облучённых низкоэнергетическим сильноточным электронным пучком. 6th international conference on modification of materials with particle beams and plasma flows. Tomsk, Russia, 2002, 23-28 September. С. 205-210.
4. Панова Т.К., Ковивчак В.С., Писчасов Н.И. Кратерообразование на поверхности титановых сплавов при облучении мощным ионным пучком. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2000, №5. С.23-26.
5. Плотников С.В., Постников Д.В., Гулькин А.В. Образование кратеров на поверхности металлов при облучении импульсным электронным пучком. VII международная школа-семинар, Усть-Каменогорск – Барнаул, 2003, 25-29 июня, С.150-151.
6. Плотников С.В., Постников Д.В., Гулькин А.В. Кратерообразование на поверхности металлов при облучении импульсным электронным пучком. VI Inter. Conf. Nuclear and radiation physics, Almaty, 2003, s. 297-298.
7. Русин Ю.Г. "Структурно-фазовые изменения в сплавах на основе железа при термических и радиационных воздействиях", диссертация к. ф-м.н., 2001г.
8. Бреховских Л.М., Гончаров В.В. Введение в механику сплошных сред.- М.: Наука, 1982.

ЭЛЕКТРОНДЫ ШОҒЫРМЕН МИКРОСЕКУНДТЫ ҰЗАҚТЫҚТА СӘУЛЕЛЕНДІРУ КЕЗІНДЕ КРАТЕРЛЕРДІҢ МЕТАЛДАРДЫҢ БЕТІНДЕ РАДИАЦИЯЛЫҚ ПАЙДА БОЛУЫ

¹Гулькин А.В., ²Постников Д.В., ²Плотников С.В.

¹*ҚР ҰАО Атом энергиясы институты, Курчатов, Қазақстан*

²*Қазақстан Республикасы Шығыс Қазақстан Мемлекеттік техникалық университеті, Өскемен*

Электрондардың күшті тоқты импульсті шоғырымен сәулелендіру кезінде металдар бетінде кратер пайда болуын зерттеулер жүргізілді. Шоғыр параметрлерінің кратерлер көлемі мен тығыздығына әсері зерделенді. Кратерлердің пайда болуы үлгілердің беткі қабатындағы локальді энергия бөлінуінің салдарынан болатындығы көрсетілді, мұндағы жүргізуші фактор шоғырдағы бөлшектердің әртекті бөлінуі-пинчтену болып табылады. Кратер пайда болуын төмендету үшін шоғыр параметрлерін өзгерту ұсынылды.

RADIATION FORMATION OF CRATERS ON THE METALS SURFACE AT THE IRRADIATION BY THE IMPULSE ELECTRON BEAM OF MICROSECOND DURATION

¹A.V. Gul'kin, ²D.V. Postnikov, ²S.V. Plotnikov

¹*Institute of Atomic Energy NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan*

²*East-Kazakhstan State Technical University of the Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk*

The crater formation on the metals surface at the irradiation by the high current impulse electron beam is researched. The beam impact on the crater dimensions and density is researched. It is shown, the craters are formed due to local energy release on the surface layers of samples, the basic factor here is non-uniform distribution of the particles in a beam – pinching. It is proposed to change the beam parameters to reduce the crater formation.

УДК 139.526

УПРУГОЕ ДИФРАКЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛЕГКИХ КЛАСТЕРНЫХ ЯДЕР ПРИ НИЗКИХ И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЭНЕРГИЯХ С ЯДРАМИ

¹⁾Исмаев Е.И., ²⁾Тукашев Ж.Б., ¹⁾Ажиязова Г.Т., ³⁾Кутербеков К.А., ⁴⁾Молдагалиев А.К.

¹⁾Актюбинский государственный педагогический институт, Актюбе, Казахстан

²⁾Актюбинский филиал института Казахской Академии транспорта и коммуникаций, Актюбе, Казахстан

³⁾Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

⁴⁾Актюбинский государственный университет им. К. Жубанова, Актюбе, Казахстан

В данном обзоре разработан метод расчета функции профиля через фазовые сдвиги, вычисляемые в квазиклассическом приближении из потенциалов адрон-ядерного взаимодействия. Исследовано влияние структуры и диффузности поверхности ядра-мишени на сечения рассеяния. Рассчитанные угловые зависимости сечений удовлетворительно согласуются с экспериментом в области, как первого, так и вторичных дифракционных максимумов.

Рассмотрено ядро-ядерное рассеяние в эйкональном приближении. Проведен анализ в области переданных импульсов $0 < q < 2f^{-1}$ и вычислена амплитуда $2A$ рассеяния в виде разложения по степеням теневых эффектов в случае α -частицы. Вычислены дифференциальные сечения α - α и α - ^{12}C реакций при 4,32 ГэВ/с, 5,07 ГэВ/с и 1,37 ГэВ/с.

Общая теория дифракционных ядерных процессов с участием сложных частиц, учитывающая эффекты многократного рассеяния была разработана независимо друг от друга А.Г. Ситенко [1] и Р.Дж. Глаубером [2] в конце 50-х годов прошлого столетия. Несмотря на то, что с тех пор прошло почти 60 лет эта теория используется как чувствительный тест современных ядерных моделей и дает возможность не только уточнять традиционные представления о ядре, но и выявлять роль нуклонных степеней свободы в ядерной материи.

В данном обзоре дано полное современное изложение методов расчета процессов дифракционного взаимодействия сложных частиц с ядрами, выполненные авторами за последние несколько лет [3-17].

Разработан метод расчета функции профиля через фазовые сдвиги, вычисляемые в квазиклассическом приближении из потенциалов адрон-ядерного взаимодействия. Исследовано влияние структуры в диффузности ядра-мишени на сечение рассеяния. Рассмотрено ядро-ядерное рассеяние в эйкональном приближении. Проведен анализ в области переданных импульсов $0 < q < 2f^{-1}$ и вычислена амплитуда $A_1 A_2$ -рассеяния в виде разложения по степеням теневых эффектов в случае рассеяния α -частицы на легких кластерных ядрах. Ссылки на экспериментальные данные приведены в работах [14-17].

1. Исследование столкновений нуклонов дейтронов и других кластерных ядер с атомными ядрами стало важным источником информации о ядерной структуре и ядерном взаимодействии и является важным элементом при изучении более сложных процессов в теории ядерных реакций.

Разработан метод расчета функции профиля через фазовые сдвиги, вычисляемые в квазиклассическом приближении из потенциалов адрон-ядерного взаимодействия. Фактически без введения подго-

ночных параметров. Метод использован для описания экспериментальных угловых распределений дейтронов на ядрах при промежуточных энергиях падающих частиц. Установлена чувствительность сечений к параметрам нуклон-ядерного взаимодействия, что может быть использовано для уточнения модельных представлений о структуре ядер и механизмов ядерных процессов. Рассчитаны дифференциальные сечения упругого рассеяния путем корректного учета кулоновского взаимодействия в дифракционном приближении.

Как известно в дифракционном подходе амплитуда рассеяния нуклонов определяется Фурье преобразованием функции

$$\omega(\rho) = 1 - \exp[2i\delta(\rho)], \quad (1)$$

где ρ - прицельный параметр, $\delta(\rho)$ - фаза рассеяния.

$$\delta(\rho, E) = k \left\{ \int_{b(V_N)}^{\infty} dr \sqrt{1 - \rho^2 / r^2 - 2_\mu V_N(r, E) / k^2} - \int_{b(0)}^{\infty} dr \sqrt{1 - \rho^2 / r^2} \right\} \quad (2)$$

Здесь E , k , μ - относительная энергия, волновое число рассеивающей частицы, приведенная масса, соответственно, $b(k)$ и $b(0)$ - корни действительных частей под интегральными выражений. В (2) $V_N(r, E)$ - потенциал Вуда-Саксона

$$V_N(r, E) = - \frac{V(E) - iW(E)}{1 + \exp\left(\frac{r - R}{\Delta}\right)}, \quad (3)$$

где $V(E)$, $W(E)$ - параметр и потенциал, определяемые из экспериментальных данных.

$R = r_0^3 \sqrt{A}$, Δ - параметр диффузной границы поверхности ядра.

При $V_N(r, E) \ll E$ формулу (2) можно переписать

$$\delta(\rho, E) = -\frac{1}{v} \int d^3s \{ \text{Re} V_N(r, E) + i \text{Im} V_N(r, E) \} \quad (4)$$

V - относительная скорость нуклона и ядра мишени, $s = \sqrt{r^2 - \rho^2}$.

В области релятивистских энергий с помощью теории многократного дифракционного рассеяния (без учета нуклонных корреляций) можно получить

$$V_N(r, E) = -\frac{2\pi}{E + M} = f(0) \rho_N(2), \quad (5)$$

$$F(q) = ik \left\{ 2 \cdot \exp(-q^2 / 32\lambda) \cdot \int_0^\infty d\rho \rho \omega(\rho) J_0(q\rho) - \frac{4\lambda}{\pi} \int_0^\infty d\rho_1 \rho_1 \omega(\rho_1) \int_0^\infty d\rho_2 \rho_2 \omega(\rho_2) \int_0^\pi d\varphi_{21} \cdot \exp(-2\lambda |\underline{\rho}_1 - \underline{\rho}_2|^2) \cdot J_0\left(\frac{q}{2} |\underline{\rho}_1 + \underline{\rho}_2|\right) \right\} \quad (7)$$

где $q = |\underline{k} - \underline{k}'|$ - переданный импульс $\underline{k}(\underline{k}')$ - волновые векторы падающего и рассеянного дейтронов, φ_{21} - угол между векторами $\underline{\rho}_1$ и $\underline{\rho}_2$, $\omega_1^{(\rho_1)}$ и $\omega_1^{(\rho_2)}$ - профильные функции.

Если рассмотреть упругое дифракционное рассеяние слабосвязанных кластерных ядер на ядрах, то в области десятков в МэВ необходимо последовательно учесть кулоновское взаимодействие с ядром - мишенью.

Тогда вместо (7) мы имеем

$$F(\underline{q}) = F_1(\underline{q}) + F_2(\underline{q}) + F_{12}(\underline{q}) = \frac{k}{k_1} f(\underline{q}) \Phi_0(\underline{q}/2) + \frac{k}{k_2} f_2(\underline{q}) \Phi_0(\underline{q}/2) + \frac{ik}{2\pi k_1 k_2} \int d^{(2)}g f_1(\underline{q}/2 + \underline{g}) f_2(\underline{q}/2 - \underline{g}) \Phi_0(\underline{g}) \quad (8)$$

где $\underline{q} = \underline{k}_1 - \underline{k}_2$ - переданный импульс, $\underline{k}(\underline{k}')$ - волновой падающего (рассеянного) дейтрона k_1 и $f_i(\underline{q})$, $q = 1, 2$ - волновые числа дейтронных кластеров (1-й нейтрон, 2-й протон) и кластер-ядерная амплитуда

$$f_i(\underline{q}) = \frac{iki}{2\pi} \int d^3\rho_j \exp(i\underline{q} \cdot \underline{\rho}_j) \omega_j(\rho_j) \quad (8a)$$

где $\underline{\rho}_j$ - вектор параметра удара j - кластера, $\omega_j(\rho_j)$ - соответствующие функции профиля, которые для черного бездиффузионного ядра имеет вид:

$$\omega_1(\rho_1) = \begin{cases} 1, & \rho_1 < R \\ 0, & \rho_1 > R \end{cases} \quad \omega_2(\rho_2) = \begin{cases} 1, & \rho_2 < R \\ 1 - \exp[2i\eta(\rho_2)], & \rho_2 > R \end{cases} \quad (8б)$$

где $f(0) = k\sigma_t \cdot (i + \gamma)/4\pi$ - амплитуда нуклон-нуклонного рассеяния на нулевой угол, $\sigma_t = \sigma_t(E)$ - полное сечение нуклон-нуклонного взаимодействия, M - масса нуклона, $\rho_N(r)$ - распределение плотности в ядрах мишени. Параметры σ_t и γ определяется экспериментально. В расчетах сечения распределение нуклонной плоскости обычно выбирается в виде

$$\rho_N(r) = \rho_{N0} \left(1 + \exp\{(r - R)/\Delta\}^{-\xi} \right) \quad (6)$$

В таких предположениях для амплитуды упругого рассеяния промежуточных энергий на ядре дейтронов получим (без учета кулоновского взаимодействия)

Здесь $R = r_0(1 + A^{1/3})$ - радиус кластер-ядерного взаимодействия, $\eta(\rho_2)$ кулоновская фаза рассеяния, которая в дифракционном приближении определяется формулой $\eta(\rho_2) = n_2 \ln(k_2 \rho_2)$, $n_2 = z\alpha\mu_2/k_2$ - параметр Зоммерфельда, z - зарядовое число ядра-мишени; α - постоянное тонкой структуры, $\mu_2 = Mm_2/(M + m_2)$ - приведенная масса протона и ядра-мишени. Дейтронный форм-фактор в (9) имеет вид

$$\Phi_0(\underline{q}) = d^{(3)} r \varphi_0^2(\underline{r}) \exp[\mu \underline{q} \cdot \underline{r} j] \quad (8в)$$

где $\varphi_0(r)$ - внутренняя волновая функция дейтрона.

$$F(\underline{q}) = G(\underline{q}) + g^{(1)}(\underline{q}) + g^{(2)}(\underline{q}) \quad (9)$$

где $G(\underline{q})$ - слагаемое амплитуды $F(\underline{q})$ без учета кулоновских эффектов.

$$G(\underline{q}) = ik \left[\Phi_0(\underline{q}/2) \Phi_0(-\underline{q}/2) \right] \frac{RJ_1(qR)}{q} - \frac{R^2}{2\pi} \int d^{(2)}g \Phi_0(\underline{g}) \frac{J_1\left(\left|\underline{q}/2 - \underline{g}\right|\right)}{\left|\underline{q}/2 - \underline{g}\right|} \cdot \frac{J_1\left(\left|\underline{q}/2 + \underline{g}\right|\right)}{\left|\underline{q}/2 + \underline{g}\right|} \quad (10)$$

$g^{(1)}(\underline{q})$ и $g^{(2)}(\underline{q})$ в (9) слагаемые $F(\underline{q})$, которые отвечают одно и двукратному рассеянию кластеров дейтрона с учетом кулоновского взаимодействия:

$$g^{(1)}(\vec{q}) = -n \frac{2k}{q^2} \Phi_0(\vec{q}/2) \left[J_0(qR) + in \cdot \int_R^\infty d\rho \frac{J_0(q\rho)}{\rho} \exp\{2i[\eta_2(\rho) - \eta_2(R)]\} \right] \quad (11)$$

$$g^{(2)}(\vec{q}) = \int d^{(2)}g H(\vec{g}, \vec{q}),$$

$$H(\vec{g}, \vec{q}) = n \frac{kR}{\pi} \Phi_0(\vec{g}) \left[\frac{J_1(\vec{q}/2 - \vec{g}/R)}{|\vec{q}/2 - \vec{g}|} \frac{1}{|\vec{q}/2 - \vec{g}|^2} \cdot \right. \quad (12)$$

$$\left. \cdot J_0\left(\left|\vec{q}/2 + \vec{g}/R\right|\right) + 2in \int_R^\infty d\rho \frac{J_0\left(\left|\vec{q}/2 + \vec{g}\right|\rho\right)}{\rho} \exp\{-2i\eta_2(\rho) - \eta_2(R)\} \right].$$

Легко видеть, что выражение (12) будет логарифмически расходиться при $g = -q/2$. Отметим интегралы по импульсам в ядерной дифракции представляют двукратные интегралы, причем плоскость интегрирования перпендикулярна импульсу $\vec{k}$. При этом приближенно считается, что переданный импульс $\vec{q} = \vec{k} - \vec{k}'$, где $\vec{k}'$ - импульс дифрагируемой частицы лежит в плоскости интегрирования, т.е. $\vec{q}\vec{k} = 0$. Такое приближение несущественно для короткодействующего ядерного взаимодействия, но учет одновременного рассеяния кластеров падающей частицы сложной частицы при включении кулоновского между нейтроном-мишенью приводит к логарифмической расходимости некоторых двукратных импульсных интегралов. Это было впервые отмечено Ахизером и Ситенко.

Таким образом, избавиться от указанных расходимостей можно, если учесть, что переданный импульс $\vec{q}$ как это следует из кинематики на самом деле лишь приближенно перпендикулярен импульсу $\vec{k}$. Хотя составляющая $q_z \equiv \vec{q}\vec{k} - k = 2k \sin^2(\theta/2) \approx (k/2)\theta^2$, где θ - угол между векторами $\vec{k}$ и $\vec{k}'$ (угол рассеяния) мала по величине по сравнению с $q = 2k \sin^2(\theta/2) \approx k\theta$, но ее учет приводит к сходящимся интегралам в общем случае для любого числа заряженных кластеров, так как, например, аргументы амплитуд $f_1(\vec{q}/2 - \vec{g})$ и $f_2(\vec{q}/2 + \vec{g})$ в выражении (8) ни при каких $\vec{q}$ при $q_z \neq 0$ не обращается в нуль.

Если падающая сложная частица (как, например, дейтрон, ядра ^{11}Li , ^{11}Be) имеет только один заряженный кластер, то можно по-прежнему считать, что вектор $\vec{q}$ перпендикулярен вектору $\vec{k}$ ($\vec{q}\vec{k} = 0$), но для устранения расходимостей, связанных с учетом кулоновского взаимодействия, необходимо перейти от двукратного импульсного интегрирования по $\vec{g}$ в (7), (10) и (12) к трехкратному. Это можно сделать с помощью следующего модельного подхода: двукратный интеграл $\int d^{(2)}g H(\vec{g}, \vec{q})$ записываем

с помощью одномерной δ -функции $\delta(\vec{g})$ в виде трехкратного интеграла $\int d^{(3)}g \delta(\vec{q}_z) H(\vec{g}, \vec{q})$, а затем $\delta(\vec{q}_z)$ заменяем на более реалистическое g_z распределение (с эффективностью $g_z \sim \bar{\lambda}$).

Проведены расчеты отношения. Рассмотрим конкретно с использованием приведенных выше формул процессы упругого рассеяния дейтронов.

$$\sigma/\sigma_R \equiv \sigma(\theta)/\sigma_R(\theta), \quad (13)$$

где $\sigma(\theta) = |F(\vec{q})|^2$, $\sigma_R = \sigma_R(\theta)$ - резерфордское сечение они показали удовлетворительное согласие с экспериментом по упругому рассеянию дейтронов с энергией 0,7 ГэВ на ядре ^{40}Ca . При вычислении $\sigma(\theta)$ использованы кластер-ядерные функции профиля, которые определяются формулами (1), (4), (5), (6) и $\xi = 2$. Рисунок 1а соответствует $\gamma = \text{Re} f(0)/\text{Im} f(0)$, а рисунок 1б - $\gamma = 0.37$. На рисунке 2 приведены угловые зависимости σ/σ_R для упругого рассеяния дейтронов с энергией 80 МэВ ядрами ^{68}Zn и ^{208}Pb . Пунктир - без учета кулоновского взаимодействия, штрих-пунктир - с учетом $g^{(1)}(\vec{q})$, а сплошная соответствует учету одновременно $g^{(1)}(\vec{q})$ и $g^{(2)}(\vec{q})$.

Исследовано влияние структуры и диффузности поверхности ядра-мишени на сечения рассеяния. Рассчитанные угловые зависимости сечений удовлетворительно согласуются с экспериментом в области, как первого, так и вторичных дифракционных максимумов.

Мы надеемся, что развитый в настоящей работе метод, который оказался достаточно эффективным при описании дифференциального сечения упругого рассеяния дейтронов, сможет успешно описать упругое рассеяние слабосвязанных ядер на бесспиновых ядрах ^{28}Si и ^{12}C .

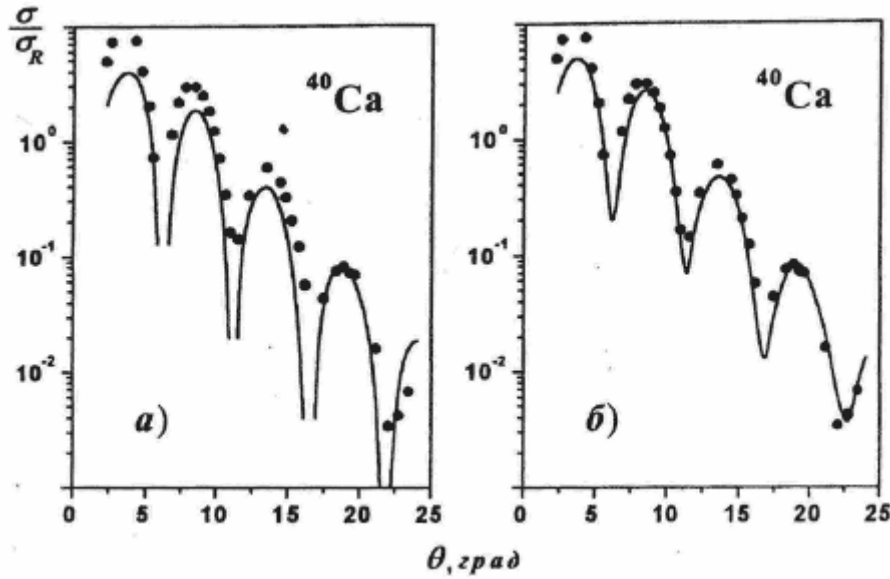


Рисунок 1. Угловые распределения упругого рассеяния дейтронов с энергией 0,7 ГэВ на ядре ^{40}Ca .

а) - соответствует $\gamma = \text{Re } f(0) / \text{Im } f(0)$, б) - $\gamma = 0.37$.

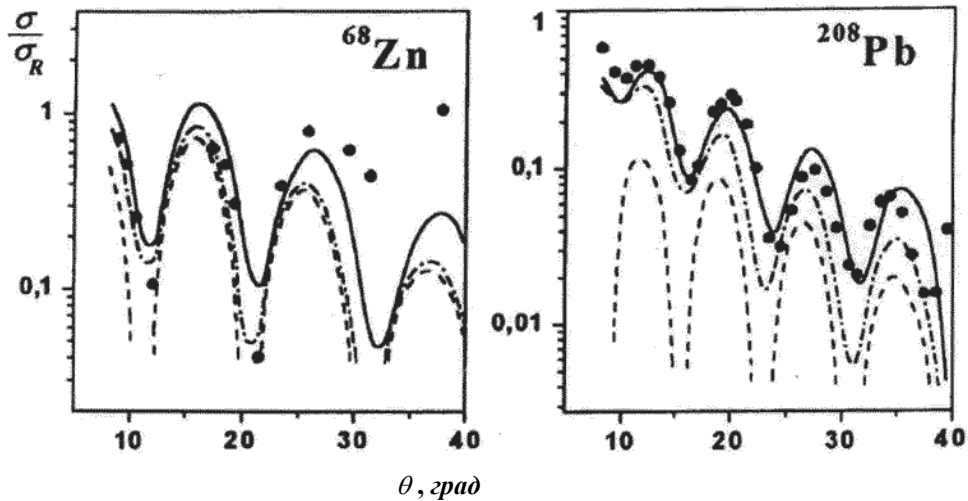


Рисунок 2. Угловые распределения упругого рассеяния дейтронов с энергией 80 МэВ на ядрах ^{68}Zn и ^{208}Pb .

Пунктир – без учета кулоновского взаимодействия, штрих-пунктир – с учетом $g^{(1)}(q)$.

а сплошная соответствует учету одновременно $g^{(1)}(q)$ и $g^{(2)}(q)$.

2. С формальной точки зрения переход от рассмотрения рассеяния одной частицы на ядре к рассмотрению ядро-ядерного рассеяния в эйкональном осуществляется тривиально. И по аналогии со случаем адрон-ядерного рассеяния можно ожидать существенных упрощений, если предложить, что распределение нуклонов в ядрах некоррелированы и

весовые функции $|\hat{O}_{A_1}|^2$ и $|\hat{O}_{A_2}|^2$ представляются в факторизованном виде. Усредняя по одному из ядер (для определенности ядра A_2) в этих предположениях для амплитуды упругого ядро-ядерного рассеяния получаем:

$$F_{el}(q) = \frac{ik}{2\pi} \int d\rho e^{i q \rho} \prod_{i=1}^A \rho(r_i) dr_i \left[1 - \left(1 + \frac{x}{A_2} \right)^{A_2} - \int \Omega_{A_1 N}(\rho - \rho(s)) T_2(s) ds \right], \quad (14)$$

где функция толщины $T_2(\mathbf{s})$ ядра A_2 определена обычным образом

$$T_2(\mathbf{s}) = A_2 \int d^2\rho \sqrt{s_0^2 + \mathbf{s}^2}$$

Профильная функция (оператор взаимодействия) имеет:

$$\Omega_{A_1 N}(\mathbf{r} - \mathbf{s}_i) = 1 - \prod_{i=1}^{A_1} (1 - \omega(\mathbf{r} - \mathbf{s}_i))$$

В случае ядро-ядерного рассеяния, использование факторизованного выражения для квадрата модуля волновой функции ядра A_2 позволяет значительно упростить технику интегрирования и алгебраической операции возведения полученного результата в степень A_2 . Однако, дальнейшее упрощение процедуры усреднения в (14) уже невозможно в явном виде даже в предположении, что $|\Psi_{A_1}|^2$ также можно представить в факторизованном виде.

$$F_{A_1 A_2}^{el}(q) = \frac{ik}{2\pi} \int d^3\rho \exp(iqb) \left[1 - \left(\int d^3r \rho_{A_1}(\mathbf{r}) \exp \left[- \int \omega(\rho - \mathbf{s} - \mathbf{s}_i) T_2(\mathbf{s}) d^3s \right] \right)^{A_1} \right] \quad (15)$$

Такое приближение применимо для расчета амплитуды $A_1 A_2$ -рассеяния легких ядер A_1 на тяжелых ядрах A_2 , поскольку в амплитуды $N A_2$ -рассеяния на малые углы, в этом случае, доминирует слагаемые борновского приближения. Если использовать гауссову параметризацию для нуклон-нуклонных профильных функций и приближение толщины при вычислении свертки их комбинации с функцией толщины тяжелого ядра-мишени, можно существенно упростить процедуру вычисления (14) и (15). В частности, если рассмотреть рассеяние α -частицы на ядре A_2 и параметризовать ее волновые функции гауссовыми функциями $|\Psi_\alpha(r_1 \dots r_4)|^2 = \prod_{i=1}^4 \left(\frac{\alpha}{\pi R^2} \right)^{3/2} e^{-r_i^2/R^2}$, то амплитуду αA -рассеяния можно представить как:

$$F(q) = \frac{ik}{2\pi} \int d^3\rho \exp[iqb] \Omega(\rho) = ik \int d^3\rho J_0(q\rho) \Omega(\rho) \quad (16)$$

где $\Omega(\rho) = \omega_0(\rho) + \omega_1(\rho) + \omega_2(\rho)$

Итак, из приведенного анализа видно, что по крайней мере в интересующем нас интервале переданных импульсов $0 < q < 2f^{-1}$ итерационная про-

цедура вычисления αA -рассеяния в виде разложения по "степеням" теневых эффектов в α -частице довольно быстро сходится, причем эффекты трехкратного и четырехкратного экранирования пренебрежимо малы, а эффекты первого экранирования следует учитывать лишь в первом порядке.

Возможность применения подобной процедуры для анализа рассеяния более сложных ядер на ядерных мишенях требует дополнительного исследования. Помимо более медленной сходимости итерационной процедуры при этом возникают другие осложнения, связанные с невозможностью параметризовать одночастичные плотности более сложных, чем α -частица, ядер гауссовыми функциями. Для рассмотрения рассеяния на сложных ядрах более предпочтителен метод жесткого налетающего ядра, привлекательной особенностью которого является простая структура амплитуды рассеяния. Применительно к рассматриваемой задаче ядро-ядерного рассеяния это утверждение можно сформулировать следующим образом: если рассматриваемое ядро A_1 очень компактное, то можно ожидать, что хорошим приближением к точной амплитуде $A_1 A_2$ -рассеяния будет выражение:

$$F_{A_1 A_2}^{rigid}(q) = \frac{ik}{2\pi} \int d^3\rho e^{iq\rho} \left(1 - \exp \left\{ - \int \prod_{i=1}^{A_1} d^3r_i \left| \Psi_{A_1}(\mathbf{r}_1 \dots \mathbf{r}_{A_1}) \right|^2 \Omega_{A_1 N}(\mathbf{r} - \mathbf{s}_i) T_{A_2}(\mathbf{s}) d^3s \right\} \right) \quad (17)$$

Но величина $\int \prod_{i=1}^{A_1} d\mathbf{r}_i \left| \Psi_{A_1}(\mathbf{r}_1 \dots \mathbf{r}_{A_1}) \right|^2 \Omega_{A_1 N}(\rho - \mathcal{G}\{s\})$ есть не что иное, как профильная функция амплитуды NA_1 рассеяния $\Omega_{A_1 N}(\rho - \mathcal{G}\{s\})$. Таким образом, в приближении жесткого налетающего ядра выражение амплитуды $A_1 A_2$ -рассеяния внешне совпадает с выражением амплитуды для адрон-ядерного рассеяния в оптическом пределе с той лишь разницей, что профильная функция элементарного акта заменена профильной функцией $A_1 N$ -рассеяния. Это обстоятельство совместно со сравнительно простой техникой расчета делает обсуждаемое приближение очень удобным для проведения качественного анализа характеристик ядро-ядерного рассеяния. И действительно, сравнение предсказаний модели с экспериментальными данными работ об упругом α - ^{12}C и α - ^{40}Ca рассеянии при энергии 1.37 GeV и при α - α рассеянии при импульсах налетающей α -частицы 4.32 GeV/c и 5.07 GeV/c, соответственно, показало, что модель действительно удовлетворительно опи-

сывает экспериментальные данные и согласуется с имеющимися теоретическими результатами. На рисунках представлены зависимости дифференциальных сечений от переданного импульса и угла. Для больших углов рассеяния модель жесткого налетающего ядра приводила к существенно завышенным значениям сечений рассеяния. Для установления области применимости модели и ее точности сравнение с экспериментом не всегда удобно, поскольку в большинстве экспериментов не всегда определена общая нормировка измеряемых сечений. В случае α -ядерного рассеяния благоприятным фактором, позволяющим получить такую внутренне самосогласованную оценку приближения жесткого налетающего ядра является возможность аппроксимировать с хорошей точностью распределение нуклонов в α -частице гауссовой функцией. Таким образом, для гауссовой параметризации в волновой функции α -частицы выражение для амплитуды αA -рассеяния в оптическом пределе по атомному номеру ядра-мишени может быть записано в виде:

$$F_{\alpha A}(q) = \frac{ik}{2\pi} \int d\rho \exp(iq\rho) \left[1 - \exp \left\{ - \int d\mathcal{G} \Omega_{\alpha A}(\rho - \mathcal{G}\{s\}) T(\mathcal{G}) \right\} \right]_{C.M.} \quad (18)$$

индекс С.М. означает, что усреднение проводится по распределению, в котором не исключены эффекты центра масс. Можно также производить усреднение по раскорелированному распределению.

Можно показать, что вычисление амплитуды в приближении жесткой α -частицы сводится к выполнению операции численного интегрирования:

$$(F_{\alpha N}(q))_i = ik [K(q)]^{i-1} \int_0^\infty \rho d\rho J_0(q\rho) [1 - \exp \hat{O}_i(\rho)] \quad (19)$$

где $K(q)$ и $\hat{O}_i(\rho)$ определены в [11]. Эта модель ведет к разумным результатам для сечений αA -рассеяния в области значений переданного импульса $0 < q < q_{\min}$ ($q_{\min}$ -положение первого дифракционного минимума сечения αA -рассеяния). Именно в этой области переданных импульсов сечение упругого рассеяния доминирует над сечением квазиупругого рассеяния и определяет величину экспериментально наблюдаемого эффекта. Анализ чувствительности сечения упругого αA -рассеяния в этой области к вариациям численных значений физических величин - полных сечений NN -взаимодействия δ_{NN}^{tot} отношение вещественной к мнимой части амплитуды NN -рассеяния, параметра наклона дифференциального сечения рассеяния B , являющегося мерой радиуса NN -взаимодействия и

других, определяющих величину параметра наклона αA -рассеяния, удобнее разумеется, проводить с помощью процедуры, требующей минимального числа операций численного интегрирования. Кроме того, в рамках модели жесткого налетающего ядра сравнительно просто оценивается роль различных эффектов взаимного экранирования нуклонов в α -частице и скорость сходимости итерационной процедуры при разложении амплитуды в ряд по степеням теневых поправок. Анализ полученных результатов обнаруживает следующие закономерности: точность обоих приближений улучшается при переходе от легких к тяжелым ядрам-мишеням во всей области передач импульса, точность приближения жесткого налетающего ядра ухудшается с ростом значения переданного импульса и практически сразу же за первым дифракционным минимумом, точность приближения нулевого радиуса NN -взаимодействия слабо зависит от значения переданного импульса, точность приближения жесткого налетающего ядра ухудшается с ростом значения переданного импульса все же слегка улучшается с его ростом. Существенно, что точность обоих приближений уже в районе дифракционного конуса составляет величину порядка 20-30%, что заметно превышает характерные данные эксперимента.

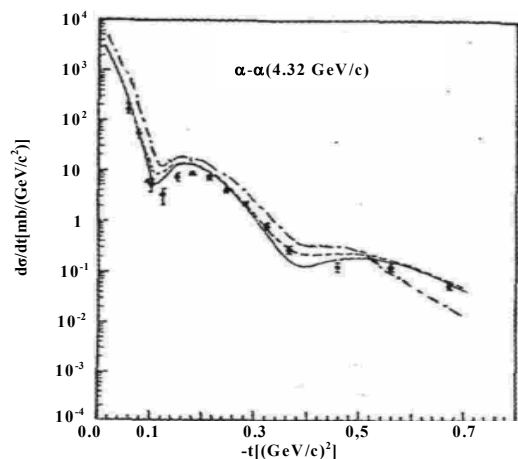


Рисунок 3. Упругое дифференциальное сечение (α, α) - рассеяния при импульсе налетающей частицы 4.32 ГэВ/с. Пунктирная кривая соответствует постоянной фазе ($\gamma^2=0$). Сплошная линия получена с фазовыми вариациями [$\gamma^2=2$ (ГэВ/с) 2]. Кривая точка-тире соответствует результатам данной работы. Точки - экспериментальные данные из работы [11].

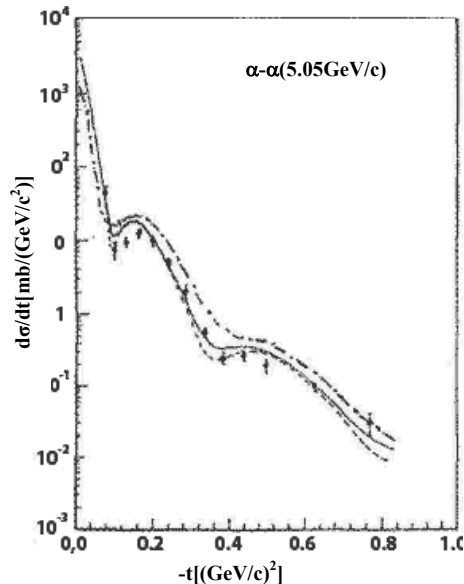


Рисунок 4. Упругое дифференциальное сечение (α, α) - рассеяния при импульсе налетающей частицы 5.07 ГэВ/с. Пунктирная кривая соответствует постоянной фазе ($\gamma^2=0$). Сплошная линия получена с фазовыми вариациями [$\gamma^2=3$ (ГэВ/с) 2]. Кривая точка-тире соответствует результатам данной работы. Точки - экспериментальные данные из работы [11].

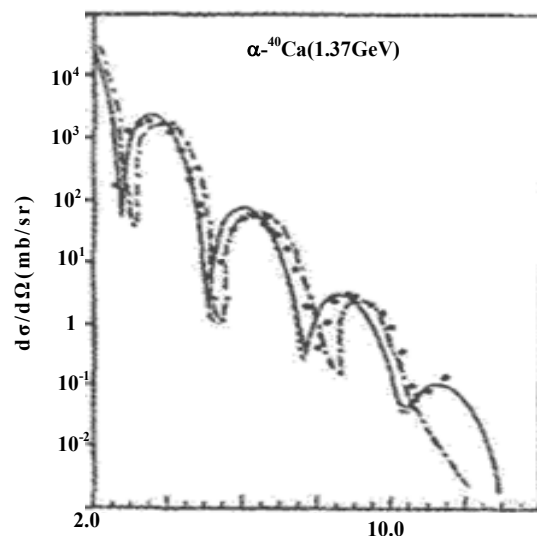


Рисунок 5. Упругое дифференциальное сечение ($\alpha, {}^{40}\text{Ca}$) - реакции при 1.37 ГэВ. Пунктирная кривая соответствует постоянной фазе ($\gamma^2=0$). Сплошная линия получена с фазовыми вариациями [$\gamma^2=-2$ (ГэВ/с) 2]. Кривая точка-тире соответствует результатам данной работы. Точки - экспериментальные данные из работы [11].

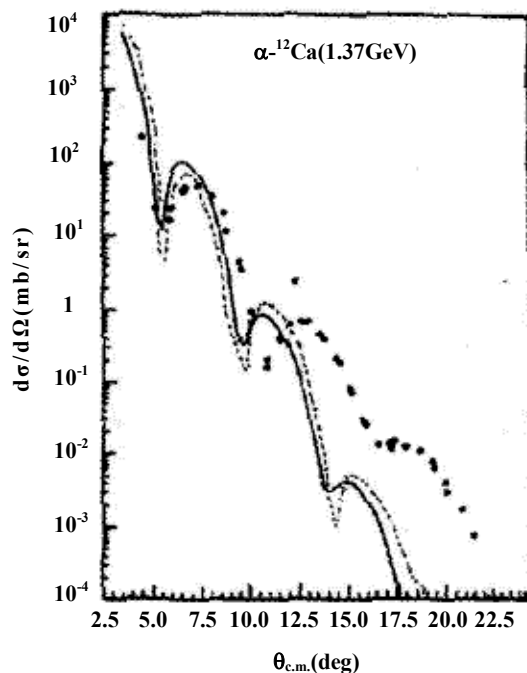


Рисунок 6. Упругое дифференциальное сечение ($\alpha, {}^{12}\text{C}$) - реакции при 1.37 ГэВ. Сплошная линия получена с фазовыми вариациями [$\gamma^2=-2$ (ГэВ/с) 2]. Кривая точка-тире соответствует результатам данной работы. Точки - экспериментальные данные из работы [11].

ЛИТЕРАТУРА

1. Ситенко А.Г. // Украинский физический журнал. 1958, № 4. С.152-163.
2. Glauber R.J. High Energy Collision theory // Lectures on Theoretical Physics. 1959, V.17. P. 315-414.
3. Исмамов Е.И., Джуроев Ш.Х., Кутербеков К.А. Упругие и неупругие дифракционные взаимодействия адронов и ядер при низких, средних, промежуточных и высоких энергиях // Алматы, 2002. 314 с.
4. Ismatov Ye.I., Djuraev Sh.Kh., Essaniasov Sh.P., Strigina S.B., Paulanov B.K. // Proceeding of the Eurasian Conference on Nuclear Science and its Application. Izmir, Turkey. 2000. V. 2, P. 871-878.
5. Yuldashev B.S., Ismatov Ye.I., Fazylov M.I. et al. Elastic Nucleus-Nucleus Interactions within the Diffraction Theory of Multiple Scattering // Proceeding of the II Eurasian Conference on Nuclear Science and its Application. Almaty. 2002. P. 110-112.
6. Ismatov E.I., Bazarov E.Kh., Azhniyazova G.T., Tskhai K.V., Fazylov M.I. Radar Nucleus-Nucleus scattering and the study of the structure of nuclei // 4th Int. Conf. Nuclear and radiation physics. September 15-17, 2003. Almaty, Kazakhstan. P. 98-100.
7. Ismatov E.I., Shunkeev K.Sh., Azhniyazova G.T., Fazylov M.I., Djuraev Sh.Kh. Optical approximation in the nuclei-nuclei diffraction interaction // The Fifth international conference "Modern problems of nuclear physics". Samarkand, 12-15 August 2003. P. 64-65.
8. Исмамов Е.И., Шункеев К.Ш., Ажнйязова Г.Т., Куразов Т.А., Муканбетжанов А.И. Оптическое приближение в ядро-ядерном дифракционном взаимодействии // Вестник АГУ. 2003. № 3-4.
9. Юлдашев Б.С., Исмамов Е. И., Фазылов М. И., Олимов К., Базаров Е. Х., Лутпуллаев С.Л., Юлдашев А. А., Луговой В. Ю., Каршиев Д.А., Ажнйязова Г. Т. Феноменологический анализ каналов образования трех и четырех α -частиц, в (^{16}O , p)-соударениях при энергии 3,25 А ГэВ. // Украинский физический журнал. Т. 48. № 10. 2003. С. 1029-1035.
10. Юлдашев Б.С., Исмамов Е. И., Базаров Е. Х. и др. // Украинский физический журнал. Т. 48. № 6. 2003. С. 522-527.
11. Ismatov Ye.I., Kuterbekov K.A., Djuraev Sh.Kh. et. all. // Proceeding of the second Eurasian Conf. "Nuclear Science and Applikation". 2002. Almaty. P. 216-235.
12. Ismatov Ye.I., Djuraev Sh.Kh. // Book of Abstracts 7th Int. Conf. Nuclear-Nucleus collisions. Strasburg, France. 2000. P.115.
13. Ажнйязова Г.Т., Исмамов Е.И., Тартаковский В.К., Ковальчук В.И. // Вестник Киевского университета им. Т.Г. Шевченко. Серия физико-математическая. №2. 2003. С. 20-26.
14. Тартаковский В. К., Ковальчук В. И., Исмамов Е. И., Цхай К. В., Ажнйязова Г. Т. Упругое дифракционное взаимодействие легких кластерных ядер при низких и промежуточных энергиях с ядрами // Вестник АГУ, 2004 г., № 3.
15. Исмамов Е. И., Цхай К. В., Ажнйязова Г.Т., Сартбай Турган. Упругое ядро - ядерное рассеяние в рамках дифракционной теории многократного рассеяния // Вестник АГУ. 2004. № 3.
16. Azhniyazova G.T., Ismatov E.I., Tartakovsky V.K., Fursavev F.V. On diffraction disintegration of the two-cluster nuclei // Bulletin of Kyiv University, Belgrad, Rasion. №2. 2004. P. 315. // Тезисы международной конференции по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Секция 2: Экзотические ядерные системы. 22-25 июня 2004.
17. Исмамов Е. И., Ажнйязова Г. Т., Гурвич Л. Г., Сергеева Е. А. Новый метод вычисления сечений дезинтеграции легких ядер // Узбекский журнал. Проблемы информатики и энергетики. № 2. 2003. С. 19-27.
18. Yuldashev B.S., Ismatov E.I., Fazylov M.I., Azhniyazova G.T., Kurmanbay M.S., Tskhai K.V., Shunkeev K.Sh., Sartbay T. Glauber-Sitenko screening in elastic and inelastic diffraction of hadrons and light nuclei // The third Eurasian conference "Nuclear science and its application". Tashkent. Uzbekistan. 2004. P. 140-141.
19. Yuldashev B.S., Ismatov E.I., Fazylov M.I., Kurmanbay M.S., Azhniyazova G.T., Tskhai K.V., Sartbay T. Analysis of elastic interactions of hadrons at high energies // The third Eurasian conference "Nuclear science and its application". Tashkent, Uzbekistan. 2004. P. 141-142.

**ТӨМЕН ЖӘНЕ АРАЛЫҚ ЭНЕРГИЯДАҒЫ ЖЕҢІЛ КЛАСТЕРЛІК
ЯДРОЛАРМЕН СЕРПІМДІ ДИФРАКЦИЯЛЫҚ ӨЗАРА ӘРЕКЕТІ**

¹⁾Исмамов Е.И., ²⁾Тукашев Ж.Б., ¹⁾Ажнйязова Г.Т., ³⁾Кутербеков К.А., ⁴⁾Молдағалиев А.К.

¹⁾Ақтөбе мемлекеттік педагогикалық институті, Ақтөбе, Қазақстан

²⁾Қазақ қатынас академиясы институтының Ақтөбе филиалы, Ақтөбе, Қазақстан

³⁾ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

⁴⁾К. Жұбанов атындағы Ақтөбе мемлекеттік университеті, Ақтөбе, Қазақстан

Бұл жұмыста адрон-ядролық әсерлесу потенциалдарынан квазиклассикалық жуықтауда есептелінетін фазалық ығысу арқылы профиль функциясын есептеу әдісі жасалды. Ядро-нысана бетінің диффуздығының және құрылымының шашырау қимасына әсері зерттелді. Есептелінген қималардың бұрыштық тәуелдіктері бірінші және, сол сияқты екінші реттік дифракциялық максимумдардың аймағында тәжірибелермен сәйкес келеді.

Эйконалдық жуықтауда ядро-ядролық шашырау қарастырылды. $0 < q < 2f^{-1}$ аймағында берілген импульстардың анализі жасалды және α -бөлшек жағдайында коленкелі эффект дәрежелері бойынша таралу түрінде 2А-шашыраудың амплитудасы есептелді. 4,32 ГэВ/с, 5,07 GeV/c және 1,37 ГэВ /с қуаттарда α - α және α - ^{12}C реакцияларының дифференциалдық қималары есептелді.

**ELASTIC DIFFRACTION INTERACTION OF LIGHT KLAster NUCLEUS
WITH NUCLEUS AT LOW AND INTERMEDIATE ENERGIES**

¹⁾E.I. Ismatov, ²⁾Zh.B. Tukashev, ¹⁾G.T. Azhnjazova, ³⁾K.A. Kuterbekov, ⁴⁾A.K. Moldagaliev

¹⁾*Aktobe state teacher's training Institute, Aktobe, Kazakhstan*

²⁾*Aktobe branch of the Institute of Kazakh Akademi of transport and communications, Aktobe, Kazakhstan*

³⁾*Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan*

⁴⁾*Aktobe state University of K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan*

The method of the calculation by lagging of the profile function that found in quasi-classical approach from the potentials of adron-nuclear interactions is developed in present review. The influence of the structure and diffuseness of the nucleus-target surface on the reaction cross-sections is studied. The calculated angular dependences of cross-sections have satisfactory agreement with experiment in region both for first and secondary diffraction maximums.

The nuclear-nuclear scattering in eiconal approximation is studied. The analysis in region transferred impulse $0 < q < 2f^{-1}$ is estimated and the amplitude $2A$ scattering is deduced as the separation on degrees of shadow effects in case α - particle. The differential cross-sections of reactions α - α and α - ^{12}C at 4,32 GeV/c, 5,07 GeV/c и 1,37 GeV/c are obtained.

УДК 539.21:621.039.

**РАДИАЦИОННАЯ И КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ
БЕРИЛЛИЕВЫХ ОБРАЗЦОВ-СВИДЕТЕЛЕЙ РЕАКТОРА ИВГ.1М****Бакланов В.В., Дерявко И.И., Коянбаев Е.Т., Кукушкин И.М., Малышева Е.В.***Институт атомной энергии ННЦ РК, Курчатов, Казахстан*

Исследовано состояние бериллиевых образцов-свидетелей, постоянно находящихся с 1975 года в ячейках межканального вытеснителя реактора ИВГ.1М. Подтверждена высокая радиационная стойкость бериллия, определены качественные и количественные показатели коррозионной стойкости бериллия с защитным покрытием в дистиллированной воде.

ВВЕДЕНИЕ

Активная зона реактора ИВГ.1М, как известно [1], содержит много бериллиевых деталей: цилиндрический боковой отражатель, блоки торцового отражателя, центральные стержни, эксцентрические кольца и подвижные обечайки регулирующих барабанов, боковой вытеснитель, межканальные вытеснители, центральный вытеснитель, втулки подвижных стержней СКР. Поскольку эти ответственные детали реактора эксплуатируются в воде, их поверхности защищены барьерным оксидным покрытием, а для контроля за состоянием антикоррозионных покрытий используются бериллиевые образцы-свидетели с покрытиями, находящиеся в ячейках межканального вытеснителя реактора. Образцы-свидетели в виде стержней длиной 56 мм цилиндрической и полуцилиндрической формы и стержней длиной 28 мм цилиндрической (гантелевидной) формы защищены антикоррозионными покрытиями одного из трех типов: барьерным оксидным покрытием серого цвета, анодным оксидным покрытием черного цвета или эмалевым покрытием белого цвета (покрытия на образцах-свидетелях созданы методами анодирования).

Образцы-свидетели, отслеживающие состояние бериллиевых деталей реактора с 1975 года (с момента ввода в эксплуатацию реактора ИВГ.1), проходят освидетельствования при периодических проверках технического состояния реактора. В процессе каждого освидетельствования определяются качественные и количественные изменения их состояния после длительного нахождения в неподвижной дистиллированной воде при комнатной температуре (в межпусковые периоды) и периодического кратковременного нахождения в протоке дистиллированной воды при температуре от 30 до 90°C (в пусковые периоды). Всего было проведено пять таких освидетельствований – в мае 1982 года, в сентябре 1989 года, в ноябре 1994 года, в ноябре 2001 года и в сентябре 2004 года.

Поскольку в 1975 году цилиндрические и полуцилиндрические образцы-свидетели длиной 56 мм (образцы типа И) были установлены в четыре ячейки межканального вытеснителя реактора ИВГ.1 без измерения исходных значений масс (M_i)₀, то в пер-

вом их освидетельствовании был проведен только визуальный осмотр образцов, выгруженных из ячейки "Е". После этого все образцы в ячейке "Е" были заменены "свежими" 28-миллиметровыми цилиндрическими образцами-свидетелями (образцами типа Р) с индивидуально измеренными исходными значениями масс (M_i)₀. Во втором освидетельствовании в 1989 году был проведен визуальный осмотр и измерение индивидуальных значений масс M_i у всех образцов, выгруженных из ячеек "Д", "Ж" и "К". В третьем освидетельствовании в 1994 году был вновь проведен визуальный осмотр тех же образцов из тех же ячеек "Д", "Ж" и "К"; кроме того, была определена радиационная стойкость бериллиевых образцов (после чего вместо 12 полуцилиндрических образцов типа И, испытанных на прочность, в ячейки "Д", "Ж" и "К" было установлено 12 "свежих" образцов типа Р с предварительным измерением исходных значений масс (M_i)₀). В четвертом освидетельствовании в 2001 году был проведен осмотр всех образцов из ячеек "Д", "Е", "Ж" и "К" и определение радиационной и коррозионной стойкости образцов.

В пятом освидетельствовании в 2004 году был вновь проведен визуальный осмотр всех образцов из всех ячеек вытеснителя, а также определены изменения их масс M_i . В настоящей работе рассматриваются результаты исследования бериллиевых образцов-свидетелей после 29,4-летних испытаний в дистиллированной воде, полученные в ходе этого последнего освидетельствования, а также результаты исследования их радиационной стойкости, полученные в третьем и четвертом освидетельствованиях.

РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ

В исследованиях участвовали 50 исходных и 48 облученных бериллиевых образцов-свидетелей типа И, выгруженных из ячеек "Д", "Ж" и "К" [2]. На исходных и облученных (до флюенса быстрых нейтронов Φ_b порядка $4 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-2}$) образцах были определены рентгеновские характеристики a_0 , c_0 , c_0/a_0 и $V_{\text{яч}}$ и измерены величины гидростатической плотности γ_g , предела прочности при изгибе $(\sigma_b)_{\text{изг}}$ и условного предела текучести при изгибе $(\sigma_{0,2})_{\text{изг}}$. При измерении $(\sigma_b)_{\text{изг}}$ и $(\sigma_{0,2})_{\text{изг}}$ использовалась схема

четырёхточечного нагружения стержня с определением стрелы прогиба образца в области чистого изгиба электрическим датчиком дифференциально-трансформаторного типа.

Установлено, что в пределах разброса результатов измерений влияние реакторного облучения на структуру и свойства бериллия не обнаруживается (таблица 1). В частности, из рентгенографического сопоставления интенсивностей фона, а также интенсивностей и форм дифракционных линий у материала до и после облучения не удалось обнаружить влияния реакторного облучения на состояние структуры как Ве-, так и ВеО-фазы. Не обнаружено также и изменений периодов решетки a_0 и c_0 кристаллической ГПУ-решетки матричной бериллиевой фазы, что указало на отсутствие твердого распухания бериллия. Установлено отсутствие изменения гидростатической плотности материала γ_r под облучением, свидетельствующее об отсутствии и твердого, и газового распухания бериллия. Полученный результат хорошо согласуется с известными данными [3, 4] по дозовой зависимости распухания бериллия $\Delta V/V$ при невысокой температуре облучения:

$$\Delta V/V = K\Phi_6, \quad (1)$$

где флюенс Φ_6 имеет размерность см^{-2} , а коэффициент K равен $8,2 \cdot 10^{-25} \text{ см}^2$.

Измерения механических характеристик образцов показали практически полное отсутствие радиа-

ционных изменений прочности и пластичности бериллия. Последнее хорошо коррелировало с установленной в работе [5] зависимостью изменения прочности промышленного бериллия различных марок в процессе радиационного распухания материала при температуре облучения $\sim 70^\circ\text{C}$:

$$\sigma_b = (\sigma_b)_{\text{исх}} + K_1(\Delta V/V)^{1/3} - K_2(\Delta V/V), \quad (2)$$

где коэффициент K_1 , равный $\sim 0,8$ ГПа, характеризует возможность незначительного (на уровне 15–30 %) упрочнения бериллия на ранней стадии облучения, а коэффициент K_2 , равный ~ 40 ГПа, – возможность разупрочнения материала при больших значениях Φ_6 и $\Delta V/V$.

Что касается материала покрытий образцов, то оценить радиационное изменение хрупкости барьерного (Б), анодного (А) или эмалевого (Э) покрытия по количеству и длине микротрещин вблизи отпечатка микротвердомера по методике [6] не удалось, т.к. микротрещины не обнаруживались ни при одной из нагрузок на индентор вплоть до максимальной. Заметных различий в формах профилей микроцарапин, оставляемых на покрытиях пирамидой индентора, также не удалось зафиксировать.

Таблица 1. Некоторые характеристики материала бериллиевых образцов до и после облучения

Измеряемая характеристика X		Измеренное значение X		Изменение ΔX/X, %
		до облучения	после облучения	
Период решетки a ₀ , нм		0,22906 ± 0,00001	0,22905 ± 0,00001	~0
Период решетки c ₀ , нм		0,35795 ± 0,00001	0,35798 ± 0,00001	0,008 ± 0,007
Отношение периодов c ₀ /a ₀		1,5627 ± 0,0001	1,5629 ± 0,0001	~0
Объем элементарной ячейки V _{яч} , 10 ⁻³ нм ³		16,246 ± 0,002	16,246 ± 0,002	0
Плотность γ _г , г/см ³	Образцы с Б-покрытием	1,901 ± 0,002	1,902 ± 0,002	~0
	Образцы с А-покрытием	1,903 ± 0,002	1,903 ± 0,002	0
	Образцы с Э-покрытием	1,886 ± 0,001	1,884 ± 0,002	~0
Предел прочности (σ _в) _{изг} , МПа		920 ± 20	960 ± 50	~0
Предел текучести (σ _{0,2}) _{изг} , МПа		600 ± 30	620 ± 20	~0

Таким образом, результаты выполненных исследований указали на высокую радиационную стойкость бериллиевых образцов и материала их покрытий в условиях реакторного облучения до флюенсов Φ_6 не уровне $4 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-2}$.

КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОРРОЗИИ

Для исследования коррозионной стойкости бериллия с защитным покрытием в последнем их освидетельствовании из ячеек вытеснителя "Д", "Е", "Ж" и "К" были выгружены пеналы, содержащие в общей сложности восемьдесят семь образцов. Выгруженные образцы имели различную длительность испытаний в воде: 56-миллиметровые образцы типа И из ячеек "Д", "Ж" и "К" находились в реакторе 29,4 лет, 28-миллиметровые образцы типа Р из этих же ячеек – 9,8 лет, а образцы типа Р из ячейки "Е" – 22,3 года.

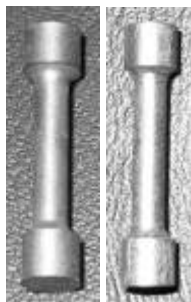
При визуальном осмотре образцов зафиксировано коррозионное изменение цвета покрытий, причем и характер, и интенсивность этих изменений оказались существенно различными у покрытий различного типа. На рисунках 1, 2 и 3 можно увидеть общую тенденцию изменения цвета каждого из этих покрытий (Б, Э, и А) с увеличением длительности испытаний в воде.

У образцов с эмалевым покрытием исходный молочно-белый матовый цвет эмалевого покрытия с увеличением длительности испытаний переходил в серый матовый с участками желто-коричневого оттенка, а затем в почти сплошной желто-коричневый оттенок с некоторой потерей сплошности материала (на рисунке 3 эти несплошности видны как цепочки тем-

ных точек и темных узких полос, ориентированных вдоль длины образца).

У образцов с серым барьерным покрытием изменение цвета покрытия с увеличением длительности испытаний было наименее заметным: исходный серый цвет лишь частично искажался налетом белого или светло-серого оттенка, при этом видимых изменений сплошности материала покрытий не обнаружено.

Наоборот, у образцов с черным анодным покрытием изменение цвета было максимально заметным: на исходной черной блестящей поверхности сначала появлялся сплошной светло-серый матовый налет, который со временем становился почти белым. Видимых изменений сплошности материала покрытий у этих образцов также не обнаружено.



барьерное оксидное (Б)



эмалевое (Э)



анодное оксидное (А)

Рисунок 1. Внешний вид бериллиевых образцов-свидетелей типа Р с различными покрытиями до (везде слева) и после (везде справа) испытаний в дистиллированной воде в течение 9,8 лет



барьерное оксидное (Б)



эмалевое (Э)



анодное оксидное (А)

Рисунок 2. Внешний вид бериллиевых образцов-свидетелей типа Р с различными покрытиями до (везде слева) и после (везде справа) испытаний в дистиллированной воде в течение 22,3 лет



барьерное оксидное (Б)



эмалевое (Э)



анодное оксидное (А)

Рисунок 3. Внешний вид бериллиевых образцов-свидетелей типа И с различными покрытиями до (везде слева) и после (везде справа) испытаний в дистиллированной воде в течение 29,4 лет

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОРРОЗИИ

Количественные показатели коррозионной стойкости бериллия с покрытием определялись по изменению масс образцов с увеличением длительности испытаний. Измерения индивидуальных значений масс M_i у образцов-свидетелей выполнялись (после их обезжизивания в спирте и просушки) на аналитических весах ВЛА-20 с чувствительностью 0,01 мг.

Следует иметь в виду, что исходные индивидуальные значения масс (M_i)₀, измеренные перед началом испытаний, имелись только у тех 12 образцов типа Р из ячеек "Д", "Ж" и "К", которые были установлены на испытания в 1994 году, и у 32 образцов типа Р из ячейки "Е", установленных на испытания в 1982 году; у остальных 43 образцов типа И таких данных нет (первые данные по массам M_i этих образцов были получены только в 1989 году). Поэтому наибольший интерес представляют результаты, полученные на образцах типа Р, представленные в верхней части таблицы 2. Поскольку привесы у образцов с различными типами покрытий (Б, Э или А) были примерно одинаковыми, в таблице приведены данные только для образцов различной формы, т.е. для образцов типа Р и типа И.

Таблица 2. Изменения масс бериллиевых образцов

Тип формы образца; количество образцов	Усредненные данные по массам M и привесам ΔM одного образца в разные годы		
	годы	M , г	ΔM , мг
Образцы типа Р; 12 шт	1994 г.	0,80696	–
	2001 г.	0,80864	1,67
	2004 г.	0,80869	1,73
Образцы типа Р; 32 шт	1982 г.	0,81028	–
	2001 г.	0,81342	3,14
	2004 г.	0,81346	3,18
Образцы типа И; 43 шт	1975 г.	–	–
	1989 г.	1,363,65	–
	2001 г.	1,363,07	–
	2004 г.	1,360,52	–

Как видно из этой таблицы, абсолютные привесы ΔM у образцов типа Р в первые 7, первые 9,8, первые 19,5 и первые 22,3 года испытаний весьма незначительны. Удельные привесы образцов $\Delta M/S$ (где S – площадь поверхности образца типа Р, равная 4,48 см²) оказались также очень невысокими – менее 0,1 мг/см² (см. рисунок 4). То есть покрытия надежно защищают бериллий от взаимодействия с водой. Для сравнения, скорость коррозии бериллия

без покрытия в воде при температуре 80 °С составляет ~4,6 мг/(см²·год) [7], что примерно на два порядка выше, чем скорость коррозии материала покрытий у образцов типа Р, показанная на рисунке 4.

Некоторое снижение скорости коррозии образцов типа Р с увеличением длительности испытаний (см. рисунок 4) можно рассматривать или как результат затухания во времени интенсивности коррозионного повреждения материала покрытия, или как результат интенсификации процесса смыва материала коррозионного слоя водой. Последнее предположение подтверждается тем (см. нижнюю часть таблицы 2), что у цилиндрических и полуцилиндрических образцов типа И на последних двух участках испытаний (длительностями соответственно 12,5 и 2,8 лет) их 29,4-летних испытаний в воде зафиксирована потеря массы ΔM .

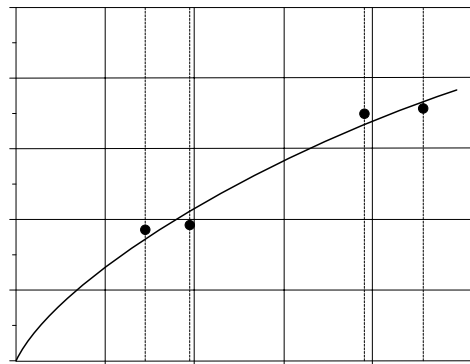


Рисунок 4. Кинетика коррозионного повреждения покрытий бериллиевых образцов типа Р

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованием состояния бериллиевых образцов-свидетелей с барьерным, анодным и эмалевым покрытиями, постоянно находящихся с 1975 года в дистиллированной воде в ячейках межканального вытеснителя реактора ИВГ.1М, подтверждена высокая радиационная стойкость бериллия и установлена вполне достаточная коррозионная стойкость материала их покрытий, позволяющая утверждать, что бериллиевые детали активной зоны реактора надежно защищены барьерным покрытием от коррозионного взаимодействия с водой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Реактор ИВГ.1М. Техническое описание. АК.65000.00.195.ТО. – НИИ НПО "Луч", инв. №К539, 1989, 142 с.
2. Дерявко И.И., Зеленский Д.И., Колбаенков А.Н., Сахаровский В.В. Контроль состояния узлов, деталей и материалов реактора ИВГ.1М. – Материалы научно-практ. конф. "20 лет энергетического пуска реактора ИВГ.1", Курчатов, 1995 г.", Курчатов, ИАЭ НЯЦ РК, 1995, с. 48-51.
3. Серняев Г.А. Распухание и "самопроизвольное" растрескивание бериллия при низкотемпературном облучении. – ВАНТ. Сер. "Ядерная техника и технология", 1992, вып. 2, с. 35-43.
4. Серняев Г.А. Радиационная повреждаемость бериллия. – Екатеринбург, изд-во "Екатеринбург", 2001. – 396 с.

5. Серняев Г.А. Повреждение бериллия в широком интервале температур облучения и флюенсов нейтронов (влияние облучения на механические свойства бериллия). – Доклады на III отрасл. конф. "Ядерная энергетика в космосе. Ядерные ракетные двигатели, Семипалатинск-21, 1992 г.", ч. 2, Подольск, НИИ НПО "Луч", 1993, с. 399-416.
6. Пятыхин Л.Н., Валько А.Г., Папилов И.И. Определение вязкости разрушения методом индентирования. – М., ЦНИИАтоминформ, 1987, 25 с.
7. Реактор ИВГ.1М. Пояснительная записка. АК.ИВГ.1М.00.000 ПЗ. – НИИ НПО "Луч", инв. №К539, 1989, 142 с.

**ИВГ. 1М РЕАКТОРЫНЫҢ БЕРИЛЛИЙ КУӘ-ҮЛГІЛЕРІНІҢ
РАДИАЦИЯЛЫҚ ЖӘНЕ КОРРОЗИЯЛЫҚ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ**

Бакланов В.В., Дерявко И.И., Коянбаев Е.Т., Кукушкин И.М., Малышева Е.В.

ҚР ҰЯО Атом энергиясы институты, Курчатов, Қазақстан

ИВГ.1М реакторының арнааралық ығыстырғышының ұяшықтарында үнемі 1975 жылдан бері жатқан бериллий куә-үлгілердің жағдайы зерттелді. Бериллийдің жоғары радиациялық тұрақтылығы расталды, қорғауыш қаптамалы бериллийдің дистилляцияланған судағы коррозиялық тұрақтылығының сапалық және сан жағынан көрсеткіштері анықталды.

RADIATION AND CORROSION RESISTANCE OF BERYLLIUM WITNESS-SAMPLES OF IVG.1M REACTOR

V.V. Baklanov, I.I. Deryavko, Ye.T. Koyanbayev, I.M. Kukushkin, E.V. Malysheva

Institute of Atomic Energy NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

It was investigated condition of beryllium witness-samples that are continuously present (since 1975) in the cells of inter-channel displacer of IVG.1M reactor. High radiation resistance of beryllium was confirmed; quality and quantitative values of corrosion resistance of beryllium with protective coating in distilled water were determined.

УДК 539.21:621:039

РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СТЕРЖНЕВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ТВЭЛОВ НА ДВИГАТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ РЕАКТОРА ЯРД ИЛИ ЯЭДУ

Дерявко И.И.

Институт атомной энергии ИЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

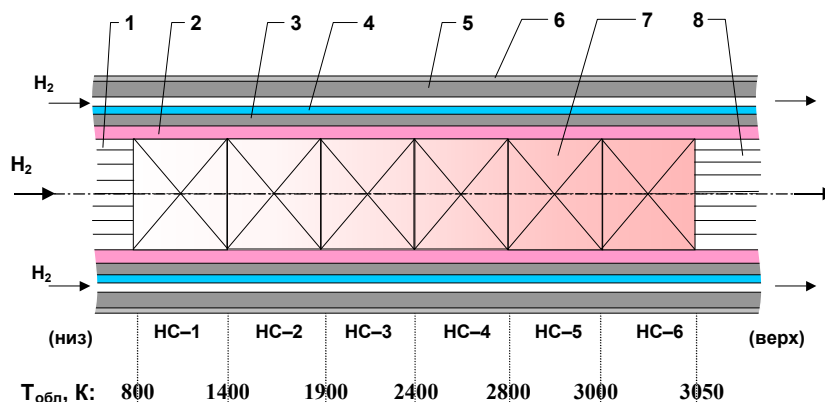
Рассмотрены условия эксплуатации стержневых керамических твэлов в проточных водородоохлаждаемых технологических каналах реактора ЯРД или ЯЭДУ на двигательном режиме. Представлены имеющиеся и выполнены дополнительные послереакторные исследования твэлов, испытанных на этом режиме в реакторах ИВГ.1 и ИРГИТ. Составлено заключение о работоспособности твэлов на двигательном режиме работы реактора ЯРД или ЯЭДУ.

ВВЕДЕНИЕ

Условия эксплуатации стержневых керамических твэлов из (U,Zr,Nb)C и (U,Zr)C+C на двигательном режиме работы (ДР) реактора ЯРД или ЯЭДУ являются самыми жесткими в сравнении с условиями их эксплуатации на остальных режимах работы реакторов ЯРД, ЯЭДУ и ЯГДУ, т.е. на энергетических режимах малой мощности (рММ) и большой мощности (рБМ) реактора ЯЭДУ и на режиме рабочей мощности (рРМ) реактора ЯГДУ. Твэлы будут эксплуатироваться на режиме ДР и в реакторе ЯРД, и в реакторах двух- и трехрежимных ЯЭДУ в экстремальных условиях по температурам, термическим напряжениям, механическим нагруз-

кам, нейтронному облучению и коррозионно-эрозионному воздействию теплоносителя.

Достаточно сказать, что в реакторе ЯРД температура водорода на выходе из ТВС (в выходной нагревной секции ТВС) должна быть не менее 2900 К, при этом максимальная температура облучения твэлов $T_{обл}$ (см. рисунок 1) в выходной НС достигнет ~3000 К; количество циклов включения режима (с темпом нагрева и охлаждения твэлов до 400 К/с) должно быть не менее 10, а ресурс функционирования режима должен быть не менее 4000 с (при этом теплонапряженность твэлов во второй и третьей НС будет находиться на уровне 12 МВт/м²).



1 - решетка входного узла; 2 - теплоизоляционный пакет; 3 - втулка бериллиевого отражателя; 4 - внутренний корпус (X18H10T); 5 - втулка бериллиевого вытеснителя; 6 - наружный циркониевый корпус; 7 - нагревательная секция из 151 твэла (диаметр 29,7 мм); 8 - карбидная опорная решетка

Рисунок 1. Схема канала КЭТ реактора ИВГ.1

При полноресурсных испытаниях стержневых керамических твэлов в водородоохлаждаемых технологических каналах КЭТ второй опытной активной зоны реактора ИВГ.1, выполненных в условиях номинальных параметров двигательного режима реактора ЯРД, наблюдалась значительная деградация исходного состояния топливных стержней. Деградация начиналась с появления поверхностных трещин в твэлах низкотемпературных (входных) нагревательных секций из-за возникновения в топливных стержнях больших (растягивающих на поверхности) термических макронапряжений σ_T [1]. В дальней-

шем происходило доламывание и измельчение ослабленных трещинами стержней изгибными, бандажными и вибрационными нагрузками, возрастающими с увеличением флюенса нейтронов (распухания твэлов) и количества пусков реактора (закруток пучков твэлов в НС). С увеличением количества пусков реактора N поврежденность твэлов D (относительное количество сломанных твэлов в НС) заметно возрастало, и после $N = 6$ в первых двух входных секциях D достигало ~80 % при длине фрагментов твэлов 3-15 мм, а измельчение и взаимные подвижки фрагментов приводили к возраста-

нию гидравлического сопротивления канала, перегреву ТВЭлов, теплоизоляции, отражателя и внутреннего корпуса со всеми вытекающими отсюда негативными последствиями.

В ТВЭлах возникали также и остаточные радиационные макронапряжения $\sigma_{ост}$ с благоприятно распределенной эпюрой, т.е. со сжатием на поверхности [1], и если бы они возникали так же быстро, как напряжения σ_T , то ТВЭлы входных НС оставались бы неповрежденными. Однако напряжения $\sigma_{ост}$ нарастают с ростом дозы облучения сравнительно медленно (рисунок 2), поэтому в начале испытаний они еще не способны скомпенсировать негативное влияние напряжений σ_T . (Причина возникновения сжимающих напряжений $\sigma_{ост}$ в ТВЭле связана с преимущественным распуханием его периферийных (более холодных) областей по сравнению с более горячими внутренними областями.)

Степень опасности напряжений σ_T различна для ТВЭлов, испытываемых при различных температурах (см. высотное распределение $T_{обл}$ ТВЭлов на рисунке 1). В ТВЭлах высокотемпературных НС, во-первых, уровень напряжений σ_T не высок, т.к. перепады температуры ΔT по их радиусам составляют $\sim 50 \dots 100$ К, а во-вторых, эти напряжения при $T_{обл} > 1800$ К способны частично или полностью релаксировать (имеется в виду, что нижняя граница хрупко-пластического перехода ($T_{х-п}$) у спеченных тугоплавких карбидов равна ~ 1800 К). Наоборот, в ТВЭлах входных НС уровень напряжений σ_T максимален, т.к. перепады ΔT составляют $\sim 200 \dots 250$ К, а возможность релаксации этих напряжений, по видимому, полностью исключена.

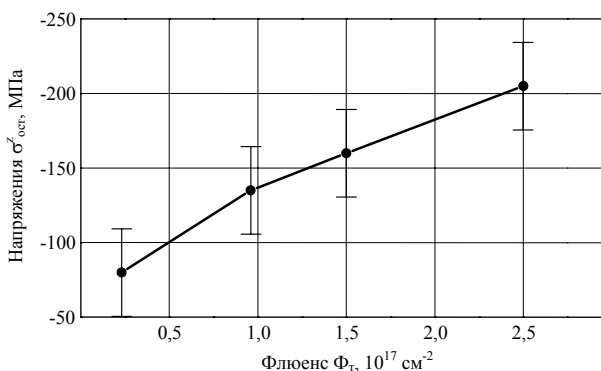


Рисунок 2. Рост осевых сжимающих напряжений на поверхности ТВЭла с увеличением флюенса тепловых нейтронов (ТВЭлы каналов ТК300 первой опытной активной зоны реактора ИВГ.1)

Напряжения $\sigma_{ост}$ с увеличением длительности испытаний, как предполагалось ранее, тоже могут стать потенциально опасными для целостности ТВЭлов. Причем их опасность, как и в случае напряжений σ_T , распространяется только на ТВЭлы низкотемпературных НС.

Если оставить пока в стороне напряжения $\sigma_{ост}$, то из сказанного о напряжениях σ_T следует, что работоспособность ТВЭлов, испытываемых при температуре $T_{обл} < T_{х-п}$, определяется их термopрочностью. В самом деле, уровень термopрочности штатных карбидографитовых ТВЭлов ЯРД таков, что трещины в них начинают возникать уже при тепловых потоках с поверхности q_s около 5 МВт/м^2 , а при испытаниях в каналах КЭТ у ТВЭлов НС-1 и НС-2 потоки q_s достигали 10 МВт/м^2 [2]. Именно поэтому в НС-1 и НС-2 наблюдалось максимальное количество ТВЭлов с трещинами и максимальное количество поломок ТВЭлов.

Очевидно, что для сохранения работоспособности у всей ТВС необходимо, чтобы сохранялась работоспособность у ТВЭлов входных НС, а для этого необходимо, чтобы термopрочность у штатных карбидографитовых ТВЭлов ЯРД была как минимум вдвое выше, т.е. находилась на уровне $10 \dots 12 \text{ МВт/м}^2$.

В связи с отмеченным был проведен анализ возможностей искусственного повышения термopрочности ТВЭлов термическими, термомеханическими и радиационными обработками [3]. Кроме того, были выполнены те дополнительные исследования ТВЭлов, испытанных на двигательном режиме реактора ЯРД, которые касаются уточнения влияния напряжений σ_T и $\sigma_{ост}$ на работоспособность ТВЭлов входных НС на этом режиме.

ПОВЫШЕНИЕ ТЕРМОПРЧНОСТИ ТВЭЛОВ

Поскольку уровень термopрочности спеченного топливного материала можно поднять за счет повышения уровня его прочности σ_B (т.к. любой из критериев термopрочности R, R', R'' пропорционален σ_B [4, 5]), были проанализированы известные и возможные способы упрочнения хрупких тугоплавких материалов путем термических, термомеханических и радиационных обработок.

Все известные способы термического и термомеханического упрочнения карбидов различаются по уровню достигаемого эффекта, воспроизводимости результатов, технологичности, трудоемкости и т.д. Например, самый простой и технологичный способ упрочнения — высокотемпературный отжиг в инертной атмосфере — не обладает воспроизводимостью результатов. Поэтому достигнутое в [6] упрочнение образцов из ZrC на $\sim 30\%$ после отжига в аргоне при $T_{отж} \sim 2950$ К скорее случайность, чем закономерность: имеющий место в этих условиях рост зерна приводит, как правило, к снижению прочности.

Термомеханический способ упрочнения карбидов путем высокотемпературного деформирования образцов из NbC [7] или ZrC [8, 9] изгибом хотя и дает высокий и устойчиво воспроизводимый эффект почти двукратного упрочнения, но по отношению к стержневым ТВЭлам является совершенно не технологичным. То же самое можно сказать и относительно способа упрочнения дисков из ZrC путем

создания в них остаточных макронапряжений за счет высокотемпературной релаксации термических напряжений [10, 11].

В связи с этим имеет смысл рассматривать только способы, технологичные по отношению к геометрической форме ТВЭлов. Сведения о возможностях и уровнях упрочнения стержневых керамических ТВЭлов различными термическими, радиационными и комбинированными способами представлены в таблице 1. (Возможности термических способов обработки карбидных стержней и безурановых имитаторов ТВЭлов исследовались [2, 3, 12, 13] в 70-х и 80-х годах А.Г. Ланиным, С.А.

Притчиным, В.Н. Турчиным и др. (при участии автора) в Подольском ФГУП НИИ НПО "Луч".) Ниже приведены краткие пояснения к каждому из одиннадцати указанных в таблице способов.

1. *Термоциклирование.* В этом способе термической обработки путем многократного циклического изменения температуры карбидного стержневого образца в пределах от ~1800 К (нижняя температура цикла) до ~2800 К (верхняя температура цикла) нагрев осуществлялся от индуктора высокочастотной установки, а образец при испытаниях находился в атмосфере аргона.

Таблица 1. Способы обработки и достигаемые в них эффекты упрочнения

№	Обозначение способа обработки	$\Delta\sigma_{\text{в}}/\sigma_{\text{в}}$, %
1	Термоциклирование в пределах от $T_{\text{хп}}$ до ~2800 К	~15
2	Оплавление тонкого поверхностного слоя	~65
3	Закалка с естественным охлаждением от ~2700 К	~25
4	Закалка с обдувом холодным водородом от ~2500 К	~65
5	Термическое (~2800 К; 3 ч; He) залечивание трещин	~40
6	Трехкратное термическое залечивание трещин	~50
7	Комбинация: "способ-5" + "способ-4"	~100
8	Радиационное залечивание технологических дефектов	~40
9	Радиационное залечивание поверхностных трещин	~100
10	Создание радиационных макро-напряжений $\sigma_{\text{ост}}$	~100
11	Комбинация: "способ-6" + "способ-8" + "способ-10"	~150

2. *Оплавление поверхности.* В этом способе обработки тонкий поверхностный слой образца высокочастотным разогревом доводился до состояния, близкого к плавлению. Упрочнение карбидных стержней обеспечивается термическим залечиванием поверхностных технологических дефектов.

3 и 4. *Закалка.* Возможности создания закалочных остаточных напряжений в стержневых ТВЭлах исследовались на карбидных стержнях круглого сечения в вариантах с естественным или принудительным охлаждением. Предварительный разогрев образцов до различных температур $T_{\text{зак}}$ осуществлялся индукционным способом.

5 и 6. *Термическое залечивание поверхностных трещин.* Степень возможного упрочнения ТВЭлов этим способом оценивалась на имитаторах ТВЭлов, предварительно поврежденных поверхностными трещинами. После полного залечивания трещин путем ~3-часового отжига в гелии при температуре ~2800 К фиксировалось упрочнение стержней на 30-40 %, которое можно было повысить за счет дополнительного двукратного повторения циклов повреждения и отжига.

7. *Залечивание трещин с последующей закалкой.* Представляется достаточно очевидным, что комбинация двух способов – сначала термическое залечивание предварительно созданных трещин, а затем высокотемпературная закалка с принудительным охлаждением – обеспечит заметный (на уровне 100 %) суммарный прирост исходной прочности ТВЭлов, т.е. необходимое примерно двукратное их

упрочнение. Указанный комбинированный способ обработки ТВЭлов перед их установкой во входные НС технологических каналов реактора ЯРД или ЯЭДУ, несмотря на кажущуюся громоздкость, достаточно технологичен, а его реализация легко поддается автоматизации.

8. *Радиационное залечивание исходных технологических дефектов.* Из результатов испытаний ТВЭлов в реакторе РА на режиме малой мощности реактора ЯЭДУ [2, 3, 14-18] следует, что для реализации подобного способа упрочнения ТВЭлов необходимо всего лишь выполнить пуск реактора ЯЭДУ на указанном режиме. Недостатком способа является то, что уровень упрочнения относительно невысок.

9. *Радиационное залечивание поверхностных трещин.* Из тех же результатов испытаний ТВЭлов в реакторе РА следует, что путем облучения предварительно поврежденных поверхностными трещинами ТВЭлов можно повысить их исходную прочность примерно вдвое. Способ обеспечивает высокий уровень упрочнения, причем такого, которое не отжигается при эксплуатации ТВЭлов на двигателном режиме реактора ЯРД или ЯЭДУ.

10. *Упрочнение остаточными радиационными макронапряжениями.* В ТВЭлах низкотемпературных НС при облучении в проточных технологических каналах возникают сжимающие напряжения $\sigma_{\text{ост}}$, за счет которых прочность ТВЭлов может быть повышена в определенных условиях почти вдвое [1, 19]. Следует отметить, что для наиболее эффективного использования возможностей этого способа (на ко-

торый впервые было указано К.П. Власовым в 1981 г.) требуются дополнительные уточняющие данные по дозовой зависимости напряжений $\sigma_{ост}$.

11. Залечивание трещин с последующей радиационной обработкой. Среди многочисленных возможных вариантов комбинированных способов упрочнения ТВЭлов наиболее перспективными являются способы, в которых сначала проводится термическая обработка, а затем радиационная.

Среди этих способов наиболее технологичным и дающим достаточный эффект упрочнения представляется способ, в котором вначале ТВЭлы упрочняются на ~50 % путем многократного термического залечивания намеренно создаваемых поверхностных трещин. После этого дальнейшее упрочнение осуществляется уже в активной зоне реактора ЯЭДУ облучением сначала на режиме малой мощности в течение ~20 ч, а затем на двигателем режиме при сниженной мощности реактора (при теплосъеме с поверхностей ТВЭлов входных НС порядка 4 МВт/м²) до глубины выгорания урана ~3·10¹⁷ дел./см³. Предполагается, что радиационная часть этого комбинированного способа выполняется в условиях нахождения ЯЭДУ в космосе. (Для ТВЭлов реактора ЯРД радиационная часть обработки будет содержать только облучение на двигателем режиме.)

Поскольку суммарный эффект упрочнения ТВЭлов в способе-11 составит в случае ЯЭДУ примерно 150 %, а в случае ЯРД не менее 100 %, то реализация этого способа является в принципе решением задачи не менее чем двукратного повышения прочности и термостойкости ТВЭлов низкотемпературных нагревных секций.

Остается отметить, что в выполненном анализе были использованы также и результаты тех дополнительных исследований (приведенных ниже), где уточнялись отдельные неясные моменты относительно остаточных напряжений $\sigma_{ост}$ в ТВЭлах.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТВЭЛОВ

В этих исследованиях необходимо было, во-первых, уточнить причину возникновения напряжений в ТВЭлах входных НС, т.е. доказать наличие или отсутствие низкотемпературной релаксации макронапряжений в ТВЭлах, испытываемых на двигателем режиме реактора ЯРД.

Во-вторых, необходимо было установить степень опасности нарастания напряжений $\sigma_{ост}$ с ростом дозы облучения, поскольку экстраполяция кривой $\sigma_{ост} = f(\Phi_T)$ на рисунке 2 указывает на то, что нарастание $\sigma_{ост}$ в ТВЭлах каналов КЭТ должно приводить к их разрушению изнутри из-за чрезмерного высоких растягивающих напряжений $\sigma_{ост}$. (Разрушение ТВЭлов на все большее количество фрагментов должно происходить в моменты окончания каждого из пус-

ков, т.е. в моменты отсутствия в ТВЭлах напряжений σ_T .) Опасность предполагаемых высоких напряжений $\sigma_{ост}$ состоит в том, что ТВЭлы должны разрушаться на фрагменты и при отсутствии в них поверхностных трещин (если ТВЭлы, например, прошли упрочняющую термообработку), и при отсутствии в них изгибных напряжений (если пучки ТВЭлов в НС, например, не закручены).

В третьих, предстояло выяснить, существует ли сдерживающее влияние напряжений $\sigma_{ост}$ на процессы развития повреждаемости ТВЭлов входных НС. Это влияние должно быть видно из сопоставления состояний ТВЭлов, испытанных только в типовых реакторных пусках, с состояниями ТВЭлов, испытанных сначала в энергетическом пуске, а затем уже в типовых пусках. Энергетический пуск рассматривается здесь как пример предварительной упрочняющей обработки ТВЭлов напряжениями $\sigma_{ост}$ в способе-10.

Для указанных исследований были использованы ТВЭлы 21 канала КЭТ, ТК100, ТКМ и ТКТ. Выбранные каналы прошли различное (от 1 до 9) количество реакторных пусков в условиях двигателем режима реактора ЯРД, а их ТВЭлы имели существенно различную глубину выгорания урана – от ~3·10¹⁶ до ~3·10¹⁸ дел./см³.

1. Причина возникновения напряжений $\sigma_{ост}$. При оценке общего состояния ТВЭлов в этих каналах был полностью подтвержден тот экспериментальный факт, что закрутка пучков ТВЭлов в НС увеличивается с увеличением количества пусков реактора, и у ТВЭлов входных НС она достигает при N = 7 около 20°. Поскольку наличие закрутки означает наличие изгибных напряжений в ТВЭлах, была определена степень искривления ТВЭлов, характеризующая степень релаксации этих макронапряжений под облучением.

Установлено, что вне зависимости от типа канала у всех исследованных ТВЭлов, температура $T_{обл}$ которых была ниже $T_{х-п}$, искривления отсутствуют. В частности, для каналов КЭТ такими ТВЭлами являются ТВЭлы из НС-1 и НС-2. Как видно из рисунка 3, искривления у ТВЭлов (точнее, у фрагментов ТВЭлов) из НС-2 визуально не фиксируются, а у ТВЭлов более высокотемпературных НС искривления дугообразной формы обнаруживаются визуально вполне отчетливо. Отсутствие искривлений ТВЭлов в низкотемпературных НС каналов КЭТ, ТКМ, ТКТ и ТК100 было зафиксировано также с помощью приспособления КС для обнаружения малой кривизны ТВЭла [20]: угол скатывания β с платформы приспособления у всех этих ТВЭлов находился в диапазоне 1,5...2,0°.

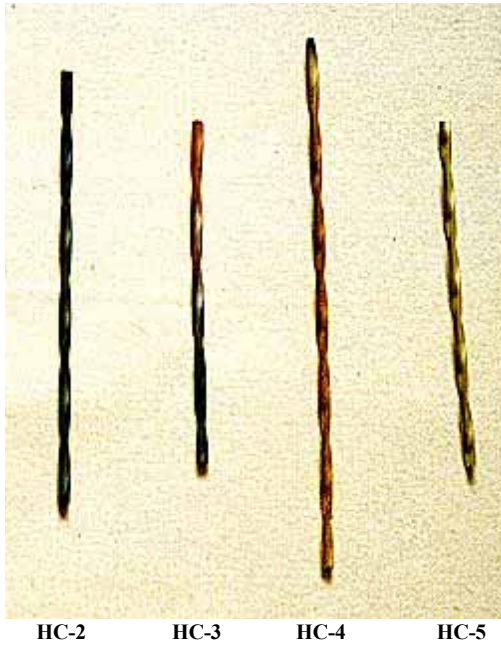


Рисунок 3. Внешний вид твэлов канала КЭТ второй опытной активной зоны реактора ИВГ.1 после 9 типовых пусков

Полученное означает отсутствие релаксации изгибных напряжений (а следовательно, и любых макронапряжений, в том числе напряжений σ_t) в условиях кратковременного (до нескольких десятков минут) высокоинтенсивного ($\Phi_t \sim 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) облучения. Поскольку причиной возникновения напряжений $\sigma_{\text{ост}}$ не может быть релаксация напряжений σ_t , то рентгенографически измеряемые остаточные макронапряжения в твэлах являются радиационными напряжениями $\sigma_{\text{ост}}$. Причем причиной их возникновения могла быть только неоднородность радиационного распухания твэлов, что было ранее показано при отжиге твэлов каналов ТК300: при $T_{\text{отж}} > T_{\text{обл}}$ одновременно исчезали и напряжения $\sigma_{\text{ост}}$, и неоднородность распухания твэлов [1].

Следует отметить, что отсутствие релаксации изгибных напряжений в твэлах закрученных НС было установлено [21] и в условиях низкоинтенсивного ($\Phi_t \sim 1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) длительного (до ~ 1200 ч) облучения в ампулах реактора РА. Кроме того, отсутствие низкотемпературной релаксации напряжений было дополнительно подтверждено в специальных экспериментах с упругоизогнутыми твэлами в облучательных капсулах ОК реактора РА. Твэлы, выбранные из числа тех, у которых угол β в исходном состоянии был равен строго 2° , нагружались трехточечным изгибом до напряжений, составляющих около 90 % от разрушающих. После реакторных испытаний в течение ~ 10 , ~ 20 и ~ 30 ч углы скатывания β у них по-прежнему составляли все те же 2° .

2. *Опасность чрезмерного нарастания напряжений $\sigma_{\text{ост}}$.* Для рентгенографических измерений осевых радиационных макронапряжений $\sigma_{\text{ост}}$ в твэ-

лах низкотемпературных НС каналов КЭТ, ТКМ, ТКТ и ТК100 были отобраны топливные стержни без поломок, искривлений (углы скатывания β менее 2°) и поверхностных трещин. Результаты выполненных измерений $\sigma_{\text{ост}}$ [1] указали на то (см. рисунок 4), что непрерывный рост дозы облучения вплоть до глубины выгорания урана порядка $2 \cdot 10^{18} \text{ дел./см}^3$ не сопровождается непрерывным ростом сжимающих $\sigma_{\text{ост}}$ на поверхности твэла (и растягивающих $\sigma_{\text{ост}}$ внутри) до чрезмерно высоких значений, способных привести к разрушению стержня на фрагменты.

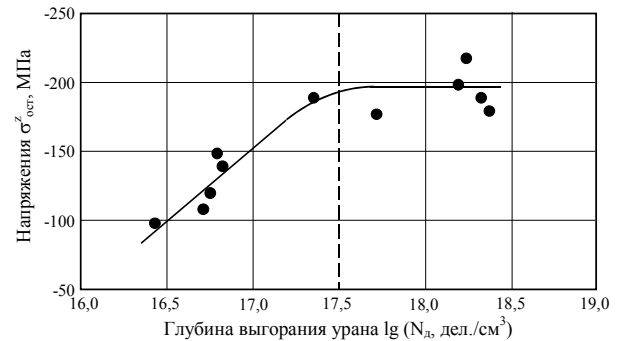


Рисунок 4. Дозовая зависимость нарастания радиационных макронапряжений в твэлах низкотемпературных НС каналов КЭТ, ТК100, ТКМ и ТКТ

Наращение напряжений $\sigma_{\text{ост}}$ (нарастание неоднородности распухания материала твэла), как видно из рисунка, прекращается после выгорания порядка $3 \cdot 10^{17} \text{ дел./см}^3$ (отмечено пунктиром), не достигнув 200 МПа. Таким образом, из полученного следует, что при рассмотрении причин разупрочнения и разрушения твэлов входных НС каналов КЭТ необходимо учитывать только влияние термических напряжений σ_t , как это и сделано во введении.

3. *Упрочняющее влияние напряжений $\sigma_{\text{ост}}$.* При определении характеристик поврежденности D и прочности σ_b твэлов всех выбранных каналов КЭТ, ТКМ, ТКТ и ТК100 было получено подтверждение тех известных экспериментальных фактов, что с увеличением количества реакторных пусков поврежденность твэлов увеличивается, а их прочность по сравнению с прочностью, достигнутой в первом пуске, снижается. В частности, характер увеличения D у твэлов каналов КЭТ показан на рисунке 5.

На этом рисунке, кроме того, можно видеть позитивное влияние энергетического пуска (ЭП) на состояние твэлов низкотемпературных секций в последующих типовых пусках. Действительно, поврежденность твэлов в первых двух НС быстро нарастает с увеличением количества пусков, однако после 5 типовых пусков она оказалась выше, чем после 6 пусков, представляющих собой пуск ЭП и 5 последующих типовых пусков.

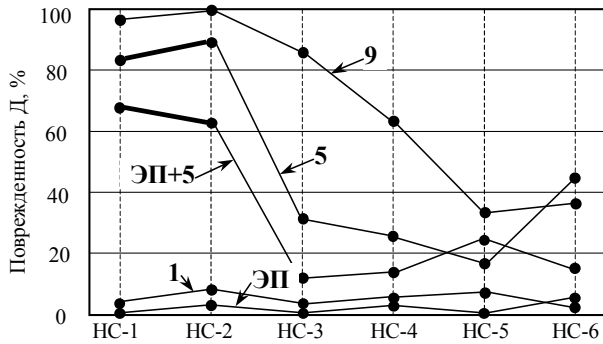


Рисунок 5. Распределение поврежденности твэлов по высоте ТВС каналов КЭТ, прошедших различное количество пусков в составе второй опытной активной зоны реактора ИВГ.1

Выявить позитивное влияние энергетического пуска на состояние твэлов каналов ТКМ, ТКТ и ТК100 не представлялось возможным, т.к. каналы ТКМ и ТКТ прошли только типовые пуски, а каналы ТК100 – или только пуск ЭП, или пуск ЭП с последующими двумя типовыми пусками.

Измерения прочности твэлов показали следующее. Изменения прочностных характеристик у твэлов каналов ТК100, ТКТ и ТКМ определялись в основном положительным влиянием радиационных напряжений $\sigma_{\text{ост}}$. Все твэлы этих каналов остались в упрочненном состоянии, хотя с увеличением количества реакторных пусков степень их упрочнения снижалась. Диапазон упрочнения твэлов низкотемпературных НС составлял 40-70 %.

Изменения прочностных характеристик у твэлов каналов КЭТ (см. рисунок 6) определялись как положительным влиянием радиационных напряжений $\sigma_{\text{ост}}$, так и отрицательным влиянием термических напряжений σ_t . Видно, что только после испытаний в условиях сравнительно мягкого режима энергетического пуска ($q_s < 1,6 \text{ МВт/м}^2$) твэлы всех НС остаются в упрочненном состоянии, а с увеличением количества пусков их упрочнение снижается и сменяется разупрочнением. При этом становится заметным позитивное влияние энергетического пуска на прочность твэлов НС-1 и НС-2: после испытаний в 5 типовых пусках с предшествующим пуском ЭП упрочнение твэлов составляет ~25 %, тогда как после испытаний в 5 типовых пусках без пуска ЭП их упрочнение находится на уровне 10 %.

К сказанному необходимо добавить, что подобное позитивное влияние пуска ЭП было зафиксировано и у твэлов каналов КЭТ, испытанных в составе четвертой опытной активной зоны реактора ИВГ.1: на рисунке 7 хорошо видно, что упрочнение твэлов НС-1 и НС-2 после испытаний в 2 типовых пусках с предшествующим пуском ЭП выше, чем после испытаний в 2 типовых пусках без пуска ЭП.

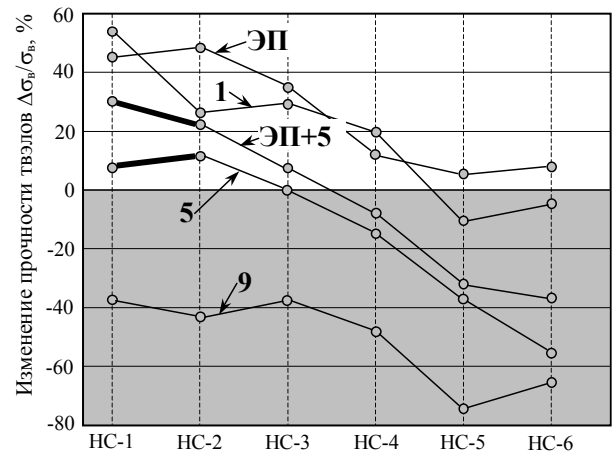


Рисунок 6. Изменение прочности твэлов по высоте ТВС каналов КЭТ, прошедших различное количество пусков в составе второй опытной активной зоны реактора ИВГ.1

Таким образом, полученные результаты показывают, что возникновение в твэлах напряжений $\sigma_{\text{ост}}$ в пуске ЭП снижает вероятность их повреждения поверхностными трещинами в последующих типовых пусках. Кроме того, что более важно, эти результаты можно рассматривать как результаты экспериментов, в которых исследовалось влияние некоторой предварительной упрочняющей обработки на состояние твэлов входных НС, испытываемых в серии типовых пусков реактора на двигателем режиме реактора ЯРД или ЯЭДУ, причем в качестве этой предварительной упрочняющей обработки выбрана обработка путем создания сжимающих радиационных макронапряжений $\sigma_{\text{ост}}$.

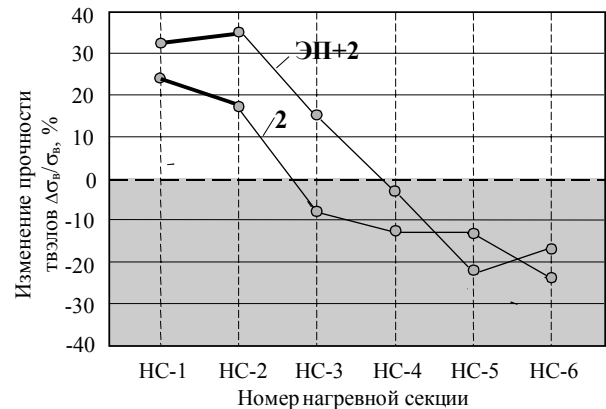


Рисунок 7. Изменение прочности твэлов по высоте ТВС каналов КЭТ, прошедших различное количество пусков в составе четвертой опытной активной зоны реактора ИВГ.1

Ясно, что если бы в пуске ЭП было создано предварительное упрочнение твэлов не на ~50 %, а на необходимые ~150 %, это гарантировало бы отсутствие возникновения поверхностных трещин в твэлах низкотемпературных НС. Поскольку при использовании способа предварительного упрочнения твэлов радиационными напряжениями $\sigma_{\text{ост}}$ реально

будет достигаться, по-видимому, не более чем 90-процентное упрочнение топливных стержней, обработка ТВЭлов, дающая необходимый уровень упрочнения, должна представлять собой комбинацию нескольких видов обработки, на что и было указано в предыдущем разделе.

Относительно возможностей повышения работоспособности ТВЭлов на двигателном режиме реактора ЯРД или ЯЭДУ необходимо перечислить несколько важных моментов.

Во-первых, напряжения σ_t при тепловых потоках до 12 МВт/м², как известно [22], сами по себе не разрушают ТВЭлы, а лишь повреждают их поверхностными трещинами; поломки ТВЭлов с трещинами происходят под воздействием вибрационных, бандажных и изгибных нагрузок. И если опасность вибрационных и бандажных нагрузок можно, по-видимому, лишь частично снизить путем создания, например, оптимальной величины исходного натяга в пучках ТВЭлов в НС (частота вибрационных колебаний ТВЭлов ω_t все равно будет находиться в диапазоне 2...8 кГц), то опасность изгибных нагрузок можно полностью исключить путем использования противозакруточных устройств в теплоизоляционном пакете. Поломки ТВЭлов в этом случае способны возникнуть только от вибрационных и бандажных нагрузок. При этом характер поломок не будет опасным: взаимные смещения фрагментов ТВЭлов и чрезмерные измельчения фрагментов происходить не будут. Следовательно, не будут происходить и значительные увеличения гидравлического сопротивления трактов охлаждения НС в каналах.

Во-вторых, возрастание растягивающих внутри ТВЭлов напряжений $\sigma_{ост}$ с ростом дозы их облучения, как уже установлено, не создает условий для поломок топливных стержней (а возрастание сжимающих на поверхностях ТВЭлов напряжения $\sigma_{ост}$ лишь повышает их прочность и термочность).

В-третьих, как уже известно, существует принципиальная возможность такого предварительного повышения прочности и термочности ТВЭлов, при котором в ТВЭлах входных НС при их эксплуатации на двигателном режиме реактора ЯРД или ЯЭДУ не будут возникать поверхностные трещины.

Из всего отмеченного следует, что окончательным решением рассматриваемого вопроса является совместное использование материаловедческих приемов предварительного упрочнения ТВЭлов и конструкционных приемов устранения возникновения в них изгибных напряжений, которое гарантирует полное сохранение работоспособности ТВЭлов на этом режиме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дерявко И.И., Егоров В.С., Ланин А.Г. и др. Рентгенографическое исследование остаточных макронапряжений в безоболочковых стержневых карбидных ТВЭлах. – Вестник НЯЦ РК. Сер. Ядерная физика и радиационное материаловедение, 2001, вып. 4, с. 95-100.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследовано состояние ТВЭлов технологических каналов различного типа (КЭТ, ТК100, ТКМ и ТКТ), испытанных в реакторах ИВГ.1 и ИРГИТ на двигателном режиме реактора ЯРД. Подтверждена недостаточная работоспособность ТВЭлов входных (низкотемпературных) нагревных секций каналов КЭТ, испытанных в условиях номинальных параметров двигателного режима реактора ЯРД.

2. Уточнена причина возникновения остаточных макронапряжений $\sigma_{ост}$ в облучаемых ТВЭлах: установлено отсутствие низкотемпературной релаксации изгибных напряжений в ТВЭлах в условиях высокоинтенсивного реакторного облучения, указавшее на то, что возникновение в ТВЭлах остаточных макронапряжений $\sigma_{ост}$ может иметь только радиационную природу.

Выяснена степень опасности нарастания остаточных радиационных макронапряжений $\sigma_{ост}$ в ТВЭлах с ростом дозы их облучения: построена дозовая зависимость увеличения этих напряжений в ТВЭлах низкотемпературных нагревных секций, показавшая, что растягивающие внутри ТВЭла остаточные напряжения $\sigma_{ост}$ не возрастают до опасно высоких значений (следовательно, повреждающее воздействие на ТВЭлы оказывают только растягивающие на поверхности ТВЭла термические напряжения σ_t).

Выявлено также положительное влияние энергетического пуска реактора (предшествующего серии типовых реакторных пусков) на состояние ТВЭлов, испытанных на двигателном режиме реактора ЯРД: в ТВЭлах низкотемпературных НС, упрочненных за счет возникновения в энергетическом пуске остаточных макронапряжений $\sigma_{ост}$, уменьшается вероятность образования поверхностных термических трещин в последующих типовых пусках, что приводит к меньшей поврежденности ТВЭлов Д, меньшему снижению упрочнения топливных стержней и меньшему их разупрочнению к концу испытаний.

3. Проанализированы возможности повышения работоспособности ТВЭлов входных нагревных секций путем их предварительного упрочнения термическими, радиационными или комбинированными способами, а также путем устранения в них изгибных напряжений посредством размещения в противозакруточных обоймах теплоизоляционного пакета. Выяснено, что существует принципиальная возможность создания такого улучшения состояния ТВЭлов и условий их эксплуатации, которое гарантирует сохранение работоспособности ТВЭлов низкотемпературных НС при полноресурсной эксплуатации на двигателном режиме реактора ЯРД или ЯЭДУ.

2. Дерявко И.И., Зеленский Д.И., Перепелкин И.Г. и др. Реакторная отработка стержневых карбидных твэлов ЯРД и ЯЭДУ. – Доклады на V межд. конф. "Ядерная энергетика в космосе, Подольск, 1999 г.", ч. 2, Подольск, ГосНИИ НПО "Луч", 1999, с. 539-543.
3. Дерявко И.И., Перепелкин И.Г., Пивоваров О.С. и др. Анализ возможностей повышения функциональной работоспособности твэлов реактора ЯРД. – Вестник НЯЦ РК. Сер. Атомная энергетика и безопасность АЭС, 2000, вып. 1, с. 88-92.
4. Андриевский Р.А., Ланин А.Г., Рымашевский Г.А. Прочность тугоплавких соединений. – М., Металлургия, 1975. – 232 с.
5. Ланин А.Г., Федоров В.Б., Егоров В.С. Экспериментальные методы определения термостойкости тугоплавких материалов. – Теплофизика высоких температур, 1966, т. 6, №6, с. 865-871.
6. Травушкин Г.Г., Букатов В.Г. Влияние высокотемпературного отжига на характеристики разрушения карбида циркония. – Порошковая металлургия, 1972, № 9, с. 63-64.
7. Бычков А.Х., Нешпор В.С., Ордоньянц С.С. Влияние пластической деформации на некоторые свойства карбида ниобия в области гомогенности. – Порошковая металлургия, 1974, № 7, с. 51-57.
8. Зубарев П.В. Жаропрочность фаз внедрения. – М., Металлургия, 1985. – 104 с.
9. Ланин А.Г., Турчин В.Н., Зубарев П.В. и др. Влияние программного упрочнения на механические свойства карбида циркония. – Физико-химическая обработка материалов, 1982, № 2, с. 88-92.
10. Дерявко И.И., Королева Г.В., Ланин А.Г., Притчин С.А. Влияние остаточных напряжений на разрушение карбидов тугоплавких металлов. – Сб. "Техника радиационного эксперимента", вып. 9, М., Энергоатомиздат, 1987, с. 93-97.
11. Lanin A.G., Deryavko I.I. Influence of residual stresses on thermal stress resistance of refractory ceramic. – J. of the European Ceramic Society, 2000, vol. 20, p. 209-213.
12. Егоров В.С., Ланин А.Г., Притчин С.А. Способ термической обработки изделий из карбидов тугоплавких металлов. – А. с. №710790, B22F 3/24, 1980.
13. Lanin A.G. Strength and thermal strength resistance of refractory compounds. – In: Materials science of carbides, nitrides and borides (edited by Y.G.Gogotsi and R.A.Andrievski), Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1999, series 3, vol. 68, p. 305-322.
14. Дерявко И.И., Тарасов В.И. Исследование изменений прочности твэлов после реакторных испытаний применительно к работе ЯЭДУ на двигателем и энергетическом режимах. Доклады на III отрасл. конф. "Ядерная энергетика в космосе. Ядерные ракетные двигатели, Семипалатинск-21, 1992 г.", ч. 2, Подольск, НИИ НПО "Луч", 1993, с. 791-799.
15. Дерявко И.И., Жданов В.С., Перепелкин И.Г., Черепнин Ю.С. Радиационная стойкость топливных карбидных материалов при облучении в низкоточном реакторе. – Вопросы атомной науки и техники. Сер. Радиационные повреждения и радиационное материаловедение, 1993, вып. 1(60), с. 90-92.
16. Черепнин Ю.С., Тухватулин Ш.Т., Зеленский Д.И. и др. Радиационная и радиационно-химическая стойкость безоболочковых стержневых карбидных твэлов. – Материалы II межд. конф. "Ядерная и радиационная физика, Алматы, 1999 г.", ч. 1, Алматы, ИЯФ НЯЦ РК, 1999, с. 34-43.
17. Дерявко И.И., Перепелкин И.Г., Пивоваров О.С. и др. Исследование радиационной стойкости стержневых безоболочковых карбидных твэлов в реакторе РА. – Вестник НЯЦ РК, Сер. Атомная энергетика и безопасность АЭС, 2000, вып. 1, с. 93-95.
18. Дерявко И.И. Причины радиационного упрочнения карбидных стержневых твэлов и карбидных безурановых стержней. – Вестник НЯЦ РК, 2004, вып. 3, с. 81-90.
19. Дерявко И.И., Тарасов В.И. Исследование изменений прочности твэлов после реакторных испытаний применительно к работе ЯЭДУ на двигателем и энергетическом режимах. Доклады на III отрасл. конф. "Ядерная энергетика в космосе. Ядерные ракетные двигатели, Семипалатинск-21, 1992 г.", ч. 2, Подольск, НИИ НПО "Луч", 1993, с. 791-799.
20. Дерявко И.И., Перепелкин И.Г., Пивоваров О.С., Стороженко А.Н. Экспрессные методики для послереакторного исследования безоболочковых стержневых карбидных твэлов. – Вестник НЯЦ РК, Сер. Ядерная физика и радиационное материаловедение, 2001, вып. 4, с. 88-94.
21. Дерявко И.И. Работоспособность стержневых керамических твэлов на энергетическом режиме малой мощности реактора ЯЭДУ. – Вестник НЯЦ РК, 2004, вып. 3, с. 91-99.
22. Федик И.И., Колесов В.С., Михайлов В.М. Температурные поля и термонапряжения в ядерных реакторах. – М., Энергоатомиздат, 1985. – 280 с.

ЯРД НЕМЕСЕ ЯЭДУ РЕАКТОРЫНЫҢ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫҚ РЕЖІМІНДЕГІ ӨЗЕКТІ КЕРАМИКАЛЫҚ ТВЭЛДЕРДІҢ ЖҰМЫС ҚАБІЛЕТТІЛІГІ

Дерявко И.И.

ҚР ҰАО Атом энергиясы институты, Қазақстан, Құрчатов

Қозғалтқыштық режимдегі ЯРД және ЯЭДУ реакторының ағынды сутегімен суытылатын технологиялық арналарындағы өзекті керамикалық твэлдердің қолданылу шарттары қаралды. ИВГ. 1 және ИРГИТ реакторларында, аталмыш режимдерде сыналған твэлдердің қолда барлары ұсынылған және реактордан кейінгі қосымша зерттеулер орындалған. ЯРД және ЯЭДУ реакторларының қозғалтқыш режиміндегі твэлдердің жұмыс қабілеттілігі туралы қорытынды жасалды.

**SERVICEABILITY OF ROD CERAMIC FUEL PINS
ON MOTORING CONDITIONS OF FTP OR NEMF REACTOR**

Deryavko I.I.

Institute of Atomic Energy of NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The operation conditions of rod ceramic fuel pins in the running hydrogen-cooled technological canals of FTP or NEMF reactor on the motoring conditions are considered. The available postreactor researches of the fuel pins are presented and the additional postreactor researches of fuel pins, tested on this mode in IVG.1 and IRGIT reactors, are carried out. The fuel pins serviceability on motoring conditions of FTP or NEMF reactor operation is concluded.

УДК 621.039

ВЫБОР РЕАКТОРА ДЛЯ АТЭС МАЛОЙ МОЩНОСТИ**Соловьев Ю.А., Лотов А.Б.***Национальный ядерный центр Республики Казахстан, Курчатов*

Рассмотрены два основных типа ядерных реакторов: свинцово-висмутовый (СВБР-75/100) и жидко-солевой реактор (ЖСР). Анализ проведен на основе общепринятых требований с учетом возможности строительства в республике. Сделан вывод о большей предпочтительности реактора типа СВБР-75/100 для строительства АТЭС малой мощности в Казахстане.

Прежде чем приступить к выбору реактора для АТЭС следует определиться, каким требованиям должен отвечать этот реактор в идеале, то есть реактор должен быть не только источником тепла, но и определять перспективу ядерной энергетики Казахстана.

По-видимому, основных требований семь:

1. Безопасность
2. Замыкание топливного цикла
3. Высокий КПД
4. Невысокая удельная стоимость, то есть стоимость установленного КВт менее 1000 долл/КВт.э.
5. Возможность изготовления основного оборудования в Казахстане
6. Возможность изготовления топлива и его регенерация так же в Казахстане
7. Срок строительно-монтажных работ не более 4-х лет.

В настоящее время все новые проекты и проекты модернизации реакторов обосновывают безопасность соответствующую требованиям МАГАТЭ, то есть вероятность аварии не более 10^{-6} 1/реакт.лет.

Для замыкания топливного цикла необходимо, чтобы коэффициент воспроизводства был больше единицы $KB > 1$, что позволяет вовлечь в топливный цикл ^{238}U , который в реакторе превращается в плутоний.

Все реакторы на тепловых нейтронах не соответствуют этому требованию ($KB \leq 0,7$).

Однако сейчас почти вся мировая энергетика основана на тепловых реакторах, то есть идет процесс выжигания ^{235}U . Ученые из ФТИ г.Снежинска подсчитали, что если после исчерпания основных источников нефти в 2030–40 г., всю мировую энергетику перевести на тепловые реакторы, то запасы оружейного плутония и урана будут израсходованы за 15 лет.

Поэтому тепловые реакторы следует исключить из рассмотрения.

Кроме того тепловые реакторы имеют невысокий КПД ~33% и высокую удельную стоимость выше 1000 долл/КВт.ч э.

Высокая удельная стоимость быстрых реакторов с охлаждением жидким натрием привела к закрытию их во всем мире кроме России.

Наиболее продвинутый проект модульного высокотемпературного реактора с гелиевым теплоносителем ГТ-МГР будет реализован лишь после 2010 года.

Поэтому для рассмотрения оставлены лишь два наиболее перспективных типа реакторов: жидко-солевой (ЖСР) и реактор, охлаждаемый свинцово-висмутовым расплавом, СВБР 75/100.

Жидкосолевые реакторы делятся на - гетерогенные, активная зона которых заполнена графитовыми стержнями с центральным отверстием, через которое прокачивают жидкосолевой расплав. Коэффициент воспроизводства $KB > 1,06$ – и более простые гомогенные, активная зона которых целиком заполнена жидкосолевым расплавом, но коэффициент воспроизводства $KB = 0,8$.

Гомогенный жидкосолевой реактор мощностью $N_r / N_g = 280/218$ МВт состоит из четырех модулей: корпуса реактора $D/H = 4/1/4/1$ м, тягового участка $D/H = 3/3,5$ м и двух сепараторов – парогенераторов $D/L = 3/5$ м. Внутренняя поверхность корпуса выложена графитовыми блоками $\sigma = 750$ мм являющихся отражателем нейтронов. Внутренняя полость корпуса заполнена расплавом фтористых солей (% мол. $71\text{LiF} + 16\text{BeF}_2 + 12\text{ThF}_4 - 1\text{UF}_4$). Циркуляция осуществляется с помощью газлифта. В качестве рабочего газа используется фтор-углерод из ряда $\text{C}_n\text{F}_{2n+2}$. Из испарителя фтор-углерод через сопла поступает в тяговый участок, нагревается до 670°C , в конденсаторе конденсируется и сливается в испаритель. Жидко-солевой расплав из тягового участка поступает в сепаратор, где освобождается от газа и далее обтекает трубки парогенератора. Внутри трубок циркулирует так же фтор-углерод, который испаряется, перегревается до 650°C и направляется на турбину. Давление пара $P = 2,6$ МПа (рисунок 1).

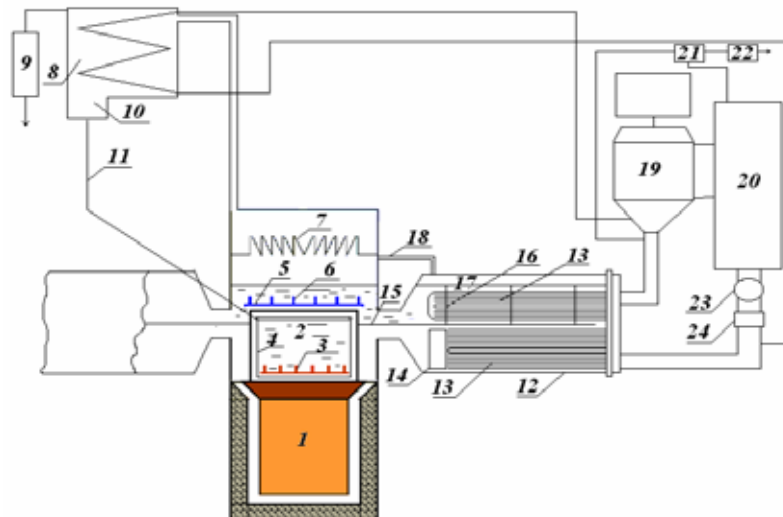


Рисунок 1. Гомогенный жидкосолевой реактор

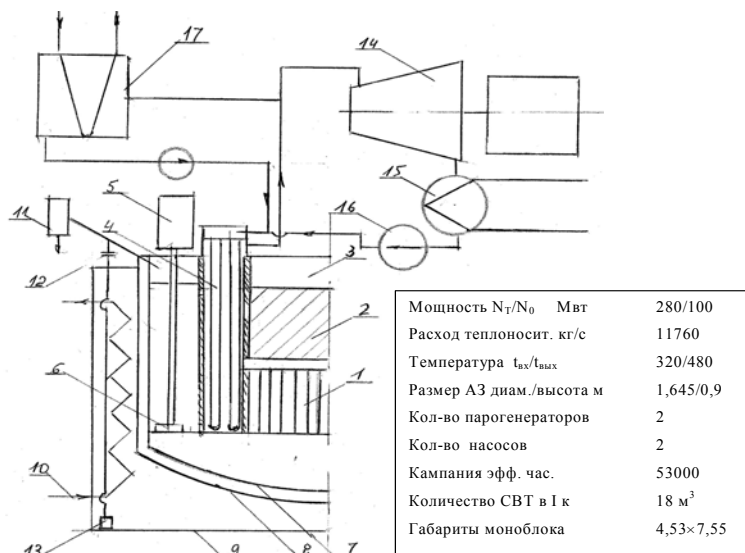
Реактор СВБР 75/100 представляет собой единый, транспортабельный модуль Д/Н=4,53/7,55 м. Внутри наружного корпуса установлен страховочный корпус. Пространство между ними заполнено водой обеспечивающей биологическую защиту. Внутри страховочного корпуса с воздушным зазором установлен корпус реактора. В активной зоне установлены безчехловые ТВС с твэлами диаметром от 9,1 до 12 мм. Теплоносителем служит свинцово-висмутовый сплав (45% РЬ – 55% ВЬ) $t_{пл}=125^{\circ}\text{C}$. Циркуляция осуществляется двумя насосами $N = 450 \text{ кВт}$ через два парогенератора, которые выдают 580 т/г водяного пара с температурой $t = 450^{\circ}\text{C}$ и давлением $P = 9,5 \text{ МПа}$. В активной зоне могут быть установлены твэлы с разным составом топлива:

- окись урана обогащением 16% КВА = 0,8

- МОХ-топливо из окиси плутония 1306 кг КВА $\geq$ 1
- ТРУОХ-топливо из окиси плутония 1360 кг и окиси малых актинидов 218 кг -КВА $\geq$ 1
- уран-нитридное топливо урана 1763 кг КВА $\geq$ 1.

Перегрузка 1 раз в восемь лет. При этом полностью заменяют все ТВС и ставят их на выдержку с последующей регенерацией после отработки ее технологии.

В аварийной ситуации при разрыве трубок парогенератора пар поступает в расплав и в виде пузырей удаляется с его поверхности в конденсатор. После срабатывания аварийной защиты реактор глушится. Расхолаживание может происходить даже без циркуляции теплоносителя за счет теплоотвода в водяной бак. Время невмешательства – пять суток (рисунок 2).



1-Активная зона-10-Теплообменник; 2-Защитная пробка-11-Конденсатор; 3-Газовое пространство -12-Разрывная мембрана; 4-Парогенератор-13-Барботер; 5-Эл. двигатель-14-Турбина; 6-Насос-15-Конденсатор; 7-Основной корпус-16-Питательный насос; 8-Страховочный корпус-17-Теплообменник отопления; 9-Водяной бак.

Рисунок 2. Реактор СВБР 75/100

ВЫБОР РЕАКТОРА ДЛЯ АТЭС МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Таблица 1. Сравнение характеристик двух реакторов

№ п/п		С реактором ГЖРС	С реактором СВБР – 75/10
1	Мощность N_T/N_0 , МВт	280/218	280/100
2	Диаметр и высота наибольшего модуля м.	4,11/4,11	4,53/7,55 1 модуль
3	К П Д	>0,5	0,357
4	Коэффициент воспроизводства КВ	0,8÷1,06	1
5	Глубина выгорания МВт ед./кг	120	120
6	Количество механизмов СУЗ	5	37
7	Количество контуров	3	2
8	Давление в I-ом контуре Мпа	1,5	0,5
9	Возможность работать в режиме следования за нагрузкой	Да	Нет
10	Качество нарабатываемого топлива	Высокое	Низкое
11	Безопасность в вероятности аварии 1/р.лет	10^{-6}	10^{-6}
12	Запас реактивности	< β	< β
13	Потеря теплоносителя		авария
Технические обеспечения			
1	Изготовление топлива	Казахстан	Россия
2	Переработка облученного топлива	Казахстан	Россия
3	Возможность сжигание актиимидов	Да	Да
4	Возможность изготовления а) корпус реактора б) механизм СУЗ в) парогенераторы г) турбогенераторы	Казахстан Казахстан Казахстан Россия	Россия Россия Россия Россия
5	Строительство центрального зала	Нет	Да
Перспективы развития направления			
1	Возможность использования тепла для высокотемпературной химии	Да	Нет
2	Возможность получения водорода	Да	Нет
3	Стоимость установленного кВт долл./кВт	300-400	600

Как видно из таблицы 1 реактор ЖСР предпочтительнее, чем СВБР: высокий КПД, высокое качество нарабатываемого топлива, отсутствие аварии при потере теплоносителя, меньшее количество более простых механизмов СУЗ, возможность изготовления оборудования и топлива в Казахстане, возможность производства водорода.

Казалось бы, для АТЭС следует выбрать реактор ЖСР, но реактор СВБР имеет решающее преимущество: имеются готовые модули заводского изготовления, надежность которых проверена на подводных лодках проекта 705.

Для повышения экономической эффективности СВБР проектанты (ФЭИ г.Обнинска) предлагают следующее: использовать облученное ядерное топливо (ОЯТ) тепловых реакторов без дорогостоящего выделения плутония. Для этого после длительного хранения в течение 50 лет ОЯТ использовать в качестве топлива подпитки вместо отвалного урана. При этом доля ОЯТ в свежем топливе для реактора СВБР – 75/100 составит около 10-12%, а доля плутония в ОЯТ менее 1%.

Тогда влияние изотопного состава плутония в ОЯТ на изотопный состав свежего топлива становится пренебрежимо малым.

Мы предлагаем еще один способ повышения экономической эффективности.

Отработавшие кампанию ТВС с МОХ-топливом после выдержки в течение трех лет разобрать. На

каждый ТВЭЛ надеть чехол. Так на ТВЭЛ Ø12 надеть чехол из трубки Ø 14 0,4. Зазор между трубками заполнить свинцово- висмутовым расплавом и приварить сверху крышку. Проверить на герметичность и собрать ТВС с шагом между твэлами равными 15 мм, вместо шага 13,6 мм.

Физический расчет по программе MC NP – 4 в показал, что при первой загрузке для твэлов Ø 12 $K_{эфф} = 1,24$, а при загрузке твэлов Ø 14 мм $K_{эфф}=1,145$, то есть активная зона работоспособна. Таким образом, на одном комплекте ТВС реактор может проработать 16 лет.

Возникает вопрос, а нельзя ли ядерную энергетику Казахстана создать на основе реакторов СВБР? Тем более, что возможно объединение 16-ти модулей СВБР в одном контейменте. Причем ввод в эксплуатацию первого модуля через 3,5 года, и его работа не мешает строительству следующих модулей, т.к. каждый из них находится в своем боксе. В одном контейменте komponуется 16 реакторов СВБР-75/100, работающих на одну турбину $N_0 = 1600\text{МВт}$. На втором этапе развития ядерной энергетики Казахстана после создания рабочего проекта можно перейти к строительству АЭС на основе реакторов ЖСР большой мощности $N=1000\text{МВт.э}$.

Это не только снизит стоимость АЭС, но и избавит от зависимости от России, т.к. все оборудование и топливо можно изготовить в Казахстане.

Требования к реакторам АТЭЦ

1. Безопасность
2. Замыкание топливного цикла
3. Высокий КПД
4. Невысокая удельная стоимость, то есть стоимость установленного КВт менее 1000 долл/КВт.э.

5. Возможность изготовления основного оборудования в Казахстане
6. Возможность изготовления топлива и его регенерация так же в Казахстане
7. Срок строительно-монтажных работ не более 4-х лет.

АЗ КҮШТІ АТЭО-НА АРНАЛҒАН РЕАКТОРДЫ ТАҢДАУ

Соловьев Ю.А., Лотов А.Б.

Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығы, Курчатов

Ядролық реактордың басты екі түрі қаралған: қорғасын-висмуты (ҚВЖР-75/100) және сұйық-тұзды реактор (СТР). Талдау республикада салу мүмкіндігімен келістіре жалпы қабылданған талаптарға байланысты қаралған. Аз күшті АТЭО-ны Қазақстанда салу үшін реактордың ҚВЖР-75/100 түрін көбірек ұнайтандығы жайында қортынды шығарды.

THE SELECTION OF REACTOR FOR LOW-POWERED NUCLEAR COGENERATION PLANT.

U.A. Solovev, A.B. Lotov

National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov

The two general types of reactor has considered. It was lead-bismuth (SVBR-75/100) and liquid-saline (GSR) reactor. Analyze has done by general requirements with republic possibility building. Is drawn a conclusion about the greater preferability of the reactor such as SVBR-75/100 for building nuclear cogeneration plant low-power in Kazakhstan.

СПИСОК АВТОРОВ

Ажниязова Г.Т., 76
Антропова Т.Б., 38
Аргынбекова А.С., 62
Аргынбекова А.С., 56, 59
Бакланов В.В., 85
Гринштейн Ю.А., 9
Гулькин А.В., 72
Дерявко И.И., 85, 90
Егоров В.Г., 33
Елаков А.Л., 33
Жакиянова Ж.О., 56
Жетписбаев Б.А., 56, 59, 62
Жетписбаев Г.А., 56, 59, 62
Зайкова И.О., 38
Исмаев Е.И., 76
Калибекова А.Д., 59
Коянбаев Е.Т., 85

Кукушкин И.М., 85
Кутербеков К.А., 76
Логачев Ю.В., 65
Лотов А.Б., 99
Макашев Ж.К., 48, 52
Малышева Е.В., 85
Митяев А.В., 16
Молдагалиев А.К., 76
Мыларщиков А.В., 38
Николкин В.Н., 25
Осинцев А.Ю., 16
Осипов А.Н., 33
Плотников С.В., 72
Польский О.Г., 33
Постников Д.В., 72
Потапов А.А., 21
Самойлов В.Я., 21

Соловьев Ю.А., 99
Стрильчук Ю.Г., 16
Сынзыныс Б.И., 33
Сыпин В.Д., 33
Талалаева Г.В., 38
Трапезников А.В., 25
Трапезникова В.Н., 25
Тугельбаев С.С., 5
Тукашев Ж.Б., 76
Усенова О., 62
Утешев А.Б., 48, 52
Утешев Т.А., 48, 52
Хайкович И.М., 9
Юшков П.И., 25
Якупов В.С., 21

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 25 мм; справа 15 мм, на принтере с высоким разрешением (300-600 dpi).

Используются шрифт Times New Roman высотой 10 пунктов для обычного текста и 12 пунктов для заголовков.

Текст печатается через один интервал, между абзацами 2 интервала.

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 3 интервала, 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, организации, 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;
- иллюстрации (графики, схемы, диаграммы) должны быть выполнены на компьютере или в виде четких чертежей, выполненных тушью на белом листе формата А4. На обороте рисунка проставляется его номер. В рукописном варианте на полях указывается место размещения рисунка;
- математические формулы в тексте должны быть набраны как объект Microsoft Equation. Химические формулы и символы должны быть набраны при помощи инструментов Microsoft Word. Формулы в виде рисунков не допускаются. 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;
- 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 к.ф.-м.н. М.К. Мукушева
тел. (095) 745-54-04, (322-51) 2-33-35, E-mail: MUKUSHEVA@NNC.KZ

Технический редактор А.Г. Кислухин
тел. (322-51) 2-33-33, E-mail: KISLUHIN@NNC.KZ

Адрес редакции: 490060, Казахстан, г. Курчатов, ул. Ленина, 6.

© 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
490060, Казахстан, г. Курчатов, ул. Ленина, 6.

