

ISSN 1729-7516

Вестник НЯЦ РК

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ВЫПУСК 3(19), СЕНТЯБРЬ 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 ЖҰМЫС

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫНЫҢ
МЕРЗІМДІК ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ ЖУРНАЛЫ

3(19) ШЫҒАРЫМ, ҚЫРҚҮЙЕК, 2004 ЖЫЛ

NYC IRK Bulletin

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

ISSUE 3(19), SEPTEMBER 2004



Научному руководителю
Национального ядерного центра Республики Казахстан,
заслуженному деятелю науки и техники Казахстана,
академику НАН РК, академику международных академий, профессору

ЖАБАГЫ СУЛЕЙМЕНОВИЧУ ТАКИБАЕВУ

28 сентября 2004 года исполнилось 85 лет

ПАТРИАРХ ФИЗИЧЕСКОЙ НАУКИ КАЗАХСТАНА

Жабагы (Жавкен) Сулейменович Такибаев внес огромный вклад в становление и развитие физической науки, как в Казахстане, так и за рубежом, является основателем многих направлений и школ в области физической науки Казахстана. С его именем связано создание и развитие в нашей республике таких направлений, как физика высоких энергий, элементарных частиц и космических лучей, классическая электродинамика, ядерная физика, прикладные проблемы ядерной физики, нетрадиционная энергетика, физика твердого тела и полупроводников, автоматизация физических исследований, безопасность атомной энергетики, радиационная экология и многое другое.

Жабагы Сулейменович родился в г. Семипалатинске. Семья пострадала от репрессий и он рано остался без родителей, воспитывался в семипалатинских детских домах. В 1942 г. с отличием закончил физико-математический факультет Среднеазиатского государственного университета и был направлен на педагогическую работу в Кара-Калпакский пединститут, в 1945 году Ж.С. Такибаев поступает в аспирантуру отдела теоретической физики Физического института АН СССР им. П.Н. Лебедева в г. Москве.

Встреча с выдающимся советским физиком, лауреатом Нобелевской премии, академиком И.Е. Таммом и академиком, будущим руководителем Отделения ядерной физики АН СССР М.А. Марковым, учеба в аспирантуре под их руководством, участие в творческих семинарах и дискуссиях вместе с А.Д. Сахаровым и Г.И. Марчуком определили становление Ж.С. Такибаева как ученого и организатора науки.

В ФИАН СССР Ж.С.Такибаевым были защищены кандидатская – 1949г., а в 1958 г. докторская диссертации. В 1958 г. ему присваивается звание профессора, и он избирается академиком Академии наук КазССР.

Еще, будучи аспирантом, при посредстве директора ФИАН СССР, Президента Академии наук СССР С.И.Вавилова, Ж.С.Такибаев познакомился с Президентом АН КазССР К.И. Сатпаевым. С этого момента Жабагы Сулейменович всегда имел поддержку Каныша Имантаевича в осуществлении своих научных и организационных планов.

По окончании аспирантуры Ж.С.Такибаев был принят на работу научным сотрудником сразу двух лабораторий ФИАНа: лаборатории космических лучей, возглавляемой академиком В.И.Векслером и лаборатории нейтронной физики, руководителем которой был лауреат Нобелевской премии академик И.М. Франк. Вскоре он получает персональное приглашение К.И. Сатпаева в Алматы, в Институт астрономии и физики, созданный в АН КазССР в 1941 году, на должность научного сотрудника и, практически сразу, назначается заведующим вновь созданной лаборатории космических лучей с напутственными словами К.И. Сатпаева: «Сам молодой, лаборатория молодая, в народе говорят, что талант и смекалка у молодых: берись и дерзай». Эти слова К.И. Сатпаева стали жизненным девизом Ж.С. Такибаева, который всеми своими последующими созидательными делами оправдал надежды К.И. Сатпаева. Академик РАН М.А. Марков так характеризует своего ученика: «Ж.С. Такибаев организовал три института Вашей Академии (АН КазССР) и везде был первым директором, в его

лице и через него выполнялись программы развития физической науки в Казахстане».

С 1949 по 1951 годы Ж.С. Такибаев, работая заведующим лабораторией космических лучей, подготовил базу для создания первого в Казахстане института с чисто физическим профилем – физико-технического (ФТИ), открытого в 1951 году и стал его директором.

Следующей созидательной вехой на жизненном пути Ж.С. Такибаева было создание многопрофильного Института ядерной физики (1957г.). Ж.С. Такибаевым было определено территориальное расположение нового института, им внесен огромный вклад в обустройство поселка Института ядерной физики, обустройство исследовательскими и хозяйственными, мелкими и крупными установками, самой крупной из которых был атомный реактор – ВВР-К. Он был одним из главных инициаторов осуществления этого проекта и внес значительный вклад в его реализацию. Ж.С. Такибаев стал первым директором, организованного им Института ядерной физики АН КазССР. Затем Ж.С. Такибаев создает Институт физики высоких энергий АН КазССР (1970г.), является его первым директором. По его инициативе и под его руководством созданы высокогорная станция космических лучей и просмотрово-измерительный комплекс Института физики высоких энергий АН КазССР. Плодотворные научные исследования Ж.С. Такибаев совмещает с активной педагогической деятельностью. С 1952 г. он преподавал в вузах Казахстана, главным образом в Казахском государственном университете им. Аль-Фараби, где основал кафедру ядерной физики, и продолжает трудиться и поныне.

Ж.С. Такибаев является действительным членом НАН РК уже более 40 лет. В 1962 году он избирается академиком-секретарем Отделения физико-математических наук, в течение 10 лет занимал пост вице-президента Академии наук. Важным этапом его жизни является совместная работа с К.И. Сатпаевым во главе АН КазССР.

С 1993 года его творческая деятельность связана со становлением и развитием Национального ядерного центра Республики Казахстан (НЯЦ РК). Ж.С. Такибаев назначается Правительством Республики Казахстан на должность Научного руководителя Национального ядерного центра. С момента создания НЯЦ РК он осуществляет научное руководство разработкой и выполнением Республиканской целевой научно-технической программы «Развитие атомной энергетики в Казахстане», определяет приоритетные направления научной деятельности Центра – это конверсия Семипалатинского испытательного полигона, радиационная экология и безопасность атомной энергетики. Активно участвует в создании совместных конверсионных предприятий, таких как казахстано-американское предприятие «ККИНТЕРКОННЕКТ» и др. Выступает инициатором и проводит большую работу по созданию сво-

бодной экономической зоны в пос. Алатау и г. Курчатове. Ж.С. Такибаев вкладывает свои знания и опыт в развитие и укрепление НЯЦ РК, является его представителем на международной арене, выступает с докладами на крупных Международных конференциях, является председателем докторского диссертационного совета, читает лекции в университетах Японии, Англии, США, Турции, европейских странах, в МГУ им. М.В. Ломоносова. В настоящее время НЯЦ РК стал одним из ведущих научных центров Республики, имеющий высокий международный авторитет.

Ж.С. Такибаев трудится на самых передних рубежах физической науки и стремление найти практическое применение всем научным изысканиям в народном хозяйстве Казахстана – основное его жизненное кредо. Президент нашей страны Н.А. Назарбаев неоднократно встречался и обсуждал с Ж.С. Такибаевым пути развития науки Казахстана. Ж.С. Такибаев был в числе трех ведущих академиков страны, с которыми состоялись встречи и беседы Президента Н.А. Назарбаева о состоянии науки Казахстана и ее будущем развитии. В беседах с главой государства Ж.С. Такибаевым затрагивались многие вопросы, в том числе, приоритетные направления деятельности НЯЦ РК – радиационная экология, ядерная энергетика, регистрация и изучение ядерных подземных взрывов, производимых на испытательных полигонах в Китае, США, Франции и т.д. Деятельность Ж.С. Такибаева на посту научного руководителя НЯЦ РК отличается разносторонностью его научных интересов. В последние годы ряд работ посвящен разработкам по безопасности атомных реакторов, захоронению радиоактивных отходов, ликвидации последствий испытаний ядерного оружия и выявлению радиоактивных загрязнений на территории Казахстана, конверсии Семипалатинского испытательного полигона.

В многочисленных научных трудах Ж.С. Такибаева, им лично или совместно с учениками и коллегами получены важные теоретические и экспериментальные результаты в широком диапазоне физических наук, имеющие как фундаментальное, так и прикладное народно-хозяйственное значение.

Свидетельством неистощаемой творческой активности ученого явилась вышедшая в конце 2002 г. в научно-издательском центре «Гылым» монография на очень актуальную и злободневную тему. Она названа автором «Атомная энергия – разрушающая и созидаящая». Выход в свет такой книги является своевременным и актуальным для нашей страны. В монографии освещены проблемы ядерных полигонов, находящихся на территории республики, показаны пути решения этих проблем. Под научным руководством автора книги не только проведены комплексные исследования радиоэкологической обстановки в Казахстане, но и создана школа физиков-радиоэкологов, способная в короткие сроки

оценить радиационную ситуацию в любом регионе республики. Ж.С. Такибаев уделил большое внимание путям и методам достижения воспроизводимости и достоверности получаемых радиоэкологических результатов, поскольку это является отправной точкой для исследований в медицине, биологии, других областях науки. Обнародование результатов таких исследований будет способствовать снятию радиофобии у населения.

Убежденный в экологической и экономической целесообразности, высокой эффективности и (при строгом соблюдении всех необходимых требований) полной безопасности разрабатываемых технологий проектирования, строительства и эксплуатации АЭС Ж.С. Такибаев отстаивает ту точку зрения, что только развитие атомной энергетики в Казахстане даст возможность нашей стране достичь полной энергонезависимости.

Ж.С. Такибаев, всегда стоял на позициях необходимости закрытия Семипалатинского испытательного полигона. В своих воспоминаниях, опубликованных в печати, он говорит об истории создания полигона. «В самом начале, в 1947 году, на заседании Правительства после доклада Берия Л.П. о создании полигона, при обсуждении его места расположения, высказывались сомнения в правильности выбора территории. Позднее в моих беседах с академиком А.Д. Сахаровым у нас сложилось согласованное мнение о том, что полигон находится в окружении промышленно развитых районов, поэтому место выбрано не удачно. В 1957 году при встрече и беседе в Академии наук КазССР И.В. Курчатова и Ю.Б. Харитона с К.И. Сатпаевым и мной снова поднимался вопрос о месте для полигона, в ответ И.В. Курчатова сказал, что полигон работает, там проводятся испытания ядерного и термоядерного

оружия, и это уже свершившийся факт. И, тем не менее, в 1959 году М.О. Ауэзовым и мной было написано письмо на имя 1-го секретаря ЦК КПСС Н.С. Хрущева о необходимости переноса Семипалатинского полигона. Письмо находилось в архиве полигона и в настоящее время вместе с ним вывезено в Москву».

Ж.С. Такибаев воспитал большое число учеников. Под его руководством защищались докторские и кандидатские диссертации. Его ученики стали крупными учеными, имеют свои научные направления и школы.

Ж.С. Такибаев принадлежит к числу видных общественных деятелей нашей республики, он был депутатом Верховного Совета Казахстана, входил в состав его Президиума, являлся председателем Проблемного совета по ядерной физике и физике элементарных частиц при АН КазССР, членом Комитета по Государственным премиям в области науки и техники Казахстана, членом ученых советов ряда научно-исследовательских институтов гг. Москвы и Алматы, председателем диссертационных советов.

Ж.С. Такибаева отличает высокая энциклопедическая эрудиция, компетентность и требовательность в сочетании с добрыми человеческими качествами, простотой и демократичностью. За большие заслуги в развитии физической науки, плодотворную педагогическую деятельность и подготовку высококвалифицированных научных кадров Ж.С. Такибаев удостоен звания «Заслуженный деятель науки и техники Казахской ССР», награжден орденами Трудового Красного Знамени (СССР), «Парасат» (РК), медалями, Почетными грамотами Президиума Верховного Совета Казахской ССР, лауреат премии «Тарлан-2002».

Желаем нашему юбиляру доброго здоровья, семейного благополучия, активного участия в решении актуальных задач науки Казахстана, новых плодотворных созидających замыслов и их успешного осуществления.

Коллектив Национального ядерного центра Республики Казахстан

СОДЕРЖАНИЕ

МЕХАНИЗМЫ ВТОРИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА ТЕХНОГЕННЫМИ РАДИОНУКЛИДАМИ И МЕТОДЫ ЕГО ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ.....	7
Процкий А.В., Артемьев О.И., Башенова А.Д.	
ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МЕР ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАДИАЦИОННОЙ И СОЦИАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ МАСШТАБНОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ ТЕРРИТОРИЙ ТЕХНОГЕННЫМИ РАДИОНУКЛИДАМИ	13
Волобуев П.В., Птицкая Л.Д.	
КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ ПРОТИВОЛУЧЕВЫХ СРЕДСТВ (Аналитический обзор)	18
Кадырова Н.Ж.	
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs В ПОЙМЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ РЕКИ ТЕЧА	26
Смагин А.И.	
ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ БИОТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПУТЕЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ ПРИ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ НА СИП И В ДРУГИХ МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ	32
Ветринская Н.И., Голдобина Е.А.	
ДИНАМИКА ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ СМЕРТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ РАЙОНОВ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ, ПОДВЕРГАВШИХСЯ ОБЛУЧЕНИЮ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИСПЫТАНИЙ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ (1949-1975 гг.).....	40
Гусев Б.И., Пивина Л.М., Апсаликов К.Н., Раисова Г.К., Щербакова С.В., Жазыкбаева Л.К., Мансарина А.Е., Саматугина О.Н., Гроше Б., Бауэр С.	
ДИНАМИКА ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ СМЕРТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ РАЙОНОВ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ, ПОДВЕРГАВШИХСЯ ОБЛУЧЕНИЮ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИСПЫТАНИЙ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ (1976-1998 гг.).....	45
Гусев Б.И., Пивина Л.М., Апсаликов К.Н., Щербакова С.В., Мансарина А.Е., Саматугина О.Н., Гроше Б., Бауэр С.	
ДИНАМИКА ОБЩЕЙ И ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ СМЕРТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ, ПОДВЕРГАВШЕГОСЯ ДЕЙСТВИЮ РАДИАЦИОННЫХ И НЕРАДИАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ЗА ПЕРИОД 1990-2000 гг.	50
Гусев Б.И., Пивина Л.М., Апсаликов К.Н., Чайжунусова Н.Ж., Гроше Б., Бауэр С., Курумбаев Р.Р.	
РЕТРОСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ, СЛОЖИВШЕЙСЯ НА ТЕРРИТОРИИ г. УСТЬ-КАМЕНОГОРСКА И НЕКОТОРЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИСПЫТАНИЙ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ЯДЕРНОМ ПОЛИГОНЕ	56
Куракина Н.Н., Апсаликов К.Н., Гусев Б.И., Пивина Л.М.	
КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ УРОВНЕМ КАТЕХОЛАМИНОВ И ПОКАЗАТЕЛЯМИ ХОЛИНЭСТЕРАЗНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МАЛЫХ ДОЗ РАДИАЦИИ У ЛИКВИДАТОРОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС	65
Макашев Ж.К., Журнист А.Г., Утешев А.Б., Абылаев Ж.А.	
ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИМПАТОАДРЕНАЛОВОЙ И ХОЛИНЭСТАРАЗНОЙ СИСТЕМ У ЛИКВИДАТОРОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗОБРАЗУЮЩИХ ФАКТОРОВ	72
Макашев Ж.К., Журнист А.Г., Утешев А.Б., Абылаев Ж.А.	
ПОВЫШЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ЗАЩИТЫ ИМПУЛЬСНОГО РЕАКТОРА ОТ ОШИБОЧНЫХ ИЛИ ПРОТИВОПРАВНЫХ ДЕЙСТВИЙ	77
Горин Н.В., Щербина А.Н.	

ПРИЧИНЫ РАДИАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ КАРБИДНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ ТВЭЛОВ И КАРБИДНЫХ БЕЗУРАНОВЫХ СТЕРЖНЕЙ	81
Дерявко И.И.	
РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СТЕРЖНЕВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ТВЭЛОВ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ МАЛОЙ МОЩНОСТИ РЕАКТОРА ЯЭДУ	91
Дерявко И.И.	
ПОСЛЕРЕКТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ТВЭЛОВ, ИСПЫТАННЫХ В АЗОТООХЛАЖДАЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАНАЛАХ АТК	100
Дерявко И.И.	
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РАЙОНАХ ТЯНЬ-ШАНЯ И ПАМИРА	104
Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.	
О ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ В РАЙОНЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ: ВЫДЕЛЕНИЕ АНОМАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ	111
Копничев Ю.Ф., Михайлова Н.Н., Соколова И.Н.	
РАСПОЗНАВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЯХ ПО ЗАПИСЯМ СТАНЦИЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЕТИ ИЯЦ РК.....	119
Соколова И.Н.	
ЛОКАЛЬНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ АНОМАЛИИ В ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЕ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ В ШТОЛЬНЯХ.....	124
Бусыгин В.П., Андреев А.И.	

УДК 504.054:539.16

МЕХАНИЗМЫ ВТОРИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА ТЕХНОГЕННЫМИ РАДИОНУКЛИДАМИ И МЕТОДЫ ЕГО ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ¹Процкий А.В., ¹Артемьев О.И., ²Башенова А.Д.¹*Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*²*Семипалатинский государственный университет им. Шакарима, Семипалатинск, Казахстан*

Сделан обзор материалов по исследованию механизмов возникновения вторичного загрязнения территорий с радиоактивными выпадениями и возможных методах его предотвращения. Приведены результаты экспериментальных исследований по применению интерполимерных комплексов для направленной миграции радионуклидов в почве, а также структурирования и агрегации почвы для предотвращения пылевой миграции.

ВВЕДЕНИЕ

Основным источником радиоактивного загрязнения окружающей среды Семипалатинского испытательного полигона (СИП) явились ядерные испытания. Радионуклиды, образовавшиеся при ядерных взрывах за весь период испытаний, выпали на территорию СИП и за его пределами. Это создало весьма сложную радиационную обстановку, которая эволюционирует во времени. Перераспределение активности по поверхности земли на территории полигона и прилегающих к нему регионов происходит по сей день. Выпав в какой-либо форме на поверхность земли, радионуклиды могут перераспределяться и мигрировать в результате ветрового переноса (пыльные бури, степные пожары), а также переноса поверхностными и подземными водами [1-4]. В настоящее время пылевой и водный перенос являются основными механизмами миграции радионуклидов в окружающей среде. Причем в условиях СИП оба вида радионуклидного переноса являются взаимодополняющими. Так, на территории бывшей испытательной площадки "Дегелен" наблюдаются водопроявления – приштольневые ручьи, несущие в своих водах большие количества радионуклидов. Многие из этих ручьев пересыхают в летний период, оставляя при этом переносимые водой радионуклиды в поверхностных слоях почвы своих русел, что способствует увеличению распространения радионуклидов по территории региона посредством пылевого переноса. При возобновлении же водотока радиоактивные элементы, находящиеся в поверхностных слоях почвы русел ручьев, вновь вовлекаются в движение воды и, вместе с выносимыми из штольни радионуклидами, переносятся уже на более значительные расстояния.

Кроме того, наличие водопритока благоприятно сказывается на развитии растительности, особенно на низменных территориях. Таким образом, наличие радиоактивного загрязнения (причем не только в воде, но, как следствие этого, и на местности, где пролегают русла водотоков) может повлечь за собой, с большой долей вероятности, проникновение радионуклидов в пищевую цепочку "вода (почва) – растения – животные – человек". Вода и растения –

одни из важнейших звеньев экологической цепочки, по которой продукты ядерных взрывов переходят в организм животных и человека.

Сильные ветры, пыльные бури, степные пожары, характерные для территории СИП, способствуют увеличению объемов дефляции – подъему в воздух выпавших на земную поверхность техногенных радионуклидов вместе с частичками почвы [5]. Воспрепятствовать процессу дефляции можно применением интерполимерных комплексов (ИПК). Известно, что интерполимерные комплексы используются в качестве структурирующих агентов, улучшающих свойства почв, а также для укрепления и стабилизации сыпучих поверхностей [6,7].

МЕХАНИЗМЫ ВЕТРОВОГО ПЕРЕНОСА И ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЯ

Механизм ветрового пылеобразования заключается в следующем [8]. При небольшой скорости ветра (2-3 м/с) наиболее мелкие радиоактивные частицы пыли поднимаются с поверхности почвы в результате стохастического прорыва турбулентных вихрей к поверхности земли. При указанной скорости ветра эта пыль не оседает под действием силы тяжести, размеры таких пылевых частиц в основном составляют сотые и десятые доли микрометра, достигая 1-2 мкм. Более крупные частицы радиоактивной пыли слишком тяжелы, чтобы долго удерживаться в воздухе, они поднимаются турбулентными вихрями в воздух и снова оседают, передвигаясь в ветровом потоке скачкообразно. Это так называемый эффект сальтации. Сальтация является основным механизмом пылеобразования при увеличении скорости ветра до значений, при которых начинается ветровая эрозия. Размеры пылевых частиц при этом возрастают до 100 мкм. При падении частицы иногда рекошетируют от поверхности почвы, повторяя свой прыжок, или же передают свой импульс другим частицам, которые начинают в свою очередь подсакивать или перекачиваться. При большой скорости ветра катящиеся частицы, сталкиваясь с более крупными, выступающими над поверхностью, могут в благоприятном случае получить сильный направленный вверх импульс и начать подсакивать. Если сравнительно крупные частицы при

движении по поверхности земли натапливаются на частицы более мелкой фракции, то это вызывает вовлечение в процесс дефляции практически всех последних. Таким образом, процесс переноса пыли ветром при эрозии почвы носит характер цепной реакции. При скорости ветра до 10 м/с крупные частицы диаметром до 500 мкм и более не могут подпрыгивать, а лишь перекачиваются, а частицы диаметром более 1 мм остаются неподвижными. Поэтому из полидисперсных почвенных частиц ветер выдувает более мелкую фракцию.

Наиболее важными факторами, влияющими на ветровую эрозию почв [9], являются скорость движения воздуха над поверхностью почвы, турбулентность, плотность, температура, давление, влажность и вязкость воздуха, шероховатость, температура, структура, гранулометрический состав, плотность и влажность почвы, содержания в ней органического вещества и топографические характеристики ее поверхности.

Пыльные бури [10] возникают при очень сильных и продолжительных ветрах. Скорость ветра достигает 20-30 м/с и более. Наиболее часто пыльные бури наблюдаются в засушливых районах (сухие степи, полупустыни, пустыни). Они безвозвратно уносят верхний слой почв и способны развеять за несколько часов до 500 т почвы с территории в 1 га [11].

Подъем загрязненных почвенных частиц на территориях, используемых в сельском хозяйстве, может быть обусловлен проведением агротехнических мероприятий: во время выполнения сельскохозяйственных работ изменяется интенсивность ветрового подъема частиц [12]. Подъем почвенных частиц происходит быстрее на сухой неровной поверхности с бедной растительностью в условиях, характерных для засушливых и полусухих районов, распашанных полей, выдуваемых склонов и т.д. Неровности поверхности почвы и разрушение почвенного покрова в результате выпаса животных, автомобильного движения и хозяйственной деятельности человека усиливают ветровой подъем пыли.

Часть радиоактивных частиц, поднятых с земной поверхности вместе с грунтом, оседает в непосредственной близости от места дефляции [13]. Другая часть, имеющая небольшие размеры, переносится ветром на значительные расстояния. В зависимости от микрорельефа на некоторых участках происходит существенное накопление радиоактивных частиц, которые загрязняют наземную часть растений. Причем загрязнение наземной части растительности может неоднократно превышать загрязнение почвы, на которой они произрастают.

Выпадение радиоактивных частиц на поверхность растений [14] приводит к накоплению в их наземной массе всей совокупности оседающих радионуклидов, в то время, как при корневом пути поступления радиоактивных веществ в растения почвенный поглощающий комплекс выступает в

роли мощного сорбционного фактора, а корневая система растений является селективным барьером, исключая поступление в наземную фитомассу биологически инертных элементов.

Задерживание выпадающих на растительный покров радиоактивных частиц [15] принято характеризовать отношением количества радионуклидов, сорбированных на наземных частях растений, к выпавшему на данную площадь количеству радиоактивных веществ. Задерживание оседающих на растения радиоактивных частиц и последующие процессы потерь зависят от площади поверхности растений, способной собирать частицы; фитомассы на единицу площади почвы; формы, размера и ориентации листьев и других наземных органов растений; характеристики их поверхности (плотные листья, содержащие жирные и смолистые вещества, ворсинки); скорости ветра, проходящего через данный участок растительности во время и после выпадения частиц; размера выпавших частиц; количества выпавшего материала; относительной влажности во время и после выпадений. Эффективность задерживания растениями частиц увеличивается с уменьшением их размеров [16]. Так, частицы с диаметром до ≈ 90 мкм задерживаются в 2,5 раза сильнее, чем частицы с диаметром 90-175 мкм. Задерживание радионуклидов возрастает при увеличении листовой поверхности растений на единицу площади почвы.

Некоторая доля радиоактивных продуктов, заключенных в частицах выпадений, главным образом с диаметром менее 44 мкм [17,18], осевших на листья, может быть ассимилирована поглощением через листья [19, 20], более же крупные фракции удаляются с листьев ветром и дождем, попадая в почву, либо вовлекаясь в дальнейший процесс ветрового переноса [21].

При оценке вклада аэрального загрязнения сельскохозяйственных растений ^{137}Cs , находящимся на поверхности пахотной почвы, найдено, что 32-58% радионуклида, находящегося в биомассе пшеницы, поступает в растения не корневым путем, а именно за счет вторичного загрязнения.

Если радиоизотопы остаются на поверхности растений, их могут проглотить травоядные животные. Основным источником поступления радиоактивных изотопов в организмы травоядных млекопитающих при кормлении их на загрязненных пастбищах в течение 30-90 дней после образования выпадений является внешнее загрязнение растений [22].

Помимо ветрового воздействия, поверхностное некорневое загрязнение растений почвенными частицами происходит также при забрызгивании растений в процессе выпадения дождя [23]. В ряде случаев подъем почвенных частиц с брызгами дождя дает существенное радиоактивное загрязнение листьев. Ливневый дождь может поднять до 225 т/га почвы (до 2,5 мг почвы на 1 грамм сырой массы растений). При этом до 90 % частиц почвы, поднимаемых кап-

лями дождя, имеет размеры < 125 мкм. В большинстве случаев максимальная высота, на которую поднимаются частицы за счет разбрызгивания дождя, не превышает 40 см. Поэтому разбрызгивание радиоактивных частиц с каплями дождя как источник радиоактивного загрязнения важно для низкорослых видов растений. Следует отметить, что частицы, которые попали на поверхность влажных растений, удаляются в 2-2,5 раза медленнее, чем выпавшие на поверхность сухих растений. При вторичном радиоактивном загрязнении однолетних растений, радионуклиды, которые во время произрастания растений прочно ими удерживались, попадают в почву, и, по прошествии некоторого времени, могут быть вновь вовлечены в движение вместе с воздушными потоками.

Таким образом, происходит постоянный обмен техногенными радионуклидами в системе "подстилающая поверхность – приземная атмосфера". Поднятая ветром с земли радиоактивная пыль проникает в органы дыхания, загрязняет водоемы и растительность, в том числе сельскохозяйственные культуры, в результате чего радионуклиды по пищевым цепочкам попадают в организм человека. Кроме того, летом, при выраженной ветровой эрозии почвы, или зимой, при метелевом переносе радиоактивного снега, возможно смещение границ радиоактивно загрязненной зоны.

Методы предотвращения вторичного загрязнения

В настоящее время актуальным вопросом является пресечение вторичного загрязнения территории полигона и прилегающих к нему регионов. Данную задачу можно решить несколькими способами. Один из них заключается в снятии верхнего слоя почвы и вывозом его за пределы региона для захоронения, как в свое время это было сделано в Японии после аварии на ядерном реакторе. Но этот способ неприменим в случае СИП, в связи с очень большой площадью, подлежащей обработке. В этом случае для предотвращения вторичного загрязнения обработанных территорий необходимо одновременно снимать слой почвы практически по всей территории полигона. Возможность этого представляется маловероятной. Другой способ заключается в обработке зараженных территорий интерполимерными комплексами, как это было сделано на части территории радиоактивных выпадений после аварии на Чернобыльской АЭС. Тогда для осаждения радиоактивной пыли были использованы интерполимерные комплексы, состоящие из гидролизованного полиакрилонитрила (коммерческое название ГИПАН) и полидиметилдиаллилалламмоний хлорида (коммерческое название ВПК-402). Суть действия этих и подобных им полимеров заключается в том, что эти полимерные композиты способны структурировать и агрегировать почву с образованием более крупных частиц. Агрегация происходит в результате образования на поверхности частиц почвы тонких пленок

интерполимерных комплексов [24, 25]. При обработке почвы интерполимерными комплексами значительно возрастает доля фракции с диаметром 5 мм и средняя величина эрозии агрегированной почвы уменьшается с 74% до 1% при скорости ветра 15 м/сек. Вышеназванные полимеры производятся только в России и недоступны для Казахстана из-за их высокой стоимости. Поэтому в Казахстане ведутся интенсивные разработки более доступных и дешевых интерполимерных комплексов, в чем уже достигнуты определенные результаты.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной работе использованы пробы почвы, отобранные на СИП, интерполимерные комплексы ПАК, ПЭГ, ПВПД и их комбинации, методики радиохимического анализа на плутоний [26] и стронций [27], методики выполнения измерений на гамма-спектрометре [28], альфа-спектрометре [29] и бета-радиометре [27].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В настоящее время в Институте радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК проводятся лабораторные исследования по изучению возможности управления миграцией радионуклидов в почве с помощью интерполимерных комплексов, разрабатываемых в Казахско-Американском университете под руководством проф. С.Е. Кудайбергенова. Суть этих экспериментов заключается в том, что проба почвы (после проведения специальной пробоподготовки) с известным равномерным по всему объему пробы распределением радионуклидов помещается в пластиковый стакан, а затем заливается раствором полимера. Через определенное время проба делится по слоям, каждый толщиной в 1 см, после чего проводятся анализы каждого слоя. В экспериментах использовались полимеры ПАК, ПВПД, ПЭГ и их комбинации с целью выявления оптимального состава раствора полимера для достижения наилучшего концентрирования радионуклидов в поверхностных слоях почвы. Были проведены радиохимические анализы на ^{90}Sr и $^{239/240}\text{Pu}$, а также γ -спектрометрический анализ. В процессе проведения этих опытов изучалось также структурирование и агрегация почвы, которые играют решающую роль в предотвращении ветровой миграции радиоактивных частиц. Было установлено, что в случае фракций, размер которых меньше 0,75 мм после заливки полимеров образуется плотная корка (агрегация), толщина которой равна глубине проникновения полимера в пробу. Причем отмечается, что образующаяся корка тем плотнее, чем меньше размер фракции. Для фракций, размер которых равен или больше 1 мм отмечается слипание почвенных частиц, в результате чего образуются частицы более крупных фракций, размером до 5 мм (структурирование). Для определения способности к направленной миграции отдельных радионуклидов изучалось

распределение их активности по слоям после обработки образцов почвы полимерами. Ниже представлены графики распределения по слоям активности ^{137}Cs , $^{239/240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr после обработки проб этими полимерами.

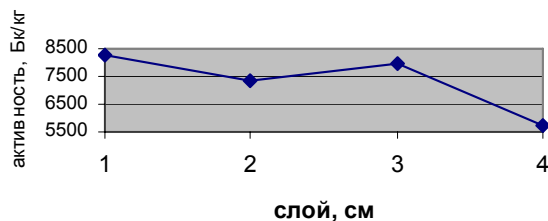


Рисунок 1. Распределение активности ^{137}Cs по слоям после обработки ПЭГ

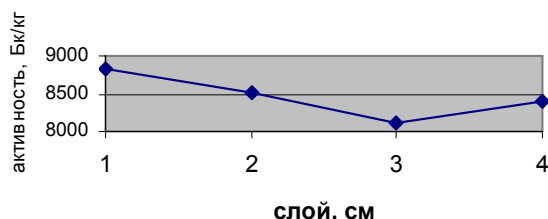


Рисунок 2. Распределение активности ^{137}Cs по слоям после обработки комплексом ПАК-ПВПД

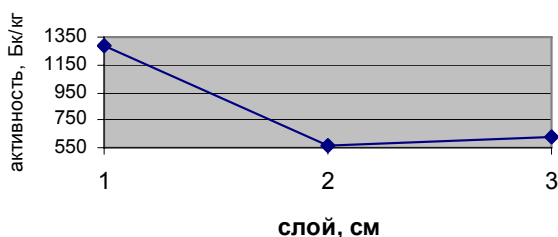


Рисунок 3. Распределение активности ^{90}Sr по слоям после обработки комплексом ПАК-ПВПД

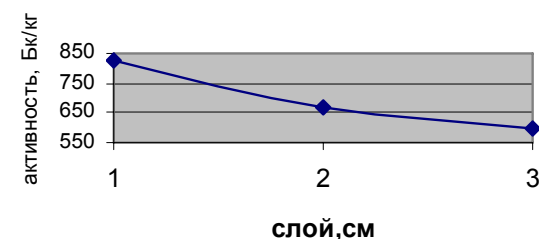


Рисунок 4. Распределение активности ^{90}Sr по слоям после обработки ПАК

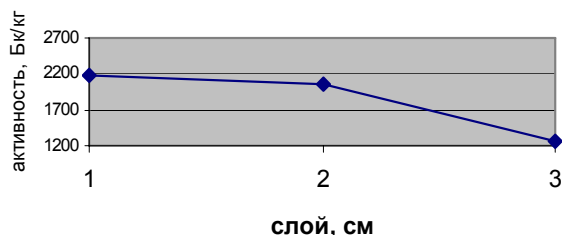


Рисунок 5. Распределение активности ^{90}Sr по слоям после обработки ПЭГ

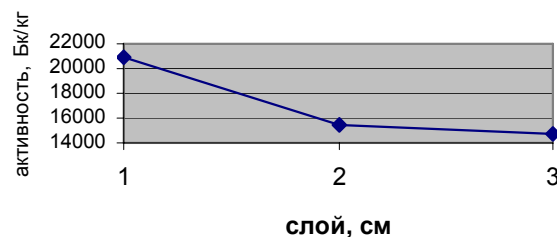


Рисунок 6. Распределение активности $^{239/240}\text{Pu}$ по слоям после обработки ПВПД

На рисунке 1 заметны колебания активности ^{137}Cs на общем фоне ее снижения, что может быть объяснено неравномерностью проникновения полимера в пробу. В остальных случаях мы наблюдаем практически непрерывное снижение активности радионуклидов с увеличением глубины. Как видно из рисунка 2, активность ^{137}Cs практически равномерно уменьшается до глубины 3 см, на которую проник полимер. На рисунке 3 отмечается резкое снижение активности ^{90}Sr (более чем в 2 раза) при переходе от слоя 1 (0-1 см) к слою 2 (1-2 см). При увеличении глубины активность ^{90}Sr находится на уровне активности в слое 2. Хорошо виден спад активности ^{90}Sr по всей глубине проникновения полимера на рисунке 4. Разница активностей верхнего и нижнего слоев составляет приблизительно 40%. Рисунок 5 показывает небольшое уменьшение активности ^{90}Sr при переходе от слоя 1 к слою 2, а затем резкий спад активности при переходе к слою 3. Общее уменьшение активности составляет более 80%. Кривая, показанная на рисунке 6, свидетельствует о резком уменьшении активности $^{239/240}\text{Pu}$ при переходе от верхнего слоя к слою 2 (более чем на 40%). Далее происходит плавное уменьшение активности с увеличением глубины.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На представленных рисунках хорошо видно, что основная активность радионуклидов сосредоточена в верхнем слое пробы (слой №1, 0-1 см). Причем эффект замечен не только для полимеров в чистом виде, но и для их комбинаций. К сожалению не все растворы полимеров позволяют добиться ожидаемых положительных результатов, что, вероятно, может быть объяснено также отсутствием корректной методики проведения подобных экспериментов. Кроме того, не во всех случаях раствор полимера проникал на достаточную для сравнения глубину пробы.

По полученным предварительным результатам можно сделать вывод о возможности использования интерполимерных комплексов в качестве реагентов, структурирующих и концентрирующих (направленная миграция) радиоактивные элементы, находящиеся в загрязненной почве. Применение интерполимерных комплексов позволит предотвратить пылевую, в том числе, связанную с водной, миграцию радионуклидов, имеющую место на территории СИП, так как во всех проанализированных случаях

наблюдается образование прочной корки или слипание почвенных частиц по всей глубине проникновения полимера, что должно способствовать снижению объемов дефляции.

Предварительные опробования интерполимерных комплексов полиакриловой кислоты, полиэтиленгликоля и их комбинаций в реальных условиях на территории полигона на площадке "Опытное поле" показали обнадеживающие результаты [30]. Стоимость этих полимеров оказалась ниже российских аналогов в несколько раз. Различия радиационных параметров на опытных площадках до и после их обработки этими полимерами составляет до нескольких десятков раз. Так, на одной из 16-ти площадок, обработанной комплексом полиакриловая кислота – поливиниловый эфир этиленгликоля, до заливки наблюдалось 30 β -частиц/(мин*см²), а после обработки – уже 420 част/(мин*см²). Помимо эффекта агрегирования обработка загрязненной почвы интерполимерными комплексами приводит, как

видно из рисунков 1-6, к извлечению (направленной миграции) радиоактивного стронция, цезия и плутония в результате образования полимер-металлических комплексов [24]. Однако однозначные выводы пока делать преждевременно ввиду недостаточной статистики эксперимента и необходимости дальнейшего проведения подобных опытов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования, проводимые в ряде стран, по изучению возможности предотвращения пылевого перемещения радиоактивности дают положительные результаты. Как показали предварительные исследования, существует также возможность перемещения радионуклидов в загрязненной почве к поверхности из более глубоких уровней залегания и консервирования их в достигнутом положении. Это чрезвычайно актуально для территории СИП и может оказаться весьма важным при планировании рекультивации и дезактивации загрязненных участков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Израэль Ю. А., Петров В. Н., Прессман А. Я. Радиоактивное загрязнение природных сред при подземных ядерных взрывах и методы его прогнозирования. – Л.: Гидрометеорологическое изд.- 1970. -с 42.
2. Freiling E.C. Radioactive Fallout from Nuclear Weapon Tests, 1962. - V.I. - TID-7632. - Wash., 1962.p 13.
3. Lakanen E., Paasikallio A., Ann. Agric. Fenn., 1970,9,133.
4. Бенсон П. И. В кн.: Радиоактивные выпадения от ядерных взрывов. - М.: Мир. - 1968. -с 57.
5. Махонько К.П. Ветровой подъем радиоактивной пыли с подстилающей поверхности. Метеорология и гидрология. - 1986.- с 35.
6. Dixler H.J., Michaels A.S., Polyelectrolyte complexes. Encyclopedia of polymer science and technology. 1969. - V10.
7. Паписов И.М.// Высокомолекулярные соединения. - 1997. - Т.Б. 39.
8. Махонько К.П. Возникновение ветрового переноса пыли над подстилающей поверхностью. Обнинск: Изд. ГМЦ СССР. - 1968. - с 49.
9. Healy J., Fuquay J. Wind pickup of radioactive particles from the ground. – In: Proc. Second UN Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, 1958, v 18, 56.
10. Семенов О.Е. Экспериментальные исследования кинематики и динамики пыльных бурь и поземков. Тр. КазНИГМИ. - 1972. - Вып. 49. - с 22.
11. Махонько К.П. Ветровой захват пыли с подстилающей поверхности, покрытой травой. Метеорология и гидрология. - 1986. - №10. - с 11.
12. Махонько К.П. Вторичное поступление в атмосферу пыли, осевшей на землю. – Изв. АН СССР, ФАО, 1979. - Т. 15. - №5. с 41.
13. Махонько К.П. Оценка параметров ветрового захвата с поверхности земли радиоактивной пыли. – Изв. АН СССР, ФАО.- 1981. - №7. -с 3.
14. Уорнер Ф., Харрисон Р. Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде. М.: Мир. - 1999. - с 31.
15. Алексахин Р.М., Моисеев И.Т., Тихомиров Ф.А., Агрохимия цезия-137 и его накопление сельскохозяйственными растениями. Агрохимия. - 1977.- №2. - с 9.
16. Махонько К.П., Работнова Ф.А. Корневое и аэрозольное загрязнение цезием-137 травянистой растительности на территории СССР. – Экология. - 1984. - №6.- с 14.
17. Lindberg R.L., Romney E.M., Olafson J.H. Factors influencing the biological fate and persistence of fallout, Operation Teaport, Report WT-1177, University of California at Los Angeles, Jan. 1959. p 17.
18. Romney E.M., Lindberg R.G., Hawthorne H.A. Contamination of plant foliage with radioactive fallout, Ecology, 1963. p 32.
19. Middleton L.J., Absorption and translocations of strontium and cesium by plants from foliar sprays, Nature, 1958. p 21.
20. Selders A.A., Hungate F.P., The foliar sorption of iodine by plants, USAEC report HW-44890, Hanford Atomic Products Operation, Sept. 1956. p 28.
21. Martin W.E., Losses of Sr^{90} , Sr^{89} , and I^{131} from fallout contaminated plants, Radiation Botany. 1983.p 31.
22. Alfred W. Clement J. Radioactive fallout from nuclear weapon tests. AEC 5 Symposium Series, Nov 1965. p 41.
23. Bartlett B.O., Middleton L.J., Milbourn G.M. The removal of fission products from grass by rain, United Kingdom Agricultural Research Council Report ARCRL-5, 1961.25.
24. Kudaibergenov S.E., Bimendina L.A., Orazzhanova L.K. Formation of ternary polymer-metal ion complexes in polyethyleneglycol- Sr-90^{2+} -polyacrylic acid system. Abstr. Intern. Conf. "Heavy and radionuclides in anvironment". Semipalatinsk, 1999.p 2.
25. Kudaibergenov S.E., Orazzhanova L.K., Yashkarova M.G. Investigation of complex formation of strontium with polyacrylic acid. Abstr. Intern. Conf. "Heavy and radionuclides in anvironment". Semipalatinsk, 1999. p 13.

26. Плутоний-238,239,240. Радиохимическая методика выделения из проб почвы и приготовления препаратов для альфа-спектрометрических измерений. Стандарт предприятия. СТП 17.66-92. НПО "Радиевый институт им. В.Г. Хлопина", 1993.
27. Методические указания. Методика определения удельной активности стронция-90 и плутония 239,240 в пробах пищевых продуктов растительного и животного происхождения методом радиохимического выделения. ИРБЭ НЯЦ РК, 2003.
28. Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре. МИ 2143-91. Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1991.
29. Метод измерения состава и относительного содержания радионуклидов в источниках альфа-излучения на спектрометре альфа-излучения. ОКСТУ 7009, 1987.
30. Kudaibergenov S.E., Bimendina L.A., Orazzhanova L.K., Artemyev O.I. Disinfection of Sr-90 from polluted soil of Semipalatinsk Nuclear Test Site by interpolymer complexes. Intern. Symp. On "Macromolecule-metal complexes" (MMC-9), New York, 2001. p 3.

СЕМЕЙ ПОЛИГОННЫҢ АУМАҒЫНДАҒЫ ТЕХНОГЕНДІ РАДИОНУКЛИДТЕРМЕН ҚАЙТА ЛАСТАНУЫНЫҢ МЕХАНИЗМДЕРІ МЕН ОНЫ БОЛДЫРТПАУДЫҢ ӘДІСТЕРІ

¹⁾Процкий А.В., ¹⁾Артемиев О.И., ²⁾Башенова А.Д.

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

²⁾*Шәкәрім атындағы Семей мемлекеттік университеті, Семей, Қазақстан*

Аумақта екінші рет радиоактивті түсімдермен олардың алдын алу әдістерін зерттеу бойынша шолу жасалды. Интерполимерлі кешенді пайдалану бойынша радионуклидтердің топырақтағы бағытталған миграцияны топырақтың агрегациясы және оның құрылғысы үшін, шаңды миграцияны тоқтату бойынша эксперименталды зерттеу нәтижелері келтірілді.

MECHANISMS OF SECONDARY CONTAMINATION OF STS TERRITORY BY MAN-CAUSED RADIONUCLIDES AND METHODS OF ITS PREVENTION

¹⁾A.V. Protskii, ¹⁾O.I. Artemiev, ²⁾A.D. Bashenova

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

²⁾*Semey State University of Shakarim, Semey, Kazakhstan*

Published data has been reviewed concerning formation mechanisms of secondary contamination in areas of radioactive fallout and possible methods to prevent it. Results of experimental researches on application interpolymeric complexes for the directed migration of radionuclides in ground, and also structurizations and aggregation of ground for prevention of dust migration are given.

УДК 504.05.054:621.039.58

**ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МЕР ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАДИАЦИОННОЙ
И СОЦИАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ МАСШТАБНОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ
ТЕРРИТОРИЙ ТЕХНОГЕННЫМИ РАДИОНУКЛИДАМИ**¹⁾Волобуев П.В., ²⁾Птицкая Л.Д.¹⁾Уральский государственный технический университет, Екатеринбург, Россия²⁾Институт радиационной безопасности и экологии, Курчатов, Казахстан

Представлены сведения по оптимизации системы мер, направленных на преодоление последствий масштабного радиационного воздействия на территории и население. Обобщены структурные и содержательные принципы разработки целевых программ, как апробированной системы мер, снижающей уровень таких последствий. Сформулирован вариант комплекса взаимообусловленных мероприятий по обеспечению радиационной и социальной безопасности применительно к территории Семипалатинского полигона и зоне его влияния.

Семипалатинский испытательный полигон (СИП) – уникальный объект Республики Казахстан. Последствия ядерных испытаний, проведенных на нем, имеют долговременный комплексный характер. Их влияние не ограничивается только его территорией. Оно затронуло обширную зону влияния, где проживают значительные когорты населения. С другой стороны отходы ядерно-оружейной деятельности (ОЯОД) сосредоточенные на полигоне остаются потенциально опасными, в том числе и для сопредельных территорий. Проблема нераспространения ОЯОД и обращения с ними является государственной проблемой международного уровня.

Для снижения негативных последствий ядерных испытаний и обеспечения условий безопасности требуется системный подход к разработке и реализации комплекса взаимообусловленных мер на уровне целевых программ. Опыт действенности таких программ имеет место в связи с ликвидацией последствий аварии на Чернобыльской АЭС и инцидентов на ПО "Маяк" – наиболее масштабных по радиационной и социальной проблематике. Очевидно, что последствия деятельности СИП не менее значимы. Несмотря на специфику каждого из выше названных объектов, методология системы мер по обеспечению безопасности и реабилитационных мер может строиться на общей апробированной основе. Это касается как принципов построения и структуры целевых программ, так и содержания их основных направлений.

Целевые программы являются эффективным средством реализации политики государства в области наиболее сложных межотраслевых проблем. Они должны представлять систему ресурсно-обеспеченных мероприятий по комплексу взаимообусловленных работ, гарантирующих реальное решение основополагающей проблемы. Как правило, целевые программы решают неотложные задачи, обусловленные исключительной значимостью или критичностью сложившейся ситуации по конкретной проблематике.

Целевой программе должны предшествовать обосновывающие материалы. Обосновывающие материалы – исходный документ, разрабатываемый с привлечением высококвалифицированных специалистов. В них представляется многофакторный анализ сложившейся ситуации, уровень её критичности или значимости. Оценивается достоверность и достаточность имеющихся данных для принятия решений. Специфика целевых программ предполагает неполноту исходной информации, что требует их научного обеспечения по ходу исполнения.

На основании анализа имеющейся информации разрабатывается концепция программы. При этом принципиально значима формулировка основополагающей проблемы, допустимый или заданный уровень решения которой определяется целью программы и обозначается в её наименовании. В концепции указывается юридическая база целевой программы, основой которой являются соответствующие законодательные и нормативные акты, а также концептуальные документы государственного и международного уровня. Для достижения поставленной цели в концепции раскрывается содержание основополагающей проблемы: главные проблемы – определяющие направление её решения, принципиально значимые проблемы по направлениям. Это позволяет обосновать системную структуру программы. Она должна строиться по иерархическому принципу. Концепция доказательно обоснует необходимый уровень декларированных направлений работ и их проблематики по соответствующим этим направлениям – разделам программы.

Детализация и уточнение конкретных мероприятий осуществляется в ходе выполнения целевых программ согласно календарным тематическим планам. Их реализация, в свою очередь, предполагает конкурсную адресность исполнителей по эффективности результатов при финансовом и материальном обеспечении работ. Эффективность реализации программ достигается оптимальной организацией их

управления, принципы которого также намечаются концепцией.

Статус целевой программы задаёт уровень Государственного заказчика. Государственный заказчик несет ответственность за качественное и своевременное выполнение мероприятий программы, обеспечивает её финансирование в предусмотренных объемах, осуществляет необходимое взаимодействие с другими компетентными заинтересованными государственными структурами в пределах своих полномочий, осуществляет контроль за результативностью работы исполнителей и целевым расходованием средств. Для осуществления своих функций Государственный заказчик формулирует рабочий орган управления программой с привлечением представителей других государственных организаций и головных исполнителей программы.

Для управления научным обеспечением целевой программой целесообразно создание при Государственном заказчике научно-технического совета. В числе его основных функций – формирование тематики научно-исследовательских работ в рамках предусмотренной процедуры, утверждение календарных планов НИР, экспертиза их качества и эффективности, разработка рекомендаций по использованию результатов исследований для обеспечения практических мероприятий. Итогом концепции является формулировка ожидаемых конечных результатов реализации программы.

В число документов пакета обосновывающих материалов включается бизнес-план, в котором обоснуются ожидаемые затраты. В бизнес-плане представляются наименования требуемых мероприятий с указанием целей их выполнения, а также фактическим положением с обеспечением планируемых работ в натуральных показателях. Обоснуется финансирование необходимое для их выполнения. В качестве источника финансирования могут быть использованы как бюджетные, так и внебюджетные средства, в том числе получаемые в рамках международного сотрудничества. При многообразии форм собственности организаций-исполнителей выделение средств на реализацию отдельных программных мероприятий целесообразно производить на возвратной основе. Все это позволит более эффективно использовать государственные средства и ускорить достижение поставленных целей.

Обосновывающие материалы, учитывая их значимость, могут быть подвергнуты Государственной экспертизе при решении вопроса об утверждении целевой программы. Итоговый вариант обосновывающих материалов позволяет сформировать пакет документов целевой программы, включая постановления об её утверждении на соответствующем уровне. Основными документами программы являются: её паспорт, содержательное описание программы и приложения к ней.

Паспорт целевой программы включает: её наименование, ссылку на решение о разработке программы, указание Государственного заказчика, перечни организаций основных разработчиков и исполнителей программы, цели и задачи реализации программы, перечень основных мероприятий по её разделам, сроки и этапы реализации программы, объемы и источники финансирования, ожидаемые конечные результаты реализации программы, адресность системы контроля за её исполнением.

Содержательное описание программы по её разделам может включать: описание проблемы, обоснование и развернутую формулировку цели, качественную характеристику работ по направлениям, базовую проблематику научного обеспечения, схему организации управления и механизма реализации программы, а также контроля её исполнения, конкретные сведения о международном сотрудничестве в рамках программы, обобщенные данные по объему и направлениям финансирования, содержание последующих реализаций программы и её эффективности.

К целевой программе должны прилагаться, исходя из бизнес-плана, финансовые документы:

- расшифровка ресурсного обеспечения, в которой по каждому из направлений работ – разделов программы представляется перечень научных и практических мероприятий с указанием общего объема затрат по календарным срокам для каждого из них;
- характеристика объема финансирования по разделам программы и периодам их выполнения, включая управленческие расходы, с указанием источника финансирования по капитальным вложениям и текущим расходам, отдельно оговариваются валютные ассигнования.

В Республике Казахстан проблемам радиационной и социальной безопасности, обусловленными природными и техногенными факторами уделяется серьезное внимание. Это нашло отражение в ряде базовых законодательных актов и постановлений правительственных органов. На их основе разработаны и реализуются Государственные программы, в их числе программы общего назначения и обусловленные последствиями деятельности конкретных объектов по ряду проблем таких как: изучение радиационной обстановки на территории Республики, снижение уровня облучения населения Казахстана и производственного персонала от природных радиоактивных источников, развитие атомной энергетики, решение проблем в зонах комплекса Байконур, а также ряд других.

Разработан программный комплекс мер обусловленных последствиями деятельности СИП, в их числе: о неотложных мерах по улучшению радиационной обстановки в РК, о дополнительных мерах по улучшению радиационной обстановки в РК. Разработана отраслевая программа "Семипалатинский полигон. Обеспечение безопасности на 2004-2008

гг.", посвященная проблемам территории СИП в соответствии с её статусом – земель запаса Правительства РК. На 53-й сессии Генеральной ассамблеи ООН была принята резолюция "Международное сотрудничество и координация деятельности в целях реабилитации населения, экологии и экономического развития Семипалатинского региона Казахстана", которая затрагивает помимо территорий полигона зону его влияния. В пояснительной записке по обоснованию статуса и решению первоочередных проблем бывшего полигона Национальный Ядерный Центр (РГП НЯЦ РК) обозначил необходимость в специальной Государственной программе по проблемам СИП.

Структура целевой программы, направленной на решение комплекса проблем, обусловленных последствиями ядерных испытаний на СИП, может быть представлена двумя взаимообусловленными разделами, предметами которых являются:

1. территория полигона;
2. зона влияния СИП.

Их совместная проработка в рамках единой программы представляется оправданной как экономически, так и по критерию эффективности. Основой первого раздела могут и должны являться принципы, заложенные в обеспечение статуса СИП и отраслевая программа "Семипалатинский полигон. Обеспечение безопасности". Второй раздел может базироваться на опыте Государственных программ стран СНГ, направленных на ликвидацию последствий радиационных аварий. По каждому из разделов подразумевается необходимость научно-информационного обеспечения практических мер. В соответствии с этим, возможными основными целями программы могут быть:

- Обеспечение безопасности объектов СИП и ведения хозяйственной деятельности на его территории;
- Максимальное снижение влияния ядерных испытаний на население и территорию региона.

В числе основных направлений работ СИП отраслевой программой обоснованно определены:

1.1 Совершенствование системы безопасности ядерно-опасных объектов, снижение уровня опасности отходов оружейной деятельности;

1.2. Развитие системы радиационного мониторинга и обеспечение радиационной безопасности;

1.3 Организация и обеспечение хозяйственной деятельности.

Принципиально значимыми системами практических мер по направлению 1.1. безусловно являются:

- Приведение систем физической защиты объектов в соответствие с государственными и международными нормативными актами;
- Выявление мест потенциально опасной локализации отходов оружейной деятельности и оценка их содержания;
- Предотвращение несанкционированного оборота ядерных и радиоактивных материалов;

- Разработка и реализация технологий безопасного обращения с ОЯОД, РАО и ТО (токсическими отходами), обеспечение их хранения и захоронения. Для реализации этих мер требуются:
- Научно-техническое и методическое обеспечение эффективности системы физической защиты ядерно- и радиационно-опасных объектов;
- Моделирование и прогнозирование аварийных ситуаций, разработка мер по их предотвращению на ядерно- и радиационно-опасных объектах;
- Разработка методик обращения, снижение уровня опасности, консервации, утилизации, длительного хранения и захоронения на территории полигона ОЯОД, РАО и ТО;
- Развитие методов мониторинга объектов хранения ОЯОД и ядерно-опасных объектов.

Совокупности системы мер по этому направлению призваны обеспечить ядерную и радиационную безопасность объектов полигона в условиях их длительной эксплуатации.

В числе практических мер по направлению работ 1.2 могут рассматриваться:

- Создание системы принятия решений по управлению территориями и их контролю, обеспечению границ и статуса СИП;
- Развитие системы комплексного мониторинга территорий полигона, банка данных и геоинформационных систем;
- Государственное картирование территорий полигона и его окрестностей дозообразующими радионуклидами, экологическое ранжирование этих территорий, создание санитарно-защитных и условно-чистых зон, контрольных площадок, организация и проведение работ по ревизии границ СИП;
- Создание инженерных барьеров, препятствующих вторичному распространению радионуклидов, в том числе за пределы территории полигона.

Юридической основой для принятия управленческих решений должны являться результаты картирования, которым должен быть придан официальный статус.

Научное обеспечение практических работ по мониторингу территорий предполагает проведение комплекса исследований:

- Изучение и моделирование путей и закономерностей миграции радионуклидов депонированных в почве и на её поверхности и динамики радиационной обстановки на территории полигона;
- Построение общей гидрологической модели СИП, составление гидрологических моделей динамики миграции радионуклидов с наземными и подземными водами в области их разгрузки;
- Разработка методов снижения и предотвращения выноса радионуклидов за пределы СИП;
- Разработка методов дезактивации и ремедиации локальных участков наиболее загрязненных и потенциально опасных территорий.

Указанные меры позволят охарактеризовать радиационную обстановку и осуществить прогноз её динамики на территории СИП и в его окрестностях.

Направление 1.3 призвано упорядочить хозяйственную деятельность на территории СИП и обеспечить приоритеты её развития на перспективу. Практическими мерами направленными на решение этих проблем могут быть:

- Развитие и реализация допустимой эффективной хозяйственной деятельности на территории полигона, создание системы её стимулирования и управления;
- Разработка и ревизия баз данных хозяйствующих субъектов, осуществление мер по регламентации, контролю и обеспечению безопасности проводимых работ;
- Предотвращение несанкционированной хозяйственной деятельности.
- Для осуществления эффективной хозяйственной деятельности на территории СИП требуется:
- Обоснование и разработка особых допустимых направлений используемых территорий, оценка приоритетов видов хозяйственной деятельности их государственной и коммерческой значимости, финансово-экономическое обоснование;
- Разработка правовой и нормативно-технической базы регламентирующей содержание и порядок осуществления хозяйственной деятельности;
- Геофизическая оценка природных ресурсов, разработка концепции рационального их использования.

По второму разделу целевой программы предметно представляются следующие направления работ:

2.1. Оптимизация условий жизнедеятельности в зоне влияния СИП;

2.2. Охрана здоровья населения, подвергшегося радиационному воздействию, и их потомков;

2.3. Социально-психологическая реабилитация населения.

По направлению 2.1 система реабилитационных мер должна быть ориентирована на обеспечение условий проживания в зоне влияния СИП в местах жизнедеятельности и оптимизацию ведения сельского хозяйства. В связи с этим в числе практических мер могут рассматриваться:

- Инвентаризация мест жизнедеятельности и сельскохозяйственных угодий по плотностям загрязнений радионуклидами, составление их санитарных паспортов, паспортизация системы питьевого водоснабжения, исключение недопустимых для сельскохозяйственного использования земель из хозяйственного оборота;
- Разработка специальных мероприятий по профилированию и оптимальному ведению сельского хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения с целью получения продукции соответствующей нормативам;

- Реализация контроля за загрязнением сельхозпродукции радионуклидами и другими токсикантами на территории влияния СИП, разработка системы мер по уменьшению поступления радионуклидов в продукты питания, контроль за обеспечением населения экологически чистыми продуктами и витаминами.

Эффективная реализация этих мероприятий, определение масштабов их применения может основываться на системе научных разработок, в их числе:

- Анализ физико-географических условий территорий зоны влияния полигона и видовой анализ биологических объектов в регионе;
- Оценка отдаленных экологических последствий ядерных испытаний для природных биосистем, изучение реакций биосистем различного уровня организации на радиоактивное загрязнение, анализ возможностей радиоадаптации;
- Изучение миграции радионуклидов по пищевым цепочкам, разработка контр мер по её уменьшению и предотвращению.

Предлагаемая система мер составлена с учетом специфики хозяйственной деятельности населения в регионе.

Не менее значимым, для уменьшения последствий ядерных испытаний на население, является реализация мер по направлению 2.2. В их числе значимыми практическими мерами являются:

- Создание и обеспечение работы медикодозиметрического регистра населения, подвергшегося сверхнормативному облучению;
- Проведение скринингового обследования и системный анализ состояния здоровья облученного населения и их потомков;
- Совершенствование медицинской помощи и целевая диспансеризация лиц подвергшихся радиационному воздействию, мероприятия по комплексному оздоровлению детей в зоне влияния СИП.

Для обеспечения адресности и эффективности мер по охране здоровья населения необходимо:

- Восстановление накопленных и оценка текущих доз населения в зоне влияния СИП;
- Медико-биологические исследования влияния ядерных испытаний на отдаленные иммунные и генетические эффекты;
- Анализ санитарно-гигиенической и санитарно-эпидемиологической обстановки в регионе.

Принципиально значимым в этом комплексе мер должно являться обоснование их адресности по дозовым критериям.

Существенную роль при обеспечении проживания населения в зоне влияния полигона играет социально-психологическая реабилитация. Практическими мероприятиями по направлению 2.3 могут быть:

- Разработка законодательных и нормативных актов, направленных на защиту прав облученного населения;

- Создание системы административно-правового обеспечения и психологической помощи населению в зоне влияния СИП;
- Организация социально-просветительной работы, информационное просвещение населения направленное на обеспечение режима проживания и снижение радиофобии в регионе.

Тематика конкретных практических работ и научных разработок следует из формулировок предлагаемой системы мер по рассматриваемым направлениям. В системе мер не представлено направление

по экономической реабилитации как не специфическое для рассматриваемого воздействия. Оно имеет общий характер для депрессивных территорий и может быть призвано нормализовать уровень и качество жизни населения в рыночных условиях по системе стандартных показателей. Представленные материалы демонстрируют возможный вариант программного обеспечения проблематики СИП и зоны его влияния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральная целевая программа РФ "Преодоление последствий радиационных аварий на период до 2010 года".
2. Федеральная целевая программа РФ "Социальная и радиационная реабилитация населения и территорий Уральского региона, пострадавших вследствие деятельности производственного объединения "Маяк" на период до 2000 года".
3. Отраслевая программа Министерства энергетики и минеральных ресурсов РК "Семипалатинский полигон. Обеспечение безопасности на 2004 – 2008 г.г." (проект).
4. Ядерные испытания СССР. Семипалатинский полигон: обеспечение общей и радиационной безопасности ядерных испытаний. / Кол. авторов под рук. Логачева А.В. - М.: ИздАТ. - 2000. -478 с.
5. Птицкая Л.Д. Современная радиозоологическая характеристика бывшего Семипалатинского полигона (рукопись диссертации). – Курчатов. - 2003 г.
6. Аклев А.В., Блинов Б.К., Волобуев П.В. Последствия техногенного радиационного воздействия и проблемы реабилитации Уральского региона / Под. ред. Шойгу С.К., - М.: Комтехпринт. - 2002. -288 с.
7. Волобуев П.В., Чуканов В.Н. Восточно-Уральский радиоактивный след. Проблемы реабилитации населения и территории Свердловской области. - Екатеринбург, УрО РАН. – 2000. - 284 с.

АУМАҚТАРДЫҢ ТЕХНОГЕНДІ РАДИОНУКЛИДТАРМЕН МАСШТАБТЫ ЛАСТАНУ КЕЗІНДЕ РАДИАЦИЯЛЫ ЖӘНЕ ӘЛЕУМЕТТІК ҚАУПСІЗДІКТІ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ШАРАЛАРДЫҢ ЖҮЙЕСІН ТИІМДІЛЕУ

¹Волобуев П.В., ²Птицкая Л.Д.

¹*Орал мемлекеттік техникалық университеті, Екатеринбург, Ресей*
²*Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов, Қазақстан*

Тұрғындар мен аумақтарға масштабты радиациялық әсердің салдарын женуге бағытталған шаралардың жүйесін тиімділеу бойынша мәліметтер берілген. Арнаулы бағдарламалардың құрылымды және мағыналы принциптері жетілдірістері осындай салдардың дәрежесін түсіретін апробирдік жүйенің шаралары ретінде жалпыланған. Семей полигонның аумағына және оның ықпалы бар зоналарына қолданбалы радиациялық және әлеуметтік қауіпсіздікті қамтамасыз ету бойынша өзара -шартталған шаралар комплексінің түрі қалыптасқан.

OPTIMIZATION OF MEASURES FOR RADIATION SAFETY AND SOCIAL SECURITY PROVISION DURING TECHNOGENIC RADIOACTIVE CONTAMINATION OF LARGE AREAS

¹P.V. Volobuev, ²L.D. Ptitskaya

¹*Ural State Technical University, Ekaterinburg, Russia*
²*Institute Radiation Safety and Ecology, Kurchatov, Kazakhstan*

The paper describes optimization of measures undertaken to overcome effects of the large-scale radiation impact on the ground and population. It generalizes structural and content principles for developing target programs as a proven system of measures reducing the extent of such effects. Authors present a sample set of interdependent measures for provision of radiation safety and social security as applied to the Semipalatinsk Test Site and its affected areas.

УДК 577.391

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ ПРОТИВОЛУЧЕВЫХ СРЕДСТВ (Аналитический обзор)

Кадырова Н.Ж.

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В обзоре представлена классификация соединений радиозащитного действия, приводятся основные механизмы противолучевой защиты, пути повышения радиорезистентности организма. Особое внимание уделено изучению профилактических противолучевых средств и использованию соединений растительного происхождения в качестве радиомодификаторов.

Непрерывное расширение применения человеком ионизирующих излучений в различных областях науки и техники выдвигает в качестве фундаментальной проблемы современной радиобиологии и радиоэкологии изыскание путей повышения радиоустойчивости организма. В последние годы в связи со строительством мощных ускорителей ядерных частиц, наличием радиационно-опасных объектов и возможностью реального пыле – и ветрового переноса радиоактивных частиц, а также развитием космических исследований повысилась необходимость решения этих вопросов. Одна из реальных возможностей повышения радиорезистентности организма на биологической основе состоит в использовании средств фармако - химической защиты – протекторов, существенно уменьшающих поражающее действие облучения.

Начиная со дня открытия радиозащитных веществ [1], изучены тысячи соединений, отобраны наиболее эффективные, способные предотвратить гибель животных, подвергнутых облучению в смертельных дозах. Проблема повышения устойчивости организма к действию радиации заслуживает самого пристального внимания, как в настоящее время, так и в перспективе.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ СОЕДИНЕНИЙ РАДИОЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ

Нельзя назвать такого класса соединений, в котором бы не были произведены поиски радиоэлитных средств. Несмотря на обилие испытанных средств, наиболее перспективными и высокоэффективными оказались два больших класса соединений: индолилалкиламины и меркаптоалкиламины [2-4]. К индолилалкиламинам относятся триптамин, серотонин, мексамин, к меркаптоалкиламинам – цистеин, цистеамин, 2-меркаптоэтиламин (МЭА), цистамин (дисульфит МЭА), меркаптопропиламин (МПА) и его дисульфид, аминокэтиллизотиуроний, меркаптоэтилгуанидин и его дисульфид - гуанилэтилдисульфид, меркаптопропилгуанидин, аминокэтилтиофосфаты. Предполагается, что в процессе метаболизма тиосодержащих соединений в организме происходит образование МЭА или МПА, которые и обуславливают защитный эффект. Общей характерной чертой индолилалкиламинов и тиолов является вы-

сокая степень зависимости их защитного действия от химической структуры.

Легеза В.И., Владимировым В.Г [5] предложена новая классификация профилактических противолучевых средств. Согласно предлагаемой классификации, все профилактические противолучевые средства подразделяются на следующие группы:

1. Радиопротекторы: - миелопротекторы; - энтеропротекторы; - церебропротекторы.

2. Стимуляторы радиорезистентности: - средства защиты от облучения в "поражающих" дозах; - средства защиты от облучения в "субклинических" дозах.

3. Средства защиты от внутреннего облучения: - средства противолучевой защиты щитовидной железы; - средства, предупреждающие инкорпорацию радионуклидов в пищеварительном тракте.

1.1 Радиопротекторы

В данной классификации к числу радиопротекторов отнесены вещества, способные при профилактическом применении оказывать защитное действие, проявляющееся в сохранении жизни облученного организма или ослаблении степени тяжести лучевого поражения с пролонгацией состояния дееспособности и сроков жизни. В отличие от других радиозащитных средств противолучевой эффект для радиопротекторов среди прочих фармакологических свойств является основным. Кроме того, радиопротекторы эффективны только в условиях профилактического применения, действие их развивается в первые минуты или часы после введения, но относительно кратковременно и проявляется, как правило, в условиях импульсного и других видов острого облучения. Поскольку по мере нарастания дозы облучения в качестве "критической" системы последовательно выступают сначала кровеносная ткань, затем клетки слизистой оболочки кишечника и, наконец, головной мозг, радиопротекторы по своему назначению подразделяются на три специализированные группы препаратов: миелопротекторы, энтеропротекторы и церебропротекторы.

Миелопротекторы. Действие препаратов этой группы направлено, прежде всего, на защиту костного мозга и других гемопоэтических тканей. Защитная активность наиболее эффективных из них, выраженная в единицах ФУД (фактор уменьшения дозы - единица, отражающая кратность снижения

степени поражения), в опытах на лабораторных животных может достигать 1,5-1,7. Миелопротекторы целесообразно применять для профилактики поражений, вызываемых облучением в "костномозговом" диапазоне доз (1-10 Гр).

Самую многочисленную группу миелопротекторов составляют серосодержащие соединения - меркаптоэтиламин, его дисульфид цистамин и другие производные этих соединений - цистафос, гаммафос и др. [6,3]. Все эти препараты предназначены для приема внутрь, при этом эффективная противолучевая защита обеспечивается только по достижении определенных концентраций вещества в радиочувствительных тканях, на что требуется 40-50 мин от момента приема. Продолжительность их противолучевого действия составляет 3-4 ч, после чего при необходимости требуется повторный прием радиопротектора.

Серосодержащие радиопротекторы относятся к числу довольно эффективных препаратов (ФУД 1,3-1,4). Для большинства из них характерно наличие прямой зависимости между дозой и степенью выраженности противолучевого эффекта, поэтому препараты указанного класса используются, как правило, в максимально переносимых дозах. Активность серосодержащих радиопротекторов определяется наличием в их структуре свободной или легко высвобождающейся SH-группы, в силу чего они являются мощными восстановителями, способными перехватывать образующиеся при облучении свободные радикалы. При этом снижается уровень перекисных соединений, способных инициировать цепные окислительные реакции [6-8]. Кроме того, обладая выраженными комплексобразующими свойствами, серосодержащие радиопротекторы могут взаимодействовать с ионами двухвалентных металлов, являющихся катализаторами окислительных процессов [7]. Наконец, важную роль в механизмах противолучевого действия серосодержащих радиопротекторов играет их способность временно ингибировать митотическую активность радиочувствительных тканей, в результате чего создаются благоприятные условия для пострадиационной репарации поврежденных в момент облучения молекул ДНК [6].

Энтеропротекторы. У пострадавших, подвергшихся воздействию ионизирующих излучений в дозах от 10 до 20 Гр, развивается острая лучевая болезнь крайне тяжелой степени, в клинической картине которой преобладают желудочно-кишечные расстройства, обусловленные развитием специфического радиационного энтерита. Экспериментальные данные свидетельствуют о принципиальной возможности создания энтеропротекторов. В частности, показано, что миелопротекторы цистамин и гаммафос обладают определенным радиозащитным действием на пролиферативно усиливающий пул энтероцитов [9], а некоторые производные тиазола, триазола, тиадиазина и гетерилалкана повышают

радиоустойчивость стволовых клеток кишечного эпителия, за счет чего увеличивают продолжительность жизни облученных животных в 4—5 раз, т.е. "переводят" кишечную форму лучевого поражения в костномозговую [10]. Аналогичное действие на стволовую пул энтероцитов оказывают также некоторые простагландины и их синтетические аналоги, причем механизм их радиозащитного эффекта, так же, как и упомянутых выше соединений, связан с уменьшением потребления кислорода клетками кишечного эпителия [11].

Церебропротекторы. Церебральная форма острой лучевой болезни возникает при облучении в дозах свыше 80 Гр. Она характеризуется тяжелыми цереброваскулярными нарушениями (затемнение сознания, дезориентация, атаксия, клонические и тонические судороги, расстройства дыхания, резкое падение артериального давления и др.), приводящими к гибели в течение первых 3 суток после облучения. В патогенезе описанных расстройств ведущую роль играет катастрофическое падение пулов НАД и АТФ, вызывающее дезэнергизацию и гибель нейронов [12,13]. Профилактическое назначение фармакологических средств, препятствующих расходованию макроэргов, способствует увеличению продолжительности жизни животных, облученных в "церебральных" дозах (100-150 Гр), в 8-10 раз, при этом причиной гибели становится не нарушение функции центральной нервной системы, а кишечные проявления лучевого поражения [14,15]. Наиболее эффективные церебропротекторы проявляют защитное действие от 6 ч до 1 суток после введения.

1.2 Стимуляторы радиорезистентности

К этой группе относятся препараты, повышающие резистентность организма к облучению в широком диапазоне доз - от "малых" ("субклинических") до вызывающих костномозговую форму острой лучевой болезни различной степени тяжести. В отличие от миелопротекторов стимуляторы радиорезистентности:

- проявляют радиозащитное действие при облучении в дозах, не превышающих $СД_{70-80}$, при дальнейшем увеличении дозы их активность резко снижается;
- оказывают противолучевой эффект при остром и пролонгированном облучении;
- охраняют противолучевую активность в условиях как профилактического, так и лечебного применения;
- обладают широким спектром фармакологических свойств, среди которых противолучевая активность часто не является основной.

Для создания с помощью препаратов этого типа эндогенного фона повышенной радиорезистентности часто требуется их курсовой прием и достаточно длительный период времени. С практической точки зрения все стимуляторы радиорезистентности целесообразно разделить на две основные группы: 1)

препараты, обладающие достаточно выраженным противолучевым действием; 2) средства с относительно низкой противолучевой активностью, но способные снижать выраженность неблагоприятных последствий облучения в дозах, не вызывающих развития клинических проявлений лучевой патологии (средства защиты от "субклинических" доз облучения).

Средства защиты от облучения в "поражающих" дозах. Наиболее эффективно от облучения в "поражающих" дозах защищают стимуляторы резистентности, относящиеся к следующим группам: иммуномодуляторы экзогенного и эндогенного происхождения; гормональные препараты с эстрогенной активностью и их синтетические аналоги; естественные предшественники нуклеиновых кислот и их синтетические аналоги.

Средства защиты от облучения в "субклинических" дозах. Для профилактики указанных нарушений предложено большое количество различных препаратов, которые можно разделить на следующие группы: витамины, витаминно-аминокислотные комплексы, кофакторы ферментов; адаптогены из растительного сырья, продуктов пчеловодства и марикультур; алиментарные добавки; антиоксиданты. Для проявления радиозащитных свойств перечисленных средств, как правило, необходим длительный прием.

Важное значение биоантиоксидантов в системе защиты организма от облучения в субклинических дозах обусловлено их способностью инактивировать радиотоксины, оказывающие угнетающее действие на процессы клеточного деления, вызывающие мутагенные и канцерогенные эффекты. Для профилактики этих последствий облучения могут быть использованы β -каротин, антоцианы, продукт переработки мидий МИГИ-К и др [16-20].

1.3 Средства защиты от внутреннего облучения

Средства противолучевой защиты щитовидной железы. Эффективным средством профилактики инкорпорации изотопов йода в щитовидной железе являются препараты стабильного йода - иодид калия, водно-спиртовая настойка йода, раствор Люголя [21,22].

Средства, предупреждающие инкорпорацию радионуклидов в пищеварительном тракте. Для предотвращения всасывания радиоактивных веществ из пищеварительного тракта в кровь и накопления их во внутренних органах применяются адсорбенты, связывающие определенные виды изотопов. В частности, при попадании в желудочно-кишечный тракт изотопов стронция и бария целесообразно использовать адсорбар, полисурьмин, высокоокисленную целлюлозу, альгинат кальция или его сочетание с гиалуроновой кислотой (альгисорб) [23,24]. Для предупреждения всасывания изотопов цезия применяются ферроцин (гексацианоферрат калия), ортосифон, бентонитовая глина, вермикулит (гидрослода), берлинская лазурь, карбюлоза [24]. Пентацин, особенно инкапсулирован-

ный в липосомах, увеличивает выведение из организма радиоактивного плутония.

2. МЕХАНИЗМЫ ПРОТИВОЛУЧЕВОЙ ЗАЩИТЫ

Механизмы противолучевой защиты [2] связывают с самыми начальными процессами, индуцируемыми в клетке при поглощении энергии излучения и сводятся к следующим радиовидностям.

Защита и инактивация радикалов. Механизм действия протекторов состоит в конкурентном перехвате и инактивации свободных радикалов. Наряду с перехватом радикалов существуют еще три возможных механизма защиты: восстановление поврежденных молекул присутствующим в среде протектором; повышение радиоустойчивости молекул-мишеней в результате их временной связи с протектором; создание в клетке состояния "биохимического шока" [1].

Защита и кислородный эффект. В основе гипоксии, вызываемой различными веществами, лежат механизмы образования метгемоглобина или карбоксигемоглобина, ингибирования дыхательных ферментов, угнетения дыхательного центра [8,3,25-29].

Защита путем физико-химического изменения биологических молекул. Реализация подобного механизма защиты осуществляется посредством физико-химических изменений среды (рН, окислительно-восстановительной потенциал, ионная сила, температура) или химической связи молекул биологического субстрата с органическими соединениями.

Каков бы ни был механизм химической защиты, он должен предусматривать переход химической защиты в биологическую т. е. должен быть найден путь, по которому уменьшение повреждающего действия ионизирующего излучения реализуется в ослаблении проявлений лучевой болезни, в уменьшении степени тяжести, в снижении смертности.

Гипотезы, постулирующие единый механизм защиты. Предполагают, что радиозащитный эффект обусловлен односторонними изменениями, поступающими в живой системе под влиянием противолучевых агентов независимо от их природы [30]. Эти гипотезы постулируют наличие единого опосредованного механизма защиты.

Сульфгидрильная гипотеза. Установлено, что наблюдаемое под влиянием протекторов повышение радиоустойчивости объектов сопровождается повышением содержания в них сульфгидрильных групп [30]. Это происходит не только при применении тиоловых протекторов, но и при введении индоллилалкиламинов или в результате газовой гипоксии. Следовательно, сульфгидрильные группы следует рассматривать как естественные протекторы.

О биохимическом фоне радиорезистентности. Эта гипотеза создается за счет мобилизации защитных ресурсов организма и рассматривается как развитие гипотезы Бака о биохимическом шоке [31,32]. В результате показано, что радиопротекторы способны переводить различные биохимические системы в состояние повышенной радиорезистентности.

Защита как следствие увеличения объема репарации. Радиационное поражение макромолекул происходит в 2 этапа с промежуточным образованием скрытых повреждений. Реализация их может быть затруднена или предотвращена адсорбцией на макромолекулах различных низкомолекулярных органических веществ путем образования множественных слабых связей с соответствующими участками макромолекулы. Такая защита макромолекул от деструктивных изменений удлинит время до реализации скрытых повреждений, что увеличивает возможность ферментативной репарации, а следовательно, приводит к снижению степени регистрируемого поражения. Молекулярный механизм такого "ингибирования" состоит в резком торможении общего метаболизма вследствие сдвига существующего в клетке равновесия активного транспорта и диффузии различных низкомолекулярных субстратов, поддерживаемого транспортной функцией мембран. В результате происходит выравнивание концентрации клеточных субстратов по объему, приводящее к замедлению различных ферментативных реакций и переводу клетки в радиорезистентное состояние [33].

Защита как следствие перестройки и стабилизации макромолекул. Радиозащитный эффект обусловлен перестройкой и стабилизацией молекул мишени, вызываемыми протектором и как следствие этого измененным характером ее реакции на радиационное воздействие.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ ПРОТИВОЛУЧЕВЫХ СРЕДСТВ

Объектами при поиске и испытании противолучевых средств могут служить все виды живых организмов, микроорганизмы, простейшие растения, лабораторные и сельскохозяйственные животные. Многие эксперименты проводятся на модельных опытах, используя для этого отдельные клетки, культуру тканей и т.д.

Одним из эффективных радиопротекторов из группы биологически активных аминов является индралин -агонист α -адренореактивных структур организма [29,34]. Его радиозащитное действие появляется уже через 5-10 мин и сохраняется в течение 50-60 мин после внутримышечного или перорального введения. Наиболее демонстративно противолучевой эффект индралина выражен при кратковременном воздействии ионизирующих излучений (γ -лучи, быстрые нейтроны, протоны, электроны) с большой мощностью дозы, причем его радиозащитная активность сохраняется при облучении в дозах, превышающих минимальную абсолютно смертельную в 1,5-2 раза.

Из производных индолилалкиламинов достаточно выраженным радиозащитным действием обладает мексамин. Он проявляет противолучевую активность (ФУД до 1,5) у животных различных видов, в том числе и у обезьян, причем радиозащитный эффект

развивается в течение нескольких минут, но довольно кратковременен – 30-40 мин [6,26].

Показано, что производное цистамина (гуанидиноэтансульфенилтиосерная кислота) обладает радиопрофилактическими свойствами при облучении мышей рентгеновскими лучами и нейтронами деления. Установлена также возможность пролонгации протекторного действия гаммафоса в результате пришивки его к декстрану [35].

Установлено, что β -кетоналоги адреналина (адреналон, 50-150 мкмоль/кг), м.п. – дипивалоиладреналина (20 мкмоль/кг) и мезатона (при 2070 мкмоль/кг) обладают высоким радиозащитным эффектом (выживаемость 60-100 %), а β -кетоналоги изадрина и м-бензоилмезатона средним -50-60% [36].

Среди иммуномодуляторов противолучевым действием обладают как корпускулярные микробные препараты (различные вакцины), так и их экстракты и фракции (поли- и липополисахариды из бактерий и грибов). Так, показан радиозащитный эффект тетравакцины, гретой вакцины из кишечной палочки, брюшнотифозной вакцины, БЦЖ, продигоизана, пирогенала, зимозана, гепарина, левана, ряда противовирусных вакцин [37-41]. Весьма перспективными для использования в качестве стимуляторов радиорезистентности являются цитокины-полипептиды, продуцируемые различными типами клеток и регулирующие рост, дифференцировку и функциональную активность клеток. Противолучевое действие цитокинов обусловлено наличием специфических гемо- и иммунорегулирующих свойств и способностью модифицировать репарационные процессы в облученном костном мозге. Данные свидетельствуют о достаточно выраженном противолучевом действии интерлейкинов (лимфокины, монокины, колониестимулирующий и туморнекротический факторы и др.), гормонов тимуса (тималин, тимоген, тактивин), миелопида, некоторых "органных" пептидов (лиенин и др.) [40,42-44]. Например, лимфокинин и тимоген при введении за 24 ч до острого или пролонгированного облучения в среднелетальных дозах повышают выживаемость животных до 80-85% [45]. Важно отметить, что радиозащитное действие цитокинов и других иммуномодуляторов сохраняется в течение нескольких суток после введения. Повторное введение перед облучением увеличивает их противолучевую активность.

Показано, что из гормональных препаратов, обладающих противолучевыми свойствами, наиболее изучен диэтилстильбэстрол (ДЭС). Повышение радиорезистентности организма (ФУД 1,15-1,2) происходит обычно спустя 2 суток после его введения и сохраняется в течение 1-2 недель [46]. В начальных механизмах радиозащитного действия эстрогенов ведущую роль играет обратимое торможение пролиферативной активности костного мозга, что обеспечивает его меньшую радиопоражаемость. В по-

следующем на первое место выходят процессы стимуляции синтеза нуклеиновых кислот и белка, обеспечивающие восстановление гемопоэза. Одновременно эстрогены способствуют активации ретикуло-эндотелиальной системы и, как следствие, повышению резистентности облученного организма к токсемии и бактериемии.

Показано, что профилактическое введение препаратов гомо- и гетерологичной высокополимеразной РНК и ДНК облученным животным способствует повышению их выживаемости [47]. Выявлены высокие противолучевые свойства у целого ряда полинуклеотидов и нуклеозидов (полирибонат, ридостин, рибоксин, фосфаден и др.). В частности, по некоторым данным фрагмент АТФ фосфаден способствует выживанию 50% мышей, облученных в СД₉₀ [48]. Выраженным защитно-лечебным действием при радиационном поражении обладают дезоксинат (натриевая соль ДНК, получаемой из молок осетровых рыб), соли оротовой кислоты (одного из предшественников пиримидиновых нуклеотидов), нуклеозид пурина рибоксин [49-51]. Последний в условиях профилактического перорального или парентерального применения не только существенно увеличивает выживаемость животных, подвергнутых кратковременному, пролонгированному и фракционированному облучению, но и снижает выход хромосомных аберраций *in vitro*. Существенно, что рибоксин также предупреждает неблагоприятные последствия облучения в "малых" дозах. Это явилось основанием рекомендовать его в качестве стимулятора радиорезистентности при выполнении аварийно-спасательных и ремонтных работ в зонах с повышенным уровнем ионизирующих излучений [52].

При проведении аварийно-спасательных работ в зоне аварии на Чернобыльской АЭС, у лиц, контактирующих с источниками ионизирующих излучений по роду профессиональной деятельности, и в других аналогичных ситуациях в качестве средств повышения радиорезистентности успешно применялись витаминные и витаминно-аминокислотные комплексы - тетрафолевит, амитетравит, "аммивит"; адаптогены -препараты элеутерококка, лимонника китайского, женьшеня, левзеи, родиолы розовой, багульника, золотого корня и др.; пищевые добавки с адаптогенным действием - аутолизин, ферментоллизат, амивис, сукцинат натрия и др [53,16,21].

По данным экспериментальных исследований, введение в рацион животным пищевых добавок, обогащенных селеном, витаминами-антиоксидантами, глютапироном, диформетилорнитинном и другими биологически активными веществами, существенно снижает частоту возникновения лейкозов и других радиационно-индуцированных отдаленных эффектов [54-57].

Меланин синтетического (из ДОФА) или природного (из почвенных грибов, винограда, гусениц тутового шелкопряда, человеческих волос) проис-

хождения также уменьшает риск развития генетических последствий облучения у животных различных видов [58]. Наконец, получены экспериментальные данные, свидетельствующие о том, что некоторые ингибиторы протеиназ обладают антимуtagenными и антиканцерогенными свойствами в условиях длительного радиационного воздействия [59].

Важнейшее значение в химической защите от радиации приобретает использование продуктов природного происхождения. В отличие от радиопротекторов они применяются при хроническом низкоинтенсивном облучении, поскольку мало- или нетоксичны; способны длительное время сохранять активность и применяться в качестве пищевых веществ, повышают общую неспецифическую реакцию организма и эндогенный фон резистентности, стимулируя защитные ресурсы организма и репарацию лучевых повреждений; проявляют свойства антидотов и адаптогенов [60].

К природным защитным веществам относятся фито- и зоопрепараты народной медицины (алкалоиды, полисахариды), смеси биологически активных веществ, зоотоксины, треоны, эстрогены, иммуномодуляторы и др [61].

Показана возможность использования биогенных препаратов на примере МИГИ-К для защиты от хронического природно-техногенного облучения. Он представляет собой эффективное средство, повышающее как радио-, так и общую резистентность организма, не токсичен, полностью лишен мутагенных свойств, является адаптогеном с широким спектром биологического действия [62].

Показано, что вещества микробного происхождения - полисахариды грамотрицательных микробов обладают максимальным противолучевым действием [63].

Введение тимозина (экстракт тимуса) крысам, пораженных окисью трития, способствует более быстрому восстановлению количества лейкоцитов, снижает гибель животных в ранние сроки. У леченых животных увеличивается средняя продолжительность жизни [64].

3.1. Использование соединений растительного происхождения в качестве радиомодификаторов

Среди используемых в качестве радиопротекторов фармпрепаратов и других средств имеются химические соединения, полученные синтетическим путем из животных и растительных тканей и биотехнологическим путем. Из них особое внимание заслуживают фенольные и полифенольные соединения растительного происхождения, так как они малотоксичны и широко распространены в природе, в частности флавоноиды, лейкоантоцианидины, катехины и хиноиды, имеющие полифункциональные гидроксильные группы и обладающие антиоксидантными, окислительными, Р-поливитаминными, комплексообразующими и другими свойствами, способными тормозить свободнорадикальные реакции [65-67].

Механизм физиологического действия полифенолов разнообразен. Широкий диапазон проявления активности полифенолов, функциональная взаимосвязь их с аскорбиновой кислотой свидетельствуют о непосредственном участии этих соединений в процессах обмена веществ. Известно, что растительные полифенолы повышают прочность кровеносных капилляров и уменьшают их проницаемость, являются естественными синергистами аскорбиновой кислоты. Это благотворно действует при геморрагическом поражении желудочно-кишечного тракта.

Показано, что фенольные соединения являются активными "действующими лицами" основных реакций иммунитета растений, играющие важную роль и в качестве элементов пассивной защиты (барьеры), и орудий защиты активной, антибиотической (фитонциды, фитоалексины) и в развитии раневых и некротических реакций, а также в качестве универсального средства обороны от всяческих вредных воздействий [65,66].

Фенолы обладают способностью защищать наследственный механизм растительных клеток от нарушений его работы - мутаций. С другой стороны, многие классы фенольных соединений увеличивают частоту мутаций. Окисление фенолов усиливает их мутагенное и тормозящее клеточное деление действие. Установлено, что окисление фенолов под влиянием воздействия ионизирующей радиации приводит к образованию веществ, обладающих высокой мутагенной активностью. При уменьшении дозы фенольного соединения наблюдался переход мутагенного действия в антимутагенное, подобно тому как малые дозы фенольных ингибиторов роста растений или фитонцидов действуют стимулирующе [68].

Полагают, что в естественных условиях в растениях фенольные соединения защищают наследственный механизм клеток от мутагенных агентов. Антирадикальная активность фенолов, их способность тормозить свободнорадикальные реакции играет в антимутагенном эффекте важную роль.

Установлено, что противолучевой активностью обладают довольно много фенольных соединений - галловая кислота, ее соли и эфиры, комплекс катехинов чайного растения, галаскорбин, введенные за 15-20 мин до воздействия радиации и обеспечивавшие выживание 20-50% мышей, крыс, собак, облученных в дозе, близкой к ЛД₁₀₀. При введении после облучения соли галловой кислоты, ее пропиловый эфир и катехины повышают выживаемость при условии увеличении дозы препарата в 2-5 раз [65,66].

Показано, что пробы галлата натрия (30 мг/см²), окисленные пятиминутным продуванием воздуха, давали максимальный противолучевой эффект: после введения такого препарата облученным мышам

выживала 50 % животных. Контрольные (облученные без препарата) погибали в 100% случаев [65,66]. При увеличении длительности окисления до 15, 30, 45, 60 минут противолучевая активность закономерно падала. Противолучевым действием обладает, вероятно, вещество, образующееся в процессе окисления до хинона и впоследствии исчезающее - это так называемый семихинонный радикал. ФУД натрийгаллата равен 1,15-1,16.

Соли галловой кислоты и другие растительные фенольные соединения (катехины, галаскорбин) имеют два преимущества перед аминотиолами и другими серосодержащими радиозащитными препаратами. Это - малая токсичность и способность увеличивать выживаемость облученных животных при введении их после облучения.

Исходя из вышеизложенного, к радиопротекторам предъявляются следующие требования: - активность при приеме внутрь; - способность быстро всасываться и проникать из кишечника в ткани; - большая широта терапевтического действия; - отсутствие побочных эффектов; - эффективность при фракционированном и пролонгированном облучении; - эффективность не только при рентгеновском или γ -облучении, но и при других практически важных излучениях (протоны, нейтроны). Препаратов в равной мере удовлетворяющих всем перечисленным требованиям пока нет. Многим пунктам требований отвечают серосодержащие препараты и индолилалкиламины.

Одним из перспективных направлений разработки средств защиты от поражающего действия ионизирующих излучений является поиск природных противолучевых препаратов. Особого внимания заслуживают радиомодифицирующие вещества среди природных соединений, как фенольные соединения и полисахариды растительного происхождения.

Установлено наличие инкорпорированных радионуклидов ⁹⁰Sr и ^{239,240}Pu в организме жителей населенных пунктов "Мостик" и "Майский" [69], что свидетельствует о продолжении и сегодня внешнего и внутреннего облучения населения Семипалатинской области. Этот факт доказывает необходимость проведения реабилитационных мер, составной частью которых является не только быстрое выведение из организма людей указанных и других инкорпорированных радионуклидов, но и повышение их иммунобиологических свойств.

Вопрос поиска наиболее эффективных препаратов остается актуальным пока будут существовать источники ионизирующих излучений как в природной среде, так и при использовании их в лабораторных условиях, на установках, в медицине и пока будет существовать угроза аварий на атомных реакторах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бак З. // Химическая защита от ионизирующей радиации. - М.: Атомиздат. - 1968.
2. Ярмоненко С.П. // Радиобиология человека и животных. - М.: Высшая школа. - 1977.
3. Саксонов П.П., Шашков В.С., Сергеев П.В. // Радиационная фармакология. - М.: Медицина. - 1976. - 256 с.
4. Кудряшов Ю.Б. // Экспресс-методы первичного отбора и изучения свойств химических средств защиты от лучевого поражения. // Лучевое поражение и его модификации. М.: Наука. - 1985. - С.3-20.
5. Легеза В.И., Владимиров В.Г. // Новая классификация профилактических противолучевых средств. // Радиационная биология. Радиоэкология, 1998. - Т.38. - Вып.3. - С.416-424.
6. Филиппович И.В., Романцев Е.Ф. // Радиобиология. 1968. - Т.8. - Вып. 6. - С. 800-805.
7. Мозжухин А.С., Рачинский Ф.Ю. // Химическая профилактика радиационных поражений. М.: Атомиздат, 1979. 192 с.
8. Гончаренко Е.Н., Кудряшов Ю.Б. // Химическая защита от лучевого поражения. С.: Изд-во МГУ, 1985. - 248 с.
9. Владимиров В.Г., Григорьева Е.В. // Радиобиология, 1990. - Т. 30. - Вып. 3. - С. 348-352.
10. Расина Л.Н., Чупахин О.Н., Чибиряк М.В. // Радиобиология. 1990, - Т. 30. - Вып. 2. - С. 162-165.
11. Delaneu I.P., Bonsack M.E. Felenovicus I. // Radiat. GES, 1994. - V. 137. - № 3. - P. 405-409.
12. Малаховский В.Н. // Восстановительные и компенсаторные процессы при лучевых поражениях. СПб, 1992. - С. 127-128.
13. Малаховский В.Н. // Радиобиология, 1993. - Т. 33. - Вып. 3. - С. 392-397.
14. Sorenson I., Soderberg I., Chang I. et al. // Eur. J. Med. Chem. 1993. - V. 28. - № 3. - P. 221-229.
15. Alaoui F., Pratt I., Rocherie et al. // Eur. J. Pharmacol, 1995. - V. 276. - № 1-2. - P. 55-60.
16. Ивницкий Ю.Ю., Попов В.И. // Воен.-мед. Журн, 1993. - № 10. - С. 52-54.
17. Кудряшов Ю.Б., Гончаренко Е.М. // Тез. докл. I Всесоюз. радиобиол. съезда, Москва, 21-27 авг. 1989 г. - Т. 3. -Пушино, 1989. - С. 729-730.
18. Minkova M. // Acta Phisiol. Pharmacol. Bulgarica, 1990. - V.16/ - №4. - P.31-36.
19. Циприян В.И., Анистратенко Т.И., Коршун М.М. // Рациональное питание. 1991. - № 26. - С. 68-70.
20. Кудряшов Ю.Б., Гончаренко Е.Н., Граевская Е.Э. и др. // Тез. докл. науч. сес. "Модификация действия ионизирующей радиации". Пушино, 24-26 февр. 1992 г. - Вып. 2. -Пушино: Радиобиол. о-во, 1992. - С. 43-44.
21. Ушаков И.Б., Давыдов Б.И., Солдатов С.К. // Человек в небе Чернобыля. Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 1994. - 168 с.
22. Массовые радиационные поражения и вопросы организации медицинской помощи / Под ред. А.И. Бурназяна, А.К. Гуськовой. М.: Медицина, 1987. - 82 с.
23. Иванников А.Т., Алтухова // Хроническое радиационное воздействие: риск отдаленных эффектов. М.: ИздАТ 1996. - С. 52-60.
24. Владимиров В.Г. Актуальные проблемы военной радиологии. М.: Воениздат. - 1991. - 152 с.
25. Романцев Е.Ф. // Радиация и химическая защита. М.: Атомиздат. - 1968. - 248 с.
26. Жеребченко П.Г. // Противолучевые свойства индолилалкаламинов. М.: Атомиздат. - 1971. - 198с.
27. Казанский В.И. // Радиационная биология. Радиоэкология. 1993. - Т. 33. - Вып. 3(6). - С. 831-847.
28. Кулинский В.И., Ковтун В.Ю., Климова А.Д. Радиационная биология. Радиоэкология, 1993. - Т. 33. - Вып. 2(5). - С. 683-686.
29. Ильин Л.А., Суворов Н.Н., Чернов Г.А. // Тез. докл. Радиобиол. съезда. Киев, 20-25 сент. 1993 г. Пушино, 1993. - С. 410-411.
30. Граевский Э.Я. // Сульфгидрильные группы и радиочувствительность. М.: Атомиздат. - 1969.
31. Романцев Е.Ф. // Радиация и химическая защита. М.: Атомиздат. - 1971.
32. Федосеев В.М. // Тиазолины и тиазины – новый тип радиозащитных соединений. // Вопросы современной радиационной фармакологии. М.: Наука. -1980. - С.10-30.
33. Эйдус Л.Х. // Неспецифическая реакция клеток и радиочувствительность. М.: Атомиздат. - 1976.
34. Васин М.В., Чернов Г.А., Антипов В.В. // Широта радиозащитного действия индралина в сравнительных исследованиях на различных видах животных. // Радиационная биология. Радиоэкология, 1997. - Т.37. - Вып.6. - С.896-904.
35. Грачев С.А., Свердлов А.Г., Кропачев Е.Н. // Опыт изыскания новых радиозащитных веществ пролонгированного действия. // Радиационная биология. Радиоэкология, 1996. - Т.36. - Вып.2. - С.190-194.
36. Кулинский В.И., Яшунский В.Г., Климова А.Д. // Радиозащитный эффект β-кетоналогов оксифенилэтаноламинов. // Радиационная биология. Радиоэкология, 1997. - Т.37. - Вып.6. - С.914-917.
37. Клемпарская Н.Н., Раева Н.В., Сосова В.Ф. // Антибактериальный иммунитет и радиорезистентность. М.: Медгиз, 1963. - 120 с.
38. Мальцев В.Н., Смирнова О.В., Стрельников В.А. // Радиация и вакцинация. М.: Медицина. - 1976. - 155 с.
39. Горбунова Е.С., Тюрин Е.А., Исиченко И.Б. // Радиобиология, 1985. - Т. 25. - Вып. 5. - С. 707-709.
40. Бойко В.Н., Антушевич А.Е., Петров А.С. // Тез. докл. науч. сес. по проблеме "Модификация действия ионизирующей радиации". 24-26 февр. 1992 г. Пушино. - 1992. - С. 27-28.
41. Иванов А.А., Ершов Ф.И., Уланова А.М. // Радиационная биология. Радиоэкология, 1995. - Т. 35. - Вып. 2. - С. 231-236.
42. Neta R., Douches S., Oppenheim J.J. // Immunol, 1986. - V. 136. - № 7. - P. 2483-2485.
43. Wu S.G., Tuboi A., Tadaaki M. // Int. J. Radiat. Biol, 1989. - V. 56. - №4. - P.485-492.
44. Dorie M.J., Bedarida G., Kallman R.F. // Radiat. Res, 1991. - V. 128. - №3 - P. 316-319.
45. Бойко В.Н., Жолус Р.Б., Легеза В.И. // Радиационная биология. Радиоэкология, 1995. - Т. 35. - Вып. 4. - С. 522-527.
46. Владимиров В.Г. // Воен.-мед. Журн, 1978. - № 6. - С. 39-43.
47. Федорова Т.А., Терещенко О.А., Мазурик В.К. // Нуклеиновые кислоты и белки в организме при лучевом поражении. М.: Медицина. - 1972. - 408 с.
48. Чертков Е.С. // Тез. докл. науч. сес. по проблеме "Модификация действия ионизирующей радиации". Пушино, 24-26 февраля 1992 г. Вып.2. Пушино: Радиобиол. о-во, 1992. - С. 68-69.
49. Жемкова Л.Н., Новоселова Г.С., Ремизова И.В. // Радиобиология, 1985. - Т. 25. - Вып. 2. - С. 208-211.
50. Легеза В.И., Абдуль Ю.А., Антушевич А.Е. // Радиационная биология. Радиоэкология, 1993. - Т. 33. - Вып. 3(6). - С. 800-807.
51. Шагалов Л.Б. // Тез. докл. III Российского нац. конгр. "Человек и лекарство". М.: Медицина. - 1996. - 296 с.

52. Глушков В.А., Чертков К.С. // Хроническое радиационное воздействие: риск отдаленных эффектов. М.: ИздАТ.- 1996. - С. 28-37.
53. Гуц В.В., Смирнов НА., Прокопчук Б.И. // Воен.-мед. журн. 1993. - № 10. - С. 43-48.
54. Шандала Н.К., Книжников В.А., Комлева В.А. // Медицинские аспекты ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. М.: ЦНИИ атоминформ. - 1993. - С. 99-101.
55. Иванов С.Д., Беспалов В.Г., Кованько Е.Г. // Современные достижения медицинской радиологии. Тез. докл. науч. конф. СПб.: МЗ РФ, 1993. - С. 284-286.
56. Бокк М.И., Егоров А.Е., Иванов Е.В. // Всерос. конф. "Прикладные аспекты радиобиологии". М.: РАН, 1994. 29 с.
57. Подлущий А.Я., Газиев А.И. // Всерос. конф. "Прикладные аспекты радиобиологии". М.: РАН.- 1994. - 38 с.
58. Моссэ И.Б., Плотникова С.М., Кострова Л.Н. // Тез. докл. науч. сес. по проблеме "Модификация действия ионизирующей радиации", Пушкино, 24-26 февраля 1992 г. Вып. 2. Пушкино: Радиобиол. о-во.- 1992. - С. 46-47.
59. Газиев А.И. //Тез. докл. науч. сес. по проблеме "Модификация действия ионизирующей радиации" Пушкино 24-26 февр. 1992 г. Вып. 2. Пушкино: Радиобиол. о-во.- 1992. - С. 19-20.
60. Кудряшов Ю.Б. /О химической защите от ионизирующей радиации низкой интенсивности. Радиационная биология. Радиоэкология // 1997. - Т.37. - Вып.4. - С.673-675.
61. Гончаренко Е.Н., Кудряшов Ю.Б. // Радиационная биология. Радиоэкология, 1996. - Т.36. - Вып.4. - С. 573-586.
62. Гончаренко Е.Н., Деев Л.И., Кудряшов Ю.Б. /Использование препарата природного происхождения для ослабления биологических эффектов в условиях радиоактивного загрязнения и в радиобиологическом эксперименте. // Радиационная биология. Радиоэкология, 1997. - Т.37. - Вып.4. - С.676-682.
63. Андрущенко В.Н., Иванов А.А., Мальцев В.Н./ Противолучевое действие веществ микробного происхождения. // Радиационная биология. Радиоэкология, 1996. - Т.36. - Вып.2. - С.195-205.
64. Журавлев В.Ф./Влияние экстракта тимуса (тимозина) на отдаленные последствия поражения крыс окисью трития. //В кн. Метаболизм и биологическое действие радионуклидов при оральном поступлении в организм. М, 1989. - С.164-168.
65. Барабой В.А.// Растительные фенолы и здоровье человека. М.: "Наука".- 1984. - 160с.
66. Барабой В.А.// Биологическое действие растительных фенольных соединений. Киев: Наук. Думка. - 1976, - 260с.
67. Барабой В.А., Тихонов А.И., Трирог Е.В. /Фенольные препараты прополиса как средство лечения местных лучевых поражений кожи. // Лучевое поражение и его модификации. М.: Наука. - 1985. - С.118-120.
68. Кузин А.М. //Структурно-метаболическая гипотеза в радиобиологии. М.: Атомиздат. - 1970.
69. Hille R., Hill P., Bouisset P. /Population dose near the Semipalatinsk test site. // Radiat Environ Biophys, 1998. - 37. - P. 143-149.

ПРОФИЛАКТИКАЛЫҚ ҚАРСЫ СӘУЛЕЛІ ҚҰРАЛДАРДЫ ЖІКТЕУ (ТАЛДАУДЫ ШОЛУ)

Кадырова Н.Ж.

ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов, Қазақстан

Организмнің радиорезистентті жолдарының жоғарлануы қарсы сәулелі қорғанысының негізгі механизмі, радиокорғаныс әсерінің қосылыстарының жіктелуі шолуда көрсетілген. Радиомодификаторлық өсімдіктің шығу тегі сапасында қосындыларды пайдалану және қарсы сәулелі профилактикалық құралдарды зерттеуде ерекше көңіл бөлінген.

CLASSIFICATION OF THE PROPHYLACTIC RADIOPROTECTIVE MEANS (ANALYTICAL REVIEW)

N.G. Kadyrova

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

The classification of the radioprotective effects compounds are presented in the review. The main mechanisms of the radioprotection and the ways of increase of the organism radioresistance are represented. The special attention is attended to the study of the prophylactic radioprotective means and use of the phylogenetic compounds as the radiomodifiers.

УДК 504.054:577.4

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
 ^{90}Sr И ^{137}Cs В ПОЙМЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ РЕКИ ТЕЧА**

Смагин А.И.

*Федеральное государственное унитарное предприятие "Производственное объединение "МАЯК"
Центральная заводская лаборатория, Россия*

В сообщении представлены результаты натурных полевых исследований, проведенных в августе 1989 г. в долине р. Теча. Оценены уровни удельной активности ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде, донных отложениях и растениях русла реки. Определены распределения радиационных полей и плотности загрязнения пойменных почв.

ВВЕДЕНИЕ

В конце XX века все большую актуальность стали приобретать вопросы загрязнения окружающей среды в результате аварийных ситуаций или длительной деятельности предприятий ядерно-топливного цикла. Большое внимание общественности и научных кругов привлекает ситуация, сложившаяся в долине реки Теча, загрязненной радиоактивными веществами в начальный период работы ПО "МАЯК". Особенно много работ по изучению радиационной обстановки было проведено в последнее десятилетие [1-5].

В 1989 г. специалистами ПО "МАЯК" и СЭС МСЧ 71 проводилось комплексное радиоэкологическое обследование поймы р. Теча. Полученные результаты до настоящего времени не были опубликованы авторами в открытой печати.

ИСТОРИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Во 2^й половине прошедшего столетия на севере Челябинской области начал работу первый в СССР и на Евразийском континенте промышленный комплекс по наработке оружейного плутония. В это время вопросам охраны здоровья персонала, населения, а тем более, окружающей среды, уделялось гораздо меньше внимания. Это было обусловлено тем, что данные о негативном воздействии радиоактивных веществ на здоровье человека были ограничены, а сведения о поведении радионуклидов в биосферах и биосфере отсутствовали. Отсутствие информации привело к тому, что в схему переработки облученного топлива на радиохимическом заводе была заложена технология сброса сточных вод, содержащих, как представлялось, незначительное количество радиоактивных элементов, в открытую гидрографическую сеть. Необходимо отметить, что такая практика существовала на всех, действующих в тот период, заводах по наработке ядерных зарядов. Сбросной выпуск, через который радиоактивные отходы сбрасывали в р. Теча был расположен в 7 км от г. Озерска, в районе выхода реки из оз. Кызыл-Таш. С марта 1949 г сточные воды радиохимического завода начали сбрасывать в реку.

Река Теча вытекает из оз. Иртыш, в 3 км ниже которого впадает в оз Кызыл-Таш, по выходе из последнего протекает в юго-восточном направлении

около 236 км и впадает в р. Исеть. В верхнем течении пойма реки заболочена, и достигает ширины 1-5 км. В среднем течении берега крутые, ширина поймы уменьшается до нескольких десятков метров, а к устью вновь расширяется до 3 км. Протекает река по территориям Челябинской и Курганской областей.

В период пуска предприятия на берегах реки находилось 37 населенных пунктов, в которых проживало около 25 тыс. человек. Все населенные пункты в верхнем течении, кроме районного административного центра - п. Бродокалмак, представляли собой небольшие деревеньки - 20-50 дворов и 200-300 дворов в нижнем течении.

Повышенные уровни радиоактивного загрязнения воды р. Теча были обнаружены после начала сбросов. В дальнейшем при проведении радиационного обследования всех, прилегающих к предприятию территорий специалистами АН СССР и ПО "МАЯК" было установлено, что пойма и русло р. Теча в значительной степени загрязнены радиоактивными веществами, поступающими со сбросами предприятия.

По оценкам сотрудника ЦЗЛ ПО "МАЯК" Д. И. Ильина [6], за период с марта 1949 г. по сентябрь 1951 г., в р. Теча поступило около 76×10^6 м³ сточных вод с общей активностью $2,76 \times 10^6$ Ки. В состав сбрасываемого раствора, кроме короткоживущих радионуклидов, входили долгоживущие ^{137}Cs и ^{90}Sr , доля которых составляла 12,2 % и 11,6 % соответственно. Обследования поймы в верховьях р. Теча показало, что на отрезке верхнего течения протяженностью в 52 км (от источника до с. Муслимово) было депонировано около 99 % от всей активности, поступившей в реку.

Население, проживающее по берегам реки, подвергалось повышенному радиационному воздействию. Максимальные дозовые воздействия получали люди, проживающие в деревнях, расположенных в верхнем течении реки. Эти данные послужили основанием для принятия решения о прекращении сбросов. Начиная с 1952 г. сброс промышленных сточных вод предприятия в реку был прекращен.

Работы по отселению жителей из поселков, расположенных в верховьях р. Теча, начали проводить

ся с 1951 г. Всего из 22 населенных пунктов было переселено 7,5 тыс. человек.

Прекращение сброса радиоактивных стоков не дало ожидаемых результатов, загрязнение вод р. Теча радионуклидами продолжалось. Было установлено, что основными источниками загрязнения воды являлись пойменные участки в верхнем течении и, в значительно меньшей степени, само русло реки. Поскольку прекращение сброса радиоактивных веществ не привело к резкому улучшению радиационной обстановки, то в январе 1953 г., для снижения радиационного воздействия на население, постановлением Совета министров СССР был введен ряд организационно-хозяйственных ограничений. Вода р. Теча и пойменные территории были изъяты из хозяйственного пользования. По всей реке был установлен санитарно-охранный режим.

Для снижения вторичного загрязнения речной воды, обусловленного вымыванием (десорбцией) радионуклидов загрязненных пойменных участков, проводилась реконструкция плотин водоемов №3 и №4, были построены новые водохранилища водоем №10 и водоем №11. Площадь пойменных участков в верховье реки составляла более 80 % от площади всей поймы реки. В результате строительства системы плотин образовался каскад водохранилищ, в которых было изолировано от открытой гидрографической сети до 98 % от запаса радионуклидов, депонированных на участке поймы верхнего течения р. Теча. Работы по созданию каскада водоемов были начаты в 1951 г., а строительство плотины №11 - завершено в 1964 г.

В 60 г.г. радиационная обстановка на р. Теча начинает постепенно улучшаться, а после 1980 г. относительно стабилизируется на уровне, который характеризуют результаты радиационного контроля за 1989 год.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследований являлись участки поймы и русла р. Теча, расположенные в населенных пунктах: Асаново, Надырово, Муслумово, Бродокалмак, Н. Петропавловск, В. Теча, Першинское и Затеченское. Было проведено обследование 8 разрезов, расположенных перпендикулярно к руслу. В каждом разрезе замеры и отбор проб почвы и растительности проводились слева и справа от реки по схеме: урез – 5 м - 10 м - 30 м - 50 м - 100 м - п + 100 м - фон.

В каждой точке проводилось по 10 замеров плотности β -потоков прибором РУП-1 вплотную к почве и 1 - на высоте 1 м. Мощность γ -излучения экспозиционной дозы (МЭД) определялась на высоте 1 м приборами ДРГ-01-Т, ДРГ-3-02, СРП-68. Образцы почвы отбирали из поверхностного слоя на глубину 6

см (по три выемки в каждой точке), на пахотных землях - с поверхности по 2 кг; пробы растительности - из расчета 400 г сухого веса. Пробы воды и донных отложений (илистые и песчаные) отбирали в каждом разрезе по 3-м точкам: до населенного пункта, в середине и в конце. Объем пробы воды из реки составлял 2 литра, донных отложений - 2 кг.

В образцах воды, почвы, донных отложений и растительности определяли удельную активность ^{137}Cs и ^{90}Sr . Удельную активность ^{90}Sr во всех пробах определялась методом экстракции МИОМФК с последующим замером на УМФ-1500 дочернего иттрия. Удельную активность ^{137}Cs в пробах до 50 пКи идентифицировали радиохимическим сурьмяно-йодистым методом с последующим замером на УМФ-1500. Содержание ^{137}Cs в пробах выше 50 пКи оценивали двумя методами: радиохимическим и гамма-спектрометрическим на установках АИ-256 со сцинтилляционным датчиком. Полученные в ходе исследования показатели проходили статистическую обработку на ПЭВМ по стандартным методикам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Радионуклиды, поступающие в р. Теча, под воздействием различных факторов вовлекаются в динамические процессы разбавления, рассеивания, поглощения, выноса, сорбции и перераспределения. Распределяются радионуклиды между тремя основными компонентами водной экосистемы русла реки: водой, донными отложениями и биотой. Полученные нами данные о распределении удельных концентраций ^{137}Cs и ^{90}Sr в основных компонентах русла реки в августе 1989 г., в зависимости от расстояния до источника представлены на рисунках 1 и 2.

Из приведенной на рисунках информации следует, что уровни удельной активности воды по ^{90}Sr заметно снижаются по мере удаления от источника. На всем обследованном участке реки удельная активность ^{90}Sr в воде превышает уровень вмешательства (НРБ-99) [7]. Необходимо отметить, что в соответствии с НРБ – 76/87 [8], действовавшими в период проведения исследований, допустимый уровень удельной радиоактивности воды по ^{90}Sr составлял 4×10^{-10} Ки/л (14,8 Бк/л). Следовательно, удельная радиоактивность воды р. Теча в нижнем течении была меньше существующих нормативов. Но, на основании полученных данных, нельзя сделать однозначный вывод о возможности использования воды для питья и хозяйственных нужд, так как радиоактивность воды в реке меняется в достаточно широких пределах в течение года в каждой точке наблюдения.

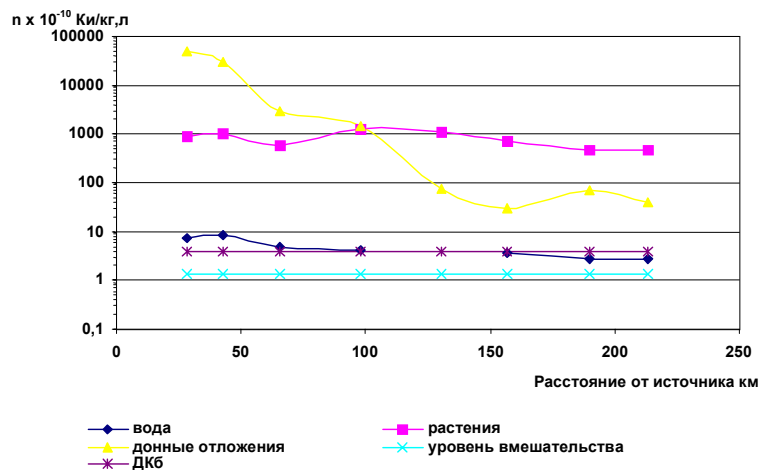


Рисунок 1. Распределение ^{90}Sr в основных компонентах русла р. Теча

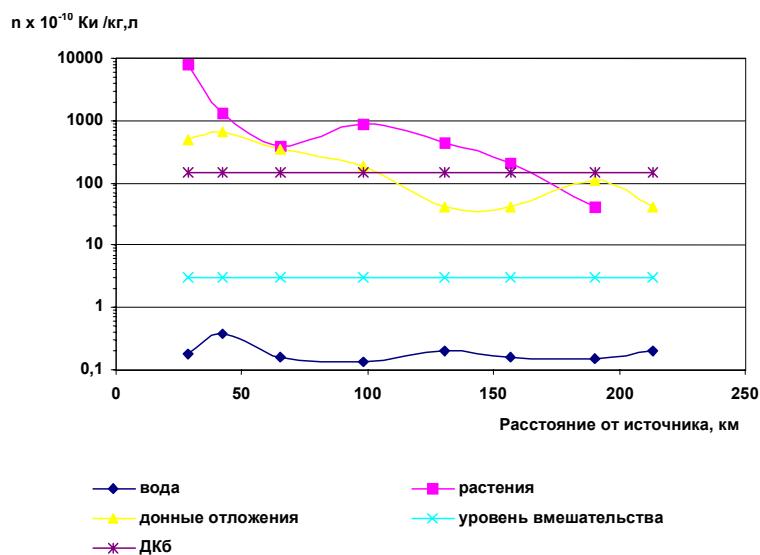


Рисунок 2. Распределение ^{137}Cs в основных компонентах русла р. Теча

Уровень удельной радиоактивности ^{137}Cs воды реки слабо изменяется при удалении от источника и на порядок величины ниже уровня вмешательства.

Уровень удельной радиоактивности ^{90}Sr , депонированного в донных отложениях русла реки, при удалении от точки сброса снижается на три порядка величины, а ^{137}Cs - на два порядка. В погруженной и прибрежной растительности также, наблюдается снижение удельной активности радионуклидов при удалении от точки сброса.

На рисунках 3-6 приводятся: распределение МЭД, ППБЧ, плотности загрязнения речной поймы ^{137}Cs и ^{90}Sr по правому и левому берегам р. Теча.

Из данных, представленных на рисунке 3, следует, что в прибрежной полосе (50-100м) наблюдается превышение по МЭД γ -излучения практически по всей длине русла р. Теча. По ОСП-72/87[8] МЭД γ -излучения не должна превышать - 70 мкР/час. Максимальные значения этого показателя наблюдаются в районе Асановских болот, где превышение норматива на прибрежных участках достигает 90 раз. В низовьях реки превышение нормативного показателя незначительно, и отмечается только в отдельных точках. МЭД γ -излучения снижается при удалении от верховьев к низовьям реки и от русла - в глубину поймы.

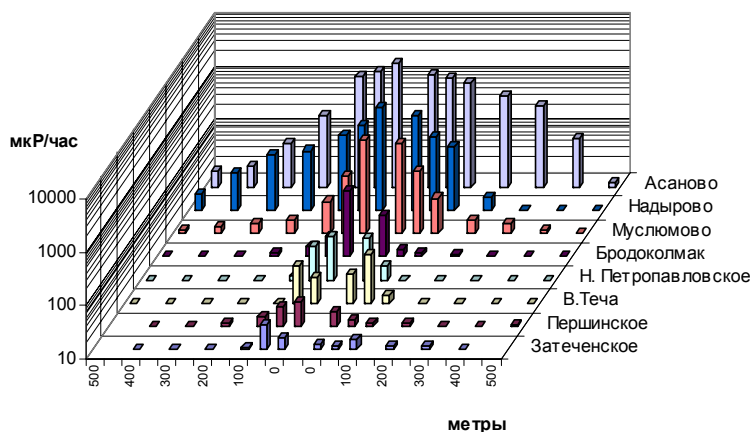


Рисунок 3. Распределение мощности экспозиционной дозы в пойме р. Теча

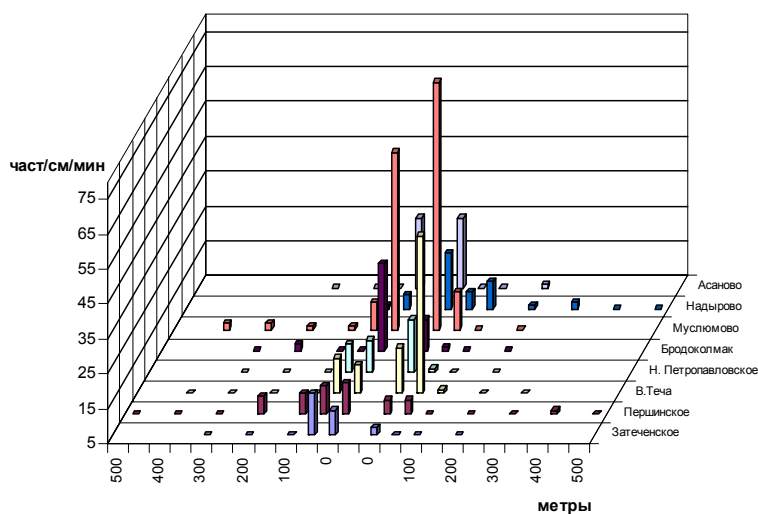


Рисунок 4. Распределение ППБЧ в пойме р. Теча

На рисунке 4 приводится пространственное распределение плотности потока бета – частиц (ППБЧ).

Допустимые уровни для категории Б по ППБЧ от поверхности почвы не установлены, однако, ориентируясь на средние фоновые значения этого показателя для районов Зауралья (5-10 част/см² /мин.), можно утверждать, что в пойме р. Теча отмечаются повышенные значения ППБЧ до расстояния 150 – 200 м от уреза воды в русле реки. Наблюдали пики плотности потока бета-частиц в районе Муслимово и на левом берегу р. Теча.

Значения ППБЧ от поверхности почвы определяется плотностью загрязнения почвы ^{90}Sr , максимальное количество этого радионуклида накоплено в районе Асановских болот, рисунок 5.

На рисунке 6 показано пространственное распределение плотностей загрязнения цезием верхнего (6см слоя почвы).

Проведенные нами расчеты, позволили установить, что значения плотности загрязнения почвы и донных отложений ^{137}Cs связаны линейной зависимостью с МЭД γ -излучения

$$Q_{\text{Cs}^{137}}(\hat{E}\hat{e}/\hat{e}\hat{i}^2) = 2.6 + 0.04\gamma_{\text{Cs}^{137}}(\hat{i}\hat{e}\hat{D}/\hat{a}\hat{n})$$

В целом, зона влияния р. Теча (содержание радионуклидов в почве и растительности, МЭД) во многом зависит от геологических особенностей участка русла реки, определяющих рельеф местности и особенности микро и макро ландшафта, однако во всех случаях она не превышает 500 м от уреза воды.

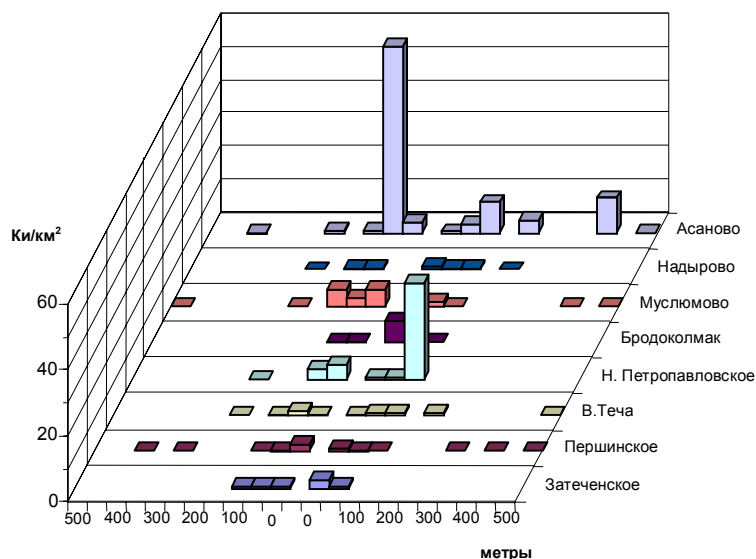


Рисунок 5. Плотность загрязнения почв поймы р. Теча ^{90}Sr

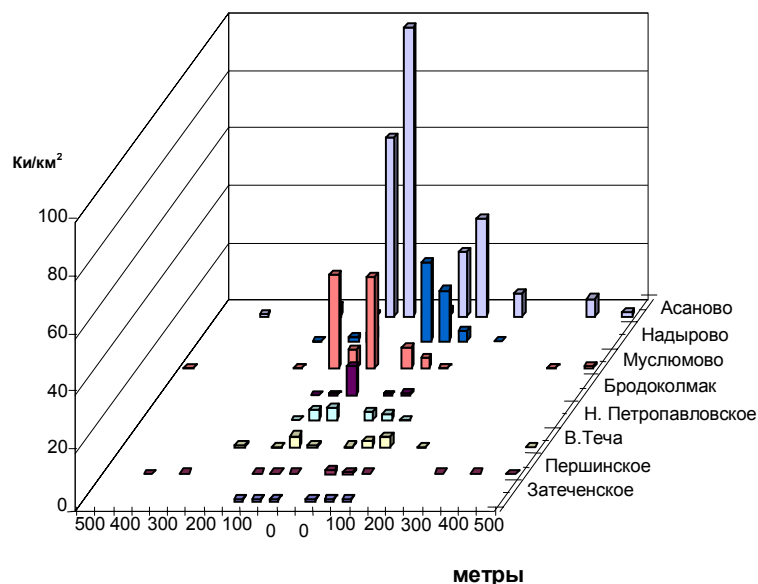


Рисунок 6. Плотности загрязнения почв поймы ^{137}Cs

ЛИТЕРАТУРА

1. Молчанова И.В., Караваева Е.Н., Позолотина В.Н. и др. Закономерности поведения радионуклидов в пойменных ландшафтах р. Теча на Южном Урале. - Экология, 1994, №3, с. 43-49.
2. Караваева Е.Н., Молчанова И.В., Позолотина В.Н. Поведение ^{90}Sr и ^{137}Cs в пойменных почвах р. Течи и Исети, - Атомная энергия, 1997. Т. 83 Вып. 6, с. 462-565.
3. Медико-биологические и экологические последствия радиоактивного загрязнения реки Теча /под. ред. А.В. Аксеева, М.Ф. Киселева – М. : 2000.
4. Крупные радиационные аварии и защитные меры /под. ред. Л. А. Ильина, В. А. Губанова – М.: Атомиздат, 2001-751с.
5. Последствия техногенных катастроф и проблемы реабилитации Уральского региона / под общ. ред. С. Шойгу –М.: 2002.
6. Ильин Д.И. Миграция радиоактивных веществ из открытых водоемов: Дис. д-ра техн. наук / ЦЗЛ ПО "МАЯК"- (ф.11, оп.18, ед.94), Инв №7223 –
7. Нормы радиационной безопасности (НРБ – 99) и СП 2.6.1. 758 – М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999 –110 с.
8. Нормы радиационной безопасности НРБ - 76/87 и Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП - 72/87/ Минздрав СССР.- М.: Энергоиздат, 1988.- 160 с.
9. Рекомендации по ведению сельского и лесного хозяйства при радиоактивном загрязнении внешней среды // под. ред. В.М. Ключковского. М. 1973 158 с.

**ТЕЧА ӨЗЕНІНІҢ ЖАЙЫЛЫМДЫ ЛАНДШАФТАРЫНДАҒЫ
 ^{90}Sr ЖӘНЕ ^{137}Cs КЕҢІСТІКТІ БӨЛІНУІНІҢ ЗАҢДЫЛЫҚТАРЫ**

Смагин А.И.

Федералды мемлекеттік бірыңғай кәсіпорны «Маяк» Өндірістік бірлестігі Орталық зауыт зертханасы, Ресей

Мәліметте Теча өзенінің алқабында 1989 ж.тамызда өткізілген, табиғи алаңдық зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Өзен арнасындағы өсімдіктер мен түптік шөгінділердегі, судағы ^{90}Sr және ^{137}Cs меншіктік белсенділігінің дәрежесі бағаланған. Жайылымдағы топырақтың ластануының радиациялық өрісі мен тығыздығының бөлінісі анықталған.

**REGULARITIES OF SPATIAL DISTRIBUTION
 ^{90}Sr AND ^{137}Cs IN FLOOD LANDSCAPES OF THE TECHA RIVER**

A.I. Smagin

Federal State Unitary Enterprise Production Unification "MAIAK", The central factory laboratory, Russia

The results of natural and field investigations have been carried out in August 1989 in a valley of the Techa River are submitted in the message. The levels of specific activity of ^{90}Sr and ^{137}Cs in water, bottom sediment and plants of the riverbed are evaluated. The distributions of radiating fields and density of flood plain soil contamination are determined.

УДК 504.064:539.16

**ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ БИОТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПУТЕЙ
МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ ПРИ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ
НА СИП И В ДРУГИХ МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ****Ветринская Н.И., Голдобина Е.А.***Институт геофизических исследований ННЦ РК, Курчатов, Казахстан*

Представлен обзор результатов применения одного из методов биотестирования качества природных вод в местах проведения подземных ядерных взрывов. Основанный на определении изменений ионной проницаемости мембран растительных клеток, он может быть использован в комплексе с другими методами как экспрессный метод при мониторинге качества природных вод, а также при изучении миграции радионуклидов и состояния окружающей среды. Возможности экспрессного определения биологического качества воды подтверждены многолетними экспериментами на Семипалатинском испытательном полигоне и в Западном Казахстане.

За время, прошедшее после проведения ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) радиационная обстановка претерпела определенные изменения. Произошел распад большинства выпавших радионуклидов, снизилось радиационное воздействие основных дозообразующих радионуклидов - ^{90}Sr , ^{137}Cs , альфа-излучателей, происходят процессы естественного заглубления радионуклидов в почву. Осуществлен комплекс дезактивационных мероприятий [1]. Однако современная радиоэкологическая обстановка природной среды на СИП остается сложной. Прежде всего, это связано с миграцией радионуклидов. Особую опасность представляет миграция радионуклидов с водой из ядерных полостей, часть которых имеет связь с грунтовыми водами, в результате чего возможен перенос радионуклидов в водоносные горизонты бассейна реки Иртыш [2]. Несмотря на закрытие штолен горного массива Дегелен вынос радионуклидов на дневную поверхность продолжается и в настоящее время. На отдельных порталах вода продолжает поступать через запечатывающие конструкции и систему трещин, вследствие чего радионуклиды перемещаются по руслам ручьев, загрязняя прилегающие территории [3,4]. Экологическая проблема не исчерпывается и в случае прекращения выноса радионуклидов потоками воды, т.к. загрязненная вода оставила в высохших руслах илистые отложения с высоким содержанием радионуклидов [5]. Все это предполагает постановку задачи о постоянном мониторинге для получения достоверной информации о загрязненности не только устьев водных протоков, но и той территории, через которую проходит водная артерия. Радиоэкологическая характеристика водных артерий может охарактеризовать состояние всего региона в целом, тем самым отпадает надобность дополнительного дорогостоящего обследования обширных территорий. Проблема миграции радионуклидов с грунтовыми водами из ядерных полостей существует не только на СИП,

но и в других местах проведения ядерных взрывов, например, в Западном Казахстане [6].

При организации мониторинга миграции радионуклидов первостепенной является задача определения степени токсичности воды. Биологическим критерием токсичности воды является степень сохранности видов гидробионтов и качество потомства. Современный экологический мониторинг включает в себя, как правило, два направления. Первое, пока основное, - представляет физико-химический анализ объектов окружающей среды, который связан с системой ПДК химических веществ. Второе - собственно биологический мониторинг, представлено методологией биотестирования и биоиндикации [7].

Теоретической основой разработки ПДК токсических веществ в воде являются два постулата: 1) действие любого химического фактора пропорционально его интенсивности и выражается формулой «доза – эффект»; 2) биологическое действие химического фактора подчиняется принципу пороговости – ниже определенного порогового значения ответная реакция организма не обнаруживается [8].

С экологической точки зрения результаты определения концентрации вредных веществ имеют относительную ценность. В конечном счете, важно знать не уровни загрязнения, а вызванные ими биологические эффекты. Однако даже самый точный и совершенный химический анализ не может дать информации об этих эффектах. Только регистрация соответствующих аномальных состояний организмов или их сообществ позволяет судить о качестве водной среды с биологических позиций. В этой связи особенно важным представляется правильный выбор биологических методов оценки качества природных вод, их обоснование и широкое внедрение в практику исследовательских и контролирующих организаций. Среди таких методов особое место занимают биотесты. Основное назначение биотестов – дать быструю интегральную оценку антропоэкологической ситуации. Если она имеет отклонение от нормального состояния, то детальный анализ

и выявление опасных компонентов следует выполнять физико-химическими методами. Биотестирование заполняет тот разрыв, который возник между потребностью в информации и возможностью ее реального получения в силу постоянно растущего перечня контролируемых компонентов и ужесточения требования к их минимально определяемым содержаниям [9].

Во многих странах Европы и Азии биотестирование вод закреплено законодательными актами и стандартами этих стран. Так, например, в Австрии, Великобритании, Венгрии, Польше, США и ряде других стран действуют более 40 соответствующих стандартов, как общего назначения, так и на конкретные методы [10]. В России с 1991 г. по Правилам охраны поверхностных вод биотестирование является обязательным элементом системы оценки и контроля качества воды. В Казахстане методы биотестирования внедрены в систему контроля некоторых организаций (Алматы, Национальный центр по переработке минерального сырья, Атырау). Однако в целом возможности биотестирования используются недостаточно, особенно при токсической оценке качества природных вод. Страны СНГ существенно отстают в разработке нормативно-правовой базы, обеспечивающей обязательное включение методов биотестирования в общий комплекс методов оценки качества окружающей среды [11].

Относительная простота реализации многих биотестов, высокая чувствительность, наличие уже апробированной аппаратуры и, самое главное, возможность получать с их помощью уникальную и необходимую для принятия практических решений информацию, которую не могут дать традиционные методы физического и химического анализа, все это делает биотестирование незаменимым элементом контроля окружающей среды. Спектр задач, решаемых на этой основе, весьма широк и включает в себя (помимо оценки токсичности производственных и бытовых стоков и тестирования многих выпускаемых препаратов химической промышленности и при экологическом скрининге) эколого-токсикологическое обследование водоемов и характеристику качества водной среды, биологическое обоснование предельнодопустимых концентраций загрязняющих веществ. Кроме этого, в последнее время разработаны методы биотестирования загрязненных грунтов, отходов [12,13] и атмосферного воздуха [14]. Применение различных наборов биотестов позволяет выявить любые техногенные загрязнения, в концентрациях, значительно меньше ПДК, в том числе и наличие радионуклидов, которые в приоритетном списке антропогенных загрязнителей занимают

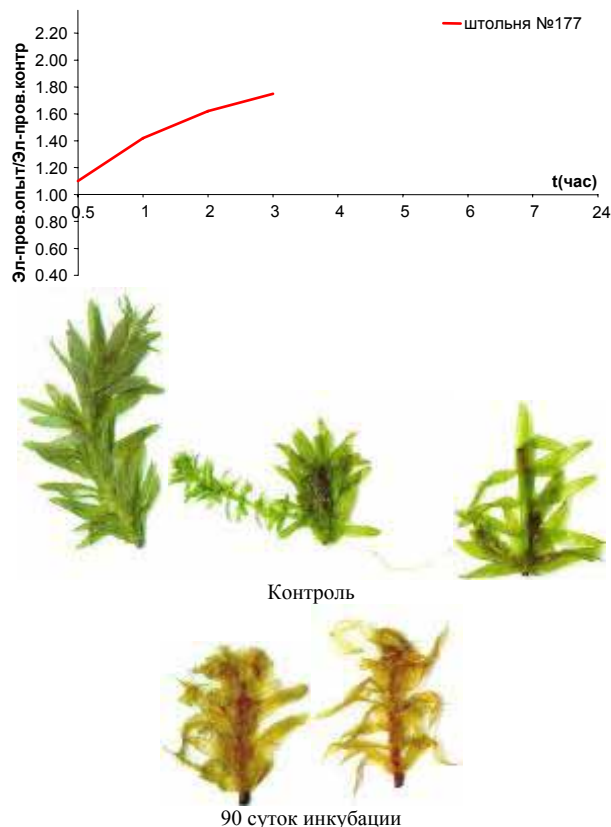


Рисунок 1. Действие воды из штольни №177 на выход электролитов из клеток элодеи (пробы воды 1996 года) одно из первых мест

О перспективах включения методов биотестирования в радиационный мониторинг на СИП указывают работы, проводимые Институтом геофизических исследований НЯЦ РК в течение ряда последних лет [15-19]. Для применения был выбран метод биотестирования, регистрирующий изменения первичных биофизических процессов, происходящих в мембране клеток элодеи, в присутствии токсикантов. После регистрации нарушений проницаемости в мембранах на этих же растениях ставились долгосрочные опыты, до 90 суток инкубации.

На первом этапе на токсичность исследовались пробы воды из штолен горного массива Дегелен, содержащие заведомо известное количество радионуклидов. Исследования проводились с использованием проб воды, отбираемых в течение 3-х лет, в 1996-1998 гг., из одних и тех же штолен - №177, 165, 511. Сведения о водопроявлениях в штольнях и содержании в воде радионуклидов приведены в таблице 1 [4]. Из нее видны различия и изменения в содержании радионуклидов (^3H , ^{137}Cs) в воде исследованных штолен в течение всех лет наблюдения.

На рисунках 1-3 представлены результаты биотестирования проб воды, отобранных в 1996 г. На приводимых графиках по оси ординат дана величина степени токсичности воды, по оси абсцисс – вре-

мя, в течении которого наблюдался выход ионов из клеток элодеи.

На рисунке 1 – результаты биотестирования проб воды из штольни №177. В воде штольни №177 максимальная величина степени токсичности составила 1.75, что превышает контроль на 75%, т.е. вода из этой штольни является остроотоксичной для элодеи. Долгосрочный эксперимент, где элодея инкубировалась в токсичной воде в течение 90 суток, показал, что растения погибли.

На рисунке 2 представлены результаты биотестирования проб воды из штольни №165. Степень токсичности проб этой воды имело величину 1.6. Отличие в выходе ионов из клеток элодеи от контроля составило 60%. Хронический опыт показал, что через 90 суток растения погибли. Отмечена интересная реакция растений на действие токсичной воды - ускорение развития во времени (эффект ускоренного старения). В короткие сроки часть растений образовала новые побеги и корни, старые растения погибли и мацерировали. Но в дальнейшем, пребывание новых молодых растений в токсичной воде сопровождалось обесцвечиванием листьев, что привело растения к гибели. Описанную реакцию следует расценивать как адаптацию растений к изменившимся условиям среды. По-видимому, если бы действующие токсиканты перестали действовать на новые растения, они выжили бы.

На рисунке 3 представлены результаты биотестирования проб воды из штольни №511. Максимальная степень токсичности составила 1.2, что позволяет отнести эту воду к хронически токсичной. После 90 суток инкубации растения вели себя так же, как и в предыдущей пробе: часть из них погиб-

ла, часть прошла цикл ускоренного развития с образованием новых побегов и корней.

На рисунках 4-6 представлены результаты биотестирования проб воды, отобранных в 1997 г. из тех же штолен - №№177, 165, 511.

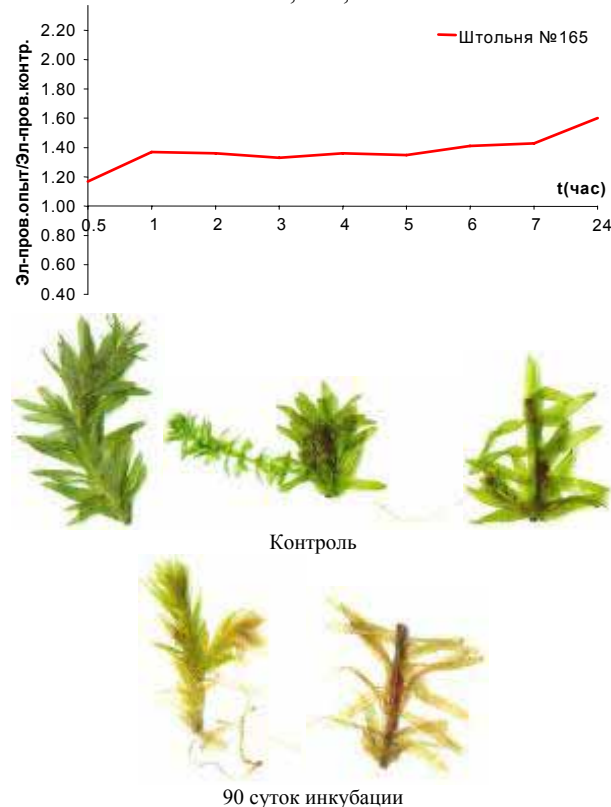


Рисунок 2. Действие воды из штольни №165 на выход электролитов из клеток элодеи (пробы воды 1996 года)

Таблица 1. Водный дебит отдельных штолен с водопроявлениями и удельная активность радионуклидов в воде (из статьи: "Радиационный мониторинг водотоков и проблемы реабилитации на горном массиве Дегелен Семипалатинского испытательного полигона"), Авторы: Ахметов М.А., Артемьев О.И., Птицкая Л.Д. (Институт радиационной безопасности и экологии); Синяев В.А. (Институт химических наук).

Период изучения Исследуемые показатели			Номер штольни									
			104	156-Т	165	176	177	503	504	511	609	A-1
1996 г.	Приток воды, л/мин	холодный период	330	37,4	30	175	1250	120	340,6	119,4	135	187
		теплый период	1400	159	360	313,2	302,2	>500	117.6	315.6	361.8	192
	Удельная активность	¹³⁷ Cs, Бк/л	230	18	354	78	8	188	622	144	313	296
		³ H, кБк/л	277	21	437	670	1281	193	435	204	42	338
		⁹⁰ Sr, Бк/л							520	160		
1997 г.	Приток воды, л/мин	холодный период	361	33	49	166	37	147	59	215	83	34
		теплый период	282	14	48	181	25	94	76	206	88	27
	Удельная активность	¹³⁷ Cs, Бк/л	330	19	343	84	4	206	696	158	421	229
		³ H, кБк/л	238	30	459	633	1725	184	519	425	48	252
1998 г.	Приток воды, л/мин	холодный период	710	18	20	291	165	42	126	138	113	41
		теплый период	687	290	213	487	286	78	561	495	571	47
	Удельная активность	¹³⁷ Cs, Бк/л	222	14	205	62	16	139	419	116	224	34
		³ H, кБк/л	311	47	428	639	1253	246	407	323	33	241
1999 г.	Приток воды, л/мин	холодный период	872	0	10	112	207	27	0	12	0	0
		теплый период	508	0	1	140	227	26	0	27	47	0
	Удельная активность	¹³⁷ Cs, Бк/л	227		247	70	4	137		62	102	
		³ H, кБк/л	233		349	511	1104	170		294	16	
		⁹⁰ Sr Бк/л	998		1375	229	1145	192		300	499	

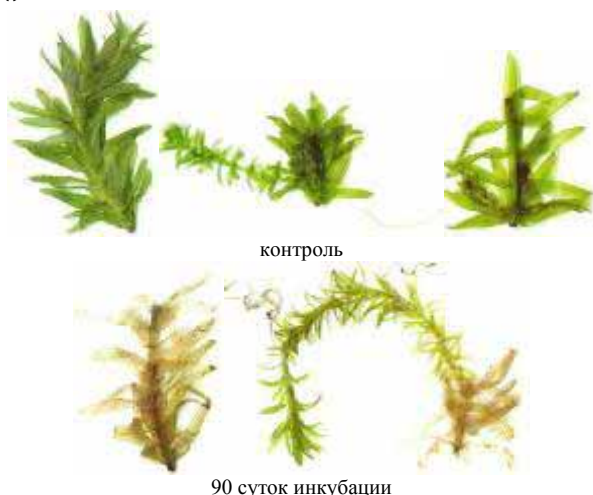
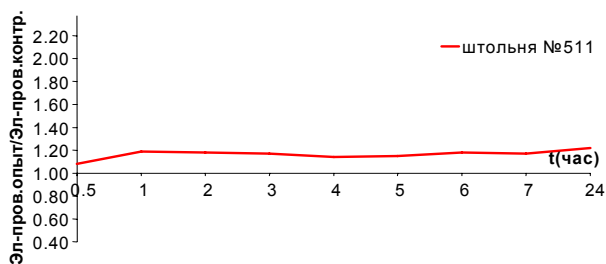


Рисунок 3. Действие воды из штольни №511 на выход электролитов из клеток элодеи (пробы воды 1996 года)

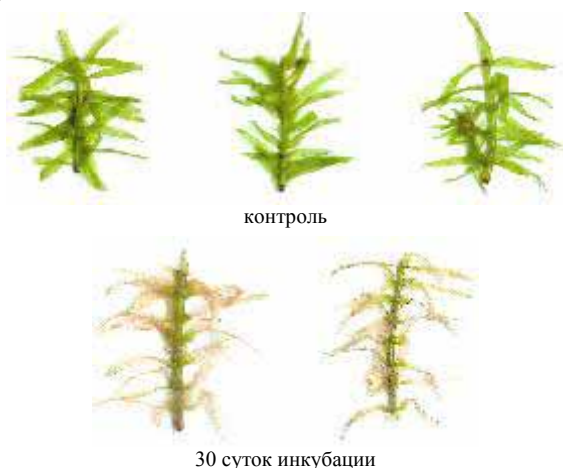
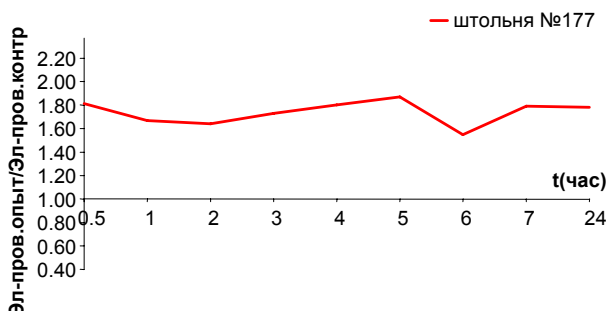


Рисунок 4. Действие воды из штольни №177 на выход электролитов из клеток элодеи (пробы воды 1997 года)

На рисунке 4 – результаты биотестирования проб воды из штольни №177. Максимальная степень токсичности при 6-суточной инкубации растений в этой пробе составляет величину 1.85, т.е. выше, чем в пробе воды, отобранной в 1996 г. Вода обладает острой токсичностью. Растения погибли уже при 30-суточной инкубации.

На рисунке 5 – результаты биотестирования проб воды из штольни №165. Отклонение от контрольного значения составляет здесь 45%, что приближает воду штольни №165 к остротоксичной. При 30-суточной инкубации листья элодеи обесцветились и растения близки к гибели. По исследованиям, ранее выполненным нами и опубликованным в [15,16,18], было установлено два типа реакции мембран клеток растений на действие токсикантов. Это – ингибирование обмена ионами с внешней средой и реакция ускорения обмена. В данном случае наблюдается реакция ингибирования обмена ионами с внешней средой.

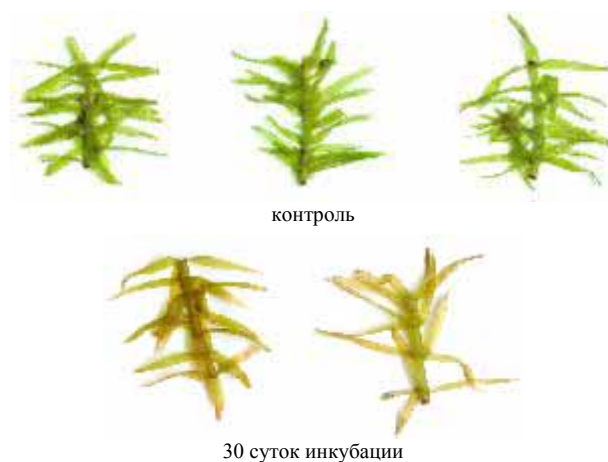
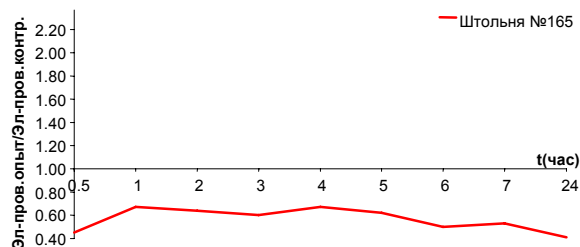


Рисунок 5. Действие воды из штольни №165 на выход электролитов из клеток элодеи (пробы воды 1997 года)

На рисунке 6 – результаты биотестирования проб воды из штольни №511. В данном случае наблюдается ингибирование выхода ионов после помещения растений в дистиллированную воду, а затем ускорение выхода ионов из клеток элодеи. Степень токсичности при этом достигает величины 2.35. Через 30 суток инкубации отмечается эффект ускоренного развития новых растений при гибели старых.

На рисунках 7-9 представлены результаты биотестирования проб воды, отобранных в 1998 г. из тех же штолен №№177, 165 и 511.

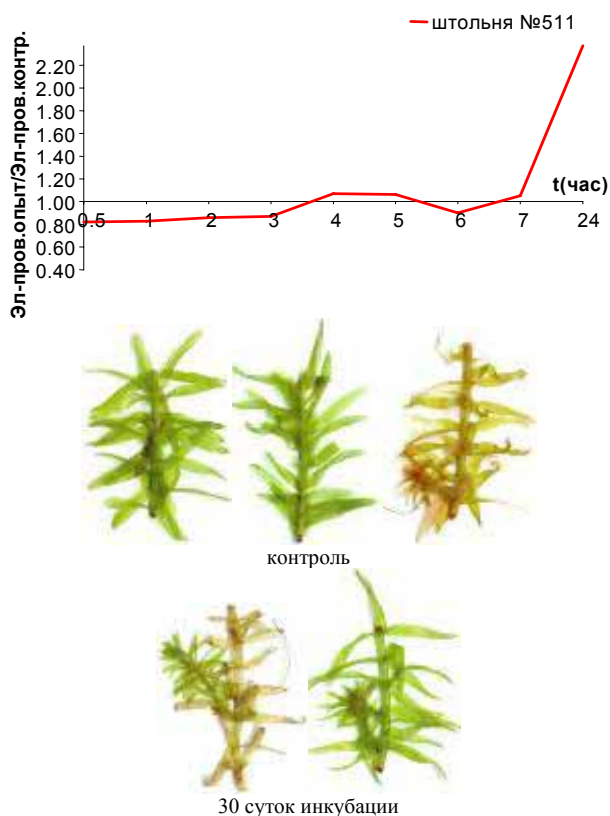


Рисунок 6. Действие воды из штольни №511 на выход электролитов из клеток элодеи (пробы воды 1997 года)

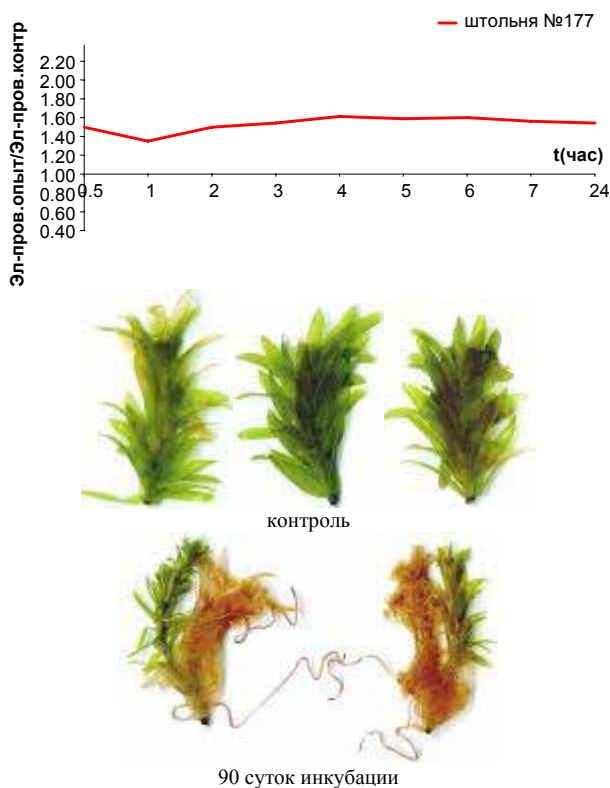


Рисунок 7. Действие воды из штольни №177 на выход электролитов из клеток элодеи (пробы воды 1998 года)

На рисунке 7 – результаты биотестирования воды из штольни №177. Максимальная степень токсичности – 1.6. При 90-суточной инкубации наблюдается эффект ускоренного развития растений с гибелью старых и образованием новых растений и корней.

На рисунке 8 – результаты биотестирования воды из штольни №165. Максимальная степень токсичности – 1.6. 90-суточная инкубация растений подтверждает результаты краткосрочного биотестирования об острой токсичности исследуемой воды. Растения частично погибли, частично прошли цикл ускоренного развития с обесцвечиванием новых побегов.

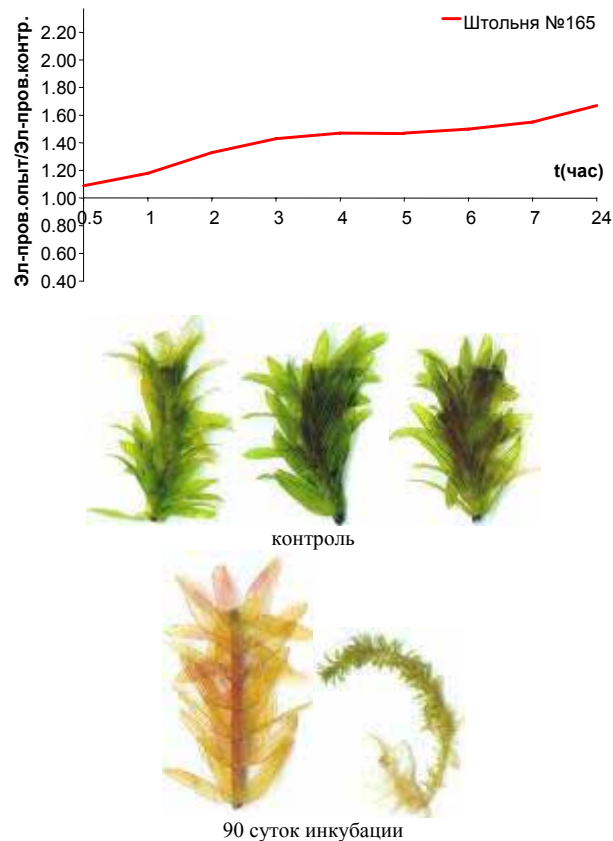


Рисунок 8. Действие воды из штольни №165 на выход электролитов из клеток элодеи (пробы воды 1998 года)

На рисунке 9 – результаты биотестирования воды из штольни №511. Максимальное отклонение от контроля по выходу ионов составляет 50%. В хроническом опыте отмечается процесс ускоренного развития с гибелью растений и образованием новых побегов и корней.

Таким образом, результаты биотестирования показывают, что вода штолен №№177, 165, 511 – токсична для элодеи, причем токсичность воды не уменьшается с течением времени.

Для сравнения проводилось биотестирование воды, отобранной в водопроводной сети г.Курчатова, прошедшей через фильтр, села Молдары и речной воды Иртыша. В качестве контрольной была взята вода г. Алматы. Результаты представлены на рисунке 10. После 6-суточной инкубации растений в ис-

следуемых пробах воды отклонения в выходе ионов во всех случаях не превышает 20%, что говорит о благополучном состоянии качества воды для элодеи. Хронический эксперимент в течение 30 суток показал, что в воде из р.Иртыш и с.Молдары имеется тенденция к ускоренному развитию растений. Образовались новые побеги и корни в большем количестве и большей длины, чем в контрольной воде. В водопроводной воде г.Курчатова, прошедшей фильтр, растения развивались аналогично контрольным растениям.

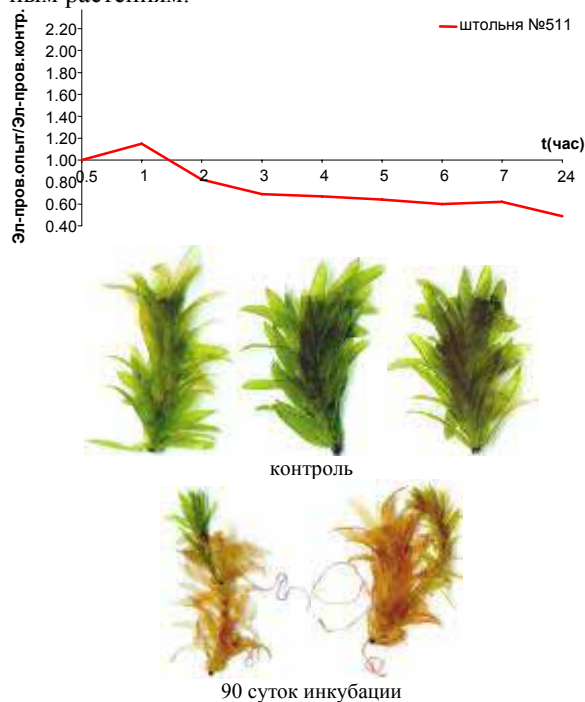


Рисунок 9. Действие воды из штольни №511 на выход электролитов из клеток элодеи (пробы воды 1998 года)

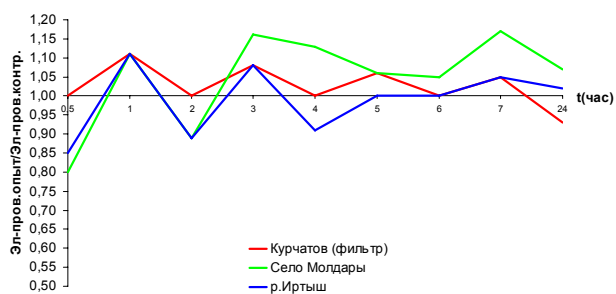


Рисунок 10. Выход электролитов из клеток элодеи при инкубировании (6 суток) в воде водопроводной г.Курчатова, с.Молдары, р.Иртыш

Итак, результаты биотестирования воды некоторых штолен массива Дегелен, загрязненных радионуклидами, а также питьевой воды г.Курчатова, с.Молдары и р.Иртыш, вблизи г.Курчатова достаточно убедительно показывают эффективность использования примененного метода биотестирования для выявления интегрального показателя экологического качества воды.

Следующий этап исследований связан с оценкой экологической опасности загрязненных радионуклидами донных отложений и воды р. Березовка, протекающей в непосредственной близости от ядерных полостей, подземными ядерными испытаниями (Западный Казахстан, Карачаганакское нефтегазо-конденсатное месторождение).

Исследовались пробы донных отложений р. Березовка с заведомо известным содержанием в них радионуклидов (^{137}Cs , Th-228, ^{40}K , ^{236}Ra). (Данные института ядерной физики).

Биотестирование проводилось совместно с лабораторией биотестирования Казмеханобра на 4-х тест-объектах (одноклеточные водоросли, элодея, цериодафнии, инфузории).

Токсичность донных отложений проявилась на всех тест-объектах. В некоторых пробах наличие токсичности коррелирует с содержанием радионуклидов. Результаты этих исследований подробно изложены в работе [18]. Ввиду потенциальной опасности миграции радионуклидов с водой проводилось биотестирование проб воды р. Березовка, отобранных как поблизости от нахождения ядерных полостей, так и на некотором удалении вверх и вниз по течению. Интегральная токсичность проб воды исследовалась на 5 тест-объектах (одноклеточные водоросли, элодея, цериодафнии, дафнии и инфузории). Результаты этих исследований опубликованы в экологическом сборнике "Вестник НЯЦ" за 2003 г.

Полученные результаты по определению качества воды р.Березовка показали, что все пробы воды, отобранные на протяжении исследованного участка являются или остро, или хронически токсичными для всех тест-объектов. Токсичность воды может быть обусловлена техногенным влиянием, как проведенных ядерных взрывов, так и газоконденсатного комбината, расположенного вверх по течению от места отбора проб.

Комплекс многолетних исследований по определению качества воды биотестированием позволяет говорить о том, что данный метод обладает большой чувствительностью, позволяет четко определять интегральную токсичность даже при незначительных содержаниях токсикантов в воде - в концентрациях, когда химическими методами это сделать затруднительно, что особенно важно в случае радионуклидов.

Исключительно важное место биотестирование может занять при изучении хронического воздействия малых количеств мигрирующих радионуклидов на живые объекты.

Так, например, в настоящее время известно, что радиоактивность внешней среды Семипалатинского региона формируется в первую очередь за счет продуктов распада $^{238,239}\text{Pu}$, в меньшей степени обусловлена ^{90}Sr и ^{137}Cs . Ионизирующие излучения изотопов плутония и стронция-90 характеризуются слабой интенсивностью и поэтому экспозиционная

доза внутреннего облучения за счет указанных изотопов относится к категории малых доз. В качестве критерия малых доз радиации принята величина 1мЗв/год, т.е. 100 миллирентген/год. Радиобиологические исследования последних десятилетий выявили, что малые дозы низкой интенсивности обладают высокой радиотоксичностью. Так, необратимое повреждение клеточных мембран обнаружено после действия радиации в дозах всего в 0.7 рад, подведенной по 0.001 рад/мин в течение 12 часов. Аналогичное повреждение наступило после кумулятивной дозы в 3500 рад, (по 26рад/мин в течение 2.2 часов). Таким образом, эффективность малых доз по критерию повреждаемости мембран в пять тысяч раз превышает эффективность больших доз радиации высокой интенсивности [19].

На фоне глобального загрязнения окружающей среды различной природы токсикантами необходимо учитывать сочетанное действие на живые организмы ионизирующих излучений низкой интенсивности и других токсикантов. Отдаленные последствия хронического воздействия в малых дозах связаны не столько со специфическими реакциями на воздействие, сколько с постепенным истощением компенсаторных возможностей клетки

или организма [20]. Именно поэтому покомпонентный контроль различных токсикантов на базе существующих нормативов не может служить критерием оценок состояния экосистем. Оценку следует осуществлять на основе обобщенных (интегральных) критериев, характеризующих изменения биологических показателей экосистем в результате воздействия на них различных техногенных загрязнителей. Наиболее информативной является многоуровневая схема организации комплекса экоаналитического контроля, которая на первом уровне предусматривает оценку интегральной антропогенной нагрузки на живую природу посредством биологического тестирования. На втором уровне проводится качественное аналитическое тестирование по отдельным классам загрязнителей с использованием химических тестов (индикаторные трубки, бумага, и др.). И только выявление опасного уровня загрязненности должно привести на третьем уровне к компонентному анализу с количественным определением загрязнителей. Лишь благодаря такой последовательности может быть осуществлена оперативная оценка экологической безопасности на конкретном объекте с минимальными экономическими затратами и необходимой достоверностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айдарханова Г.С. Сравнительная оценка радионуклидной загрязненности почвенно-растительного покрова на нарушенных и ненарушенных территориях Семипалатинского полигона //Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде. (Материалы международной конф. 9-11 февраля 2000 г.) Семипалатинск, 2000. С.285-287.
2. Черепнин Ю.С. Радиационное загрязнение территории Семипалатинского испытательного полигона //Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде. (Материалы международной конф. 9-11 февраля 2000 г.) Семипалатинск, 2000. С.135-145.
3. Коновалов В.Е., Пестов Е.Ю., Эдомин В.И. О выносе радионуклидов водой из штолен массива Дегелен // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде. (Материалы международной конф. 9-11 февраля 2000 г.) Семипалатинск, 2000. С.155-157.
4. Ахметов М.А., Артемьев О.И., Птицкая Л.Д., Синяев В.А. Радиационный мониторинг водотоков и проблемы реабилитации на горном массиве Дегелен Семипалатинского испытательного полигона //Вестник НЯЦ, Радиоэкология. Охрана окружающей среды. Вып.3, сентябрь, 2000. С.23-28.
5. Коновалов В.Е., Пестов Е.Ю., Артемьев О.И., Ларин В.Н. Влияние стабилизации водного режима на экологию горного массива Дегелен //Вестник НЯЦ, Радиоэкология. Охрана окружающей среды. Вып.3, 2000. С.148-151.
6. Такибаев Ж.С. Атомная энергия – разрушающая и созидаящая. //Алматы, 2002 г.
7. Данилин И.А., Сыныныс Б.И., Козьмин Т.В., Ротт Г.М. Экспериментальное обоснование нового метода биотестирования пресноводных водоемов по содержанию белков металлохелонинов в органах и тканях двусторчатых моллюсков //Экология, 2002, №5. С.397-400.
8. Будников Г.К., Евтюгин Г.А. Обобщенная оценка загрязнения вод с помощью биологических (биохимических) методов анализа //Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. Обзорная информация (ВИНИТИ). №5, 2002, Москва. С87-115.
9. Будников Г.К., Евтюгин Г.А. Экспресс-тестовые методы определения ингибиторов гидролитических ферментов с помощью электрохимических биосенсоров //Российский химический журнал (Ж.Рос.хим.об-ва им.Д.И.Менделеева), 2001 г., т. XLV, №4. С.86-94.
10. Филенко О.Ф., Дмитриева А.Г. Приборы и системы управления, 1999, №1. С.61-63.
11. Курамшина Н.Г., Курамшин Э.М., Лапиков В.В., Грабовская Л.И. Интегральная оценка экологического состояния поверхностных вод р.Белая и ее притоков в районе г.Уфы методом биотестирования //Экологические системы и приборы, №4, 2001 г. С.24-28.
12. Карташев Ф.В., Данилов В.С., Зубкова Т.А. Метод определения общей токсичности водных экстрактов дерново-подзолистых почв по ингибированию бактериальной люминесценции //Вестник Моск. Ун-та. Сер.17 Почвоведение. 2002. №3. С.47-51.
13. Тимофеева Ю.Н., Смирнов Б.Н. Метод оценки экотоксичности отходов //Экология и промышленность России, январь, 2001 г. С.15-16.
14. Кабиров Р.Р., Суханова Н.В., Хайбуллина Л.С. Оценка токсичности атмосферного воздуха с помощью микроскопических водорослей //Экология, 2000, №3. С.231-232.

15. Ветринская Н.И., Манасбаева А.Б. Оценка качества воды методом биотестирования на площадке Дегелен бывшего Семипалатинского испытательного ядерного полигона //Тезисы II Междунар.конф. по проблемам нераспространения ядерного оружия. Курчатов, 14-16 ент.1998. С.95.
16. Ветринская Н.И. Биотестирование – экспресс-метод определения экологического качества природных вод СИЯП //Тезисы междунар.конф. «Геолого-геофизические исследования полигонов РК (повящ. 100-летн. Юбилею К.И.Сатпаева), Курчатов, 26-29 апреля, 1999 г. С.38.
17. Такибаев Ж.С., Ветринская Н.И. Биотестирование – экспресс-метод определения экологического качества природных вод СИП //Вестник НЯЦ РК. Радиоэкология. Охрана окружающей среды, вып.3, сентябрь 2000. С.153-157.
18. Ветринская Н.И., Куликова О.В. и др. К вопросу о миграции радионуклидов в районе реки «Березовка» на Карачаганакском нефтегазоконденсатном месторождении //Докл. II междунар. Научно-практич.конф. «Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы – биофиллы в окружающей среде (16-18 октября 2002 г.), т.2, Семипалатинск, 2002. С.15-25.
19. Балмуханов С.Б., Воронин А.М., Балмуханов Т.С., Воронин А.А. Плутоний и здоровье. //Вестник Мин. образ. и науки Нац. Академии наук РК. №3. 2002. С.8-16.
20. Тверской Л.А., Гродзинский Д.М., Кейсевич Л.В. Исследование биологического эффекта хронического действия радиации с низкой мощностью доз на фитопатогенные грибы // Радиационная биология. Радиоэкология, т.37, вып.5, 1997. С.797-803.

ССП ЖӘНЕ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАР ӨТКІЗІЛЕТІН ӨЗГЕ ЖЕРЛЕРДЕ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГІСІНДЕ РАДИОНУКЛИДТЕР ТАРАЛУ ЖОЛДАРЫН ЗЕРДЕЛЕУҮҮШІН БИОТЕСТТЕУІНІҢ КЕЛЕШЕГІ

Ветринская Н.И., Голдобина Е.А.

ҚР ҰАО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Жер астындағы ядролық жарылыстар өткізілген жерлерде табиғатты судың сапасын биотесттеу әдістерінің бірін қолдану нәтижелерінің шолуы ұсынылған. Өсімдік клеткалар мембраналарының ионды өтімділігі өзгеруін анықтауында негізделген, бұл әдісті табиғатты су сапасының мониторингісінде басқа әдістермен бірге жедел әдіс ретінде, сондай-ақ радионуклидтер таралуы мен қоршаған орта күйін зерделеуінде қолдануға болады. Судың биологиялық сапасын жедел анықтау мүмкіншіліктері Семей сынақ полигоны мен Батыс Қазақстандағы көп жылдық эксперименттермен расталған.

BIOTESTING PROSPECTS FOR STUDYING RADIONUCLIDE MIGRATION PATHS DURING ECOLOGICAL MONITORING AT THE STS AND OTHER NUCLEAR EXPLOSION PLACES

N.I. Vetrinskaya, E.A. Goldobina

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

A review of application results of a method for biotesting natural water quality at the underground nuclear testing places is presented. It can be used together with other methods as an express method during monitoring the quality of natural waters and also for studying the radionuclide migration and environmental conditions basing on determination of ionic permeability changes of vegetable cell membranes. The possibilities of express determination of biological quality of water are proved by long-term experiments at the Semipalatinsk Test Site and in Western Kazakhstan.

УДК 535.23:613.648

ДИНАМИКА ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ СМЕРТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ РАЙОНОВ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ, ПОДВЕРГАВШИХСЯ ОБЛУЧЕНИЮ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИСПЫТАНИЙ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ (1949-1975 гг.)

Гусев Б.И., Пивина Л.М., Апсаликов К.Н., Раисова Г.К., Щербакова С.В.,
Жазыкбаева Л.К., Мансарина А.Е., Саматугина О.Н., Гроше Б., Бауэр С.

¹⁾НИИ радиационной медицины и экологии, Семипалатинск, Казахстан

²⁾Институт радиационной гигиены, Мюнхен, Германия

Проведен эпидемиологический анализ показателей онкологической смертности населения семи районов Восточно-Казахстанской области по данным 42174 актов- сертификатов о причинах смертности. В пяти районах (Жарминский, Бескарагайский, Абайский, Жана-Семейский и Чарский) среди населения возрастной группы 60 лет и старше через 4-21 год от начала облучения обнаружено существенное превышение показателей онкологической смертности в различные временные промежутки.

ВВЕДЕНИЕ

В период с 1949 по 1989 гг. на Семипалатинском ядерном испытательном полигоне взорвано 458 ядерных зарядов. Наиболее опасными для окружающей среды и человека являлись наземные ядерные взрывы различной мощности (30 взрывов). Беспрецедентность радиационных ситуаций, формировавшихся в результате испытаний, заключалась в том, что практически ежегодно одно и то же население подвергалось неоднократному острому и последующему хроническому облучению в широком диапазоне доз.

Располагая сведениями о динамике смертности населения шести экспонированных районов (Абайского, Жана-Семейского, Бескарагайского, Жарминского, Бородулихинского, Чарского) и контрольного Кокпектинского района за период с 1949 по 1975 гг.,

мы провели дескриптивное эпидемиологическое исследование по оценке возможных онкологических эффектов в отдаленные сроки после облучения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалами исследования послужили акты-сертификаты о причинах смертности населения изучаемых районов за период с 1949 по 1975 гг. Всего статистическому анализу подверглось 42174 акта. Из них 52,9% составляли мужчины. Численность населения за изучаемый период колебалась в пределах 128-163 тыс. человек. Этнический и возрастно-половой состав населения экспонированных районов был адекватен таковому в контрольном районе.

Диапазон эффективных эквивалентных доз облучения населения экспонированных районов составлял от 29,3 до 87,0 сЗв (таблица 1).

Таблица 1. Распределение кумулятивных эффективных эквивалентных доз облучения населения изучаемых районов Восточно-Казахстанской области.

Районы	Доза внешнего облучения, сГр	Доза внутреннего облучения, сЗв	Кумулятивная эффективная эквивалентная доза, сЗв
Абайский	35,5	27,0	62,5
Бескарагайский	67,0	20,0	87,0
Жана-Семейский	39,2	14,0	53,2
Жарминский	19,0	17,0	36,0
Чарский	18,5	13,0	31,5
Бородулихинский	22,3	7,0	29,3
Кокпектинский*	-	-	5,0-7,0*

*Примечание: расчет дозы проведен специалистами военного ведомства бывшего СССР

Кодировка причин смертности осуществлялась в соответствии со Статистической классификацией болезней, травм и причин смерти 9-го пересмотра (МКБ-9) с указанием основного заболевания, приведшего к смерти.

Дескриптивный медико-статистический анализ проведен с применением расчета интенсивных показателей смертности (на 100000 населения) с последующей их стандартизацией (ASR). При этом были рассчитаны коэффициенты стандартизованного отношения смертности (SMR).

Учитывалось, что группа сравнения по своей возрастной структуре соответствовала всей популяции мужчин и женщин, подвергшихся радиационному воздействию в период с 1949 по 1965 гг.

Основной вероятностной моделью коэффициентов смертности является распределение Пуассона (Breslow N.E. et al; 1987). В связи с этим, для определения 95% доверительного интервала (верхние и нижние границы стандартизованных показателей смертности) использовалась формула

$$CI=e^{\ln(RR)\pm 1,96\sqrt{\ln(RR)}}$$

где e – основание натурального логарифма, приблизительно равное 2,718; $\ln$ – логарифмическая функция по основанию e .

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.

На всем протяжении исследования стандартизованные показатели онкологической смертности среди населения экспонированных и контрольного районов значительно варьировали (от 52 до 485,0 на 10^5). При этом в Жарминском, Чарском, Бескарагайском районах обнаружены существенные изменения ASR в одинаковые временные промежутки. Во всех районах ASR мужчин не отличались от ASR женщин.

За весь период наблюдения в Бородулихинском и Абайском районах стандартизованные показатели онкологической смертности мужчин и женщин не имели достоверных различий с контролем.

ASR мужчин и женщин Бескарагайского района за весь период исследований были выше по сравнению с контрольным районом.

Среди мужчин Бескарагайского района с 1959 г. (через 9 лет после формирования эффективной эквивалентной дозы) зафиксирован существенный подъем ASR – 314,8 (214,1-462,7); в контроле – 130,2 (80,6-210,1) ($P < 0,01$, SMR=240%). До 1963 г. уровень онкологической смертности экспонированного района оставался существенно более высоким. В 1963 г. ASR экспонированной группы нивелируются с контрольными.

С 1964 г. по 1965 г. зафиксировано очередное достоверное превышение ASR в экспонированной группе: 417,3 (291,9-596,6); в контроле – 172,8 (115,5-258,6) ($P < 0,05$; SMR=240%); 382,2 (276,3-528,8); в контроле – 129,9 (80,4-209,4) ($P < 0,05$, SMR=290%) соответственно.

В последующие 7 лет (до 1973 г.) ASR экспонированной группы существенно не отличались от контрольных. Очередное существенное повышение ASR в экспонированной группе отмечено в 1973-1974 гг.

Приблизительно ту же картину мы наблюдали и среди женщин Бескарагайского района. С 1956 г. (6 лет от начала облучения) до 1973 г. (23 года от начала облучения) зафиксировано 4 пика существенного повышения ASR по сравнению с контрольной группой. В 1956 г. ASR составил 248,2 (167,4-368,2), в контроле – 79,9 (44,1-145,1) ($P < 0,05$, SMR=310%); в 1964 г. – 259,7 (162,1-416,2), в контроле – 74,9 (41,3-135,9) ($P < 0,05$, SMR=360%); в 1965 г. – 306,7 (216,4-434,7), в контроле – 88,4 (51,0-152,9) ($P < 0,05$, SMR=350%); в 1973 г. – 229,9 (158,3-333,9), в контроле – 57,6 (29,8-111,5) ($P < 0,05$, SMR=390%).

Анализ динамики стандартизованных показателей онкологической смертности среди экспонированного населения Жана-Семейского района показал, что среди женщин с 1964 по 1967 гг. (8-11 лет от начала облучения), а среди мужчин – с 1966 по 1971 гг. (10-15 лет от начала облучения), имелось достоверное их превышение по сравнению с контрольной группой. В остальные годы существенных различий ме-

жду экспонированной и контрольной группами по ASR не получено.

Положительная динамика ASR среди мужчин экспонированного Жарминского района была зафиксирована с 1965 г. (11 лет от начала облучения) – 423,6 (321,9-557,7), в контроле – 129,8 (80,4-209,4) ($P < 0,01$, SMR=330%), до 1971 г. (17 лет от начала облучения) – 414,6 (317,6 – 541,4), в контроле – 125,8 (79,1-200,2) ($P < 0,05$, SMR=330%).

Среди женщин этого экспонированного района отмечено два временных промежутка, в течение которых ASR существенно превышали показатели контроля. Первый временной промежуток – 1957 по 1961 гг. (3-7 лет от начала облучения). Второй – с 1964 по 1971 гг. (10-17 лет от начала облучения). Так, в 1957 г. стандартизованный показатель онкологической смертности среди женщин экспонированного района составил 276,7 (196,9-388,8), в контроле – 91,2 (51,6-161,2) ($P < 0,05$, SMR=303%); в 1961 г. – 257,0 (180,8-365,2), в контроле – 102,4 (60,2-174,2) ($P < 0,05$, SMR=250%). Во втором периоде – в 1964 г. ASR женщин экспонированного района составил 262,4 (187,7-366,8), в контроле – 74,9 (41,2-135,9) ($P < 0,05$, SMR=305%). Наибольший пик подъема ASR зафиксирован в 1966 г. – 433,8 (334,5-562,6), в контроле – 93,9 (55,2-159,7) ($P < 0,01$, SMR=460%). С 1971 г. по 1975 г. ASR экспонированной и контрольной групп не имели достоверных различий.

Несколько отличную временную динамику имели стандартизованные показатели онкологической смертности среди женщин и мужчин экспонированного Чарского района.

Среди женщин этого района в период с 1960 по 1965 гг. (6-11 лет от начала облучения) с двухлетними промежутками фиксировались три пика существенного подъема ASR: в 1960 г. – 361,5 (253,5-515,4), в контроле – 136,6 (86,7-215,2) ($P < 0,05$, SMR=260%); в 1963 г. – 342,2 (235,5-497,3), в контроле – 109,5 (66,8-179,2) ($P < 0,05$, SMR=310%); в 1965 г. – 283,6 (189,5-424,4), в контроле – 88,4 (51,0-152,9) ($P < 0,05$, SMR=320%). В последующие годы ASR экспонированной группы существенно не отличались от контрольных показателей.

Среди мужчин этого экспонированного района также фиксировалось три пика существенного превышения ASR по сравнению с контролем, но временные промежутки их регистрации были другими. Первый пик зафиксирован в 1958 г. (5 лет от начала облучения). Уровень смертности составил 367,1 (247,5-544,5), в контроле – 140,2 (87,9-223,3) ($P < 0,05$, SMR=260%), ASR второго пика в 1962 г. (8 лет от начала облучения) составил 301,8 (196,1-464,6), в контроле – 99,6 (57,6-172,3) ($P < 0,05$, SMR=302%). Третий пик зафиксирован в 1974 г. (через 20 лет от начала облучения). При этом ASR равнялся 325,9 (221,6-479,6), в контроле – 99,9 (60,1-166,2) ($P < 0,05$, SMR=330%).

Таким образом, среди мужчин и женщин четырех экспонированных районов (Чарский, Бескарагайский, Жарминский и Жана-Семейский), подвергавшихся облучению в диапазоне эффективных эквивалентных доз 31,5-87,0, зафиксированы в отдельные временные промежутки достоверные превышения стандартизованных показателей онкологической смертности над показателями контрольной группы. При этом пики существенных подъемов ASR регистрировались через 4-20 лет от начала облучения. В то же время в двух экспонированных районах (Бородулихинский и Абайский с диапазоном доз 29,3-62,5 сЗв) существенных различий в показателях ASR по сравнению с контролем за весь период наблюдения не выявлено.

ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка отдаленных эффектов действия различных вредоносных факторов окружающей среды (в том числе ионизирующего излучения) на большие по численности группы населения предполагает их ранжирование на менее и более чувствительные к конкретным видам воздействия.

Сельскохозяйственные и промышленные структуры Семипалатинской области в 1950-2000 гг. функционировали таким образом, что нерадиационные факторы их деятельности не могли вызвать значительных эксцессов, оказывающих модифицирующее влияние на формирование здоровья населения. Поэтому при интерпретации результатов предполагаемых исследований среди населения должен учитываться факт беспрецедентного количества взорванных устройств и тотального загрязнения территории области продуктами деления.

Принимая, как основную, беспороговую концепцию воздействия ионизирующего излучения на организм человека, мы вправе ожидать стохастические эффекты облучения практически для всего экспонированного населения Семипалатинской области.

Оценка ожидаемых и фиксируемых нестохастических эффектов для определенной части населения должна строиться по закономерностям «доза-эффект».

Отсутствие достаточных сведений о поглощенных и эффективных дозах облучения для большинства экспонированного населения Семипалатинской области в значительной степени затрудняет интерпретацию результатов эпидемиологических и клинических исследований. Поэтому анализ и оценка последствий облучения в наших исследованиях проведены среди экспонированного населения с установленными эффективными и коллективными дозами.

Также предполагалось, что изменение уровней смертности населения не может являться последствием действия какого-либо одного, даже очень сильного фактора. Они интегрируют совокупное влияние различных вредоносных факторов. Только тщательный подбор групп исследования, их распределение в зависимости от величины эффективных и коллективных доз, учет таких модифицирующих

факторов, как пол, возраст, этнический состав, профессия, являются главными при оценке первично-следственных механизмов формирования постлучевых патологий.

Мы считали, что более достоверным подтверждением связи отдаленных эффектов с облучением являлись фиксированные избытки смертельных случаев рака, младенческой смертности.

Анализ возрастного-полового распределения показателей общей онкологической смертности позволил выявить наиболее существенное влияние возраста (в некоторых случаях и дозы облучения) в экспонированных группах 60 лет и старше (45 лет и старше на момент облучения).

Среди населения экспонированного Бородулихинского района за весь период исследований во всех возрастных группах зарегистрированы лишь единичные случаи существенно превышения показателей онкологической смертности над показателями контроля.

Среди населения экспонированного и контрольного районов среди мужчин и женщин от 0 до 39 лет зарегистрированы единичные смертельные случаи рака, поэтому радиационно-эпидемиологический анализ в этих возрастных группах не проводился.

Из пяти экспонированных районов, где обнаружены существенные превышения уровней онко-смертности по сравнению с контролем, наиболее значимыми они оказались среди населения Жана-Семейского, Жарминского и Чарского районов.

В период с 1960 (4-6 лет от начала облучения) по 1975 гг. (19-21 лет от начала облучения) среди мужчин и женщин вышеуказанных экспонированных районов зафиксировано существенное превышение показателей общей онкологической смертности по сравнению с показателями контроля.

Канцерогенные эффекты ионизирующих излучений являются предметом внимания исследователей-радиобиологов на протяжении многих десятилетий. Информация о канцерогенных эффектах, как правило, получена в результате проведения эпидемиологических и экспериментальных исследований при анализе различных видов и источников ионизирующих излучений. Трудности эпидемиологических исследований и интерпретации результатов объясняются необходимостью длительного наблюдения за экспонированной группой (когортой) с учетом длительности латентного периода; необходимостью полной и достоверной регистрации онкологической заболеваемости и смертности; точностью оценки величины дозы, характера источника облучения, времени облучения для каждого индивида; необходимостью наличия контрольной группы, сопоставимой во всех отношениях с экспонированной, но не подвергавшейся облучению. По мнению Pochin E.E., (1984), особую трудность представляет отбор статистических критериев достоверности превышения наблюдаемого риска опухолей в группе экспониро-

ванных лиц над ожидаемым в контрольной группе. Этот выбор наиболее сложен при изучении часто встречающихся форм рака, для которых отклонение от ожидаемого числа случаев с большей вероятностью является случайным.

Применительно к нашим исследованиям, в районах проживания экспонированных и контрольной групп населения такой наиболее встречающейся формой рака является рак пищевода.

Нет единого мнения по оценке длительности латентного периода между воздействием ионизирующего излучения и возникновением злокачественных новообразований.

По мнению многих авторов, наименьший латентный период фиксируется для острого и хронического миелолейкоза. Shimaoka K., Akiba S., (1990) через 45 лет после атомной бомбардировки японских городов Хиросима и Нагасаки проанализировали онкоэпидемиологические данные, полученные в результате наблюдения за облученной когортой. Исследователям удалось установить, что риск развития лейкозов у облученных начал возрастать через 2-3 года после бомбардировки, достиг пика через 5-7 лет, затем начал снижаться. Избыток смертности от других опухолей начал появляться спустя 15 лет после атомной бомбардировки для лиц среднего и старшего возраста в момент бомбардировки. У более молодых в момент атомной бомбардировки риск возникновения злокачественных новообразований зафиксирован позже, в том возрасте, когда обычно появляются спонтанные солидные опухоли. При этом в зависимости от возраста и дозы было отмечено повышение риска возникновения новообразований пищевода, желудка, молочной железы, легких, мочевых путей, яичников, толстой кишки, печени, желчных путей.

В последующие годы (Ron E. et al., 1995) были опубликованы данные, показывающие, что среди женщин, подвергавшихся бомбардировке, избытки относительного риска (ERR) для онкозаболеваний существенно превышали таковые показатели среди мужчин: при злокачественных новообразованиях пищевода – в 6,63 раза, при раках желудка – в 4,33, легких – в 5,78, мочевого пузыря – в 5,14. У мужчин более высокий уровень относительного риска отмечен при злокачественных новообразованиях толстой кишки, печени, кожи, щитовидной железы. Автором установлено, что большинство локализаций солидных раков имеет более высокий уровень риска у лиц, облученных в молодом возрасте.

Противоположные результаты получены Richardson D.B. et al. (1999). Исследуя связь между облучением в малых дозах и смертностью среди 14095 рабочих, занятых в Oak Ridge National Laboratory с 1943 по 1972 гг., было установлено, что показатели смертности оказались существенно более высокими среди облученных в возрасте старше 45 лет. Показатели смертности в этой возрастной груп-

пе нарастали в зависимости от протяженности радиационного воздействия. Избытки общей смертности, в основном, формировались за счет онкологической смертности. Вся онкологическая смертность в группе облучавшихся в возрасте старше 45 лет превышала показатели контроля на 4,98% на 10 мЗв кумулятивной дозы за 10-летний период облучения. За последующие 20 лет это увеличение составило 7,31% на 10 мЗв кумулятивной дозы.

Одним из наиболее сложных вопросов при изучении стохастических эффектов ионизирующих излучений является дозовая зависимость частоты радиационно-индуцированного канцерогенеза.

Little M.P. et al. (2000г.) провели исследование по установлению факторов экстраполяции низких доз облучения по анализам кривой раковой заболеваемости среди переживших японскую атомную бомбардировку. Показано небольшое возрастание кривой для дозовой зависимости солидных раков в диапазоне 0-4 Гр. В диапазоне 0-2 Гр возрастание кривой для некоторых локализаций солидных раков было более выраженным.

Pierce D.A., Preston D.L. (2000 г.) провели изучение радиационных эффектов относительно риска рака при воздействии малых доз радиации (дозы менее 0,5 Зв). Анализ заболеваемости солидными формами рака проведен с 1958 по 1994 гг. и учитывает 7000 случаев рака среди 50 000 переживших бомбардировку и имеющих дозу в диапазоне менее 0,5 Зв. Установлено, что в диапазоне доз 0-0,1 Зв обнаружена статистическая достоверность риска при возможном пороге дозы, рассчитанном как 0,06 Зв.

Приблизительно те же результаты получены Dalager N.A. et al. (2000 г.). Обследуя 205 000 военных, участвовавших в атмосферных ядерных испытаниях в США с 1945 по 1962 гг., было установлено, что смертность от всех причин была достоверно более высокой в когорте с дозой облучения 5 рэм по сравнению с контролем. Отсутствие статистической достоверности избытка смертности от многих известных радиационно-индуцированных раков позволило авторам сделать вывод о том, что наблюдаемая избыточная смертность может быть результатом многих факторов, только одним из которых могло быть радиационное воздействие.

Выводы

1. Уровень общей онкологической смертности среди населения экспонированных Жарминского, Жана-Семейского, Бескарагайского, Абайского и Чарского районов возрастных группах от 60 лет и старше через 4-21 год от начала облучения был существенно более высоким по сравнению с таковым в контрольном Кокпектинском районе.

2. Не установлено дозовой зависимости увеличения показателей онкологической смертности среди экспонированных мужчин и женщин в диапазоне доз 29,3-87,0 сЗв.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dalager N.A., Kang H.K., Mahan C.M. (Environmental Epidemiology Service, Veteran Health Administration, Department of Veterans Affairs, Washington): Cancer mortality among the highest exposed US atmospheric nuclear test participants // J.Occup. Environ. Med., 2000, 42 (8): 798-805.
2. Little M.P., Muirhead C.R. (Department of Epidemiology and Public Health, Imperial College School of Medicine, London, UK): Derivation of low-dose extrapolation factors from analysis of curvature in the cancer incidence dose response in Japanese atomic bomb survivors // Int.J. Radiat. Biol., 2000, Jul, 76 (7): 939-53.
3. Pochin E.E. The epidemiology of radiation carcinogenesis in man // Int. Congr. IRPA Radiation-Risk-Protection, 6 proceedings /Eds A.Kaul et al.-Berlin (West), 1984.
4. Preece D.A., Preston D.L. (Radiation Effects Research Foundation, Hiroshima): Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors // Radiat. Res., 2000, 154 (2):178-86
5. Richardson D.B., Wing S. (Department of Epidemiology, School of Public Health, University of North Carolina, USA): Radiation and mortality of workers at Oak Ridge National Laboratory: positive associations for doses received at older ages// Environ. Health Perspect, 1999, Aug, 107 (8): 649-56.
6. Richardson D.B., Wing S. Department of Epidemiology, School of Public Health, University of North Carolina, USA): Greater sensitivity to ionizing radiation at older age: follow-up of Workers at Oak Ridge National Laboratory through 1990 // Int.J. Epidemiol., 1999, Jun, 28 (3):428-36.
7. Ron E., Wong F.L., Mabuchi K. Incidence of benign gastrointestinal tumors among atomic bomb survivors // Am.J. Epidemiol.-1995.-V.142.- P.68-75.
8. Shimaoka K., Akiba S. Malignancies in atomic bomb survivors in Hiroshima and Nagasaki.//J. Nucl.Med. and Allied Sci.-1990.- V.34.-N.4.-P.254-259.

КАЗАКСТАНДА ЯДРОЛЫҚ СЫНАҚТАР ӨТКІЗУ НӘТИЖЕСІНДЕ ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНЫҢ СӘУЛЕЛЕНУГЕ ҰШЫРАҒАН КЕЙБІР АУДАНДАРЫ ТҮРҒЫНДАРЫНЫҢ ОНКОЛОГИЯЛЫҚ ӨЛІМІНІҢ ДИНАМИКАСЫ (1949-1975 жж.)

Гусев Б.И., Пивина Л.М., Апсаликов К.Н., Раисова Г.К., Щербакова С.В.,
Жазыкбаева Л.К., Мансарина А.Е., Саматугина О.Н., Гроше Б., Бауэр С.

¹⁾Радиациялық медицина және экология ғылыми зерттеу институты, Семей, Қазақстан

²⁾Радиациялық гигиена институты, Мюнхен, Германия

Шығыс Қазақстан облысының жеті ауданының 42174 өлім себептерінің акты сертификаты деректері бойынша онкологиялық өлімінің көрсеткіштеріне эпидемиологиялық талдау жасалды. Бес ауданның /Жарма, Бесқарағай, Абай, Жаңа-Семей және Шар/ тұрғындары арасында 60 жастан асқандар мен 4-21 жас аралығында сәулелену басталған кезден бастап онкологиялық өлім айтарлықтай көбейгендігі анықталынып отыр.

DYNAMICS OF CANCER MORTALITY AMONG THE POPULATION OF SOME REGIONS OF EAST-KAZAKHSTAN REGION SUFFERED FROM NUCLEAR TESTS (1949-1975)

B.I. Gusev, L.M. Pivina, K.N. Apsalikov, G.K. Raisova, S.V. Shcherbakova,
L.K. Zhazykbaeva, A.E. Mansarina, O.N. Samatugina, B. Groshe, S. Bauer

¹⁾Scientific Research Institute of Radiation Medicine and Ecology, Semipalatinsk, Kazakhstan

²⁾Institute of Radiation Hygiene, Munich, Germany

We have conducted the epidemiological analysis of cancer mortality rates among the population in seven districts of East-Kazakhstan region. 42174 death registration acts have been analyzed. The significant exceeding of cancer mortality rates in different temporal intervals has been fixed for age group 60 and older (4-21 year after starting of exposure) in five districts (Zharminsky, Beskaragaisky, Abaisky, Zhana-Semeisky and Charsky).

УДК 535.23:613.648

ДИНАМИКА ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ СМЕРТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ РАЙОНОВ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ, ПОДВЕРГАВШИХСЯ ОБЛУЧЕНИЮ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИСПЫТАНИЙ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ (1976-1998 гг.)

Гусев Б.И., Пивина Л.М., Апсаликов К.Н., Щербакова С.В., Мансарина А.Е., Саматугина О.Н., Гроше Б., Бауэр С.

¹⁾ *НИИ радиационной медицины и экологии, Семипалатинск, Казахстан*

²⁾ *Институт радиационной гигиены, Мюнхен, Германия*

Эпидемиологический анализ онкологической смертности населения семи районов Семипалатинской области за период с 1975 по 1998 гг. позволил лишь в двух районах (Чарский и Бескарагайский) обнаружить избытки онкологической смертности в период с 1976 по 1983 гг.

ВВЕДЕНИЕ

В предыдущем сообщении нами представлена динамика онкологической смертности облучавшегося населения некоторых районов Восточно-Казахстанской области за период с 1949 по 1975 гг. Установлена положительная динамика показателей онкологической смертности в зависимости от возрастного-полового состава населения и времени проживания после облучения. Имея в своем распоряжении первичные материалы по динамике онкосмертности в последующие годы (до 1998 г.), в настоящем сообщении мы представляем анализ и оценку показателей онкосмертности в последующие годы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Численный состав населения изучаемых районов за изучаемый период составлял от 140 до 175 тысяч человек. Мужчины составляли в среднем 45,9%, Женщины – 54,1%. Численность Абайского, Жана-Семейского и Чарского районов варьировала от 16 до 24 тысяч человек, остальных районов – от 29 до 35 тысяч человек. Как и в предыдущие годы, в

Абайском, Жана-Семейском, Жарминском, Чарском и Кокпектинском районах преобладало казахское население, в Бескарагайском – русское. Возрастные группы от 0 до 19 лет в среднем составляли 44,5%.

За период с 1976 по 1998 гг. в областных и районных архивах ЗАГСов выкопировано и проанализировано 42300 актов-сертификатов о причинах смерти населения изучаемых районов (таблица 1).

Кумулятивные эффективные эквивалентные дозы облучения населения изучаемых районов представлены в таблице 2.

Как в предыдущем сообщении, кодировка причин смертности осуществлялась в соответствии со Статистической классификацией болезней, травм и причин смерти 9 пересмотра (МКБ-9) с указанием основного заболевания, приведшего к смерти. Дескриптивный медико-статистический анализ проведен с применением расчета интенсивных показателей смертности на 100000 населения с последующей их стандартизацией (ASR). Так же рассчитывались коэффициенты стандартизованного отношения смертности (SMR).

Таблица 1. Число актов-сертификатов о причинах смерти населения изучаемых районов за период с 1976 по 1998 гг. (абсолютные цифры)

Районы	Мужчины	Женщины	Всего
Абайский	2655	2023	4678
Бескарагайский	4073	3383	7456
Жана-Семейский	3515	2916	6431
Жарминский	6 311	5232	11543
Чарский	3381	2659	6040
Кокпектинский	3294	2858	6152
Всего	23229	19071	42300

Таблица 2. Распределение кумулятивных эффективных эквивалентных доз облучения населения изучаемых районов Восточно-Казахстанской области

Районы	Доза внешнего облучения, сГр	Доза внутреннего облучения, сЗв	Кумулятивная эффективная эквивалентная доза, сЗв
Абайский	35,5	27,0	62,5
Бескарагайский	67,0	20,0	87,0
Жана-Семейский	39,2	14,0	53,2
Жарминский	19,0	17,0	36,0
Чарский	18,5	13,0	31,5
Бородулихинский	22,3	7,0	29,3
Кокпектинский	-	-	5,0-7,0*

*Примечание: расчет дозы проведен специалистами военного ведомства бывшего СССР

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ динамики показателей онкосмертности среди экспонированных и контрольного районов показал практически полное отсутствие пиков превышения показателей в изучаемый период времени. Уровень онкосмертности в эти годы носил достаточно монотонный характер, в среднем составляя в экспонированных и контрольном районах $100-300 \times 10^5$ (рисунки 1,2).

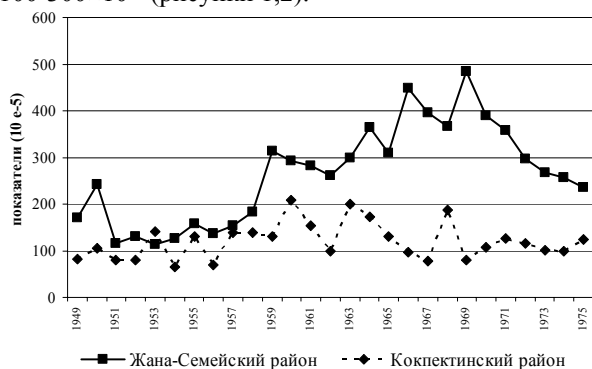


Рисунок 1. ASR онкологической смертности среди мужчин Жана-Семейского района

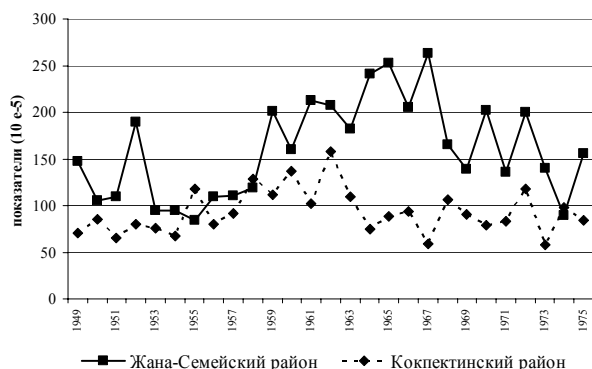


Рисунок 2. ASR онкологической смертности среди женщин Жана-Семейского района

Исключение составляли показатели динамики среди экспонированных мужчин Чарского района и женщин Бескарагайского районов.

Так, среди мужчин Чарского района (рисунок 3) в период с 1976 по 1983 гг. зафиксировано три пика существенного подъема онкосмертности. В 1976 г. стандартизованный по возрастной показатель среди экспонированных мужчин составлял $378,2 \times 10^5$ (260,65-548,65), в контрольном – $121,9 \times 10^5$ (75,6-196,6) ($P < 0,05$; SMR=310,22), в 1978 г. – $330,5 \times 10^5$ (222,8-490,1), в контроле – $129,8 \times 10^5$ (80,2-210,3) ($P < 0,05$; SMR=254,5), в 1983 г. – $400,1 \times 10^5$ (279,35-573,96), в контроле – $154,1 \times 10^5$ (98,78-240,42) ($P < 0,05$; SMR=259,6).

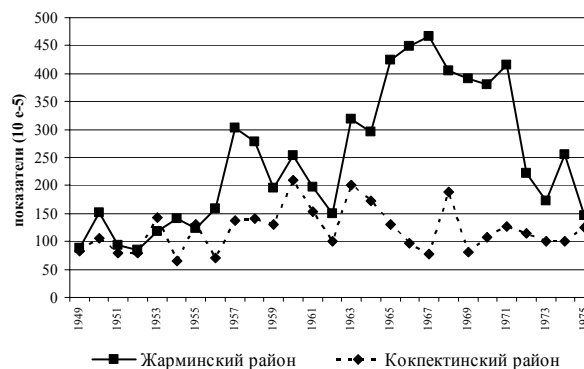


Рисунок 3. ASR онкологической смертности среди мужчин Жарминского района



Рисунок 4. ASR онкологической смертности среди женщин Жарминского района

Среди мужчин Бескарагайского района (рисунок 4) в 1977 г. уровень онкосмертности составил $275,8 \times 10^5$ (194,65-390,8), в контроле – $114,6 \times 10^5$ (68,76-191,1) ($P < 0,05$; SMR=240,6). Среди женщин в этом же году ASR составил $291,1 \times 10^5$ (206,42-410,62), в контроле – $106,5 \times 10^5$ (64,9-174,5) ($P < 0,05$; SMR=273,4).

Таким образом, в последующие годы (26-49 лет от начала облучения) не выявлено эффектов увеличения онкологической смертности среди экспонированного населения. Описанные нами эпизодические подъемы общей онкосмертности среди экспонированного населения носили, скорее всего, случайный характер.

Мы считаем, что ответ на вопрос об эффектах облучения в значительно отдаленные сроки можно найти при анализе когортного и «случай-контроль» исследований. Эти методики эпидемиологического анализа предполагают наличие исчерпывающих данных об индивидуальных дозах облучения исследуемых объектов и их связи с динамикой показателей онкосмертности. Эти методики позволяют оценить снижение мощности дозы в последующие после облучения годы и рассчитать вклад этих модифицирующих показателей в снижении или повышении онкоэффектов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка отдаленных эффектов действия различных вредоносных факторов окружающей среды (в том числе ионизирующего излучения) на большие по численности группы населения предполагает их ранжирование на менее и более чувствительные к конкретным видам воздействия.

Сельскохозяйственные и промышленные структуры Семипалатинской области в 1950-2000 гг. функционировали таким образом, что нерадиационные факторы их деятельности не могли вызвать значительных эксцессов, оказывающих модифицирующее влияние на формирование здоровья населения. Поэтому при интерпретации результатов предполагаемых исследований среди населения должен учитываться факт беспрецедентного количества взорванных устройств и тотального загрязнения территории области продуктами деления.

Принимая, как основную, беспороговую концепцию воздействия ионизирующего излучения на организм человека, мы вправе ожидать стохастические эффекты облучения практически для всего экспонированного населения Семипалатинской области.

Оценка ожидаемых и фиксируемых нестохастических эффектов для определенной части населения должна строиться по закономерностям «доза-эффект».

Отсутствие достаточных сведений о поглощенных и эффективных дозах облучения для большинства экспонированного населения Семипалатинской области в значительной степени затрудняет интерпретацию результатов эпидемиологических и клинических исследований. Поэтому анализ и оценка последствий облучения в наших исследованиях проведены среди экспонированного населения с установленными эффективными и коллективными дозами.

Также предполагалось, что изменение уровней смертности населения не может являться последствием действия какого-либо одного, даже очень сильного фактора. Они интегрируют совокупное влияние различных вредоносных факторов. Только тщательный подбор групп исследования, их распределение в зависимости от величины эффективных и коллективных доз, учет таких модифицирующих факторов, как пол, возраст, этнический состав, профессия, являются главными при оценке первично-следственных механизмов формирования постлучевых патологий.

Мы считали, что более достоверным подтверждением связи отдаленных эффектов с облучением являлись фиксированные избытки смертельных случаев рака, младенческой смертности.

Анализ возрастного-полового распределения показателей общей онкологической смертности позволил выявить наиболее существенное влияние возраста (в некоторых случаях и дозы облучения) в экспонированных группах 60 лет и старше (45 лет и старше на момент облучения).

Среди населения экспонированного Бородулинского района за весь период исследований во всех возрастных группах зарегистрированы лишь единичные случаи существенно превышения показателей онкологической смертности над показателями контроля.

Среди населения экспонированного и контрольного районов среди мужчин и женщин от 0 до 39 лет зарегистрированы единичные смертельные случаи рака, поэтому радиационно-эпидемиологический анализ в этих возрастных группах не проводился.

Из пяти экспонированных районов, где обнаружены существенные превышения уровней онкосмертности по сравнению с контролем, наиболее значимыми они оказались среди населения Жана-Семейского, Жарминского и Чарского районов.

В период с 1960 (4-6 лет от начала облучения) по 1975 гг. (19 – 21 лет от начала облучения) среди мужчин и женщин вышеуказанных экспонированных районов зафиксировано существенное превышение показателей общей онкологической смертности по сравнению с показателями контроля. В последующие годы (до 1998 г.) не установлено существенных превышений показателей онкологической смертности среди экспонированного населения по сравнению с показателями контроля.

Таким образом, в наших исследованиях показано, что реализация эффектов облучения возрастных групп 40 лет и старше зарегистрирована в период с 4 по 21 год от начала облучения. Вероятно, такая динамика онкосмертности связана со снижением мощности дозы в последующие после 1975г. годы и резким снижением (по причине смертности) численного состава возрастных групп старше 60 лет.

Канцерогенные эффекты ионизирующих излучений являются предметом внимания исследователей-радиобиологов на протяжении многих десятилетий. Информация о канцерогенных эффектах, как правило, получена в результате проведения эпидемиологических и экспериментальных исследований при анализе различных видов и источников ионизирующих излучений. Трудности эпидемиологических исследований и интерпретации результатов объясняются необходимостью длительного наблюдения за экспонированной группой (когортой) с учетом длительности латентного периода; необходимостью полной и достоверной регистрации онкологической заболеваемости и смертности; точностью оценки величины дозы, характера источника облучения, времени облучения для каждого индивида; необходимостью наличия контрольной группы, сопоставимой во всех отношениях с экспонированной, но не подвергавшейся облучению. По мнению Pochin E.E., (1984), особую трудность представляет отбор статистических критериев достоверности превышения наблюдаемого риска опухолей в группе экспонированных лиц над ожидаемым в контрольной группе.

Этот выбор наиболее сложен при изучении часто встречающихся форм рака, для которых отклонение от ожидаемого числа случаев с большей вероятностью является случайным.

Применительно к нашим исследованиям, в районах проживания экспонированных и контрольной групп населения такой наиболее встречающейся формой рака является рак пищевода.

Нет единого мнения по оценке длительности латентного периода между воздействием ионизирующего излучения и возникновением злокачественных новообразований.

По мнению многих авторов, наименьший латентный период фиксируется для острого и хронического миелолейкоза. Shimaoka K., Akiba S., (1990) через 45 лет после атомной бомбардировки японских городов Хиросима и Нагасаки проанализировали онкоэпидемиологические данные, полученные в результате наблюдения за облученной когортой. Исследователям удалось установить, что риск развития лейкозов у облученных начал возрастать через 2-3 года после бомбардировки, достиг пика через 5-7 лет, затем начал снижаться. Избыток смертности от других опухолей начал появляться спустя 15 лет после атомной бомбардировки для лиц среднего и старшего возраста в момент бомбардировки. У более молодых в момент атомной бомбардировки риск возникновения злокачественных новообразований зафиксирован позже, в том возрасте, когда обычно появляются спонтанные солидные опухоли. При этом в зависимости от возраста и дозы было отмечено повышение риска возникновения новообразований пищевода, желудка, молочной железы, легких, мочевых путей, яичников, толстой кишки, печени, желчных путей.

В последующие годы (Ron E. et al., 1995) были опубликованы данные, показывающие, что среди женщин, подвергавшихся бомбардировке, избытки относительного риска (ERR) для онкозаболеваний существенно превышали таковые показатели среди мужчин: при злокачественных новообразованиях пищевода – в 6,63 раза, при раках желудка – в 4,33, легких – в 5,78, мочевого пузыря – в 5,14. У мужчин более высокий уровень относительного риска отмечен при злокачественных новообразованиях толстой кишки, печени, кожи, щитовидной железы. Автором установлено, что большинство локализаций солидных раков имеет более высокий уровень риска у лиц, облученных в молодом возрасте.

Противоположные результаты получены Richardson D.B. et al. (1999). Исследуя связь между облучением в малых дозах и смертностью среди 14095 рабочих, занятых в Oak Ridge National Laboratory с 1943 по 1972 гг., было установлено, что показатели смертности оказались существенно более высокими среди облученных в возрасте старше 45 лет. Показатели смертности в этой возрастной группе нарастали в зависимости от протяженности ра-

диационного воздействия. Избытки общей смертности, в основном, формировались за счет онкологической смертности. Вся онкологическая смертность в группе облучавшихся в возрасте старше 45 лет превышала показатели контроля на 4,98% на 10 мЗв кумулятивной дозы за 10-летний период облучения. За последующие 20 лет это увеличение составило 7,31% на 10 мЗв кумулятивной дозы.

Одним из наиболее сложных вопросов при изучении стохастических эффектов ионизирующих излучений является дозовая зависимость частоты радиационно-индуцированного канцерогенеза.

Little M.P. et al. (2000г.) провели исследование по установлению факторов экстраполяции низких доз облучения по анализам кривой раковой заболеваемости среди переживших японскую атомную бомбардировку. Показано небольшое возрастание кривой для дозовой зависимости солидных раков в диапазоне 0-4 Гр. В диапазоне 0-2 Гр возрастание кривой для некоторых локализаций солидных раков было более выраженным.

Pierce D.A., Preston D.L. (2000 г.) провели изучение радиационных эффектов относительно риска рака при воздействии малых доз радиации (дозы менее 0,5 Зв). Анализ заболеваемости солидными формами рака проведен с 1958 по 1994 гг. и учитывает 7000 случаев рака среди 50 000 переживших бомбардировку и имеющих дозу в диапазоне менее 0,5 Зв. Установлено, что в диапазоне доз 0-0,1 Зв обнаружена статистическая достоверность риска при возможном пороге дозы, рассчитанном как 0,06 Зв.

Приблизительно те же результаты получены Dalager N.A. et al. (2000 г.). Обследуя 205 000 военных, участвовавших в атмосферных ядерных испытаниях в США с 1945 по 1962 гг., было установлено, что смертность от всех причин была достоверно более высокой в когорте с дозой облучения 5 рэм по сравнению с контролем. Отсутствие статистической достоверности избытка смертности от многих известных радиационно-индуцированных раков позволило авторам сделать вывод о том, что наблюдаемая избыточная смертность может быть результатом многих факторов, только одним из которых могло быть радиационное воздействие.

Выводы

1. Уровень общей онкологической смертности среди населения экспонированных Жарминского, Жана-Семейского, Бескарагайского, Абайского и Чарского районов возрастных группах от 60 лет и старше через 4-21 год от начала облучения был существенно более высоким по сравнению с таковым в контрольном Кокпектинском районе.

2. Реализация эффектов облучения в виде избытков смертельных случаев рака произошла среди возрастных групп 40 лет и старше в период 4-21 год от начала облучения. Мы считаем, что вышеуказанная динамика онкоэффектов может быть связана со

снижением мощности дозы, а также со значительным уменьшением численного состава этой возрастной группы в последующие после облучения годы.

3. Не установлено дозовой зависимости увеличения показателей онкологической смертности среди экспонированных мужчин и женщин в диапазоне доз 29,3-87,0 сЗв.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dalager N.A., Kang H.K., Mahan C.M. (Environmental Epidemiology Service, Veteran Health Administration, Department of Veterans Affairs, Washington): Cancer mortality among the highest exposed US atmospheric nuclear test participants // J.Occup. Environ. Med., 2000, 42 (8): 798-805.
2. Little M.P., Muirhead C.R. (Department of Epidemiology and Public Health, Imperial College School of Medicine, London, UK): Derivation of low-dose extrapolation factors from analysis of curvature in the cancer incidence dose response in Japanese atomic bomb survivors // Int.J. Radiat. Biol., 2000, Jul, 76 (7): 939-53.
3. Pochin E.E. The epidemiology of radiation carcinogenesis in man // Int. Congr. IRPA Radiation-Risk-Protection, 6 proceedings /Eds A.Kaul et al.-Berlin (West), 1984.
4. Preece D.A., Preston D.L. (Radiation Effects Research Foundation, Hiroshima): Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors // Radiat. Res., 2000, 154 (2):178-86
5. Richardson D.B., Wing S. (Department of Epidemiology, School of Public Health, University of North Carolina, USA): Radiation and mortality of workers at Oak Ridge National Laboratory: positive associations for doses received at older ages// Environ. Health Perspect, 1999, Aug, 107 (8): 649-56.
6. Richardson D.B., Wing S. Department of Epidemiology, School of Public Health, University of North Carolina, USA): Greater sensitivity to ionizing radiation at older age: follow-up of Workers at Oak Ridge National Laboratory through 1990 // Int.J. Epidemiol., 1999, Jun, 28 (3):428-36.
7. Ron E., Wong F.L., Mabuchi K. Incidence of benign gastrointestinal tumors among atomic bomb survivors // Am.J. Epidemiol.-1995.-V.142.- P.68-75.
8. Shimaoka K., Akiba S. Malignancies in atomic bomb survivors in Hiroshima and Nagasaki.//J. Nucl.Med. and Allied Sci.-1990.-V.34.-N.4.-P.254-259.

ҚАЗАҚСТАНДА ЯДРОЛЫҚ СЫНАҚТАР ӨТКІЗУ НӘТИЖЕСІНДЕ ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНЫҢ СӘУЛЕЛЕНУГЕ ҰШЫРАҒАН КЕЙБІР АУДАНДАРЫ ТҮРҒЫНДАРЫНЫҢ ОНКОЛОГИЯЛЫҚ ӨЛІМІНІҢ ДИНАМИКАСЫ (1976-1998 жж.)

Гусев Б.И., Пивина Л.М., Апсаликов К.Н., Щербакова С.В., Мансарина А.Е., Саматугина О.Н., Гроше Б., Бауэр С.

¹⁾Радиациялық медицина және экология ғылыми зерттеу институты, Семей, Қазақстан

²⁾Радиациялық гигиена институты, Мюнхен, Германия

Семей облысының жеті ауданындағы жалпы онкологиялық өлім себептеріне 1975-1998 ж.ж. арасындағы кезеңіне эпидемиологиялық талдау жасалды, талдау екі ауданда /Шар, Бесқарағай/ 1976-1983 ж. аралығында онкологиялық өлімінің көбейгендігін анықтауға мүмкіндік берді.

DYNAMICS OF CANCER MORTALITY AMONG THE POPULATION OF SOME REGIONS OF EAST-KAZAKHSTAN REGION SUFFERED FROM NUCLEAR TESTS (1976-1998). THE SECOND REPORT.

B.I. Gusev, L.M. Pivina, K.N. Apsalikov, S.V. Shcherbakova, A.E. Mansarina, O.N. Samatugina, B. Groshe, S. Bauer

¹⁾Scientific Research Institute of Radiation Medicine and Ecology, Semipalatinsk, Kazakhstan

²⁾Institute of Radiation Hygiene, Munich, Germany

We have conducted the epidemiological analysis of cancer mortality rates among the population in seven districts of East-Kazakhstan region for the period from 1975 to 1998. The exceeding of cancer mortality has been found in two districts (Charsky, Beskaragaisky) for the period from 1976 to 1983.

УДК 535.23:613.648

ДИНАМИКА ОБЩЕЙ И ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ СМЕРТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ, ПОДВЕРГАВШЕГОСЯ ДЕЙСТВИЮ РАДИАЦИОННЫХ И НЕРАДИАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ЗА ПЕРИОД 1990-2000 гг.

Гусев Б.И., Пивина Л.М., Апсаликов К.Н., Чайжунусова Н.Ж., Гроше Б., Бауэр С., Курумбаев Р.Р.

¹⁾ *НИИ радиационной медицины и экологии, Семипалатинск, Казахстан*²⁾ *Институт радиационной гигиены, Мюнхен, Германия.*

Проанализированы показатели общей и онкологической смертности населения городов и некоторых районов ВКО за период с 1990 по 2000 гг. Установлено, что относительный риск общей смертности среди населения городов, а также Глубоковского и Шемонаихинского районов ВКО составлял 1,3-1,7.

ВВЕДЕНИЕ

В Республике Казахстан имеется множество регионов с развитой промышленной инфраструктурой. Деятельность промышленных предприятий влечет за собой нарастание в окружающей среде техногенных факторов, влияющих на формирование здоровья населения. Одним из таких регионов является Восточно-Казахстанская область, где широко представлены тяжелое машиностроение, добыча и переработка цветных металлов, а также добыча урана.

В период с 1949 по 1965 гг. территории Восточно-Казахстанской области подвергались загрязнению продуктами ядерных взрывов. В результате более 90% населенных пунктов районов подверглись многократному воздействию продуктами деления. Реконструкция радиационных ситуаций на территориях г. Усть-Каменогорска и прилегающих к нему районов ВКО в результате трех наземных взрывов (1956, 1961, 1962 гг.), закончившихся выпадением радиоактивных осадков на вышеуказанные территории, позволила представить диапазон эффективных эквивалентных доз облучения населения (до 1962 г. рождения) в 100-180 мЗв.

В результате экологическая ситуация региона, постоянно ухудшаясь, приводила к хроническому воздействию на организм человека радиационных и нерадиационных факторов окружающей среды, достаточных для возникновения ранних и поздних медицинских последствий. По различным причинам комплексная оценка формирования общественного здоровья населения ВКО, проживающего в условиях постоянного воздействия радиационных и нерадиационных факторов окружающей среды, не проводилась.

В мировой литературе имеется достаточное количество информации, подтверждающей выраженные синергетические сочетания, усиливающие совокупное влияние на отдельные показатели здоровья. К особенно тяжелым последствиям такое влияние приводит среди детских контингентов.

Располагая сведениями о количественных и качественных характеристиках радиационных и нерадиационных факторов окружающей среды на территориях изучаемых районов, а также данными по медико-демографической динамике среди населения

изучаемых районов, мы провели анализ и оценку динамики общей и онкологической смертности населения ВКО за период 1990 и 2000 гг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В своем исследовании мы использовали ретроспективные материалы, характеризующие медико-демографические показатели за 1990 г. гг. Усть-Каменогорск, Зыряновск, Лениногорск, а также Уланского, Глубоковского, Тарбагатайского, Курчумского, Шемонаихинского районов Восточно-Казахстанской области (таблица 1).

Эти данные использовались в качестве ориентировочных для последующего изучения изменений в динамике основных показателей смертности с учетом распределения по рубрикам, классам и нозологическим формам.

В качестве ближайших ретроспективных данных использовались вышеуказанные медико-демографические показатели изучаемых городов и районов ВКО по состоянию на 2000 г. Дополнительно к динамическому анализу по оценке связи воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды были использованы данные групп сравнения. Сформирована группа взрослого населения (5000 человек), прибывших в изучаемые города после 1962 г. Медико-демографические показатели для этой группы в 2000 г. были использованы для сравнения с таковыми показателями в основных группах городского населения.

Группой сравнения для изучаемых районов послужило население Тарбагатайского района, адекватного к основным по всем модифицирующим показателям, за исключением радиационного воздействия и действия нерадиационных факторов окружающей среды.

Эпидемиологический дескриптивный анализ динамики основных показателей смертности контролируемого населения ВКО проведен с учетом распределения групп риска на лиц, непосредственно подвергавшихся воздействию вредоносных факторов окружающей среды, и их потомков. С этой целью нами выделены возрастно-половые группы среди взрослых: 15-59 лет (включающая непосредственно подвергавшихся воздействию и

потомков II-III поколения); 60 лет и старше – лица, непосредственно подвергавшиеся воздействию факторов окружающей среды (I поколение).

Таблица 1. Демографические показатели
Восточно-Казахстанской области

Города и районы	Численность (тыс. чел.)	
	1990 г.	2000 г.
Усть-Каменогорск	330,4	314,0
Лениногорск	79,2	64,1
Зыряновский	81,5	92,1
Контроль (город)	5,2	5,0
Глубоковский	77,6	66,3
Курчумский	31,5	44,1
Уланский	38,2	44,5
Шемонаихинский	68,4	56,2
Тарбагатайский (контроль)	41,7	65,5

Для характеристики уровней смертности рассчитывали интенсивные показатели с последующей их стандартизацией и расчетом доверительных интервалов.

Интенсивный показатель рассчитывался на 100 000 населения.

В качестве показателя, характеризующего различия в уровнях смертности между группами населения отдельных районов в целом, отдельными возрастными половыми группами, использовали величину показателя «относительного сравнения» – относительного риска (RR).

Учитывая, что наблюдаемое число случаев зависит от коэффициентов смертности экспонированного населения, а ожидаемое – контрольной группы (группы

сравнения), нами был рассчитан коэффициент стандартизованного отношения смертности (SMR).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основные показатели смертности населения в любых регионах планеты, как правило, являются интегральными, объединяющими всю совокупность действия экзо- и эндогенных факторов окружающей среды, в том числе эксцессов, какими являются аварии, катастрофы, войны.

Анализ и оценка связи действия радиационных и нерадиационных факторов окружающей среды на формирование показателей смертности, как правило, связаны со значительными трудностями и зависят от объема информации, касающейся возрастного полового распределения групп риска, времени нахождения под риском, четкого разграничения эффектов различных спектров воздействия и др.

Имеющиеся в нашем распоряжении материалы позволяют дать промежуточную оценку наличия эксцесса, а окончательные выводы можно получить при использовании клинических и эпидемиологических данных, наличии маршрутов, определяющих действие вредоносных факторов для конкретных лиц.

Мы считаем, что такую информацию можно получить и при формировании окончательного отчета за весь период исследований, сделать выводы и предложить долгосрочные мероприятия по реабилитации населения.

В таблице 2 представлены характеристики общей смертности и сочетание их с такими демографическими показателями, как численность и рождаемость.

Таблица 2. Демографические показатели Восточно-Казахстанской области

Города и районы	Общая смертность (на 1000 нас.)		Относительный риск (RR)		Детская смертность (на 1000 нас.)	
	1990	2000	1990	2000	1990	2000
Усть-Каменогорск	9	12,62	1,011	1,249	24,9	20,55
Лениногорск	13,3	19,95	1,494	1,975	19,6	28,62
Зыряновский	11,7	17,58	1,314	1,740	27,8	28,04
Контроль (город)	8,9	10,1			21,2	18,6
Глубоковский	12,2	17,52	1,671	2,323	26,2	26,17
Курчумский	8,8	9,07	1,205	1,202	17,5	21
Уланский	8,5	11,41	1,164	1,513	6,2	12,2
Шемонаихинский	10,3	16,46	1,410	2,183	27,9	14,86
Тарбагатайский (контроль)	7,3	7,54			36,1	12,62

По состоянию на 1990 г. наибольший общий показатель смертности оказался среди населения г. Лениногорска и составил 13,3 на 1000 населения. Среди населения г. Зыряновска этот показатель существенно не отличался от такового по г. Лениногорску (11,7 на 1000 населения), а среди населения г. Усть-Каменогорска он оказался существенно меньшим и составил 9 случаев на 1000 населения. Среди населения изучаемых сельских районов наименьший показатель общей смертности зарегистрирован среди населения контрольного Тарбагатайского района – 7,3 на 1000 населения. В Курчумском и Уланском районах уровень общей смертности не имел существенных различий с показателем контро-

ля, а в Глубоковском и Шемонаихинском оказался существенно больше, чем в контроле и составил 12,2; 10,3 на 1000 населения соответственно ($P < 0,05$; $0,05$).

Относительный риск общей смертности среди населения городов оказался больше в Лениногорске – 1,5 и Зыряновске – 1,3, среди сельского населения в Глубоковском – 1,7 и Шемонаихинском – 1,4. Среди населения Курчумского и Уланского районов относительный риск общей смертности не превышал 1,2.

Через 10 лет (2000г.) показатели общей смертности в изучаемых городах и районах (за исключением контрольного Тарбагатайского района) существенно увеличиваются, составляя по гг. Усть-Каменогорску и

Зыряновску 20; 17,6 на 1000 населения соответственно (10,1 на 1000 населения в контроле) ($P<0,01$; 0,01).

По-прежнему общая смертность среди населения Курчумского и Уланского районов, хотя и увеличилась, но существенно не превышает показатели контрольного Тарбагатайского района. Среди населения Глубоковского и Шемонаихинского районов общая смертность существенно увеличилась по сравнению с 1990 г. и по-прежнему превышает показатели контроля (17,52; 16,46 на 1000 населения соответственно) ($P<0,05$; 0,05).

Совершенно естественно увеличение относительного риска по сравнению с 1990 г. в городах Лениногорск – 2,0; Зыряновск – 1,74. В Глубоковском районе – 2,3; Уланском – 1,5, Шемонаихинском – 2,2. Сравнительный динамический анализ позволил констатировать практически одинаковый рост показателя общей смертности среди населения городов и основных районов ВКО в 2000 г.

В таблицах 3; 4 представлены интенсивные и стандартизованные по возрасту показатели общей смертности среди городского и сельского населения ВКО.

Анализ материалов, представленных в таблицах, показал, что наибольшие показатели общей смертности (и это естественно) зарегистрированы среди совокупной численности населения в возрастной груп-

пе 60 лет и старше. Вызывает настороженность существенное дву-трехкратное превышение показателей общей смертности среди детей (0-14 лет) и лиц старшего возраста (60 лет и старше) среди сельского населения по сравнению с городским. В возрастной группе 15-59 лет показатели общей смертности среди сельского и городского населения существенно не отличались. В возрастных группах 0-14 лет и 60 лет и старше показатели общей смертности среди мужчин были несколько выше, чем среди женщин, но существенных различий не имели.

Структура общей смертности (таблица 5) среди населения городов и районов ВКО в течение изучаемого периода существенно не различалась. Первое место занимали болезни системы кровообращения, удельный вес которых варьировал от 52,2% до 69,2%. Второе – третье место стабильно занимали новообразования и травмы, в среднем составляя от 11,5 до 20,5%. Четвертое-пятое место занимали болезни органов дыхания и болезни органов пищеварения, в среднем составляя 2,7-10,8%. Остальные классы причин смертности имели незначительные флюктуации удельного веса в общей структуре и также существенно не отличались среди сельского и городского населения ВКО.

Таблица 3. Показатели общей смертности населения Восточно-Казахстанской области 2000 г. (на 100000 населения)

ПОЛ	ВСЕГО			городское население			сельское население		
	0-14 лет	15-59 лет	60 и >	0-14 лет	15-59 лет	60 и >	0-14 лет	15-59 лет	60 и >
Мужчины	184,76	1019,04	6563,38	198,26	986,25	2555,6	346,63	847,9	5973,3
Женщины	104,52	405,33	4730,19	75,90	481,37	1882,8	199,67	357,5	4783,7
ВСЕГО	145,29	709,11	5382,78	204,20	1162,27	2122,3	265,47	613,4	5231,7

Таблица 4. Стандартизованные по возрасту показатели общей смертности населения Восточно-Казахстанской области 2000 г. (на 100000 населения)

ПОЛ	ВСЕГО			городское население			сельское население		
	0-14 лет	15-59 лет	60 и старше	0-14 лет	15-59 лет	60 и старше	0-14 лет	15-59 лет	60 и >
Мужчины	62,8	560,47	721,97	67,41	542,44	281,12	117,85	466,4	657,06
Женщины	35,53	222,93	520,32	25,80	264,75	207,1	67,88	196,6	526,2
ВСЕГО	49,40	390,01	592,10	69,43	639,25	233,45	90,25	337,3	575,49

Таблица 5. Структура общей смертности населения Восточно-Казахстанской области 2000 г. (в %)

	Города и районы							
	г. Усть-Каменогорск	г. Лениногорск	Глубоковский	Кокпектинский	Курчумский	Тарбагатайский	Уланский	Шемонаихинский
Болезни системы кровообращения	56,37	59,06	59,28	54,42	55,64	52,16	55,09	69,32
Новообразования	18,55	13,86	15,12	15,62	12,90	20,50	17,49	11,51
Травмы	15,80	16,70	15,53	16,40	17,20	12,30	17,49	12,18
Болезни органов дыхания	5,05	7,01	7,30	9,63	12,63	10,70	6,26	5,31
Болезни органов пищеварения	4,22	3,34	2,74	3,90	1,61	4,32	3,65	1,66

Особый интерес при оценке связи действия радиационных и нерадикационных факторов на формирование здоровья населения представляет анализ детской смертности, являющейся определенным индикатором экологического неблагополучия.

Анализ данных (таблица 2), характеризующих детскую смертность среди населения ВКО за 1990 и

2000 гг. показал, что в 1990 г. наименьший показатель детской смертности фиксировался среди населения Уланского района и составлял 6,2 случая на 1000 населения. Мы считаем это артефактом материалов Государственной статистики. В остальных районах и городах уровень детской смертности в 1990 г. колебался в пределах 17,5- 36,1 случая на

1000 населения и существенно не отличался среди сельского и городского населения, а также основных и контрольных групп.

В 2000 г. показатели детской смертности среди населения гг. Лениногорска и Зыряновска оказались существенно выше контрольных (18,6 на 1000 населения) и составляли 28,6; 28,0 на 1000 населения ($P < 0,05$; $0,05$).

Среди населения сельских районов наименьшим показатель детской смертности оказался в контрольном Тарбагатайском районе (12,6 на 1000 населения). Существенно большими эти показатели были среди населения Глубоковского и Курчумского районов, составляя 26,2; 21 на 1000 населения соответственно ($P < 0,05$; $0,05$).

ОБСУЖДЕНИЕ

В радиационно-эпидемиологическом анализе результатов исследования мы исходили из положения о том, что не может быть единой причины увеличения или снижения показателей общей смертности, даже столь мощного эксцесса, каким является ионизирующая радиация. Полиморфность причин общей смертности в любых по численности и этническому составу группах населения определяет ее уровень в любые временные промежутки, и зависимость от таких модифицирующих факторов, как пол, возраст и комплекс эндогенных и экзогенных факторов.

В ранних сообщениях по изучению продолжительности жизни у лиц, переживших бомбардировку, отмечалось отсутствие повышенной смертности от заболеваний, не обусловленных новообразованиями (Mine M. et al., 1996), а Stewart A.M. et al (1988) выявили даже более низкий уровень по сравнению с контрольной когортой.

Изучение смертности среди переживших атомную бомбардировку позволило установить статистически достоверное возрастание ее уровней от неонкологических заболеваний в зависимости от дозы облучения. Обобщены данные среди 86 572 переживших атомную бомбардировку. Из них зарегистрировано 27 000 случаев неонкологической смертности, которые встречались в когорте с 1.10.1950. по 31.12.1990 (Shimizu Y., Pierce D.A., Preston D.L., Mabushi K., 1999). Четкая дозовая зависимость обнаружена по избыткам таких заболеваний, как болезни сердечно-сосудистой, респираторной систем и желудочно-кишечного тракта. С увеличением дозы число вышеуказанных заболеваний увеличивалось. Оценка радиационно-обусловленной неонкологической смертности в когорте показала, что эти заболевания составляют 50-100% от количества солидных раков. Однако эти данные не объясняли зависимости «доза-эффект». Не получено свидетельств против линейной зависимости, но статистически последовательные показатели с криволинейными функциями «доза-эффект» демонстрируют нулевой риск для доз ниже 0,5 Зв. Авторы считают, что полученные данные о досто-

верных изменениях избыточного относительного риска в зависимости от возраста и экспозиции позволяют считать статистически недостоверной зависимость от этих факторов. Одновременно установлена существенная зависимость от величины дозы уровня смертности от заболеваний крови с избыточным относительным риском, в несколько раз превосходящим таковой для солидных раков.

В наших исследованиях не установлено четкой дозовой зависимости увеличения относительных рисков общей смертности среди мужчин и женщин экспонированных районов. Существенное увеличение MR общей смертности зафиксировано через 4-21 год от начала облучения среди населения некоторых экспонированных районов, не имело четкой связи с определенным дозовым порогом.

Канцерогенные эффекты ионизирующих излучений являются предметом внимания исследователей-радиобиологов на протяжении многих десятилетий. Информация о канцерогенных эффектах, как правило, получена в результате проведения эпидемиологических и экспериментальных исследований при анализе различных видов и источников ионизирующих излучений. Трудности эпидемиологических исследований и интерпретации результатов объясняются необходимостью длительного наблюдения за экспонированной группой (когортой) с учетом длительности латентного периода; необходимостью полной и достоверной регистрации онкологической заболеваемости и смертности; точностью оценки величины дозы, характера источника облучения, времени облучения для каждого индивида; необходимостью наличия контрольной группы, сопоставимой во всех отношениях с экспонированной, но не подвергавшейся облучению. По мнению Pochin E.E., (1984), особую трудность представляет отбор статистических критериев достоверности превышения наблюдаемого риска опухолей в группе экспонированных лиц над ожидаемым в контрольной группе. Этот выбор наиболее сложен при изучении часто встречающихся форм рака, для которых отклонение от ожидаемого числа случаев с большей вероятностью является случайным.

Нет единого мнения по оценке длительности латентного периода между воздействием ионизирующего излучения и возникновением злокачественных новообразований.

По мнению многих авторов, наименьший латентный период фиксируется для острого и хронического миелолейкоза. Shimaoka K., Akiba S., (1990) через 45 лет после атомной бомбардировки японских городов Хиросима и Нагасаки проанализировали онкоэпидемиологические данные, полученные в результате наблюдения за облученной когортой. Исследователям удалось установить, что риск развития лейкозов у облученных начал возрастать через 2-3 года после бомбардировки, достиг пика через 5-7 лет, затем начал снижаться. Избыток

смертности от других опухолей начал появляться спустя 15 лет после атомной бомбардировки для лиц среднего и старшего возраста в момент бомбардировки. У более молодых в момент атомной бомбардировки риск возникновения злокачественных новообразований зафиксирован позже, в том возрасте, когда обычно появляются спонтанные солидные опухоли. При этом в зависимости от возраста и дозы было отмечено повышение риска возникновения новообразований пищевода, желудка, молочной железы, легких, мочевых путей, яичников, толстой кишки, печени, желчных путей.

В последующие годы (Ron E. et al., 1995) были опубликованы данные, показывающие что среди женщин, подвергавшихся бомбардировке, избытки относительного риска (ERR) для онкозаболеваний существенно превышали таковые показатели среди мужчин: при злокачественных новообразованиях пищевода – в 6,63 раза, при раках желудка – в 4,33, легких – в 5,78, мочевого пузыря – в 5,14. У мужчин более высокий уровень относительного риска отмечен при злокачественных новообразованиях толстой кишки, печени, кожи, щитовидной железы. Автором установлено, что большинство локализаций солидных раков имеет более высокий уровень риска у облученных в молодом возрасте.

Противоположные результаты получены Richardson D.B. et al. (1999). Исследуя связь между облучением в малых дозах и смертностью среди 14095 рабочих, занятых в Oak Ridge National Laboratory с 1943 по 1972 гг., было установлено, что показатели смертности оказались существенно более высокими среди облученных в возрасте старше 45 лет. Показатели смертности в этой возрастной группе нарастали в зависимости от протяженности радиационного воздействия. Избытки общей смертности, в основном, формировались за счет онкологической смертности. Вся онкологическая смертность в группе облучавшихся в возрасте старше 45 лет превышала показатели контроля на 4,98% на 10 мЗв кумулятивной дозы за 10-летний период облучения. За последующие 20 лет это увеличение составило 7,31% на 10 мЗв кумулятивной дозы.

Одним из наиболее сложных вопросов при изучении стохастических эффектов ионизирующих излучений является дозовая зависимость частоты радиационно-индуцированного канцерогнеза.

Little M.P. et al. (2000г.) провели исследование по установлению факторов экстраполяции низких доз облучения по анализам кривой раковой заболевае-

мости среди переживших японскую атомную бомбардировку. Показано небольшое возрастание кривой для дозовой зависимости солидных раков в диапазоне 0-4 Гр. В диапазоне 0-2 Гр возрастание кривой для некоторых локализаций солидных раков было более выраженным.

Pierce D.A., Preston D.L. (2000 г.) провели изучение радиационных эффектов относительно риска рака при воздействии малых доз радиации (дозы менее 0,5 Зв). Анализ заболеваемости солидными формами рака проведен с 1958 по 1994 гг. и учитывает 7000 случаев рака среди 50 000 переживших бомбардировку и имеющих дозу в диапазоне менее 0,5 Зв. Установлено, что в диапазоне доз 0-0,1 Зв обнаружена статистическая достоверность риска при возможном пороге дозы, рассчитанном как 0,06 Зв.

Приблизительно те же результаты получены Dalager N.A. et al. (2000 г.). Обследуя 205 000 военных, участвовавших в атмосферных ядерных испытаниях в США с 1945 по 1962 гг., было установлено, что смертность от всех причин была достоверно более высокой в когорте с дозой облучения 5 рэм по сравнению с контролем. Отсутствие статистической достоверности избытка смертности от многих известных радиационно-индуцированных раков позволило авторам сделать вывод о том, что наблюдаемая избыточная смертность может быть результатом многих факторов, только одним из которых могло быть радиационное воздействие.

Выводы

1. Проведенный анализ динамики показателей смертности населения изучаемых городов и районов ВКО позволяет установить определенные закономерности формирования здоровья населения, подвергавшегося воздействию радиационных и нерадиационных факторов. При этом отмечена четкая динамика увеличения индикаторных заболеваний как причин смерти среди взрослого и детского населения как в городах, так и в районах.
2. Установлен факт существенного превышения показателей смертности среди населения сельских районов.
3. Зафиксированные нами избытки общесоматической и онкологической патологии среди населения сельских районов являются следствием совокупного действия радиационных и нерадиационных факторов окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dalager N.A., Kang H.K., Mahan C.M. (Environmental Epidemiology Service, Veteran Health Administration, Department of Veterans Affairs, Washington): Cancer mortality among the highest exposed US atmospheric nuclear test participants // J. Occup. Environ. Med., 2000, 42 (8): 798-805.
2. Kodama K. Cardiovascular disease in atomic bomb survivors. RERF update, 5(4):3-4// Radiation Effects Research Foundation, Hiroshima, 1994.

3. Pochin E.E. The epidemiology of radiation carcinogenesis in man.// Int. Congr. IRPA Radiation-Risk-Protection, 6 proceedings./Eds A.Kaul et al.-Berlin (West), 1984.
4. Preece D.A., Preston D.L. (Radiation Effects Research Foundation, Hiroshima): Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors // Radiat. Res., 2000, 154 (2):178-86
5. Richardson D.B., Wing S. (Department of Epidemiology, School of Public Health, University of North Carolina, USA): Radiation and mortality of workers at Oak Ridge National Laboratory: positive associations for doses received at older ages// Environ. Health Perspect., 1999, Aug, 107 (8): 649-56.
6. Richardson D.B., Wing S. (Department of Epidemiology, School of Public Health, University of North Carolina, USA): Greater sensitivity to ionizing radiation at older age: follow-up of Workers at Oak Ridge National Laboratory through 1990 // Int.J. Epidemiol., 1999, Jun, 28 (3):428-36.
7. Shimizu Y., Pierce D.A., Preston D.L., Mabuchi K. (Department of Epidemiology, Radiation Effects Research Foundation, Hiroshima): Studies of the mortality of atomic bomb survivors. Report 12, part II. Noncancer mortality: 1950-1990// Radiat. Res., 1999, 152(4): 374-89.
8. Stewart A.M., Kneale G.W. Late effects of A-bomb radiation: risk problems unrelated to the new dosimetry//Health Phys.-1988.- V.54.-P.567-569.
9. Shimaoka K., Akiba S. Malignancies in atomic bomb survivors in Hiroshima and Nagasaki.//J. Nucl.Med. and Allied Sci.-1990.- V.34.-N.4.-P.254-259.

**ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНЫҢ ҚОРШАҒАН ОРТАНЫҢ РАДИАЦИЯЛЫҚ ЖӘНЕ
РАДИАЦИЯЛЫҚ ЕМЕС ФАКТОРЫНА ҰШЫРАҒАН ТҮРҒЫНДАРЫНЫҢ 1990-2000 ж.
АРАЛЫҒЫНДАҒЫ ЖАЛПЫ ЖӘНЕ ОНКОЛОГИЯЛЫҚ ӨЛІМ ДИНАМИКАСЫ**

Гусев Б.И., Пивина Л.М., Апсаликов К.Н., Чайжунусова Н.Ж., Гроше Б., Бауэр С., Курумбаев Р.Р.

¹⁾Радиациялық медицина және экология ғылыми зерттеу институты, Семей, Қазақстан

²⁾Радиациялық гигиена институты, Мюнхен, Германия

Шығыс Қазақстан облысының қалалары мен кейбір аудандары тұрғындарының 1990-2000 ж. өлімі көрсеткіштеріне талдау жасалды. Шығыс Қазақстан облысының қалалары және Глубокий, Шемонаиха аудандары тұрғындарының жалпы өлімінің салыстырмалы көрсеткіші 1,3-1,7 құрады.

**DYNAMICS OF GENERAL MORTALITY AND CANCER MORTALITY AMONG
THE POPULATION IN EAST-KAZAKHSTAN REGION SUFFERED FROM RADIATION
AND NON-RADIATION FACTORS OF ENVIRONMENT, FOR THE PERIOD 1990-2000**

B.I. Gusev, L.M. Pivina, K.N. Apsalikov, N.Zh. Chaizhunusova, B. Groshe, S. Bauer, R.R. Kurumbaev

¹⁾Scientific Research Institute of Radiation Medicine and Ecology, Semipalatinsk, Kazakhstan

²⁾Institute of Radiation Hygiene, Munich, Germany

We have analyzed the general mortality rates and cancer mortality rates for the population of cities and some districts of East-Kazakhstan region for the period from 1990 - 2000. The relative risk of general mortality among the population of cities, Glubokovski and Shemonaichinski districts of East-Kazakhstan Oblast was 1,3-1,7.

УДК 535.23:613.648

**РЕТРОСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ,
СЛОЖИВШЕЙСЯ НА ТЕРРИТОРИИ г. УСТЬ-КАМЕНОГОРСКА И НЕКОТОРЫХ
НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ В РЕЗУЛЬТАТЕ
ИСПЫТАНИЙ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ЯДЕРНОМ ПОЛИГОНЕ****Куракина Н.Н., Апсаликов К.Н., Гусев Б.И., Пивина Л.М.***НИИ радиационной медицины и экологии, Семипалатинск, Казахстан*

Проанализированы материалы, характеризующие динамику содержания продуктов деления урана в объектах внешней среды и продуктах питания местного производства на различных территориях ВКО. Установлены диапазоны доз облучения населения г. Усть-Каменогорска, а также некоторых деревень Глубоковского и Таврического районов ВКО.

ВВЕДЕНИЕ

Данное сообщение является результатом оценки параметров радиационно-гигиенической обстановки на изучаемых территориях ВКО, сложившейся в результате испытаний ядерного оружия. Материалами исследования послужили данные, полученные совместной экспедицией ученых Института биофизики МЗ СССР, ученых Семипалатинского полигона и Диспансера № 4 (НИИ РМЭ). Во время экспедиции 1958 г. были обследованы территории Семипалатинской, Восточно-Казахстанской, Павлодарской и Карагандинской областей на содержание продуктов деления в объектах окружающей среды. На части территории ВКО было отобрано 1221 проба почв, растительности, воды, донных отложений, продуктов питания местного производства. Одновременно по маршрутам движения проводилась авто-гамма-съемка, в населенных пунктах отбирались биологические выделения людей.

В 2001 г. была проведена уточненная привязка отобранных образцов объектов внешней среды к географическим точкам на местности территорий ВКО.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**Краткая характеристика радиоактивных осадков, выпавших в обследованных пунктах.**

По результатам аэрогамма-съемки представилось возможным провести расчетную оценку следующих основных параметров радиоактивного загрязнения населенных пунктов.

Суммарная доза внешнего гамма-излучения на открытой местности определялась по формуле:

$$D = 5 P_{\text{вып}} \times t_{\text{вып}}$$

где: D – суммарная доза за время от $t_{\text{вып}}$ до ∞ ; $P_{\text{вып}}$ – мощность дозы в момент выпадения радиоактивных осадков, Р/ч; $t_{\text{вып}}$ – время до выпадения радиоактивных осадков.

Доза внешнего гамма-облучения, полученная людьми, оценивалась с учетом защитных свойств зданий, режима поведения населения, экранировки излучений снежным покровом. За счет перечислен-

ных факторов фактическая доза, полученная людьми, составляла 0.3-0.5 от суммарной дозы внешнего гамма-излучения на открытой местности.

Количество изотопа стронция-90, выпавшего на 1 м² почвы /расчет по стронцию-90 проводится как по наиболее токсичному изотопу/, оценочно определялось по кривым вклада различных изотопов при делении ²³⁵U. При этом учитывался возраст продуктов деления ядерного горючего.

Ожидаемые уровни гамма-радиации от радиоактивных осадков по состоянию на июль 1958 года рассчитывались по формуле:

$$P_{t_2} = P_{t_1} \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^{-1,2}$$

где: P_{t_1} – уровни радиации на момент самолетной гамма-съемки, Р/ч; P_{t_2} – уровни радиации на июль 1958 г.; P ; t_1 и t_2 – время до первого измерения и до июля 1958 года соответственно, час.

Количество радиоактивного вещества, находящегося на 1 м² почвы по состоянию на июль 1958 года, определялось из соотношения:

$$\sigma = 3.7 \times 10^9 \text{ Р Бк/м}^2.$$

Радиоактивность зерна пшеницы и травы за счет усвояемости стронция-90 оценочно рассчитывалась из следующих условий:

- радиоактивные осадки все растворимы и распределены равномерно в слое почвы на глубину от 0 до 5 см. /взяты наиболее благоприятные условия усвоения стронция корневыми системами/;
- отношение удельной активности зерна по стронцию-90 к удельной активности почвы, также по стронцию-90, равно 1/100, для травы это отношение принято 22/100 /т.е. таким же как для стеблей пшеницы.

Полученные основные параметры радиоактивного загрязнения обследованных населенных пунктов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры радиоактивного загрязнения обследованных населенных пунктов

Населенный пункт	Суммарная доза внешнего облучения на открытой местности за счет выпадений по годам, рентген		Ориентировочная доза внешнего облучения населения, рентген	Выпало Р.О. по ^{90}Sr Бк/кг	Расчетная загрязненность и уровни радиации на июль 1958 г.			
	1956	1953+1958*			Уровень радиации мкР/ч	Грунт, Бк/м ²	Трава по ^{90}Sr , Бк/кг	Зерно по ^{90}Sr , Бк/кг
Аблакетка	8.1	8.1	4.0	3145	17.0	62900	13.84	0.629
Канайка	7.1	7.1	3.6	2701	14.6	54020	11.84	0.537
Самсоновка	7.1	7.1	3.6	2701	14.6	54020	11.84	0.537
Усть-Каменогорск	6.6÷7.7	6.6÷7.7	3.5	2775	15.0	55500	12.21	0.555
Кирпичный завод	7.3	7.3	3.7	2812	15.2	56240	12.21	0.555
С/з Передовой	1.92	1.92	1.0	888	4.8	17760	4.07	0.185
К/з Заветы Ильича	1.92	1.92	1.0	888	4.8	17760	4.07	0.185
Шемонаиха	0.028	0.028	0.014	14.8	0.08	296	0.067	0.003

*- данные по 1953 г. отсутствуют

Оценка мощности дозы, создаваемой проникающими излучениями.

На человека, находящегося на земле, действуют следующие виды проникающих излучений: космические лучи, излучение от окружающих объектов /за счет содержания естественных радиоактивных элементов/ и излучения от загрязнений, вызванных искусственной радиоактивностью.

Мощность дозы, создаваемая космическими лучами на уровне моря, равна 0.003 мР/ч.

Изучение гамма-фона от окружающих объектов внешней среды проводилось с помощью приборов типа ДП-11-Б, РК-01 и авто-гамма-радиометра СГ-65, чувствительность последнего значительно выше, чем первых двух.

В таблице 2 приведены сводные данные измерения гамма-фона прибором СГ-65 /приборы ДП-11-Б и РК-01 при измерении гамма-фона давали показания, которые лежали в области ошибок приборов/.

Таблица 2. Сводные данные измерения гамма-фона по ВКО

Количество погонных, км	Мощность дозы гамма-излучения, мР/ч		
	минимальная	средняя	максимальная
380	0.008	0.01	0.012

Исключением явился только один случай. В г. Усть-Каменогорске, в районе завода среднего машиностроения, отмечалось резкое увеличение гамма-фона до 0.25 мР/ч, что превысило фон за счет естественных радиоактивных изотопов /0.01 мР/ч/ в 25 раз. Такое превышение над естественным фоном

было вызвано нарушением на заводе условий техники безопасности при работе с радиоактивными веществами. Повышение мощности дозы за счет гамма-излучения, вызванного загрязнением территории радиоактивными осадками, нигде не отмечалось.

Оценка значений удельных активностей почв.

В таблице 3 приведены средние удельной активности почв по обследованным населенным пунктам.

В данной таблице населенные пункты расположены в порядке уменьшения значения удельной активности поверхностного целинного слоя. Если сравнить удельные активности поверхностных целинных и пахотных слоев, то можно отметить, что большим значениям активности целинных слоев в большинстве случаев соответствуют большие средние активности пахотных земель. На пахоте по глубине активность распределена почти равномерно.

Поверхностный слой во всех населенных пунктах имеет активность выше, чем все нижележащие слои. Наименьшую удельную активность порядка 740 Бк/кг, как правило, имели последние исследованные слои грунта /с глубины 3-4 и 5-6 см/.

Для того, чтобы посмотреть, не вызвана ли активность последних слоев целинного грунта /3-4 и 5-6 см/ активностью, создаваемой ^{40}K , было проведено определение последнего в почве. С помощью химических методов было определено содержание калия. Затем, по известному соотношению между стабильным и радиоактивным калием, была вычислена удельная активность проб грунта за счет ^{40}K .

Таблица 3. Средние удельные активности почв

Населенный пункт	Средняя удельная активность, Бк/кг				Отношение удельных активностей между слоями $\frac{0-1\text{нн}}{3-4\text{нн}}$
	Целина			Пахота	
	0-1 см	3-4 см	5-6 см	до 16 см	
Аблакетка	9620	851	851	2220	11.3
к-з Заветы Ильича	5920	1517	814	1702	3.9
Кирпичный завод	3108	1332	666	1295	2.3
Канайка	3108	925	999	1147	3.4
Самсоновка	2997	666	592	740	4.5
Усть-Каменогорск	2479	1073	740	1332	2.3
с-з Передовой	2294	888	666	1073	2.6
Шемонаиха	1332	851	703	740	1.6

Таблица 4. Превышение суммарной активности над значениями калия-40

Место отбора проб	Активность, Бк/кг		Отношение суммарной активности к активности ^{40}K
	Определенная из графика	За счет ^{40}K определенного химическим способом	
Аблакетка	888	518	1.7
Кирпичный завод	666	222	3.0
Канайка	962	444	2.2
Самсоновка	592	259	2.3
Шемонаиха	703	592	1.2

В таблице 4 приведено сравнение активности грунта за счет ^{40}K , определенного вышеуказанным методом, с активностью последних слоев целинного грунта определенной из графиков.

Из приведенной таблицы видно, что, если сравнивать активность, создаваемую найденным химическим способом количество ^{40}K с активностью глубинных слоев полученной при измерениях, то они отличаются, в среднем, в 1.7 раза.

Пункты, которые подвергались наибольшему загрязнению, имеют наибольшее отношение между удельными активностями поверхностных и нижележащих слоев. Это хорошо заметно на отношениях удельной активности слоев 0-1 см и 3-4 см.

Для сравнения удельных активностей почвы был выбран контрольный пункт в Карагандинской области с. Шоптыкуль, который по данным военных не подвергался загрязнению радиоактивными осадками.

По ВКО из обследованных населенных пунктов по активности почвы обращает на себя внимание пос. Аблакетка. Соотношение удельных активностей в данном населенном пункте между слоями 0-1 и 3-4 см, составляет 11.3, а удельная активность поверхностного слоя грунта выше, чем та же величина

в с. Шоптыкуль в 9.6 раза. В с. Самсоновка соотношение удельных активностей выше указанных слоев составляет 4.5 и значение удельной активности поверхностного слоя грунта выше, чем в с. Шоптыкуль в 3 раза.

В других населенных пунктах – пос. Глубокое, Верхне-Березовский рудник, Заготзерно – средняя удельная активность поверхностного слоя почвы составляет 2621 Бк/кг, что выше значения удельная активность почвы в с. Шоптыкуль в 2.6 раза.

Определение содержания ^{90}Sr в почвах обследованных населенных пунктов было проведено радиохимическим методом. Полученные данные сведены в таблице 5.

Из таблицы 5 следует, что во всех населенных пунктах был найден стронций-90. Наиболее загрязненными пунктами являются Аблакетка, Самсоновка, колхоз "Заветы Ильича".

Оценка значений удельной активности растительности.

Для удобства рассмотрения значений удельной активности растительности в обследованных населенных пунктах они сведены в таблице 6.

Таблица 5. Процентное содержание стронция-90 в суммарной активности.

Место отбора пробы	Удельная активность, Бк/кг		Содержание активности ^{90}Sr в общей активности, %
	определенная по раствору (общая)	по стронцию-90	
Усть-Каменогорск	18130	518	2.8
а) 1 км южнее кирпичного завода	8140	518	6.5
б) Самсоновка			
в) Кирпичный завод			
/4-5 см/	1110	74	6.5
/5-6 см/	2294	259	10.6
Канайка			
а) поверхностный	30340	3330	11.0
б) /5-6 см/	2405	370	15.7
Шемонаиха			
/поверхностный слой/	6290	444	6.9

Таблица 6. Радиоактивное загрязнение растительности

Населенные пункты*	Удельная активность растительности, Бк/кг**		
	Пастбищная	Зерновые культуры	Старая /сено, солома/
Аблакетка	1036	-	-
К-з "Заветы Ильича"	592	296	37.0
Кирпичный завод	851	-	-
Самсоновка	666	148	1184
Усть-Каменогорск	740	-	-
Канайка	740	-	-
С-з Передовой	518	481	-
Шемонаиха	1110	-	-

*- населенные пункты расположены в порядке убывания удельной активности целинного поверхностного слоя;

** - удельная растительности дана в пересчете на сырой вес, для травы и всходов коэффициент перехода 4.6 для сена, для соломы 2.0.

Рассматривая полученные данные, можно отметить следующее: удельная активность пастбищной растительности, как правило, ниже удельной активности слоя грунта. По абсолютным значениям большим величинам удельной активности грунта во многих случаях соответствуют большие активности растительности. Удельная активность всходов зерновых культур во всех случаях ниже удельной активности травы.

Так как растения имеют в своем составе ^{40}K , было проведено два анализа для его количественного определения. Средние пробы травы из с. Шоптыкуль и с. Шемонаиха дали следующее содержание ^{40}K : с. Шемонаиха – 55.5 Бк/кг, с. Шоптыкуль – 62.9 Бк/кг. В средней пробе травы из г. Усть-Каменогорска было определено содержание стронция-90 радиохимическим методом. Удельная активность травы за счет стронция-90 составила 59.2 Бк/кг, что хорошо согласуется с расчетными данными. При анализе результатов было отмечено следующее: пастбищная растительность в большинстве случаев имеет удельную активность гораздо выше, чем может быть активность за счет ^{40}K .

Наибольшую удельную активность по состоянию на июль 1958 года имела растительность в населенных пунктах: Аблакетка, Кирпичный завод, Шемонаиха.

Радиологическая оценка пищевых продуктов и пищевых рационов.

Из всех многообразных продуктов питания, обследованных экспедицией, следует остановиться на тех, которые составляют основную часть суточного рациона местных жителей: хлеб, молоко, мясо, картофель, овощи и вода.

В пищевых продуктах всегда содержится некоторое количество естественной радиоактивности, обусловленной присутствием ^{40}K . Данные, полученные путем радиохимического анализа и заимствованные из литературных источников, в большинстве

своем сходятся, поэтому за основу нами были приняты удельные активности, обусловленные ^{40}K , взятые из литературных источников. В табл. 7 приводятся основные данные об удельной активности пищевых продуктов.

Из представленной таблицы видно, что удельная активность молока и мяса, в основном, не превышает естественной активности, возникающей за счет ^{40}K . Концентрации радиоактивных веществ в питьевой воде было значительно меньше предельно допустимых норм, принятых для смесей изотопов.

Повышенная удельная активность пшеницы из Самсоновки объясняется влиянием радиоактивных выпадений 1956 года.

Для населенного пункта Шемонаиха расчет удельной активности овощей проводился по 7 видам. Даже если исключить помидоры, которых была взята только одна проба, то вместо 214.6 Бк/кг расчет дает 153.7 Бк/кг, что незначительно приближает их активность к активности калия-40.

Следует отметить, что данные по пищевым продуктам менее характеризовали степень загрязнения населенного пункта, чем данные по грунту и растительности, так как жители некоторых населенных пунктов, в особенности городов и рабочих поселков, питаются продуктами, привозимыми из различных районов и областей.

Анализ всех открытых водоемов обследованных населенных пунктов показал на полное отсутствие радиоактивных загрязнений воды рек и озер. Удельная активность открытых водоемов по 12 населенным пунктам в среднем составляла 2.3 Бк/л. Не наблюдалось повышения уровня удельной активности в рыбе, донных отложениях и водорослях.

Несмотря на то, что естественная активность мышц и костей приблизительно одинакова, все же отмечалось некоторое повышенное содержание радиоактивных изотопов в костях (таблица 8).

Таблица 7. Содержание радиоактивных веществ в продуктах питания жителей населенных пунктов Восточно-Казахстанской области по состоянию на начало июля 1958 г.

Населенные пункты	Удельная активность, Бк/кг, л						Удельная активность питьевой воды, Бк/л
	Пшеница урожая 1957 г.	Хлеб	Мясо	Молоко	Картофель	Овощи	
Усть-Каменогорск	-	88.8	92.5	51.8	111.0	107.3	2.590
Самсоновка	703.0	444.0	77.7	33.3	133.2	118.4	0.925
Аблакетка	-	51.8	55.5	51.8	59.2	103.6	1.184
Канайка	-	55.5	-	59.2	118.4	136.8	1.110
Кирпичный завод	-	18.5	-	37.0	170.2	70.3	0.740
Шемонаиха	59.2	51.8	55.5	62.9	92.5	214.6	2.590
Содержание ^{40}K *	129.5	44.4	85.1	44.4	111.0	85.1	-

*- данные взяты из литературных источников

Таблица 8. Удельная активность мышц и костей животных

Населенный пункт	Активность мышц, Бк/кг	Активность костей, Бк/кг	$\frac{\text{А костей}}{\text{А мышц}}$
Самсоновка	77.7	1517.0	19.5
Шемонаиха	55.5	370.0	6.67
Шоптыкуль	105.5	943.5	8.95

Согласно данным таблицы можно полагать, что скот указанных населенных пунктов употреблял корм, содержащий радиоактивные выпадения. Вероятно, основным изотопом, загрязнявшим траву, являлся стронций-90.

Для того чтобы решить вопрос о возможном поступлении радиоактивных веществ в организм человека с пищей, все обследуемое население было условно разбито на три группы:

- городское население /г. Усть-Каменогорск, пос. Аблакетка, Кирпичный завод/;
- сельское население русское /села Самсоновка, Шемонаиха, Канайка, с/з Передовой, к/з "Заветы Ильича"/;
- сельское население казахское /Шоптыкуль, к/з им. 30 лет Казахстана/.

Соответственно для каждой группы был принят примерный пищевой рацион, представленный в таблице 9.

Расчет по рационам показал следующие средние величины поступления ^{40}K в человеческий организм:

- для городского населения - 151.7 Бк;

- для сельского населения /русского/ – 107.3 Бк;
- для сельского населения /казахского/ - 151.7 Бк.

Данные вероятного поступления радиоактивных веществ в организм человека, рассчитанные с учетом времени, прошедшего с момента выпадения осадков, из расчета суточных рационов для обследованных пунктов приведены в таблице 10.

Наибольшее превышение над естественной активностью за счет ^{40}K в суточных рационах наблюдалось в с. Самсоновка, но и оно не превышало предельно допустимое поступление изотопов с рационом.

В таблице 11 приведен процентный вклад в суммарное поступление по основным продуктам питания.

Из таблицы видно, что основной вклад в радиоактивное поступление для казахского сельского населения жителей ВКО вносят молоко и мясо, а для русского населения (как городского, так и сельского) – хлеб и овощи.

Таблица 9. Примерный суточный пищевой рацион для различных групп населения

Продукты питания и вода	Пищевой рацион, кг, л		
	Городское население	Сельское население	
		казахское	русское
Хлеб	0.600	0.800	0.900
Мясо	0.100	1.0	0.250
Овощи	1.0	-	0.300
Молоко	0.2	1.0	0.300
Вода	2.5	2.5	2.5
Крупа	-	0.200	-

Таблица 10. Поступление радиоактивных веществ в организм человека

Населенный пункт	Поступление р/а веществ с рационом, Бк	Превышение над естественным содержанием ^{40}K , Бк	Предельно допустимое поступление изотопов с рационом, Бк
Самсоновка	4551	347.8	407.0
Усть-Каменогорск	2220	70.3	"-"
К/з Передовой	1813	74.0	"-"
К/з Заветы Ильича	1443	37.0	"-"
Канайка	1406	25.9	"-"
Аблакетка	1221	-	"-"
Кирпичный завод	1073	-	"-"
Шемонаиха	925	-	"-"

Таблица 11. Поступление радиоактивных веществ с различными продуктами питания в организм жителей ВКО в 1958 г.

Группы населения		Наименование продукта питания	Поступление радиоактивных веществ в организм жителей, %
Городское		Хлеб	28
		Мясо	5
		Овощи	58
		Молоко	5
		Вода	4
Сельское	русское	Хлеб	69
		Мясо	8
		Овощи	16
		Молоко	5
		Вода	2
	казахское	Хлеб	25
		Мясо	33
		Овощи	0
		Молоко (кумыс)	35
		Вода	7

Было проведено сравнение анализов рационов с результатами радиометрических исследований выделений населения, проводившихся наряду с клиническим обследованием. Среднее содержание естественной радиоактивности ^{40}K в суточном количестве мочи и кала в сумме равно 148 Бк. Чтобы представить полную картину загрязнений выделений по населенным пунктам, все результаты анализов по каждому из них были усреднены и сведены в таблице 12.

Хотя сравнение поступлений радиоактивных веществ в организм человека с содержанием их в вы-

делениях затруднительно, вследствие большого разброса результатов, но можно провести качественный анализ. Ранее было отмечено превышение по поступлению радиоактивных веществ в рацион в с. Самсоновка, г. Усть-Каменогорске, совхозе "Передовом", с. Канайка, колхозе "Заветы Ильича". Из представленной таблицы видно, что в трех из этих населенных пунктов, а именно: в с. Самсоновка, с. Канайка, колхозе "Заветы Ильича" также отмечаются повышенным содержанием радиоактивных веществ в выделениях.

Таблица 12. Содержание радиоактивных веществ в суточных выделениях людей, обследованных в 1958 г.

Населённый пункт	Анализ мочи		Анализ кала		Суммарная активность суточных выделений, Бк	Превышение над содержанием естественной активности, %
	к-во анализов	активность, Бк	к-во анализов	активность, Бк		
Канайка	10	85.5	10	88.8	1921.8	28
Аблакетка	18	85.1	7	48.1	133.2	-
К/з "Заветы Ильича"	13	85.1	17	68.8	153.9	3
Кирпичный завод	6	59.2	3	22.2	81.4	-
Самсоновка	15	99.9	16	77.7	177.6	17
Шемонаиха	41	85.1	24	40.7	125.8	-
С/з "Передовой"	22	77.0	9	32.9	109.9	-
Усть-Каменогорск	24	77.7	17	51.8	129.5	-

* - в населенных пунктах наблюдалось относительно «молодое» загрязнение местности после ядерных испытаний 24.08.1956 и 22.08.1957 гг.

Таблица 13. Удельная активность объектов внешней среды и продуктов питания по годам в г. Усть-Каменогорске.

Вид пробы	1956		1957		1958	
	сентябрь-октябрь		июнь-сентябрь		июнь-июль	
	К-во проб	Удельная активность, Бк/кг, л, рацион	К-во проб	Удельная активность, Бк/кг, л, рацион	К-во проб	Удельная активность, Бк/кг, л, рацион
Грунт	11	703000	1	6290	10	2479
Трава	11	333000	-	-	12	740
Пшеница						
/зерно/	5	29970	6	96.2	-	-
Хлеб	7	11840	1	59.2	5	88.8
Мясо	8	2923	-	-	6	555
Картофель						
Молоко	14	3108	2	77.7	3	111
Вода	5	1295	-	-	6	51.8
Рацион	9	55.5	-	-	6	2.59
		8510	-	-		222

Примечание:

1. В таблице приведены данные об удельных активностях, с учетом естественной
2. Удельная активность травы дана в пересчете на сырой вес. Средний коэффициент пересчета равен 4.6.

Было проведено сопоставление собранных данных (таблица 13) об удельной активности некоторых объектов внешней среды и продуктов питания, определенной в различное время.

Из данных таблицы видно, что в г. Усть-Каменогорске наблюдается снижение удельных активностей:

- поверхностного слоя почвы - в 280 раз;
- травы – в 450 раз;
- пищевого рациона – более чем в 38 раз.

Взяв первоначальные данные из табл. 13 за исходные, проведя расчет снижения удельной активности почвы по формуле:

$$A_2 = A_1 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^{-1,2}$$

и сравнив исходные данные с рассчитанными, получили, что по расчету за вышеуказанные периоды снижение удельной активности почвы должно было быть – в 43 раза. Это расхождение фактических и расчетных данных является, в основном, следствием несоблюдения однообразия мест и количества отбиранных проб, характеризующих тот или иной населенный пункт.

Таким образом, независимо от сроков воздействия радиоактивных осадков на грунт, растительность, воду и пищевые продукты с течением времени происходит снижение их удельной активности. В обследованных пунктах наибольшую удельную активность имел поверхностный грунт, как самый устойчивый объект внешней среды, причем, степень снижения его активности ниже, чем растительности,

продуктов питания и воды. Отличие в спаде активности объясняется тем, что за период с 1956 по 1958 годы происходило неоднократное обновление растительного покрова и пищевых продуктов.

В период 1961-1962 гг. на полигоне было проведено 3 испытания, которые могли оказать влияние на г. Усть-Каменогорск. Данные по радиационной обстановке приведены в таблице 14.

Таблица 14. Данные по радиационной обстановке и расчеты доз на население, проведенные российскими учеными и в НИИ РМЭ

Дата взрыва	Расстояние от площадки взрыва, км	Мощность дозы		Доза гамма-излучения до полного распада продуктов взрыва	
		Время измер, час	Р/ч	на открытой местности, сГр	на население, сЗв
21.09.1961	342	3	1Е-5	8,6Е-5	6.0Е-5
25.10.1961	342	3	1Е-4	1,26Е-4*	8,7Е-5*
11.11.1962	342	3	4 Е-4	7,2Е-4	5.0Е-4
				4,7Е-3*	3,3Е-3*
				3.6Е-3	2.5Е-3
				4,71Е-3*	3,2Е-3*

*- наши расчеты

В 1997 году учеными Центрального физико-технического института Министерства обороны РФ (ЦФТИ) и Государственного научного центра Российской Федерации- Института биофизики (ИБФ) была проведена ретроспективная оценка доз облучения [7] жителей населенных пунктов ВКО, подвергшихся радиационному воздействию вследствие испытаний на Семипалатинском полигоне. Результаты оценки для взрыва 24.08.1956 г. приведены в таблице 15.

Таблица 15. Населенные пункты, жители которых получили эффективную дозу облучения, больше 5 сЗв, но не более 25сЗв

Населенный пункт	Данные ЦФТИ, сЗв	Данные ИБФ, сЗв
Усть-Каменогорск	8.23	5.00
Кирпичный завод	12.65	7.70
Овечий ключ	9.06	5.50
Согра	6.49	3.90
Глубоковский район		
Белокаменка	10.40	6.30
Белоусовка	11.65	7.10
Бобровка	8.33	5.00
зим. Поповская	8.66	5.20
Новомихайловка	8.24	5.00
Опытное поле	12.67	7.70
Планидовка	10.19	6.20
Прапорщиково	12.58	7.70
Прогресс	6.67	4.10
Солнечный	7.25	4.40
Уварово	7.92	4.90
Черногорка	9.17	5.60
Таврический район		
Ахмирово	8.87	5.40
Герасимовка	10.90	6.70
Казачье	11.70	7.10
Новоявленка	11.35	6.90
Октябрьск	9.96	6.10
Рыбное	11.67	7.10
свх. Ярославский отд. № 2	8.02	4.90
Тума	6.74	4.10
Украинка	11.46	7.00

Сравнение величин составляющих суммарной эффективной дозы показывает, что ее значение практически полностью определяется общим внешним гамма-облучением тела человека. Это значит,

что на величину эффективной дозы, получаемой человеком, в большей степени влияют особенности суточного режима поведения населения и защитные характеристики, используемых помещений (жилищ), чем существенные различия во внутреннем облучении людей. В этой связи, эффективная доза не может являться достаточным критерием общей оценки значимости облучения в условиях, когда имеет место фактор внутреннего поступления продуктов взрыва. Оценка последствий облучения по величине только эффективной дозы оказывается особо неприемлемой, когда в качестве критической группы выступают дети, для которых внутреннее облучение, и в первую очередь щитовидной железы, может определить главные последствия радиационного воздействия.

ОБСУЖДЕНИЕ

За последние 10 лет в различных научных коллективах стран ближнего и дальнего зарубежья прошли апробацию многие известные на сегодняшний день методы ретроспективного восстановления доз облучения населения: математическое моделирование процессов формирования радиоактивных выпадений и последующей миграции радионуклидов – продуктов взрыва по цепям биологического метаболизма (В.М. Лоборев и соавт, 1994); использование данных радиационной разведки, проводившейся непосредственно после ядерных взрывов (В.М. Лоборев и соавт, 1994; К.И. Гордеев и соавт, 1995); восстановление доз по радиационным эффектам в зубной эмали облученных (ЭПР-дозиметрия) (К.И. Гордеев и соавт, 1995), запасам долгоживущих радионуклидов, в частности Cs-137, в почвах изучаемых территорий (А.А. Лагутин и соавт., 1996).

Совместный анализ всех полученных на сегодняшний день материалов позволяет дать объективную оценку достоинств и недостатков каждого из перечисленных методов и установить его место в общей системе методов реконструкции доз после ядерных испытаний.

Нужно отметить, что все предложенные современные методы реконструкции доз имеют один существенный недостаток, заключающийся в том, что

они, как правило, не содержат элементов анализа исторического развития методов, а дает лишь их современное состояние. Предложенные нами материалы имели целью восполнить этот пробел.

В качестве основного критерия для оценки воздействия радиоактивных продуктов взрыва на людей практически по всем предложенным методам реконструкции принимается величина эффективной дозы (ЭД) и величина коллективной (популяционной) эффективной дозы в соответствии с тем, как эти величины определены в рекомендациях Международной Комиссии по радиологической защите (ICRP 61, 1990). В качестве дополнительного критерия для оценки воздействия продуктов взрыва на людей по предложенным методикам является значение поглощенных доз излучения на все тело или его отдельные критические органы.

Проведенные нами исследования и их анализ с использованием ретроспективных материалов характеризующих, содержание радиоактивных веществ в объектах внешней среды и продуктах питания местного производства по состоянию на 1958-1960 гг., предполагали применение «исторических» методик расчета суммарной и удельной радиоактивности с последующим расчетом эффективных доз. Естественно, результаты подобных расчетов с учетом достигнутого в настоящее время прогресса в области знаний поведения продуктов радиоактивного деления в атмосфере в результате испытаний ядерного оружия, должны подвергаться логичной коррекции и сравнению с таковыми, проведенными проспективно. Предложенные нами сравнения показали, что только при наличии абсолютно точного соблюдения порядка и места отбора объектов внешней среды для последующего радиологического анализа возможно снижение ошибок в расчетах естественного снижения удельной активности в отобранных объектах. В этой связи необходимо учиты-

вать, что данные, полученными по пищевым продуктам, как правило, меньше характеризуют степень загрязнения населенного пункта, чем данные по грунту и растительности, так как жители некоторых населенных пунктов, в особенности, городов и рабочих поселков, питались продуктами, привозимыми из различных районов и областей.

В период с 1997 по 2000 гг. специалисты Хиросимского Университета и НИИ радиационной медицины и экологии провели работу по отбору объектов внешней среды и продуктов питания местного производства на территориях ВКО. Целью работы послужила необходимость адекватной оценки современного состояния радиоактивности объектов окружающей среды и продуктов питания местного производства для дальнейшего сравнения с приводимыми в данной работе материалами.

Анализ результатов исследований позволил констатировать достаточно высокую сходимость результатов исследований предыдущих лет с учетом снижения радиоактивности объектов внешней среды в зависимости от времени, прошедшего с момента выпадения радиоактивных осадков (M.Yamamoto, M.Hoshi, J.Takada, 2000; Ivannikov A.I., Gusev B.I., Hoshi M, 1999; J.Takada, M.Hoshi, T. Nagatomo, 1999).

Таким образом, проведенные исследования позволяют констатировать наличие дозовых нагрузок на население изучаемых районов ВКО в период и последующие годы после проведения ядерных взрывов, закончившихся выпадением радиоактивных осадков на этих территориях.

Выводы

Суммарные эффективные эквивалентные дозы для части населения г. Усть-Каменогорск и некоторых поселков ВКО, сформированные в результате дозообразующих для этих территорий взрывов, находились в диапазоне от 66,7 до 126,7 мЗв.

ЛИТЕРАТУРА

1. M.Yamamoto, M.Hoshi, J.Takada, T.Tsukatani, S.Oikawa, I.Yoshikama, T.Takatsuji, A.Kh.Sekerbaev, B.I.Gusev. Some aspect of plutonium in and around the former Soviet Union's Semipalatinsk nuclear test site. Japan, 2000.
2. M.Yamamoto, M.Hoshi, J.Takada, S.Kusumi, A.Kh.Sekerbaev and B.I.Gusev. Plutonium Fallout in Environment around the Former Soviet Union's Semipalatinsk Nuclear Test Site. Japan, 2000.
3. M.Yamamoto, M.Hoshi, J.Takada, A.Sekerbaev, B.Gusev (Low Level Radioactivity Laboratory, Kanazawa University, International Radiation Center, Research Institute for Radiation Biology and Medicine, Hiroshima University, Kazakh Scientific Res. Inst. For Radiat. Med. And Ecology): Pu isotopes and 137-Cs in the surrounding areas of the former Soviet Union Semipalatinsk nuclear test site || J.of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 242, No.1(1999) 63-74.
4. Yamamoto, M., Hoshi, M., Takada, J., Tsukatani, T., Sekerbaev, A., Gusev, B. (Kanazawa Univ., Kyoto Univ., Kazakh Scientific Res. Inst. For Radiat. Med. And Ecology) : Distribution of Pu isotopes and 137-Cs in and around the former Soviet Union's Semipalatinsk nuclear test site. JAERI-Conf, 99-001, 59-80, 1999
5. Hoshi, M., Takada, J., Kim, R., Tanaka, H., Asou, H., Tanaka, K., Takeichi, T., Yamada, H., Stepanenko, V., Hayakawa, N., Kimura, A., Yamamoto, M., Yoshikawa, I., Takatsuji, T., Sekerbaev, A., Gusev, B., Zhumadilov, Z. (Dept. Cancer Cytogenetics, Dept. Epidemiol. And Social Med., MRRC RAMS, Dept. Hematology and Oncology, Kanazawa Univ., Nagasaki Univ., Kazakh Scientific Res. Inst. For Radiat. Med. And Ecology, Semipalatinsk Medical Academy) : Effects of Radiation for residents near Semipalatinsk Nuclear Test Site || Proceedings of the research institute for radiation biology and medicine Hiroshima University (2000)
6. Ivannikov A.I., Gusev B.I., Hoshi M. (Medical Radiological Research Center, Russia, Kazakh Scientific Res. Inst. For Radiat. Med. And Ecology): Results of the individual dose reconstruction for the residents of the Semipalatinsk region using ESR Spectroscopy of tooth enamel. Fifth Hiroshima International Symposium – Radiation Effects on the Residents near Semipalatinsk

- Nuclear Test Site, Hiroshima, 1999 . ® ©|| Proceedings of the research institute for radiation biology and medicine Hiroshima University (2000) 393.
7. J.Takada, M.Hoshi, T. Nagatomo, M. Yamamoto, Satoru Endo, T. Takatsuji, I.Yoshikawa, B. Gusev, A. Sekerbaev, N. Tchajjunusova (Research Institute for Radiation Biology and Medicine, Hiroshima University, Departament of Dphysics, Nara University, International Radiation Information Center, Kazakh Scientific Res. Inst. For Radiat. Med. And Ecology, Semipalatinsk Medical Academy):External Doses of Residents near Semipalatinsk Nuclear Test Site //J.RADIAT.RES., 40, 337-344, 1999.
 8. К.И.Гордеев, О.Т.Балуев, Н.Г.Даренская и др. Концепция реабилитации населения и нормализации экологической, санитарн-гигиенической, медико-биологической и социально-экономической ситуации в населенных пунктах Алтайского края, расположенных в зоне влияния ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне // Вестн. Науч. Прогр. "Семипалатинский полигон-Алтай".-1995.-№3.- С.11-9.
 9. А.А.Лагутин, А.И.Гончаров, К.В.Гамаюнов и др. Ретроспективная оценка эффективных доз внешнего облучения от локальных выпадений ядерных взрывов по величине осадка цезия-137 // Вестн. Науч. Прогр. "Семипалатинский полигон-Алтай".-1996.-№4.-С.41-59.
 10. В.М. Лоборев, Я.Н.Шойхет, А.А.Лагутин и др. Радиационное воздействие Семипалатинского полигона на Алтайский край и проблемы количественной оценки этого воздействия.//Вестн. науч. прогр. "Семипалатинский полигон-Алтай".-1994.-№1.-С.10-26

СЕМЕЙ ЯДРОЛЫҚ ПОЛИГОНЫНДА ЯДРОЛЫҚ ҚАРУДЫ СЫНАУ НӘТИЖЕСІНДЕ ШҚО ӨСКЕМЕН ҚАЛАСЫ ЖӘНЕ КЕЙБІР ЕЛДІ МЕКЕНДЕРІНДЕ ҚАЛЫПТАСҚАН РАДИАЦИЯЛЫҚ-ГИГИЕНАЛЫҚ ЖАҒДАЙЛЫРҒА РЕТРОСПЕКТИВТІК БАҒА БЕРУ

Куракина Н.Н., Апсаликов К.Н., Гусев Б.И., Пивина Л.М.

Радиациялық медицина және экология ғылыми зерттеу институты, Семей, Қазақстан

ШҚО әртүрлі аумақтарында қоршаған орта объектілері және жергілікті жерде өндірілетін тамақ өнімдері құрамында уранның бөлшектері бар екендігін көрсететін материалдарға талдау жасалды. ШҚО-ң Өскемен қаласы, сондай-ақ Глубокий және Таврия аудандарының кейбір аулдары тұрғындарының сәулелену дозасының диапазоны анықталды.

RETROSPECTIVE ANALYSIS OF RADIATION AND HYGIENIC SITUATION ON THE TERRITORIES OF UST-KAMENOGORSK CITY AND SOME VILLAGES OF EAST-KAZAKHSTAN REGION IN RESULT OF NUCLEAR WEAPONS TESTING ON SEMIPALATINSK TEST SITE

N.N. Kurakina, K.N. Apsalikov, B.I. Gusev, L.M. Pivina

Scientific Research Institute of Radiation Medicine and Ecology, Semipalatinsk, Kazakhstan

Materials characterized dynamics of maintenance of the radioactive substances in the environment and in food on the some territories of East-Kazakhstan region have been analyzed. The range of exposed doses for the population in Ust-Kamenogorsk city and some villages of Glubokovsky and Tavrichesky districts has been determined.

УДК 577.17:539.12.04

**КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ УРОВНЕМ КАТЕХОЛАМИНОВ
И ПОКАЗАТЕЛЯМИ ХОЛИНЭСТЕРАЗНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ
МАЛЫХ ДОЗ РАДИАЦИИ У ЛИКВИДАТОРОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС****Макашев Ж.К., Журнист А.Г., Утешев А.Б., Абылаев Ж.А.***Кафедра клинической лабораторной диагностики АГИУВ, Алматы, Казахстан*

Для оценки функционального состояния симпатoadреналовой системы исследовалась концентрация адреналина (А) и норадреналина (НА), а также отношение НА/А в суточной моче ликвидаторов ЧАЭС. Параллельно определялось содержание ацетилхолина (АХ) и активности холинэстеразы (ХЭ) в сыворотке крови лиц, подвергшихся облучению в малой дозе радиации, с вычислением коэффициента корреляции Пирсона.

Велико значение симпатoadреналовой системы (САС) как части единого нейроэндокринного регулирующего комплекса в реакции организма на воздействие ионизирующей радиации [1]. Рядом авторов у лиц, имеющих в анамнезе контакт с источниками ионизирующего излучения, в том числе и у ликвидаторов, выявлен гормональный дисбаланс. Однако, литературные данные по этой проблеме противоречивы [2-5]. При любых сдвигах окружающей и внутренней среды организма происходят изменения в функционировании САС, направленные на обеспечение наилучшего приспособления организма к новым условиям или на восстановление состояния внутренней среды организма [6].

Как известно, при выявлении взаимосвязи между биохимическими показателями очень информативным является корреляционный анализ. Он позволяет не просто сравнивать средние значения тех или иных биохимических показателей в зависимости от изменения воздействующих факторов, но и проанализировать характеристику силы связи между ними.

Для этого нами был проведен скрининговый корреляционный анализ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве контрольной группы было обследовано 46 здоровых мужчин – кадровых работников МВД г. Алматы в возрасте 20-51 года, не подвергавшихся облучению. Нами были обследованы участники ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, работавшие в период с 1986 по 1989 гг. Исследования проводились в 1998-2001 гг., то есть в условиях отдаленных последствий, когда с момента аварии прошло более 10 лет. Ликвидаторы ежегодно проходили обследование и лечение в Республиканском Казахстанском госпитале инвалидов отечественной войны (РКГИОВ), где мы имели возможность исследовать биохимические показатели ВНС. Условия выполнения исследований отдаленных радиационных эффектов у ликвидаторов последствий аварии исключали их существенную зависимость от причин нерадиационной природы. То есть, ликвидаторы до участия в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС

являлись здоровыми лицами из числа военных или мобилизованных по линии военкоматов и предварительно прошедших медицинские осмотры, никогда прежде не имевших контакта с ионизирующим излучением. Для оценки характера отдаленных последствий у ликвидаторов мы опирались на имеющиеся у обследованных корректные медико-дозиметрические данные. Поглощенную дозу внешнего облучения дозиметристы в зоне Чернобыля измеряли с помощью дозиметров ДКП-50А, ДП-5А, РР-22, а также с помощью пуговиц-накопителей. Результаты измерений отражены в имеющихся у них удостоверениях (справках). Дополнительная и более точная медико-дозиметрическая информация о дозах внешнего облучения ликвидаторов содержится в Киевском институте экологии (ИНЭКО). Дозу внутреннего облучения ликвидаторов определяли методом гамма-спектрометрии. С помощью специализированного программно-аппаратного комплекса спектрометрии внутреннего излучения человека (СВИЧ-МЗ “Скриннер”) у обследованных определяли содержание в организме радионуклидов ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{40}K . У обследуемых лиц ^{134}Cs отсутствовал, поэтому нами были проанализированы и подсчитаны средние уровни ^{137}Cs и ^{40}K . Оценив индивидуальные и средние дозы внутреннего облучения участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, мы могли убедиться, что они находятся в диапазоне малых доз.

Для оценки функционального состояния симпатического отдела нервной системы определяли содержание адреналина (А) и норадреналина (НА) в суточной моче. Мочу собирали в химически чистую посуду, содержащую 20 мл 2Н серной кислоты. Собранные порции хранили в холодильнике при температуре $+(3-4)^\circ$. Для количественной оценки отдельных фракций катехоламинов (А, НА) в моче обследуемых пациентов использовался чувствительный и специфический триоксииндоловый метод [1]. Принцип метода заключается в том, что КА после очистки и предварительного разделения на хроматографической колонке с окисью алюминия, подвергаются хиноидному окислению раствором иода

или феррицианида, что приводит к образованию адренохромов. Последние путем внутримолекулярного самовосстановления в щелочной среде превращаются в аминолутины – фосфоресцирующие продукты с различными спектральными характеристиками. Дифференцирование отдельных фракций катехоламинов достигается окислением элюата при различных значениях pH (для А – 4,2, для НА – 7,4) и подбором специфических для каждой фракции длин волн возбуждающего и эмиссионного света при спектрофлуориметрии.

Концентрацию всех фракций катехоламинов (КА) в исследуемом биологическом материале рассчитывали путем сравнения интенсивности флюоресценции опытных проб и соответствующих стандартных образцов, проведенных через все этапы методики. Замеры интенсивности флюоресценции опытных и эталонных растворов производили на спектрофлуориметре MPF-4 “Хитачи”. Гормонально-медиаторная диссоциация [7] определялась как отношение НА/А, характеризующаяся соотношением активности медиаторного (симпатического) и гормонального (адреналового) звеньев САС.

Определение уровня ацетилхолина (АХ) в цельной крови проводили гидроксиламиновым методом [8]. Принцип метода заключается в том, что ацетилхолин, вступая в реакцию со щелочным раствором гидроксиламинхлорида, образует ацетгидроксимовую кислоту, которая при pH $1,2 \pm 0,2$ с хлорным железом дает окраску пурпурно-коричневого цвета, интенсивность которой зависит от концентрации ацетилхолина. Учет результатов опытных и контрольных проб производили немедленно после добавления всех реактивов на спектрофотометре СФ-4.

Определение активности холинэстеразы (ХЭ) производили в сыворотке крови унифицированным колориметрическим методом. Принцип метода заключается в том, что под действием ХЭ происходит гидролиз ацетилхолинхлорида с выделением уксусной кислоты и холина. Уксусная кислота подкисляет реакционную среду, что устанавливают с помощью индикатора по изменению цвета буферного раствора. Кроме того, был рассчитан холинэстеразный индекс (ХИ), представляющий собой отношение ХЭ/АХ.

Результаты клинико-лабораторных исследований подвергались статистической обработке на персональной ЭВМ с помощью программы “Statgraph” [9]. Сравнение между средними значениями двух групп проводилось по t – критерию Стьюдента. Связи между различными признаками изучались вычислением коэффициента корреляции Пирсона, который используют для описания линейной связи количественных признаков. Коэффициент корреляции может принимать значения от -1 до $+1$. Знак коэффициента корреляции показывает направления связи (прямая или обратная), а абсолютная величина – тесноту связи. Чем ближе абсолютное значение

коэффициента корреляции к 1, тем сильнее зависимость между показателями.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основании проведенных исследований нами получено довольно большое количество коэффициентов корреляции, представляющие собой квадратные матрицы, в столбцах которых вписаны коэффициенты корреляции и их чувствительности. При рассмотрении показателей эндокринной системы в подгруппах, выделенных в зависимости от дозообразующих факторов, выяснилось, что во всех группах встречаются высокие и низкие значения. В связи с этим, несмотря на большой объем проделанной статистической работы, не было обнаружено достоверной линейной корреляционной зависимости между показателями эндокринной системы. Мы полагаем, что при выборе людей на работу в радиационно зараженной зоне ЧАЭС у ликвидаторов был различный исходный уровень напряженности эндокринной системы. По всей вероятности, резервные адаптационные возможности организма сложно поддаются прогнозированию и зависят от физических и психологических особенностей личности, обусловленных как генетическими, так и средовыми факторами.

Чтобы более точно выявить влияние облучения в малых дозах на организм человека участники при обследовании были разделены на группы в зависимости от значений их биохимических данных: содержание А, НА, АХ, активность ХЭ, величина индексов НА/А и ХИ.

При изучении показателей САС у казахстанцев, участвующих в ликвидации аварии на ЧАЭС, несмотря на то, что биологический материал для измерения А собирался у всех в одинаковых условиях, уровень А колебался в очень широких пределах – от 13,3 до 193,0 нмоль/сут. Обращает на себя внимание тот факт, что основная тенденция реагирования симпатической нервной системы у ликвидаторов в нашем исследовании направлена на повышение уровня А и НА. Это согласуется с многочисленными литературными данными, в которых гиперкатехоламинемия расценивается как адаптационная реакция организма, направленная на ускорение всего метаболизма, усиление поглощения кислорода и ускорение окислительных процессов в митохондриях с одновременным усилением поступления в дыхательную цепь восстановленных эквивалентов с NADH и с NADPH [10]. Чтобы изучить роль адреналина в реакциях организма на повреждающее действие радиации все 82 обследованных ликвидатора были разбиты на 4 группы в зависимости от уровня А в моче. В первую группу вошло 19 ликвидаторов, которые имели нормальный уровень А ($13,3-42,5$ нмоль/сут). Во вторую – 25 человек с уровнем А, равным $44,6-58,4$ нмоль/сут, в третью (22 чел) и четвертую (16 чел) с соответствующим уровнем $60,0-76,8$ и $80,8-193,0$ нмоль/сут. В

каждой группе были выведены средние значения биохимических показателей нейроэндокринной системы (таблица 1).

Было выявлено, что даже в группе с нормальным уровнем А существуют значительные изменения со стороны эндокринной системы. Так уровень АХ при нормальных значениях А значительно снижен ($6,1 \pm 1,2$ мкг/0,1мл) по сравнению с контрольной группой ($10,1 \pm 0,7$ мкг/0,1мл) ($P_{1-к} < 0,01$). Снижение содержания АХ возможно необходимо для понижения уровня скорости проведения нервного импульса, т.к. известно, что АХ играет важную роль в процессах жизнедеятельности: принимает участие в передаче нервного возбуждения в ЦНС, в вегетативных узлах, в окончаниях парасимпатических и двигательных нервов.

Повышение уровня А совпадает с относительным увеличением количества АХ, хотя абсолютные значения концентраций АХ повышаясь и достигая максимума в 3-й группе, не превышают значений контрольной группы. Изучение изменений активно-

сти ХЭ у ликвидаторов выявило достоверное повышение её активности ($42,2 \pm 3,7$ мкг АХ/0,1/1 мин) в группе с нормальным уровнем А по сравнению с контролем ($33,0 \pm 1,2$ мкг АХ/0,1/1 мин). Однако по мере повышения содержания А (а увеличение количества катехоламинов является универсальной реакцией организма на стресс и повреждение), холинэстеразная активность снижается. Особенно отчетливо это видно в 4-й группе, в которой активность ХЭ достоверно ниже по сравнению с 1-й ($30,9 \pm 3,4$ против $42,2 \pm 3,7$ мкг АХ/0,1/1 мин, $p < 0,05$). При этом в 4-й группе отмечены более высокие значения концентраций А и АХ. Снижение активности холинэстеразы в крови и тканях является одним из наиболее постоянных последствий облучения, что может нарушать функции нервной системы, а также модифицировать чувствительность организма к лекарственным веществам, токсинам и антидотам [11].

В каждой группе были просчитаны коэффициенты линейной корреляции между биохимическими показателями нейроэндокринной системы (таблица 2).

Таблица 1. Биохимические показатели ВНС при различных уровнях адреналина

Адреналин (n)	АХ M+m	ХЭ M+m	ХИ M+m	НА M+m	НА/А M+m
Контроль (46) 33,0 ± 3,0	10,1 ± 0,7	33,0 ± 1,2	3,3 ± 1,0	79,2 ± 16,1	2,4 ± 0,7
1 группа (19) 13,3-42,5	6,1 ± 1,2 $P_{1-к} < 0,01$	42,2 ± 3,7 $P_{1-к} < 0,05$	10,8 ± 1,9 $P_{1-к} < 0,001$	201,6 ± 14,7 $P_{1-к} < 0,001$	6,5 ± 0,8 $P_{1-к} < 0,001$
2 группа (25) 44,6-58,4	8,7 ± 1,6	33,6 ± 3,3	6,2 ± 1,0 $P_{1-2} < 0,05$ $P_{2-к} < 0,05$	289,4 ± 30,6 $P_{1-2} < 0,05$ $P_{2-к} < 0,001$	5,8 ± 0,6 $P_{2-к} < 0,001$
3 группа (22) 60,0-76,8	10,9 ± 1,5 $P_{1-3} < 0,05$	39,3 ± 3,4	5,2 ± 0,8 $P_{1-3} < 0,001$	269,1 ± 20,2 $P_{1-3} < 0,05$ $P_{3-к} < 0,001$	4,0 ± 0,3 $P_{1-3} < 0,01$ $P_{2-3} < 0,05$ $P_{3-к} < 0,05$
4 группа (16) 80,8-193,0	9,49 ± 1,1 $P_{1-4} < 0,05$	30,9 ± 3,43 $P_{1-4} < 0,05$	4,16 ± 0,8 $P_{1-4} < 0,01$	363,4 ± 32,6 $P_{1-4} < 0,001$ $P_{4-к} < 0,001$	3,3 ± 0,3 $P_{1-4} < 0,05$ $P_{2-4} < 0,001$

Таблица 2. Коэффициенты корреляции ($r \pm S_r$) между медиаторами СНС и ПНС при различных уровнях адреналина

Сравниваемые показатели	Уровень адреналина			
	13,3-42,5 n=24	44,6-58,4 n=25	60-76,8 n=22	80,8-193 n=22
АХ и НА	0,35 ± 0,05	-0,22 ± 0,04	0,20 ± 0,05	0,20 ± 0,2
АХ и НА/А	0,25 ± 0,05	-0,20 ± 0,04	0,26 ± 0,05	0,24 ± 0,2
ХЭ и НА	0,27 ± 0,05	0,29 ± 0,04	0,24 ± 0,05	0,82 ± 0,12*
ХЭ и НА/А	0,37 ± 0,05	0,29 ± 0,04	0,23 ± 0,05	0,81 ± 0,12*
ХИ и НА	0,04 ± 0,06	0,02 ± 0,04	0,13 ± 0,05	-0,02 ± 0,2
ХИ и НА/А	0,10 ± 0,06	0,03 ± 0,04	0,04 ± 0,05	-0,03 ± 0,2

Примечание: * - достоверное различие коэффициентов корреляции между 2 и 5-ой подгруппами ($p < 0,05$)

Так, при высоких концентрациях А (4-я группа) была выявлена достоверная линейная связь между ХЭ и НА ($r = 0,82 \pm 0,12$). Для этой группы активность ХЭ наименьшая, а уровень НА наибольший по сравнению с другими группами лиц, когда после ацетилхолиновой стимуляции выброса адреналина увеличилась ее концентрация в плазме крови. Высокая положительная линейная связь между НА и ХЭ говорит о важности одновременного повышения

этих веществ. Очень высокий уровень норадреналина как субстрата (прекурсора) А необходим для восстановления адреналинового депо в мозговом веществе надпочечников, а активизация ХЭ необходима для предотвращения дальнейшего выброса А, иначе его повышение в плазме крови становится опасным для организма. Отрицательная обратная связь является универсальным механизмом поддержания постоянства систем живых организмов. При высоких

уровнях адреналина столь явная потребность организма в одновременном увеличении активности ХЭ и количества НА свидетельствует об исчерпании других компенсаторных механизмов и о высокой опасности срыва адаптационной системы. Это означает, что у людей в этой группе очень низкие адаптационные возможности на фоне высокого уровня А. Выявление среди ликвидаторов людей с подобным нейроэндокринным статусом совпадает с литературными данными, указывающими на признаки хронической усталости у лиц, участвовавших в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС [12-14].

Таким образом, увеличение уровня НА в моче и активности ХЭ в крови является естественным механизмом регуляции и восстановления эндокринного гомеостаза в ответ на повреждающее действие радиации. У ликвидаторов с высоким уровнем А (80,8-193,0 нмоль/сут) резко снижены восстановительные ресурсы организма, что проявляется в снижении возможности выбора адаптационных механизмов и жесткой детерминированности взаимодействия НА и ХЭ ($r=0,82\pm 0,12$).

В соответствии с различной концентрацией НА нами было выделено 4 подгруппы. В группе с нормальным уровнем НА границы были определены в пределах 54,1-154,5 нмоль/сут., а значения в границах 162,2-231,8 нмоль/сут. были приняты как пограничные. Высокие значения этого биогенного амина от 243,3 до 351,3 нмоль/сут были определены в 3-й группе, а в 4-ю группу вошли результаты, попадающие в интервал 351,5-927,6 нмоль/сут. Нами было выявлено, что влияние НА на другие физиологические показатели нейроэндокринной системы неоднозначны и зависят от его концентрации. В группах с более высоким значением НА наблюдаются более высокие концентрации А, при этом уровень НА возрастает в большей степени, что отчетливо видно по индексу симпатoadреналовой системы (НА/А), который достоверно повышается от 2,4 до 6,8. Хорошо известно, что А и НА осуществляют различные функции в общей неспецифической адаптационной реакции организма. Сдвиги в содержании НА чаще наступают при стрессовых воздействиях, диктующих необходимость гомеостатических и терморегуляторных изменений. Во всех подгруппах нет значимых коэффициентов корреляции, что свидетельствует об отсутствии жестко детерминированной зависимости показателей симпатической и парасимпатической нервных систем от уровня НА, согласующееся с литературными данными о различных ролях А и НА. [15,16,17].

Таким образом, 8% всех обследованных ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС имеют повышенный уровень НА по прошествии более чем 10 лет. У людей отсутствуют жестко детерминированные корреляционные взаимосвязи между симпатической и парасимпатической нервными системами в зависимости от концентрации НА.

Если показатели САС у ликвидаторов имели нормальные и/или повышенные значения, то количество АХ имеет тенденцию к снижению. По литературным данным после облучения малыми дозами радиации концентрация АХ в тканях увеличивается за счет перехода внутриклеточного АХ из связанного состояния в свободное. Исследователи предполагают, что выход из ткани АХ стимулирует высвобождение биогенных аминов, которые действуют как перехватчики радикалов или как доноры электронов, тем самым, снижая степень лучевого поражения [12,18]. В нашем случае по прошествии более чем 10 лет после аварии на ЧАЭС, у 52% ликвидаторов развивается недостаточность количества АХ, в связи с чем, мы выделили несколько степеней снижения уровня АХ.

Полученные результаты показали, что наименьшей концентрации АХ соответствуют наименьшие значения А по мере увеличения содержания АХ уровень А повышается, причем он во всех случаях достоверно выше контрольных показателей. Значения НА достоверно не отличаются между группами с разной концентрацией АХ, хотя он во всех случаях достоверно выше контрольного уровня. Интересно ведет себя индекс САС. Так, при выраженном снижении значений АХ значительно увеличивается доля НА в этом индексе. В группах с низким уровнем АХ относительно низкое содержание А может быть связанным с недостаточно выраженной стимуляцией выброса А из депо, а также при снижении его концентрации в самом депо.

Интересно, что в группах с низким уровнем АХ наблюдается максимальная активность ХЭ. Возможно, активная работа этого фермента обуславливает низкий уровень АХ. При этом ХИ очень высок ($17,6 \pm 1,7$) по сравнению с контрольной группой ($3,3 \pm 0,7$). Для выявления более тонких закономерностей САС и ХЭ систем нами были рассчитаны коэффициенты корреляции в зависимости от уровня АХ (таблица 3). При снижении количества АХ до 3,1-4,0 взаимосвязь между содержанием НА и активностью ХЭ возрастает ($r=0,64\pm 0,08$). Тесная положительная корреляционная связь указывает на то, что повышение одного физиологического показателя происходит одновременно с увеличением другого и наоборот при снижении одного физиологического показателя снижается другой.

Таким образом, можно предположить, что увеличение экскреции НА происходит одновременно с увеличением активности ХЭ в крови. Однако при дальнейшем снижении активности АХ (2,42,8 мкг/0,1мл) сила взаимосвязи концентрации НА с активностью ХЭ в крови снижается, однако, при этом увеличивается связь уровня А с активностью ХЭ ($r=0,70\pm 0,08$). В этой подгруппе содержание АХ снижается благодаря работе фермента ХЭ.

**КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ УРОВНЕМ КАТЕХОЛАМИНОВ И ПОКАЗАТЕЛЯМИ
ХОЛИНЭСТЕРАЗНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МАЛЫХ ДОЗ РАДИАЦИИ У ЛИКВИДАТОРОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС**

Таблица 3. Коэффициенты корреляции ($r \pm S_r$) между медиаторами СНС и ПНС при различных уровнях АХ

Сравниваемые показатели	Концентрация АХ				
	2,4-2,8 n=11	3,18-4,0 n=11	4,1-7,0 n=21	7,1-12,9 n=20	13,1-31,0 n=19
ХЭ и А	0,70±0,08	0,30±0,10	0,11±0,05	0,06±0,05	-0,05±0,06*
ХЭ и НА	0,34±0,11	0,64±0,08	0,05±0,05	0,06±0,05	0,05±0,06
ХЭ и НА/А	0,14±0,11	0,56±0,08	0,06±0,05	0,18±0,05	0,04±0,06
ХИ и А	0,69±0,08	0,30±0,10	0,17±0,05	0,08±0,05	0,11±0,06
ХИ и НА	0,37±0,10	0,67±0,07	0,09±0,05	0,03±0,05	0,06±0,06
ХИ и НА/А	0,15±0,11	0,59±0,08	0,02±0,05	0,18±0,05	-0,04±0,06

Примечание: * - достоверное различие коэффициентов корреляции между ХЭ и А при значениях АХ 2,4-2,8 и 13,1-31,0 ($p < 0,05$).

Уровень А уже снизился и перестал стимулировать активность ХЭ, которая тоже начала снижаться. Наличие жестких корреляционных связей всегда указывает на жесткость детерминированности биохимических процессов, что говорит об истощении компенсаторных механизмов организма. При анализе физиологических взаимоотношений САС и ХЭС в зависимости от концентрации АХ было выявлено, что у 27% обследованных ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС наблюдается состояние истощения адаптационных механизмов, поддерживающих уровень АХ.

Поскольку нами было показано, что очень высокие концентрации НА и А сочетаются с низким уровнем АХ, то очень интересным является выяснение причины снижения его количества. Нами было выделено четыре подгруппы с различной активностью фермента ХЭ (таблица 4). Оказалось, что содержание АХ и активность ХЭ не зависят напрямую от концентрации А и НА, поскольку нет ни одного значимого коэффициента корреляции между кон-

центрацией АХ и А и между содержанием АХ и НА. Таким образом, в механизме снижения уровня АХ при радиационном стрессе первичным является повышение активности ХЭ, вызванное медиаторами САС. При этом, особенно очевидным является то, что при повышении активности ХЭ возрастает корреляционная взаимосвязь между количеством А и НА ($r=0,71 \pm 0,04$; $p < 0,05$).

Нами было установлено, что повышенный уровень АХ стимулирует содержание НА и А, однако при высоких значениях активности холинэстеразы сама ХЭ начинает по механизму обратной отрицательной связи снижать сначала количество А, а в дальнейшем и концентрацию НА, т.е. срабатывает нормальный физиологический механизм адаптации (таблица 5). Выявленный регуляторный процесс абсолютно верен, если учесть, что ХЭ сначала снижает уровень АХ, который, в свою очередь, прекращает стимуляцию выброса А из депо. Таким образом, КА снижают концентрацию АХ через стимуляцию выброса ХЭ.

Таблица 4. Биохимические показатели ВНС при различных уровнях активности холинэстеразы

Холинэстераза (n)	АХ M±m	ХИ M±m	А M±m	НА M±m	НА/А M±m
Контроль (46)	10,1 ± 0,7	3,3 ± 0,7	33,0 ± 2,9	79,2 ± 16,1	2,4 ± 0,7
1 группа (26) 7,1-25,5	9,0 ± 0,8	2,7 ± 0,3	67,8 ± 6,9	283,2 ± 30,2	5,2 ± 0,8
2 группа (22) 27,1- 40,9	10,0 ± 1,0	4,9 ± 0,6 $P_{1-2} < 0,001$	66,4 ± 6,8	326,0 ± 41,0	5,8 ± 0,9
3 группа (18) 41,4-53,8	7,4 ± 1,0	9,52 ± 1,1 $P_{1-3} < 0,001$ $P_{2-3} < 0,001$	58,7 ± 5,9	262,4 ± 25,4	4,9 ± 0,5
4 группа (16) 54,0-70,1	8,9 ± 1,6	12,4 ± 1,6 $P_{1-4} < 0,001$ $P_{2-4} < 0,001$	52,3 ± 4,4	241,9 ± 28,3	4,8 ± 0,4

Таблица 5. Коэффициенты корреляции ($r \pm S_r$) между медиаторами СНС и ПНС при различной активности ХЭ

Сравниваемые показатели	Активность ХЭ			
	7,1-25,5 n=26	27,1-40,9 n=22	41,4-53,8 n=18	54,0-70,1 n=16
АХ и А	-0,08±0,04	0,27±0,05	0,27±0,06	0,17±0,04
АХ и НА	-0,22±0,04	-0,08±0,05	-0,07±0,06	0,31±0,06
АХ и НА/А	-0,13±0,04	-0,36±0,04	-0,42±0,04	0,14±0,07
ХИ и А	0,16±0,04	-0,36±0,05	-0,52±0,05*	-0,50±0,06
ХИ и НА	0,21±0,04	0,13±0,05	-0,20±0,06	-0,38±0,06*
ХИ и НА/А	0,03±0,04	0,38±0,04	0,44±0,05	0,08±0,07
А и НА	0,12±0,04	0,39±0,05	0,71±0,05*	0,58±0,07

Примечание: * - достоверное различие коэффициентов корреляции между ХИ и А и между А и НА при значениях ХЭ 7,1-25,5 и 41,4-53,8 ($p < 0,05$), а также между ХИ и НА при значениях ХЭ 7,1-25,5 и 54,0-70,1.

В здоровом организме адаптационные механизмы легко и своевременно компенсируют происходящие нейрогуморальные изменения. При использовании корреляционного анализа для выявления взаимосвязей между показателями здоровых людей нам не удалось обнаружить достоверных связей коэффициентов корреляции. При изучении результатов корреляционного анализа между физиологическими показателями САС и ХЭС у ликвидаторов нам удалось описать состояние эндокринной системы в их организме вслед-

ствие аварии на ЧАЭС по прошествии 10-14 лет после облучения. Предложенная упрощенная схема взаимодействия НА, А и ХЭ, АХ в организме полностью соответствует имеющимся в литературе данным, а сам факт выявления этих закономерностей свидетельствует о том, что состояние нейроэндокринной системы у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС является следствием снижения восстановительных ресурсов организма, проявляющиеся в жесткой детерминированности взаимодействия между НА, А и ХЭ, АХ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матлина Э.Ш., Зутлер А.С., Лукичева Т.И. Значение функциональных проб для оценки состояния симпатoadреналовой системы// Методы исследования некоторых систем гуморальной регуляции. –М.,1967. –С.97-124.
2. Литвинова Т.Н. Особенности формирования и течения нейроциркуляторной дистонии у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС// Дис.кан.мед.наук.–Ростов-на-Дону, 1995.–207с.
3. Владимиров Ю.А. Биологические мембраны и незапрограммированная гибель клетки// Соросовский образовательный журн.–ISSER.–2000.–Т.6. –№9 (58).–С. 2-9.
4. Гурин В.Н. и др. Постлучевые нарушения нейронального захвата медиаторов в центрах регуляции вегетативных функций и их коррекция// Тезисы докладов на 1 Всесоюзном радиобиологическом съезде. –Пушино, 1989. –Т.4.–С. 868-869.
5. Мусагалиева Г.М., Утешев А.Б. Катехоламины и радиация// Алма-Ата. –Казахстан, 1988.–119с.
6. Меньшиков В.В. Биогенные амины в клинике внутренних болезней// Труды Всесоюз. науч. конф. по проблеме биогенных аминов. –М.:Медицина, 1970. –С. 5-13.
7. Справочник «Медицинские лабораторные технологии»// Под ред.А.И.Карпищенко.–Санкт-Петербург: Интермедика, 1999.–Т.2.–С. 135-136.
8. Шуцкий И.В. Метод определения ацетилхолина в малых количествах крови// Лабораторное дело.–1967.–№7. –С. 407-408.
9. Гланс С. Медико-биологическая статистика// Пер. с англ. –М.:Практика, 1998.–459с.
10. Рябченко Н.И. и др. Использование модификаторов продукции оксида азота для защиты организма от лучевых повреждений и стрессовых воздействий// Материалы 4-го Съезда по радиационным исследованиям (Москва, 20-24 ноября 2001).–М., 2001. –С. 114-116.
11. Красильников И.И., Чигарева Н.Г. К проблеме фармакологической коррекции биохимических нарушений в облученном организме// Мат. конф. "Медицинские аспекты радиационной и химической безопасности" (11-12 октября 2001).–СПб., 2001.–С. 425-426.
12. Штеффер К. Радиационная безопасность// М.:Атомиздат, 1972.–245с.
13. Мороз Б.Б., Дешевой Ю.Б. Роль эмоционального стресса в развитии соматических нарушений у ликвидаторов аварии на Чернобыльской атомной станции, облученных в диапазоне малых доз// Радиационная биология. Радиоэкология.–1999.–Т.39.–№1.–С. 97-105.
14. Коваленко А.Н. Функциональная и типологическая характеристика некоторых регуляторных систем у участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС с синдромом нейроциркуляторной дистонии// Тез. докл. «Итоги медицинских последствий аварии на ЧАЭС». –Киев: Мин. здр. Белорусии, 1991.–С. 104-105.
15. Визир А.Д. Экскреция адреналина и норадреналина при начальных стадиях гипертонической болезни// Вопросы теор. и клин. медицины:Сб.научн. тр.–М., 1976.–С. 95-98.
16. Меерсон Ф.З. Адаптация, стресс и профилактика// М., 1981.–327с.
17. Лужецкая И.В. Клинико-биохимические особенности артериальной гипертонии у лиц, принимающих участие в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС// Дис. канд. мед. наук.–Ростов-на-Дону, 2000.–164с.
18. Тонкоглас В.П. Роль холинергической системы в развитии стрессовых реакций// Нервные и эндокринные механизмы стресса: Сб.науч.тр. –Кишнев, 1980. –С. 185-193.

ЧАЭС ЛИКВИДАТОРЛАРДЫҢ РАДИАЦИЯСЫНЫҢ АЗ ДОЗАСЫНЫҢ ӘСЕРІ БОЙЫНША ХОЛИНЭСТЕРАЗДЫ ЖҮЙЕСІНІҢ КӨРСЕТКІШІ МЕН КАТЕХОЛАМИНДЕРДІҢ АРАСЫНДАҒЫ ДЕҢГЕЙДІҢ КОРРЕЛЯЦИЯЛЫҚ ӨЗАРА БАЙЛАНЫСЫ

Макашев Ж.К., Журнист А.Г., Утешев А.Б., Абылаев Ж.А.

АМДЖИ клиникалық зертханалық диагностика кафедрасы, Алматы, Қазақстан

ЧАЭС ликвидаторлардың тәулік зәрінде НА/А қатынасы сондай-ақ адреналин (А) және норадреналин (НА) концентрациясын функционалдық жағдайда бағалау үшін симпатoadреналдық жүйесі зерттелді. Аз дозасында

сәулену алынған ликвидаторлардың қанының сарысуында холинэстеразы (ХЕ) белсенділігі мен ацетилхолин (АХ) құрамы қатарлас анықталды, Пирсон корреляциясы коэффициентінің есептеуімен.

**CORRELATION INTERRELATION BETWEEN LEVEL OF CATECHOLAMINES
AND INDICES OF CHOLINESTERASE SYSTEM AT MINOR RADIATION DOSE
INFLUENCE ON LIQUIDATORS OF THE CHERNOBYL A.P.P.**

Zh.K. Makashev, A.G. Zhurnist, A.B. uteshev, ZH.A. Abylaev

Department of clinical laboratory diagnostics ASPhATI, Almaty, Kazakhstan

For assessment of functional condition of sympathoadrenal system adrenalin (A) and noradrenaline (NA) concentrations were investigated as well as NA/A ratio in day's urine of ChAPP liquidators. Concurrently, it was determined the contents of acetylcholine (AC) and activity of cholinesterase (CE) in the blood serum of persons exposed to minor radiation dose with calculation of correlation Pearson coefficient.

УДК 577.17:539.12.04

ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИМПАТОАДРЕНАЛОВОЙ И ХОЛИНЭСТЕРАЗНОЙ СИСТЕМ У ЛИКВИДАТОРОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗООБРАЗУЮЩИХ ФАКТОРОВ**Макашев Ж.К., Журнист А.Г., Утешев А.Б., Абылаев Ж.А.***Алматинский государственный институт усовершенствования врачей, Алматы, Казахстан*

Представлены результаты исследований показателей симпатoadреналовой (САС) и холинэстеразной систем (ХЭС) у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС в зависимости от возраста, года участия, специальности и дозовой нагрузки.

Известно, что адаптационно-трофическая функция вегетативной нервной системы (ВНС) осуществляется симпатическим и парасимпатическим отделами [1]. Следовательно, одним из информативных показателей физиологического механизма адаптации и дезадаптации организма к воздействию радиации является состояние симпатoadреналовой системы (САС) и холинэстеразной системы (ХЭС). Наиболее объективным критерием для количественной оценки функционального состояния этих систем является содержание адреналина (А), норадреналина (НА), ацетилхолина (АХ) и активность холинэстеразы (ХЭ) в физиологических средах организма. Однако, в доступной нам литературе сведения о функциональном состоянии этих систем в отдаленном периоде после воздействия малых доз облучения весьма отрывочны и противоречивы [2]. Отсутствуют также данные о взаимосвязи симпатoadреналовой и холинэстеразной систем после воздействия на организм человека малых доз ионизирующего излучения.

Целью настоящей работы явилось выявление зависимости физиологических показателей вегетативной нервной системы от дозooбразующих факторов у ликвидаторов аварии на ЧАЭС в отдаленные сроки после воздействия малых доз радиации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве контрольной группы обследовано 46 здоровых мужчин – кадровых работников МВД г Алматы в возрасте 20-51 год, не подвергшихся облучению. Нами были обследованы участники ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, работавшие в период с 1986 по 1989 гг. Исследования проводились в 1998-2001 гг., то есть в условиях отдаленных последствий, когда с момента аварии прошло более 10 лет. Ликвидаторы ежегодно проходили обследование и лечение в Республиканском Казахском госпитале инвалидов отечественной войны (РКГИОВ), где мы имели возможность исследовать биохимические показатели вегетативной нервной системы (ВНС). То есть, ликвидаторы до участия в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС являлись здоровыми лицами из числа военных или мобилизованных по линии военкоматов, предварительно прошедших медицинские осмотры и никогда прежде не имевших контакта с ионизирующим излучением. Для оценки характера отдаленных последствий у

обследуемых ликвидаторов мы опирались на имеющиеся у обследуемых корректные медико-дозиметрические данные. Поглощенную дозу внешнего облучения дозиметристы в зоне Чернобыля измеряли с помощью дозиметров ДКП-50А, ДП-5А, РР-22, а также с помощью пуговиц-накопителей. Результаты измерений отражены в имеющихся у них удостоверениях (справках). Дополнительная и более точная медико-дозиметрическая информация о дозах внешнего облучения ликвидаторов содержится в Киевском институте экологии (ИНЭКО). Дозу внутреннего облучения ликвидаторов определяли методом γ -спектрометрии. С помощью специализированного программно-аппаратного комплекса спектрометрии внутреннего излучения человека (СВИЧ-МЗ “Скриннер”) у обследованных лиц определяли содержание в организме радионуклидов ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{40}K . У обследуемых ликвидаторов ^{134}Cs отсутствовал. Нами были проанализированы полученные сведения и подсчитаны средние уровни ^{137}Cs и ^{40}K . Оценив индивидуальные и средние дозы внутреннего облучения у участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС мы могли убедиться, что они находятся в диапазоне малых доз.

Для оценки функционального состояния симпатического отдела нервной системы определяли содержание А и НА в суточной моче. Мочу собирали в химически чистую посуду, содержащую 20 мл 2Н серной кислоты. Собранные порции хранили в холодильнике при температуре $+(3-4)^\circ$. Для количественной оценки отдельных фракций катехоламинов (А, НА) в моче обследуемых пациентов использовался чувствительный и специфический триоксииндоловый метод [3]. Принцип метода заключается в том, что КА после очистки и предварительного разделения на хроматографической колонке с окисью алюминия, подвергаются хиноидному окислению раствором иода или феррицианида, что приводит к образованию адренохромов. Последние путем внутримолекулярного самовосстановления в щелочной среде превращаются в аминолутины – фосфоресцирующие продукты с различными спектральными характеристиками. Дифференцирование отдельных фракций катехоламинов достигается окислением элюата при различных значениях рН (для адреналина –

4,2, для норадреналина – 7,4) и подбором специфических для каждой фракции длин волн возбуждающего и эмиссионного света при спектрофлуориметрии.

Концентрацию всех фракций катехоламинов (КА) в исследуемом биологическом материале рассчитывали путем сравнения интенсивности флуоресценции опытных проб и соответствующих стандартных образцов, проведенных через все этапы методики. Замеры интенсивности флуоресценции опытных и эталонных растворов производили на спектрофлуориметре MPF-4 “Хитачи”. Медиаторно-гормональная диссоциация [4] определялась как отношение НА/А, характеризующаяся соотношением активности медиаторного (симпатического) и гормонального (адреналового) звеньев САС. Определение уровня АХ в цельной крови проводили гидроксиминовым методом [5]. Измерение результатов опытных и контрольных проб производили немедленно после добавления всех реактивов на спектрофотометре СФ-4а. Определение активности холинэстеразы производили в сыворотке крови унифицированным колориметрическим методом. Кроме того, был рассчитан холинэстеразный индекс (ХИ), представляющий собой отношение ХЭ/АХ.

Результаты клинико-лабораторных исследований подвергались статистической обработке на персональной ЭВМ с помощью программы “Statgraph” [6]. Сравнение между средними значениями двух групп проводилось по t-критерию Стьюдента. Связи между различными признаками изучались вычислением коэффициента корреляции Пирсона, который используют для описания линейной связи количественных признаков. Коэффициент корреляции может принимать значения от –1 до +1 и показывает направления связи (прямая или обратная), а абсолютная величина – тесноту связи. Чем ближе абсолютное значение коэффициента корреляции к 1, тем сильнее зависимость между показателями.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЯ

При оценке состояния эндокринной системы ликвидаторов ЧАЭС были выявлены выраженные изменения в уровне катехоламинов и медиаторов холинэстеразной системы, причем средние значения физиологических показателей САС во всех группах достоверно отличались от данных контрольной группы. Средние уровни А (67,4±4,7) и НА (275,6±20,4) в моче обследованных ликвидаторов достоверно превышали количество этих показателей в контрольной группе (33,0±3,0 и 79,2±16,1 соответственно). В то же время, средние величины содержания АХ и активности ХЭ достоверно не отличались от цифровых показателей контрольной группы.

Однако среднее значение ХИ (7,5±1,5) у ликвидаторов имеет более высокие значения по сравнению с контрольной группой (3,3±1,0), что указывает на увеличение в холинэргическом звене роли гидролиза ацетилхолина и снижения эффектов парасимпатической нервной системы.

Нами не было выявлено различий в нарушениях в эндокринной системе у людей разных специальностей. Поскольку работы дезактиваторов, строителей, водителей и лиц с прочими специальностями являются различными по психо-эмоциональной окраске и физической нагрузке, уровень стрессообразующих факторов в период работы на ЧАЭС не оказался достоверно значимым фактором, отразившимся в картине биохимических нарушений САС и холинэстеразной системы в отдаленном периоде после облучения.

Наибольшее количество казахстанских добровольцев пришлось на первый 1986 год после аварии (37,5%), в последующие годы их количество убывает – 27,5% в 1987, 20% в 1988 и 15% в 1989 годах. Группа обследованных добровольцев состояла из людей разного возраста: 18–29 лет – 6%; 30–39 лет – 31%; 40–49 лет – 51%; 50–62 года – 12%. На протяжении с 1986 по 1989 гг третья возрастная группа (40–49 лет) была наиболее значимой и стабильной по количеству. Она составляла 40,0±6,3% в 1986 г и со временем количество людей этого возраста, участвовавших в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, стало преобладать и составило 79,2±8,3%. При этом большинство людей этого возраста работали в зоне 30 км от реактора и пребывали в Чернобыле в течение 3-х месяцев и более.

Нами были проведены исследования по влиянию возраста ликвидаторов, степени зараженности рабочей территории и продолжительности работы на состояние показателей САС и ХЭС ликвидаторов в отдаленные сроки после облучения.

Особенностью ВНС является повышение КА с возрастом. Наши исследования показали, что у всех ликвидаторов наблюдается постоянное и сильное возбуждение симпатического отдела ВНС, но достоверных различий между возрастными группами в изменении уровня КА не установлено, а значит выявленное увеличение количества А и НА не связано с возрастом ликвидаторов. Полученные нами результаты исследований ликвидаторов в зависимости от года участия в работах свидетельствуют о том, что экскреция КА у всех пациентов значительно повышена по сравнению с контрольными лицами (таблица 1).

**ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИМПАТОАДРЕНАЛОВОЙ И ХОЛИНЭСТЕРАЗНОЙ СИСТЕМ
У ЛИКВИДАТОРОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗООБРАЗУЮЩИХ ФАКТОРОВ**

Таблица 1. Изменение биохимических показателей ВНС в зависимости от года работы на ЧАЭС

Год работы на ЧАЭС	A M±m n	HA M±m n	HA/A	AX M±m n	XЭ M±m n	XИ
контроль	33,0±2,9 40	79,2±16,1 40	2,4	10,08±0,64 45	32,97±1,15 46	3,3
1 группа 1986	71,9±6,1 39 P _{1-к} < 0,001	281,9±22,2 39 P _{1-к} < 0,001	3,9	7,33±0,69 45 P _{1-к} < 0,01	36,76±2,48 47	5,0
2 группа 1987	65,2±6,8 27 P _{2-к} < 0,001	248,7±19,8 28 P _{2-к} < 0,001	3,8	8,81±0,89 36	36,32±2,76 36	4,1
3 группа 1988	60,3±5,0 23 P _{3-к} < 0,001	269,4±27,6 51 P _{3-к} < 0,001	4,5	8,41±0,84 30	34,82±3,14 30	4,1
4 группа 1989	64,4±9,8 17 P _{4-к} < 0,001	271,0±30,3 17 P _{4-к} < 0,001	4,2	10,96±1,82 18	32,82±3,67 18	3,0

Важно отметить тот факт, что самая высокая экскреция А и НА отмечается у лиц, принимавших участие в ликвидационных работах в 1986г. Коэффициент НА/А показывает, что у всех обследуемых активность медиаторного звена САС значительно превалирует над гормональным. Катехоламиновый индекс составил у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС 1988 г—4,5 и 1989 г—4,2, при норме 2,4.

Со стороны парасимпатической нервной системы наибольшие физиологические отклонения выявлены у лиц, работавших на ЧАЭС в 1986 г. Количество АХ у ликвидаторов 1986 г достоверно ниже нормы на 27%, а ХИ=5,0 против 3,3 в контроле. Однако наши исследования показали, что достоверных различий между изменениями показателей САС и ПНС в зависимости от года участия в ликвидационных работах не было установлено.

Показано, что ликвидаторы работали в разных территориальных зонах, с разным уровнем радиоактивного заражения. Естественно при катастрофах подобного типа, наиболее опасной является зона реактора и непосредственно территория ЧАЭС. Более высокому воздействию ионизирующего излучения (0,172±0,027Гр.) подверглись лица, работавшие сроком до 1 месяца в зоне реактора (84%), в 1986г (73%). Всего в эпицентре взрыва работало 38%, в 15 километровой зоне 18%, в 30 км – 44%. При этом продолжительность пребывания в зараженной территории не превышала 5 месяцев. Наибольшее число ликвидаторов последствий аварии (ЛПА) проработали 3 месяца и более (96 человек - 62%). Эта группа лиц подверглась более низким дозам облучения по сравнению с 1-й и 2-й группой. При этом 30% из данной группы работали в 1986г. и в зоне реактора - 26%.

Результаты физиологических исследований свидетельствуют о том, что чем большее время ликвидаторы работали на ЧАЭС, тем большие отклонения этих показателей более выражены. Так, экскреция А и НА самая высокая у лиц, проработавших до 1 месяца, и превышает контрольные данные в 3,1 и 4,1 раза соответственно. У ЛПА проработавших 3 и

более месяцев, выделение А самое низкое из всего контингента обследованных лиц, однако значительно выше, чем в контроле, составляя 190%. В то же время, экскреция НА у этой группы составляет 350% от контрольного уровня. Выявленная преимущественная активизация симпатического звена ВНС не имела достоверных связей с продолжительностью работы на ЧАЭС. Полученные изменения правильнее связывать не со сроком работы, а с дозовой нагрузкой, т.е. чем выше доза облучения, тем значительнонее отмечаются эти изменения.

Предшествующий анализ показал, что изменения физиологических маркеров ВНС в зависимости от профессии, возраста, года участия в ликвидационных работах не было установлено. Определённая взаимосвязь прослеживается между физиологическими показателями и сроком или зоной работы на ЧАЭС: чем ближе к эпицентру взрыва и чем меньший был срок работы (а это, в основном, работавшие в 1986 г на реакторе), тем большие отклонения изучаемых параметров выявлялись у ликвидаторов, у которых был зафиксирован больший уровень облучения.

У ликвидаторов, прошедших обследование, дозовая нагрузка колебалась от 0,002 до 0,48 Гр, что укладывается в понятие "малые дозы". Подавляющее большинство ликвидаторов (72%) получили дозу от 0,002 до 0,099 Гр. Лица этой группы в 52% случаев работали в 30-ти километровой зоне и в 69% - в течение 3-х и более месяцев. Ликвидаторы, получившие облучение 0,1-0,199 Гр, в 68% случаев работали в 1986 г, из них 54% работали на реакторе, больше половины проработали 3 и более месяцев. 13% ликвидаторов получили наибольшее облучение (0,2-0,48 Гр), большинство которых (75%) работали в 1986 г и 84% из них – в зоне реактора.

Изменения физиологических показателей у лиц данных групп в большинстве случаев достоверно отличались от контрольных величин и зависели от дозы облучения. Наиболее выраженные изменения установлены со стороны САС. Экскреция А и НА уже у ликвидаторов с минимальной дозой облучения превышает контрольные величины в 1,9 и 3,3

раза, а в 3-й группе - в 2,4 и 4,4 раза соответственно. Более того, коэффициенты корреляции (для А +0,98, для НА +0,89) свидетельствуют об очень высокой степени зависимости изменений количества КА от дозы облучения (таблица 2).

Соотношение НА/А говорит о том, что на фоне общего повышения активности САС, активность медиаторного звена значительно превышает активность гормонального. Достаточно четкие изменения выявлены и со стороны холинергических показателей. В отличие от КА, уровень АХ и активность ХЭ у лиц 1-й группы (с минимальной дозовой нагрузкой) незначительно отличаются от контрольных величин, но по мере увеличения дозы облучения количество АХ снижается, а активность ХЭ повышается и у лиц 3-й группы (с максимальной дозовой нагрузкой) достигают 55% и 129%, соответственно, по сравнению с контролем. О высокой степени зависимости холинергических показателей от уровня облучения говорят коэффициенты корреляции: -0,86 между дозой и количеством АХ и +0,99 между дозой и активностью ХЭ. Однако, несмотря на досто-

верные отличия от контроля, показатели ПНС укладываются в пределы нормы.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что изменения медиаторов ВНС, выявленные нами в результате обследования ликвидаторов, обусловлены, прежде всего, уровнем дозы радиации, полученной ими в ходе выполнения работ при ликвидации последствий аварии на ЧАЭС.

Ликвидаторы всех специальностей на ЧАЭС были в одинаковой степени подвержены повреждающему действию малых доз радиации, проявляющееся в статистически достоверном увеличении концентрации А, НА, а также индексов САС и ХЭС. Взаимосвязь показателей САС и ПНС в зависимости от года участия в ликвидационных работах не была установлена. Экскреция А и НА очень высокая у лиц 1-й группы сроком работы до 1 месяца и превышает контрольные данные в 3,1 и 4,1 раза соответственно. С увеличением дозовой нагрузки экскреция А и НА повышается в 2,1 и 3,4 раза в зоне реактора. На фоне общего повышения активности САС соотношение НА/А свидетельствует о превышении медиаторного звена над гормональным.

Таблица 2. Изменение биохимических показателей ВНС ликвидаторов в зависимости от дозы облучения

№ группы Доза облучения, Гр	А M±m (n)	НА M±m (n)	НА/А	АХ M±m (n)	ХЭ M±m (n)	ХИ
контроль	33,0±2,9 40	79,2±16,1 40	2,4	10,08±0,64 45	32,97±1,15 46	3,3
1 группа 0,046±0,003 (0,001-0,099) n=107	63,5±3,5 P _{1-к} < 0,001	258,9±13,6 P _{1-к} < 0,001	4,1	8,57±0,58 P ₁₋₂ < 0,05 P ₁₋₃ < 0,02	35,96±1,76 P ₁₋₂ < 0,05	4,2
2 группа 0,149±0,008 (0,1-0,199) n=22	72,8±8,1 P _{2-к} < 0,001	259,5±22,8 P _{2-к} < 0,001	3,6	6,21±0,99 P _{2-к} < 0,01	39,14±3,88	6,3
3 группа 0,268±0,02 (0,2-0,48) n=19	80,4±11,2 P _{3-к} < 0,001	347,8±48,4 P _{3-к} < 0,001	5,3	6,06±0,87 P _{3-к} < 0,001	42,40±3,07 P _{3-к} < 0,01	7,6

ЛИТЕРАТУРА

1. Румянцева Г.М. Авария на ЧАЭС и психологический дистресс. // Тезисы докладов на Всероссийской конференции "Радиозэкологические, медицинские и социально-экономические последствия аварии на Чернобыльской АЭС. Реабилитация территорий и населения" (21-25 мая 1995г. М.: НМЦ). –Голицино,1995. –59с.
2. Нягу А.И., Ференц В.П., Гарнец О.Н. и др. Психологические и психосоциальные аспекты аварии на Чернобыльской атомной станции. // Информ. бюлл. –Киев: НЦРМ АМН СССР, 1991. –С. 256-267.
3. Матлина Э.Ш., Зутлер А.С., Лукичева Т.И. Значение функциональных проб для оценки состояния симпатoadреналовой системы. // Методы исследования некоторых систем гуморальной регуляции. –М., 1967. –С. 97-124.
4. Справочник: "Медицинские лабораторные технологии". // Под ред. А.И. Карпищенко. –Санкт-Петербург: Интермедика, 1999. –Т.2.–С. 135-136.
5. Шуцкий И.В. Метод определения ацетилхолина в малых количествах крови. // Лабораторное дело. –1967. –№7. –С. 407-408.
6. Гланс С. Медико-биологическая статистика. // Пер. с англ. –М.: Практика, 1998. –459с.

**ЛИКВИДАТОРЛАРДЫҢ ҚҰРЫЛУ ДОЗАСЫ ФАКТОРЛАРЫНДАҒЫ ЧЕРНОБЫЛЬ АЭС
АПАТЫНА ҚАТЫСҚАНЫНА ҚАРАМАСТАН СИМПАТОАДРЕНАЛДЫ ЖӘНЕ
ХОЛИНЭСТЕРАЗДЫ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ КӨРСЕТКІШТЕРІНІҢ ӨЗГЕРІЛУІ**

Макашев Ж.К., Журнист А.Г., Утешев А.Б., Абылаев Ж.А.

Алматы мемлекеттік дәрігерлерді жетілдіру институты, Алматы, Қазақстан

Ликвидаторлардың жасына, мамандығы мен дозалық жүктемелігіне, қай жылы ЧАЭС апатына қатысқанына қарамастан симпатoadреналды (САС) және холинэстеразды жүйелерінің (СЭС) зерттеу нәтижелерінің көрсеткіші ұсынылған.

**CHANGE OF INDICES OF SYMPATHOADRENAL AND CHOLINESTERASE SYSTEMS OF
CHERNOBYL A.P.P. DESTRUCTORS IN DEPENDING ON DOSE GENERATING FACTORS**

Zh.K. Makashev, A.G. Zhurnist, A.B. Uteshev, Zh.A. Abylaev

Almaty State Physicians Advanced Training Institute, Almaty, Kazakhstan

Results of research indices of sympathoadrenal (SAS) and choline esterase (CHS) of the last accident destructors at the Ch.A.P.P. were presented in depending on age, year of participation speciality and dose capacity.

УДК 621.039.58

**ПОВЫШЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ЗАЩИТЫ ИМПУЛЬСНОГО РЕАКТОРА
ОТ ОШИБОЧНЫХ ИЛИ ПРОТИВОПРАВНЫХ ДЕЙСТВИЙ****Горин Н.В., Щербина А.Н.***Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский НИИ технической физики, Снежинск, Россия*

Описаны физические особенности генерирования вспышек делений реактором с сильным внутренним источником нейтронов. Показано, что параметры вспышки определяются, главным образом, скоростью ввода реактивности, небольшие погрешности в калибровке стержней несут незначительную опасность при возникновении аварийных ситуаций, в том числе из-за ошибочных или противоправных действий персонала, обеспечена физическими процессами, исключающими реализацию всей введенной аварийной реактивности в одной вспышке.

Устойчивости ядерных реакторов против человеческих ошибок и противоправных действий всегда уделяли повышенное внимание, так как известно, что большинство аварий на реакторах объясняются человеческим фактором — ошибками операторов [1]. Если обеспечить внутреннюю защиту реактора не только от ошибочных, но и от противоправных действий, в том числе даже персонала, обладающего наиболее полными знаниями и лучшими возможностями, то может быть создан относительно безопасный реактор, для которого последствия любых аварий будут локализованы в реакторном здании. Однако полная безопасность невозможна, тем более - импульсного реактора, ибо он эксплуатируется в той области реактивности, которая является аварийной для других типов реакторов. Технические меры защиты частично могут быть использованы на тех импульсных реакторах, где процесс генерации вспышки относительно медленный ~0,1 с. К таким реакторам, в частности относится действующий ИГР [2] и планируемый МИГР [3], однако и для них целесообразно найти дополнительные способы повышения безопасности. Один из них — режим "Мощность" с сильным внутренним источником нейтронов, реализованный на российском реакторе БАРС-5 [4].

Основная цель доклада — привлечь внимание специалистов НЯЦ РК к проблемам безопасности исследовательских реакторов и их защиты от противоправных действий.

Серьезная ядерная авария на импульсном реакторе обусловлена вводом и реализацией во вспышке слишком большой избыточной реактивности — реактивности выше мгновенной критичности. Известно, что ограничить ее реализацию можно лишь при наличии сильного внутреннего источника нейтронов, который может своевременно подключить защитный механизм — тепловое самогашение, что снижает тяжесть аварийной ситуации и повышает самозащиту реактора. Внутренний источник состоит, в основном, из нейтронов, появляющихся при распаде ядер-предшественников запаздывающих нейтронов, нейтронов спонтанного деления урана и нейтронов

от внешнего источника, вызвавших акты деления в активной зоне. Сильным считается источник, для которого выполняется условие - $S_b/l \gg 1$, где S_b — внутренний источник нейтронов, l — время жизни мгновенных нейтронов. Такой источник обеспечивает практически 100%-ю вероятность инициирования устойчивой цепи делений даже в состоянии ниже мгновенной критичности. При слабом внутреннем источнике $S_b/l \ll 1$ момент начала теплового самогашения будет определяться вероятностными процессами и может начаться поздно, когда аварийная реактивность уже введена [5,6].

Большинство импульсных реакторов работают в режиме "Ожидание", в котором вначале вводят избыточную реактивность, а затем принудительно инициируют цепочку делений и ожидают формирования вспышки. В этом режиме необходимая избыточная реактивность легко достигается при небольших скоростях ввода, т.к. во время ввода действует "слабый" внутренний источник и реактор может долго не реагировать на увеличение реактивности. Однако режим имеет недостатки, основной из которых связан с тем, что механизм защиты (тепловое самогашение) подключается уже после ввода реактивности и имеется возможность случайного (или целенаправленного в результате противоправных действий) ввода аварийной реактивности, которая будет реализована в одной вспышке.

Для устранения этих недостатков в РФЯЦ—ВНИИТФ создавался другой режим — "Мощность", в котором небольшие излишки во вводимой реактивности были бы незаметными, а внутренняя безопасность была бы обеспечена физическими процессами, исключающими реализацию всей аварийной реактивности в одной вспышке. В этом режиме вначале создают в реакторе сильный внутренний источник нейтронов, инициирующий устойчивую цепь делений, затем вводят ту же реактивность до начала теплового гашения, т.е. защитный механизм подключен уже на этапе ввода реактивности.

При вводе реактивности в условиях сильного источника нейтронный поток будет следовать за ростом реактивности, затем "подключится" тепловое

гашение и сформируется вспышка делений. Продолжающийся ввод реактивности не сможет заметно повлиять на энерговыделение, так как скорость гашения значительно выше скорости ввода. В этом заключена первая важная особенность режима — при генерации вспышки можно вводить требуемую реактивность с небольшим запасом, который нейтрализует возможные погрешности в калибровках стержней, определении состояния мгновенной критичности, нахождении стартовой реактивности и др. Сразу же после колокола вспышки реактор подкритичен относительно мгновенной критичности, и поэтому продолжающийся небольшой ввод реактивности не опасен, хотя ввод большой реактивности может привести к получению второй вспышки. Вторая вспышка и все последующие, если реактивности окажется достаточно, будет гораздо меньше первой, так как чрезвычайно высокий внутренний источник нейтронов от предыдущей вспышки не позволит реализовать большую реактивность. В этом заключена вторая особенность режима "Мощность" — в аварийных ситуациях, когда вводится очень большая реактивность, она реализуется в нескольких маленьких вспышках, а не в одной аварийной, поэтому последствия аварии будут не столь серьезны.

Эксперименты показали, что характеристики вспышек в режиме "Мощность" действительно определяются, прежде всего, скоростью ввода реактивности. Влияние на энерговыделение времени жизни мгновенных нейтронов, стартового уровня мощности, погрешностей в калибровках стержней и др., слабее. Поэтому требуется точно задавать скорость ввода реактивности, а это для разработанных механизмов реактора гораздо легче, чем точно вводить реактивность.

Основное достоинство режима "Мощность" продемонстрируем на примере аварийной ситуации, когда с потолка реакторного зала падает обломок строительного материала, протекает большое количество воды или даже обрушивается потолок, например, при землетрясении или в результате ввода реактивности противоправными действиями. Наиболее опасно, если это будет синхронизовано с моментом перехода реактором состояния мгновенной критичности при генерации максимальной вспышки при скорости ввода 300 β /с.

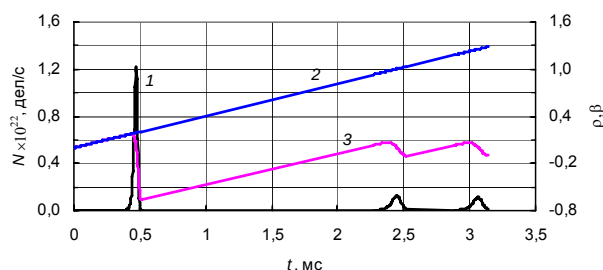


Рисунок 1. Формы вспышек (1), введенная (2) и реализованная (3) избыточные реактивности

Расчетные характеристики вспышек реактора БАРС-5 при работе в режиме "Мощность" для этой ситуации представлены на рисунке 1. Программа расчета верифицирована на параметрах вспышек только в рабочем диапазоне энерговыделения и реактивности и поэтому результаты расчетов аварийной ситуации при большой избыточной реактивности следует рассматривать как оценки. Вычисления прекращены после третьей вспышки, так как общая картина процесса уже понятна. Первая вспышка будет иметь энерговыделение $\sim 4,1 \cdot 10^{17}$ делений и полуширину ~ 30 мкс, затем генерируются небольшие вспышки энерговыделением $\sim 10^{17}$ делений и полушириной ~ 80 -100 мкс. Максимальное допустимое энерговыделение во вспышке БАРС-5 составляет $2,5 \cdot 10^{17}$ делений. К моменту ввода неучтенной избыточной реактивности $1,3\beta$ полное энерговыделение составит $6,4 \cdot 10^{17}$ делений, т.е. в $\sim 2,5$ раза превысит максимально разрешенное. Последствия аварийной ситуации серьезны — можно разрушить и частично расплавить активную зону, но энерговыделение будет реализовано в нескольких вспышках, а не в одной, взрывного энерговыделения не будет и ударной волны не образуется. Для возникновения столь серьезной аварии необходимы не только большая неучтенная реактивность, но и важен момент ее ввода, который должен быть синхронизован с переходом реактором состояния мгновенной критичности. В более вероятных ситуациях, когда увеличение реактивности составит несколько десятых β и вряд ли будет достигнута необходимая синхронизация с моментом перехода через мгновенную критичность, аварийной ситуации либо вообще не произойдет, либо ее последствия будут незначительны. Отметим, что при работе реактора в режиме «Ожидание» можно прогнозировать суммарное энерговыделение $\sim 10^{20}$ делений при вводе и реализации в одной вспышке $1,3\beta$, т.е. на два порядка больше максимально разрешенного (!), что приведет к испарению активной зоны, разрушению реакторного здания и выходу наружу загрязнения.

Реактор ИГР эксплуатируется в режиме, который можно назвать "Самоиницирование" — нечто среднее между режимами "Мощность" и "Ожидание". Для производства вспышки ИГР выводится в состояние запаздывающей критичности на мощность до ~ 25 Вт, причем исходное положение пусковых стержней определяет величину скачка реактивности при производстве вспышки. После достижения состояния "критика" реактор приводится в подкритическое состояние и из нее удаляется внешний нейтронный источник. В этом (подкритическом) состоянии без источника нейтронов реактор выдерживается ~ 15 минут, пока системы комплекса готовятся к пуску. Затем пусковые стержни из исходного положения со скоростью ~ 220 мм/с выводятся из активной зоны до крайнего верхнего положения. Время движения стержней составляет $\sim 6,4$ сек.

Внешнего принудительного инициирования на реакторе ИГР нет и устойчивая цепочка делений инициируется нейтронами, появляющимися при распаде предшественников запаздывающих нейтронов, образовавшихся при поиске стартового состояния и из-за спонтанного деления урана. При небольших избыточных реактивностях вспышка делений формируется после остановки стержней в крайнем верхнем положении, при избыточных реактивностях $\sim 5\beta$ вспышка делений формируется при движении стержней, до достижения ими крайнего верхнего положения. Избыточных реактивностей $>5\beta$ ввести не удавалось из-за ограниченной скорости перемещения стержней.

Оценим величину внутреннего источника нейтронов на момент генерации вспышки. Примем - $Q_{кр}$ мощность реактора в состоянии "критика" ~ 25 ватт, $t_{кр}$ время нахождения реактора в состоянии "критика" 1 минута и Δt время выдержки в подкритическом состоянии 1000 сек. В расчетах учтена самая долгоживущая группа запаздывающих нейтронов, вклад остальных групп пренебрежимо мал. Тогда:

$$S_v = Q_{кр} \times t_{кр} \times \beta_i \times \exp(-\Delta t \times \lambda_i) \sim 4 \times 10^4 \text{ дел/с.}$$

При таком способе производства вспышек, на момент начала движения пусковых стержней в активной зоне ИГР имеется концентрация предшественников запаздывающих нейтронов, распад которых обеспечивает "сильный" внутренний источник нейтронов, так как $S_v / \beta_i > 1$. Однако, если мощность в состоянии "критика" уменьшить всего в несколько раз, а время выдержки в подкритическом состоянии

увеличить на $\sim 10-15$ минут, то в активной зоне легко можно создать "слабый" внутренний источник - $S_v \times \lambda_i < 1$. В пределе величина внутреннего источника нейтронов будет определяться лишь нейтронами, появляющимися при спонтанном делении урана-235 и урана-238 и будет составлять для всей активной зоны, содержащей ~ 10 кг урана, всего ~ 20 н/с. В этом случае момент инициирования будет носить статистический характер и защитный механизм может подключиться слишком поздно, когда аварийная реактивность уже введена и на реакторе реализуется наиболее благоприятная ситуация для создания аварии ошибочными или противоправными действиями, при которой весь имеющийся в стержнях запас реактивности может быть реализован в одной вспышке.

Выводы

Для повышения самозащиты импульсного реактора создан режим работы, для которого характеристики вспышек зависят, в основном, от скорости ввода реактивности. Небольшие излишки во вводимой избыточной реактивности несут незначительные, внутренняя безопасность реактора обеспечена физическими процессами, исключающими реализацию введенной аварийной реактивности в одной вспышке. При ее вводе формируется серия последовательно уменьшающихся вспышек делений, что существенно снижает аварийное энерговыделение.

Следует рассмотреть целесообразность исследования и ввода в эксплуатацию такого режима на ИГР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бюллетень МАГАТЭ. - Вена, Австрия, 2001. - Т. 43. - №4.
2. Курчатов И.В., Фейнберг С.М. — Импульсный графитовый реактор ИГР // Атомная энергия. -1964. Т.17. -Вып.6. -С.463-474.
3. Аврорин Е.Н., Горин Н.В., Кандиев Я.З. — Ожидаемые характеристики реакторного комплекса МИГР // Атомная энергия. -2002. -Т.93. -Вып.5. -С.342-348.
4. Снопков А.А., Марков В.Н., Горин Н.В. — Повышение внутренней защиты импульсного реактора против ошибочных или противоправных действий // Атомная энергия. — 2003. - Т.94. -Вып.5. -С.401-405.
5. G.E.Hansen. — Assembly of fissionable material in the presence of a weak Neutron source // Nucl.Sci.Engng. - V8. -№6. -1960. -P 700-719.
6. H.Hurwitz, D.B.MacMillan, J.H.Smith, M.L.Storm. — Kinetics of low source reactor startups. Part I, II. // Nucl.Sci.Engng. -V15 -№2. - 1963. -P 166-196.

ҚАТЕЛІК НЕМЕСЕ ҚҰҚЫҚҚА ҚАЙШЫЛЫҚ ӘРЕКЕТТЕРДЕН ИМПУЛЬСТЫҚ РЕАКТОРДЫҢ ІШКІ ҚОРҒАНЫСЫН ЖОҒАРЛАТУ

Горин Н.В., Щербина А.Н.

Ресей, федеральдық ядролық орталығы - Техникалық физиканың бүкіл ресейлік ФЗИ. Челябинск облысы, Снежинск, Ресей

Нейтрондардың ішкі күшті көзімен жарқ ететін бөліктердің реактормен өндірудің физикалық ерекшеліктері бейнеленген. Жарқ ету параметрлері анықталады, ең басты реактивті жылдамдығы енгізіледі, стержендерді үлгілеуде кішігірім қателіктер мардымсыз және апатқа ұшырау жағдайлар туған кезде қауіпсіз, соның ішінде қызметшілердің қателерінен немесе құқыққа қайшылық әрекеттері физикалық процесспен қамсыздандырылған, бір жарқ етуде барлық енгізілген апатқа ұшырау реактивтерін іске асыруын жокқа шығаратыны көрсетілген.

IMPROVING OF PULSE REACTOR INHERITE SAFETY AGAINST ERRONEOUS OR ILLEGAL ACTIONS

N.V. Gorin, A.N. Scherbina

All Russian Scientific Research Institute of Technical Physics, Snezhinsk, Russia

Physical features of fission pulse generation in the reactor in the presence of a "strong" internal neutron source are described. The authors show the pulse parameters are mainly depend on reactivity input rate. Small uncertainties in the rod calibration are insignificant. The safety under condition of an accident rise, including personnel erroneous or illegal actions, is ensured with physical processes excluding realization of the whole inserted emergence reactivity within one pulse.

УДК 539.21: 621.039

ПРИЧИНЫ РАДИАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ КАРБИДНЫХ
СТЕРЖНЕВЫХ ТВЭЛОВ И КАРБИДНЫХ БЕЗУРАНОВЫХ СТЕРЖНЕЙ

Дерявко И.И.

Институт атомной энергии ИЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Представлены результаты реакторных и вне реакторных экспериментов по выяснению причин и механизмов радиационного упрочнения карбидных твэлов из $(U,Zr,Nb)C$ и $(U,Zr)C+C$ (на ~40 %) и карбидных стержней из ZrC (на ~60 %) в условиях их длительного совместного облучения в гелиевых ампулах реактора РА.

ВВЕДЕНИЕ

Ранее [1-4] при исследовании прочностных характеристик карбидных $((U,Zr,Nb)C)$ и карбидографитовых $((U,Zr)C+C)$ твэлов, испытанных в реакторе РА, было обнаружено повышение прочности у всех твэлов, реакторные наработки τ и глубины выгорания урана N_d у которых превышали некоторые пороговые значения, равные соответственно ~7 ч и $\sim 2 \cdot 10^{16}$ дел./см³. При меньших значениях τ и N_d прочность топливных стержней сохранялась на уровне исходной. В частности, после 5-часового облучения было получено полное совпадение значений прочности твэлов в исходном (σ_b) и облученном (σ'_b) состояниях: кривые вероятности разрушения твэлов до и после облучения, построенные по данным не менее чем 200 единичных замеров $(\sigma_b)_i$ и стольких же замеров $(\sigma'_b)_i$, показаны на рисунке 1. При всех значениях τ и N_d выше пороговых упрочнение твэлов находится на уровне 20...40 %. Причем у твэлов, испытанных в течение всего лишь 10 ч до выгорания порядка $3,2 \cdot 10^{16}$ дел./см³, упрочнение уже превышает 30 %.



Рисунок 1. Кумулятивные кривые вероятности разрушения $((U,Zr,Nb)C)$ -твэлов до и после 5-часового облучения в ампуле РА-24

Относительно уровней и характера упрочнения твэлов необходимо указать на два обнаруженных в ходе исследований принципиальных момента. Во-первых, уровни упрочнения у $((U,Zr,Nb)C)$ - и $((U,Zr)C+C)$ -твэлов, облученных в одинаковых условиях одной ампулы до близких значений N_d , практически всегда оказывались одинаковыми, несмотря на заметно более высокую исходную прочность карбидных твэлов в сравнении с таковой у карбидографитовых. Во всех 15 ресурсных ампулах

РА, РА-М и АПИ реактора РА и 4 заглушенных технологических каналах ТК100 реактора ИРГИТ средние значения уровней упрочнения у карбидных и карбидографитовых твэлов совпадали примерно так же хорошо, как показано на рисунке 2 для твэлов ампулы РА-23. Поэтому полученные температурные зависимости $\Delta\sigma_b/\sigma_b = f(T_{обл})$ для твэлов каждой ампулы (каждого канала) можно было изображать как с указанием, так и без указания на конкретный материальный состав твэлов.

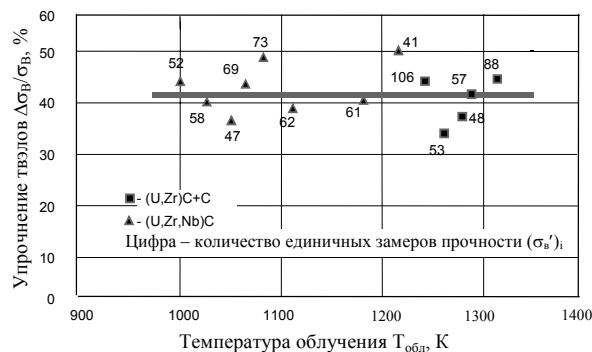
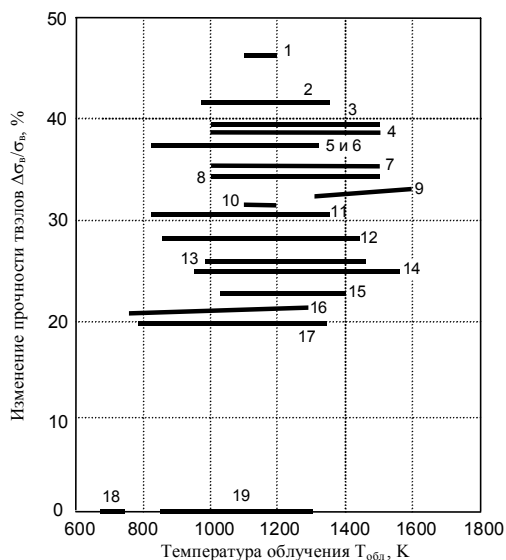


Рисунок 2. Уровни упрочнения карбидных и карбидографитовых твэлов после 157-часового облучения в ампуле РА-23 до выгорания $\sim 5,3 \cdot 10^{17}$ дел./см³

Во-вторых, уровни радиационного упрочнения и у $((U,Zr,Nb)C)$ -, и у $((U,Zr)C+C)$ -твэлов не зависели от температуры $T_{обл}$, и для твэлов каждой конкретной ампулы (канала) графические зависимости $\Delta\sigma_b/\sigma_b = f(T_{обл})$ практически всегда представляли собой горизонтальные прямые. Для одной ампулы это уже показано на рисунке 2, где можно видеть, что в пределах 400 К температура $T_{обл}$ не влияет на уровни упрочнения твэлов. Для этой ампулы, а также для остальных ампул и каналов отсутствие влияния температуры $T_{обл}$ на уровень упрочнения твэлов совместно показано на рисунке 3.

Отсутствия влияния температуры $T_{обл}$ на уровни упрочнения твэлов означает, что за уровень этого атермического изменения прочности твэлов в каждой конкретной ампуле (канале) можно принять среднее для всех твэлов данной ампулы (канала) значение изменения прочности $(\Delta\sigma_b/\sigma_b)_{ср}$, которое затем можно использовать для построения дозовой зависимости изменения прочности твэлов $\Delta\sigma_b/\sigma_b =$

$f(N_d)$. Результат такого построения представлен на рисунке 4. Хорошо видно, что максимум упрочнения твэлов достигается очень рано – при выгорании $\sim 6 \cdot 10^{16}$ дел./см³ после ~ 20 -часового облучения; после этого уровень упрочнения с ростом наработки τ (флюенса Φ_t , выгорания N_d) имеет устойчивую тенденцию к снижению от ~ 40 % до ~ 20 %.



1 – АПИ-5; 2 – РА-23; 3 – ТК100 №32; 4 – ТК100 №35;
5 – РА-20; 6 – АПИ-5; 7 – ТК100 №20; 8 – ТК100 №12;
9 – РА-35; 10 – АПИ-5; 11 – РА-21; 12 – РА-26;
13 – РА-11; 14 – РА-14; 15 – РА-29; 16 – РА-07;
17 – РА-19М; 18 – АПИ-1; 19 – РА-24.

Рисунок 3. Уровни радиационного изменения прочности твэлов, испытанных в различных ампулах и каналах

Следует иметь в виду, что каждое значение $(\Delta\sigma_v/\sigma_v)_{ср}$, представленное одной точкой на рисунке 4, было получено на основании выполнения большого количества единичных замеров (n_σ) значений прочности $(\sigma_v)_i$ у облученных твэлов: для ресурсных ампул, например, количество замеров n_σ находилось в пределах от ~ 600 до ~ 1800 К. При этом вначале строились зависимости $\Delta\sigma_v/\sigma_v = f(T_{обл})$, подобные зависимостям, показанной на рисунке 2, где каждая точка относилась к группе твэлов конкретной партии изготовления, облученной при близких значениях $T_{обл}$, а на основании этих зависимостей для каждой ампулы вычислялись и значения $(\Delta\sigma_v/\sigma_v)_{ср}$, и их абсолютные погрешности. В частности, для всех ампул при $n_\sigma > 600$ значения абсолютных погрешностей определения средней величины упрочнения твэлов составляли 5-9 %; при меньших n_σ указанная погрешность (среднеквадратическая ошибка среднего при 95-процентной надежности) заметно возрастала.

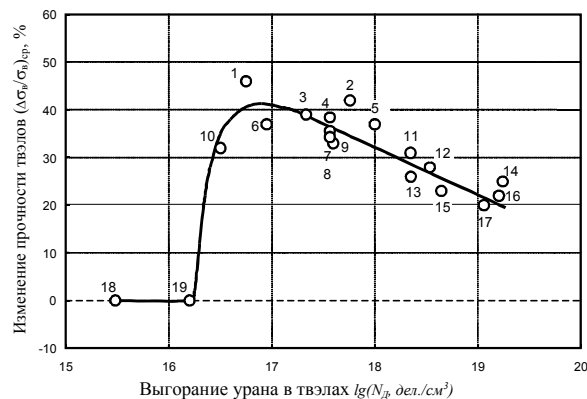


Рисунок 4. Дозовая зависимость изменения прочности твэлов (обозначения те же, что и на рисунке 3; точка 14 соответствует длительности испытаний твэлов, равной 4803 ч)

Относительно большие погрешности определения $(\Delta\sigma_v/\sigma_v)_{ср}$ были обусловлены значительным статистическим разбросом результатов измерений $(\sigma_v)_i$ и $(\sigma'_v)_i$, характерным для хрупких керамических материалов, какими являются спеченные тугоплавкие карбиды [5]. Тем не менее надежность построения кривой на рисунке 4 следует признать достаточно высокой, если иметь в виду большие размеры выборок n , а также хорошую воспроизводимость результатов определения $(\Delta\sigma_v/\sigma_v)_{ср}$. Так, значения $(\Delta\sigma_v/\sigma_v)_{ср}$ у твэлов, облученных в идентичных условиях трех каналов ТК100, оказались (см. точки 4, 7 и 8) равными 38 %, 35 % и 34 %; у твэлов ампул РА-21 и РА-11 после одинаковых наработок (~ 640 ч) и выгораний ($\sim 2,1 \cdot 10^{18}$ дел./см³) значения $(\Delta\sigma_v/\sigma_v)_{ср}$ составили (см. точки 11 и 13) соответственно 31 % и 26 %.

Представленные на рисунке 4 данные относятся к твэлам с обычным ("штатным") содержанием урана от ~ 9 % (масс.) до ~ 19 % (масс.). После ~ 5000 -часового облучения среднее значение выгорания урана в таких твэлах составило $\sim 2 \cdot 10^{19}$ дел./см³. С целью увеличения глубины выгорания без увеличения длительности реакторных испытаний в модернизированной ампуле РА-19М были испытаны твэлы с повышенным содержанием урана. Ампула была укомплектована твэлами с обычным содержанием урана и твэлами с меньшим (~ 7 %) и большим (~ 21 %, ~ 30 % и ~ 42 %) его содержанием. Послеректорные исследования показали, что у твэлов с обычным содержанием урана имеет место упрочнение на ~ 20 % (см. прямую 17 на рисунке 3, точку 17 на рисунке 4 и круглую точку на рисунке 5), а у твэлов с повышенным содержанием урана наблюдается (рисунке 5) как сниженный уровень упрочнения, так и разупрочнение: у твэлов с содержанием урана 42 % (масс.) разупрочнение (после 3151-часового облучения до выгорания $\sim 6,9 \cdot 10^{19}$ дел./см³) составило ~ 4 %.

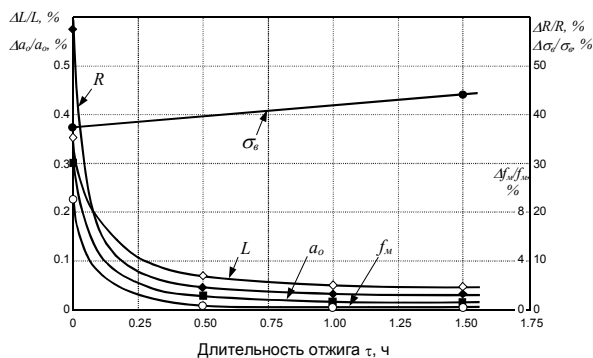


Рисунок 5. Дозовая зависимость изменения прочности твэлов ампулы РА-19М (цифрами вблизи точек обозначено количество единичных замеров прочности $(\sigma_0)_i$)

Полученную таким образом кривую $\Delta\sigma/\sigma_0 = f(N_d)$ на рисунке 5, строго говоря, нельзя однозначно рассматривать как непосредственное продолжение аналогичной кривой на рисунке 4. Однако представленные на рисунке 5 данные убедительным образом указывают на общую тенденцию изменения прочности твэлов с увеличением выгорания N_d в случае дальнейшего (более достигнутых 4803 ч) увеличения длительности испытаний: дальнейшее снижение уровня первоначально приобретенного упрочнения, переходящее в конечном итоге в разупрочнение.

В целом, результаты прочностных исследований свидетельствовали о высокой радиационной стойкости штатных твэлов ЯРД в условиях реакторных испытаний на энергетическом режиме малой мощности реактора ЯЭДУ. До конца испытаний длительностью около 5000 часов твэлы не только сохранили исходный уровень прочности, но сохранили еще и половину первоначально приобретенного радиационного упрочнения (рисунок 4). А тот факт, что у твэлов с содержанием урана ~42 % (масс.) при глубине выгорания порядка $7 \cdot 10^{19}$ дел./см³ еще не наблюдается катастрофическое разупрочнение (рисунок 5), позволяет надеяться, что штатные твэлы ЯРД сохраняют полную работоспособность и при увеличении длительности реакторных испытаний на энергетическом режиме малой мощности реактора ЯЭДУ до ~30000 часов (до ~3,5 лет), при котором выгорание урана в них достигнет $\sim 1 \cdot 10^{20}$ дел./см³.

С учетом всего вышесказанного становится ясным, что интерес к обнаруженному эффекту упрочнения керамических твэлов обусловлен тем, что он обеспечивает высокую радиационную стойкость таких твэлов за счет того, что как бы отодвигает начало неминуемого их разупрочнения под облучением в сторону более высоких наработок τ (флюенсов Φ_t , выгораний N_d). В связи с определяющим положительным влиянием эффекта упрочнения на радиационную стойкость твэлов была предпринята попытка экспериментального установления причин и механизмов этого эффекта.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Если сопоставить интенсивности повреждения структуры у конструкционных (безурановых) и топливных карбидов соответственно быстрыми нейтронами и осколками деления, то обнаружится некая нелогичность в наличии эффекта. Действительно, при реакторном облучении конструкционных карбидов (таких, как ZrC, NbC, TiC, TaC), являющихся радиационно-стойкими до флюенса быстрых нейтронов $\sim 1,5 \cdot 10^{21}$ см⁻² [6], наблюдается некоторое снижение исходной прочности, достигающее примерно 40 % при флюенсе $\Phi_b \sim 10^{20}$ см⁻² [7, 8]. Разупрочнение конструкционных карбидов обусловлено той особенностью повреждения структуры хрупкого материала быстрыми нейтронами ($\bar{E} \sim 2$ МэВ), при которой локальные напряжения вблизи межузельных дефектов способствуют раскрытию определенным образом ориентированных зародышевых трещин.

При реакторном облучении топливных карбидов процессы повреждения структуры хрупкого материала идут примерно на 2-3 порядка более интенсивно, т.к. в этом случае основное повреждающее воздействие осуществляется тяжелыми (массовые числа порядка 100...140) высокоэнергетическими ($E \sim 70...100$ МэВ) заряженными (эффективные заряды в области +21) осколками деления урана [9, 10]. В связи с этим, казалось бы, под облучением должно происходить только разупрочнение топливных карбидов, причем более интенсивное в сравнении с разупрочнением конструкционных карбидов.

Однако в действительности у твэлов, испытанных в ампулах реактора РА и в заглушенных каналах реактора ИРГИТ, обнаруживалось только упрочнение (рисунок 4). Уместно добавить, что упрочнение твэлов фиксировалось и при испытаниях в проточных каналах реакторов ИВГ.1 и ИРГИТ, хотя причины упрочнения твэлов здесь явно различны. В этом можно убедиться, сравнивая следующие экспериментальные факты.

В твэлах проточных каналов из-за наличия радиальных перепадов температур по сечениям топливных стержней возникали радиационные макронапряжения $\sigma_{ост}$ [11], что и обеспечивало их упрочнение. Уровни упрочнений зависели от температуры $T_{обл}$: снижались с увеличением $T_{обл}$ [1,12]. Отжиг твэлов при $T_{отж} > T_{обл}$ полностью устранял напряжения $\sigma_{ост}$ [11].

В отличие от этих твэлов, в твэлах ресурсных ампул и заглушенных каналов напряжения $\sigma_{ост}$ не возникали, т.к. радиальные перепады температур у них составляли всего лишь около 0,2 К. Второе отличие – уровни упрочнения, как показано на рисунке 3, не зависели от температуры $T_{обл}$. Наконец, последнее отличие: отжиг таких твэлов при температуре $T_{отж}$, заметно превышающей температуру $T_{обл}$, не устранял приобретенный радиационный прирост прочности (см. рисунок 6), в то время

как радиационные изменения всех остальных параметров ТВЭЛОВ (длины L , периода решетки a_0 , электросопротивления R и модуль нормальной упругости E) достаточно полно отжигались. (Модуль упругости E на рисунке 6 представлен обратной величиной, т.е. величиной упругого прогиба стержня f_m при нагружении фиксированным усилием [13].)

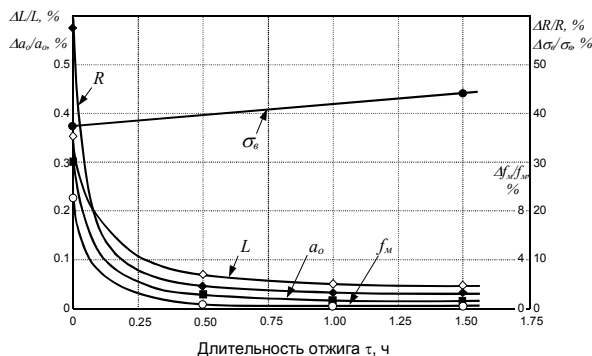


Рисунок 6. Влияние термического отжига при $T_{отж} = 1870$ К в гелии под давлением $\sim 0,45$ МПа на изменение параметров $(U,Zr,Nb)C$ -ТВЭЛОВ, облученных в ампуле РА-20 при $T_{обл} \sim 900$ К

Эти результаты указывают на то, что причины упрочнения ТВЭЛОВ реактора РА никак не связаны с напряжениями $\sigma_{ост}$. Следовательно, должна существовать как минимум еще одна причина упрочнения ТВЭЛОВ, объясняющая к тому же и факт отсутствия влияния температуры (при облучении и при отжиге) на изменение их прочности.

Известно (напр., [5,14-17]), что реальная прочность у спеченного карбида, как и у любого хрупкого керамического материала, намного ниже (в десятки-сотни раз) теоретически возможной прочности и лимитируется исходным (заложенным технологией изготовления) уровнем дефектности структуры, т.е. количеством дефектов и степенью их опасности (коэффициентами концентрации напряжений у дефектов). Причем наиболее опасными являются трещиноподобные дефекты, поскольку при наличии в материале трещины длиной $2c$, у которой радиус закругления в вершине равен φ , приложенное напряжение σ_0 возрастет в области вершины трещины (при перпендикулярной взаимной ориентации напряжения σ_0 и трещины) до значения σ_{max} , зависящего от размеров c и φ :

$$\sigma_{max} = \sigma_0 [1 + 2(c/\varphi)^{1/2}]. \quad (1)$$

Для спеченного карбида, кроме того, характерным является наличие широкого спектра дефектов типа пор, раковин, несплошностей, структурных обособлений, включений, межзеренных прослоек, микро- и субмикротрещин, макронеоднородностей химического состава по сечению спеченного изделия, локальных колебаний (микронеоднородностей) химического состава, изменений размера зерна и микропористости от участка к участку, различий в

химическом составе внутренних и периферийных областей зерна и т.д.

Эта особенность проявляется, в частности, в том, что в структуре такого материала уже в исходном состоянии присутствуют опасные микронапряжения различных (условно самостоятельных) видов [18]. (Таковыми микронапряжениями являются межзеренные напряжения σ_m ; ориентированные напряжения в зернах и субзернах $\sigma_{ор}$; сферическисимметричные напряжения в зернах σ_3 ; напряжения $\sigma_\perp$, локализованные в пределах отдельных групп зерен; пиковые напряжения σ_Π в устье микронадрыва, микро- или субмикротрещины [18-21].) Причем при приложении внешней нагрузки уровни отдельных видов микронапряжений будут многократно увеличиваться.

Отсюда можно сделать предположение, что эффект упрочнения ТВЭЛОВ непосредственно связан с тем обстоятельством, что воздействие осколков деления на хрупкий керамический материал способно снизить исходный уровень дефектности его структуры количественным путем (уменьшением количества дефектов) и/или качественным (снижением коэффициентов концентрации напряжений у дефектов). Здесь уместно отметить, что в [22] сделано замечание относительно возможности частичного или полного "стирания" исходных (имеющихся) дефектов структуры замедляющимися осколками деления, особенно дефектов, размеры которых меньше диаметра возбужденной зоны в треке осколка, т.е. в локальном (длинной около 10 мкм и диаметром порядка 10 нм) микрообъеме кратковременного (порядка 10^{-11} с) резкого повышения температуры, давления, деформации (упругой и пластической) и концентрации атомных или ионных смещений.

Если говорить о дефектах, размеры которых превышают диаметры треков осколков, то максимально опасными из таких дефектов в структуре спеченного материала ТВЭЛОВ являются поверхностные и подповерхностные субмикротрещины с радиусами закругления в вершинах, сравнимыми с межатомными расстояниями. Примерно такими же опасными являются и трещины большего размера (поверхностные и подповерхностные микротрещины, поверхностные трещины без раскрытия (расхождения) собственных берегов, поверхностные макротрещины с раскрытием берегов), у которых радиус φ хоть и больше межатомного расстояния, но длины c или $2c$ имеют большие размеры; несколько менее опасными являются линзоподобные пустоты, переходящие в микротрещины, несферические поры с развитой поверхностью и т.д.

Не вдаваясь в описание всего многообразия дефектов структуры спеченного карбида, следует обратить внимание на то, что влияние осколков деления на степень снижения коэффициентов концентрации у дефектов различного типа будет различным: меньшим на коэффициенты у дефектов "объемного" характера и

большим на коэффициенты у "плоских" дефектов типа трещин без раскрытия берегов.

В частности, у трещиноподобных дефектов под воздействием осколков деления могут увеличиться радиусы закругления в вершинах, могут уменьшиться размеры (протяженности, диаметры); возможно, по-видимому, и полное исчезновение (полное заживание) таких дефектов, поскольку при увеличении длительности облучения τ до определенного значения τ_n будет достигнуто многократное (n-кратное) периодическое взаимодействие любого участка облучаемого материала с треками осколков деления. У дефектов "объемного" характера будет происходить лишь частичное снижение коэффициентов концентрации напряжений при отсутствии полного заживания дефекта. Указанные различия в степени заживаемости различных дефектов (при длительном облучении твэлов) схематически изображены на рисунке 7.

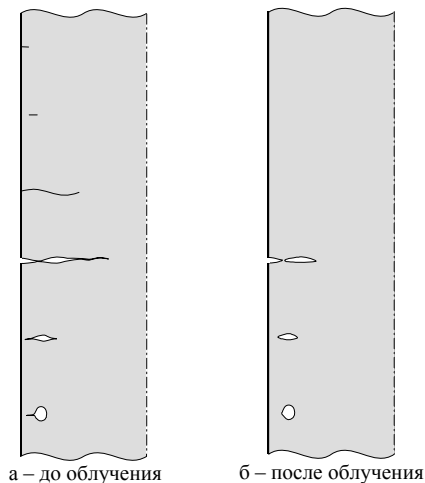


Рисунок 7. Характер эволюции некоторых типов дефектов в процессе их радиационного заживания при длительном облучении

На этом рисунке специально отмечено предположение, что поверхностная трещина в твэле при отсутствии раскрытия ее берегов может быть полностью залечена радиационным путем в процессе длительного облучения, причем при низкой для карбидов температуре ($T_{обл}$ твэлов в ампулах РА составляла 750...1600 К). Особо важным является то, что предположение о низкотемпературной радиационной заживаемости таких поверхностных трещин можно проверить экспериментально, сравнивая состояние твэлов с искусственно созданными трещинами (путем быстрого погружения предварительно нагретых стержней в воду) после длительного облучения одной половины подготовленной партии твэлов и отжига другой половины при $T_{отж} = T_{обл}$ и

$\tau_{отж} = \tau_{обл}$. (При подготовке твэлов, т.е. при создании поверхностных трещин без раскрытия берегов, использовались только твэлы, у которых в исходном состоянии отсутствовали остаточные растягивающие на поверхности макронапряжения.)

Предположение полностью подтвердилось в эксперименте сравнения, где была обнаружена полная радиационная заживаемость поверхностных трещин в твэлах после 290-часового испытания в ампуле РА-20 реактора РА и установлено отсутствие термической заживаемости таких трещин в твэлах после 290-часового термического отжига при температуре $T_{отж}$, близкой к средней температуре $T_{обл}$. Термическое заживание проводилось в отжиговом устройстве (рисунок 8), где воспроизводились условия испытаний в ампуле РА-20 (исключая, разумеется, реакторное воздействие).

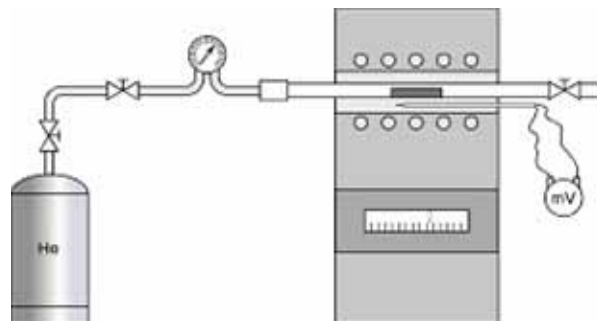


Рисунок 8. Схема отжигового устройства на базе муфельной печи типа СУОЛ

Степень заживаемости трещин определялась по степени восстановления искаженных (после повреждения трещинами) параметров твэлов, таких, как прочность σ_b , электросопротивление R и модуль упругости E (здесь, как и ранее, вместо величины модуля E использовалась величина упругого прогиба твэла f_m). Результаты эксперимента приведены в таблице 1. Хорошо видно (ср. столбцы 3 и 4), что чисто термическим воздействием при невысокой для карбидов температуре невозможно даже частично залечить поверхностные трещины. Наоборот, после облучения зафиксирована полная заживаемость поверхностных трещин (ср. столбцы 3 и 5). Видно, в частности, что параметры f_m и R полностью восстановились и приобрели примерно те же значения (с учетом различий в $T_{обл}$), которые имеют не поврежденные трещинами твэлы после 290-часового облучения в ампуле РА-20 (см. на рисунке 6 данные по $\Delta R/R$ и $\Delta f_m/f_m$ у твэлов до отжига).

Таблица 1. Сравнение результатов термического и радиационного заживления поверхностных трещин в твэлах

Обозначение параметра твэла X_b	Нормированные значения параметров X_b , отн. ед.				
	До поврежде-ния твэлов поверхностны-ми трещинами	После поврежде-ния твэлов поверхностны-ми трещинами	После отжига поврежденных твэлов (He; ~0,45 МПа; 290 ч; 1100 К)	После облучения поврежденных твэлов (He; ~0,45 МПа; 290 ч; 830...1300 К)	После дополнительного отжига (He; ~0,45 МПа; 1,5 ч; 1870 К)
$\bar{f}_i$	1,00	1,24	1,25	–	–
			–	1,05	1,00
$\bar{R}$	1,00	1,26	1,25	–	–
			–	1,48	1,03
$\bar{\sigma}_B$	1,00	0,45	0,47	–	–
			–	1,98	2,07

При этом параметр σ_B не только полностью восстановился, но и приобрел более высокое, чем у неповрежденных твэлов, значение: вызванное трещинами примерно двукратное разупрочнение твэлов сменилось упрочнением на 98 %. Следует обратить внимание на то, что и в этом случае радиационное упрочнение не исчезает после дополнительного отжига при температуре выше $T_{обл}$ (ср. столбцы 5 и 6), тогда как значения R и f_m возвращаются к исходным (до создания трещин) значениям.

Таким образом, результаты эксперимента сравнения позволяют указать на суть механизма радиационного атермического упрочнения твэлов. В самом деле, из того факта, что при длительном облучении твэлов происходит полное заживление искусственно созданных поверхностных трещин, причем при низкой для карбидов температуре (например, при 830 К), следует, что под облучением происходит заживление и исходных технологических дефектов, с неизбежностью присутствующих в керамическом материале и определяющих уровень его реальной прочности.

Последнюю фразу можно пояснить следующим образом. Во-первых, размер искусственно созданной поверхностной трещины гораздо больше размера многих исходных дефектов, таких, например, как поверхностные и подповерхностные микро- и субмикротрещины. Во-вторых, низкая температура заживления означает, что процесс происходит почти исключительно под влиянием периодических энергетических возбуждений отдельных микрообъемов топлива, т.е. под влиянием локальных всплесков температур, давлений, деформаций решетки и смещений атомов в области треков осколков, а в этом случае температура облучения (среднемассовая температура твэла) практически не оказывает влияния на процесс снижения уровня дефектности.

То есть суть механизма радиационного упрочнения твэлов в том, что под воздействием осколков деления (ускоряющим процессы самодиффузии атомов в области треков осколков на многие порядки [22]) происходит уменьшение исходного уровня дефектности структуры как за счет полного зажив-

вания отдельных дефектов, так и за счет частичного заживления многих остальных.

Процессы заживления исходных дефектов при увеличении реакторной наработки должны были бы приводить к непрерывному приросту реальной прочности карбида (ко все увеличивающемуся упрочнению твэлов), но на них накладываются процессы образования новых (радиационных) дефектов, создаваемых осколками деления и быстрыми нейтронами. В итоге некоторое превалирование процессов заживления имеющихся дефектов над процессами возникновения новых обеспечивает наблюдаемое сравнительно невысокое упрочнение твэлов на начальной стадии ресурсных испытаний. При больших выгораниях ситуация изменяется на обратную, и упрочнение твэлов поэтому сначала уменьшается, затем полностью исчезает, а затем переходит в разупрочнение (рисунки 4 и 5).

В заключение следует указать на возможность искусственного усиления эффекта атермического радиационного упрочнения твэлов. Как уже отмечалось, в ампуле РА-20 неповрежденные твэлы упрочнились на ~37 %, а твэлы с трещинами на поверхности – на ~98 %. Отсюда кажется очевидным, что радиационная стойкость у намеренно поврежденных поверхностными трещинами твэлов будет выше, чем у не поврежденных трещинами твэлов: дополнительное упрочнение твэлов за счет заживления трещин еще более отодвинет начало их интенсивного разупрочнения в сторону больших выгораний.

Для экспериментальной проверки этого предположения в нескольких ампулах АПИ, РА и РА-М отдельные группы твэлов, как и в ампуле РА-20, были намеренно повреждены поверхностными трещинами. Результаты прочностных исследований этих твэлов после реакторных испытаний показали, что характер кривой $\Delta\sigma_B/\sigma_B = f(N_d)$ для твэлов с поверхностными трещинами (см. кривую Б на рисунке 9) во многом схож с характером аналогичной кривой для неповрежденных твэлов (см. кривую А): начало заживления поврежденных твэлов совпадает с началом упрочнения неповрежденных твэлов, обе кривые проходят через максимум. Видно также, что полное заживление поверхностных трещин дости-

гается после выгорания $\sim 3 \cdot 10^{17}$ дел./см³, т.е. после облучения длительностью около 100 ч, а максимальное упрочнение у твэлов с полностью залеченными трещинами составляет около 100 %.

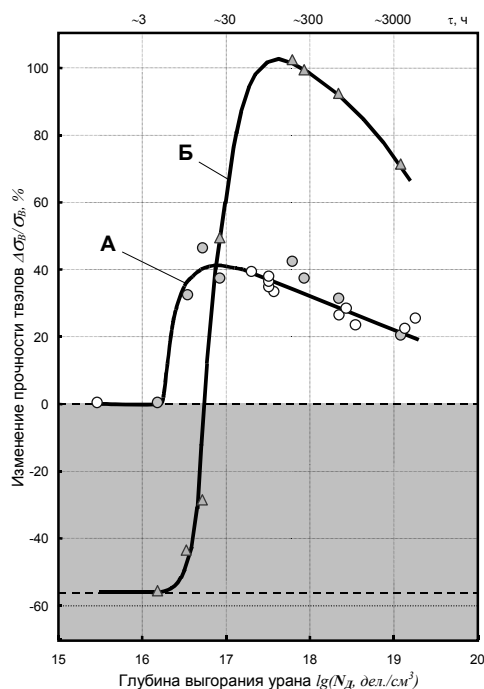


Рисунок 9. Изменение прочности у неповрежденных (А) и поврежденных (Б) твэлов в зависимости от глубины выгорания урана N_d (длительности облучения τ)

Механизм эффекта радиационного упрочнения твэлов с трещинами тоже во многом повторяет механизм радиационного упрочнения неповрежденных твэлов. Действительно, упрочнение неповрежденных твэлов происходит в конечном итоге за счет полного залечивания одних дефектов и частичного залечивания многих остальных. Более высокое упрочнение намеренно поврежденных твэлов происходит за счет того, что, кроме уже указанных дефектов, будут дополнительно залечиваться и такие устойчивые дефекты, которые при отсутствии предварительного разрушения материала по месту из залегания не смогли бы залечиться радиационным способом. В качестве примера таких дефектов можно указать, в частности, на наличие в спеченном карбиде неоднородностей химического состава от участка к участку, межзеренных прослоек, различий в химическом составе внутренних и периферийных областей зерен. Подобные дефекты, сформировавшиеся при высокой температуре изготовления (температура спекания твэлов составляет 2700...2900 К), при охлаждении до комнатной температуры создают в материале твэла (за счет различий в коэффициентах линейного расширения) устойчивую систе-

му опасных¹⁾ микронапряжений различных видов — межзеренных напряжений σ_m , напряжений в зернах σ_z , напряжений σ_d , локализованных в пределах отдельных групп зерен. Прохождение трещины через места залегания этих дефектов устранил вызванные ими напряжения, причем эти напряжения будут отсутствовать и после залечивания трещины.

Что касается сопоставления радиационной стойкости у поврежденных и у неповрежденных твэлов, то представленный на рисунке 9 характер кривых А и Б позволяет утверждать, что радиационная стойкость у намеренно поврежденных поверхностными трещинами твэлов действительно выше, чем у неповрежденных твэлов. Этот положительный результат не имеет в данном случае принципиального значения, поскольку, как уже установлено, штатные твэлы ЯРД и без дополнительного упрочнения обладают высокой радиационной стойкостью. Более важным является то, что с помощью такой радиационной обработки можно достигнуть двукратного упрочнения твэлов, причем такого, которое будет сохраняться при эксплуатации карбидографитовых твэлов во входных НС технологических каналов реактора ЯРД или ЯЭДУ на двигательном режиме.

В дополнение к этим экспериментам были выполнены также эксперименты по радиационному залечиванию намеренно созданных трещин в безурановых карбидных стержнях (имитаторах твэлов из ZrC и (Zr,Nb)C.) После испытаний таких имитаторов в ампулах АПИ и РА соответственно в течение 10, 18, 645 и 3151 ч при температуре $T_{обл} \sim 1200$ К было установлено полное отсутствие залечиваемости поверхностных трещин. Эти эксперименты еще раз указали на тот факт, что процессы залечивания трещин протекают почти исключительно под влиянием осколков деления (по крайней мере влияние быстрых нейтронов на залечиваемость трещин экспериментально не обнаруживалось).

Были также выполнены и эксперименты по определению влияния осколков деления на прочность безурановых карбидов, а конкретнее, — по выяснению влияния поверхностной имплантации осколков деления на прочность полуцилиндрических уплотнительных карбидных вкладышей из ZrC. Для этой цели в нагревные секции двух ампул РА были установлены на испытания вкладыши, относящиеся к одной партии изготовления и аттестованные по параметру $\bar{\sigma}_d$. (Уплотнительные вкладыши размещались в нагревной секции (рисунок 10) между теплоизоляционной обоймой и твэлами периферийной зоны концентрации урана.)

1) — опасность связана с неотъемлемым наличием у микронапряжений растягивающих компонент.

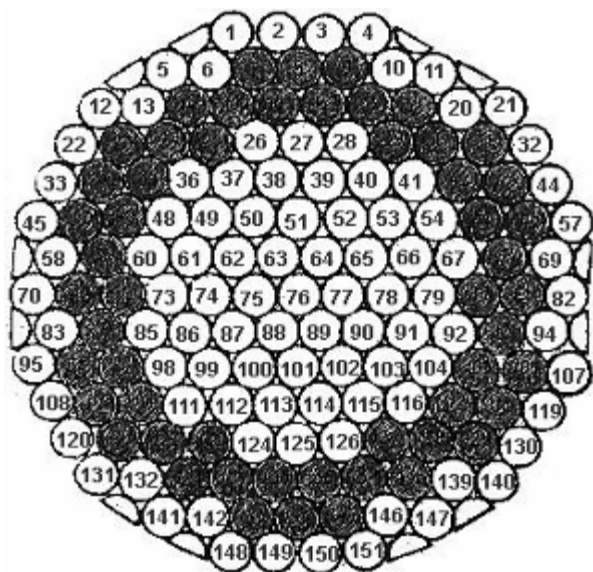


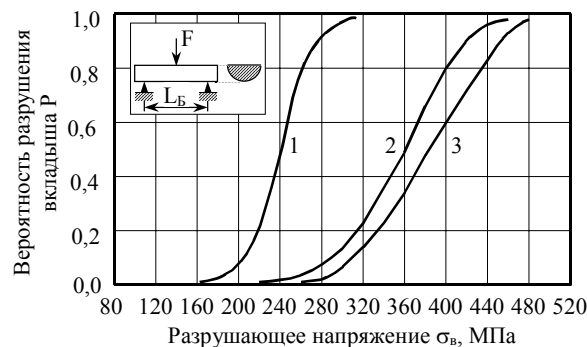
Рисунок 10. Схема размещения ТВЭлов и уплотнительных вкладышей в каждой из семи нагревных секций ТВС ресурсной ампулы (ТВЭлы средней зоны концентрации урана зачернены)

При послереакторных исследованиях вкладышей, прочность которых измерялась при изгибе (база испытаний L_6 равна 93 мм), было зафиксировано заметное упрочнение всех тех вкладышей, которые нагружались по схеме, когда растяжение действовало на полуцилиндрической (обращенной к ТВЭлам) поверхности, а сжатие – на плоской (рисунок 11); в противоположном случае наблюдалось отсутствие радиационного изменения прочности вкладышей. Прочность вкладышей при изгибе ($\sigma_{визг}$) для случая, схематически изображенного на рисунке 11, вычислялась по формуле

$$(\sigma_{визг}) = 1,31 FL_6 / R_{вкл}, \quad (2)$$

где $R_{вкл}$ – радиус полуцилиндрического вкладыша.

Величина упрочнения у вкладышей обеих ампул оказалась примерно одинаковой и составила около 50-60 %, что примерно вдвое выше, чем величина упрочнения у ТВЭлов этих ампул. Высокое упрочнение объяснено тем, что при внедрении осколков деления в поверхность вкладыша в тонком (несколько микрометров) слое, во-первых, снижается уровень исходной дефектности структуры, а во-вторых, появляются сжимающие радиационные макронапряжения $\sigma_{ост}$ (из-за значительно большего распухания этого слоя под воздействием осколков деления, чем среднемассовое распухание вкладыша под воздействием быстрых нейтронов).



1 – вкладыши в исходном состоянии; 2 – вкладыши ампулы РА-26 ($\tau = 890$ ч; $T_{обл} \sim 650 \dots 1100$ К); 3 – вкладыши ампулы РА-19М ($\tau = 3151$ ч; $T_{обл} \sim 700 \dots 1100$ К).

Рисунок 11. Результаты прочностных испытаний вкладышей из ZrC до и после реакторного облучения

Неоднородность распухания материала по сечению полуцилиндрического стержня была установлена измерениями периода решетки в различных участках вкладышей из секции НС №4 ампулы РА-26 после 890-часовых испытаний при температуре $T_{обл} \sim 1100$ К до флюенса $\Phi_6 \sim 1 \cdot 10^{19}$ см⁻². Обнаружено, что три значения периода решетки (период a'_0 , измеренный на плоской поверхности вкладыша, период a'_0 , измеренный на порошке, напыленном алмазным надфилем с плоской поверхности, и среднемассовый период $\bar{a}'_0$, измеренный на порошке, изготовленном из фрагмента вкладыша) в пределах погрешностей измерений не различаются и составляют $\sim 0,46991$ нм, а период a'_0 , измеренный на порошке, напыленном с полуцилиндрической поверхности, заметно выше этих значений и составляет 0,47012 нм (исходные значения a_0 у вкладышей находились в диапазоне 0,46966 ... 0,46970 нм).

Таким образом, и эти эксперименты тоже указали на определяющую роль воздействия осколков деления на изменение прочностных характеристик керамических материалов и изделий под облучением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованы причины и механизмы радиационного упрочнения карбидных и карбидографитовых ТВЭлов и карбидных безурановых стержней. Экспериментально доказано, что обнаруженный эффект атермического радиационного упрочнения ТВЭлов связан с интенсивным воздействием осколков деления на структуру спеченного топливного материала и обусловлен временным превалированием упрочняющих процессов радиационного залечивания исходных технологических дефектов над разупрочняющими процессами возникновения радиационных дефектов.

При исследовании причин атермического радиационного упрочнения твэлов обнаружено атермическое залечивание (под воздействием осколков деления) намеренно созданных в твэлах поверхностных трещин. Показано, что в случае полного радиационностимулируемого залечивания таких трещин (которое происходит после примерно 100-часового облучения до глубины выгорания урана N_d порядка $3 \cdot 10^{17}$ дел./см³) уровень максимального упрочнения твэлов достигает ~100 %.

Выявлено значительное упрочняющее влияние осколков деления на безурановые карбидные вкладыши. Обнаруженное высокое – на 50-60 % – упрочнение вкладышей объяснено двойным позитивным влиянием имплантации осколков деления в поверхность вкладыша: внедрение осколков деления в тонкий поверхностный слой вкладыша создавало в нем, во-первых, атермическое радиационное упрочнение, а во-вторых, сжимающие радиационные макронапряжения $\sigma_{ост}$ с большим градиентом.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Дерявко И.И., Жданов В.С., Перепелкин И.Г., Черепнин Ю.С. Радиационная стойкость топливных карбидных материалов при облучении в низкотемпературном реакторе. – Вопросы атомной науки и техники. Сер. Радиационные повреждения и радиационное материаловедение, 1993, вып. 1(60), с. 90-92.
3. Черепнин Ю.С., Тухватулин Ш.Т., Зеленский Д.И. и др. Радиационная и радиационно-химическая стойкость безоболочковых стержневых карбидных твэлов. – Материалы II междунар. конф. "Ядерная и радиационная физика, Алматы, 1999 г.", ч. 1, Алматы, ИЯФ НЯЦ РК, 1999, с. 34-43.
4. 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.
5. Андриевский Р.А., Ланин А.Г., Рымашевский Г.А. Прочность тугоплавких соединений. – М., Металлургия, 1974. – 232 с.
6. Keilholtz G., Moore R., Osborne M. Fast-neutron effects of the carbides of titanium, zirconium, niobium and tungsten. – Nuclear Applications, 1968, vol. 4, p. 330-336.
7. Ковальченко М.С., Огородников В.В., Роговой Ю.И., Крайний А.Г. Радиационное повреждение тугоплавких соединений. – М., Атомиздат, 1979. – 160 с.
8. Огородников В.В., Мурзин Л.М., Крайний А.Г. Влияние облучения на механические свойства карбидов. – Сб. "Карбиды и сплавы на их основе", Киев, Наукова думка, 1978, с. 121-126.
9. Давыдов А.А., Калинин А.И. Механические эффекты вблизи ионных треков и термических пиков. – Вопросы атомной науки и техники. Сер. Радиационные повреждения и радиационное материаловедение, вып. 3(36), 1985, с. 27-30.
10. Braun M. Ion bombardment as a tool to modify surface properties of different materials. – Vacuum, 1988, vol. 38, No. 11, p. 973-977.
11. 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.
12. Дерявко И.И., Зеленский Д.И., Перепелкин И.Г. и др. Реакторная обработка стержневых карбидных твэлов ЯРД и ЯЭДУ. – Доклады на V междунар. конф. "Ядерная энергетика в космосе, Подольск, 1999 г.", ч. 2, Подольск, ГосНИИ НПО "Луч", 1999, с. 539-543.
13. Дерявко И.И., Перепелкин И.Г., Пивоваров О.С., Стороженко А.Н. Экспериментальные методики для послереакторного исследования безоболочковых стержневых карбидных твэлов. – Вестник НЯЦ РК, Сер. Ядерная физика и реакторное материаловедение, 2001, вып. 4, с. 88-94.
14. Зубарев П.В. Жаропрочность фаз внедрения. – М., Металлургия, 1985. – 104 с.
15. Муравин Е.Л., Федик И.И. Статистическая модель термомеханической повреждаемости стержневых ТВС из хрупких материалов. – Доклады на III отрасл. конф. "Ядерная энергетика в космосе. Ядерные ракетные двигатели, Семипалатинск-21, 1992 г.", ч. 2, Подольск, НИИ НПО "Луч", 1993, с. 337-347.
16. Турчин В.Н., Емельянов А.Б., Рымашевский Г.А., Ланин А.Г. Структурные обособления в компактном карбиде циркония. – Порошковая металлургия, 1980, №1, с. 31-34.
17. Бернштейн В.А., Емельянов Ю.А., Степанов В.А. Прочность хрупких материалов. – Сб. "Физика металлов и материаловедение", вып. 341, Л., ЛПИ, 1975, с. 34-39.
18. Дерявко И.И., Ланин А.Г. Напряжения в спеченных тугоплавких соединениях. – Труды II всесоюз. симп. "Остаточные технологические напряжения", М., ИПМ АН СССР, 1985, с. 125-130.
19. Ланин А.Г., Дерявко И.И., Федотов М.А. Рентгенографическое исследование остаточных напряжений в заготовках из карбида циркония. – Сб. "Техника радиационного эксперимента", вып. 3, М., Атомиздат, 1975, с. 88-91.
20. Дерявко И.И., Ланин А.Г., Таубин М.Л. Методика рентгенодифрактометрической оценки уровней локальных напряжений в крупнозернистых спеченных материалах. – Порошковая металлургия, 1978, №2, с. 67-71.
21. Дерявко И.И., Ланин А.Г., Маскаев А.С. Рентгенографическое изучение временных микронапряжений в спеченных карбидах. – Порошковая металлургия, 1984, №10, с. 84-86.
22. Дегальцев Ю.Г., Пономарев-Степной Н.Н., Кузнецов В.Ф. Поведение высокотемпературного ядерного топлива при облучении. – М., Энергоатомиздат, 1987. – 208 с.

**КАРБИДТІ ӨЗЕКТІ ТВЭЛДЕР МЕН КАРБИДТІ УРАНСЫЗ
ӨЗЕКТЕРДІҢ РАДИАЦИЯЛЫҚ БЕРІКТЕНУІНІҢ СЕБЕПТЕРІ**

Дерявко И.И.

ҚР ҰЯО Атом энергиясы институты, Курчатов, Қазақстан

(U,Zr,Nb)C және (U,Zr)C+C (~40%-ға) тұратын карбидті твэлдердің және ZrC (~60%-ға) тұратын карбидті өзектердің РА реакторының гелилі ампулаларында ұзақ уақыт бірлесе сулеленуі жағдайында радиациялық беріктенуінің себептері мен механизмдерін анықтау бойынша реакторлық және реактордан тыс тәжірибелер нәтижелері ұсынылған.

**CAUSES OF THE RADIATION STRENGTHING OF THE CARBIDE
ROD FUEL PINS AND CARBIDE IN URANIUM RODS**

I.I. Deryavko

Institute of Atomic Energy NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The results of the in-pile and out-of-pile experiments on finding out the causes and mechanisms of the radiation strengthening of the carbide fuel pins of (U,Zr,Nb)C and (U,Zr)C+C (for ~40 %) and carbide rods of ZrC (for ~60 %) in the conditions of their long jointed irradiation in the helium ampoules of the reactor RA are presented.

УДК 621.039.526: 621.039.54

**РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СТЕРЖНЕВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ТВЭЛОВ НА
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ МАЛОЙ МОЩНОСТИ РЕАКТОРА ЯЭДУ**

Дерявко И.И.

Институт атомной энергии НАЦ РК, Курчатов, Казахстан

Представлены результаты исследований состояния стержневых керамических ТВЭлов после реакторных испытаний различной длительности (от 1 до ~5000 ч). Подробно рассмотрено влияние температуры и длительности облучения в гелии на деградацию исходных параметров карбидных ((U,Zr,Nb)C) и карбидрографитовых ((U,Zr)C+C) ТВЭлов. Показана высокая радиационная стойкость ТВЭлов в инертном теплоносителе.

ВВЕДЕНИЕ

Энергетический режим малой мощности (РММ) реактора двух- или трехрежимной ЯЭДУ предназначен для непрерывного обеспечения электрической энергией бортовых приборов установки. Условия эксплуатации стержневых керамических ТВЭлов на режиме РММ в целом представляются достаточно мягкими в сравнении с условиями их эксплуатации на остальных режимах работы реакторов ЯРД и ЯЭДУ. Единственное жесткое условие – это большая (до трех с половиной лет, т.е. до ~30000 ч) длительность непрерывной эксплуатации ТВЭлов в инертном теплоносителе. Это условие означает, что штатные карбидные (К2ЦН) и карбидографитовые (КГ2Ц) ТВЭлы ЯРД, эксплуатирующиеся на режиме РММ, должны обладать высокой радиационной стойкостью. Под радиационной стойкостью стержневых керамических ТВЭлов в конкретных условиях эксплуатации понимается такой интегральный показатель их работоспособности в радиационных и температурных полях, как способность топливных стержней длительно сохранять свою целостность, геометрическую форму, размеры, несущую способность и прочность, а также способность топливного материала длительно сохранять исходные физико-химические, физико-механические и структурные параметры.

Поэтому при выполнении в реакторах РА и ИРГИТ длительных испытаний штатных ТВЭлов ЯРД на режиме РММ реактора ЯЭДУ для более достоверного установления их работоспособности на этом режиме был проведен целый комплекс материаловедческих исследований ТВЭлов, имеющих различные температуры и длительности облучения: оценивалось изменение общего состояния ТВЭлов, определялись изменения их прочности и различных параметров. В частности, при оценке общего состояния облученных ТВЭлов в условиях "горячей" камеры обследовалось состояние поверхностей ТВЭлов (цвет и морфология) и определялось наличие и количество сломанных ТВЭлов, наличие и количество припеканий ТВЭлов друг к другу, наличие и величины углов закруток пучков ТВЭлов в нагревных секциях (НС), а также наличие искривлений стержней (пластических деформаций ТВЭлов), а вне камеры определялось присутствие поверхностных трещин в ТВЭ-

лах и наличие малых (не фиксирующихся визуально) искривлений топливных стержней. Для такой оценки использовались как стандартные, так и специально разработанные экспрессные методики [1]. Индивидуальные значения прочности ТВЭлов ($\sigma_{\text{в}}$)_i измерялись методом кручения целых стержней и их фрагментов. Определяемыми параметрами ТВЭлов являлись такие из них, как масса M_i , длина E_i , диаметр D_i , плотность γ_i , погонное электросопротивление R_i , микротвердость HV_i , период решетки (a_0)_i, статический модуль упругости E_i , состояние микроструктуры. Для определения параметров ТВЭлов, как и при оценке их общего состояния, использовались как стандартные, так и специально разработанные экспрессные методики [1].

Выполнение испытаний

Испытания ТВЭлов в беспротоочных гелиевых ампулах РА, РА-М и АПИ реактора РА проводились под давлением газа ~0,45 МПа (ТВЭлы в ампулах АПИ размещались в негерметичных облучательных капсулах ОК). Использовался гелий с содержанием примесного кислорода не выше $5 \cdot 10^{-4}$ % (об.) и температурой точки росы $t_{\text{т.р.}}$ не выше минус 65°C. После "холодного" полоскания ампул и последующего разогрева ТВЭлов до ~1000 К с несколькими "горячими" полосканиями чистота и влажность гелия удерживались на следующем уровне: $O_2 \leq 2 \cdot 10^{-3}$ % (об.); $N_2 \leq 2 \cdot 10^{-3}$ % (об.); $CH_4 \leq 5 \cdot 10^{-3}$ % (об.); $CO \leq 5 \cdot 10^{-3}$ % (об.); $t_{\text{т.р.}}$ – не выше минус 55°C.

Мощность реактора РА в ресурсных испытаниях поддерживалась на уровне, близком к 300 кВт, что обеспечивало облучение ТВЭлов в потоке тепловых нейтронов $\phi_{\text{т}} \sim 1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ($\phi_{\text{б}} \sim 3,4 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) при температуре облучения ТВЭлов в диапазоне от ~750 до ~1600 К (в зависимости от местоположения конкретного ТВЭла в активной зоне реактора). За время испытаний было осуществлено 114 пусков реактора общей длительностью 4803 часа.

Условия облучения ТВЭлов в заглушенных гелиевых каналах ТК100 реактора ИРГИТ были достаточно близкими к таковым в ампулах реактора РА: чистота, влажность и давление гелия в каналах и ампулах практически совпадали; очень близкими были и диапазоны температур $T_{\text{обл}}$ и средние значе-

ния потоков φ_r . (Тем не менее относительно кратковременные испытания ТВЭлов, осуществленные в реакторе ИРГИТ, рассматривались как дополнительные к ресурсным испытаниям в реакторе РА.)

Выполненные в ходе испытаний периодические замены отдельных облученных ампул необлученными были использованы для получения данных о влиянии увеличения длительности испытаний на изменение исходных параметров ТВЭлов. Увеличение длительности реакторного облучения топливного карбидного материала связано, как известно [1], с увеличением выгорания урана. Поэтому изменение исходных параметров у облученных ТВЭлов рассматривалось при проведении послереакторных исследований не столько в зависимости от реакторной наработки ТВЭлов τ , сколько в зависимости от глубины выгорания урана в ТВЭлах N_d . Уровень выгорания определялся по формуле

$$N_d = \varphi_r \tau \Sigma_f, \quad (1)$$

где Σ_f – макроскопическое сечение деления, составляющее для топливных композиций штатных ТВЭлов ЯРД величину $\sim 0,8 \dots 1,0 \text{ см}^{-1}$.

Вторым важным фактором, влияющим на изменение исходных параметров ТВЭлов, является температура облучения. Поскольку в ампулах, содержащих более тысячи ТВЭлов, температура измерялась только в двух точках центральной нагревной секции №4, определение значений температуры $T_{\text{обл}}$ каждого исследуемого ТВЭла осуществлялось расчетным путем, исходя из известных данных по материальным составам ТВЭлов и по высотным и радиальным распределениям энерговыделения в активной зоне реактора и в ТВС данной ампулы.

В основу расчета был положен метод суперпозиции радиальных температурных полей, в котором НС рассматривалась как многослойный цилиндр с осесимметричной загрузкой слоев по урану, эквивалентной загрузке данного ТВЭла. При этом осевые перетечки тепла по ампуле не учитывались. Радиальное температурное поле описывалось системой уравнений баланса тепла, включающих лучистую, конвективную и кондуктивную составляющие теплообмена. Граничным условием для решения системы являлась контролируемая термодарой температура наружной стенки чехла ампулы. Абсолютная погрешность расчета температуры ТВЭла не превышала 100 К.

СОСТОЯНИЕ ОБЛУЧЕННЫХ ТВЭЛОВ

По ходу ресурсных реакторных испытаний были выгружены и разделаны 27 ампул и каналов, при этом в 17 из них было оценено общее состояние ТВЭлов и определены изменения их прочности и основных параметров, в 2 каналах было оценено общее состояние ТВЭлов и определены изменения их прочности, а в остальных 8 ампулах и каналах была выполнена только оценка общего состояния ТВЭлов. Полученные результаты оценки общего состояния облученных ТВЭлов сводятся к следующему.

Припекание. Припеканий ТВЭлов друг к другу не было обнаружено ни в одной из тепловыделяющих сборок гелиевых ампул и каналов. Не обнаружено припеканий ТВЭлов и в условиях искусственного обжата пучков стержней в НС, когда в отдельные секции модернизированной ампулы РА-19М были установлены лишние уплотнительные периферийные вкладыши.

Состояние поверхности. При визуальной оценке состояния поверхности ТВЭлов обнаруживалось только изменение цвета (морфология сохранялась полностью), причем при ~ 300 -часовой наработке цвет еще соответствовал исходному, при ~ 600 -часовой длительности испытаний уже наблюдалось слабое потемнение поверхности у ТВЭлов низкотемпературных НС, а при наработках более 1000 часов фиксировалось сильное потемнение с образованием отдельных участков почернения от налетов сажи на сторонах ТВЭлов, обращенных к периферии НС.

Образование налета сажи было связано с испарением углерода с поверхностей графитовых деталей при наличии в ампулах конвекционных потоков, вызванных перепадами температуры по сечению НС и по высоте ТВС ампулы.

Закрутка. Во всех ресурсных ампулах, прошедших не менее трех реакторных пусков, были обнаружены закрутки пучков ТВЭлов в НС. Ранее при исследовании состояния ТВЭлов в проточных технологических каналах предполагалось, что наличие и величина закрутки пучков стержней в нагревных секциях связаны с воздействием на ТВЭлы высокоскоростного потока газа и осевой нагрузки от перепада давления газа по высоте ТВС.

Однако и при испытаниях в беспроточных ампулах, как оказалось, тоже возникают закрутки пучков ТВЭлов, которые следует объяснить наличием теплосмен в пучках (наличием периодических обжатов и прослаблений в пучках), поскольку величина угла закрутки пучка ТВЭлов зависела от количества этих теплосмен, т.е. от количества пусков (N) реактора. На рисунке 1 закрутка охарактеризована максимальным углом α_{max} закрутки стержней в какой-либо нагревной секции ампулы. Минимальный угол закрутки стержней α_{min} во всех ампулах был всегда намного (почти на порядок) ниже, чем α_{max} .

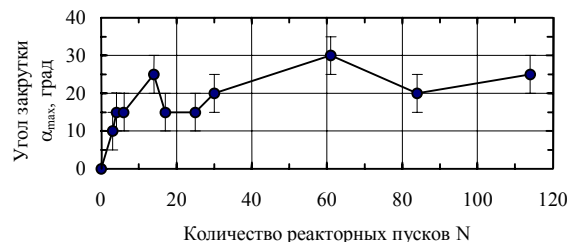


Рисунок 1. Увеличение максимального угла продольной осевой закрутки пучков ТВЭлов в отдельных НС ресурсных ампул с увеличением количества пусков N

Установлено также, что между направлениями закрутки (по часовой стрелке или против) в соседних НС не наблюдается никакой корреляции, т.е. пучок стержней каждой НС закручивался под влиянием теплосмен как самостоятельный элемент. При этом связь между величинами углов α в соседних НС также отсутствует.

Следует напомнить, что эффект закрутки является негативным моментом: в процессе закрутки диаметры пучка в торцах НС увеличиваются, и в ТВЭлах возникают изгибные напряжения, увеличивающиеся с увеличением угла α . Эти напряжения (максимальные у периферийных стержней) могут сохраняться в ТВЭлах, а могут релаксировать или за счет пластической деформации (за счет остаточных искривлений стержней), или за счет поломок стержней.

Поломки. Несмотря на наличие закруток пучков ТВЭлов, немногочисленные поломки периферийных ТВЭлов были обнаружены только в ампулах, прошедших более 60 реакторных пусков. Например, максимальная поврежденность ТВЭлов $D_{\max}$ в отдельных НС ампул РА-07 ($N = 84$) и РА-14 ($N = 114$) не достигала 3 %. Если иметь в виду, что часть поломок ТВЭлов в ампулах могла образоваться как в момент сборки ТВС ампулы, так и на стадии ее послереакторной разделки, то указанную величину следует уменьшить примерно вдвое. Поломки ТВЭлов во всех семи гелиевых каналах ТК100 отсутствовали.

Искривления. У всех исследованных ТВЭлов с наработками в диапазоне от 1 до ~1200 ч искривления не обнаруживались, незначительные искривления были зафиксированы (с помощью измерительного приспособления [1]) только у периферийных ТВЭлов отдельных НС трех ампул с наработками более 3000 ч.

В частности, у ТВЭлов из центральных зон нагревных секций ампулы РА-14 с наработкой ~5000 ч наличие искривлений не обнаруживалось даже при использовании измерительного приспособления (средний угол скатывания стержней β с платформы приспособления составил ~2°, что хорошо соответствовало средней величине угла β для исходных ТВЭлов большинства исследованных партий стержней). У ТВЭлов из периферийных зон нагревных секций этой ампулы угол β достигал значений не более 4°.

Трещины. У всех исследованных ТВЭлов с наработками вплоть до максимальной обнаружить появление поверхностных трещин не удалось.

Таким образом, результаты оценки общего состояния облученных ТВЭлов свидетельствовали о высокой радиационной стойкости штатных ТВЭлов ЯРД в условиях длительных реакторных испытаний на режиме РММ реактора ЯЭДУ. Основным положительным результатом – высокая степень сохранения целостности и геометрической формы ТВЭлов во всем диапазоне реакторных наработок. Некоторая потеря устойчивости у пучков ТВЭлов в НС ресурсных ампул не может рассматриваться как отрица-

тельный результат испытаний по следующим причинам. Во-первых, в условиях ЯЭДУ ТВЭлы эксплуатируются на энергетическом режиме малой мощности непрерывно, т.е. без теплосмен, а во-вторых, как это следовало из результатов оценки состояния ТВЭлов в каналах ТК100, в условиях взаимной перевязки нагревных секций вкладышами (в каналах каждый вкладыш продольно смещен в соседнюю секцию на 15 мм) закрутки пучков ТВЭлов будут отсутствовать.

Прочность облученных ТВЭлов

При прочностных исследованиях (измерения прочности $(\sigma_v)_i$ выполнялись на ТВЭлах 15 ампул и 4 каналов) был обнаружен эффект радиационного упрочнения топливных керамических стержней [3-8], который проявился очень рано: примерно после 7-часового облучения до выгорания урана ~ $2 \cdot 10^{16}$ дел./см³. Максимум упрочнения ТВЭлов (на ~40 %) был достигнут также очень рано – при выгорании ~ $6 \cdot 10^{16}$ дел./см³ после ~20-часового облучения; после этого упрочнение с ростом наработки τ (выгорания N_d) имело устойчивую тенденцию к снижению, но к концу испытаний еще сохранялось на уровне 20 %. Другими словами, был получен результат, указавший на высокую радиационной стойкости штатных ТВЭлов ЯРД: прочность облученных ТВЭлов σ_v' до конца ~5000-часовых испытаний остается на уровне не ниже их исходной прочности σ_v .

Обнаружено также, что уровни упрочнения и у КГ2Ц-, и у К2ЦН-ТВЭлов не зависят от температуры $T_{\text{обл}}$: для ТВЭлов каждой конкретной ампулы (канала) графические зависимости их упрочнения $\Delta\sigma_v/\sigma_v = f(T_{\text{обл}})$ практически всегда представляли собой горизонтальные прямые. В качестве примера на рисунок 2 показана одна из таких зависимостей.

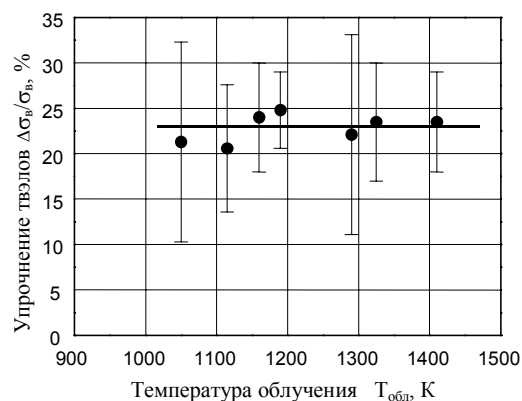


Рисунок 2. Уровни упрочнения КГ2Ц- и К2ЦН-ТВЭлов после 1157-часового облучения в ампуле РА-29 до выгорания ~ $3,8 \cdot 10^{18}$ дел./см³

При исследовании причин и механизмов эффекта атермического радиационного упрочнения ТВЭлов было установлено, что он полностью связан с интенсивным воздействием осколков деления на структуру спеченного керамического материала и

обусловлен превалированием процессов радиационно-нестимулируемого залечивания исходных технологических дефектов над процессами возникновения радиационных дефектов.

Установлена также высокая радиационная стойкость ТВЭлов с повышенным до 42 % (масс.) содержанием урана, испытанных в модернизированной ампуле РА-19М: после ~ 3000 -часовых испытаний до выгораний порядка $7 \cdot 10^{19}$ дел./см³ такие ТВЭлы полностью сохраняли целостность, а их разупрочнение не превышало 4 %.

В целом, все полученные результаты исследований прочностных характеристик штатных ТВЭлов ЯРД и ТВЭлов с повышенным содержанием урана (как и результаты оценки общего состояния тех и других ТВЭлов) свидетельствовали о высокой радиационной стойкости штатных ТВЭлов ЯРД в условиях реакторных испытаний на энергетическом режиме малой мощности реактора ЯЭДУ.

ПАРАМЕТРЫ ОБЛУЧЕННЫХ ТВЭЛОВ

Знание характера изменения возможно большего количества параметров X_i с ростом дозы облучения облегчает прогнозирование поведения ТВЭлов под облучением в полноресурсных (до $\sim 3,5$ лет) испытаниях. Кроме того, одновременное определение относительных изменений ($\Delta X_i/X_i$) многих параметров ТВЭлов (отдельные из которых в определенном смысле повторяют друг друга, например длина L , диаметр D , период решетки a_0 , объем V , плотность γ), позволяет избежать грубых ошибок в установлении уровней и характера изменения каждого из параметров в отдельности.

Основная идея послереакторных исследований ТВЭлов состояла в прослеживании за изменением их параметров при увеличении длительности облучения τ (увеличении выгорания N_d). В результате было выяснено, что радиационные изменения почти всех параметров ТВЭлов зависят одновременно и от длительности, и от температуры облучения, причем эти изменения увеличиваются с увеличением τ , но уменьшаются (при данном τ) с увеличением $T_{обл}$. Это означает, что совместные данные по изменениям всех параметров ТВЭлов в зависимости от реакторной наработки τ можно представить на одном графике только для одной какой-либо температуры $T_{обл}$. Такой температурой была выбрана в дальнейшем $T_{обл}$, равная 1200 К.

Масса. Масса ТВЭла M в условиях длительного облучения в ампуле может как уменьшиться, так и увеличиться. Уменьшение M может быть связано с поверхностным неконгруэнтным испарением материала, а также с кинетическим вылетом осколков деления и диффузионным выходом газообразных продуктов деления под влиянием радиационного отжига. Увеличение M может быть результатом хемосорбционного взаимодействия материала поверхности ТВЭла с имеющимися в гелии примесями ки-

слорода, азота и водяного пара. Кроме того, увеличение M может быть вызвано образованием на поверхности ТВЭла сажистых отложений углерода, испаряющегося с поверхностей графитовых деталей ТВС. В связи с последним поверхности ТВЭлов, имеющих участки почернения, перед взвешиванием протирались бязевым материалом; после протирки на бязи, как правило, оставались черные следы, а поверхности ТВЭлов становились более светлыми.

Результаты измерений параметра M' у облученных топливных стержней показали весьма незначительные изменения масс у ТВЭлов всех ампул со слабо выраженной тенденцией к увеличению с увеличением τ . В частности, у ТВЭлов, облученных в ампуле с максимальной (~ 5000 ч) наработкой, среднее значение привесов $\Delta M/M$ даже при $T_{обл} \sim 1550$ К не превышало 0,04 %.

Электросопротивление. Электросопротивление ТВЭлов заметным образом (на десятки процентов) увеличивалось с повышением дозы облучения, обнаруживая при этом существенную зависимость от температуры $T_{обл}$ (рисунок 3). Прирост электросопротивления $\Delta R/R$ при выбранной для сопоставительного анализа температуре $T_{обл}$, равной 1200 К, с увеличением N_d в диапазоне $1,6 \cdot 10^{16} \dots 1,8 \cdot 10^{19}$ дел./см³ увеличивался от $\sim 0,5$ % до ~ 70 %.

Линейные размеры. Увеличение периодов решетки ТВЭлов a_0 с повышением дозы облучения наблюдалось вплоть до выгорания $\sim 4 \cdot 10^{18}$ дел./см³, причем это увеличение, как и увеличение длин и диаметров ТВЭлов, сильно зависело от температуры $T_{обл}$. В качестве примера на рисунке 4 представлены две температурные кривые – для $\Delta L/L$ и для $\Delta a_0/a_0$. (Данные по $\Delta D/D$ не показаны, т.к. погрешности определения утолщений тонких стержней на 1-2 порядка выше погрешностей определения их удлинений.) Удлинения ТВЭлов при температуре $T_{обл}$, равной 1200 К, увеличивались от $\sim 0,01$ % (при $N_d \sim 3,2 \cdot 10^{16}$ дел./см³) до $\sim 0,45$ % (при $N_d \sim 1,8 \cdot 10^{19}$ дел./см³).

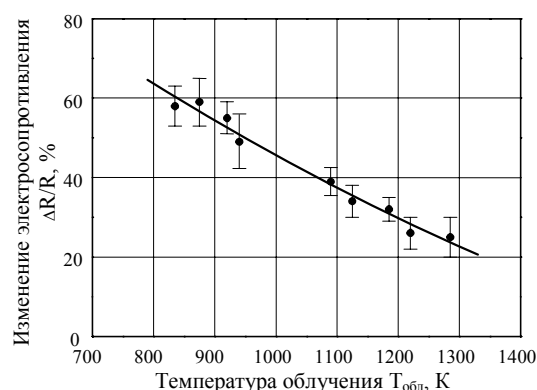


Рисунок 3. Температурная зависимость радиационного изменения электросопротивления у K2ЦН-ТВЭлов (ампула РА-20; $N_0 \sim 9,5 \cdot 10^{17}$ дел./см³)

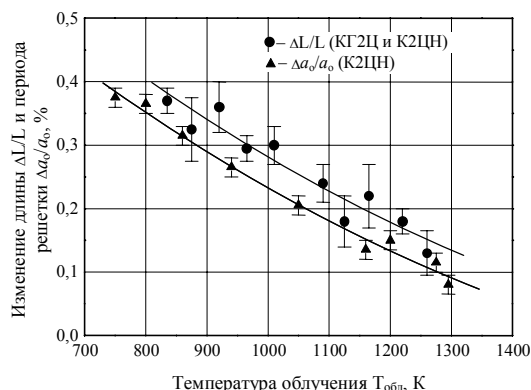


Рисунок 4. Температурная зависимость радиационного изменения длины и периода решетки у твэлов ампулы РА-23 ($N_d \sim 5,3 \cdot 10^{17}$ дел./см³)

У твэлов с повышенным до 42 % (масс.) содержанием урана, испытанных в ампуле РА-19М при $T_{обл} \sim 1450$ К до выгорания $\sim 6,9 \cdot 10^{19}$ дел./см³, величина $\Delta L/L$ составила $\sim 0,27$ %. Экстраполяция значений $\Delta L/L$ к температуре $T_{обл} \sim 1200$ К дала величину удлинения таких твэлов, близкую к 0,5 %. Уместно отметить, что такая же экстраполяция значений прироста электросопротивления этих же твэлов при температуре $T_{обл} \sim 1450$ К (~ 47 %) дала величину $\Delta R/R$ при $T_{обл} \sim 1200$ К, близкую к 75 %.

Плотность. Природа увеличения параметров L , D и a_0 у облученного твэла (как и природа увеличения параметра R) связана с накоплением в карбидном материале радиационных дефектов [9-11] точечного, линейного, двумерного или объемного характера. Накопление дефектов имеет место всегда, когда температура облучения не достаточна для полного отжига всех возникающих дефектов.

Процессы накопления дефектов, т.е. процессы увеличения концентрации простейших — точечных — дефектов типа пар Френкеля и процессы образования все большего количества сложных комплексов из простых дефектов, приводят и к увеличению рассеяния электронов проводимости, что вызывает рост электросопротивления, и к набуханию (твердому и газовому) карбидного материала, что вызывает увеличение линейных размеров твэла. Очевидно, что из прироста линейных размеров твэлов можно легко определить величину их набухания $\Delta V/V$, или снижения плотности $\Delta \gamma/\gamma$, т.к. при условии изотропности набухания и при малых значениях $\Delta X/X$ справедливым становится соотношение

$$3\Delta L/L = 3\Delta D/D = \Delta V/V = -\Delta \gamma/\gamma. \quad (2)$$

В связи с отмеченным при определении радиационного набухания твэлов $\Delta V/V$ использовались два способа нахождения этой величины — путем гидростатических измерений и путем расчета на основании данных по $\Delta L/L$. Это позволяло, во-первых, повысить точность определения $\Delta V/V$, а во-

вторых, контролировать изотропность изменения объема твэлов.

Например, при развитии в твэлах процессов ползучести в осевом направлении (под действием сжимающей нагрузки) возникнет некоторое пластическое укорочение и утолщение стержней, дополнительное к их изотропному радиационному набуханию. При этом величина набухания твэлов $(\Delta V/V)_{гидр}$, найденная из результатов гидростатических измерений, окажется большей, чем величина набухания твэлов $(\Delta V/V)_{удл}$, вычисленная из результатов измерений их удлинений $\Delta L/L$, поскольку изменение объема у твэлов в этом случае зависит одновременно и от $\Delta L/L$, и от $\Delta D/D$:

$$\Delta V/V = \Delta L/L + 2\Delta D/D. \quad (3)$$

В результате выполненного прослеживания за изменениями объемов твэлов $(\Delta V/V)_{гидр}$ и $(\Delta V/V)_{удл}$ с ростом дозы облучения было установлено, что во всем диапазоне изменения N_d значения $(\Delta V/V)_{гидр}$ в пределах погрешностей измерений совпадают со значениями $(\Delta V/V)_{удл}$. В качестве примера можно указать на результаты, полученные в для К2ЦН-твэлов: после ~ 3000 -часового облучения этих твэлов в модернизированной ампуле РА-19М до выгорания $\sim 0,8 \cdot 10^{19}$ дел./см³ значения $(\Delta V/V)_{гидр}$ и $(\Delta V/V)_{удл}$ при ~ 1200 К составили соответственно 1,16 % и 1,23 %.

Модуль упругости. Изменение статического модуля упругости было определено у твэлов всех ампул с наработками τ выше 100 ч. Выявлено значительное влияние повышения температуры $T_{обл}$ на снижение радиационного изменения (уменьшения) модуля упругости твэлов. Как видно из рисунка 5, при температурах, различающихся на 500 К, уровни радиационного уменьшения модуля $\Delta E/E$ различаются примерно в шесть раз.

При прослеживании за изменением модуля упругости у твэлов, испытанных при $T_{обл} \sim 1200$ К, установлено, что с увеличением дозы облучения величина уменьшения модуля $\Delta E/E$ увеличивается от ~ 1 % при $N_d \sim 2,2 \cdot 10^{17}$ дел./см³ до ~ 10 % при выгорании на уровне 10^{19} дел./см³.

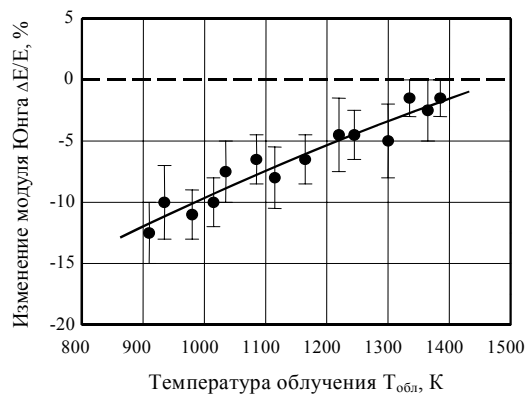


Рисунок 5. Температурная зависимость радиационного изменения модуля упругости у КГ2Ц- и К2ЦН-твэлов (ампула РА-21; $N_d \sim 2,1 \cdot 10^{18}$ дел./см³)

Микротвердость. Определение микротвердости HV' выполнялось только для ТВЭлов, имевших относительно большие (более 150 ч) наработки и соответствующие выгорания (более $5 \cdot 10^{17}$ дел./см³), причем в исследованиях участвовало, как правило, ограниченное количество образцов (обычно около 6 образцов на ампулу). Тем не менее результаты этих исследований позволяют говорить о влиянии температуры облучения на величину изменения (прироста) микротвердости. Удалось установить также и характер влияния дозы облучения при температуре $T_{обл}$, близкой к 1200 К, на величину прироста микротвердости: при увеличении выгорания от $\sim 5 \cdot 10^{17}$ до $\sim 2 \cdot 10^{19}$ дел./см³ этот прирост увеличивался от $\sim 5\%$ до $\sim 18\%$.

Все обсуждавшиеся выше результаты исследований параметров облучения ТВЭлов, относящиеся к температуре $T_{обл} \sim 1200$ К, совместным образом представлены на рисунке 6 в виде их дозовых зависимостей $\Delta X_i/X_i = f(N_d)$. Здесь каждый вертикальный ряд точек (кроме четвертого ряда справа) – это значения $\Delta X_i/X_i$ у ТВЭлов каждой отдельной ампулы или канала.

Достаточно сложный вид кривой $\Delta R/R = f(N_d)$, как и имеющийся разброс точек у многих зависимостей $\Delta X_i/X_i = f(N_d)$, обусловлен особенностями выполнения длительных реакторных испытаний, при которых температура $T_{обл}$ у испытываемых ТВЭлов не оставалась постоянной, а изменялась от пуска к пуску, причем иногда весьма заметным образом. Средние значения мощности реактора в каждом из 114 пусков, как правило, были различными, что вызывало соответствующие изменения температуры испытаний ТВЭлов от пуска к пуску (см. рисунок 7, где цифры на полках – это мощность реактора в киловаттах).

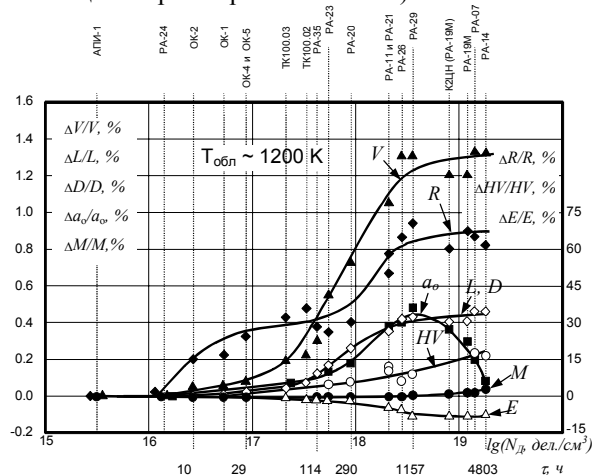


Рисунок 6. Изменение параметров ТВЭлов при температуре $T_{обл} \sim 1200$ К в зависимости от глубины выгорания урана N_d (длительности облучения τ)



Рисунок 7. Характер изменения температуры ТВЭлов при испытаниях в 11 пусках РА2-19, ..., РА3-9 (указаны максимальные значения $T_{обл}$ у ТВЭлов ампул второго кольцевого ряда)

Очевидно, что по отношению к ТВЭлам, прошедшим испытания в подобных условиях, можно говорить лишь о некоторой эффективной температуре $T_{обл}$ их испытаний. При этом наличие подъемов и спадов температуры $T_{обл}$ от пуска к пуску различным образом отражается на уровне радиационных изменений параметров ТВЭлов. Снижение температуры облучения ТВЭлов по сравнению с $T_{обл}$ в предшествующем пуске практически не влияет на концентрацию и качественный состав ранее накопленных радиационных дефектов, а повышение температуры $T_{обл}$ выше таковой в предшествующем пуске, наоборот, вызывает и заметное снижение концентрации ранее накопленных дефектов, и изменение качественного состава этих дефектов (имеется в виду повышение интенсивности радиационного отжига радиационных дефектов). В этом смысле наличие в отдельных пусках сильных подъемов температуры (как в пусках №2 и №5) существенно затрудняет надежную оценку эффективной температуры $T_{обл}$ ТВЭлов, что и вносит основной вклад в разброс экспериментальных данных на рисунке 6.

Тем не менее из рисунка 6 хорошо виден главный результат исследований параметров облученных ТВЭлов: при температуре $T_{обл}$, близкой к 1200 К, наблюдаются относительно невысокие изменения всех параметров ТВЭлов при длительности испытаний вплоть до ~ 5000 ч. Это еще раз указывает (в дополнение к результатам оценки общего состояния ТВЭлов и результатам прочностных исследований) на высокую радиационную стойкость карбидных и карбидографитовых ТВЭлов в инертном теплоносителе.

На высокую радиационную стойкость ТВЭлов дополнительно указывало также и отсутствие существенных изменений их микроструктуры при использовании световой микроскопии. У КГ2Ц- и К2ЦН-ТВЭлов, облученных в течение ~ 3000 , ~ 4500 и ~ 5000 ч, методами количественной металлографии [12] были определены величины макропористости структуры (П) до и после испытаний. Установлено,

что у всех исследованных ТВЭлов значения Π в исходном состоянии совпадают в пределах погрешностей измерений со значениями Π' после облучения. В частности, у показанных на рисунке 8 микроструктурах КГ2Ц-ТВЭлов величины Π и Π' составляли соответственно 31 % и 36 %, а у К2ЦН-ТВЭлов – 23 % и 22 %.

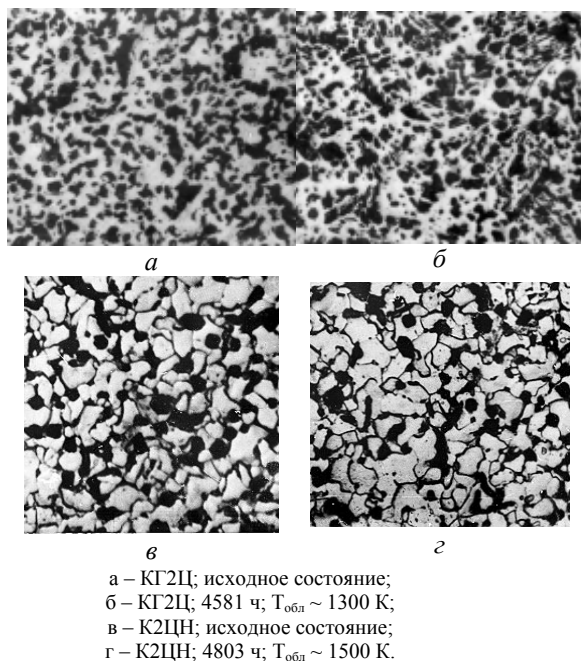


Рисунок 8. Микроструктура ($\times 100$) ТВЭлов до и после испытаний в гелиевых ресурсных ампулах

При рентгенографических исследованиях исходных и облученных ТВЭлов было обращено внимание на то, что у ТВЭлов с наработками более 1000 ч ($N_d > 3,5 \cdot 10^{18}$ дел./см³) характер радиационного изменения форм дифракционных линий начал заметно усложняться. Первоначальное ослабление интенсивностей линий и их смещение в сторону меньших брегговских углов θ , к которому в дальнейшем добавилось появление слабых диффузных отражений со стороны больших углов θ , начали переходить в заметное уширение брегговских отражений, уменьшение величины смещения линий относительно исходного состояния и увеличение интенсивности диффузных отражений, располагающихся теперь со стороны меньших углов θ .

В итоге у ТВЭлов с наработками свыше 3000 ч ($N_d > 1 \cdot 10^{19}$ дел./см³) асимметричное уширение линий, содержащих брегговские и диффузные компоненты, оказывалось настолько сильным, что процедура нахождения на дифрактограммах положений брегговских отражений θ_b становилась весьма затруднительной и дающей только ориентировочные значения. При этом у ТВЭлов с повышенным до 30 % (масс.) и 42 % (масс.) содержанием урана, облученных в ампуле РА-19М до выгораний соответственно

$\sim 3,3 \cdot 10^{19}$ и $\sim 6,9 \cdot 10^{19}$ дел./см³, значения углов θ_b вообще не удалось определить.

Зафиксированные сильные изменения форм дифракционных линий не являются признаком сильной деградации структуры топливного карбида, а представляют естественный и достаточно типичный рентгенографический эффект, связанный с высокой чувствительностью рентгеновского метода и вызванный накоплением в сильно облученном материале радиационных дефектов вполне определенного класса [9,10,13-15], т.е. точечных дефектов (преимущественно вакансионных), их малых объемных скоплений, дислокационных петель малого диаметра, а также протяженных дефектов типа краудионов, дислокаций, дефектов упаковки.

Например, установленное снижение прироста периода решетки (см. кр. a_0 на рисунке 6) у ТВЭлов с выгораниями более $5 \cdot 10^{18}$ дел./см³ обусловлено, в частности, значительным превышением концентрации дефектов вакансионного типа над концентрацией дефектов межузельного типа. Подобное снижение a_0 при высоких выгораниях было обнаружено ранее К.П. Власовым с сотр. [16] при испытании фрагментов карбидных стержневых ТВЭлов в гелиевых ампулах реактора ИВВ-2.

Снижение a_0 становится понятным при сравнении влияния вакансий (в) и межузельных атомов (м) на изменение атомного объема $\Delta v/v$ при образовании каждого из этих точечных дефектов. Поскольку при образовании вакансии максимальное уменьшение атомного объема $\Delta v_v/v$ составляет для ГЦК-кристаллов только 0,2, а максимальное увеличение атомного объема $\Delta v_m/v$ при образовании межузельного атома достигает 1,7 [9, 13], то, как видно из выражения

$$\Delta a_0/a_0 = c \Delta v / (3v) = (c_v \Delta v_v + c_m \Delta v_m) / (3v), \quad (4)$$

для уменьшения величины $\Delta a_0/a_0$ концентрация вакансий c_v должна значительно превышать концентрацию межузельных атомов c_m .

Возвращаясь снова к рисунку 6, следует в заключение обратить внимание на общий характер изменения отдельных параметров ТВЭлов под облучением. Можно видеть, что практически все кривые $\Delta X_i/X_i = f(N_d)$ выходят или уже вышли на насыщение. Это дает основание утверждать, что в случае дальнейшего увеличения длительности облучения в принципе не может произойти резкое увеличение изменений этих параметров. А поскольку изотропное распухание ТВЭлов $\Delta V/V$ сохранится на уровне $\sim 1,5$ % и, следовательно, не произойдет заметный прирост бандажных напряжений в пучках ТВЭлов и изгибных напряжений в отдельных стержнях, то все ТВЭлы должны остаться целыми.

Таким образом, все полученные результаты однозначно свидетельствуют о высокой радиационной стойкости штатных ТВЭлов ЯРД в условиях длительных испытаний в реакторе РА. Кроме того, на основании этих результатов можно утверждать, что

штатные ТВЭЛЫ ЯРД должны полностью сохранить свою работоспособность при полноресурсной эксплуатации в реакторе ЯЭДУ на режиме РММ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Материаловедческими исследованиями, сопровождающимися длительными (до ~5000 ч) испытаниями штатных ТВЭЛОВ ЯРД в реакторах РА и ИРГИТ на энергетическом режиме малой мощности реактора ЯЭДУ, установлена их высокая работоспособность на этом режиме вплоть до выгорания урана $\sim 2 \cdot 10^{19}$ дел./см³. Показано, что у ТВЭЛОВ отсутствует изменение состояния поверхности, практически полностью сохраняется целостность и геометрическая форма, обнаруживается радиационное упрочнение и фиксируются относительно невысокие радиационные изменения всех остальных параметров: в част-

ности, изотропное распухание при температуре $T_{\text{обл}} \sim 1200$ К составляет менее 1,5 %, а изменение микроструктуры практически отсутствует.

Установлена также высокая радиационная стойкость ТВЭЛОВ с повышенным до 42 % (масс.) содержанием урана: после ~3000-часовых испытаний до выгораний порядка $7 \cdot 10^{19}$ дел./см³ такие ТВЭЛЫ сохраняли целостность и близкое к исходному состояние поверхности, распухание их составляло при $T_{\text{обл}} \sim 1200$ К около 1,5 %, а разупрочнение не превышало нескольких процентов. Полученные результаты позволили высказать оптимистический прогноз относительно полного сохранения работоспособности у штатных ТВЭЛОВ ЯРД при полноресурсных испытаниях на энергетическом режиме малой мощности реактора ЯЭДУ длительно-стью до ~30000 часов (до ~3,5 лет).

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Дегальцев Ю.Г., Пономарев-Степной Н.Н., Кузнецов В.Ф. Поведение высокотемпературного ядерного топлива при облучении. – М., Энергоатомиздат, 1987. – 208 с.
3. Дерявко И.И., Тарасов В.И. Исследование изменений прочности ТВЭЛОВ после реакторных испытаний применительно к работе ЯЭДУ на двигательном 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.
4. Дерявко И.И., Жданов В.С., Перепелкин И.Г., Черепнин Ю.С. Радиационная стойкость топливных карбидных материалов при облучении в низкотемпературном реакторе. – Вопросы атомной науки и техники. Сер. Радиационные повреждения и радиационное материаловедение, 1993, вып. 1(60), с. 90-92.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Дерявко И.И. Причины радиационного упрочнения карбидных стержневых ТВЭЛОВ и карбидных безурановых стержней. – Вестник НЯЦ РК, 2004, (настоящее издание).
9. Ковальченко М.С., Огородников В.В., Роговой Ю.И., Крайний А.Г. Радиационное повреждение тугоплавких соединений. – М., Атомиздат, 1979. – 160 с.
10. Инденбом В.Л., Кирсанов В.В., Орлов А.Н., Иоффе А.Ф. Радиационные дефекты в кристаллах. – Вопросы атомной науки и техники, Сер. Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение, 1982, вып. 2(21), с. 3-16.
11. Кирсанов В.В., Суворов А.Л., Трушин Ю.В. Процессы радиационного дефектообразования. – М., Энергоатомиздат, 1985. – 272 с.
12. Хунгер Г. Избранные методы исследования в металловедении. М., Металлургия, 1985. – 416 с.
13. Косенков В.М. Рентгенография в реакторном материаловедении. М., Энергоатомиздат, 1985. – 104 с.
14. Кривоглаз М.А. Дифракционные методы исследования дефектов в кристаллах. – Вопросы атомной науки и техники, Сер. Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение, 1984, вып. 1(29), 2(30), с. 3-17.
15. Singh B., Zinkle S. Influence of irradiation parameters on damage accumulation in metals and alloys. – J. of Nuclear Materials, 1994, vol. 212, No. 2, p. 161-171.
16. Власов К.П., Меденцев В.П., Мозуль И.И. и др. Поведение под облучением материалов на основе тугоплавких карбидов. – Вопросы атомной науки и техники. Сер. Радиационные повреждения и радиационное материаловедение, 1983, вып. 4(27), с. 42-46.

**ӨЗЕКТІ КЕРАМИКАЛЫҚ ТВЭЛДЕРДІҢ ЯЭДУ КІШІ ҚУАТТЫ
РЕАКТОРЫНЫҢ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ РЕЖІМІНДЕГІ ЖҰМЫС ҚАБІЛЕТТІЛІГІ**

Дерявко И.И.

ҚР ҰЯО Атом энергиясы институты, Курчатов, Қазақстан

Өзекті керамикалық твэлдердің ұзақтығы әртүрлі (1-ден ~5000-сағ. дейін) реакторлық сынаулардан кейінгі жағдайын зерттеу нәтижелері ұсынылған. Гелииде сулелендірудің ұзақтығы мен температурасының карбидті ((U,Zr,Nb)C) және карбидографитті ((U,Zr)C+C) твэлдердің бастапқы параметрлерінің кемуіне әсері жан-жақты қаралды. Твэлдердің инертті жылутасымалдауыштағы радиациялық тұрақтылығы көрсетілген.

**SERVICEABILITY OF THE ROD CERAMIC FUEL PINS
IN THE LOW POWER ENERGY MODE OF THE REACTOR NEMF**

Deryavko I.I.

Institute of Atomic Energy NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The results of the researches of the rod ceramic fuel pins state after the in-pile tests of the different duration (from 1 to ~5000 hour) are presented. The effect of the temperature and irradiation duration in the helium on the degradation of the initial parameters of the carbide ((U,Zr,Nb)C) and carbide-graphite ((U,Zr)C+C) fuel pins is considered in detail. The high radiation durability of the fuel pins in the inert coolant is shown.

УДК 539.21:620.1:039.516

**ПОСЛЕРЕКТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ТВЭЛОВ,
ИСПЫТАННЫХ В АЗОТООХЛАЖДАЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАНАЛАХ АТК****Дерявко И.И.***Институт атомной энергии НАЦ РК, Курчатов, Казахстан*

Исследовано состояние стержневых керамических твэлов после кратковременных (~760 с) испытаний в проточных азотоохлаждаемых технологических каналах АТК реактора ИВГ.1. Установлена высокая радиационно-химическая стойкость карбидных и карбидографитовых твэлов в условиях высокотемпературного (до 2850 К) и высокоинтенсивного (до $2 \cdot 10^{14}$ тепл. нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$) реакторного облучения в потоке азоте.

ВВЕДЕНИЕ

Известно [1–3], что для обеспечения транспортных потребностей в ближнем космосе предполагается использование наземных реактор-лазерных установок ЯГДУ. В таких установках высокотемпературный газоохлаждаемый реактор служит для тепловой накачки высокоскоростного большерасходного потока рабочего газа, а мощный газодинамический лазер – для вывода на околоземные орбиты и маневрирования летательных аппаратов (в которых тяга создается за счет испарения твердого или разогрева газообразного рабочего тела лазерным лучом). Летательные аппараты с тягой, создаваемой через посредство лазера наземной ЯГДУ, могут использоваться для периодической доставки небольших, но важных грузов на космические спутники, станции, энергетические платформы и энергодвигательные установки; для перевода отработавших космических аппаратов на безопасные орбиты; для очистки ближнего космоса и т.д.

В обоснование возможности создания таких установок в начале 80-х годов в СССР были первые осуществлены испытания высокотемпературного газоохлаждаемого реактора с азотом в качестве теплоносителя, т.е. были выполнены пуски реактора ИВГ.1 с активной зоной, укомплектованной азотными технологическими каналами АТК. Твэлами ТВС каналов АТК являлись так называемые штатные твэлы ЯРД, т.е. стержневые безоболочковые карбидные (из $(\text{U}, \text{Zr}, \text{Nb})\text{C}$) и карбидографитовые (из $(\text{U}, \text{Zr})\text{C}+\text{C}$ и $(\text{U}, \text{Nb})\text{C}+\text{C}$) твэлы с содержанием урана в пределах 8–17 % (масс.).

Серия исследовательских реакторных пусков ИАП включала энергетический пуск ЭП длительностью ~160 с (при мощности реактора 44 МВт) и три типовых пуска ИАП-1, ИАП-2 и ИАП-3 общей длительностью ~510 с (при мощности реактора 110...115 МВт). Условия испытаний твэлов в типовых пусках (расход азота – до 40 кг/с; давление на входе в ТВС около 10 МПа, на выходе из ТВС примерно 4 МПа; максимальная температура азота на выходе из ТВС до 2700 К; максимальная теплонпряженность твэлов до 3 МВт/ м^2) хорошо соответствовали условиям их эксплуатации в реакторе ЯГДУ. В испытаниях использо-

вался азот с содержанием $\text{O}_2 \leq 5 \cdot 10^{-3}$ % (об.) и точкой росы не выше минус 55 °С.

Положительные результаты этих испытаний продемонстрировали принципиальную возможность создания реактора для установки ЯГДУ. Однако результаты предварительных исследований твэлов, выполненных в весьма ограниченном объеме (в 1984–1985 годах были исследованы твэлы только двух каналов АТК), еще не позволяли сделать однозначное заключение о работоспособности штатных твэлов ЯРД в условиях полноресурсной эксплуатации на режиме работы реактора ЯГДУ. Поэтому в конце 90-х годов были выполнены более обширные исследования на твэлах 10 каналов АТК, из которых 3 канала прошли пуск ЭП, 3 канала – три типовых пуска, а 4 канала – все пуска серии ИАП.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При визуальном освидетельствовании твэлов было выявлено вполне удовлетворительное их состояние во всех десяти каналах. Поломки твэлов практически полностью отсутствовали. Закрутки пучков твэлов в отдельных нагревных секциях (НС) были относительно небольшими и обнаруживались только в каналах, испытанных в трех или четырех пусках; максимальные значения углов закрутки не достигали 15°. Наличие искривлений у твэлов визуально не обнаруживалось ни в одном из каналов (рисунок 1). Лишь при инструментальных измерениях были обнаружены небольшие искривления керамических топливных стержней в высокотемпературных НС №6, №7 и №8 каналов, испытанных в трех или четырех пусках.

Цвет поверхности твэлов после испытаний в пуске ЭП остался близким к исходному в первых трех-четырех НС и приобрел в основном более темные (темно-серые и черные) оттенки в остальных секциях. Цвет поверхности твэлов после испытаний в трех или четырех пусках изменился во входных нагревных секциях до темного, бурого и светло-фиолетового, а в выходных НС №5, №6, №7 и №8 – до черного, золотисто-желтого, светло-коричневого, малинового, светло-голубого и темно-фиолетового. В секциях №5, №6, №7 и №8 каналов, испытанных в трех или четырех пусках, обнаруживались слегка

припеченные друг к другу твэлы, которые легко отделялись друг от друга без образования видимых поверхностных дефектов на участках припекания. И изменение цвета, и припекание твэлов друг к другу свидетельствовали о нитрировании и оксинитрировании их поверхности.

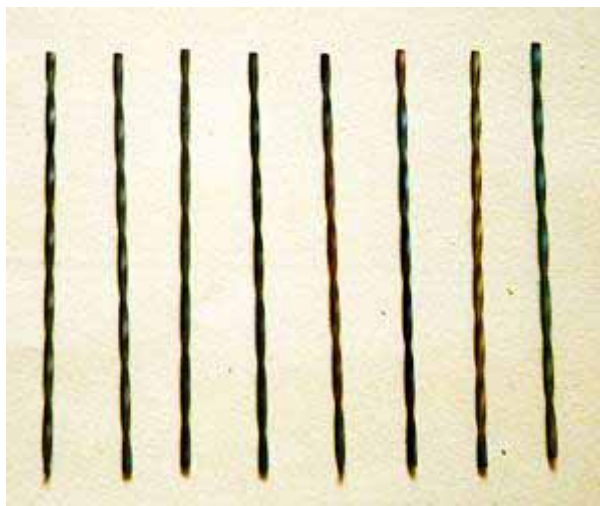


Рисунок 1. Твэлы канала АТК после 670-секундных испытаний, отобранные по одному из каждой нагревной секции: слева направо – НС №1, ..., №8

Морфология поверхности твэлов после испытаний в пуске ЭП не изменилась. У твэлов, испытанных в трех или четырех пусках, в высокотемпературных секциях №7 и №8 фиксировалась незначительная шероховатость. Поверхностных трещин у твэлов всех десяти каналов не обнаружено.

Далее были определены изменения таких параметров твэлов, как масса M , диаметр D , длина L , плотность γ , погонное электросопротивление R , модуль упругости E , среднemasсовый период решетки $\bar{a}_0$ и прочность $\sigma_{\text{в}}$, которые рассматривались отдельно для твэлов трех групп. В первую группу вошли твэлы, испытанные в пуске ЭП ($\tau \sim 160$ с; $N_d \sim 1,3 \cdot 10^{16}$ дел./см³; $(T_{\text{обл}})_{\text{max}} \sim 1850$ К), во вторую – твэлы, испытанные в трех типовых пусках ($\tau \sim 510$ с; $N_d \sim 1,0 \cdot 10^{17}$ дел./см³; $(T_{\text{обл}})_{\text{max}} \sim 2850$ К), а в третью – твэлы, испытанные в пуске ЭП и трех типовых пусках ($\tau \sim 670$ с; $N_d \sim 1,1 \cdot 10^{17}$ дел./см³; $(T_{\text{обл}})_{\text{max}} \sim 2850$ К).

Выяснено, что у твэлов всех групп не обнаруживается никакой тенденции к увеличению D и M с повышением температуры $T_{\text{обл}}$ по высоте ТВС. Отсутствие утолщений и привесов твэлов означало, что процесс нитрирования затронул только материал очень тонкого поверхностного слоя твэлов. (Последнее подтверждено металлографически: глубина нитрирования h_n даже у твэлов НС №7 и №8 третьей группы не превышала 10 мкм.).

Тот же вывод следовал и из результатов измерений L , γ , R , E и $\bar{a}_0$ твэлов, поскольку величины и знаки изменений этих параметров по высоте ТВС полностью соответствовали тем радиационным изменениям, ко-

торые должны происходить при данных температурах и дозах облучения. У твэлов первой группы эти изменения были пренебрежимо малы, а у твэлов второй и третьей групп они были, наоборот, вполне заметны. На рисунке 2 это показано на примере изменений L , R и $\bar{a}_0$ твэлов третьей группы.

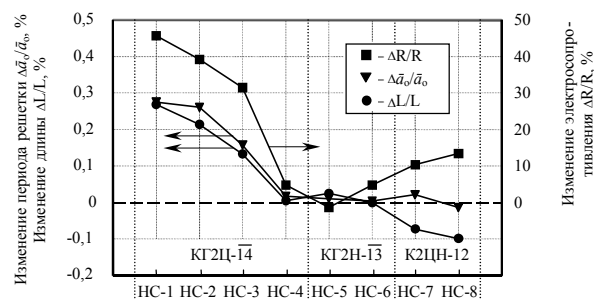


Рисунок 2. Изменение некоторых параметров твэлов после 670-секундных испытаний в каналах АТК

Видно, что радиационное увеличение R , $\bar{a}_0$ и L быстро снижается у твэлов первых трех НС с увеличением температуры $T_{\text{обл}}$ от ~ 750 до ~ 1450 К и практически полностью отсутствует у твэлов более высокотемпературных секций, начиная с НС №4 ($T_{\text{обл}} \sim 1850$ К), т.е. в температурной области, где скорость возникновения радиационных дефектов не превышает скорость их отжига. Некоторое уменьшение длины и электропроводности у твэлов НС №7 и №8 связано с их пластической деформацией под действием осевых сжимающих нагрузок.

Прочностные исследования (рисунок 3) показали практически полное отсутствие изменений прочности у твэлов первой группы. Полученное связано как с отсутствием в этих топливных стержнях заметных остаточных радиационных макронапряжений $\sigma_{\text{ост}}$ (из-за очень невысоких перепадов температуры по их сечениям [4]), так и с отсутствием в них заметного нитрирования (из-за небольшой длительности и температуры облучения). Наоборот, у твэлов второй и третьей групп имело место упрочнение в низкотемпературных НС и разупрочнение в высокотемпературных.

Относительно невысокое (на ~ 10 -20 %) упрочнение твэлов в первых трех входных НС связано с разупрочняющим влиянием нитрирования их поверхностей в условиях облучения в проточных каналах, поскольку при отсутствии нитрирования возникающие на поверхностях твэлов сжимающие напряжения $\sigma_{\text{ост}}$ обеспечили бы примерно вдвое-втрое большее их упрочнение. Разупрочнение твэлов во всех остальных НС этих каналов, достигающее ~ 30 % в наиболее высокотемпературных секциях, практически полностью связано с деградацией структуры материала в их тонких поверхностных слоях под влиянием процессов нитрирования (оксинитрирования).

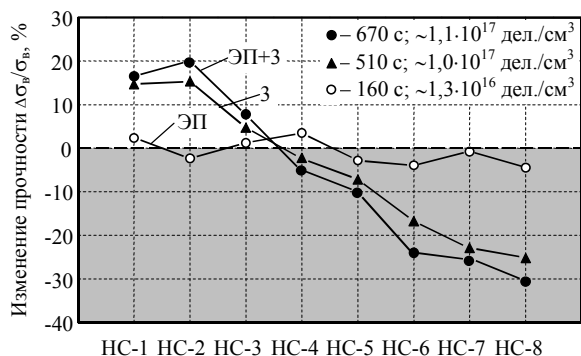


Рисунок 3. Изменение прочности твэлов, испытанных в каналах АТК

При этом надо иметь в виду, что, помимо негативного влияния процессов нитрирования (оксинитрирования), при испытаниях в условиях проточных каналов существуют и другие процессы, под влиянием которых также происходит деградация материала твэлов.

К таким процессам относятся, прежде всего, эрозия поверхности твэлов в высокоскоростном потоке высокотемпературного и химически агрессивного теплоносителя и характерное для карбидов неконгруэнтное испарение материала, выражающееся в основном в преимущественной потере углерода и урана. При прогнозировании изменений прочности твэлов в случае увеличения количества реакторных пусков с 4 до ресурсных 40, а также длительности испытаний с ~ 670 до ресурсных 5000 секунд необходимо, кроме того, учитывать, что на прочность твэлов начнет дополнительно сказываться негативное влияние процессов коррозии под напряжением [5], и усталости от вибрационных нагрузок [6].

Действительно, во-первых, при увеличении количества пусков и длительности испытаний будет увеличиваться закрутка пучков твэлов в НС и, следовательно, возрастать уровень бандажных и изгибных напряжений $\sigma_{\text{мех}}$ в твэлах, содержащих термические напряжения $\sigma_{\text{т}}$. В этом случае эффект коррозии (нитрирования) под напряжением вызовет у твэла, нагруженного механическими и термическими напряжениями, ускоренное разупрочнение материала поверхностного слоя, причем более заметное на стороне стержня с более высокими растягивающими напряжениями.

Во-вторых, поскольку турбулизированный поток азота вызывает в твэлах вибрации с частотой 2...8 кГц, то на их долговечность будут негативным образом влиять как сами вибрации, так и наложение этих циклических нагрузок с малой амплитудой на статические изгибные нагрузки (известно [6], что наложение малых циклических нагрузок на большую статическую представляет не меньшую опас-

ность для целостности образца, чем действие знакопеременной циклической нагрузки с амплитудой, равной величине указанной статической нагрузки).

Из сказанного вытекает, что негативное влияние на керамические твэлы таких во многом взаимосвязанных между собой процессов, как нитрирование, эрозия, неконгруэнтное испарение, коррозия под напряжением и циклическая усталость (сюда можно добавить и ползучесть в наиболее высокотемпературных НС), может к концу ресурсных испытаний привести к чрезмерно сильному разупрочнению твэлов и даже к их разрушению (что будет соответствовать недопустимо низкому уровню работоспособности штатных твэлов ЯРД на режиме работы реактора ЯГДУ). Поэтому первый принципиальный путь существенного улучшения ситуации состоит в замене материального состава твэлов: вместо карбидной композиции необходимо использовать карбонитридную.

Второй путь, предполагающий отсутствие замены состава твэлов и направленный на максимальное смягчение влияния наиболее опасных из негативных процессов, состоит в создании противозакруточных устройств в нагревных секциях каналов, что сведет к минимуму изгибные напряжения в твэлах, а следовательно, и развитие процессов коррозии под напряжением и циклической усталости в коррозионной среде. Тогда основным из оставшихся негативным процессом становится процесс нитрирования твэлов, где принципиальное значение имеет максимальная глубина нитрирования h_n топливного стержня, которая будет достигнута к концу ресурсных испытаний. Поскольку скорость нитрирования подчиняется параболическому закону (величина h_n пропорциональна $\tau^{1/2}$), то, имея в виду, что при $\tau \sim 670$ с максимальная величина h_n у твэлов высокотемпературных НС составляла ~ 10 мкм, к концу 5000-секундных испытаний она сможет достичь только около 30 мкм, что не должно создать опасность снижения прочности этих твэлов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследовано состояние керамических твэлов, испытанных в десяти проточных азотоохлаждаемых каналах АТК реактора ИВГ.1. Установлено, что штатные карбидные и карбидографитовые твэлы ЯРД обладают вполне достаточной работоспособностью в условиях кратковременных испытаний на режиме работы реактора ЯГДУ. Полученные результаты (с учетом рекомендации по устранению закруток пучков твэлов в НС) позволяют, кроме того, утверждать, что штатные твэлы ЯРД могут эксплуатироваться в реакторе ЯГДУ без изменения их конструкции и материального состава.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kantrowitz A. Propulsion to orbit by ground-based laser. – Astronautics and Aeronautics, 1971, vol. 10, No. 5, p. 74-76.
2. Lawrence R., Kare J., Zazworsky R., Monroe D. Sistem requirements for low-earth-orbit launch using laser propulsion. – SAND paper 91-1687C, June, 1991.
3. Монро Д., Уолкер Д. Лазер с ядерной накачкой как основной источник энергии для ядерных ракетных двигателей. – Доклады III отрасл. конф. "Ядерная энергетика в космосе. Ядерные ракетные двигатели. Семипалатинск-21. 1992 г.", ч. 3, Подольск, НИИ НПО "Луч", 1993, с. 701-711.
4. 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.
5. Коллинз Дж. Повреждение материалов в конструкциях. Анализ, предсказание, предотвращение. /Пер. с англ./. – М., Мир, 1984. – 624 с.
6. Черепанов Г.Н. Механика хрупкого разрушения. – М., Наука, 1974. – 640 с.

АТК АЗОТПЕН СУЙЫТЫН ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ АРНАЛАРДА СЫНАЛҒАН КЕРАМИКАЛЫҚ ТВЭЛДЕРДІҢ РЕАКТОРЛАРДАН КЕЙІНГІ ЗЕРТТЕУІ

Дерявко И.И.

ҚР ҰАО Атом энергиясы институты, Курчатов, Қазақстан

Өзекті керамикалық твэлдердің ИВГ.1. реакторының АТК ағынды азотпен суйытын технологиялық арналарындағы қысқа уақытты (~760 с) сынауларынан кейінгі жағдайы зерттелді. Карбидті және карбидграфитті твэлдердің азот тасқынында жоғары температуралы (2850 К дейін) және жоғары қарқынды ($2 \cdot 10^{14}$ дейін жылу нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$) реакторлық сәулелену жағдайларындағы жоғары радиациялық-химиялық тұрақтылығы анықталды.

POST-IN-PILE RESEARCH OF THE CERAMIC FUEL PINS, TESTED IN THE NITROGEN COOLED TECHNOLOGICAL CHANNELS (NTC)

Deryavko I.I.

Institute of Atomic Energy NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The state of the rod ceramic fuel pins after the short-term (~760 c) tests in the flux nitrogen cooled technological channels (TEC) of the IVG1 reactor is investigated. The high radiation-chemical durability of the carbide and carbide-graphite fuel pins in the conditions of the high-temperature (to 2850 K) and high-intensive (up to $2 \cdot 10^{14}$ heat neutrons/ $(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$) reactor irradiation in the nitrogen flux is determined.

УДК 550.344

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ
ЭФФЕКТОВ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РАЙОНАХ ТЯНЬ-ШАНЯ И ПАМИРА**¹⁾Копничев Ю.Ф., ²⁾Соколова И.Н.¹⁾Объединенный институт физики Земли РАН, Москва, Россия
²⁾Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Анализируются пространственно-временные вариации макросейсмических эффектов при 32 сильных землетрясениях ($M \geq 6.0$) в районах Тянь-Шаня и Памира, произошедших в 1885-1992 гг. Рассматривается: средний радиус 6-балльной изосейсты R'_6 , приведенный к магнитуде $M=7.0$, а также отношение средних радиусов 4-х и 6-балльных изосейст (R_4/R_6). Установлено постепенное уменьшение значений параметров R'_6 и R_6/R_4 с конца 1800-х до 1970-1975 гг. После 1975 г. значения параметров резко возрастают. Отмечено также, что часто после сильных близких коровых землетрясений и глубокофокусных гиндукушских событий величина R'_6 резко падает, а значение R_4/R_6 – в среднем возрастает. Предлагается интерпретировать обнаруженные эффекты в связи с подъемом в верхнюю кору ювенильных флюидов в очаговых зонах сильных землетрясений и дальнейшей миграцией их в горизонтальном направлении, что приводит к увеличению затухания амплитуд сильных движений.

ВВЕДЕНИЕ

В [1-3] путем анализа записей подземных ядерных взрывов (ПЯВ), произведенных на Семипалатинском испытательном полигоне, установлены существенные пространственно-временные вариации отношения амплитуды волн Lg и Pg (параметра Lg/Pg) по данным различных станций, расположенных в районах Тянь-Шаня, Туранской плиты и Казахской платформы. Полученные данные интерпретировались как доказательства крупномасштабной миграции флюидов в земной коре, вызванной длительной серией ПЯВ, а также до и после сильных землетрясений в районе Тянь-Шаня. Очевидно, что эффекты миграции флюидов должны проявляться и в других сейсмических полях. Для проверки этого предположения в настоящей работе рассматриваются вариации некоторых параметров, связанных с макросейсмическими проявлениями сильных землетрясений в районах Тянь-Шаня и Памира.

**ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ИХ
ОБРАБОТКИ**

Использовались первичные данные о макросейсмических параметрах 32 сильных коровых землетрясений Тянь-Шаня и Памира с $M \geq 6.0$, произошедших в период с 1885 г. по 1992 г. (таблица 1), которые были опубликованы в монографии [4], а также в сборниках «Землетрясения в СССР в 1975-1990 гг.» и «Землетрясения Северной Евразии в 1991-1995 гг.». Глубина гипоцентров h , определенная по инструментальным данным, не превышала 30 км (по макросейсмическим – 50 км). Для каждого землетрясения определялись следующие параметры макросейсмического поля:

1. Средний радиус 6-балльной изосейсты R'_6 (км), приведенный к магнитуде $M=7.0$.

Процедура приведения выполнялась следующим образом. В [4] приведено выражение, связывающее интенсивность I (балл), магнитуду M , средний ради-

ус изосейсты R_i (км) и глубину очага h (км) в целом для региона Средней Азии, включающего Тянь-Шань и Памир:

$$I = 1.5 M - 3.5 \lg \sqrt{R_i^2 + h^2} + 3.0. \quad (1)$$

Из (1) получено выражение для определения приведенного радиуса R'_6 , соответствующего магнитуде $M=7.0$:

$$\lg \sqrt{R_6'^2 + h^2} = \lg \sqrt{R_6^2 + h^2} - 0.43(M-7.0), \quad (2)$$

где R_6 (км) – исходный средний радиус 6-балльной изосейсты для данного землетрясения.

Отмечено, что при $M < 6.0$ величины R_6 и h для района Средней Азии оказываются, как правило, одного порядка, поэтому большая погрешность определения глубины гипоцентров (особенно до середины 20-го века) резко снижает точность определения параметра R'_6 . По этой причине данные для событий с $M < 6.0$ исключались из анализа. Кроме того, не рассматривались землетрясения, для которых величина R_6 была определена ненадежно (например, Арганкульское землетрясение 1935 г. с $M=6.1$).

2. Отношение радиусов 4-балльной и 6-балльной изосейст (R_4/R_6).

Выбор данного параметра связан со следующими обстоятельствами. Во-первых, для $I=4-6$ баллов имеется наибольший объем данных. Во-вторых, как будет показано ниже, сейсмические волны, соответствующие 6-балльным изосейстам, распространяются в основном в верхней части земной коры, где в первую очередь можно ожидать миграцию флюидов в горизонтальном направлении, поскольку она характеризуется наибольшей проницаемостью пород [5]. В то же время при 4-балльных изосейстах волны проникают в нижнюю кору и верхи мантии, поэтому величину R_4 можно использовать в качестве референс-радиуса, на фоне которого удобно выделять временные вариации параметра R_6 .

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ
ЭФФЕКТОВ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РАЙОНАХ ТЯНЬ-ШАНЯ И ПАМИРА**

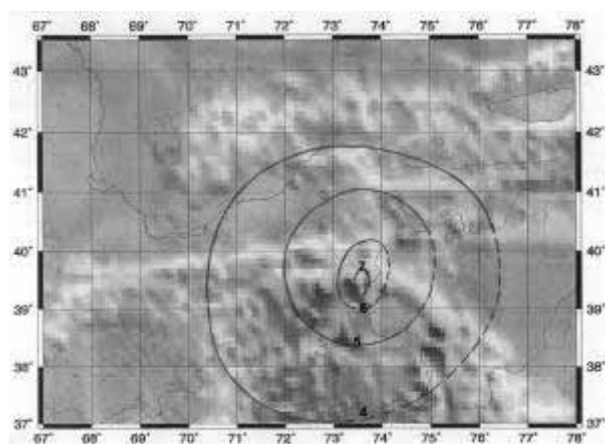
Таблица 1. Параметры сильных коровых землетрясений Тянь-Шаня

Название	год	дата	φ°	λ°	h, km	M	R_6 , км	R_4/R_6	R'_6 , км
Беловодское	1885	02.08	42.70	74.10	15	6.9	110		120
Верненское	1887	08.06	43.10	76.80	20	7.3	180	2.3	135
Чиликское	1889	10.07	43.20	78.70	40	8.3	370	2.2	100
Артышское	1896	01.11	39.70	75.90	25	6.6	80	4.3	120
Уратюбинское (I)	1897	17.09	39.80	68.40	25	6.6	75	3.9	115
Уратюбинское (II)	1897	17.09	39.90	68.00	45	6.7	105	3.4	145
Кашгарское (I)	1902	22.08	39.80	76.20	40	8.1	290	2.5	100
Андижанское	1902	04.12	40.80	72.30	9	6.4	60	3.8	110
Айваджское	1906	24.10	36.50	68.00	32	6.8	90	5.6	115
Каратагское (I)	1907	21.10	38.70	68.10	24	7.3	170	2.6	125
Сарезское	1911	18.02	38.20	72.80	26	7.4	130	2.1	90
Кеминское	1911	03.01	42.90	76.90	25	8.2	150	3.5	45
Арганкульское (I)	1934	31.08	38.90	70.90	8	6.5	24	4	45
Пскемское	1937	18.11	42.10	70.90	25	6.5	55	4.9	95
Кемино-Чуйское	1938	20.06	42.70	75.80	21	6.9	105	4.7	115
Гармское	1941	20.04	39.20	70.50	8	6.4	60	3.5	110
Файзабадское	1943	11.01	38.62	69.30	10	6.0	36		100
Чаткальское	1946	02.11	42.90	72.00	30	7.5	170	3.2	100
Хаитское	1949	10.07	39.20	70.80	16	7.4	80	5.3	55
Улугчатское	1955	15.04	39.90	74.60	50	7.1	75	4.5	70
Каракульское	1963	16.10	38.70	73.34	17	6.5	60	3.8	100
Сарыкамышское	1970	05.06	42.48	78.89	15	6.8	35	6	45
Маркансуйское	1974	11.08	39.39	73.86	18	7.3	55	4.7	40
Исфара-Баткенское	1977	31.01	40.08	70.86	25	6.1	37		106
Даравт-Курганское	1978	01.11	39.39	72.00	20	6.8	64		80
Жаланаш-Тюпское	1978	24.03	42.88	78.58	15	7.0	90	2.8	90
Алайское	1983	16.12	39.40	73.00	10	6.1	45	3.4	110
Кашгарское (II)	1985	23.08	39.37	75.44	20	7.0	210	1.9	210
Кайракумское	1985	13.10	40.30	69.80	10	6.0	32		90
Байсорунское	1990	12.10	43.08	77.97	15	6.4	70		130
Кочкоратинское	1992	15.05	41.15	72.42	5	6.2	33		75
Сусамырское	1992	19.08	42.24	73.59	25	7.3	147		110

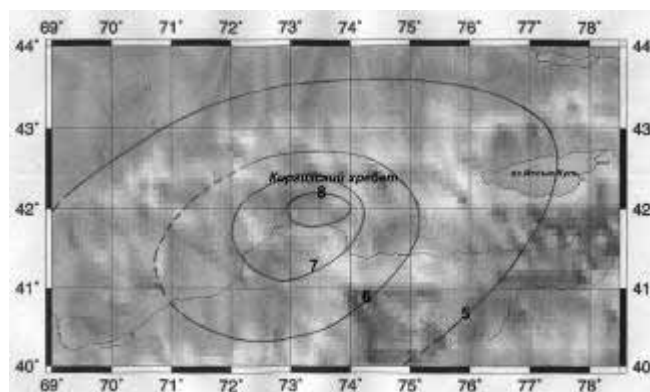
АНАЛИЗ ДАННЫХ

В таблице 1 приведены сведения о рассматриваемых землетрясениях и параметрах R_6 и R_4/R_6 . Величина R_6 варьируется от 40 до 210 км, в среднем составляя 100 ± 34 км. На рисунке 1 показаны схемы изосейст для двух землетрясений примерно одинаковой энергии – Маркансуйского 1974 г. и Сусамырского 1992 г. (таблица 1). Очаги землетрясений имели также близкие глубины – 18 и 25 км, соответственно. Вместе с тем, размеры высших изосейст для них резко различаются. Для Маркансуйского

землетрясения макросейсмические эффекты оказались достаточно слабыми, поэтому не удалось даже оценить площади, охваченные 7- и 8-балльными изосейстами. Для Сусамырского землетрясения средний размер 6-балльной изосейсты почти в 3 раза больше. Вместе с тем следует отметить резкую анизотропию макросейсмического поля для этого землетрясения. Высшие изосейсты явно сгущаются к северу и северо-востоку, по направлению к Киргизскому хребту.



а



б

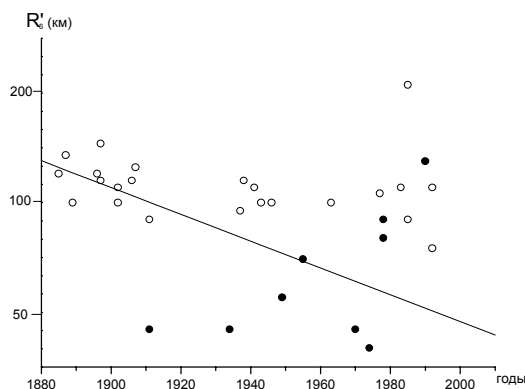
Рисунок 1. Примеры резкого различия размеров изосейст для двух землетрясений с $M=7.3$ – Маркансуйского (а) и Сусамырского (б)

На рисунке 2 представлена зависимость величины R'_6 от времени. Наблюдается постепенное уменьшение значений параметра с конца 1800-х годов до 1970-1975 гг. Для временного периода 1885-1975 гг. получена следующая корреляционная зависимость:

$$\lg R'_6 (\text{км}) = 9.015 - 0.0037 T (\text{лет}), \quad (3)$$

Коэффициент корреляции равен -0.61 .

С середины 1970-х годов величины R'_6 значительно возрастают, в среднем за период 1977-1992 гг. $R'_6 = 111 \pm 38$ км.



Залитые значки – данные для землетрясений, произошедших через небольшие интервалы времени после близких сильных коровых или глубокофокусных гиндукушских землетрясений.
Прямая – линия регрессии по данным за 1885-1975 гг.

Рисунок 2. Зависимость параметра $\lg R'_6$ от времени.

Важно отметить, что существенно пониженные значения R'_6 (40-80 км) наблюдались для Кеминского, Арганкульского (I), Хаитского, Улугчатского, Сарыкамышского, Маркансуйского и Дараут-Курганского землетрясений. Эпицентры четырех из этих событий (за исключением Арганкульского, Улугчатского и Маркансуйского землетрясений) находились на сравнительно небольшом расстоянии

($\Delta r \leq 150$ км) от эпицентров сильных коровых землетрясений, произошедших соответственно за $\Delta T = 22$ -, 24, 8, 1.3 и 4.2 года до них (таблица 2, рисунок 3). Кроме того, перед Арганкульским, Хаитским, Улугчатским, Маркансуйским и Дараут-Курганским землетрясениями (за 5.5; 0.3; 6; 0.03 и 4.3 года, соответственно) произошли сильнейшие глубокофокусные гиндукушские землетрясения с магнитудой M от 7.2 до 7.7, на эпицентральных расстояниях до 500 км. (здесь мы не рассматриваются геодинамические эффекты сильнейших гиндукушских землетрясений, проявившиеся иногда и на гораздо больших эпицентральных расстояниях [6]).

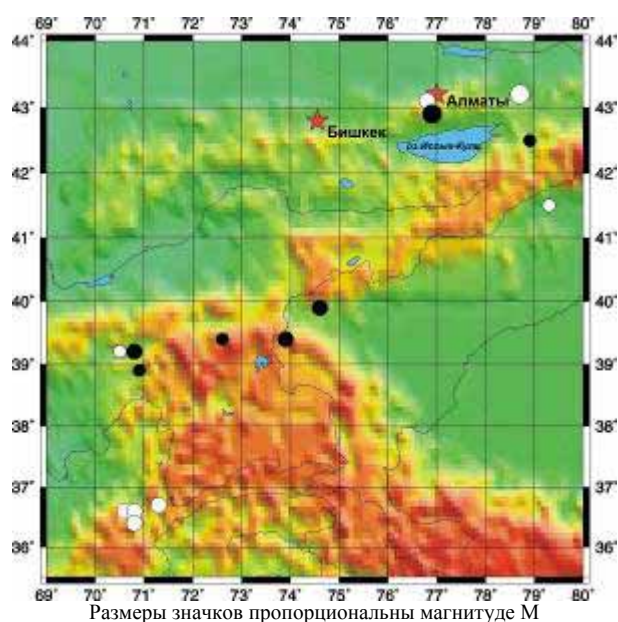


Рисунок 3. Эпицентры землетрясений с anomalously низкими значениями R'_6 (залитые значки), а также предвещающих их сильных коровых и глубокофокусных землетрясений.

Таблица 2. Параметры землетрясений с anomalously низкими значениями R'_6 и предвещающих их сильных коровых и глубокофокусных событий

Название	Год	Дата	φ°	λ°	h , км	M	Δr , км	ΔT , лет
Верненское	1887	08.06	43.10	76.80	20	7.3	24	24
Чиликское	1889	10.07	43.20	78.70	40	8.3	150	22
Кеминское	1911	03.01	42.90	76.90	25	8.2		
Гиндукушское	1929	01.02	36.70	71.30	200	7.2	250	5.5
Арганкульское (I)	1934	31.08	38.90	70.90	8	6.5		
Гармское	1941	20.04	39.20	70.50	8	6.4	26	8
Гиндукушское	1949	04.03	36.60	70.60	300	7.7	290, 510	0.3; 6
Хаитское	1949	10.07	39.20	70.80	16	7.4		
Улугчатское	1955	15.04	39.90	74.60	52	7.1		
Гиндукушское	1965	14.03	36.60	70.80	215	7.7	415	9
Кокшаальское	1969	11.02	41.50	79.30	25	6.6	120	1.3
Сарыкамышское	1970	05.06	42.48	78.89	15	6.8		
Гиндукушское	1974	30.07	36.40	70.80	200	7.3	430, 370	0.03; 4.3
Маркансуйское	1974	11.08	39.39	73.86	18	7.3	115	4.2
Дараут-Курганское	1978	01.11	39.40	72.60	20	6.8		

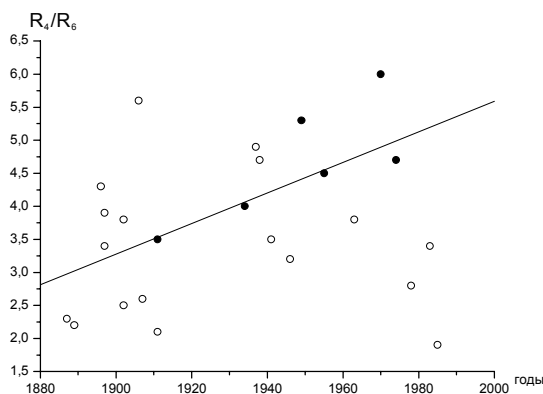
Очаговые зоны указанных событий с аномально низкими величинами R'_6 попадают внутрь 5- и 6-балльных (для Кеминского и Хаитского землетрясений – даже 8- и 9-балльных) изосейст, предвращавших их сильных коровых и глубокофокусных землетрясений.

Вместе с тем, для нескольких землетрясений (Жаланаш-Тюпского, Кашгарского (II), Байсорунского), также произошедших через сравнительно небольшие интервалы времени после близких сильных событий (8, 11, 12 лет, соответственно), такого эффекта не наблюдалось. Для Кашгарского землетрясения получена аномально большая величина $R'_6=210$ км. Следует, однако, заметить, что землетрясениям, предвращавшим первые два из них (Сарыкампышскому и Маркансуйскому) соответствуют аномально малые площади, околтуренные высшими изосейстами (в частности, 6-балльной). В то же время «нормальные» величины R'_6 соответствуют паре Уратюбинских землетрясений 17.09.1897 г., которые произошли с интервалом 2 часа. Кроме того, практически совпадают со средними значения R'_6 для Кемино-Чуйского (1938 г.) землетрясения, очаг которого попадает в область 8- и 9-балльных сотрясений при Кеминском (1911 г.) землетрясении.

На рисунке 4 представлена зависимость параметра R_4/R_6 от времени для рассматриваемых землетрясений. Величины R_4/R_6 варьируются в диапазоне 1.9-6.0. В данном случае наблюдается увеличение средних значений параметра со временем до середины 1970-х годов, уравнение линейной регрессии имеет вид:

$$R_4/R_6 = -40.71 + 0.0231 T \text{ (лет)}, \quad (3)$$

коэффициент корреляции равен 0.58. Существенно, что относительно высокие значения R_4/R_6 (от 3.5 до 6.0) соответствуют шести из указанных выше событий с аномально низкими величинами R'_6 .



Прямая – линия регрессии по данным за 1885-1975 гг.

Рисунок 4. Зависимость параметров R_4/R_6 от времени.
Залитые значки – данные для землетрясений
с аномально низкими значениями R'_6 .

На рисунке 5 показан временной ряд сильных коровых землетрясений Тянь-Шаня и Памира ($M \geq 6.0$), начиная с 1885 г. Видно, что в рассматриваемом ре-

гионе с 1885 по 1911 гг. наблюдался аномально высокий уровень сейсмической активности. В целом количество землетрясений снижалось примерно до начала 1970-х годов. С середины 1970-х годов наблюдалось новое повышение уровня сейсмичности (в течение 11 лет произошло 3 землетрясения с магнитудой $M \geq 7.0$). Можно отметить, что наблюдается корреляция между средними величинами R'_6 и количеством наиболее сильных землетрясений ($M \geq 7.0$) за определенный интервал времени (при осреднении, например, за интервал $\Delta T = 30$ лет).

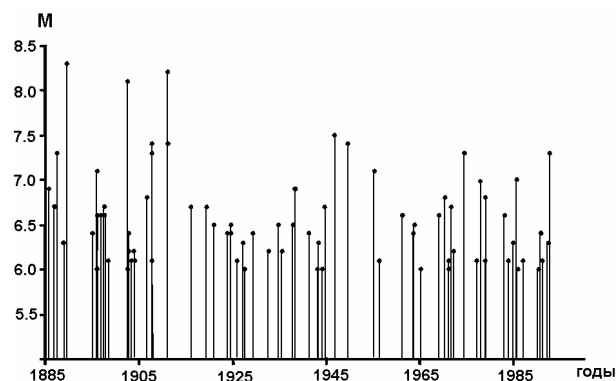


Рисунок 5. Зависимость магнитуд сильных землетрясений от времени в районах Тянь-Шаня и Памира

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ макросейсмических данных показывает, что после серии сильнейших землетрясений конца 1800-х – начала 1900-х годов в течение ~70-80 лет имеет место постепенное уменьшение средней площади 6-балльной изосейсты, а также среднего отношения площадей 6-балльной и 4-балльной изосейст для всего района Тянь-Шаня. Кроме того, часто после сильных близких землетрясений в течение определенного времени ($\Delta T \sim 1-25$ лет) наблюдается резкое уменьшение площади 6-балльной изосейсты как относительно средней величины для данной магнитуды, так и по отношению к площади 4-балльной изосейсты для данного землетрясения.

Из таблицы 1 следует, что величины R'_6 для большей части рассматриваемых землетрясений (примерно 2/3) – менее 100 км, и, кроме того (за исключением двух землетрясений с $M > 8.0$ и одного с $M = 7.0$), не превышает 200 км. Это означает, что объемные волны, вызывающие на поверхности сотрясения с интенсивностью 6 баллов (что соответствует средним ускорениям сильных движений $\sim 0.05g$ [7]), распространяются в земной коре (в основном – в верхней ее части). В то же время, 4-балльные изосейсты формируются волнами, в большинстве случаев проникающими в верхи мантии.

Резкое уменьшение радиуса данной изосейсты (при прочих равных условиях) свидетельствует о существенном увеличении затухания короткопериодных сейсмических волн (в первую очередь попе-

речных, которые доминируют на малых эпицентральных расстояниях).

В [3] на основании анализа параметра Lg/Pg для трасс от Семипалатинского испытательного полигона, пересекающих Казахскую платформу и различные районы Тянь-Шаня, показано, что поглощение поперечных волн в земной коре существенно изменяется во времени для очаговых зон сильных землетрясений ($M \geq 7.0$) и их близких окрестностей. Это свидетельствует о миграции флюидов, поднявшихся из верхней мантии в кору после сильных тектонических событий [8], в горизонтальном направлении. Эффекты постепенного снижения величины R'_6 и увеличения значений R_4/R_6 в течение 70-80 лет после серии сильнейших землетрясений на рубеже 20-го века в целом для района Тянь-Шаня, а также резкого изменения этих параметров для большинства землетрясений, произошедших через сравнительно небольшие интервалы времени после близких сильных событий, служат дополнительными аргументами в пользу вывода о расплывании флюидов из очаговых зон. В этой связи можно отметить, что лишь одно растрескивание пород в результате сильных землетрясений и последующей афтершоковой деятельности неспособно обеспечить такие эффекты, поскольку трещины образуются в основном в 9- и 8-балльных зонах. Кроме того, увеличением плотности трещин трудно объяснить уменьшение средних значений параметров R'_6 и R_6/R_4 в 1911-1946 гг., несмотря на отсутствие в этот период достаточно сильных землетрясений с магнитудой $M \geq 7.0$. Кроме того, процессы дегидратации горных пород [5,13] также не могут объяснить обнаруженных эффектов, поскольку в самих очаговых зонах, где тепловой поток должен возрастать сильнее всего, поглощение поперечных волн после сильных событий постепенно уменьшается [3], что свидетельствует о снижении доли свободных флюидов. И, наконец, тепловые процессы очень инерционны, поэтому заметное увеличение температуры горных пород, необходимое для их дегидратации [13], в результате кондуктивной теплопередачи может происходить только в течение очень больших интервалов времени, несопоставимых с рассматриваемыми. В этом случае высокие величины R'_6 и низкие - R_4/R_6 в конце 19-го – начале 20-го веков естественным образом объясняются относительной «сухостью» коры Тянь-Шаня, где до этого в течение нескольких сотен лет не было тектонических событий с магнитудой $M \geq 8.0$ (согласно данным, приведенным в [4], с начала 13 века до конца 1880-х годов, наиболее сильным здесь, повидимому, было Аксуйское землетрясение 1716 г. с $M \sim 7.5$). Интересно, что длительность периода уменьшения величины R_6 и увеличения R_4/R_6 для всего района Тянь-Шаня не противоречит сделанным в [3] оценкам времени расплывания флюидов из очаговых зон землетрясений с магнитудой $M \geq 8.0$ по изменению параметра Lg/Pg . Вместе с тем, остаются неясными при-

чины существенного увеличения параметра R'_6 с конца 70-х годов.

Рассмотрим теперь возможные причины уменьшения величин R'_6 после сильных гиндукушских землетрясений. Очевидно, что этот эффект не может быть объяснен миграцией флюидов из мантийной зоны глубокофокусной сейсмичности на большие расстояния. Здесь должен существовать качественно иной механизм. Ранее [6] были получены данные, свидетельствующие о том, что нередко в течение 4-5 месяцев после сильнейших гиндукушских землетрясений с магнитудой $M \geq 6.7$, в обширном регионе Центральной и Южной Азии, ограниченном координатами 30° - 50° N и 50° - 90° E, происходят коровые землетрясения с магнитудой $M \geq 7.0$ (вероятность случайного появления таких пар ничтожно мала). Кроме того, приведены многочисленные данные, свидетельствующие о переходе флюидного поля в крупных разломных зонах на больших эпицентральных расстояниях до и после сильнейших гиндукушских событий в «возбужденное» состояние, что выражается в вариациях поля поглощения поперечных волн, скоростей деформации, дебита источников, гидрогеохимических параметров и др. Все это интерпретировалось как следствие распространения медленно затухающих уединенных волн деформации [9], передающихся по разломным зонам от Гиндукуша. Эти волны могут стимулировать подъем флюидов, находящихся под литостатическим или даже сверхлитостатическим давлением, из нижней коры в верхнюю кору по крупным разломным зонам. Поднявшиеся в верхнюю кору флюиды часто не имеют гидродинамической связи с приповерхностными подземными водами. В этом случае они, как правило, находятся под сверхгидростатическим давлением [5], поэтому могут сравнительно быстро расплываться в горизонтальном направлении, что, в конечном счете, и обуславливает резкое уменьшение размеров высших изосейст при сильных коровых землетрясениях.

Наблюдающаяся в некоторых случаях резкая анизотропия макросейсмического поля, не связанная с обычной вытянутостью изосейст вдоль горных хребтов (рисунок 1), также может быть объяснена высокой концентрацией флюидов в определенных локальных областях. В случае с очагом Сусамырского землетрясения более сильное затухание изосейст в северном и северо-восточном направлениях согласуется с очень низкими скоростями S-волн в верхнем 15-километровом слое коры в районе Киргизского хребта, что может быть связано с высоким содержанием свободной воды [10].

С использованием полученных данных, проведена в первом приближении оценка минимальной скорости миграции флюидов в верхней части земной коры (V_f). Для грубой оценки применялась формула:

$$V_f = \Delta R / \Delta T, \quad (3)$$

где $\Delta R = \Delta r + R_0$ – радиус области, в которую внедрились дополнительные объемы флюидов.

Для данных, приведенных в таблицах 1, 2, получены значения V_f , варьирующие в диапазоне 13–115 км/год для четырех землетрясений: Кеминского, Хаитского, Сарыкамышского и Дараут-Курганского. Отметим, что ранее нами получены оценки скорости подъема флюидов из верхней мантии: $V_f \sim 10$ км/год [8]. Учитывая, что проницаемость пород в верхней части коры, скорее всего, на несколько порядков выше, чем в нижней коре и верхней мантии [5], можно полагать, что полученные здесь и в [8] оценки V_f не противоречат друг другу.

Следует отметить еще, что о миграции ювенильных флюидов в земной коре свидетельствуют и имеющиеся геохимические данные. Как известно, повышенное содержание изотопа ^3He служит доказательством присутствия в подземных водах мантийных флюидов [11]. В [12] показано, что в районе юго-восточного Тянь-Шаня в конце 1980-х годов в водах нескольких источников зарегистрированы аномально

высокие величины изотопного отношения $^3\text{He}/^4\text{He}$ ($(2.1 \div 6.5) \cdot 10^{-6}$), которые ранее никогда не встречались вне областей современного вулканизма. Проведенный анализ этих данных показывает, что указанные величины зарегистрированы на сравнительно небольших расстояниях (~ 40 – 200 км) от эпицентров двух сильных землетрясений с магнитудой $M \geq 7.0$ (Маркансуйского и Кашгарского) через интервалы времени от 3 до 14 лет после этих событий.

В заключение следует отметить, что через достаточно большой период времени (судя по полученным данным, ~ 25 – 30 лет), видимо, происходит заметное уменьшение содержания свободных флюидов и, возможно, частичное залечивание трещин в самих очаговых зонах и их близких окрестностях (скорее всего, в результате процессов гидратации горных пород, которые, как правило, сопровождаются увеличением их объема [13]). Это приводит к резкому уменьшению затухания амплитуд сильных движений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Пространственно-временные вариации структуры поля поглощения поперечных волн в районе Семипалатинского полигона // Физика Земли, 2001. - № 11. - С.73–86.
2. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Изучение вариаций поля поглощения поперечных волн в районе Центральной Азии по записям ядерных и химических взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне // Геофизика и проблемы нераспространения / Вестник НЯЦ РК, 2003. - Вып.2. - С.83–88.
3. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Анализ пространственно-временных вариаций поля поглощения поперечных волн в очаговых зонах сильных землетрясений Тянь-Шаня по записям подземных ядерных взрывов // Доклады РАН, 2004. - Т.395, № 6.
4. Кондорская Н.В., Шебакин Н.В. (ред.). Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР. М.: Наука, 1977. - 535 с.
5. Киссин И.Г. Флюидонасыщенность земной коры, электропроводность, сейсмичность // Физика Земли. 1996. - № 4. - С.30–40.
6. Копничев Ю.Ф., Баскутас И., Соколова И.Н. Пары сильных землетрясений и геодинамические процессы в районе Центральной и Южной Азии // Вулканология и сейсмология, 2002. - № 5. - С.49–58.
7. Aptikaev F. F., Zhunusov T. Zh., Mikhailova N. N. et al. Project of the standart for earthquake intensity estimation // Aseismic construction, 1996. - Issue 5. Moscow. VNIINTPI. - P.12–19.
8. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Пространственно-временные вариации поля поглощения S-волн в очаговых зонах сильных землетрясений Тянь-Шаня // Физика Земли, 2003. - № 7. - С.35–47.
9. Николаевский В.Н. Математическое моделирование уединенных деформационных и сейсмических волн // Доклады РАН, - 1995. - Т.341, № 3. - С.403–405.
10. Винник Л.П., Косарев Г.Л., Орешин С.И. и др. Литосфера Тянь-Шаня по данным о функциях приемника для Р- и S-волн // Геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорных регионов. - Москва-Бишкек, - 2003. - С.94–105.
11. Поляк Б.Г. Теплоемкость из мантии в главных структурах земной коры. - М.: Наука, 1988. - 191 с.
12. Поляк Б.Г., Каменский И.Л., Султанходжаев А.А. и др. Субмантийный гелий во флюидах юго-восточного Тянь-Шаня // ДАН СССР, 1990. - Т.312, №3. - С.721–725.
13. Калинин В.А., Родкин М.В., Томашевская И.С. Геодинамические эффекты физико-химических превращений в твердой среде. М.: Наука, 1989. - С.157.

ТЯНЬ-ШАНЬ ЖӘНЕ ПАМИР АУДАНДАРЫНДА ҚАТТЫ ЖЕР СІЛКІНУЛЕРДІҢ МАКРОСЕЙСМИКАЛЫҚ ӘСЕРЛЕРІНІҢ КЕҢІСТІКТІК-УАҚЫТТЫҚ ВАРИАЦИЯЛАРЫ

¹⁾Копничев Ю.Ф., ²⁾Соколова И.Н.

¹⁾РҒА Бірлескен Жер физикасы институты, Мәскеу, Ресей

²⁾ҚР ҰАО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатова, Қазақстан

Тянь-Шань мен. Памир аудандарында 1885–1992 ж.ж. болған 32 қатты жерсілкінулердегі ($M \geq 6.0$) макросейсмикалық әсерлерінің кеңістіктік-уақыттық вариациялары талдауында. Магнитудасы $M=7$ келтірілген

6-баллдағы R'_6 , изосейстаның орта радиусы, сондай-ақ 4- және 6-баллдағы орта радиустарының қатынасы (R_4/R_6) қарастырылған. 1800 жылдардың аяғынан 1970-1975 ж.ж. дейін R'_6 және R_6/R_4 параметрлерінің мәні біртіндеп кемуі анықталған. 1975 ж. кейін параметрлердің мәні кенет өседі. Сондай-ақ, жақындағы қыртыстағы қатты жерсілкінулерден және теренкөзді Гиндукуштағы оқиғалардан кейін R'_6 шамасы кенет төмендейтіні, ал R_4/R_6 – орта шамасында өсетіні анықталған. Анықталған әсерлерін, қатты жер сілкінулердің ошақтық белдемдерінде ювенильді флюидтері жоғарғы қыртысына көтерілуімен және қатты қозғалыстардың амплитудалары өшуін көбейтетіне келтіретін сол флюидтердің кейінде горизонтальды бағытындағы миграциясымен байланысты пайымдауға ұсынылады.

SPATIO-TEMPORAL VARIATIONS OF MACROSEISMIC EFFECTS FOR LARGE EARTHQUAKES IN THE REGIONS OF TIEN SHAN AND PAMIRS

¹⁾Yu.F. Kopnichev, ²⁾I.N. Sokolova

¹⁾*Joint Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

²⁾*Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan*

We analyze spatio-temporal variations of macroseismic effects using data for 32 large earthquakes ($M \geq 6.0$) in the regions of Tien Shan and Pamirs occurred in 1885-1992. We consider the following parameters: average radius of intensity of 6 degree isoseist R'_6 equal to magnitude of $M=7.0$, and also a ratio of average radius of intensities 4 and 6 isoseists (R_4/R_6). A gradual diminishing of R'_6 parameter values since the end of 1800-es to 1970-1975 is observed; these values increase rapidly since 1975. Besides, often value of R'_6 decrease sharply after large close crustal earthquakes and deep-focus Hindu Kush events and R_6/R_4 . We suggest an interpretation of the effects observed, which is connected with juvenile fluids ascending into the upper crust in source zones of large earthquakes and subsequent migration in horizontal direction. This leads to increasing the attenuation of strong motion amplitudes

УДК 550.344

О ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ В РАЙОНЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ: ВЫДЕЛЕНИЕ АНОМАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

¹⁾Копничев Ю.Ф., ²⁾Михайлова Н.Н., ²⁾Соколова И.Н.

¹⁾Объединенный институт физики Земли РАН, Москва, Россия
²⁾Институт геофизических исследований НАЦ РК, Курчатов, Казахстан

На основе ранее предложенной качественной модели подготовки сильного корового землетрясения [1, 2] проводится анализ сейсмических данных для района Центрального Тянь-Шаня. Анализируются пространственные вариации структуры поля поглощения поперечных волн в земной коре и верхней мантии, а также особенности сейсмического процесса в рассматриваемом районе. Выделена аномальная область к юго-востоку от г. Бишкек, где в ближайшие годы может произойти достаточно сильное землетрясение ($M > 6.0$). С этим заключением согласуются и другие имеющиеся геологические, геофизические и геохимические данные.

ВВЕДЕНИЕ

Ранее [1,2] путем анализа совокупности геологических, геофизических и геохимических данных была предложена качественная модель формирования очага корового землетрясения, связанная с подъёмом флюидов из верхней мантии. Особенность модели - ясный физический механизм подготовки сильного тектонического события, позволяющий более целенаправленно вести поиск предвестниковых эффектов. Модель связана с образованием в нижней коре и верхах мантии узкой зоны большой вертикальной протяженности, насыщенной флюидами, гидроразрывами в её кровле, сопровождающимися подъёмом флюидов в среднюю кору, что приводит к резкому снижению трения в разрыве и, собственно, подвижке при землетрясении. Эта модель ретроспективно была успешно опробована на примере Байсорунского землетрясения 12 ноября 1990 г. ($M=6.3$), произошедшего в районе Северного Тянь-Шаня [2]. В настоящей работе с использованием данной модели проводится анализ сейсмических данных для района Центрального Тянь-Шаня. Анализ связан, в первую очередь, с изучением пространственных вариаций структуры поля поглощения поперечных волн в земной коре и верхней мантии, а также с исследованием особенностей сейсмического процесса в рассматриваемом районе. Кроме того, привлекаются и другие геологические, геофизические и геохимические данные.

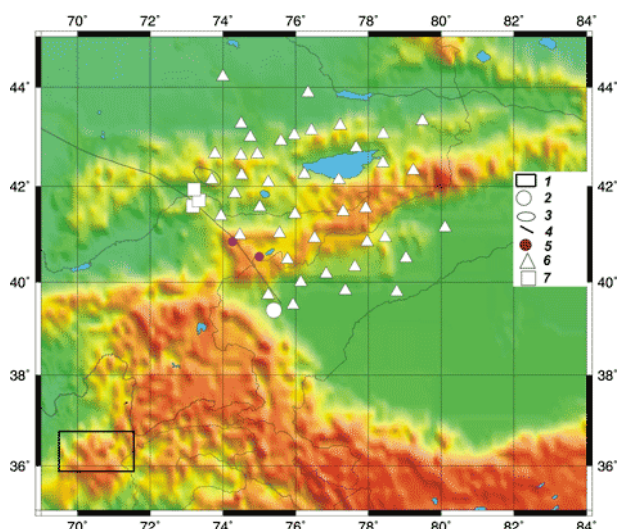
НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ

Короткопериодные поперечные волны наиболее сильно реагируют на присутствие жидкой фазы, поэтому по их характеристикам можно эффективно выделять зоны, насыщенные флюидами, в земной коре и верхах мантии. В данном исследовании использованы методы, связанные с анализом записей глубокофокусных гиндукушских землетрясений, и коды записей местных землетрясений и карьерных взрывов.

Картирование поля поглощения по записям гиндукушских землетрясений. Использованы записи глубокофокусных землетрясений, полученные 45 цифровыми и аналоговыми станциями. Большая

часть станций была установлена на выходах палеозойских пород. Станции, расположенные на окраине Таримского массива, а также станция АRA установлены на молодых кайнозойских или четвертичных отложениях. Большинство станций (38) оборудовано трехкомпонентными цифровыми установками REFTEK. Используются сейсмометры STS-1, STS-2, CMG-3, CMG-40T и L4C. Привлечены записи 7 аналоговых станций СКМ-3, на которых регистрация осуществлялась на фотобумагу.

В общей сложности обработано более 400 записей землетрясений в диапазоне глубин 190 – 230 км, на эпицентральных расстояниях от 500 до 1100 км. Для большинства станций анализировались данные, полученные в 1998 – 2000 гг. Для нескольких станций, расположенных вблизи очаговой зоны Сусамырского землетрясения 19 августа 1992 г. (рисунок 1), имевшего магнитуду $M=7.3$ (TORK, NICH, KRSU), использованы аналоговые данные, полученные в 1976 – 1992 гг.



1 – очаговая зона гиндукушских землетрясений, 2 – эпицентр Кашгарского землетрясения 23 августа 1985 г., 3 – очаговая зона Сусамырского землетрясения 19 августа 1992 г., 4 – Таласо-Ферганский разлом, 5 – источники с аномально высокими отношениями изотопов гелия. Сейсмические станции и их данные: 6 – за 1998-2000 гг., 7 – за 1976-1992 гг.

Рисунок 1. Район исследований

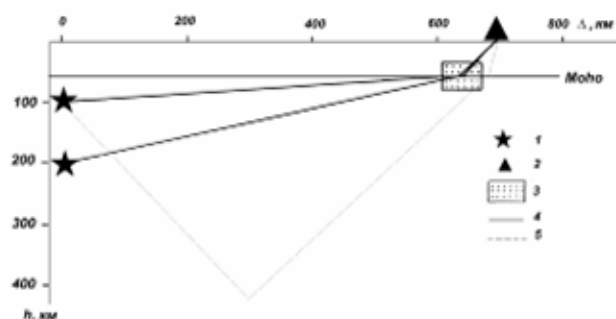
При анализе цифровых записей проводилась узкополосная частотная фильтрация вертикальных компонент. Использовался фильтр с центральной частотой 1.25 Гц и шириной 2/3 октавы на уровне 0.7 от максимума, аналогичный соответствующему ЧИСС – фильтру [3]. Аналоговые сейсмограммы предварительно сканировались с помощью широкоформатного сканера и оцифровывались с частотой 20 Гц.

Для анализа характеристик поля поглощения использованы следующие параметры:

1. Десятичный логарифм отношения максимальной амплитуды в волнах S и P (S/P). Максимальная амплитуда в продольных волнах измерялась в 10 – секундном интервале от вступления, в поперечных – в интервале ± 10 с от момента вступления S – волны по годографу.

2. Десятичный логарифм отношения максимума S – волны к максимальному уровню коды в интервале $t = 400 \pm 5$ с, где t – время от начала излучения в очаге (S/c_{400}).

В рассматриваемом диапазоне эпицентральных расстояний (500 – 1000 км) регулярные P – и S – волны падают на границу М достаточно полого. Примем для определённости простейшую двухслойную модель сферы с толщиной коры 50 км и со средними скоростями S – волн в коре и верхней мантии 3.5 и 4.6 км/с, соответственно [4]. В этом случае для очагов с глубинами 200 км углы лучей с вертикалью при падении на границу М составляют $72 - 81^\circ$, а в коре – $46.4 - 48.1^\circ$ (рисунок 2).



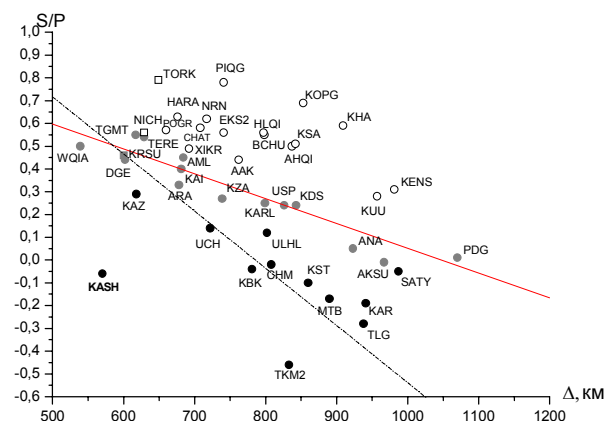
- 1 – гипоцентры землетрясений, 2 – сейсмическая станция,
- 3 – зона высокого поглощения в нижней коре и верхах мантии,
- 4 – схема распространения лучей прямых S- и P-волн,
- 5 – схема распространения S-волн, формирующих коду

Рисунок 2. Схема распространения лучей прямых S- и P-волн, а также S-волн, формирующих коду

Принимая во внимание, что значения параметра S/P могут существенно различаться даже для близких станций, а также учитывая результаты картирования поля поглощения для района Северного Тянь-Шаня [5], можно считать, что параметр S/P характеризует в основном поглощение поперечных волн в земной коре – в первую очередь, в нижней её части, на глубинах 30–55 км, – на расстоянии 30 – 60 км к юго-западу от соответствующей станции и в самых верхах мантии.

В [6,7] показано, что на частотах около 1 Гц коды записей гиндукушских землетрясений сформирована в основном поперечными волнами, отраженными от многочисленных субгоризонтальных границ в земной коре и верхней мантии. При такой модели формирования коды с увеличением времени в ней вступают S–волны, пересекающие литосферу и астеносферу всё более круто. Отсюда следует, что параметр S/c_{400} характеризует степень изменения поглощения S– волн при приближении к данной станции (однократно отраженные S– волны, вступающие в коду при $t \sim 400$ с, пересекают границу М на расстояниях ~ 10 –15 км от станции).

На рисунке 3 показан график изменения средних величин S/P в зависимости от среднего эпицентрального расстояния для рассматриваемого диапазона глубин. Видно, что параметр S/P для близких Δ может изменяться на порядок. Дисперсия средних значений S/P для разных станций варьируется от 0.14 до 0.40. Весь диапазон изменения параметра S/P мы разбили на три уровня, соответствующих пониженному, промежуточному и повышенному поглощению. Мы приняли, что промежуточное поглощение отвечает величинам S/P , попадающим в интервал шириной ± 0.1 относительно линии регрессии (рисунок 3).



Незатитые значки – слабое поглощение, серые – промежуточное, черные – сильное. Показаны линии регрессии для всего района и полосы сильного поглощения между станциями DGE, KAZ и CHM, TKM2 (пунктир).

Рисунок 3. Зависимость параметра S/P от эпицентрального расстояния Δ для диапазона глубин 190–230 км

Наблюдается в целом слабое и промежуточное поглощение для окраины Таримского массива (за исключением станции KASH). Относительно слабое поглощение соответствует также большинству станций, расположенных на северных окраинах крупных впадин, под которыми прямые P – и S – волны пересекают нижнюю кору – USP (Чуйская впадина), ANA (Иссык-Кульская), NRN и KAI (Нарынская). Повышенные значения S/P соответствуют станциям KUU (Илийская впадина) и KHA (южная окраина Казахской платформы). На рисунке 4 при-

ведена карта вариаций параметра S/P для диапазона глубин 190-230 км. Из нее следует, что для большей части рассматриваемого района наблюдаются сравнительно высокие значения S/P . На этом фоне выделяется полоса сильного и промежуточного поглощения, простирающаяся от станций KASH и WQIA до станций CHM и TKM2 и далее до станций SATY. В южной части данная полоса вытянута вдоль Таласо-Ферганского разлома, в районе станции DGE и KAZ она поворачивает в северо-северо-восточном направлении, затем - в субширотном направлении вдоль хребтов Заилийский и Кунгей Алатау.

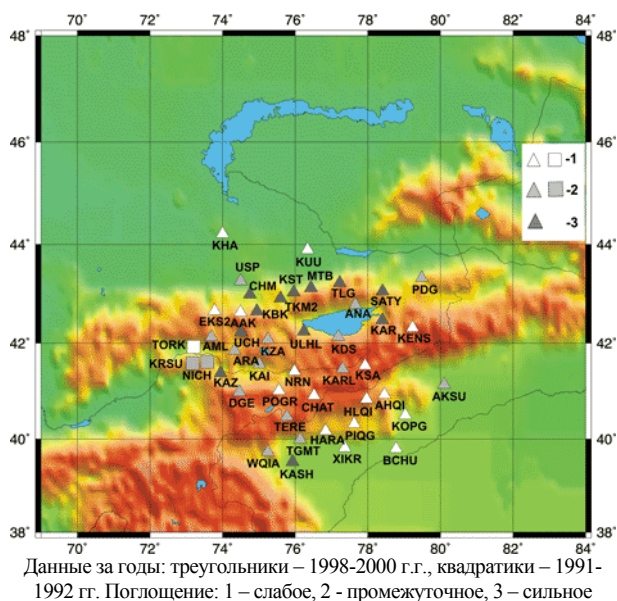
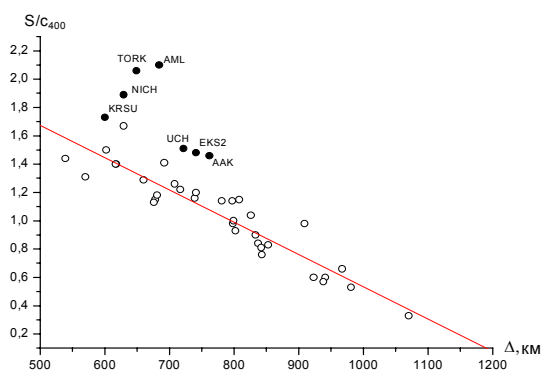


Рисунок 4. Карта вариаций параметра S/P для диапазона глубин 190-230 км



Залитые значки – станции в очаговой зоне Сусамырского землетрясения и вблизи нее. Прямая – линия регрессии по данным, которым соответствуют незалитые значки.

Рисунок 5. Зависимость параметра S/c_{400} от эпицентрального расстояния Δ для диапазона глубин 190-230 км

На рисунке 5 показана зависимость средних величин параметра S/c_{400} от Δ . Обращают на себя внимание высокие значения параметра S/c_{400} для станций, расположенных в очаговой зоне Сусамырского

землетрясения и вблизи неё (AML, EKS2, AAK, KRSU, TOR и NICH). Относительно низкие величины параметра S/c_{400} наблюдаются для большинства станций, расположенных на северо-западной окраине Таримского массива, а также для станций ARA и NRN.

С использованием полученных данных, была сделана оценка эффективной добротности среды в целом для рассматриваемого района ($Q_s = 210$, $Q_p = 350$), а также для полосы сильного поглощения между станциями DGE, KAZ и CHM, TKM2 ($Q_s = 100$, $Q_p = 170$). Учитывая диапазон эпицентральных расстояний, можно заключить, что полученные оценки добротности соответствуют глубинам ~ 50 – 100 км.

Полученные оценки свидетельствуют об очень сильной пространственной неоднородности поля поглощения в литосфере Центрального Тянь-Шаня. Значения параметра S/P говорят о слабом поглощении под крупными впадинами – Чуйской, Илийской, Иссык-Кульской и Таримской. Пониженное поглощение наблюдается также под южной окраиной Казахской платформы (станция KHA). Следует отметить, что эти данные согласуются с повышенными скоростями P – волн в верхах мантии указанных районов [4].

Наиболее интересная особенность картируемого поля – полоса относительно высокого поглощения между станциями KASH и TKM2, секущая различные тектонические структуры. Для северной её части характерны очень низкие величины Q_s . Они сопоставимы с оценками добротности в коре Северного Тибета, где имеются проявления четвертичного и современного вулканизма [8]. При этом самое сильное поглощение наблюдается к юго-западу от станции TKM2. Очень важно, что к границам указанной полосы приурочены очаги двух сильнейших землетрясений, произошедших в районе Тянь-Шаня за последние 25 лет – Кашгарского 23 августа 1985 г. ($M = 7.0$) и Сусамырского 19 августа 1992 г. ($M = 7.3$) – рисунок 1. Как следует из рисунка 5, очень высокие значения параметра S/c_{400} наблюдаются только для зоны Сусамырского землетрясения и её близких окрестностей. Отсюда следует, что с очагом Сусамырского землетрясения связана крупная аномалия поглощения в верхах мантии. Для более детального изучения особенностей строения среды и геодинамических процессов в этой области ниже рассматриваются характеристики поля поглощения по записям коды местных землетрясений и карьерных взрывов.

Разрез поля поглощения для профиля USP – NRN (рисунок 6). Использовался метод, связанный с анализом характеристик короткопериодной коды местных событий [5, 6].

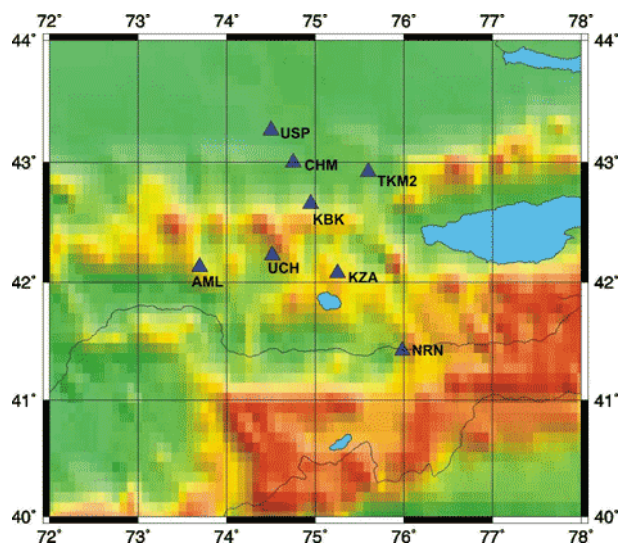
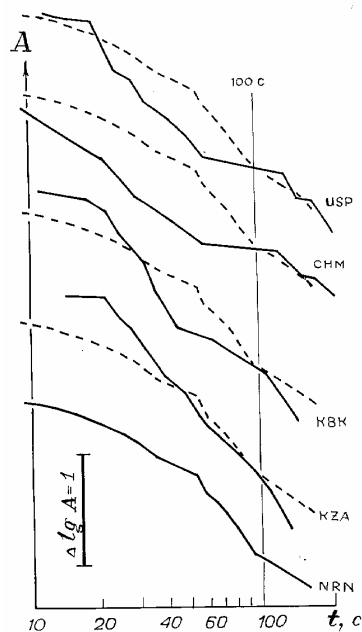


Рисунок 6. Положение профиля станций USP-NRN

Ранее, путём всестороннего анализа характеристик коды, показано, что в районе Центральной Азии на частотах ~ 1 Гц короткопериодная кода сформирована в основном поперечными волнами, отраженными от многочисленных субгоризонтальных границ в земной коре и верхней мантии [5]. В этом случае резкие перегибы на огибающих коды (рисунок 7) соответствуют проникновению лучей в слои, характеризующиеся резко различающимся поглощением сейсмических волн. Определяя времена перегибов t_p , можно находить положение границ таких слоёв.



Пунктир – огибающая для станции NRN.

Рисунок 7. Огибающие коды записей землетрясений и карьерных взрывов для профиля USP – NRN

Существенно, что данный метод позволяет строить разрезы поля поглощения непосредственно в районах наблюдательных станций, что обеспечивает

очень высокую его разрешающую способность по горизонтали. Точность определения глубины границ слоёв составляет ~ 5 км в нижней коре и ~ 10 км в верхней мантии.

В данном случае обрабатывались цифровые данные, полученные в 1996 – 1999 гг. На рисунке 7 представлены общие огибающие коды для разных точек профиля, пересекающего хребет Киндиктас, Чуйскую впадину, хребет Джумголтау и Нарынскую впадину. Для четырёх станций использованы записи землетрясений, а для станции CHM – записи взрывов на карьере Аглатас (юго-западная окраина хребта Киндиктас). Можно видеть, что для горных районов (станции USP, KBK и KZA) амплитуда в коде в интервале 10-60 с затухает быстрее, чем для районов впадин (станции CHM и NRN).

На рисунке 8 показан разрез поля поглощения поперечных волн для рассматриваемого профиля. Поле поглощения на глубинах до 200-220 км характеризуется очень большой неоднородностью. Для района Нарынской впадины (станция NRN) наблюдается очень слабое поглощение на глубинах до 110 км, что согласуется с данными, полученными путём анализа записей гиндукушских землетрясений. Вместе с тем, в диапазоне $h = 110-200$ км поглощение значительно сильнее, чем для остальных точек профиля. По данным четырёх северных станций выделяются слои очень высокого поглощения ($Q_s = 50 - 60$) в низах коры и верхах мантии; наибольшую мощность (~ 50 км) такой слой имеет в районе Киргизского хребта (станция KBK). Отметим, что для станции KBK разрез построен по записям землетрясений с эпицентрами к востоку от станции.

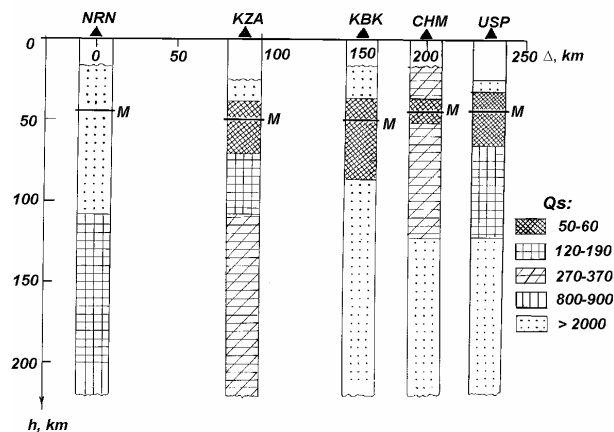


Рисунок 8. Разрез поля поглощения для профиля USP – NRN

Таким образом, полученные двумя методами результаты согласуются между собой; они свидетельствуют о достаточно высоком поглощении в нижней части коры и верхах мантии в области к юго-западу от станции TKM2 и к востоку от станции KBK по данным за 1996 – 2000 гг.

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА

Начиная с 1993 г., основной характерной чертой сейсмичности обширной территории Центрального и Северного Тянь-Шаня является отсутствие сильных землетрясений с магнитудой $M > 5.5$ (рисунок 9). Предыдущий период, с 1970 по 1992 гг., наоборот, характеризовался высокой активностью. Здесь произошла серия довольно сильных землетрясений, включая такие, как Сарыкамышское 1970 г. ($M=6.8$), Жаланаш-Тюпское 1978 г. ($M=7.0$) на востоке территории и Сусамырское 1992 г. ($M=7.3$) на западе.

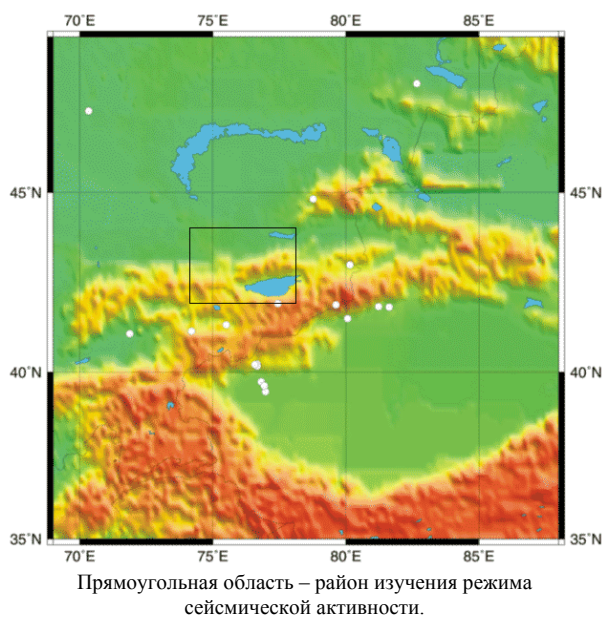


Рисунок 9. Карта эпицентров землетрясений с $M > 5.5$

Внутри этой протяженной зоны для отдельных районов отмечен дефицит землетрясений на меньшем энергетическом уровне – вплоть до $K=9$. К таким районам можно отнести территорию Северного Тянь-Шаня от 74° в.д. до 77° в.д., в которой наблюдаются аномальные эффекты поглощения поперечных волн. В [2, 9] отмечалось, что в областях готовящихся землетрясений нередко наблюдается увеличение доли относительно глубокофокусных очагов в общем потоке сейсмических событий. На Северном Тянь-Шане, где, как известно, абсолютное большинство событий происходит на глубинах не более 25 км, а 80% - на глубине не более 10 км, к «глубоким» можно отнести события на глубине > 15 км. При анализе хода геодинамических процессов перед Байсорунским землетрясением 1990 г., проведенном в [2], было отмечено, что вокруг будущего эпицентра за два года до землетрясения сформировалась кольцевая структура из глубоких очагов. Диаметр кольца составлял приблизительно 15 км. В самой зоне очага глубоких толчков зафиксировано не было.

Анализ временного хода отношения количества мелких и относительно глубоких землетрясений

$P=N_{\leq 15} / N_{>15}$ для всего выделенного на рисунке 9 района показал следующее. В 1997 – 1998 гг. (рисунок 10) режим активности разных слоев земной коры существенно изменился. В последний период, который продолжается и в настоящее время, значительно возросла доля глубоких очагов. Этот факт может служить индикатором роста сейсмической опасности. Одновременно с увеличением количества глубоких землетрясений происходит и рост общего количества регистрируемых в этом районе слабых землетрясений. Общий ход графика изменения количества землетрясений (рисунок 11), начиная с 1999 г., очень похож на аналогичный график, построенный для очаговой зоны Жаланаш-Тюпского землетрясения за несколько лет до него [10].

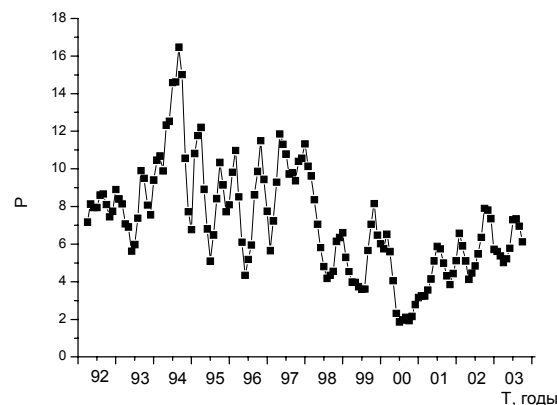


Рисунок 10. Изменение по годам отношения количества мелких и глубоких землетрясений $P=N_{\Sigma \leq 15} / N_{\Sigma > 15}$

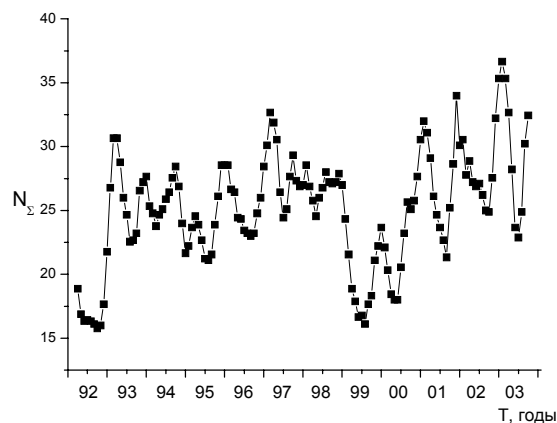


Рисунок 11. Изменение общего количества землетрясений по годам

Проведенное картирование глубоких очагов (рисунок 12) показало, что в области с аномально высоким поглощением образовались похожие на кольцевые структуры цепочки эпицентров. Эти структуры не остаются постоянными во времени. В 1996 – 1999 гг. одна такая структура сформировалась вокруг станции КВК, а другая - вокруг станций ТКМ2 и КСТ. В следующий период эти структуры слились в одну, существенно меньшей площади, расположенную в центральной части аномальной области.

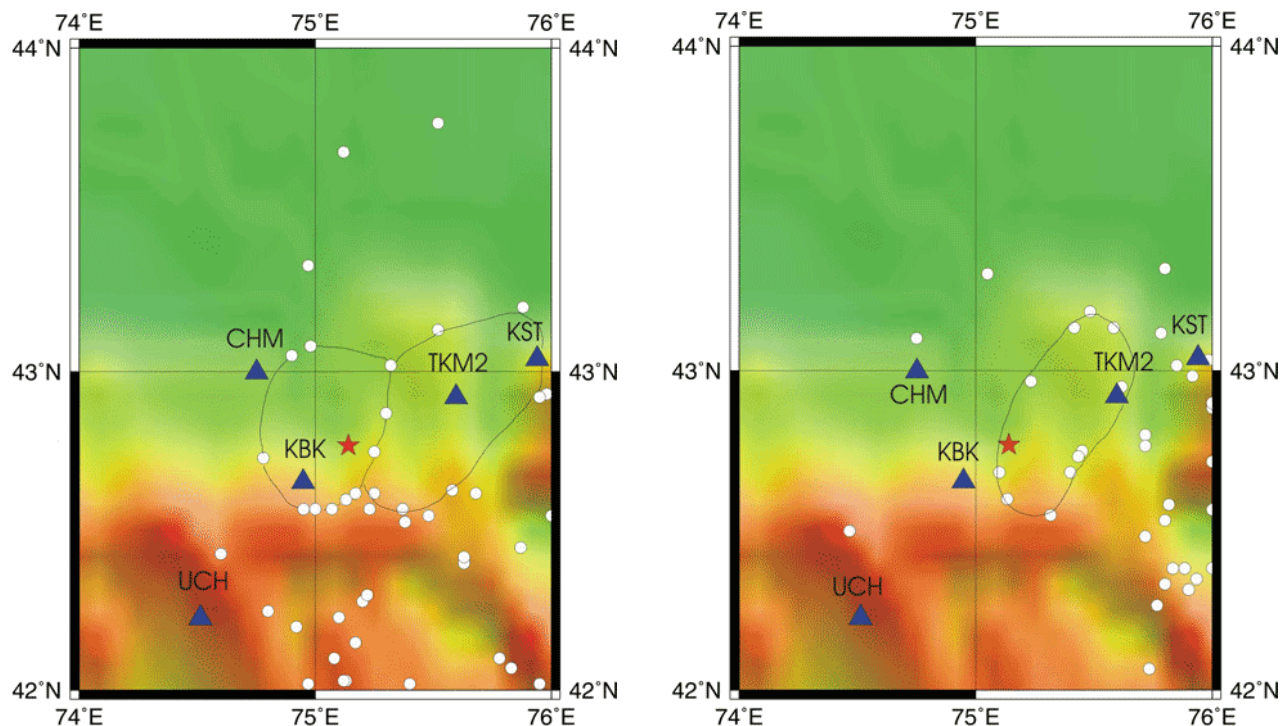


Рисунок 12. Карта эпицентров глубоких землетрясений с $h \geq 15$ км: а - 1996-1999 гг; б - 2000-2003 гг.

На рисунке 12 показан (звёздочкой) эпицентр землетрясения с магнитудой $M_s = 4.0$, $m_b = 4.8$, которое произошло 16 января 2004 г. Эпицентр попадает на границу кольцевой структуры. Это землетрясение ощущалось в г. Алматы и г. Бишкеке. Анализ глубины этого толчка, проведённый с привлечением данных сети станций KNET, хорошо окружающих его очаг, показал, что землетрясение глубокое: $h = 16-20$ км. Возможно, оно само является элементом структуры, отражающей подготовку более сильного события.

ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее было проведено детальное картирование поля поглощения S-волн в литосфере Тянь-Шаня по записям большого числа местных землетрясений, зарегистрированных в 70-х годах прошлого века высокочувствительной станцией ZRN, установленной в районе Кокчетавского массива (Северный Казахстан). При этом использовался метод, основанный на анализе отношения амплитуд группы L_g и коды [11]. Сопоставление с данными, полученными путём анализа записей глубокофокусных гиндукушских землетрясений в конце 1990-х годов, показывает следующее.

Имеется сходство данных для районов крупных впадин – Таримской, Чуйской, Илийской и Иссык-Кульской, которым в обоих случаях соответствует пониженное поглощение S-волн. В обоих случаях выделяется также полоса сильного поглощения в районе хребта Заилийский Алатау, между станциями TKM2 и TLG.

В то же время, существуют значительные различия структуры полей поглощения. В 70-х годах выделялась узкая зона сильного поглощения на границе Тарима и Южного Тянь-Шаня (возможно, что в конце 90-х годов она не была обнаружена просто из-за меньшей детальности метода картирования по параметру S/P). В конце 1990-х годов ярко проявилась полоса сильного поглощения между станциями KASH и TKM2, которая отсутствовала за 20-25 лет до этого.

Сравнительно быстрое изменение структуры поля поглощения S-волн может быть связано только с перестройкой флюидного поля в земной коре и верхней мантии. Судя по полученным ранее сейсмическим данным [12], а также данным МТЗ [13], связанные между собой каналы, насыщенные флюидами, которые в районе Тянь-Шаня пересекают различные тектонические структуры, существуют в нижней части земной коры. В то же время по «корням» крупных разломных зон флюиды могут подниматься в кору из верхней мантии [1, 2, 12]. Так, в подземных водах в пределах полосы сильного поглощения (в зоне Таласо-Ферганского разлома) в конце 1980-х годов зарегистрированы очень высокие (субантийные) величины отношения изотопов гелия (рисунок 1), которые ранее никогда не встречались вне областей современного вулканизма [14].

Приуроченность очагов двух сильнейших за последние 25 лет землетрясений в районе Тянь-Шаня к полосе сильного поглощения позволяет предположить, что следующее сильное тектоническое событие может произойти также в области этой аномалии. В этой связи особый интерес представляет

северное окончание данной полосы (область между станциями КВК и ТКМ2), где наблюдается особенно сильное поглощение S-волн. В этой области, к востоку от станции КВК, выделена зона очень высокого поглощения на глубинах ~ 35-85 км по коде местных землетрясений (рисунок 8).

Таким образом, существование аномалии поля поглощения между станциями КВК и ТКМ2 подтверждается двумя независимыми методами. Полученные данные свидетельствуют о том, что в изучаемом районе, по крайней мере, с 1996 г. происходит активный подъем флюидов из верхней мантии в земную кору. С таким заключением согласуется существенное увеличение доли относительно глубоководных событий в этой области, начиная примерно с 1997–1998 гг. (мы связываем эти землетрясения с гидроразрывами на кровле двухфазного слоя большой вертикальной протяженности, обусловленными высокими напряжениями, которые вызваны большим различием плотностей флюидов и твердого скелета [1, 2]). Следует добавить, что был проведен анализ механизмов четырех относительно глубоководных землетрясений ($h \geq 13$ км) из аномальной области, произошедших в 1998-2004 гг. (Полешко Н.Н.). Оказалось, что для трех землетрясений наблюдается сброс по обеим плоскостям (близгоризонтальное растяжение), в то время как в целом в районе Северного Тянь-Шаня доминируют взбросы и надвиги, формирующиеся в условиях близгоризонтального сжатия. Для четвертого землетрясения (16.01.2004) получено необычное распределение знаков первых вступлений, плохо согласующееся с обычным механизмом двойной пары сил. Таким образом, приведенные данные не противоречат нашему предположению о формировании этих очагов посредством гидроразрыва.

Существует также аналогия с Байсорунским землетрясением. Интересно, что за два года до Байсорунского землетрясения вблизи его очага произошло событие с магнитудой $M_s = 5.4$ (17 июня 1988 г., $t_0 = 13-30-43.6$) [19]. Механизм землетрясения также был отличен от характерного механизма землетрясений Тянь-Шаня с магнитудой $M > 4$. Этот очаг характеризовался движениями типа сбросо-сдвига. Кроме того, необычна была и ориентация плоскостей разрыва: одна плоскость имела простирание близмеридиональное, другая - северо-западное. Ча-

ще всего, в качестве действующей у происходивших здесь ранее землетрясений выделялась плоскость северо-восточного простирания, согласующаяся с одним из направлений основных структур, а именно - северотяньшаньским. Аномалия глубоководной сейсмичности перед Байсорунским землетрясением 1990 г. наблюдалась примерно в течение двух лет. Поскольку длительность процессов подготовки землетрясений существенно растёт с их энергией [15], можно предполагать, что в аномальной области может готовиться более сильное землетрясение (с магнитудой ~7.0).

О высоком сейсмическом потенциале рассматриваемой области свидетельствует большая плотность палеосейсмодислокаций, сохранившихся после землетрясения с $M > 6.5$, произошедшего здесь, вероятно, более 1000 лет назад [16]. Отметим ещё, что по данным М.Д. Иманбаевой и др. [17] на гидрогеохимических станциях ALA и ISA, начиная примерно с 1998 г., выделяется аномалия, связанная с существенным уменьшением интенсивности гелиевого потока, в то время как по всем остальным станциям Северного Тянь-Шаня он постоянно увеличивается.

Полученные в работе данные не позволяют сделать заключение о возможном времени возникновения готовящегося землетрясения. Для целей краткосрочного прогноза важное значение имеют, в частности, наблюдения за уровнем воды в скважинах и дебитом источников в аномальной области и её окрестностях, что служит одним из наиболее надёжных предвестниковых эффектов [15]. (на станции ALA с 1992 по 2002 г. наблюдалось постоянное снижение дебита источников [18]). Кроме того, весьма целесообразно вести мониторинг изотопного состава гелия, который служит индикатором проникновения мантийных флюидов в верхнюю часть земной коры [14].

Благодарности. Авторы выражают признательность С. Рекеру (Ренселаерский политехнический институт, США), Г.Г. Щелочкову (ОИВТ РАН), Р.Т. Бейсенбаеву (СОМЭ ИС МОН РК), а также Центру данных консорциума IRIS (IRIS/DMC, США) за предоставление записей тянь-шаньских станций, а также И.Л. Аристовой за помощь в обработке первичных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копничев Ю.Ф. Вариации поля поглощения поперечных волн перед сильными землетрясениями Северного Тянь-Шаня // Доклады РАН, 1997. - Т. 356, № 4. - С. 528-532.
2. Копничев Ю.Ф., Михайлова Н.Н. Геодинамические процессы в очаговой зоне Байсорунского землетрясения 12 ноября 1990 г. (Северный Тянь-Шань) // Доклады РАН, - 2000. - Т. 373, № 1. - С. 93-97.
3. Запольский К.К. Частотно-избирательные сейсмические станции ЧИСС // Экспериментальная сейсмология. - М.: Наука, 1971. - С. 20-36.
4. Roecker S., Sabitova T.M., Vinnik L.P. et al. Three-dimensional elastic wave velocity structure of the Western and Central Tien-Shan // J. Geophys. Res., - 1993. - V.98 NB9. - P.15779-15795.
5. Копничев Ю.Ф. О тонкой структуре земной коры и верхней мантии на границе Северного Тянь – Шаня // Доклады РАН, 2000. - Т. 375, №1. - С. 93-97.

6. Копничев Ю.Ф. Короткопериодные сейсмические волновые поля.- М.: Наука, 1985. - 176 с.
7. Каазик П.Б., Копничев Ю.Ф., Нерсесов И.Л., Рахматулин М.Х. Анализ тонкой структуры короткопериодных сейсмических полей по группе станций //Физика Земли, 1990. - № 4.- С. 38-49.
8. Fan G., Lay T. Characteristics of Lg attenuation the Tibetan Plateau //J. Geophys. Res., 2002. - v. 107. N B1, doi:10.1029/2001JB000804.
9. Нерсесов И.Л., Пономарёв В.С., Тейтельбаум Ю.М. Вариации активности коровых землетрясений в различных слоях глубины и сейсмический прогноз//Доклады АН, 1979. - Т. 247, № 5 - С. 1100 – 1102.
10. И.Л. Нерсесов, А. Садыков, А. Нурмагамбетов, Н.Н. Михайлова. Сейсмический режим Северного Тянь-Шаня в связи с Жаланаши-Тюпским землетрясением 25.03.1978 г.//Физика Земли, 1981.- № 5. - С. 18-30.
11. Копничев Ю.Ф., Нурмагамбетов А.Н. Детальное картирование верхней мантии Тянь-Шаня по поглощению поперечных сейсмических волн //Физика Земли, 1987.- № 10. - С. 11-25.
12. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Пространственно-временные вариации поля поглощения S-волн в очаговых зонах сильных землетрясений Тянь-Шаня//Физика Земли, 2003.- № 7. - С.35-47.
13. Ваньян Л.Л., Хайндман Р.Д. О природе электропроводности консолидированной коры//Физика Земли, 1996. - № 4.- С. 5-11.
14. Поляк Б.Г., Каменский И.Л., Султанходжаев А.А. и др. Субмантийный гелий во флюидах юго-восточного Тянь-Шаня//Доклады АН, 1990. - Т. 312, № 3. - С. 721-725.
15. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений.- М.: Наука, 1993.. - 313 С.
16. Крестников В.Н., Белоусов Т.П., Ермилин В.Н. и др. Четвертичная тектоника Памира и Тянь-Шаня. - М.: Наука, 1979. - 115 с.
17. Иманбаева М.Д., Мозолева Е.Л., Яковенко В.С. и др. Вариации гидрохимических параметров, обусловленные геодинамическими процессами//Геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорных регионов/Тезисы докладов. – Бишкек, 2002. - С. 117.
18. Кальметьева З., Гребенникова В., Ильясов Б., Чеховская Р. О возможности мониторинга поля напряжений по данным сейсмологии и гидрогеохимии землетрясений//Проблемы предотвращения последствий разрушительных землетрясений. - Алматы: Эверо, 2003. - С. 254-261.
19. Михайлова Н.Н., Неверова Н.П., Оспанов А.Б. Землетрясения Северного Тянь-Шаня//Землетрясения в СССР в 1988 г. - М.: Наука, 1991.- С. 107-114.

ОРТА ТЯНЬ-ШАНЬ АУДАНЫНДА ГЕОДИНАМИКАЛЫҚ ПРОЦЕССТЕРІ ТУРАЛЫ: СЕЙСМИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША АНОМАЛЬДЫ ОБЛЫСТАРЫН БӨЛІП КӨРСЕТУ

¹⁾Копничев Ю.Ф., ²⁾Михайлова Н.Н., ²⁾Соколова И.Н.

¹⁾РҒА Бірлескен Жер физикасы институты, Мәскеу, Ресей

²⁾ҚР ҰҰО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Бұрын ұсынылған қыртыстағы қатты жерсілкіну даярлығының моделі негізінде Орта Тянь-Шань ауданы үшін сейсмикалық деректерінің талдауы өткізіледі. Жер қыртысы мен жоғарғы мантияда көлденең толқындардың жұтылу өрісі құрылымының кеңістіктік вариациялары, сондай-ақ қаралған ауданда сейсмикалық процессінің ерекшеліктері талдауында. Алдағы жылдарда айтарлықтай қатты ($M > 6.0$) жерсілкінуі болу мүмкін Бишкек қаласынан оңтүстік-шығысында аномальды облыс көрсетілген. Осы қорытындысымен өзге қолдағы геологиялық, геофизикалық және геохимиялық деректері сәйкес келеді.

PECULIARITIES OF GEODYNAMIC PROCESSES IN THE REGION OF CENTRAL TIEN SHAN: DETERMINATION OF ANOMALY REGION USING SEISMIC DATA

¹⁾Yu.F. Kopnichev, ²⁾N.N. Mikhailova, ²⁾I.N. Sokolova

¹⁾Joint Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²⁾Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

We conduct an analysis of seismic data for the Central Tien Shan region on the base of qualitative model for large crustal earthquake preparation, which has been suggested earlier. We analyze spatial variations of transverse wave absorb field structure in the earth's crust and upper mantle, and also peculiarities of seismic regime in the region under consideration. We developed an abnormal area to the south-east of Bishkek city, where enough strong earthquake ($M > 6.0$) can occur in a few years. The other geological, geophysical and geochemical data agree with such a conclusion.

УДК 621.039.9+550.348

РАСПОЗНАВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЯХ ПО ЗАПИСЯМ СТАНЦИЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЕТИ НАЦ РК

Соколова И.Н.

Институт геофизических исследований НАЦ РК, Курчатов, Казахстан

Для станций НАЦ РК изучена структура короткопериодных сейсмических полей от подземных ядерных взрывов, произведенных на полигонах Лобнор (Китай), Похаран (Индия) и Чагай (Пакистан), а так же землетрясений с эпицентрами, близкими к этим полигонам. Установлены пороговые значения для каждого параметра и оценено качество распознавания событий.

Проблема идентификации сейсмических источников на региональных расстояниях является в настоящее время актуальной во всем мире. Для событий с магнитудой $m_b > 4.5$ эта проблема, в основном, решена: такие события, как правило, регистрируются большим числом станций, как на близких, так и на телесеизмических расстояниях; для них существует большое количество методов распознавания, включая отношение магнитуд $m_b:M_s$, построение фокального механизма, сложность сигнала, сопоставление синтетического и реального сигнала и др. Иная ситуация с относительно слабыми событиями с магнитудой $m_b < 4.0$, для которых существует небольшое количество сейсмических записей, полученных на станциях, расположенных в том же регионе, что и само событие. Кроме того, по своей природе сейсмические сигналы на региональных расстояниях отличаются повышенной сложностью - на их динамических характеристиках сильно отражаются неоднородности строения литосферы и астеносферы на трассе очаг-пункт наблюдения, - поэтому для них труднее использовать методы распознавания, основанные на сложности сигнала, S/P дискриминанты и др. методы.

Сейсмические станции сети НАЦ РК, часть которых входит в Международную систему мониторинга (IMS), создаваемую для контроля за соблюдением Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (СВТ), являются одними из немногих станций в мире, расположенных на региональных расстояниях (до 3000 км) относительно испытательных полигонов Азии (рисунок 1).

В Центре сбора и обработки специальной сейсмической информации, ведется круглосуточный мониторинг сейсмических событий разной природы. Одной из задач аналитиков является контроль за проведением ядерных испытаний в обширном регионе Центральной и Южной Азии сейсмическими методами. Основными этапами сейсмического распознавания на региональных расстояниях являются: определение местоположения источника и глубины события, построение механизма очага, построение спектра события, определение амплитудных отношений региональных фаз, отношения магнитуд поверхностных и объемных волн.

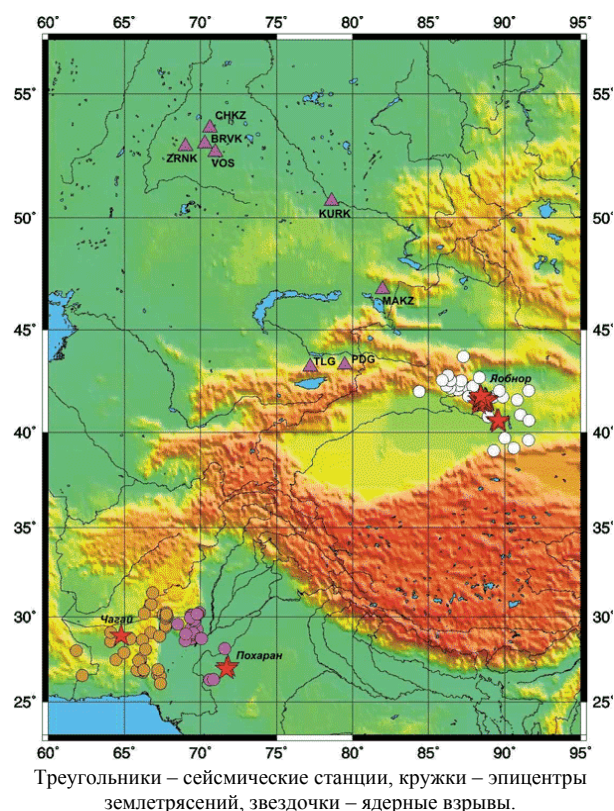


Рисунок 1. Карта расположения станций НАЦ РК, подземных ядерных взрывов и эпицентров землетрясений

Каждый из этих этапов не универсален в аспекте идентификации природы источника и имеют определенные ограничения в их применимости. Наиболее эффективным методом распознавания подземных ядерных взрывов на региональных расстояниях является метод спектральных отношений амплитуд региональных фаз, поскольку при ядерных взрывах в виде поперечных волн излучается меньшая доля энергии, чем при землетрясениях.

СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ И ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Анализировались записи, полученные на цифровых сейсмических станциях НАЦ РК: BRVK, CHKZ, KURK, MAKZ, PDG, TLG, VOS, ZRNK (рисунок 1). Дополнительно использовались данные «суррогатных» аналоговых станций КСЭ ОИФЗ РАН - CHK,

ZRN, VOS, TLG (СКМ-3, АСС-6/12, КСЭ), данные аналоговой станции из архива ИГИ НЯЦ РК - KURK (СКМ-3) [2, 3].

Сведения о землетрясениях и взрывах взяты из каталогов NEIC и PDE Геологической службы США, каталога REB Международного центра данных и каталога ISC Международного сейсмологического центра.

Для исследований по полигону Лобнор отобрано 54 события за 1968-2002 гг. (с магнитудой $m_b \geq 3.4$) из района северо-западного Китая, ограниченного координатами $39^\circ\text{--}43^\circ$ с.ш. и $86^\circ\text{--}92^\circ$ в.д., из них 12 подземных ядерных взрывов и 42 землетрясения, диапазон магнитуд от 3.4 до 6.5 (рисунок 1).

Для исследований по полигону Похаран выбран район: $25.5^\circ\text{--}30.5^\circ$ с.ш. и $68.8^\circ\text{--}71.8^\circ$ в.д., отобрано 33 события с магнитудой $m_b > 4.0$ за 1973-2002 гг., из них 31 землетрясение и 2 ядерных испытания (рисунок 1).

Для исследований по полигону Чагай выбран квадрат: $26.5^\circ\text{--}30.5^\circ$ с.ш. и $61.8^\circ\text{--}67.8^\circ$ в.д., отобрано 36 событий с магнитудой $m_b > 4.1$ за 1980-2000 гг., из них 35 землетрясений и один подземный ядерный взрыв (рисунок 1).

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Сейсмические записи предварительно были отфильтрованы. Использовались фильтры с центральными частотами 0.6, 1.25, 2.5, 5 Гц и полосой пропускания 2/3 октавы на уровне -3 Дб от максимума. Фильтрация проводилась для исключения эффектов, связанных с различием спектральных характеристик записей, которые могут быть обусловлены различием частотных характеристик аппаратуры. Общий

частотный диапазон определялся характеристиками аппаратуры, магнитудой и эпицентрными расстояниями, за пределами этого диапазона отношение сигнал/шум не позволяло проводить измерения.

Для полигона Лобнор измерялись амплитуды в волнах Pn, Pm, Sn, Sm, и Lg. Времена вступлений фаз Pn, Sn, Lg определялись по годографу КСЭ [4]. Амплитуда в фазе Pn измерялась в интервале 5 секунд от первого вступления. Проводились замеры максимальной амплитуды в фазах Sn и Lg. Измерялась максимальная амплитуда в интервале между вступлением волны Pn и окончанием цуга Pg, - эта фаза обозначалась Pm (в большинстве случаев фаза совпадала с Pg). Измерялась также максимальная амплитуда в интервале между вступлением волны Sn и Lg, - она обозначалась как фаза Sm. В случае если амплитуда группы Sn была максимальной в интервале между Sn и Lg, то принималось, что Sm совпадает с Sn. В тех случаях, когда волновые фазы не выделялись, или выделялись очень слабо, замеры амплитуды соответствующей волны не проводились. Для анализа использованы десятичные логарифмы отношения амплитуд волновых групп Sn, Sm, Lg к амплитуде волн Pn и Pm, измеренных на компоненте Z. Далее, для простоты, будут опускаться повторяющиеся символы, например, величина $\lg(A_{Lg}/A_{Pn})$ обозначается как Lg/Pn и т.д.

На рисунке 2 приведены примеры сейсмограмм ядерного взрыва, проведенного на полигоне Лобнор, и землетрясения вблизи полигона Лобнор, записанные сейсмической станцией Боровое.

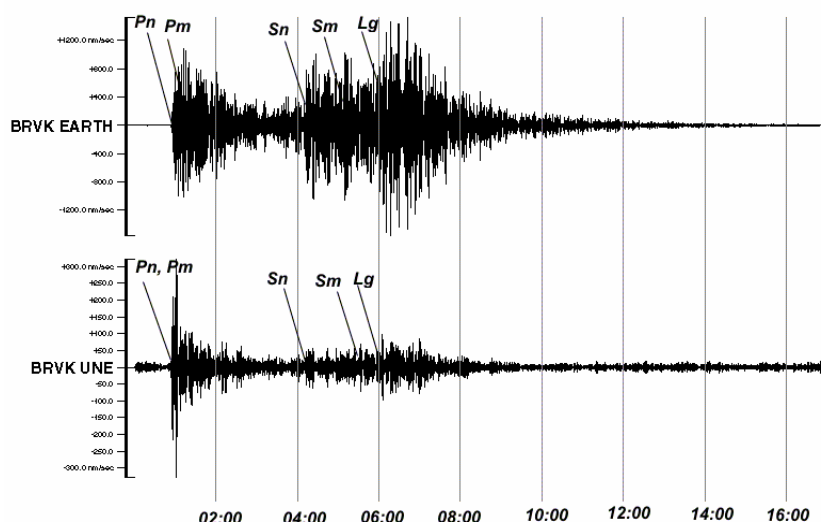


Рисунок 2. Примеры сейсмических записей: сверху - землетрясения (30 января 1999 г., $\Delta = 1853$ км); внизу - подземного ядерного взрыва (полигон Лобнор, 29 июля 1996 г., $\Delta = 1839$ км). Станция BRVK, компонента Z, фильтр с центральной частотой 1.25 Гц

Для полигона Похаран измерялись максимальные амплитуды в волнах P, Pn, Pm, S, Sm, Lg на записях станций MAKZ, PDG, TLG. Времена вступления фаз P, Pn, S, Lg определялись по годографу КСЭ [4]. Измерялась максимальная амплитуда в интервале между вступлением волны S и Lg (Sm). Если амплитуда S превышала все амплитуды в этом интервале, то считалось, что Sm совпадает с S. Pm, по аналогии с Sm – условное обозначение волны, имеющей максимальную амплитуду в интервале P-волн. Амплитуда Pn определялась как максимум во временном интервале от начала вступления Pn до вступления P. Амплитуда P замерялась во временном окне около 5 с от начала вступления фазы. Для анализа использованы логарифмы отношения амплитуд S, Sm, Lg к амплитудам Pn, Pm и P, измеренным на вертикальной компоненте. Для станций BRVK, CHKZ, KURK, VOS, ZRNK по аналогичной методике замерялась максимальная амплитуда в волнах P, Pm, S, Sm, Lg. Времена вступления фаз P, Pn, S, Lg определялись по годографу IASPEI. Все замеры производились на частотах 0.6, 1.25, 2.5.

Для полигона Чагай измерялась максимальная амплитуда в волнах P, Pn, Pm, S, Sm, Lg на записях станций PDG, TLG. Замеры проводились по методике, аналогичной примененной для полигона Похаран. Для анализа использованы логарифмы отношения амплитуд Sn, S, Sm, Lg к амплитудам Pn, Pm и P на вертикальной компоненте. Для станций BRVK, CHKZ, KURK, VOS, ZRNK по аналогичной методике замерялась максимальная амплитуда в волнах P, Pm, S, Sm, Lg. Все замеры амплитуд производились на частотах 0.6, 1.25 и 2.5.

Для поиска критериев распознавания рассматривались следующие характеристики логарифмов амплитудных отношений:

- средние выборочные значения для взрывов и землетрясений;
- дисперсии по выборке;
- коэффициент качества разделения:

$$K_{qd} = \frac{\bar{X}_{eq} - \bar{X}_{ex}}{\sqrt{S_{eq}^2} + \sqrt{S_{ex}^2}}, \quad (1)$$

где $\bar{X}_{eq}$ и $\bar{X}_{ex}$ – средние выборочные значения, а S_{eq} и S_{ex} – дисперсии для землетрясений и взрывов соответственно (очевидно, что чем выше абсолютная величина коэффициента качества разделения, тем соответственно меньше вероятность ошибки);

- пороговое значение, при котором происходит разделение взрывов и землетрясений [5,6,7].

На рисунке 3 приведен пример распределения значений Sm/Pm для взрывов и землетрясений по станции BRVK.

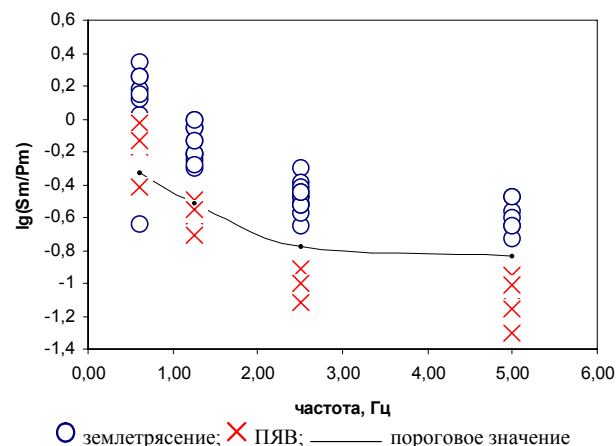


Рисунок 3. Распределение значений параметра Sm/Pm для взрывов и землетрясений, станция BRVK, канал Z

Из рисунка 3 видно, что хорошее разделение параметра Sm/Pm для взрывов и землетрясений наблюдается для частот 2.5, 5.0 Гц.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Эпицентральные расстояния и характеристики поля поглощения существенным образом влияют на динамические характеристики сейсмических волн, поэтому результаты исследования значений отношения амплитуды поперечных волн к амплитуде продольных волн для каждого из рассматриваемых полигонов различаются.

Район полигона Лобнор характеризуется относительно пониженным поглощением поперечных волн [8]. Для кокчетавской группы станций BRVK, CHKZ, VOS, ZRNK хорошее разделение спектральных отношений наблюдается при частотах 2.5, 5.0 Гц для всех параметров вида X/Pm. Для станций, расположенных в Восточном Казахстане – KURK и MAKZ, наилучшие результаты наблюдаются для параметров вида X/Pn при частотах 2.5, 5.0 Гц. Для станции Талгар хорошее разделение спектральных отношений наблюдается для параметров вида X/Pm и X/Pn при частоте 5.0 Гц. В таблице 1 представлены результаты сейсмического распознавания событий в районе полигона Лобнор по всем станциям. В таблице красным цветом выделены параметры, для которых наблюдается разделение ПЯВ и землетрясений, при этом указаны значения коэффициента качества разделения согласно формуле (1). Синим цветом в таблице выделены параметры, для которых не наблюдается разделение спектральных отношений.

Таблица 1. Результаты сейсмического распознавания и коэффициенты качества разделения для полигона Лобнор

Станция	Δ до полигона	Sn/Pn				Sm/Pn				Lg/Pn				Sn/Pm				Sm/Pm				Lg/Pm			
		0.6	1.25	2.5	5.0	0.6	1.25	2.5	5.0	0.6	1.25	2.5	5.0	0.6	1.25	2.5	5.0	0.6	1.25	2.5	5.0	0.6	1.25	2.5	5.0
BRVK	1945															1.75	1.89			3.03	2.13			1.72	1.46
CHKZ	1969				3.52			1.96	3.48				2.98			1.22	2.14			2.55	2.48			2.54	2.36
VOS	1885		1.96	2.18	2.73		1.80	2.38	3.16		3.34	1.47	2.25			1.46	1.73			1.87	3.59				1.42
ZRNK	2009			2.28	2.28			2.78	1.43		1.38	2.11	2.12			1.62	2.60			2.91	1.20			2.23	2.64
KURK	1346				1.75			1.50	1.77				1.71												
MAKZ	857			2.13	2.04			2.54	1.88			2.01	1.67			1.90				2.78				1.89	
TLG	1005				2.90			1.76	2.59			1.61	2.28				3.16			1.79	3.01			1.63	2.38

Район полигона Похаран характеризуется промежуточным поглощением поперечных волн [8]. По станциям TLG, PDG хорошее разделение спектральных отношений наблюдается при частотах 0.6, 1.25, 2.5 Гц для всех параметров вида X/Pm, X/P. Для отношений вида X/Pn разделения не наблюдается. По станциям, расположенным на Кокчетавском массиве BRVK, CHKZ, ZRNK, VOS, хорошее разделение параметров наблюдается на частоте 2.5 Гц (параметры Sm/P, Lg/P). Для станций, расположенных в Восточном Казахстане (MAKZ, KURK) хорошее разделение спектральных отношений наблюдается для параметров Lg/P, Lg/Pm на частоте 2.5 Гц. В таблице 2 представлены результаты сейсмического распознавания событий, происходящих в районе полигона Похаран.

Район полигона Чагай характеризуется сильным поглощением поперечных волн [8]. Для этого района группы Р волн были разделены делили на три составляющие для станций, расположенных на Се-

верном Тянь-Шане (TLG, PDG), и на две составляющие для станций, расположенных в Северном и Восточном Казахстане (BRVK, CHKZ, ZRNK, VOS, KURK, MAKZ). По станциям TLG, PDG хорошее разделение спектральных отношений наблюдается при частотах 0.6, 1.25 Гц для всех параметров вида X/Pm, X/P. Для отношений вида X/Pn разделения не наблюдалось. Разделение параметров для станции KURK, расположенной в Восточном Казахстане, наблюдается для отношений S/P, Sm/P, Lg/P на частоте 1.25 Гц. Аналогично, на частоте 1.25 Гц наблюдается разделение параметров для станции MAKZ по отношениям Sm/P, Sm/Pm, S/Pm. Для станций, расположенных на Кокчетавском массиве (BRVK, CHKZ, VOS), наилучшими оказались спектральные отношения вида Sm/Pm, Lg/Pm, замеренные на частоте 1.25 Гц. В таблице 3 представлены результаты сейсмического распознавания событий, происходящих в районе полигона Чагай.

Таблица 2. Результаты сейсмического распознавания и коэффициенты качества разделения для полигона Похаран

Станция	Δ до полигона	S/P				Sm/P				Lg/P				S/Pm				Sm/Pm				Lg/Pm			
		0.6	1.25	2.5	5.0	0.6	1.25	2.5	5.0	0.6	1.25	2.5	5.0	0.6	1.25	2.5	5.0	0.6	1.25	2.5	5.0	0.6	1.25	2.5	5.0
BRVK	2885						1.78	2.82			1.70	3.40													
CHKZ	2953		1.51				1.98	4.47				3.91			1.41					2.49				2.83	
VOS	2846					2.75	1.37	3.43		2.32	3.69	5.95						1.14	1.73	4.51		1.68	4.26	3.47	
ZRNK	2880	4.03	2.06				1.92	1.84		1.38	2.82			5.09	4.63				2.11	2.10			2.15		
KURK	2685		3.61					3.61				4.97								1.93				2.24	
MAKZ	2362	2.71				3.00				2.53	1.91	1.99		4.93				4.20				2.26	2.27	2.59	
PDG	1929	4.91	3.62			3.59	5.52	1.95		10.8	6.08	10.2		6.10	4.00			4.38	6.41	1.97		9.83	9.26	10.2	
TLG	1857	2.98				2.76	2.28	4.35		2.23	2.22	1.98		2.72				2.40	1.95	3.85		1.65	2.15	1.49	

Таблица 3. Результаты сейсмического распознавания и коэффициенты качества разделения для полигона Чагай

Станция	Δ до полигона	S/P				Sm/P				Lg/P				S/Pm				Sm/Pm				Lg/Pm			
		0.6	1.25	2.5	5.0	0.6	1.25	2.5	5.0	0.6	1.25	2.5	5.0	0.6	1.25	2.5	5.0	0.6	1.25	2.5	5.0	0.6	1.25	2.5	5.0
BRVK	2721														3.19				2.39	7.04					
CHKZ	2793	1.89				2.46				2.60				3.38	1.20			5.39	4.65			4.52			
VOS	2695		1.80				1.77				2.34								2.26				2.59		
ZRNK	2694																								
KURK	2686		2.25				2.03				2.29														
MAKZ	2486							4.11			1.32				2.36					2.15		1.59			
PDG	2070	6.05				3.23	1.74			3.71	1.62			3.22	1.08			4.21	2.97			3.07	2.83		
TLG	1942	2.47	2.54			2.34	2.77			2.56	3.48			3.13				2.90	2.91			2.39	4.17		

Выводы

Для каждого полигона существует характерный диапазон частот, для которого коэффициенты качества разделения максимальны. Для полигона Лобнор – это диапазоны с центральными частотами 2.5, 5

Гц, для полигона Похаран - диапазоны с центральными частотами 1.25, 2.5 Гц, для полигона Чагай - диапазон с центральной частотой 1.25 Гц. Лучшим, в смысле распознавания является параметр Sm/Pm для всех полигонов и параметры Lg/P, Lg/Pm для

полигонов Похаран и Чагай. Выявлена зависимость качества распознавания от эпицентрального расстояния. Так, лучшими оказались станции, расположенные на расстояниях ~1800-1950 км от полигонов. Для полигона Лобнор такими станциями являются VOS, CHKZ, BRVK, для полигона Похаран – станции PDG, TLG, для полигона Чагай – станции PDG, TLG. Из станций Международной системы мониторинга наилучшей в смысле распознавания является станция PS23-Маканчи. Для всех полигонов Азии с увеличением эпицентрального

расстояния наблюдается общая тенденция к уменьшению порогового значения.

Задача создания универсального и надежного алгоритма распознавания ядерных взрывов и землетрясений на региональных расстояниях пока окончательно не решена. В настоящее время разработаны алгоритмы распознавания для конкретных известных полигонов, для определенных станций. Однако, нет гарантии, что найденные закономерности и методы, будут эффективны для других районов Азии. Поэтому работы в этом направлении продолжаются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тухватулин Ш.Т., Тихомиров Л.Н., Беляшова Н.Н., Михайлова Н.Н., Дёмин В.Н., Марченко В.Г., Комаров И.И. Система геофизического мониторинга, созданная в национальном ядерном центре Республики Казахстан, и её возможности// Геофизика и проблемы нераспространения/ Вестник НЯЦ РК. - Курчатов: НЯЦ РК, 2002. – вып. 2. - С.5-8.
2. Брулев Ю.В., Крылов Г.Г., Нерсесов И.Л. и др. Аппаратура для региональных сейсмических исследований//Инструментальные средства сейсмических наблюдений/Сейсмические приборы. - М.: Наука, 1980. – Вып. 13. - с. 138-153.
3. Аранович З.И., Кирнос Д.П., Токмаков В.А. и др. Основные типы сейсмометрических приборов//Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР. - М.: Наука, 1974. - С. 43-117.
4. Нерсесов И.Л., Раутиан Т.Г. Кинематика и динамика сейсмических волн на расстояниях до 3500 км от эпицентра//Экспериментальная сейсмика/Труды ИФЗ АН СССР.- М.: Наука, 1964. – С. 63-87.
5. Копничев Ю.Ф., Шепелев О.М., Соколова И.Н. Распознавание ядерных взрывов и землетрясений на региональных расстояниях для полигона Лобнор//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2000. - вып.2. - С.65-77.
6. Копничев Ю.Ф., Шепелев О.М., Соколова И.Н. Исследования по сейсмическому распознаванию подземных ядерных взрывов на полигоне Лобнор //Физика Земли, 2001. - № 12. -С.64-77.
7. Копничев Ю.Ф., Шепелев О.М., Соколова И.Н. Исследования по сейсмическому распознаванию подземных ядерных взрывов и землетрясений на полигонах Индии и Пакистана//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2001. - вып.2 - С. 96-101.
8. Копничев Ю.Ф., Аракелян А.Р. О природе короткопериодных сейсмических полей на расстояниях до 3000 км//Вулканоология и сейсмология, 1988. - № 4. - С. 77-92.

ҚР ҰЯО СЕЙСМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕСІНІҢ СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ ЖАЗБАЛАРЫ БОЙЫНША АУМАҚТЫҚ ҚАШЫҚТЫҚТАРДА ЖЕР АСТЫНДАҒЫ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРЫ МЕН ЖЕР СІЛКІНУЛЕРІН ТАҢУ

Соколова И.Н.

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Лобнор (Қытай), Похаран (Үндістан) және Чагай (Пакистан) полигондарында өткізілген жер астындағы ядролық жарылыстардан, сондай-ақ эпиорталықтары осы полигондарға жақын жерсілкінулерден ҚР ҰЯО станциялары үшін қысқапериодты сейсмикалық өрістерінің құрылымы зерделген. Әр параметрге табалдырықтық мәндері анықталған және оқиғаларды таңу сапасы бағаланған.

DISCRIMINATION OF UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS AND EARTHQUAKES USING NNC RK SEISMIC NETWORK DATA AT REGIONAL DISTANCES.

I.N. Sokolova

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The structure of short period seismic waves field from underground nuclear explosions, conducted at the Lop Nor, Pokharan and Chagai test sites and earthquakes with epicenters near these test sites was studied for NNC RK stations. Threshold values and coefficients of discrimination quality were defined for each parameter.

УДК

**ЛОКАЛЬНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ АНОМАЛИИ В ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЙ
ЗОНЕ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ В ШТОЛЬНЯХ****Бусыгин В.П., Андреев А.И.***Войсковая часть 31600, Министерство обороны Российской Федерации*

На основе материалов тепловой аэрофотосъемки и наземного термокаротажа, полученных на Семипалатинском испытательном ядерном полигоне в период с 1986 по 1992 гг., выявлены устойчивые тепловые аномалии на дневной поверхности в области откольных зон подземных ядерных взрывов, имеющих «возраст» до 20 и более лет. Установлены геометрические формы и размеры аномалий, предложена феноменологическая модель явления. Подробно рассмотрены сезонно-суточные особенности проявления тепловых аномалий.

При проведении тепловой аэрофотосъемки территорий Семипалатинского испытательного ядерного полигона (СИЯП) были обнаружены локальные очаги устойчивого теплового свечения, имеющие специфическую геометрическую форму [1,2]. После привязки тепловых снимков к местности и проведения наземных измерений оказалось, что тепловое свечение пространственно совпадает с периферийными областями откольных зон подземных ядерных взрывов (ПЯВ). Это тепловое свечение получило название тепловых аномалий ПЯВ [3]. Для ПЯВ, выполненных в штольнях, тепловые аномалии обычно имеют кольцообразную или дугообразную форму, типичный вид которой приведен на рисунке 1. Взрывы в штольнях проводились в своем большинстве на горном массиве Дегелен, расположенном в районе Калба-Чингизского глубинного разлома. Массив сложен, в основном, гранитами, вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами, формирующими крупную структуру диаметром около 30 км. Интрузивные породы вкраплены в виде отдельных гранитоидных тел относительно небольших размеров. Температура породы на глубине заложения зарядов составляет 6-8°C [4].



Рисунок 1. Типичный вид ИК фотографии тепловой аномалии ПЯВ. СИЯП, Дегелен, ноябрь 1988 г. Взрыв выполнен в 1964 г.

Климатические условия на массиве Дегелен, как и на всем СИЯП, являются резко континентальными, со среднегодовой температурой около +1°C. Лето – сухое и жаркое, с температурой воздуха до +40°C. Осень и весна – пасмурные и холодные, со

средней температурой не выше +7°C. Исключение составляет май – теплый и ясный. Зима холодная, малоснежная, с температурой воздуха до -40°C [4].

Приведенные геолого-климатические характеристики местности определяют, согласно [5,6], условия консервации тепловых очагов в породах, формирование тепловых проявлений на дневной поверхности и возможности их регистрации.

Обзор материалов по термике котловых полостей ПЯВ показывает, что они многие годы имеют высокую внутреннюю температуру, медленно убывающую с течением времени [6-8]. Так, детальные исследования поля температур, выполненные для взрыва "Рейниер" (США) мощностью 1,7 кт, показывают, что максимальная температура в котловой полости через полгода после взрыва достигала 94°C, а при взрыве "Рулисон" температура в полости за 6 лет упала лишь до 290°C.

Результаты по отечественным ПЯВ, выполненным в более холодных породах, также свидетельствуют о том, что средняя температура воздуха в котловых полостях обследованных взрывов, проведенных 10 и более лет назад, достигала 30-50°C, т.е. котловые полости ПЯВ являются долговременными хранителями и источниками тепловой энергии.

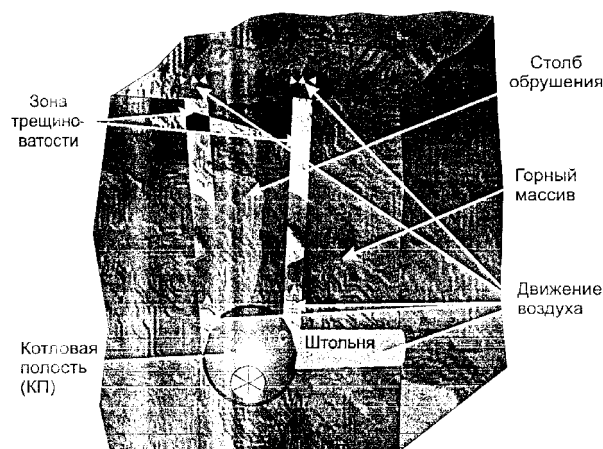


Рисунок 2. Схема взаиморасположения котловой полости, зон обрушения и трещиноватости.

Из рисунка 2 видно, что котловая полость после проведения ПЯВ не является абсолютно герметичной. Наличие техногенных воздействий, зоны трещиноватости, столба обрушения и других тектонических нарушений делает ее доступной для воздушных потоков и, следовательно, для выноса тепла и присутствующих газов на дневную поверхность.

Для контроля интенсивности и конфигурации тепловых аномалий на дневной поверхности применялся метод тепловой съемки с борта летательных аппаратов (использовались самолет АН-30Р и вертолет МИ-8 МТ) с помощью аэротепловизионной аппаратуры «Зима-8М» или «Вулкан» с модифицированным блоком скорости протяжки фотопленки, что позволило обеспечить диапазон высот полета от 200 до 3500 м. При этом выбор скорости протяжки для конкретного носителя и орографических условий полета оптимизировался согласно методике [5]. Использовался метод оптико-механического сканирования местности в направлении, перпендикулярном направлению перемещения тепловизора с летательным аппаратом. Полеты проводились галсами над изучаемым районом, причем высота полета должна была обеспечивать необходимую полосу захвата. В частности, в ясные дни оптимальными были значения высоты полета около 1500 - 1700 м и скорости полета около 350 км/час.

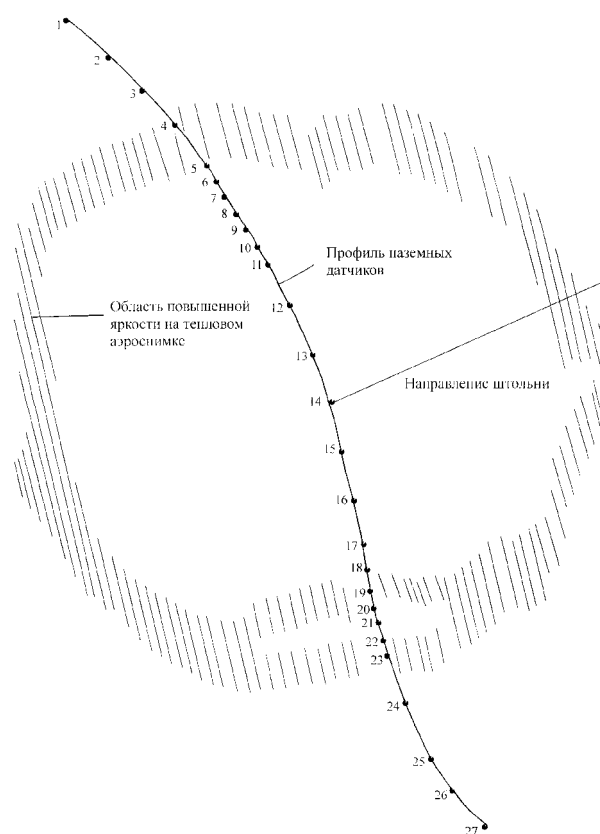
Регистрация выполнялась охлаждаемым ИК радиометром с чувствительностью в области 8 - 14 мкм. Одновременно с тепловой съемкой проводилась аэрофотосъемка в видимом диапазоне спектра для получения подробной информации об окружающем ландшафте, необходимой для дешифрования тепловых снимков и правильной привязки к местности тепловых объектов.

Указанным образом было обследовано более 40 ПЯВ, выполненных в период от 1 до 26 лет назад относительно даты измерений. Практически для всех из них на дневной поверхности в эпицентральной зоне наблюдались кольцеобразные или дугообразные тепловые структуры, охватывающие откольные зоны взрывов. В случаях, соответствующих ПЯВ малых энергий, тепловые аномалии не имели выраженной геометрической формы, а представляли собой отдельные тепловые пятна или множества тепловых пятен произвольной конфигурации.

Для обоснования достоверности существования тепловых аномалий, как долговременных остаточных процессов ПЯВ, исследования проводились в двух направлениях. Первое было связано с исключением гипотезы о солнечном неравномерном прогреве грунта за счет различной экспозиции горных склонов и микрорельефа. Для этого выполнялся цикл ночных и предутренних измерений в осенне-зимний период в условиях сильной облачности при нулевой продолжительности солнечного сияния и практическом отсутствии разницы в дневных и ночных значениях температуры воздуха. Результаты

измерений подтвердили факт наличия тепловых кольцеобразных аномалий ПЯВ. Косвенно роль солнечного прогрева отрицает и сама форма тепловой аномалии, так как солнечное излучение в холодное время года может "прогреть" лишь одну сторону провальной воронки.

Второе направление было связано с проверкой привязки тепловых аномалий на дневной поверхности к картине местного действия ПЯВ. Задача решалась с помощью методов наземного термокаротажа в области тепловой аномалии, привязанной к местности по тепловому снимку. Измерения температуры дневной поверхности осуществлялись с помощью термодатчиков, среднеквадратическая погрешность которых не превышала 0,2-0,4°C. Для проведения измерений для каждой тепловой аномалии создавались 1 - 2 измерительные линии, имеющие не менее 20 датчиков, размещенных по кабелю на расстоянии около 5 м друг от друга (рисунок 3). Измерительные линии располагались на местности приблизительно как диаметры кругов, охватывающих откольные зоны.



Тепловая аномалия показана заштрихованной областью. Сплошная кривая соответствует наземной измерительной линии, а кружки с цифрами - расположению и номерам термодатчиков для данного объекта

Рисунок 3. Схема наземных измерений в откольной зоне

От прямых солнечных лучей датчики защищались специальными экранами. Истинное значение

измеренной температуры вычислялось для каждого термодатчика отдельно, с учетом поправок на реальное сопротивление линии. Каждый цикл измерений осуществлялся в течение трех суток с периодичностью снятия показаний через 2 часа. Продолжительность одного замера данных по одной линии не превышала 10 мин.

На рисунке 4 приведено типичное пространственное распределение температуры по профилю

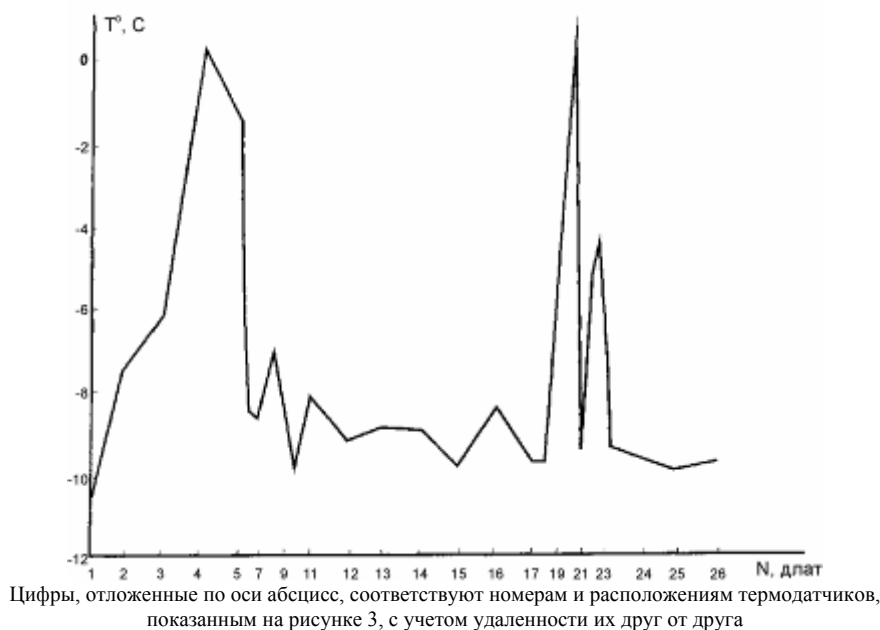


Рисунок 4. Распределение температуры по профилю наземных измерений в холодное время года.

Из рисунка 4 видно также, что газы, выходящие на дневную поверхность, имеют температуру более низкую, чем скальная порода на глубине заложения заряда. Это обусловлено двумя причинами. Во-первых, тем, что в холодное время года воздух, проходя через нагретую котловую полость взрыва, сам не успевает прогреться из-за достаточно высоких скоростей движения воздушных масс. Во вторых, из-за нарушения целостности породы и образования множества глубоких трещин происходит более глубокое остывание породы в массиве и существенно увеличивается площадь соприкосновения выходящего воздуха с остывшей породой.

Параллельно с термокаротажем проводились оценки геометрических размеров тепловых аномалий. Было показано, что для достаточно широкого спектра энергий и глубин проведения ПЯВ максимальный радиус тепловой аномалии изменяется в пределах от 80 до 250 м, а ширина теплового кольца - от 20 до 60 м.

Для выявления начала выноса тепла на дневную поверхность был выполнен специальный эксперимент, включающий в себя режимную тепловую съемку местности в течение 6 дней до взрыва для получения опорной информации по характеру теплового поля района испытаний в ночное и дневное

расположения термодатчиков, показанному на рисунке 3. По оси абсцисс в пропорциональном масштабе отложены расстояния между датчиками и указаны их номера. Видно, что датчикам, расположенным в полосе теплового высвета, соответствуют повышенные значения наземной температуры, причем, по сравнению с фоновыми значениями температуры воздуха, эти превышения достигают 8-10°C.

время. После проведения ПЯВ, на другой и последующие 3 дня выполнялась регулярная тепловая съемка той же местности. Помимо визуальных оценок обработка проводилась на оптико-электронном вычислительном комплексе.

Квантирование изображений, яркостная коррекция, многократное увеличение анализируемых фрагментов теплового поля показали отсутствие каких-либо тепловых аномалий до проведения ПЯВ. Те же операции, выполненные после эксперимента, зафиксировали ярко выраженные дугообразные источники теплового излучения, охватывающие откольную зону ПЯВ. Образовавшаяся тепловая аномалия сохраняла свои излучательные и геометрические характеристики и при последующих периодических регистрациях в течение осенне-зимнего сезона.

Полную продолжительность срока существования тепловых аномалий установить не представлялось возможным, так как за семилетний период их наблюдения термический режим практически не изменился. Наибольший зафиксированный срок существования аномалии на момент наблюдения составил 25 - 26 лет.

Безусловный интерес связан также с исследованием суточно-сезонных измерений тепловых эффектов. Суточный ход температуры, полученный по одновременным измерениям на полосе теплового выноса и на

ненарушенном участке земной поверхности и осредненный по 48 опытам (октябрь - ноябрь), показан на рисунке 5. Видно, что тепловой эффект наблюдается непрерывно в течение суток на местах, соответствующих, согласно тепловому снимку, выносу теплого воздуха из полости. Характерно, что колебания температуры в течение суток для области тепловой аномалии составляют около одного градуса, тогда как для ненарушенного участка поверхности размах колебаний температур достигает 4-х градусов. При этом в последнем случае суточный температурный ход имеет ординарный характер, а для тепловой аномалии отсутствуют послеполуденный нагрев и минимум температуры в районе 7 - 8 часов утра. Все это также свидетельствует о том, что наблюдаемые тепловые аномалии не являются следствием солнечного прогрева поверхности земли и ее альбедных изменений под воздействием ПЯВ.

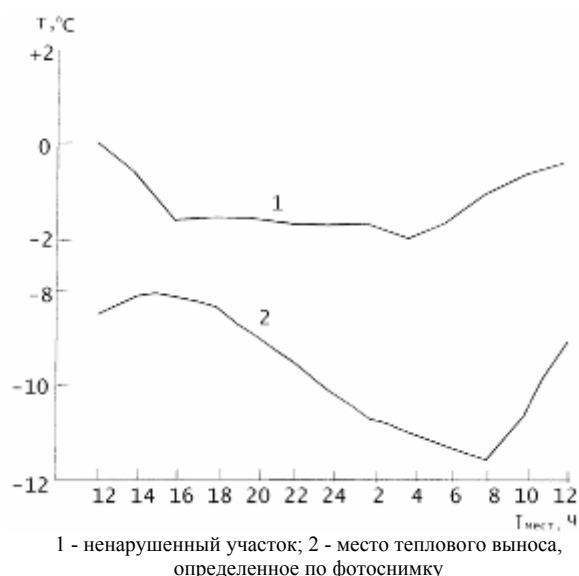
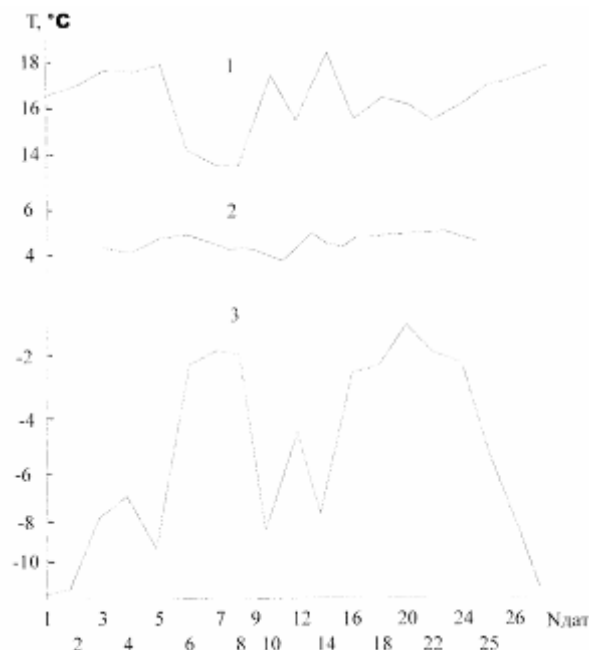


Рисунок 5. Суточный ход температуры на дневной поверхности

Сезонный ход, в отличие от суточного, изучен в меньшей мере, так как большинство летных наблюдений выполнялось в рамках штатных полетов в осенне-зимний сезон. Имеющийся ограниченный материал тепловой съемки и наземного теплокартажа в теплое время года позволяет лишь сделать вывод о том, что тепловые аномалии ПЯВ могут проявлять себя по-разному, в том числе неоднократно были отмечены случаи, когда в откольной зоне наблюдалась пониженная на 2 - 3 градуса по сравнению с фоном температура (рисунок 6).



1 - лето; 2 - межсезонье при температуре воздуха, близкой к температуре в штольне; 3 - холодный период года.

Рисунок 6. Сезонный ход температуры по профилю измерений (объект и расположение датчиков отличны от тех, что исследуются на рисунках 3 и 4)

Для объяснения подобных явлений предлагается феноменологическая модель образования и динамики тепловых аномалий.

Принимая во внимание, что истечение воздуха из котловой полости в атмосферу за счет избыточного давления весьма скоротечно (10 - 20 минут после взрыва), в качестве рабочей гипотезы предлагается модель, основанная на принципах "печного эффекта" [3]. Суть ее заключается в том, что движение воздуха через нагретую котловую полость происходит за счет механизмов газовой конвекции, причем направление движения может быть как из портала штольни вверх через тектонические разломы в эпицентральной зоне, так и наоборот.

Из уравнения для депрессии h_3 тяги воздуха

$$h_3 = A (t_b - t_n),$$

где A - коэффициент, зависящий от параметров атмосферы и канала эксхалляции воздуха; t_n - температура наружного воздуха, °C; t_b - осредненная по профилю подъема температура воздуха внутри горной породы, °C, видно, что величина депрессии пропорциональна разнице температур наружного и проходящего по тектоническим нарушениям воздуха. Это означает, что при $t_b = t_n$ депрессия естественной тяги воздуха $h_3 = 0$, то есть движения газов в системе «штольня - котловая полость - зона трещиноватости» не происходит. При $t_b > t_n$ движение газов имеет направление от устья штольни к центру взрыва и вверх вдоль столба обрушения; при $t_b < t_n$ направление движения газов обратное - от откольной зоны к устью штольни.

Если температуру t_v рассчитывать по эмпирической формуле

$$t_a = 6 + \frac{1,1(t_{\text{те}} - 6^i)}{H_{\text{гд}}},$$

где $t_{\text{пол}}$ - температура воздуха в котловой полости, °C; H - приведенная глубина ПЯВ, $i \cdot d^{(-1/3)}$; (формула заимствована из кандидатской диссертации А.Н. Волкова, СИЯП, 1967 г.), то можно получить ориентировочные значения внешних температур, для которых должна наблюдаться положительная депрессия. В частности, для ПЯВ мощностью 10^3 т, с глубиной подрыва боезаряда $H = 100$ м, положительная депрессия наблюдается при наружной температуре не более 16°C , если температура воздуха в полости составляет 100°C . При снижении температуры в полости до $15 - 20^\circ\text{C}$, граница соответствующей наружной температуры падает до $7 - 7,5^\circ\text{C}$.

Учитывая, что полученные оценки являются достаточно приближенными, был выполнен натурный эксперимент по установлению связи направлений движения и расхода воздуха с наружной температурой. Здесь следует сказать, что непосредственные измерения движений воздуха возможны лишь в портале штольни. В области откольных явлений, как было сказано ранее, анемометрические измерения затруднены вследствие сложности микрорельефа местности и невозможности визуального определения положения большинства трещин, по которым движется воздух.

Регистрация скорости движения воздушных масс проводилась с помощью анемометра на расстоянии $40 - 50$ м вглубь от портала штольни. Направление движения воздушных масс определялось по отклонению пламени или по направлению движения дыма, образующегося при горении дымовой шашки (при скоростях ниже $0,2$ м/с). Измерения проводились в двух точках, расположенных у "потолка" и

"пола" штольни соответственно (рисунок 7). В каждом сеансе измерения скоростей проводились не менее 3-х раз при длительности замера 10 с. По результатам замеров рассчитывались средние значения, которые принимались за скорость движения воздуха в точке измерений. Полученные данные сведены в таблицу.

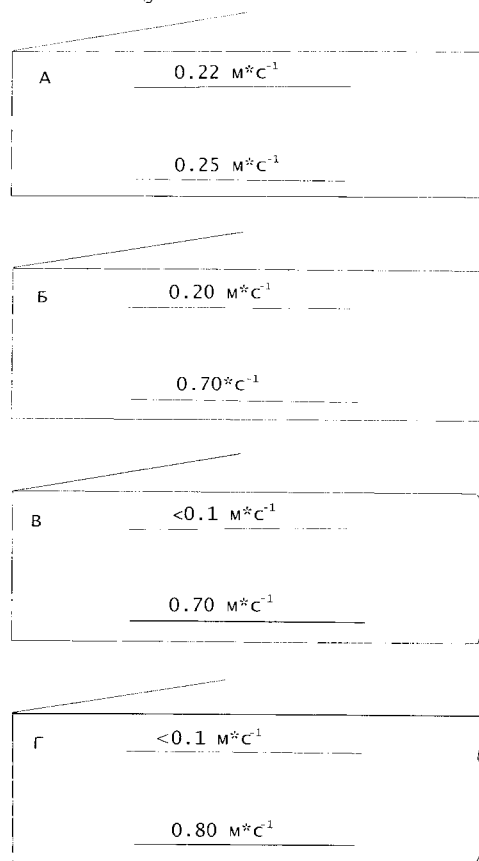


Рисунок 7. Скорости и направления движения воздуха в штольнях: а – равновесные состояния; б – лето; в, г – холодный период года (осень, зима)

Таблица 1. Направление движения, скорость и расход воздуха в штольне

Температура наружного воздуха, °C	Направление движения воздуха	Скорость у «пола» и «потолка», м/с	Расход воздуха, м³/час
22,4	в сторону портала	0,70 – 0,22	707
20,4	в сторону портала	0,75 – 0,20	495
17,0	в сторону портала	0,60 – 0,20	475
17,3	в сторону портала	0,65 – < 0,1	475
16,2	в сторону портала	0,73 – 0,10	466
16,2	в сторону портала	0,22 – 0,20	454
19,8	в сторону портала	0,70 – 0,10	466
21,0	в сторону портала	0,70 – 0,10	466
21,8	в сторону портала	0,72 – 0,20	705
0,5	в сторону полости	< 0,1 – 0,30	314
- 5,4	в сторону полости	< 0,1 – 0,30	348
- 6,0	в сторону полости	< 0,1 – 0,20	180
- 9,0	в сторону полости	0,1 – 0,30	296
- 7,0	в сторону полости	< 0,1 – 0,20	226
- 7,4	в сторону полости	< 0,1 – 0,40	226
- 12,2	в сторону полости	< 0,2 – 0,80	-
- 14,0	в сторону полости	< 0,2 – 0,90	-

Анализ результатов эксперимента свидетельствует о следующем.

В теплое время года скорость движения воздуха у "пола" штольни направлена во вне и составляет 0,25 - 0,70 м/с, а скорость у "потолка" направлена внутрь и имеет намного меньшие значения: $< 0,1 - 0,2$ м/с, т.е. основная масса воздуха движется в сторону портала. Измеренный расход воздуха при этом колеблется в пределах 450 - 700 м³/час.

В прохладный и холодный периоды года движение воздушных масс в штольне происходит в направлении полости взрыва. При этом с понижением температуры увеличивается скорость движения воздуха внутрь штольни. Расход воздуха по сравнению с теплым временем года снижается и изменяется в пределах 180-350 м³/час.

Результаты эксперимента качественно подтверждают полученные теоретические оценки. Следует заметить, что величины депрессии воздушной тяги и расхода воздуха являются исходными данными для расчета аэродинамических характеристик горных пород, в частности, общего аэродинамического сопротивления системы и проницаемости нарушений породы, необходимых для оценки выхода радона и выноса химических элементов и радионуклидов на дневную поверхность.

Таким образом, резюмируя, можно сказать следующее:

1. В работе дано описание экспериментально установленных долговременных тепловых аномалий,

возникающих в эпицентральной зоне ПЯВ; приведены их геотермальные и геометрические характеристики. В частности, показано, что они имеют редко встречающуюся в природной среде кольцеобразную форму, что их температурный контраст может достигать 8-10°C, а пространственные размеры - нескольких сотен метров в радиусе.

2. Предложено модельное описание феномена тепловых аномалий на основе принципа "печного эффекта", то есть естественной тяги воздуха через техногенные и тектонические нарушения горной породы при расположении нагретой тепловой полости ПЯВ на пути движения газов.

3. Приведены некоторые геофизические характеристики нарушенной взрывом среды, в частности, описан аэродинамический режим системы "штольня" - "котловая полость" - "столб обрушения" - "откольная зона" - "горный массив". Показано, что в холодное время года имеет место положительная депрессия газовой эксхалляции из полости на дневную поверхность, а в теплое время - отрицательная, с преимущественным выходом воздуха через штольню. Проведена количественная оценка скоростей движения и расхода воздуха.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить искреннюю благодарность проф. Э.А. Закарину и его коллегам, инициировавшим своими публикациями научный и практический интерес к данной проблеме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бусыгин В.П., Андреев А.И., Щиплецов М.В. Многолетние теплорадиационные эффекты подземных ядерных взрывов и их экологический контроль в кн.: "Тезисы докладов международного симпозиума "Наука и общество: история советского атомного проекта" ", г. Дубна, Московской обл., 14 - 17 мая, 1996, 253 с.
2. Бусыгин В.П., Андреев А.И., Косолапов С.А., Гранберг И.Г., Иорданский А.М., Зудин Б.В., Щиплецов М.В., Ракитянский Б.И. Остаточные теплорадиационные проявления в откольной зоне подземного ядерного взрыва. Доклад на международном симпозиуме "Обнаружение и мониторинг подземных ядерных взрывов и землетрясений", г. Москва, 17 - 21 ноября 1997.
3. Бусыгин В.П., Андреев А.И., Косолапов С.А. Термический режим дневной поверхности в эпицентральной зоне подземных ядерных взрывов. Изв. РАН, сер. «Физика Земли», № 11, 1999, с. 68 - 74.
4. Андреев А.И. и др. Материалы комплексной аэросъемки территории Семипалатинского полигона. М.: КАЭ ПГО «Аэрогеология», 1998.
5. Шилин Б.В. Тепловая аэросъемка при изучении природных ресурсов. Л.: Гидрометеиздат, 1980, 248 с.
6. Израэль Ю.А. Мирные ядерные взрывы и окружающая среда. Л.: Гидрометеиздат, 1974, 136 с.
7. Нифонтов Б.И. и др. Подземные ядерные взрывы. М.: Атомиздат, 1965.
8. Taylar R.W. Thermal effects of underground nuclear explosions. - Nuclear Technology, vol 18, 1973, pp. 185 - 193.

ШТОЛЬНЯЛАРДА ЖАСАЛҒАН ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРДЫҢ ЖЕРАСТЫНДАҒЫ ОРТАЛЫҚТЫҚ АУМАҚТЫҢ ЖЕРГІЛІКТІ ЖЫЛУЛЫҚ АУЫТҚУЛЫҚТАРЫ

Бусыгин В.П., Андреев А.И.

Ресей Федерациясының Қорғаныс министрлігі, 31600 әскери бөлімі

1986-1992 ж. аралығында Семей сынау ядролық полигонынан жер бетіндегі термокаротаж бойынша және жылулық аэросүреттердің негізгі материалдары бойынша, Жасы жиырма жылдан және жоғары, жерастындағы жарған ядролық жарылыстардан жер бетінің орталарындағы сынақтардан орнықты жылулық ауытқулықтар

алынған. Құбылыстың таңғаларлық өмірде сирек кездесетін моделі ұсынылған және өлшемімен, геометриялық пішіні орнатылған. Жылулық ауткулықтарда көрінген маусым-тәулікті өзгешіліктер қарастырылған.

**LOCAL THERMAL ANOMALIES IN THE EPICENTRAL ZONE OF
THE UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS, CARRIED OUT THE ADITS**

V.P. Busygin , A.I. Andreyev

Military Unit 31600 of the Russian Ministry of Defense

The stable thermal anomalies were revealed on the daily surface in the area of the split zone of the underground nuclear explosions up to 20 and more years old on the basis of the thermal aerial survey and the ground thermologging materials from the Semipalatinsk test nuclear site in the period from 1986 to 1992. The geometrical forms and sizes of the anomalies were determined and the phenomenological model of the event was suggested. The signs of the seasonal and daily features of the thermal anomalies are under detailed consideration.

СПИСОК АВТОРОВ

Абылаев Ж.А., 65, 72
Андреев А.И., 124
Апса, ликов К.Н., 56
Апсаликов К.Н., 40, 45, 50
Артемов О.И., 7
Бауэр С., 40, 45, 50
Башенова А.Д., 7
Бусыгин В.П., 124
Ветринская Н.И., 32
Волобуев П.В., 13
Голдобина Е.А., 32
Горин Н.В., 77

Гроше Б., 40, 45, 50
Гусев Б.И., 40, 45, 50, 56
Дерявко И.И., 81, 91, 100
Жазыкбаева Л.К., 40
Журнист А.Г., 65, 72
Кадырова Н.Ж., 18
Копничев Ю.Ф., 104, 111
Куракина Н.Н., 56
Курумбаев Р.Р., 50
Макашев Ж.К., 65, 72
Мансарина А.Е., 40, 45
Михайлова Н.Н., 111

Пивина Л.М., 40, 45, 50, 56
Процкий А.В., 7
Птицкая Л.Д., 13
Раисова Г.К., 40
Саматугина О.Н., 40, 45
Смагин А.И., 26
Соколова И.Н., 104, 111, 119
Утешев А.Б., 65, 72
Чайжунусова Н.Ж., 50
Щербакова С.В., 40, 45
Щербина А.Н., 77

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, 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. 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.

