

МІНІСТЕРСТВО УКРАЇНИ У СПРАВАХ ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ
ВІД НАСЛІДКІВ АВАРІЇ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АЕС
АДМІНІСТРАЦІЯ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ

MINISTRY OF UKRAINE ON AFFAIRS OF PROTECTION OF THE POPULATION
FROM THE CONSEQUENCES OF THE ACCIDENT AT THE CHERNOBYL NPP
THE ADMINISTRATION OF THE EXCLUSION ZONE



ПРОБЛЕМИ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ

PROBLEMS OF CHERNOBYL EXCLUSION ZONE

3

УДК
551.4:551.3+5
56.388
628.14.39
541.15:546.83:
546.96
502.55:621.03
9.7

Збірник
містить
результати
наукових
досліджень і
дослідно-констр
укторських робіт
в Зоні
відчуження
ЧАЕС, які
направлені на
розробку
технологій,
устаткування і
приладів для
поводження з

РАВ та ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС, на вивчення складу і будови твердофазних носіїв активності ґрунту Зони відчуження, трансформації форм продуктів розподілу радіонуклідного складу паливних випадін в ближній зоні ЧАЕС, просторовому розподілу радіонуклідів та на вирішення інших проблем радіоекології. Велика увага приділяється медико-біологічним проблемам впливу наслідків аварії на флору, фауну і здоров'ї людини, умови праці і стан захворювання робітників, які працюють в Зоні відчуження.

Для науковців, працюючих у галузях екології, радіоекології, атомної енергетики, радіології, радіохімії та радіобіології, а також аспірантів та студентів.

The collection comprises the results of researches and design activity in the ChNPP exclusion zone with the aim to develop technology, equipment and instruments for RAW management and accident clean-up, studying of the composition and structure of the activity solid bearers in the soil of the exclusion zone and transformation of the radionuclides in the nearest zone of ChNPP. Much attention is paid to medical and biological problems of the accident influence on the flora, fauna and people's health, labour conditions said incidence of the people involved.

The collection comprises the information for scientists, experts, postgraduates and students engaged in ecology, radio ecology, nuclear engineering, radiology, radiochemistry and radiobiology.

Редакційна колегія

*В.І. Холоша (відповідальний редактор), В.І. Купчий (заст. відповідального редактора),
Е.В. Соболевич (заст. відповідального редактора.), М.І. Проскура (відповідальний секретар),
М. П. Архипов, В.І. Берчій, І.Ф. Вовк, О.В. Войцехович, В.Д. Вохмеков, В.А. Гайченко,
С.П. Джепо, Ю.П. Іванов, В.В. Жилінський, С.В. Казаков, О.П. Коваленко, В.О. Кашипаров,
О.С. Паршин, Б.С. Пристер, С.С. Саверський, А.М. Сердюк, В.М. Стародумов,
А.К. Сухоручкін, В.В. Токаревський*

Адреса редколегії

255620 Чорнобиль, вул. Радянська, 14
Адміністрація Зони відчуження
Тел. 225 30 58;
8 293 5 11 52

Затверджено до друку Науково-технічною радою при Адміністрації Зони відчуження

Редакція фізико-математичної та технічної літератури

Редактор Н.М. Труш

ISBN 5-12-004619-3

©Адміністрація Зони відчуження, 1996

МІНІСТЕРСТВО УКРАЇНИ У СПРАВАХ ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ
ВІД НАСЛІДКІВ АВАРІЇ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АЕС

ПРОБЛЕМИ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ
PROBLEMS OF CHERNOBYL EXCLUSION ZONE

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

ЗАСНОВАНО У 1994 Р.

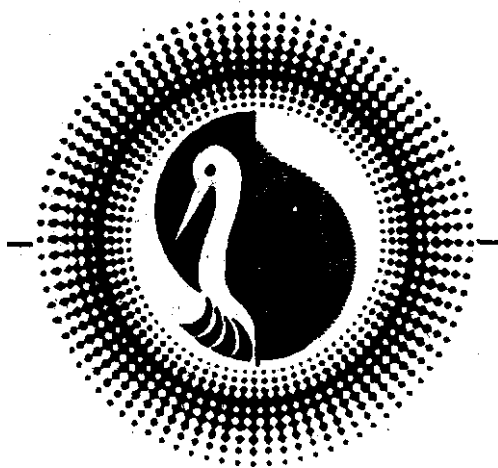
Випуск 3

КИЇВ НАУКОВА ДУМКА 1996

ЗМІСТ

<i>Соботович Э. В., Шестопалов В. М., Белевцев Р. Я., Яковлев Б. Г.</i> Состояние проблемы захоронения радиоактивных отходов в Украине и геологические аспекты их изоляции	5
<i>Марков В. В., Клочке Э. В., Пушкарев В. М., Постер И. П., Рясенко В. И., Смирнова Н. П.</i> "Down"-эффект регуляторной эндокринной функции гипофизарным гормоном у животных из Зоны отчуждения ЧАЭС	17
<i>Омельченко В. Д., Харитонов О. М.</i> Сейсмический мониторинг района размещения ЧАЭС	23
<i>Кендзера А. В.</i> Моделирование расчетных акселерограмм вранчевских землетрясений для промышленной площадки ЧАЭС	29
<i>Плюта П. Г., Дідух Я. П.</i> Фітоекологічні дослідження в Зоні відчуження ЧАЕС	39
<i>Соболев А. С., Пристер Б. С., Жалобіна Т. В., Чернобай В. М., Боженко К. В.</i> Формування радіаційної ситуації у приватних господарствах (самосели) в Чорнобильській Зоні відчуження	49
<i>Сухоручкин А. К.</i> К вопросу о классификации твердых тритийсодержащих отходов и их локализации в земляных хранилищах	53
<i>Херсонский Э. С., Филиппов А. М.</i> Зажоры и заторы льда на 60-километровом приустьевом участке р. Припять	59
<i>Бондарь А. Ю., Замостьян В. П., Невгад Ж. В., Нягу А. И., Хоменко И. И., Хлевнюк С. В.</i> Спектр аберраций хромосом в лимфоцитах периферической крови лиц, работающих в Зоне отчуждения	62

Петров М. Ф. Питание кабана (<i>Sus scrofa</i> L.) в Зоне отчуждения Чернобыльской катастрофы на территории Украины	69
Суденко В. И., Подгорский В. С., Рясенко В. И. Микрофлора желудочно-кишечного тракта чернобыльских норок (самок) различного возраста и иммунологического состояния	82
Мишунина Т. М., Калинин Л. Н., Пилькевич Л. И., Кононенко В. Я., Рясенко В. И., Богданова Т. И. Состояние медиатор/модуляторных систем мозга норок при воздействии радиационных факторов 10-километровой Зоны отчуждения ЧАЭС	90
Носова Л. И., Рясенко В. И., Родионова И. В. Влияние малых доз радиации на кроветворную функцию костного мозга позвоночных	100
Петров М. Ф. Корм козулі (<i>Capreolus capreolus</i> L.) у Зоні відчуження Чорнобильської катастрофи на території України	105
Масицкая О. А., Рясенко В. И. Морфометрическое изучение клеток органов пищеварения животных из Чернобыльской Зоны отчуждения	115
Проскура Н. И., Кожанов В. А., Маляренко В. В. Влияние гуминовой кислоты на электромиграцию ионов рубидия и цезия в модели песчаного грунта	118
Кожанов В. А., Шулепов Ю. В., Проскура И. И. Математическая модель динамического процесса сорбции радионуклидов в слое почвы однородной структуры при линейной изотерме	124
Гудков Д. И., Кузьменко М. И. Тритий в водоемах 30-километровой зоны Чернобыльской АЭС	130
Шехтман Л. М., Баранов В. Т., Нестеренко Г. Ф., Кишинская Е. А., Черная В. М., Яковлев Е. А. Оценка защитной способности от радиоактивных загрязнений геологической среды площадки комплекса "Вектор" в 30-километровой зоне ЧАЭС	134
Ильин М. И., Перепелятников Г. П. Особенности поведения радионуклидов при проведении мелиоративных работ на естественных лугах в Зоне отчуждения ЧАЭС	146
Сердюк А. М., Карачев И. И., Маленко Я. Д., Боровикова Н. М., Чернюк В. И., Наговицына Л. И., Геец В. И., Акименко В. Я., Чегринцев Г. Я., Присяжнюк В. Е. Радиационно-гигиеническая оценка последствия аварии на ЧАЭС для вахтового персонала, работающего в Зоне отчуждения	153
Думанский Ю. Д., Карачев И. И., Бездольная И. С., Шабунина Е. Д., Томашевская Л. А., Андриенко П. Г., Кушнир И. К., Ковтонюк Н. Д., Биткин С. В. Маркелова Л. К., Бережная Т. И. Биолого-гигиеническая значимость сочетанного действия инкорпорированного ¹³⁷ Cs и электромагнитного поля промышленной частоты	164
Калашишкова З. В., Корчак Г. И., Карачев И. И., Ерусалимская Л. Ф., Григорьева Л. В., Наговицына Л. И., Волощенко В. О., Троян Л. В., Бережная Т. И. Оценка доступности радионуклидов растениям при разных условиях жизнедеятельности микробиоценозов почвы	168
Нягу А. И., Халыкка И. Г., Логановский К. Н., Плацинда Ю. И., Юрьев К. Л., Логановская Т. К. Психоневрологическая характеристика лиц, перенесших острую лучевую болезнь	175
Кретинин А. В., Бредихин А. В. Критерий оценки выбора площадей под жилищное строительство	191
Щербина Н. И., Гулин Б. М. Исследование очистки жидких радиоактивных отходов пункта захоронения радиоактивных отходов Киевского государственного межобластного спецкомбината ионообменным методом	195
Деревец В. В., Дорошенко Л. А., Сухоручкин А. К., Ткаченко Ю. В. Оценка эффективности водоохраных сооружений на левобережной пойме р. Припять	200
Азаров С. И. Оценка предрасположенности ландшафтов Чернобыльской Зоны отчуждения к пожарам	204
Азаров С. И., Прикащиков А. И., Однолько А. А. Концепция системы обнаружения и сигнализации о пожарах в Зоне отчуждения ЧАЭС	209
Вишневский А. С., Кузьмина И. Е., Ткач В. Н., Токаревский В. В. Экспериментальные исследования радиоактивных новообразований объекта "Укрытие"	215
Прилипко В. А., Безверхая З. А. Медико-социальные аспекты публикаций о зоне отчуждения в отечественной прессе	224



ДО ЧИТАЧА

Збірник, що пропонується читачеві, в сумному значенні ювілейний - 10 років минуло з часу Чорнобильської трагедії. Тому, в першу чергу, низько вклонімося людям, які поклали свої сили, здоров'я і навіть життя в боротьбі з наслідками катастрофи.

Подяка і шана науковцям нашої країни, які з перших годин аварії визначили напрямки практичних дій по приборканню сили, що вийшла з-під контролю людини.

І сьогодні, через десять років, виконавши величезний обсяг досліджень, спостережень, проектів технічних рішень, науковці продовжують нести свою чорнобильську вахту. Зроблене по ліквідації наслідків катастрофи становить лише малу частку того, що належить зробити.

Чорнобильська біда згуртувала найкращі наукові сили не тільки України, Росії, Білорусі, а й усього світу. Цими силами накопичено неоціненний науковий матеріал.

Свій скромний внесок у справу публікації наукових праць, що стосуються чорнобильської проблематики, робить і наш збірник.

Користуючись нагодою, як відповідальний редактор, щиро запрошую до плідної співпраці зі збірником дослідників усіх споріднених наукових напрямків.

Міністр Мінчорнобиля України В.Холоша

TO OUR READERS

This collections of papers offered to our readers is a jubilee one, but the jubilee is very sad: ten years have passed from the day of the Chernobyl disaster. So, first of all, let us bow low before the people who did everything

3

in their power and gave their strength, health and even life fighting against after-effects of the disaster.

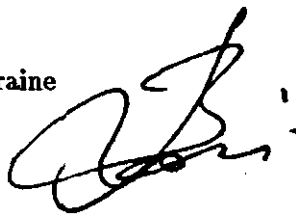
Our deep gratitude and profound respect to scientists of the whole former Soviet Union, who from the very first hours of that tragic accident determined the trends of practical actions for taming the power which had got out of the control of man.

Nowadays, ten years after the disaster, having fulfilled a wide scope of investigations, research, observations, engineering decisions, the scientists continue keeping their Chernobyl watch. All that was done for elimination of the disaster aftereffects is only a little bit of what is still to be done.

The Chernobyl distress has consolidated the best scientific potential not only of Ukraine, Russia and Byelorussia but of the whole world. The scientists have accumulated invaluable and unique findings.

Issuing this collection we make our humble contribution to publication of scientific works concerned with the Chernobyl problems.

Being the editor-in-chief of this collection, I seize an opportunity to invite kindly researchers of all related scientific trends to fruitful cooperation.



УДК 550.42

Э. В. Соботович, В. М. Шестопапов, Р. Я. Белевцев, Б. Г. Яковлев
**СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В УКРАИНЕ И
ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИХ ИЗОЛЯЦИИ**

В работе проанализировано состояние проблемы радиоактивных отходов (РАО) в Украине, прежде всего создавшееся в результате Чернобыльской катастрофы. Излагаются концептуальные положения по изоляции РАО и соображения об этапах исследования по выбору участков для изоляции РАО в Украине. С геолого-гидрогеологических и инженерно-геологических позиций рассмотрена территория Украины, и в качестве перспективных для изоляции РАО рекомендованы Украинский щит, и в его пределах массивы кристаллических пород - Коростенский, Корсунь-Новомиргородский и Восточно-Приазовский, а как наиболее перспективный - Луганский гранитный массив Коростенского плутона.

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В УКРАИНЕ

На территории Украины находится более 5000 предприятий, организаций и учреждений, которыми производятся, применяются, перевозятся или хранятся радиоактивные вещества, источники ионизирующих излучений и т.н. При этом низко- и среднеактивные отходы составляют примерно 90% общего объема производимых радиоактивных отходов (РАО), что равно 1% общей активности радионуклидов искусственного происхождения.

В наиболее загрязненной в результате Чернобыльской катастрофы Зоне отчуждения ЧАЭС находятся такие источники РАО, как объект "Укрытие" (24 МКи), а также 24 района временной локализации РАО (объем захоронения 1,1 млрд. м³), суммарной активностью 0,42 млн. Ки, в том числе в пунктах захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО) - 0,38 млн. Ки, в пунктах временной локализации радиоактивных отходов (ПВЛРО) - 0,03 млн. Ки.

В Зоне отчуждения на ПЗРО накоплено РАО: твердых 3720 м³, жидких около 800 м³. Здесь отсутствует переработка РАО, нормативная база по обращению с РАО, научное сопровождение, касающееся прогноза загрязнения объектов окружающей среды.

На предприятиях атомной энергетики скопилось большое количество РАО: твердых 20545 м³, жидких более 13000 м³. При этом на АЭС, кроме Запорожской, отсутствует переработка высокоактивных твердых РАО и нормативная база по обращению с РАО.

Непростое положение и в урановой промышленности, где накоплено более 8 млн. т твердых РАО с активностью 1000 Ки при добыче и свыше 80 млн. т РАО при переработке урановой руды, общей активностью до 130 тыс. Ки.

Сложная ситуация сохраняется в отношении РАО на других предприятиях сырьевой и перерабатывающей промышленности, военно-промышленного комплекса.

Результаты обследования ПЗРО в Киевской области за пределами Зоны отчуждения свидетельствуют о недостатках в соблюдении нормативных требований к захоронению, что приводит к загрязнению подземных вод и почвенно-растительного покрова радионуклидами.

Таким образом, состояние с РАО в Украине приобрело критически острый характер; места хранения и захоронения РАО в целом не соответствуют нормативным документам, нет объективных оценок технического состояния и воздействия на окружающую среду,

© Э. В. Соботович, В. М. Шестопапов, Р. Я. Белевцев, Б. Г. Яковлев, 1996

отсутствует государственная система, учета образования, перемещения, хранения и захоронения РАО, а практика обращения с РАО не соответствует требованиям действующих основных санитарных норм и правил в этой области. Все эти вопросы требовали скорейшего рассмотрения, поскольку создавали угрозу для жизнедеятельности предприятий атомной энергетики и других отраслей промышленности.

В 1992 г. по инициативе Госкоматома и Минчернобыля началась работа по созданию концепции обращения с РАО в Украине, к которой были привлечены специалисты НАН Украины, министерств, ведомств и организаций с целью незамедлительного решения проблемы РАО, носящей межотраслевой и межрегиональный характер, оказывающий влияние на состояние народного хозяйства и экологическую обстановку в стране. Сложность ситуации усугубляется тем, что в бывшем СССР основные работы по ядерным проблемам были засекречены и велись, в основном, за пределами Украины, что не позволяло украинским специалистам приобрести необходимые научные и технологические знания и опыт.

В 1993 г. концепция обращения с РАО была завершена и предоставлена на рассмотрение заинтересованным министерствам и ведомствам. Однако с момента ее создания и до практической реализации предстоит длительный путь. В конце 1993 г., по инициативе Национальной академии наук Украины, Минчернобыля и Госкома Украины при Президиуме НАН Украины был создан Межведомственный научный совет по проблеме обращения с РАО. Межведомственный совет рассмотрел возможности хранения и захоронения отходов и согласно их классификации осуществил подготовку макета Государственной программы обращения с РАО с учетом проработок вышеназванной концепция.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ИЗОЛЯЦИИ РАО

В основу концептуальных положений по обращению с высокоактивными отходами (ВАО) был положен принцип многобарьерной изоляции, предложенный МАГАТЭ, который состоит в следующем:

- многобарьерная система защиты биосферы от изолированных ВАО, включающая материал ВАО, контейнеры и природный массив;

- обязательная изоляция ВАО, в том числе и отходов ядерного топлива (ОЯТ) в глубокие геологические формации;

- использование при их извлечении, в основном, дистанционных средств, т.е. безопасных и технически (технологически) эффективных. Концепция обращения с РАО в Украине включает в себя: ориентацию конечных стадий реальной схемы ядерно-топливного цикла (ЯТЦ) на долговременное сухое хранение отработанного ядерного топлива (ОЯТ) на площадках, пригодных для этой цели с геологической и иных точек зрения при одновременном государственном развитии инфраструктуры спецтранспорта, спецоборудования и мест хранения;

- ориентацию на экологически надежную изоляцию РАО через их обязательную переработку до экологически безопасных форм, надежное долговременное хранение в региональном хранилище и обязательную изоляцию кондиционированных РАО как необходимые и обязательные процессы завершающих стадий любой схемы ядерно-топливного цикла (ЯТЦ) Украины.

Технические средства, которые предполагается использовать при захоронении ВАО, должны быть технологически безопасны, эффективны и не приводить к переоблучению персонала.

Уровень	Наименование и предназначение хранилища твердых РАО	Обращение с жидкими РАО	Предприятия-производители отходов	Эксплуатирующая хранилища организация
1	1а. Кратковременное (срок до года) хранилище РАО на промплощадке предприятия (с дальнейшей передачей на уровень 3 и 4)	Очистка, отверждение, передача на уровень 3	Научные, медицинские и др., АЭС (НАО и САО)	Предприятие-производитель отходов (с конечной ликвидацией хранилища)
	1б. Долговременное (от 3 до 30 лет) хранилище на промплощадке предприятия (передача на уровень 5)	Отверждение, передача на уровень 5	АЭС (ОЯТ, ВАО)	То же
	1в. Постоянное хранение (могильник) на промплощадке предприятия	Очистка	Урановая промышленная добыча и переработка сырьевых ресурсов	Предприятие-производитель отходов с передачей обслуживания областной (региональной) службе эксплуатации хранилищ
2	Районные (областные) пункты сбора отходов дезактивации (ПСОД)	Очистка	Все предприятия и объекты реабилитации территории	МСК
3	Региональные пункты сбора, переработки, временного хранения и (или) захоронения РАО	Очистка, отверждение, хранение и (или) захоронение, передача на уровень 4	Научные, медицинские и др.	МСК
4	Централизованное приповерхностное хранилище низко- и среднеактивных отходов	Очистка, отверждение, захоронение	Научные, медицинские и др. АЭС (НАО и САО)	Специализированная отрасль обращения с РАО
5	5а. Национальное долговременное приповерхностное хранилище ОЯТ и ВАО	-	АЭС (ОЯТ и ВАО) ВПК (ОЯТ и ВАО) научные учреждения (исследование реактора)	То же
	5б. Национальное постоянное хранилище ОЯТ и ВАО в глубоких геологических формациях	-	То же	То же

Окончательная изоляция ВАО должна строиться исходя из гарантии их изоляции от биосферы в течение десятков тысяч лет.

Все хранилища РАО на территории Украины предполагается объединить в систему, находящуюся под контролем государственной организации. Она включает в себя хранилища пяти уровней (см. таблицу), из которых два последних в настоящее время отсутствуют. Это централизованные хранилища для низко- и среднеактивных отходов и долговременные

7

приповерхностные Национальные хранилища ОЯТ и ВАО, а также хранилища постоянной изоляции ОЯТ и ВАО в глубоких геологических формациях.

В соответствии с требованиями МАГАТЭ, Украина должна обеспечить хранение (захоронение) отвержденных высокоактивных отходов и ОЯТ в хранилищах геологического типа. Хранилище геологического типа для ОЯТ, ВАО и САО должно быть создано после 2025 г.

В проекте Национальной программы обращения с РАО предполагается выделить основные этапы работ по выбору подходящих площадок для сооружения хранилищ.

Первый этап предусматривает подготовку правовой, нормативно-технической, научно-методической, лабораторной и производственной баз. Предстоит сделать анализ исходных данных и требований безопасности принципов и критериев выбора геологических площадок. Здесь должен быть выполнен целый ряд мероприятий, в том числе обзор и выбор

методов оценки безопасности хранилищ, выполнение модельных оценок безопасности и других параметров с целью определения степени их важности.

На следующем этапе предстоит провести общую оценку территории Украины с целью отбора потенциально пригодных для захоронения радионуклидов геологических районов.

Далее следует этап разработки ТЭО создания подземной лаборатории по захоронению средних и высокоактивных отходов в геологические формации, в основную задачу которой входит изучение взаимодействия природных и инженерных барьеров хранилища и отработки технологических аспектов захоронения РАО.

На всех этапах создания хранилищ для долговременного захоронения РАО должны выполняться фундаментальные и прикладные исследования для научного обоснования работ. В части их методологии будет сделан акцент на два генеральных направления:

региональные детальные исследования, которые позволят выбрать участки и получить прямые доказательства того, что в пределах выбранных площадок хранилище может быть сооружено, эксплуатироваться, а затем закрыто безопасным способом;

получение прямых и косвенных результатов исследования безопасности хранилища для человека и окружающей среды после его закрытия в течение последующих десятков тысяч лет.

При этом должны быть рассмотрены все предлагаемые на сегодняшний день варианты окончательного захоронения ВАО, вплоть до детальной проработки идеи "самозахоронения".

Практическую реализацию работ по созданию хранилищ для захоронения РАО в проекте Национальной программы предполагается предписать ныне действующим предприятиям в системе Минчернобыля, УкрГО "Радон", НПО "Припять" и предприятиям, которые будут созданы после 1988 г. для организации и строительства Национального хранилища ОЯТ и ВАО. Например, на УкрГО "Радон" может быть возложен сбор, переработка, временное хранение и захоронение ИНН, низкоактивных и среднеактивных РАО, отходов дезактивации. На НПО "Припять" - сбор, переработка и хранение (захоронение) РАО в Зоне отчуждения ЧАЭС, строительство и эксплуатация комплекса "Вектор" и создаваемого на его базе центра по переработке и захоронению РАО.

Что касается предприятия, которое в будущем будет являться Национальным хранилищем ОЯТ и ВАО, то оно будет выполнять функции по подготовке к строительству и эксплуатации Национального хранилища ОЯТ и ВАО.

8

Разрабатываемая в программе обращения с РАО государственная система по обращению с отходами является составной частью всего комплекса природоохранных мероприятий. Изоляция низко- и среднеактивных отходов на базе центра по их переработке и изоляции ОЯТ и ВАО в Национальном хранилище позволит улучшить ситуацию со сбором, переработкой и изоляцией. Риск обращения с РАО в таком случае будет заметно снижен, т.е. долговременная изоляция отходов и их перезахоронение будут проходить в соответствии с самыми современными требованиями по защите окружающей природной среды. Одновременно с этим за счет сортировки и переработки РАО уменьшится объем изоляции. Кроме того, станет возможным создание автоматической информационной системы для учета движения и изоляции РАО, а это повысит их безопасность.

В рамках разрабатываемого проекта государственной программы предлагается применение системы национальных нормативных документов (стандартов), соответствующих структуре, предложенной МАГАТЭ. В планируемых мероприятиях нормативные документы регламентируют хранение РАО в хранилищах (поверхностных и приповерхностных), для которых обеспечивается безопасность после закрытия в течение всего периода времени, пока РАО будут представлять радиологическую опасность, а также регламентируется хранение всех типов РАО в геологических формациях, в том числе и выбор мест их размещения, строительства, гарантий безопасности, контроля и т.д. Также будут разработаны санитарно-гигиенические нормы и правила, касающиеся всех технологических операций при обращении с РАО. Удаление РАО относится к сфере действия системы ограничения доз, как для населения, так и персонала, занятого на переработке и захоронении РАО. Принятие любых решений, связанных с техногенным хранением и захоронением, будет

учитывать то обстоятельство, что все виды облучения должны поддерживаться на столь низком уровне, какой только разумно достижим с учетом экономических и социальных факторов.

Отличительной особенностью данной концепции является рассмотрение всего комплекса проблем обращения с РАО, начиная с их образования, технологий их переработки, до вывода РАО из цикла на хранение (захоронение) на фоне реального ЯТЦ Украины и альтернативных путей развития перспективной схемы атомной энергетики независимого государства.

В концепции приведены принципиально возможные варианты схем технологического обращения с ОЯТ, с высоко-, средне- и низкоактивными отходами.

Предложенная концепция выдвигает ряд проблем, которые должны быть решены в течение ближайшего времени. Например, до сих пор не решен вопрос о том, является ли ОЯТ радиоактивным отходом или это ценный ресурс. Если это ресурс, то будем ли мы развивать радиохимическое производство в Украине или оставим его для будущих поколений. Отсюда возникает проблема, хоронить или хранить ОЯТ. Точно так же не решена проблема, связанная с использованием готовых технологических схем переработки РАО или с необходимостью на базе новейших научных достижений (в том числе и зарубежных) создавать новые технологии.

СООБРАЖЕНИЯ ОБ ЭТАПАХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ВЫБОРУ УЧАСТКОВ ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В УКРАИНЕ

Исследования по проблеме изоляции РАО находятся: в Украине на стадии подготовительного этапа. Этот этап, по нашему мнению, должен включать в себя прежде всего:

9

детальное изучение результатов исследований в тех странах, где такие работы ведутся уже давно (США, Швеция, Канада, Германия, Франция, Россия и др.);

осмысление и преломление иностранного опыта применительно к условиям Украины; региональную оценку перспективности отдельных территория Украины для их последующего более детального специального изучения с целью создания хранилищ РАО на основе учета геолого-гидрогеологических, геохимических, ландшафтно-гидрологических, экономических, экологических, социальных и других факторов;

составление, совершенствование и последовательная поэтапная детализация программ исследований на основе международного опыта в достигнутой изученности территории страны.

Основными итоговыми задачами, которые должны быть решены при обосновании мест изоляции РАО, являются:

оценка опасности миграции радионуклидов по гидрогеологическим системам в ландшафтно-гидрологические системы и, следовательно, в биосферу;

обоснование горно-геологической (инженерно-геологической) устойчивости сооружения в течение длительного (10^4 - 10^5 лет) времени.

Решению этих основных задач должны быть подчинены все планы исследований и соответственно формироваться программы работ.

В соответствии с международным опытом мы считаем, что после завершения подготовительного этапа стратегия последующих работ должна состоять из таких этапов.

Первый рекогносцировочный этап должен включать в себя выделение нескольких конкурирующих площадей с массивами различных типов пород площадью 200-800 км² каждый, изучение их геологоструктурных, гидрогеологических, сейсмических, теплофизических, петрофизических, горно-физических, ландшафтно-гидрологических, климатических, хозяйственно-экономических и социальных особенностей на основе ранее выполненных работ и исследований.

Второй этап поискового изучения территорий должен базироваться на полевых (маршрутных, дистанционных, индикаторных и т.п.), геологических, гидрогеологических, геофизических, ландшафтно-геохимических, гидрологических работах, включающих в себя крупномасштабное (М 1:50 000) геолого-гидрологическое картирование территории, выявление зон питания, транзита и разгрузки подземных вод, их взаимосвязь (в том числе с

поверхностными водами), ресурсов и водного бассейна, химических особенностей, макрогетерогенности водообменных форм, базирующейся на выявлении структуры разломных зон и зон трещиноватости, литофациальных и петрографических изменений пород.

Работы этого этапа должны обеспечить создание взаимосвязанных гидролого-гидрогеологической и геохимической математических моделей верхней зоны геологической среды. Завершение этого этапа должно привести к уменьшению количества перспективных участков, подлежащих дальнейшему исследованию и сокращению размеров оставшихся перспективных участков до 40-80 км².

Третий этап - разведочный - включает в себя опытно-буровые, геофизические работы и направлен, прежде всего, на глубинное изучение участков. Среди наиболее важных аспектов изучения следует выделить информацию о характере и пространственной изменчивости зон трещиноватости, их проницаемости и степени межзональной гидродинамической взаимосвязи, включая связь с зоной интенсивного водообмена, химическом составе флюидов, литофациальных, петрографических, геохимических,

10

структурных особенностях глубоко залегающих отложений, их напряженности, теплофизических и сейсмических особенностях массива пород, их инженерно-геологических свойств. Результаты буровых и опытных работ с дополнительными площадными полевыми исследованиями масштаба 1:25 000, 1:10 000 должны быть использованы для создания взаимосвязанных гидрогеологической и горно-геологической (инженерно-геологической) математических моделей, которые базируются на вспомогательных структурно-геологических, в том числе отражающих характер современных движений, теплофизической, сейсмической и других концептуальных, картографических, физических и других моделях.

На основе анализа и обобщения работ третьего этапа осуществляется выбор разведочных участков площадью 2-5 км² для детальной разведки массива пород (четвертый этап), выделение мест для площадок с последующим созданием на более перспективной из них (площадью 20-50 га) подземного опытно-разведочного полигона (пятый этап), который в случае получения положительных результатов может перерасти в этап опытной эксплуатации объекта.

В отдельных наиболее благоприятных случаях возможно сокращение количества этапов работ. Однако оно должно обосновываться специальным комплексным анализом. Необоснованное сокращение количества этапов часто приводит к повышению риска неверного выбора участка.

Для осуществления системности и максимальном объективном учете комплекса основных факторов при выборе участков должна быть разработана система гидрогеологических, горно-геологических, геолого-структурных, геохимических, экологических, техногенных, социальных и экономических критериев, процедура их взвешивания и суммирования.

Считаем, что в программе исследований, которую необходимо разрабатывать, следует использовать опыт работ по Канадскому щиту, по проекту СТРИПА в Швеции и концепцию департамента энергетики США.

В частности, по аналогии с проектом СТРИПА, но с учетом украинской специфики (более слабая геолого-гидрогеологическая изученность территории), должна быть создана система взаимосвязанных концептуальных и математических моделей по принципу "вложенных матрешек":

регионального масштаба (1:100 000, 1:200 000), размеры территорий 200-800 км² (первых рекогносцировочный этап исследований);

локального масштаба (1:25 000, 1:50 000), размеры территорий 40-80 км² (второй-третий разведочные этапы работ);

детального масштаба (1:10 000), размеры территорий 2-5 км² (третий-четвертый этапы работ);

масштаб участка строительства, размеры территории 20-50 м², для характеристики объема хранилища и прилегающей зоны (пятый этап работ);

масштаб блока, поперечник 10-100 м², для изучения зоны, примыкающей к создаваемой полости захоронения и контейнерам;

масштаб подблока, поперечник до 10 м², для оценки нарушенности при строительстве зоны вмещающих пород.

Два последних масштаба моделей реализуются на стадии строительства и функционирования подземного опытно-разведочного полигона.

Представляется, что только на основе взаимоувязки и взаимодействия упомянутых систем "вложенных" моделей может быть разработана научно обоснованная согласованная система детального, локального и субрегионального мониторинга объекта РАО.

11

В связи с тем что в Украине проводились исследования подобного рода, одной из важных задач ближайшего будущего является целевое обучение специалистов и формирование научно-производственных коллективов для выполнения комплексных исследований на современном уровне с помощью современного оборудования и приборов.

С учетом нынешнего состояния экономики Украины эти исследования выполнимы лишь на основе хорошо обеспеченной международной кооперации и сотрудничества.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ВЫБОРА УЧАСТКОВ ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В УКРАИНЕ

В пределах Украины наиболее перспективными регионами для изоляции РАО с геолого-гидрогеологических позиций являются Украинский щит (УЩ), характеризующийся неглубоким залеганием кристаллических пород, и Днепровско-Донецкая впадина с широким развитием пластов и куполов пермской соли. Однако, учитывая, что Днепровский артезианский бассейн, приуроченный к одноименной тектонической структуре, является водообменной системой с наибольшими ресурсами пресных питьевых подземных вод (более 40% ресурсов Украины), значительной мощностью зоны пресных вод (до 1000 м), огромными ресурсами минеральных вод, нефти и газа, сложной этажной системой взаимосвязи водоносных систем и активизации разрывных тектонических нарушений, предпочтение в выборе основных конкурирующих перспективных площадей следует отдать УЩ в пределах его северо-западной и центральной частей. Кристаллические породы щита залегают здесь под маломощными (10-60 м) четвертичными неогеновыми, палеогеновыми и меловыми отложениями. Наиболее перспективные разности кристаллических пород, представлены гранитами, габбро, диабазами протерозойского и архейского возраста (рис. 1). Основные водоносные горизонты приурочены здесь к маломощным осадочным отложениям и зоне активной трещиноватости кристаллических пород, распространяющейся в основной до глубины 90-130 м. Наряду с этим по разуплотненным зонам субвертикальной трещиноватости активный водообмен может осуществляться на значительные глубины и взаимодействовать с латеральными зонами глубинной трещиноватости. Возможность существования таких зон подтверждается материалами бурения Кольской сверхглубокой скважины и некоторыми данными по УЩ. Поэтому тщательное изучение субвертикальных и латеральных зон трещиноватости, их проницаемости и гидравлической связи с приповерхностными системами является основной, наиболее важной задачей исследований. Учитывая сложность строения трещинных зон, определенный интерес представляет собой выявление интенсивности водообмена по глубоким трещинным зонам с помощью техногенных региональных индикаторов. В условиях Украины это радионуклиды Чернобыльской аварии и устойчивые пестициды. В водонапорных системах смежных регионов (гг. Киев, Ривне) нами выявлены упомянутые индикаторы на глубинах 200-400 м, что свидетельствует о наличии быстрых путей вертикальной миграции загрязнителей и относительно низкой барьерной роли водоносных и слабопроницаемых пород по отношению к их микроколичествам.

На детальных стадиях работ должны широко применяться также специально вводимые индикаторы.

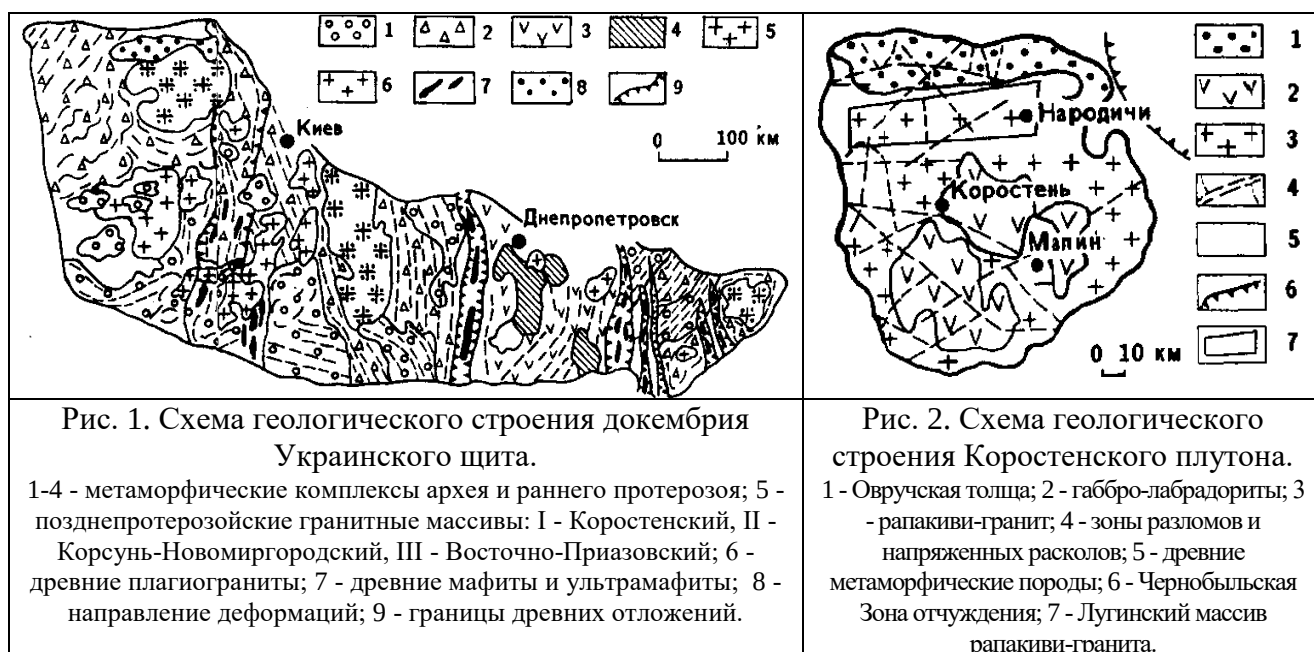
12

В связи с неглубоким залеганием кристаллических пород на раскрытость трещинных зон весьма существенно влияет орографический фактор. Трещинная проницаемость и обводненность кристаллических пород существенно выше в долинах рек, ручьев и в нижних

частях их склонов, чем на водоразделах. Кроме того, под долинами рек отмечается восходящее движение подземных вод. Локализация разведочных участков должна ограничиваться водораздельными пространствами с детальным изучением их связи с водообменными системами речных долин.

К благоприятным средам для сооружения глубоких хранилищ ВАО можно отнести лишь участки с низкой трещиноватостью и проницаемостью, сложенные однородными массивными гранитами в позднепротерозойских стабильных плутонах. К таким массивам можно отнести Коростенский, Корсунь-Новомиргородский и Восточно-Приазовский. Метаморфические образования и древние архейские и нижнепротерозойские гранитоиды обладают, как правило, ясными ориентированными текстурами и неоднородны. Кроме того, в древних породах достаточно широко развита густая сеть трещин и зон разломов как результат наложенных неоднократных дислокационных и метаморфических процессов - катаклаза, милонитизации, образования зон дробления и брекчирования, диафтореза, регионального метаморфизма и метасоматоза. Петрогенетическая эволюция древних кристаллических пород весьма длительна и сложна, начиная от магматической и аутометаморфической стадии, через несколько стадий наложенных деформаций и перекристаллизации вплоть до платформенного и антропогенного трещинообразования, связанного со снятием напряжений и образованием приповерхностной трещиноватости при эрозии кристаллического массива и его подъеме. Исходя из сказанного, большая часть территории УЩ, сложенная древними кристаллическими породами, является мало пригодной для сооружения подземных хранилищ ВАО.

Основное наше внимание должно быть сосредоточено на стабильных и относительно однородных массивах молодых позднепротерозойских гранитов, претерпевших значительные деформации и изменения лишь в локальных зонах



разломов и трещиноватости. В то же время даже в этих молодых массивах надо выбирать благоприятные участки с помощью комплекса методов: дистанционного зондирования Земли, геологической, геофизической, гидрогеологической и гидрохимической, геохимической (эминационной) съемок, петрологического и инженерно-петрографического изучения массивов. Прежде всего, надо выявить зоны разломов и повышенной трещиноватости, которые являются зонами высокой проницаемости и водообильности. Эти зоны обнаруживаются под покровными отложениями при геологических, геофизических исследованиях и эминационной съемке. Большая часть зон разлома приурочивается к краевой зоне массивов. Кристаллизация гранитов из магмы в Коростенском плутоне происходила по разным оценкам на глубине от 3 до 10 км, т.е. после образования постмагматической трещиноватости и залечивающих ее аутометаморфических процессов на больших глубинах

при остывании плутона происходил подъем и эрозия массива. Эти процессы сопровождались снятием напряжений и образованием приповерхностной трещиноватости, увеличивающей проницаемость пород. В антропогене Коростенский массив поднялся примерно на 200 м, т.е. скорость поднятия массива 1-2 м за 10 000 лет (В. П. Палиенко). Это весьма большие скорости, хотя и не влияющие заметно на эксплуатацию хранилищ РАО.

Оптимальная глубина сооружения хранилищ оценивается в 500-700 м. Эта глубина обеспечивает безопасность хранилища для окружающей среды, а также с глубины 200-300 м поверхностные открытые трещины постепенно закрываются и становятся волосяными и значительно уменьшается общая проницаемость пород. Кроме того, с глубины 1 км при строительстве горных выработок начинается медленный рост трещин за счет гидrolитического расщепления связей и как результат горные выбросы и увеличение проницаемости пород. Исходная напряженность пород Коростенского плутона по геологотермобарическим данным достигает 2900 кг/см^2 . Таким образом, глубина около 500 м является вполне обоснованной для сооружения глубоких хранилищ ВАО.

По данным изучения Криворожской сверхглубокой скважины метеорные воды достигают глубин 1500-1700 м (Н.С. Курлов). В карбонатных жилах, залечивающих глубокие трещины, изотопный состав углерода и кислорода утяжелен, а глубже заметно облегчается, что наряду с геотермальными наблюдениями, свидетельствует о влиянии метеорных вод до этих глубин. Минерализация вод ниже 1700 м составляет $38-169 \text{ г/дм}^3$, а эти высоко минерализованные воды не имеют сообщения с метеорными водами. Проницаемость кристаллических пород от 10^{16} до $10^{17} \text{ м}^2/\text{с}$, пористость 0,02-0,5%, а в зонах разломов 1,5-8%. Зоны брекчирования, милонитизации, высокой трещиноватости и проницаемости по разрезу отмечаются на глубинах от 1226 до 5010 м.

Многофазный Коростенский плутон образует (в плане) неправильную трапецию (рис. 2). В пределах ее периметра заключается массивы овальной,

14

изометричной и причудливых форм, характеризующие различные фазы становления этого интрузивного комплекса. По данным сейсмических исследований, структура земной коры в регионе соответствует квазислоисто-блоковой, габброидные тела (мощностью 1 - 3 км) чередуются в разрезе с гранитами, которые нередко подстилают и перекрывают тела габброидов (Лугинский массив). Предполагается, что "переслаивание" гранитов и габброидов достигает глубины 20 км [9].

Коростенский плутон складывается крупными (Лугинский - 1720 км^2 , Володарск-Волынский - 1250 км^2 , Чеповичский - 830 км^2) и мелкими ($15-60 \text{ км}^2$) массивами магматических пород. Преобладающая горная масса плутона представлена рапакиви и рапакивиобразными гранитами, затем (по масштабам распространения) следуют габбро-анортозиты, габбро, габбро-ториты, габбро-монциты, монцит-диориты и, наконец, гранит-порфиры, диабазы, аляскитовые и аплитовидные граниты, пегматиты. По объективным геологическим характеристикам Лугинский и Володарско-Волынский массивы в отношении возможностей сооружения хранилищ РАО практически равноценны. По экологическим и геолого-промышленным критериям преимущество остается за Лугинским массивом.

Лугинский массив содержит преобладающую массу рапакиви и рапакивиоподобных гранитов Коростенского интрузивного комплекса, сосредоточенную в северо-восточной и северной его частях. На юге массив пересекается крутопадающей Лугинско-Народичской зоной разломов северо-восточного направления. Она пересекает более ранние северо-западные дислокации, с которыми, видимо, связаны комагматичные интрузии габбро-норитов. В краевых частях массива развиты габбро-монциты, диорит-монциты и монциты. В меньшей степени они распространены в центральных и западных участках.

В естественном залегании породы Лугинского массива находятся в состоянии упругого внутреннего напряжения, обусловленного глубиной и температурой кристаллизации магмы.

Объемная плотность пород (d) Коростенского плутона возрастает с давлением линейно: рапакиви - $d=2,658\pm 0,000054P$; лабрадорит - $d=2,723\pm 0,000038P$; габбро -

$d=2,781\pm0,000039P$. В первом приближении напряженность горных пород определяется глубиной их залегания относительно поверхности Земли (формула Гейма - $=dH$, где z - напряженность (кГ/см²), а H - глубина залегания пород, м. В мировой практике (США, Канада, Швеция, ФРГ) подземные хранилища ВАО ядерной энергетики проектируются в интервале глубин 300-2000 м, что отвечает (по Гейму с учетом приращения d) напряженности 80-530 кГ/см². Однако эти явления составляют только часть горного давления, когда остаточные напряжения во внимание не принимаются, хотя могут сохраняться в течение геологического времени. Исходная напряженность пород северо-восточной части Коростенского плутона по геотермобарометрическим данным могла достигать 2900 кГ/см².

ВЫВОДЫ

1. В Украине, не имевшей в прошлом (в составе СССР) опыта работ по комплексному обращению с РАО, усилиями специалистов различных ведомств, объединенных в Межведомственный научный совет при Президиуме НАН Украины, разработаны:

концепция обращения с РАО;

макет Государственной программы обращения с РАО.

15

2. Выполняются исследования подготовительного этапа,.

3. В связи с отсутствием системы устойчивого финансирования, эти работы имеют разрозненный инициативный характер.

4. Выполнена оценка перспективных для изоляции ВАО геологических регионов и структур. В качестве наиболее перспективных для изоляции ВАО выделены: Украинский щит, а в его пределах массивы позднепротерозойских кристаллических пород - Коростенский, Корсунь-Новомировский и Восточно-Приазовский.

5. В качестве первоочередного для проведения полевых работ выделен Коростенский плутон. Проведено его начальное геологическое изучение. По геологическим и экологическим соображениям, в его пределах выделен наиболее перспективный Лугинский массив, расположенный в Зоне отчуждения ЧАЭС.

6. Для средне- и низкоактивных отходов предусматривается создание централизованного хранилища в Зоне отчуждения ЧАЭС и региональных пунктов сбора, переработки и изоляции.

7. Региональные хранилища средне- и низкоактивных отходов могут быть созданы в различных перспективных геологических формациях Украины: солях, глинах, туфах, кристаллических породах т.п.

8. Для успешного продолжения и развития работ по этой проблеме необходимо рассмотрение и утверждение программы работ:

создание производственной структуры, обеспечивающей реализацию положений программы;

обеспечение устойчивого финансирования производственных работ и научных исследований;

9. С учетом современного состояния экономики программа работ по изоляции РАО в Украине может быть реализована лишь с помощью иностранных инвесторов.

Институт геохимии и физики минералов НАН Украины, Киев

Научно-инженерный центр радиогидрологических полигонных исследований НАН Украины, Киев

Научно-технический центр НПО "Припять", Чернобыль

Поступила. 19.05.95

В. В. Марков, Э. В. Клочко, В. М. Пушкарев, И. П. Пастер, В. И. Рясенко, Н. П. Смирнова
**"DOWN"-ЭФФЕКТ РЕГУЛЯЦИИ ЭНДОКРИННОЙ ФУНКЦИИ ГИПОФИЗАРНЫМ ГОРМОНОМ
У ЖИВОТНЫХ ИЗ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС**

Хроническое облучение в Зоне отчуждения ЧАЭС вызывает у животных ослабление "down"-регуляции функции щитовидной железы высокими дозами гипофизарного гормона. Одновременно наблюдается увеличение мембранного транспорта ионов кальция в ее клетки. При использовании экспериментальных моделей показано, что причиной наблюдаемых изменений "down"-эффекта и мембранного транспорта ионов кальция могут быть радиационные пероксидные повреждения эндокринной ткани, а одним из последствий таких повреждений является увеличение по сравнению с интактным органом синтеза ДНК в ее клетках в присутствии гормонов с ростстимулирующими свойствами.

ВВЕДЕНИЕ

Торможение секреторной активности эндокринных желез при интенсивном гипофизарном стимулировании, т.е. "down"-регуляция их функции, как известно, представляет собой защитный механизм, предотвращающий их истощение и негативное влияние высоких концентраций продуцируемых гормонов на органы и ткани. Предполагается, что он опосредуется динамическим состоянием клеточных рецепторов и соотношением их кластеризованных и мономерных форм. Как показано в ряде работ, это соотношение определяет эффективность гормон-рецепторного взаимодействия на первых этапах гипофизарного регулирования и в значительной мере зависит от микровязкости липидной фазы плазматической мембраны [1]. Это позволяет предполагать, что хроническое облучение, индуцируя свободнорадикальные реакции пероксидного окисления липидов в мембранных структурах, способно нарушить работу этого механизма и вызвать дополнительную функциональную нагрузку на эндокринный орган.

Согласно существующим представлениям интенсивное стимулирование гормональной секреции эндокринных желез может привести к усилению в них пролиферативной активности с целью увеличения клеточной массы органа и восполнения возросших функциональных требований. Для облученных тканей увеличение пролиферативной деятельности является промоторным фактором в развитии опухолевых заболеваний [2], и поэтому нарушение механизмов ограничения функциональной активности при избыточном стимулировании тройным гормоном является фактором риска возникновения, патологии.

В связи с этим нами были проведены эксперименты по выявлению особенностей "down"-регуляции функции эндокринных органов тронным гормоном гипофиза на модели щитовидной железы норки и диких крыс из Зоны отчуждения ЧАЭС. Поскольку значительная роль в передаче гипофизарного сигнала в клетки щитовидной железы принадлежит ионам кальция, для оценки эффективности "down"-регуляции тиреоидной секреции в условиях хронического облучения был изучен также мембранный транспорт этих ионов. Было проанализировано возможное влияние на транспорт ионов кальция пер оксидных повреждений, возникающие в липидной фазе мембранных структур при хроническом облучении.

© В. В. Марков, Э. В. Клочко, В. М. Пушкарев, И. П. Пастер, В. И. Рясенко, Н. П. Смирнова, 1996

17

В модельных экспериментах также была исследована чувствительность эндокринной ткани к пролиферативному стимулу, так как ее повышение в условиях "down"-регуляции могло оказаться патогенетическим фактором в развитии пролиферативных нарушений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучение "down"-эффекта регуляции тиреоидной функции проводили *in vivo* введением животным высоких доз тиреотропного гормона и определением в крови, выделенной при декапитации через два часа после введения, концентрации тироксина и трийодтиронина. В этой серии экспериментов были использованы дикие крысы из Зоны отчуждения Чернобыля, в качестве контрольных животных - крысы из вивария нашего института (линия Вистар (самки), 100-120 г), соответствующие по весу и полу опытным животным. Тиреотропный гормон вводили внутривентриально в дозе 1 Ед/100 г массы тела животного, тиреоидные гормоны в крови определяли радиоиммунологическими методами с

использованием наборов РИА-Т₃-ПГ и РИА-Т₄-ПГ (Институт биоорганической химии, Минск).

В другой серии экспериментов научалась эффективность "down"-регуляции тиреоидной функции посредством определения скорости мембранного транспорта ионов кальция в диспергированных клетках щитовидной железы. В этой серии экспериментов были использованы норки из Зоны отчуждения Чернобыля (опытная группа) и норки из питомника в г. Житомире (контрольная группа). Диспергированные клетки щитовидной железы готовили с использованием 0,125%-ного раствора трипсина и 0,1%-ного раствора коллагеназы и инкубировали в среде Кребс-Рингер-фосфатном буфере (10^6 клеток в 1 мл) в присутствии ^{45}Ca (3 мМ) и тиреотропного гормона, 100 мЕ/мл среды в течение часа.

Влияние пероксидного эффекта на клетки щитовидной железы исследовали в модельных экспериментах. Для имитации пероксидного эффекта и изучения его влияния на мембранный транспорт ионов кальция в клетках интактной щитовидной железы в среду инкубации добавляли окисленные формы фосфатидилхолина, 2 мг/мл, в течение часа. В экспериментах была использована щитовидная железа норки из питомника г. Житомира.

В экспериментах по изучению мембранного транспорта ионов кальция в клетках щитовидной железы через один час после добавления в среду инкубации ^{45}Ca из исследуемых образцов была выделена фракция молекулярных сшивок продуктов пероксидного окисления липидов с белками методом Флетчера [3] и проведен радиометрический анализ содержания в ней меченые ионов. Метод Флетчера, позволяющий анализировать образование молекулярных сшивок, был использован также для контроля пероксидного эффекта в исследуемых тканях. Количество молекулярных сшивок регистрировали флуорометрически при $\lambda_{\text{возб}} = 350\text{--}360$ нм и $\lambda_{\text{эмиссии}} = 420\text{--}430$ нм на приборе *Hitachi MPF-2M*.

При моделировании пероксидного эффекта *in vivo* интактным крысам (линия Вистар (самки) 100-110 г) вводили ингибитор одного из основных ферментов антиоксидантной защиты организма, каталазы, - хлорид кобальта, 0,3 мг/г массы тела животных, два раза в день в течение двух суток. Затем животных декапитировали и извлекали щитовидную железу для изучения в ее клетках синтеза ДНК и влияния на него гормонов с ростстимулирующими свойствами.

Синтез ДНК определяли в первичной культуре тиреоидных клеток на пятые сутки культивирования в среде 199, содержащей 10% инактивированной нагреванием при 57°C

18

в течение 30 мин сыворотки крови крупного рогатого скота и антибиотиков (100 ЕД бензилпенициллина натриевой соли и 100 мкг стрептомицина сульфата на 1 мл). Для определения скорости синтеза ДНК в клетках щитовидной железы в среду культивирования добавляли на три часа ^3H -тимидин, 37 кБк/мл. В качестве гормона с ростстимулирующими свойствами использовали инсулин в дозах 3,2, 8,0, 16,0, 32,0 и 80,0 мЕ/мл при добавлении в среду на два часа после введения ^3H -тимидина.

Для радиометрических исследований клетки переносили на фильтры GF/C, промывали трихлоруксусной кислотой и этанолом, а затем высушивали. Радиометрию образцов проводили в стандартном сцинтилляторе на основе толуола в счетчике радиоактивности Beckman LS 5000. В экспериментах было исследовано 14 норок из Зоны отчуждения Чернобыля, 8 норок из питомника г. Житомира; 14 крыс из Зоны отчуждения Чернобыля и 25 крыс из вивария нашего института. Результаты обработаны статистически с использованием *t*-критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ

Результаты изучения "down"-эффекта регуляции функциональной активности щитовидной железы крыс из Зоны отчуждения Чернобыля при введении им высоких доз тиреотропина показаны в таблице. Как видно из таблицы, концентрация в крови тиреоидных гормонов не уменьшается, а в некоторых случаях даже увеличивается, что не характерно для интактных животных. Полученные данные свидетельствуют об ослаблении "down"-эффекта регуляции функции щитовидной железы гипофизом при хроническом облучении животных.

Одной из возможных причин наблюдаемого эффекта является пероксидное повреждение мембранных структур тиреоидных клеток, в том числе образование

молекулярных сшивок продуктов радиационной перекисидации липидов с белками. Из литературы известно, что такие продукты окислительной деградации липидов как α , β -ненасыщенные карбонильные соединения легко взаимодействуют с аминокруппами белков, модифицируя или инактивируя их свойства [4].

Результаты проведенных нами измерений показывают, что хроническое облучение в Зоне отчуждения ЧАЭС приводит к увеличению количества молекулярных сшивок в щитовидной железе (таблица), что позволяет предполагать преобладание в ней перекисидных процессов, не компенсированных антиоксидантной защитой организма.

С точки зрения возможных перекисидных повреждений наибольшее влияние на функцию щитовидной железы в условиях радиационного воздействия может оказать нарушение мембранного транспорта ионов кальция, являющихся посредниками в передаче гипотизарного сигнала в клетки [5]. Полученные нами данные об увеличении включения ^{45}Ca в тиреоидные клетки представлены на рис. 1, 2. Различие контрольных и опытных значений мембранного транспорта, этих ионов можно рассматривать как одно из свидетельств снижения эффективности "down"-регуляции тиреоидной функции в области высоких значений тиреотропного гормона.

Предположение о патогенетической роли перекисидном воздействии подтверждается также результатами экспериментов, в которых перекисидный эффект имитирован введением в среду инкубации интактных тиреоцитов окисленных форм фосфатидилхолина. Согласно данным, приведенным в работе [4], окисленные формы этого фосфолипида могут влиять на мембранные компоненты транспортной системы ионов кальция. Эти фосфолипиды составляют значительную часть липидов плазматической мембраны

19

Концентрация тиреоидных гормонов в крови крыс из Зоны отчуждения Чернобыля при введении высоких доз тиреотропного гормона ("down"-регуляция)

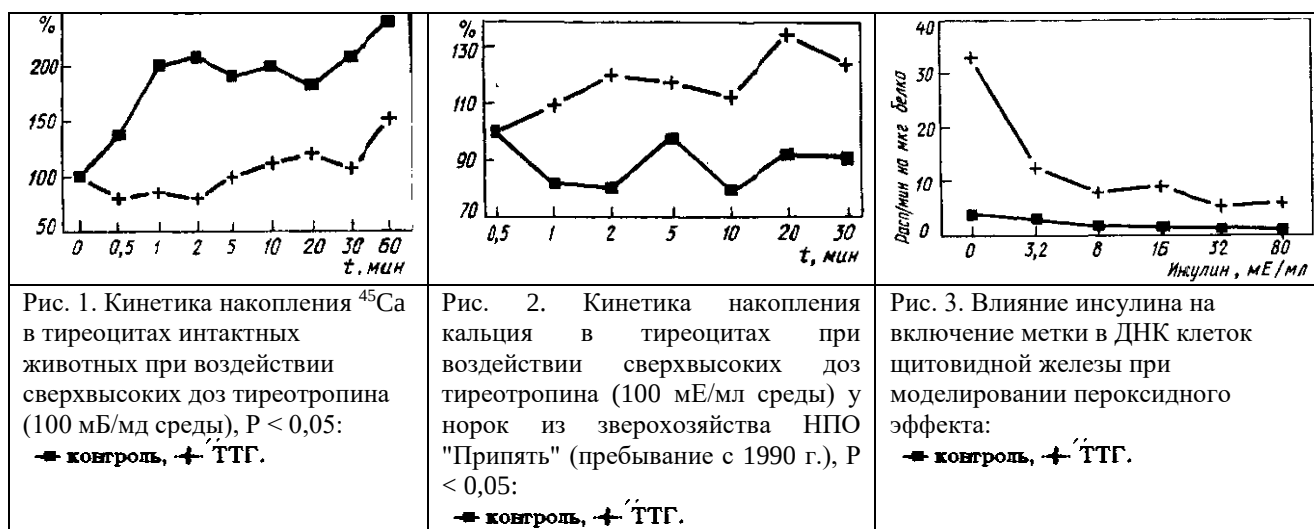
Группа животных	Тироксин, нмоль/л	Трийодтиронин, нмоль/л	Молекулярная сшивка, отн. ед. на 1 мг массы
1. Интактные (виварий нашего института, г. Киев)	107,5±18*	1,0±0,2*	4-7
2. При введении тиреотропина, 1 ЕД/100 г массы тела	54,5±26*	0,4±0,08*	
3. Облученные (зверохозяйство Зоны отчуждения Чернобыля)	40,7±20,6	0,4±0,1*	20-22,5
2. При введении тиреотропина, 1 ЕД/100 г массы	69,9±22,0	2,1±0,3*	

Примечание. Для значений со звездочкой различие достоверно при $P < 0,05$.

тиреоидных клеток, и при хроническом облучении долгоживущими радионуклидами, характерными для Зоны отчуждения Чернобыля, могут подвергаться окислительной деградации. Результаты экспериментов показали, что мембранный транспорт ионов кальция в условиях "down"-регуляции и в присутствии перекисидных продуктов увеличивается, аналогично экспериментам с облученными клетками, примерно на 51% относительно контроля.

При использовании метода Флетчера из ткани исследуемой щитовидной железы была выделена фракция молекулярных сшивок. При радиометрических измерениях в этой фракции был обнаружен ^{45}Ca , что также свидетельствует в пользу предположения о перекисидных повреждениях Са-транспортной системы клеточных мембран.

Нельзя исключить возможность того, что нарушению "down"-регуляции могут способствовать и другие структурно-молекулярные повреждения клеток, возникающие в процессе реакций перекисидного окисления липидов, в том числе и модификация липидной фазы мембран, обуславливающая различную степень экспонирования рецепторов к гормонам гипотиза. В таком случае увеличение включения ионов кальция в клетки щитовидной железы является следствием повышения чувствительности тиреоидной ткани к тиреотропину в рассматриваемой области доз.



20

Избыточное накопление ионов кальция в клетках, как показано в работе [1], ингибирует активность аденилатциклазы, опосредующей регуляторное действие гормона, и способствует инициированию пролиферативных процессов. Учитывая ослабление защитного "down"-эффекта и повышение функциональной нагрузки на щитовидную железу, стимулирование пролиферации становится неблагоприятным фактором с точки зрения возможного развития опухоли.

Изучение влияния инсулина, обладающего ростстимулирующими свойствами, на синтез ДНК в клетках щитовидной железы, выделенной у животных с индуцированными пероксидными процессами, показало его увеличение относительно контроля (рис. 3). Согласно существующим представлениям повышение активности синтетических процессов на уровне ДНК может быть не только следствием репарации, но и репликации молекул, сопровождающей подготовку клеток к делению [6].

Инсулин при добавлении его в культуральную среду тироцитов в исследуемых нами дозах вызывает в клетках рецепторопосредованное воздействие на синтез ДНК [8]. Избыточные дозы вводимого гормона предполагают уменьшение этого воздействия, аналогично "down"-эффекту тиреотропного гормона. Подобная зависимость была обнаружена и в нашем случае, однако все полученные значения для интенсивности включения ^3H -тимидина в ДНК были выше контрольных, рис. 3. Эти данные могут рассматриваться как дополнительное свидетельство увеличения чувствительности тиреоидных клеток к пролиферативному стимулу в условиях индукции в них пероксидных процессов.

Нельзя не учитывать влияние на функциональное и пролиферативное состояние щитовидной железы других гормонов - тиреоидных, эстрогенов, тестостерона и, в особенности, глюкокортикоидов, которые, в отличие от предыдущих гормонов, обладают выраженными рост-сдерживающими свойствами. Соотношение концентраций этих гормонов в крови и будет, по-видимому, в значительной мере способствовать или предотвращать развитие функциональных и пролиферативных расстройств в щитовидной железе.

Таким образом, проведенные исследования показали, что хроническое облучение животных в Зоне отчуждения ЧАЭС приводит к уменьшению защитных механизмов ограничения эндокринной ткани от избыточного стимулирования их функциональной активности, т.е. ослаблению "down"-эффекта регуляции их функции тройным гормоном гипофиза. Моделирование пероксидного состояния эндокринной ткани, аналогичного радиационному, показало, что одной из возможных причин наблюдаемого нарушения являются пероксидные повреждения ее клеток. Следствием пероксидных повреждений является, возможно, и увеличение в щитовидной железе облученных животных мембранного транспорта ионов кальция, что может способствовать, или инициировать, ослабление "down"-эффекта и увеличивать чувствительность клеток к ростстимулирующим гормонам.

21

1. Воейков В. Л. Сопряжение рецепторов гормонов и нейромедиаторов с аденилатциклазой // Итоги науки и техники. Сер. биол. химия. - М.: ВИНТИ, - 1984 - Т. 2. -С. 142-147.
2. Williams E.D. Cell proliferation aid thyroid neoplasia // Toxicology Letters. - 1992. - 64365. - P.375-379.
3. Fletcher B.L., Dittlard C.T., Tappet A.L. // Anal. Biochem.,1976. - 52, N 1. - P. 1-9.
4. Тимофеев-Ресовский Н.В., Савич А.В., Шальнов М.И. Введение в молекулярную радиобиологию. - М.: Медицина, 1981. - С.78,150.
5. Тенперман Дж., Тенперман Х. Физиология обмена веществ и эндокринной системы. - М.: Мир, 1989. - С. 432-521.
6. Виленчик М.М. Нестабильность ДНК и отдаленны последствия воздействия облучения. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 190 С.
7. Красильников М.Л., Шатская В.Л. Ростингибирующее действие глюкокортикоидов и прогестинов на опухолевые клетки: влияние на скорость обращения фосфолипидов // Биохимия. - 1991. - 56, № 7. - С. 1272-1280.
8. Hill D.S., Phillips T.D., Logan A. et al. Insulin-like growth factors (IGF), IGF binding proteins (IGFBPr) in rat thyroid during hyperplasia // J.Endocrinol. - 1992. - 135, N 9. - P. 14.

Институт эндокринологии и обмена веществ им. В.П. Комиссаренко Академии медицинских наук Украины, Киев

Научно-технический центр НПО "Припять", Чернобыль
Поступила 15.03.95

22

УДК 551.24/550.3

В. Д. Омельченко, О. М. Харитонов СЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ РАЙОНА РАЗМЕЩЕНИЯ ЧАЭС

Рассмотрены геологические к геофизические основы сейсмического мониторинга и практическое применение мониторинга для района размещения ЧАЭС. Приводятся результаты сейсмического мониторинга, которые могут быть использованы при эксплуатации и консервации ЧАЭС.

Интерес к изучению возможностей возникновения землетрясений на территории древних платформ, которые относятся к асейсмическим областям, возник в связи с интенсивным строительством в их пределах атомных электростанций, химических комбинатов и пр. При оценке сейсмической активности таких регионов важным этапом является выделение геологических структур, для которых характерно проявление современной тектонической активности с унаследованностью геологического развития во времени и пространстве, а также установление корреляционных зависимостей между геолого-геофизическими факторами, характеризующими структуру и сейсмичность. Так, наиболее активны в сейсмическом отношении крупные структурные элементы, тяготеющие к областям современного тектогенеза [1].

Для ЧАЭС, расположенной на стыке трех тектонических структур (Украинского щита, Днепровско-Донецкого авлакогена и Припятского прогиба), имеются все основания утверждать, что существуют зоны, где возможны очаги землетрясений в районе площадки экологически опасного объекта, что и предопределило необходимость постоянно его контролировать (сейсмический мониторинг).

Физической основой сейсмического мониторинга является высокая тензочувствительность горных пород, связанная с особенностями их геологических характеристик, структуры, текстуры, тектонической раздробленности и трещиноватости. Геологические характеристики зависят от состава, цитологических особенностей, возраста, степени метаморфизма осадочных горных пород, истории тектонического развития кристаллического фундамента. Эта зависимость, а также факт временной изменчивости поля напряжений, структуры и состава горных пород вследствие геотектонических процессов, каким есть землетрясение, является геологической основой сейсмического мониторинга [2-3].

Проявление процессов сейсмичности, сейсмической и сейсмоакустической эмиссии, деформациях древней поверхности, временных вариациях других физических полей дает возможность получения независимой информации о тех же характеристиках среды - тензочувствительности, поля напряжений и пр. [3].

Тензочувствительность может быть определена независимо по эффектам нелинейного взаимодействия сейсмических волн. При этом долговременные сейсмические просвечивания земной коры с помощью контролируемых сейсмических источников (взрывов в скважинах, карьерах и пр.) и пассивные наблюдения сейсмоакустических шумов и землетрясений позволяют решить довольно сложную задачу прогноза в нелинейной среде [2].

Пространственное распределение изменений свойств среды, скоростей сейсмических волн, коэффициентов поглощения и рассеивания являются объектом сейсмического мониторинга.

© В. Д. Омельченко, О. М. Харитонов, 1996

23

Наиболее быстрые и контрастные изменения свойств среды сопровождаются сейсмической, акустической и др. эмиссиями. Эмиссия является возможным откликом среды на изменяющееся поле внешних напряжений. Она сопровождает процесс деформации горных пород и является показателем релаксации напряжений. Экспериментально установлена высокая тензочувствительность сейсмической эмиссии в полосе частот 15-100 Гц.

Информация о структурных характеристиках и изменениях напряженного состояния среды может быть получена из наблюдений сейсмо-эмиссионных процессов, регистрация которых сравнительно легко поддается автоматизации в процессе выполнения работ по системе сейсмического мониторинга, основная особенность которого - многократность актов идентичных наблюдений [3].

В Институте геофизики НАН Украины разработаны теоретические обоснования, методика полевых наблюдений и программное обеспечение для обработки на ЭВМ

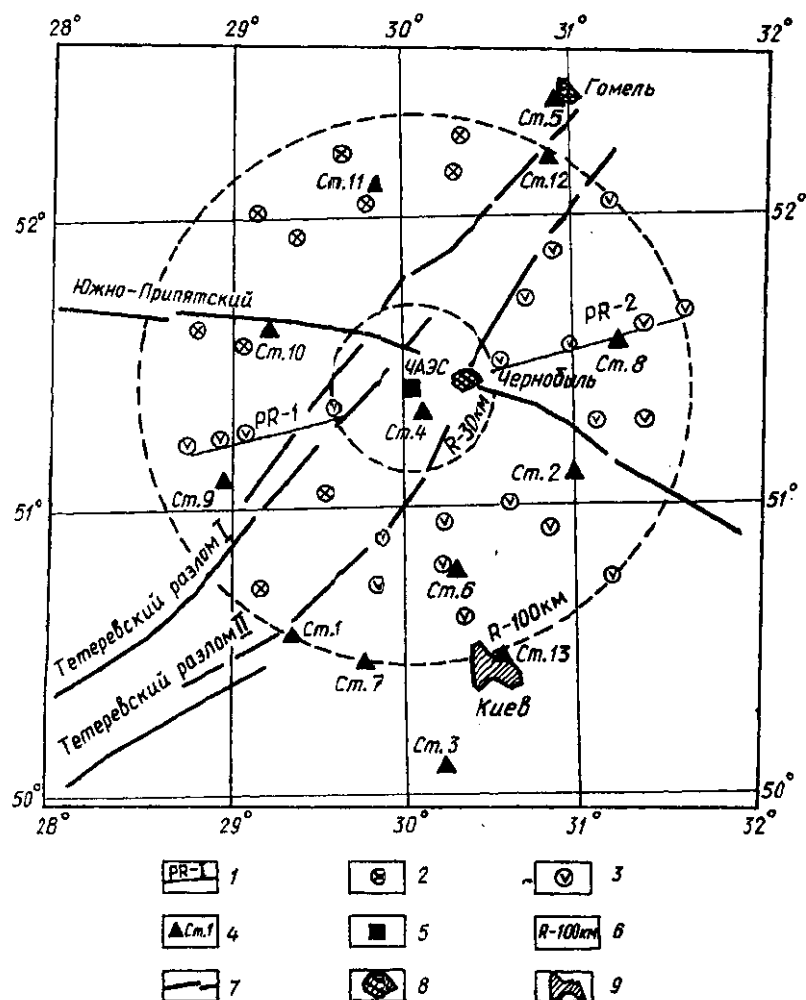


Рис. 1. Система сейсмических наблюдений:

1 - профили глубинных сейсмических зондирований; 2 - точки наблюдений; 3 - точки возбуждения сейсмических волн; 4 - установки АСС-6/12; 5 - ЧАЭС; 6 - область исследований; 7 - глубинные разломы; 8 - область повышенной сейсмичности; 9 - контуры городов.

данных глубинных сейсмических зондирований (ГСЗ) с элементами реконструкции изображения на основе томографии в условиях постоянного контроля объекта ЧАЭС (сейсмический мониторинг). Круговой обзор района расположения объекта исследования осуществляется с помощью дискретной регистрации автономными станциями типа АСС-6/12 "Черепаша" с постоянным выводом на персональный компьютер типа IBM-PC/2 (рис. 1). Предварительная (нулевая) модель определяется по результатам кругового наблюдения с помощью трех сейсмических станций "Прогресс-2" и дальнейшей обработки на основе принципов томографии. Алгоритмы, нацеленные на исследование как проходящих сейсмических волн, так и отраженных, были опробованы на моделях и реальном материале для ЧАЭС и других регионов Украины, они показали устойчивость решений при дискретных наблюдениях упругих волн от взрывов и землетрясений. При этом весьма эффективно использовалась разработанная Институтом методика по регистрации и обработке результатов взрывов в карьерах и горных выработках [4-5].

Для построения скоростной модели среды в изучаемом регионе использовано решение сейсмотомографической задачи для трехмерной среды, основанное на методе Бейкуса-Гильберта. Выбор методики связан с необходимостью получения решения при небольшом количестве данных. Причем решение должно быть достаточно согласовано с разрешающей способностью данных.

Для получения устойчивого решения соответствующей системы линейных уравнений использовались принципы регуляризации. В результате решения сейсмотомографической задачи определяются следующие величины: скоростная поправка, размеры области сглаживания и погрешность получаемого решения.

Для анализа закономерностей распределения скоростей в исследуемом регионе использовались данные о временах пробега объемных P -волн в интервале $\Delta=125-200$ км. Исходной информацией являлись координаты источника и приемника, а также данные о временах вступлений, исходный скоростной разрез $U_0(\dots)$, полученный в результате профильных наблюдений. В расчетах применялось всего 40 трасс: 31 трасса - это данные о первых вступлениях, идентифицированные как P -волна на границе Мохо; 9 трасс - это данные о временах пробега во вторых вступлениях, идентифицированные как волны, рефрагированные на границе с глубиной 35 км. Правомомерность такой идентификации должна быть дополнительно проверена. Расчет невязок времен пробега для выбранной модели показал, что они находятся в пределах $-0,3...+0,6$ с.

Результаты расчетов представлены в виде трехмерной модели распределения скоростей $U = U_0(\delta U)$ (рис.2). Решение получено для нескольких случаев: ошибка в исходных данных принималась равной 0,5; 0,3 и 0,2 с. При $\tau=0,2$ с решение неустойчиво, при $\tau=0,3$ и 0,5 с - практически одинаково. Распределение скоростей строилось для максимальной глубины $z=35$ км. Разрешение по глубине было получено путем использования карт скоростей по поверхности кристаллического фундамента и разделу Мохо в сочетании с исходным скоростным разрезом. Основная особенность полученного решения - это выделение высокоскоростной области на западе исследуемого района. ЧАЭС находится в зоне высоких градиентов скорости, т.е., возможно, в зоне контакта или перехода двух блоков с различным строением. Это подтверждается геологическими данными, исходя из которых площадка ЧАЭС находится в пределах Тетеревского глубинного разлома. Распределение скоростей как по горизонтали, так и по вертикали позволяет выделить напряжения,

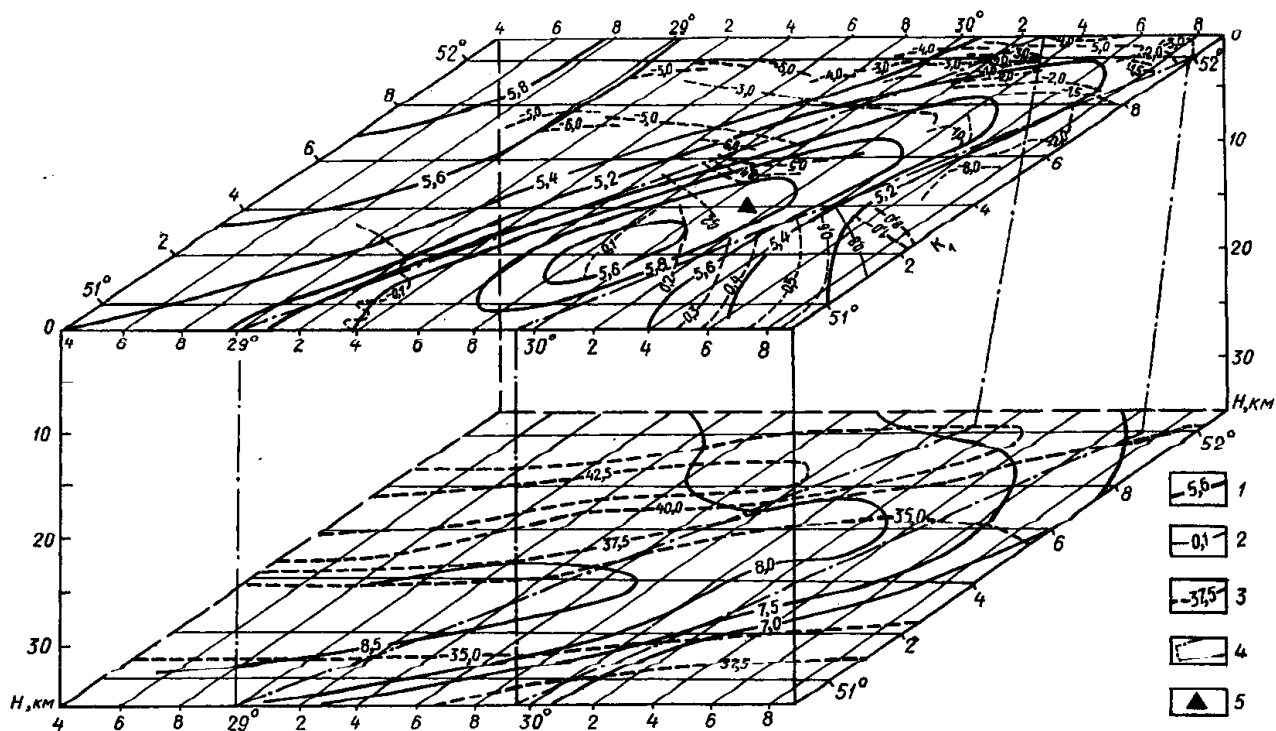


Рис. 2. Трехмерная модель земной коры:

1 - изолинии скоростей сейсмических волн (V , км/с); 2 - изогипсы по поверхности фундамента, км; 3 - изогипсы по поверхности M , км; 4 - Тетеревский разлом; 5 - ЧАЭС.

26

возникающие в литосфере в результате тектонических движений, методом, основанным на принципах сейсмической томографии, и осуществлять постоянный контроль за юс проявлением (сейсмический мониторинг).

Цель исследований по методу сейсмического мониторинга - изучение современной активности тектонических элементов, в данном случае узла сопряжения Тетеревского и Южно-Припятского глубинных разломов, которые находятся в 2-5 км от площадки ЧАЭС и привлекает особое внимание (рис. 3).

В результате исследований установлено, что узел сопряжения между восточной ветвью Тетеревского и Южно-Припятским разломами отмечается повышенной сейсмичностью и, по нашему мнению, определяет сеймотектоническую обстановку в регионе. Согласно современным сеймотектоническим

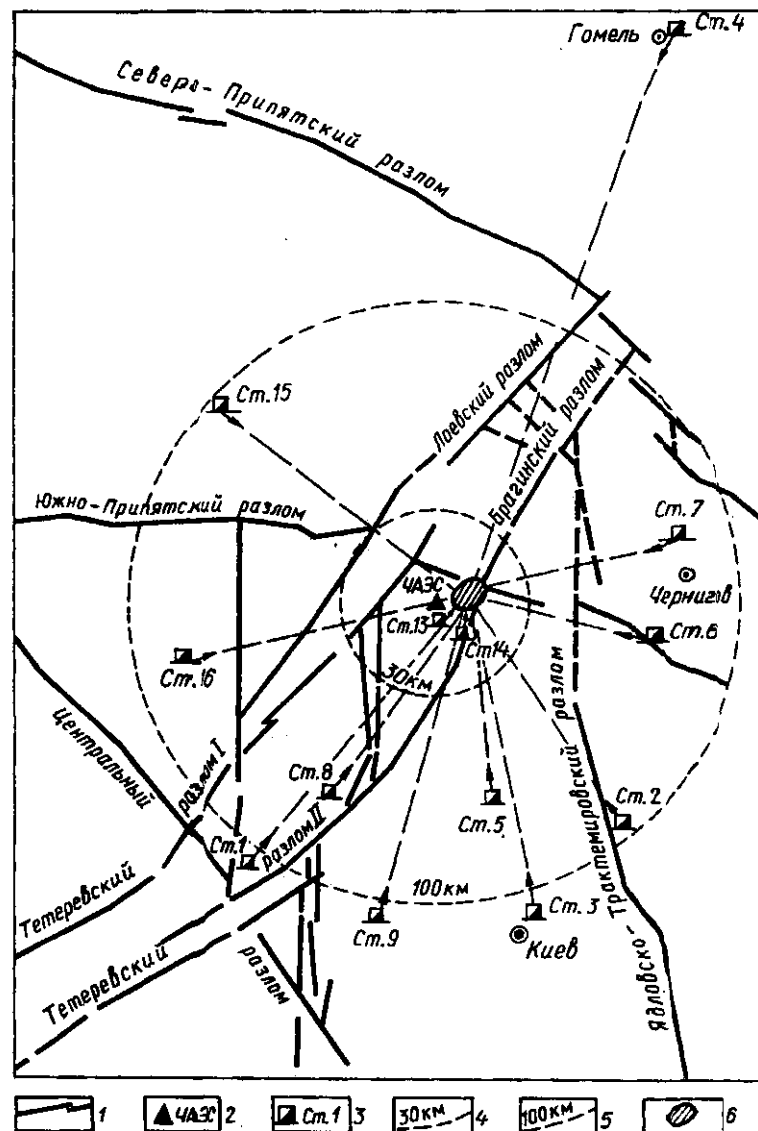


Рис. 3. Геодинамическая схема района размещения ЧАЭС:

1 - глубинные разломы; 2 - ЧАЭС; 3 - установки АСС-6/12; 4-5 - 30 и 100 км зоны; 6 - область повышенной сейсмичности.

27

представлениям о природе возникновения землетрясений в условиях древних платформ, этот узел разломов иожет быть выделен как потенциальная зона землетрясений, сейсмическое воздействие от которых может быть опасно для эксплуатации и консервации ЧАЭС [6].

1. Кропоткин П.И., Ефремов В.Н., Макеев В.М. Напряженное состояние земной коры и геодинамика // Геотектоника. - 1987 - № 1. - С. 3-24.
2. Сейсмический мониторинг земной коры. - М.: Наука, 1986. - 290 с.
3. Гамбуцев А.Г. Сейсмическая мониторинг литосферы.-М.: Наука, 1992.-200 с,
4. Омельченко В.Д., Харитонов О.М. Сейсмический мониторинг на основе томографии // Геотомография. Аппатиты. - Изд-во Кольск. фил.: ИГН АН РАН.- 1992 - С.41-47.
5. Омельченко В.Д., Гобареко В.С., Нестеров А.Н. и др. Сейсмический мониторинг на основе томографии в районе Чернобыльской АЭС // Докл. НАН Украины.- 1992. - № 11. - С .108-110.
6. Омельченко В.Д., Кожухова З.В., Сафронов О.Н. Особенности сейсмотектоники района размещения ЧАЭС // Докл. НАН Украины, - 1994. - № 6 С.109-111.

Институт геофизики им.С.И. Субботина НАН Украины, Киев
Поступила 15.03.95

28

УДК 550.43

А. В. Кендзера
**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ АКСЕЛЕРОГРАММ
ВРАНЧЕВСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЛОЩАДКИ ЧАЭС**

Рассмотрены теоретические аспекты применения расчетных акселерограмм для антисейсмического проектирования. Описана методика получения таких акселерограмм, моделирующих проектное и максимальное расчетное землетрясения из сейсмоактивной зоны Вранча на промышленных площадках важных инженерных сооружений на территории Украины. Методика основана на максимальном использовании эмпирической информации, заключенной в существующих записях землетрясений зоны Вранча, полученных в Молдове, Украине и Беларуси. Практическое применение методики иллюстрируется на примере генерации расчетных акселерограмм для промышленной площадки ЧАЭС.

Конечной целью исследований сейсмической опасности является оценка нагрузок, которым может подвергаться сооружение за время его существования [1]. Величины таких нагрузок в конструктивных элементах обычных зданий и сооружений рассчитываются, исходя из сейсмической бальности строительной площадки, с помощью соотношений, приведенных в строительных нормах и правилах. Оценку сейсмических нагрузок в конструкциях ответственных и экологически опасных сооружений осуществляют путем прямых расчетов на их математических моделях, к которым прикладывают входные воздействия, описывающие ускорения движение грунта при землетрясении. Такие воздействия называют расчетными акселерограммами. В последнее время расчетные акселерограммы все шире применяются в гражданском и промышленном строительстве. Обусловлено это несколькими причинами:

- широким внедрением ЭВМ и развитием сравнительно недорогих численных методов расчета напряжений в зданиях и сооружениях;

- необходимостью повышения надежности антисейсмического проектирования путем исключения или усиления конструкций, в которых расчеты показывают запредельные напряжения;

- возможностью удешевления строительства в сейсмических районах путем учета особенностей местных землетрясений, которые, как правило, характеризуются более узким спектром действие, чем это предусмотрено в СНиП;

- все большим распространением нетиповых, оригинальных проектов жилых домов, зданий соцкультбыта и промышленных объектов, надежность которых в местных сейсмических условиях требует проверки, так как СНиП не может учесть все разнообразие используемых в них конструктивных решений.

Расчетные акселерограммы должны описывать поведение во времени полного вектора ускорений в сейсмических колебаниях грунта на свободной поверхности исследуемой промышленной или строительной площадки при максимальном землетрясении, которое может реализоваться за время эксплуатации объекта. Они характеризуются следующими параметрами: уровнем пиковых ускорений, вероятностью их превышения, продолжительностью колебаний и спектральным составом. В свою очередь, указанные параметры зависят от размеров и механизмов очагов- землетрясений, расстояния "очаг-объект", особенностей воздействия транзитной среды на путях распространения волн различных типов от очага к строительной площадке, а также ее грунтово-геоморфологических условий.

© А. В. Кендзера, 1996

Исходные данные, необходимые для построения расчетных акселерограмм, получают в процессе выполнения исследовательских работ по изучению региональной сейсмичности, геолого-геофизическому доисследованию районов размещения промышленных площадок и их сейсмическому микрорайонированию. Планируемые детальность, объем, а также качество этих исследований зависят от сроков, объемов финансирования и, в свою очередь, определяют выбор методики построения расчетных акселерограмм.

Для важных народнохозяйственных объектов, расположенных и проектируемых на территории Украины, существенную опасность представляют подкоровые румынские

землетрясения из очаговой зоны Вранча. При построении расчетных акселерограмм, моделирующих эти землетрясения, необходимо учитывать тот факт, что получить реальные записи сильных карпатских землетрясений на исследуемой промплощадке за время, обычно отводимое для ее геолого-геофизического доисследования, практически невозможно, так как средняя частота повторяемости землетрясений с $6,0 < M < 7,4$ для зоны Вранча не превышает 2-3 событий в столетие [2]. Поэтому для построения расчетных акселерограмм, моделирующих сильные землетрясения из этой зоны, целесообразно пользоваться способом их генерации по вычисленным теоретическим амплитудным спектрам прогнозируемых ускорений и фазовым спектрам реальных, но более слабых записей землетрясений из зоны Вранча, зарегистрированных непосредственно на промышленной площадке. В настоящей статье обсуждаются теоретические аспекты и приведены примеры практического построения расчетных акселерограмм с помощью указанного подхода.

Генерация расчетных акселерограмм – $a(t)$ осуществляется с помощью регуляризующего алгоритма обратного преобразования Фурье [3] от комплексного спектра ускорения $|A(\omega)| \cdot \exp[-i \cdot \varphi(\omega)]$, где $|A(\omega)|$ – вычисленный амплитудный спектр прогнозируемых ускорений, $\varphi(\omega)$ – фазовый спектр реальных записей слабых землетрясений из зоны Вранча, зарегистрированных на изучаемой промышленной площадке.

Амплитудный спектр ускорений $|A(\omega)|$ в соответствующих компонентах колебаний грунта для расчетного землетрясения на промышленной площадке строится следующим образом.

Очаги сильных подкоровых карпатских землетрясений сосредоточены в сравнительно небольшой по объему очаговой зоне и имеют, в основном, похожие механизмы [4, 5]. Следовательно, можно ожидать, что колебания от этих землетрясений на конкретной промышленной площадке будут в чем то похожими при различных землетрясениях. В то же время, при каждом событии в них будут присутствовать случайные составляющие. Поэтому приходится параметризовать наиболее характерные свойства сейсмических колебаний таким образом, чтобы выделить их регулярную составляющую и установить статистические свойства. В качестве регулярной составляющей ниже рассматривается огибающая математических ожиданий спектра на стандартных интервалах периодов (частот), а его статистические свойства характеризуются соответствующими дисперсиями значений.

Для изучения закономерностей, описывающих изменения параметров амплитудных спектров акселерограмм в зависимости от параметров землетрясений в зоне Вранча, эпицентральных расстояний и наблюдаемой сейсмической интенсивности, был выполнен анализ спектров ускорений, рассчитанных по записям сильных подкоровых землетрясений из зоны Вранча в городах: Кишиневе ($\Delta=230$ км, $Az=48^\circ$), Черновцах ($\Delta=290$ км, $Az=10^\circ$), Чернобыле ($\Delta=685$ км, $Az=23^\circ$), Гомеле ($\Delta=800$ км, $Az=22^\circ$) и поселке Плещеницах под Минском ($\Delta=980$ км, $Az=5^\circ$).

30

В круглых скобках указаны эпицентральные расстояния и азимуты из зоны Вранча. При анализе учитывалось влияние частотных характеристик регистрирующих приборов. Осуществлялось перепроектирование амплитудных спектров горизонтальных компонент записи на радиальное и тангенциальное направления. Некоторые кишиневские записи и все записи, полученные в Плещеницах, Гомеле и Черновцах, не являлись акселерограммами. Для изучения параметров спектров ускорений в сейсмических колебаниях грунта они пересчитывались в акселерограммы с помощью регуляризующих алгоритмов [6, 7].

Сглаженные усредненные спектры акселерограмм использовались для изучения корреляционных связей между параметрами очагов подкоровых румынских землетрясений и параметрами амплитудных спектров акселерограмм. Приблизительно их можно описать системами уравнений такого типа

$$\text{Lg}|F_{\max}|_c = a_c M - b_c \text{Lg} \sqrt{R^2} + c_c \sigma \quad (1)$$

$$\text{Lg}(f_{jkc}) = a_{jkc} M - b_{jkc} \text{Lg} \sqrt{R^2} + c_{jkc} \sigma_{jkc}, \quad (2)$$

где индекс c – одна из компонент колебаний, принимающая значения: R , T и Z – радиальная, тангенциальная, горизонтальная и вертикальная; M – магнитуда землетрясения; R –

гипоцентрального расстояния; a_c , b_c , c_c , a_{jkc} , b_{jkc} и c_{jkc} - региональные коэффициенты; $|F_{\max}|_c$ - уровень основного максимума огибающей сглаженного амплитудного спектра c -компоненты колебаний; $f_{jkc} = \omega/2\pi$ - частота, на которой огибающая спектральной плотности достигает значений на уровне k , т.е. принимает значения: 1; 0,95; 0,5 и 0,3 от $|F_{\max}|_c$. Индекс j принимает значения l или n и обозначает частоты, соответствующие низко- и высокочастотному краям спектров на уровнях ниже максимального; σ_c и σ_{jkc} - несмещенные оценки дисперсий соответствующих величин. Составленные по наблюдаемым данным системы уравнений типа (1) и (2) для каждого из исследуемых параметров решались с помощью метода наименьших квадратов. Для сингулярного разложения действительных прямоугольных матриц использовался алгоритм, описанный в [8].

В результате по всей имеющейся в базе совокупности цифровых записей землетрясений зоны Вранча были рассчитаны региональные значения коэффициентов соотношений (1) и (2). Использовались землетрясения с магнитудами $4,7 \leq M \leq 7,1$ и глубинами $90 \text{ км} \leq H \leq 155 \text{ км}$. С помощью полученных таким образом зависимостей рассчитываются параметры и строятся средние теоретические амплитудные спектры для землетрясений различной величины. Эти спектры соответствуют 50%-ной обеспеченности неперевышения уровня их огибающей спектров ускорений при возможном реальном землетрясении. Для более высокой обеспеченности неперевышения максимального спектра ускорений - значения средних параметров расчетного спектра должны увеличиваться (а для периодов низкочастотной ветви огибающей спектров - уменьшаться) на предельную ошибку их выборочной средней ($t_s \sigma/N$), где σ - дисперсия параметра спектра, t_s - значение критерия Стьюдента для заданной вероятности, N - количество спектров в исходной выборке.

Фазовый спектр акселерограммы характеризует распределение колебаний с различными частотами во временной области. Он, в основном, определяется особенностями излучения сейсмической энергии из очага землетрясения и влиянием транзитной среды,

31

в которой волны различных типов, отражаясь и преломляясь на неоднородностях, распространяются до пункта регистрации колебаний.

Возможность использования фазового спектра реальных записей: для синтеза расчетных акселерограмм была показана в работах [9, 11]. Она основывается на вполне физическом предположении, что фазовый спектр сейсмических колебаний, наблюдаемых на промышленной площадке при слабом землетрясении из исследуемой зоны, приближенно представляет собой фазовый спектр интегральной эмпирической функции Грина для сочетания "процесс разрушения в очаге - транзитная среда - местные условия площадки". Естественно, такое предположение справедливо только при условии хотя бы грубого подобия: в пространственно-временном распределении процессов в очаговых зонах слабого и прогнозируемого сильного землетрясений, что далеко не всегда выполняется. В то же время, такой подход позволяет избежать необходимости вычисления функций Грина теоретическими методами, для успешного выполнения которого требуется достаточно детальное описание механизма разрушения в очаге, геологической среды на пути распространения сейсмических волн, грунтово-геоморфологических условий площадки. Удовлетворить этим требованиям на практике очень трудно.

При использовании для генерации расчетной акселерограммы фазового спектра реальных сейсмических колебаний также отпадает необходимость умножать результат на теоретическую огибающую, как это требуется при использовании традиционных подходов, описанных в [12, 13]. Синтезированные колебания, и без этого, будут иметь такую же огибающую, как у исходных.

Результат применения описанного выше подхода иллюстрируется на примере построения расчетных акселерограмм, моделирующих землетрясения из зоны Вранча для промышленной площадки ЧАЭС, расположенной недалеко от границы Беларуси.

На первом этапе определялись параметры проектного (ПЗ) и максимального расчетного (МРЗ) землетрясений в зоне Вранча. Для этого проводили анализ ранее полученных и современных сейсмостатистических данных. "Очищенный" от форшоков и афтершоков каталог землетрясений зоны Вранча анализировался на стационарность во

времени потока землетрясений различной величины. Использовался алгоритм, описанный в [14]. Результаты расчета показали, что поток землетрясений можно считать приближенно стационарным для событий с $M \geq 6,7$ начиная с XIV в. Для этого периода строился кумулятивный график повторяемости сильных подкоровых землетрясений зоны Вранча. Его анализ показал, что один раз в 100 лет $\{P = 0,01\}$ в зоне может произойти землетрясение с $M = 7,3 \pm 0,1$. Эта оценка, в пределах точности определения, совпадает с оценками, известными из литературных источников [2, 5, 15]. Экстраполировать полученный график повторяемости в область более низких вероятностей нельзя, так как на больших временных интервалах на нем должен появиться загиб [16], обусловленный влиянием реологических свойств геологической среды в подкоровой очаговой зоне.

Исследование во времени потока магнитуд сильных землетрясений зоны показывает, что его можно условно принимать квазистационарным для всего исторического периода, для которого удалось собрать сейсмологические данные, только для землетрясений с $M = 6,9$. Выборку таких землетрясений можно использовать для оценки величины максимальных землетрясений, способных происходить с вероятностью $P = 0,001$. Построенный по ним аналог графика повторяемости землетрясений нельзя использовать для полного описания

32

сейсмичности зоны. Но учитывая, что при увеличении силы землетрясения в очаге возможность их пропуска в каталоге уменьшается, график можно применить для определения максимально возможного землетрясения за исследуемый период.

Из графика повторяемости сильнейших землетрясений зоны Вранча за период с 984 года по наши дни следует, что для $P = 0,001$ (раз в 1000 лет) в зоне Вранча может произойти максимальное землетрясение с $M = 7,6 \pm 0,1$. Такая оценка, в пределах точности определения, совпадает со значением максимальной магнитуды для зоны, полученной по комплексу сейсмологических и геолого-геофизических данных в работах [17, 18, 19].

Анализ распределения на дневной поверхности эпицентров подкоровых землетрясений зоны Вранча с различными магнитудами, совместно с данными о геологическом строении зоны [14, 20, 21, 22] и о пространственном распределении сейсмической активности [23], позволяет приближенно оценить координаты наиболее близкого к ЧАЭС потенциального очага так: $\varphi = (45,75 \pm 0,05)^\circ N$, $\lambda = (26,70 \pm 0,10)^\circ E$, $H = 110$ км - для максимального землетрясения, способного произойти раз в 100 лет (ПЗ); $\varphi = (45,70 \pm 0,05)^\circ N$, $\lambda = (26,65 \pm 0,10)^\circ E$, $H = 125$ км - для максимального землетрясения, способного произойти раз в 1000 лет (МРЗ). Координаты очага здесь соответствуют "центру излучения энергии".

Оценка величины предельного землетрясения зоны Вранча, совместно с соотношениями (1) и (2), использовалась для построения средних теоретических амплитудных спектров, моделирующих ПЗ и МРЗ на территории промышленной площадки ЧАЭС. Расчетные акселерограммы строились для 86%-ной вероятности превышения расчетных воздействий.

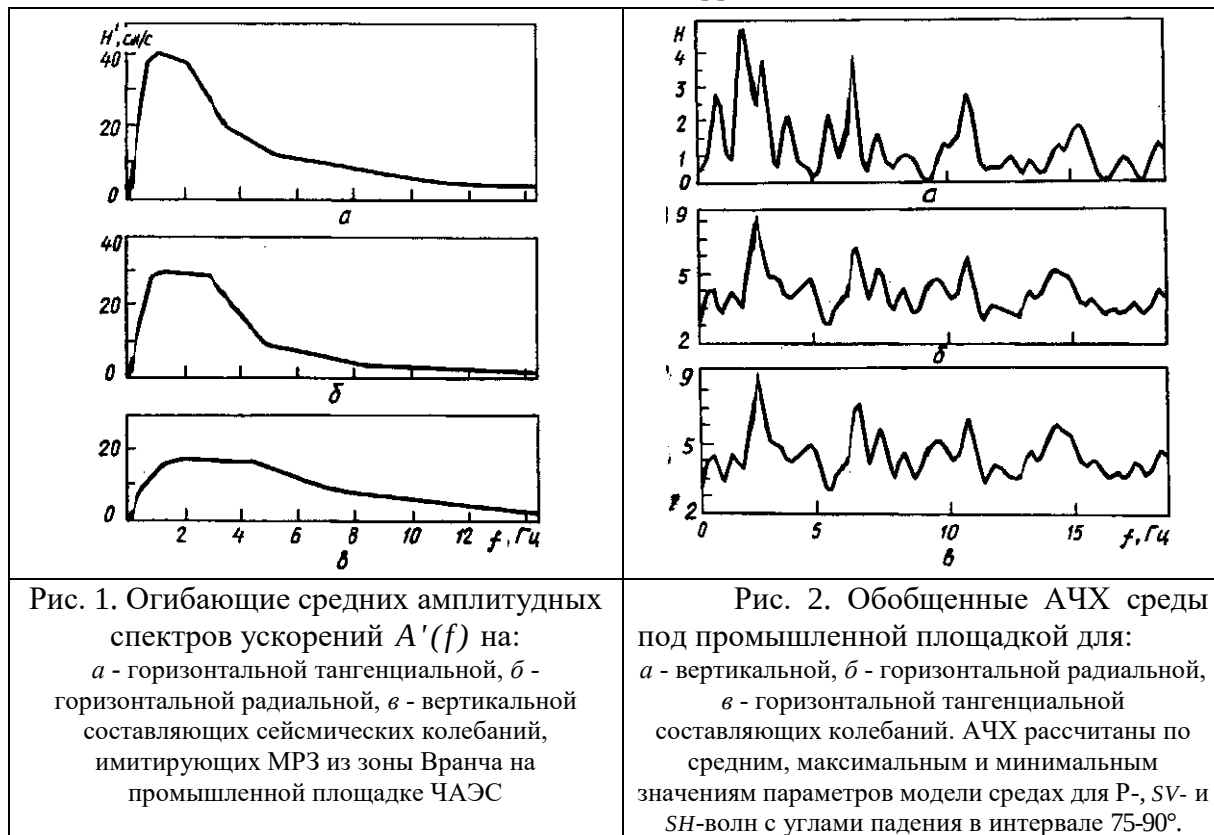
На рис. 1 приведены огибающие амплитудных спектров расчетных акселерограмм $A'(\omega)$ для МРЗ на промышленной площадке ЧАЭС. Если эти спектры использовать для генерации расчетных акселерограмм, то они будут описывать ускорения колебаний при МРЗ с некоторым преувеличением. "Гладкий" спектр расчетной акселерограммы соответствует резонансу на любой из частот, в то время как в реальных спектрах пики плотности ускорения соответствуют условиям резонанса для среды под площадкой. Воздействие среды может быть рассчитано теоретически. Амплитудные частотные спектры расчетных акселерограмм целесообразно строить как результат модулирования теоретических спектров расчетных акселерограмм частотными характеристиками среды под площадкой.

В расчетах использовались горизонтально-слоистые модели осадочного комплекса под промышленной площадкой ЧАЭС. В качестве расчетных параметров модели рассматривались: V_p , V_s - пластовые скорости продольными поперечных сейсмических волн, м/с, ρ - плотность вещества, г/см³, h - мощность слоев, км. Неточность знаний о строении среды приводит обычно к тому, что значения каждого из этих параметров в слоях и подстилающем полупространстве удастся определить лишь с точностью до некоторого интервала значений. Необходимые для расчета характеристик значения добротности среды

заимствованы из справочной литературы [24-26]. Корреляционная связь между значениями логарифмических декрементов поглощения ν и добротностью среды Q на той же частоте заимствована из работы [27]. Если известен только один из декрементов затухания: ν_p или ν_s , то значение недостающего определялось с помощью соотношений из работы [28].

При расчете частотных характеристик моделей верхней части разрезов геологической среды под промышленной площадки ЧАЭС - $H_j(\omega)$, где j - тип волны, использовался матричный метод Томсона-Хаскелла [29, 30].

33



Частотные характеристики грунтов $H_j(\omega)$ строились для трех вариантов модели. Варианты модели формировались по средним, максимальным и минимальным значениям параметров в интервалах их определения. Результирующая (обобщенная) амплитудная частотная характеристика (АЧХ) среды под промышленной площадкой ЧАЭС для вертикальной и горизонтальной радиальной составляющей колебаний строилась как огибающая, соответственно, вертикальных и горизонтальных составляющих АЧХ, рассчитанных для случаев падения на подошву модели P- и SV-волн под углами: 75, 80, 85 и 90°, а для горизонтальной тангенциальной составляющей колебаний - как огибающая АЧХ среды, рассчитанных для аналогичного падения SH-волн. На рис. 2 приведены примеры обобщенных АЧХ среды под промышленной площадкой ЧАЭС для трех составляющих колебаний.

Учитывая, что уровень спектра расчетной акселерограммы задается теоретически определенный уровнем его огибающей, рассчитанные с помощью описанного выше алгоритма (для различных вариантов моделей и различных компонент колебаний) обобщенные АЧХ среды под площадкой, перед умножением на представленные на рис. 1 спектры, нормировались на максимальное для них всех значение.

Умножая теоретическую огибающую расчетной акселерограммы на нормированные обобщенные АЧХ грунтов, рассчитанные для различных компонент, получаем амплитудные спектры расчетных акселерограмм, соответствующие этим составляющим колебаний.

34

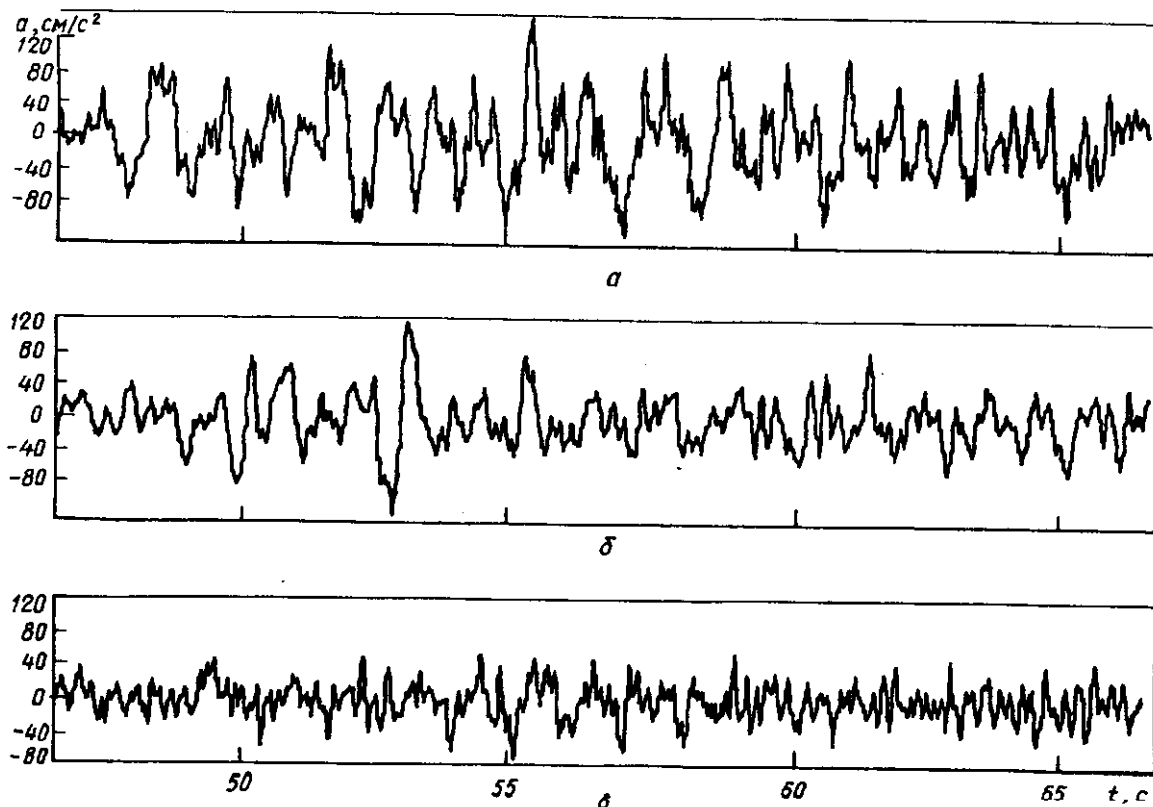


Рис. 3. Фрагмент расчетной акселерограммы МРЗ из зоны Вранча - $a(t)$, включающий максимальную фазу S-волн. Расчетная акселерограмма синтезирована для грунтовых условий промышленной площадки ЧАЭС:

а - горизонтальная тангенциальная, б - горизонтальная радиальная, в - вертикальная составляющая колебаний.

35

Вследствие того что очаги землетрясений зоны Вранча сосредоточены в довольно небольшом объеме и обладают достаточно похожими механизмами, можно предположить, что основные черты фазовых спектров ускорений сейсмических колебаний грунта на промышленной площадке ЧАЭС будут похожими для значительного класса подкорковых землетрясений зоны Вранча. Принимая это предположение, для формирования фазового спектра расчетной акселерограммы используем фазовые спектры, рассчитанные по записям:

вертикальной составляющей записи другого (более слабого) землетрясения 30.05.1990 г. из зоны Вранча, полученной в ЕГФ АНУ с помощью аппаратуры "Черепаша", датчик которой был установлен непосредственно на промышленной площадке ЧАЭС. Это землетрясение характеризуется следующими параметрами в очаге: $T_0=11h\ 31m\ 13,35s$ по Гринвичу, $\varphi=45,78^\circ N$, $\lambda=26,57^\circ E$, $M_{LH}=4,2$, $H=90$ км;

NS- и EW-составляющим записи подъярового землетрясения 16.08.1986 г. из зоны Вранча, полученной на белорусской сейсмической станции "Гомель". Землетрясение характеризуется следующими параметрами в очаге: $T_0 = 06h\ 41m\ 25,5s$ по Гринвичу, $\varphi=45,59^\circ N$, $\lambda=26,39^\circ E$, $M_{LH}=4,7$, $H=155$ км.

Фазовые частотные характеристики для горизонтальных составляющих расчетных акселерограмм определялись как результат суммирования фазовых частотных характеристик моделей среды с фазовыми спектрами сейсмических колебаний, рассчитанными по соответствующим компонентам записи указанных выше землетрясений. Горизонтальные компоненты записи при этом были предварительно перепроектированы на радиальное и тангенциальное направление.

Расчетные акселерограммы моделирующие землетрясения зоны Вранча на промышленной площадке ЧАЭС, синтезировались с помощью регуляризующего алгоритма обратного преобразования Фурье [3]. На рис. 3 приведены фрагменты графиков трехкомпонентной расчетной акселерограммы, моделирующей с 86%-ной обеспеченностью МРЗ на свободной поверхности грунта промышленной площадки. Каждая из компонент

приведенных колебаний состоит из 1110 отсчетов, заданных с дискретностью $\delta t=0,018$ с. Полная запись каждой из компонент состоит из 16383 точек. Поэтому ее трудно представить с удовлетворительной детальностью на рисунке. Проектировщикам расчетные акселерограммы передаются в цифровом виде. К ним прилагается краткая инструкция и программа по работе с записями расчетных акселерограмм. Программа позволяет визуализировать акселерограммы в графическом виде, детально рассматривать их отдельные участки, рассчитывать спектры, строить СВАР-диаграммы, спектры реакции, графики повторяемости и продолжительности колебаний различной интенсивности, и выполнять их копирование на принтере в нужном масштабе.

Используя различные комбинации теоретических огибающих спектров расчетных акселерограмм, частотных характеристик, определенных для разных вариантов моделей среды под площадкой, и фазовые спектры, полученные по различным записям землетрясений, зарегистрированных как на самой промышленной площадке ЧАЭС так и вблизи от нее, можно получить достаточно представительный набор расчетных акселерограмм, которые в совокупности смогут обеспечить сейсмическую безопасность АЭС при землетрясениях из зоны Вранча.

1. *Оценка влияния грунтовых условий на сейсмическую опасность. Методическое руководство по сейсмическому микрорайонированию* – М.: Наука, 1988. – 223 с.

2. *Constantinescu L., Enescu D., Cutremurele din Vrancea in cadru stiintific si tehnologic.* - Bucuresti: Editura Academici Republicii Socialiste Romania, 1985 - 230 p.

36

3. *Кендзера А.В., Копенкина М.Н., Софронов О.Н.* Об одном алгоритме получения расчетных акселерограмм // Современные геодинамические процессы и их изучение в связи с проблемой прогноза землетрясений. - Киев: Наук. думка, 1986. - С. 51-55.

4. *Введенская А.В., Голубева Н.В., Рупрехтова Л.* Особенности напряженного состояния изгиба Карпатской дуги и параметры механизма развития очага землетрясения 4.03.1977 г. // Карпатское землетрясение 4 марта 1977 г. и его последствия. - М.: Наука, 1980. - С. 106-133.

5. *Кендзера А.В., Пранишин Р.С., Вербицкий С.Т. и др.* Сейсмические сотрясения в Минске при карпатских землетрясениях // Сейсмологический бюллетень Белорусской сети сейсмических станций. - Минск: Изд. ИГиГ АН Белоруссии, 1992. - С. 169-184.

6. *Тихонов А.Н., Арсенин В.Я.* Методы решения некорректных задач. - М.: Наука, 1979. - 285 с.

7. *Кендзера А.В.* Способ получения расчетных акселерограмм путем пересчета из сейсмических записей // Геофиз. журнал. - 1987. - 9, № 5, - С. 75-79.

8. *Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К.* Машинные методы математических вычислений - М.: Мир, 1980. - 279 с.

9. *Hartzell S.N.* Earthquake aftershocks as Green's functions // Geophys. Res. Letters. - 1978. - 5. - P. 1-4.

10. *Izutani Y., Katagiri F.* Empirical Green's function corrected for source effect // Earthq. Eng. Struct. Dyn. - 1992. - 21. - P. 341-349.

11. *Ohaki Y.* On the significance of phase content in earthquake ground motions // Earthq. Eng. Struct. Dyn. - 1979. - 7. - P.427-439.

12. *Антикаев Ф.Ф.* Оценки параметров сейсмических колебания при сейсмическом районировании // Экспериментальная сейсмология. - М.: Наука, 1983. - С. 173-180.

13. *Лятхер В.М., Капцен А.Д.* Расчетные акселерограммы, отвечающие фиксированному спектру действия // Оценка сейсмостектонических условий площадок строительства атомных энергетических установок. - М.: Энергоатомиздат, 1978. - С. 79-87.

14. *Карпатское землетрясение 1986 г.* / Под ред. А.В. Друмя, Б.В. Шебалина, Н.Н. Складнева, С.С. Графова, В.И. Ойзермана. - Кишинев: Штиинца, 1990. - 334 с.

15. *Ризниченко Ю.В., Друмя А.В., Степаненко Н.Я.* Сейсмичность и сотрясаемость Карпато-Балканского региона. - Кишинев: Штиинца, 1976. - 117 с.

16. *Кузнецова К.И.* Особенности графика повторяемости землетрясений и поведение горных масс // Региональные исследования сейсмического режима - Кишинев: Штиинца, 1974. - С. 100-108.

17. *Ризниченко Ю.В., Друмя А.В., Степаненко Н.Я., Симонова К.А.* Сейсмичность и сейсмическая опасность Карпатского региона // Карпатское землетрясение 4 марта 1977 г. и его последствия. - М.: Наука, 1980. - С. 46-85.

18. *Друмя А.В., Степаненко Н.Я.* Карта максимальных возможных землетрясений сейсмического района Вранча // Изв. АН СССР. Физика Земли. - 1972. - № 10. С. 77-78.

19. *Борисов Б.А., Рейснер Г.И.* Сейсмостектонический прогноз максимальной магнитуды землетрясений: Карпатского региона // Изв. АН СССР. Физика Земли. - 1976. - № 5. С. 21-31.

20. *Чекунов А.В.* Сейсмоактивный район Вранча - тектонический аспект // Доп. АН УРСР. Сер. Б. - 1986. - № 5. С. 21-26.

21. Соллогуб В.Б. и др. Строение литосферы вдоль геотраверса V на основании комплексных геолого-геофизических данных // Геофиз. журнал. -1985. - № 4. С. 3-18.
22. Щукин Ю.К., Добрей Т.Д. Глубинное геологическое строение, геодинамика и геофизические поля очаговой зоны Вранча. // Карпатское землетрясение 4 марта 1977 г. и его последствия. - М.: Наука, 1980. - С. 7-40.
- 37
23. Сагалова Е.А. Характер сейсмического процесса в период подготовки Карпатского землетрясения 4.03.1977 г. // Карпатское землетрясение 4 марта 1977 г. и его последствия. - М.: Наука, 1980. - С. 135-145.
24. Справочник физических констант горных пород / Под ред. С. Кларка - М.: Наука, 1969. - 270 с.
25. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию при инженерных изысканиях для строительства. / Под ред. С.А.Федорова. - М.: Госстрой СССР, 1985. - 42 с.
26. Джурик В.И., Дренов А.Ф., Иванов Ф.И., Потапов В.А. Сейсмические свойства скальных грунтов. – Новосибирск: Наука, 1986. - 134 с.
27. Лоссовский Е.К. К вопросу о дисперсии фазовой скорости объемных сейсмических волн в поглощающей среде // Геофиз. журнал. - 1981. - 3, № 3. С. 33-39.
28. Шарапов В.Г., Бунэ В.И., Ратникова Л.И. Об определении амплитудно-частотного состава колебаний грунтов при расчетном землетрясении // Эффект сильных землетрясений. - М.: Наука, 1982. - С. 45-51. (Вопр. инж сейсмологии. Вып. 22).
29. Ратникова Л. И. Методы расчета сейсмических волн в тонкослоистых средах. - М.: Наука, 1973. - 124 с.
30. Садыков Ф.С., Косарев Г.Л. Строение Земли по дисперсии поверхностных сейсмических волн. - Ташкент: ФАЗ, 1981. - 102 с.

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев
Поступила 15.03.95

38

УДК 581.5

П. Г. Плюта, Я. П. Дідух
ФІТОЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ ЧАЕС

За роки після аварії було виконано 480 геоботанічних описів, які репрезентують усю сукупність ландшафтів, екоотопів, типів рослинності та стадії її відновлення у Зоні відчуження. На основі фітоіндикаційних шкал оцінено зміну екологічних умов місцезростань в ході демутаційних і сингенетичних процесів за основними кліматичними і едафічними чинниками. Спрогнозовано напрямок подальшого розвитку рослинних угруповань. Обґрунтовано необхідність постійного фітоекологічного моніторингу Зони відчуження.

У зв'язку з припиненням господарської діяльності на забруднених радіонуклідами територіях Зони відчуження ЧАЕС виникли проблеми, пов'язані з прогнозуванням саморозвитку екосистем, а також ролі рослинного покриву в процесах міграції радіонуклідів [1].

Перша проблема є значною мірою ботанічна, і аналогічні дослідження проводились в лісових і трав'янистих типах рослинності [2-4], проте відчуження земель у такому обсязі потребує особливої уваги щодо вивчення відновлювальних сукцесій. Друга проблема – вплив рослинного покриву на міграцію радіонуклідів, – є чисто екологічна, і в цьому відношенні Зона відчуження ЧАЕС є унікальним полігоном.

Ці дві проблеми тісно пов'язані між собою, бо формування стійких природних екосистем, які характеризуються максимально замкненим циклом кругообігу речовин, одночасно сприяє і локалізації радіонуклідів у ризосфері й фітомасі і мінімізує їх надходження у великий кругообіг. В той самий час на сьогодні ще накопичено недостатньо даних, за якими можна міркувати про стійкість і тривалість сукцесійних стадій, про характеристики кругообігу речовин на окремих стадіях розвитку рослинного покриву.

Виникає потреба детального дослідження динаміки природних процесів, яке повинне передбачити здійснення екологічного моніторингу Зони відчуження. Він повинен включати в себе не лише радіаційний моніторинг, а й кліматичний, гідрологічний, гідрогеологічний, ґрунтово-геохімічний, біологічний. Основою біологічного моніторингу є фітоекологічний, оскільки рослинність візуально відображає зміни екосистем в цілому і є надійним стабілізатором радіоекологічне несприятливих природних процесів (водна і вітрова ерозія, водорегулююча роль тощо) [5-7]. Моніторинг природних процесів, які відбуваються в рослинному покриві, дозволить розглянути не лише питання мінімізації радіонуклідів, а й

важливі теоретичні проблеми екології. Це питання клімакських угруповань і екосистем, демутації і автогенезу, екології і динаміки видів і угруповань, часової і територіальної диференціації, адаптації, стійкості і стабільності екосистем тощо. Проведенню таких досліджень буде сприяти і розширення заповідної мережі у Зоні відчуження ЧАЕС [1, 8]

В той самий час слід визнати, що у запропонованих концепціях моніторингу [9] фітоекологічний згадується лише побіжно. Проте у Зоні відчуження здійснювалися окремі дослідження [10-14], які можуть бути базою для подальших робіт у цьому напрямку.

Для проведення фітоекологічного моніторингу важливим є фіксація параметрів вихідного стану рослинності (на 1986 р.) і порівняння його з параметрами еталонних угруповань (клімакських, субклімакських). За еталонні угруповання приймаються ценози, що знаходяться в зональних умовах клімату, а в геоморфологічному відношенні – на вододільних рівнинах (плакорах), що забезпечує зональні умови зволоження.

39

Вихідний стан рослинного покриву Зони відчуження був в основному зафіксований нами в експедиційних дослідженнях перших післяваріантних років. Загальним питанням є здійснення постійного фітоекологічного моніторингу, особливо в тих місцезростаннях, де прискорюється демутація (присадибні ділянки, городи, поля, заплавні луки).

У статті підсумовуються результати фітоекологічних досліджень авторів у Зоні відчуження. У природному відношенні ця територія, що належить до Київського Полісся, характеризується низинним рельєфом, наявністю широких заболочених річкових долин, достатнім балансом вологи. Переважну частину території займають піщані товщі водно-льодовикового і алювіального походження, серед яких зрідка трапляються лесові "острови", а в низовинах – болота. За таких умов у помірно теплом та помірно вологому кліматі сформувалися дерново-підзолисті, ясно-сірі опідзолені та торфові ґрунти.

Потенційною рослинністю Зони відчуження є лісова, а на перезволожений ділянках – болотна. Хоча за кліматичними параметрами у Поліссі можуть рости мішані та листяні ліси, специфіка едафічних факторів зумовлює [15] перевагу соснових і дубово-соснових лісів, що відносяться до асоціацій лишайникової, зеленомохової (переважає за площею), чорницевої, орлякової, куничникової, сфагнової тощо.

На 1986 р. лісистість Зони відчуження становила близько 45 %. Соснові ліси, які є переважно лісовими культурами віком 20-50 років, займають 80 % вкритої лісом площі. За продуктивністю соснові деревостани належать здебільшого до I (34,4 %) та II (49 %) класів бонітету [16].

За трофністю місцезростань виділяються такі ліси: бори – 48,7 %, субори – 36,6 %, сугруди – 14,1 %, груди – 0,6 %. За вологістю ґрунту домінують свіжі гігروتони (69 %), далі йдуть вогкі (12,7 %), сухі (10,5 %), сирі (7,4 %) та мокрі (0,4 %).

Слід відмітити, що внаслідок пожеж останніх років, які охопили 17 тис. га, в т.ч. верхові – 4,2 тис. га, лісистість помітно знизилася. На місці згарищ формуються тимчасові трав'янисті угруповання. Домінантами постпірогенного демутаційного ряду в перші роки є злинка канадська (*Erigeron canadensis*) та куничник наземний (*Calamagrostis epigeios*), рідше – костриця червона (*Festuca rubra*), булавоносець сіруватий (*Corynephorus canescens*). Природне поновлення сосни і інших деревних порід на згарищах на другий рік після пожежі є незадовільним, що ставить питання про створення лісових культур.

Луки Зони відчуження поділяються на суходільні та низинні. Останні відносяться до чотирьох класів формацій: справжніх, остепнених, болотистих та торф'янистих. Основні їх представники – китник лучний (*Alopecurus pratensis*), костриця лучна (*Festuca pratensis*), мітлиця велетенська (*Agrostis gigantea*) і тонка (*A. tenuis*), тонконіг лучний (*Poa pratensis*) і ін. Суходільні луки приурочені до сухіших і бідніших ґрунтів. Домінують формації костриці червоної, пірію повзучого (*Elytrigia repens*), тонконога вузьколистого (*Poa angustifolia*), мітлиці тонкої і ін.

Болота Зони відчуження в основному евтрофні, зрідка мезотрофні, оліготрофних практично немає. Локалізовані вони здебільшого в заплавах. Переважають трав'яні й трав'яно-мохові, рідше – лісові й чагарникові болота. Частіше усього трапляються формації з домінуванням осоки гострої (*Carex acuta*), пухирчастої (*C. vesicaria*), гостровидної (*C.*

acutiformis), нерідко – очерету звичайного (*Phragmites australis*), рогоза вузьколистого (*Typha angustifolia*).

40

Сільськогосподарські угіддя й населені пункти в Зоні відчуження займали майже половину території. Тепер тут формується природний рослинний покрив. Демутаційні процеси перших років після аварії помітно залежали від того, які культури тут були раніше, чи збирався врожай, від способу обробки ґрунту і внесення добрив. На більшості площ домінує пирій повзучий. В Киштимській Зоні відчуження на Уралі пирійні луки теж відмічені як друга демутаційна стадія [17]. Часто зустрічаються угруповання грястиці збірної (*Dactylis glomerata*), щучника дернистого (*Deschampsia caespitosa*), тимофіївки лучної (*Phleum pratense*), мітлици велетенської і тонкої, куничника наземного, булавоносця сіруватого, злишки канадської.

На присадибних ділянках та сільських дворах у перші роки формувалися рудеральні ценози з помітною участю кропиви дводомної (*Urtica dioica*), осоту польового (*Cirsium arvense*), полину звичайного (*Artemisia vulgaris*) та гіркого (*A. absinthium*), золотушника канадського (*Solidago canadensis*) і ін. Активно здійснює експансію клен ясенелистий (*Acer negundo*).

Найсухіші екотопи – піщані гриви, які раніше не розорювалися, – населяють енотера дворічна (*Oenothera biennis*), полин польовий (*Artemisia campestris*), булавоносець сіруватий.

Поблизу лісів і лісосмуг формується підріст деревних порід, густина і вік якого зменшується з віддаленням від материнських дерев. У перспективі це призведе до збільшення площ, зайнятих деревною рослинністю.

Помітний вклад у мозаїку сучасних сингенетичних процесів вносить підтоплення, яке розвивається на колишніх меліорованих землях при погіршенні стоку (близько 2 тис. га); вони ще недостатньо вивчені у фітоекологічному аспекті.

З метою оцінки демутації рослинного покриву нами використані фітоіндикаційні шкали, які широко застосовуються при вивченні екологічних режимів місцезростань, ординації рослинності, екологічному картуванні в різних регіонах України [18] і багатьох зарубіжних країнах (Австрія, Німеччина, Польща, Росія, Словаччина, Угорщина, Чехія, Швейцарія і ін.). Визначення екологічних режимів місцезростань за рослинним покривом передбачає врахування діапазонів толерантності видів рослин (екологічних ніш) за провідними екологічними чинниками. Здійснювати цю операцію можна різними прийомами, але зводиться вона до пошуку того відрізка градієнта чинника, в якому перекриваються екологічні ніші всіх видів, що складають угруповання, тобто який є найзагальнокомфортнішим.

Вибір екологічних шкал виходив з потреб повноти характеристики екологічних умов. Нами використані такі шкали: з кліматичних - шкали радіаційного балансу (терморежиму *Tm*), континентальності клімату (клімаконтрасторежиму *Kn*), гумідності клімату (омброрежиму *Om*), морозності клімату (кріорежиму *Cr*). Ці шкали відносяться до шкал інтервалів.

З едафічних використані шкали вологості ґрунту (гідрорежиму *Hd*), кислотності (ацидорежиму *Rc*), узагальненого сольового режиму (трофорежиму *Tr*), азотного режиму (нітрорежиму *Nt*) і змінності зволоження ґрунту (гідроконтрасторежиму *fH*). Останні три є шкалами порядків, а перші дві за точністю можна вважати проміжними між шкалами порядків і інтервалів. Із ценотичних була, використана шкала освітленості (геліорежиму *Lc*), яка відноситься до шкал порядків. Для зручності оцінки екологічних режимів наведено в балах; бали інтервальних шкал мають однозначну фізичну відповідність, порядкових - достатньо точну для фітоекологічних досліджень [18].

Вихідним матеріалом для фітоекологічного аналізу є геоботанічні описи, виконувані як спорадично, так і на екологічних профілях на всій території Зони відчуження. Профілі були закладені нами в характерних ландшафтах Зони відчуження і охоплювали практично всі типи геосистем і фітоценозів в достатній повторності. При обробці використовувалась комп'ютеризована база даних еколого-фітоценотичної інформації видів флори України, створена авторами, та програмне забезпечення, розроблене Ю.А. Школьніковим.

Таблиця 1. Амплітуда екологічних умов Зони відчуження ЧАЕС

Екологічний чинник	Розмірність екологічних шкал, бал	Фактична амплітуда екологічних умов			
		Бал			Відсоток максимально можливої
		Максимум	Мінімум	Різниця	
Радіаційний баланс <i>Tm</i>	17	9,50	6,21	3,29	19,4
Континентальність <i>Kn</i>	15	9,40	7,80	1,60	10,7
Гумідність <i>Om</i>	15	9,33	7,17	2,16	14,4
Морозність <i>Cr</i>	15	8,85	6,06	2,77	18,5
Зволоженість ґрунту <i>Hd</i>	23	17,56	8,57	8,99	39,1
Змінність зволоження ґрунту <i>fH</i>	11	7,75	2,90	4,85	44,1
Узагальнений сольовий режим ґрунту <i>Tr</i>	19	9,21	4,21	5,00	26,3
Кислотність ґрунту <i>Rc</i>	13	8,22	3,79	4,43	34,1
Азотний режим ґрунту <i>Nt</i>	11	8,50	3,36	5,14	46,7
Освітленість <i>Lc</i>	9	5,53	2,20	3,33	37,0

Весь спектр екологічних умов Зони відчуження вкладається в межі, представлені в табл. 1. Як бачимо, існує помітна екотопологічна диференціація мікрокліматичних і едафічних умов в ландшафтних комплексах Зони. Як впливає з теорії градієнтного аналізу, провідним екологічним чинником у певному регіоні є той, який виявляє найбільшу амплітуду коливань своїх режимів. За цією ознакою на першому місці стоїть режим зволоження ґрунту *Hd*, який коливається від 8,6 бала (дуже сухі екотопи на глибоких пісках) до 17,6 бала (болотнолісолучні екотопи), що становить 39 % всього можливого в природі градієнта чинника. Найсухішими є угруповання злишки канадської, полину польового і пажитниці багаторічної (*Lolium perenne*) – для трав'янистої рослинності, а для лісової – сосняків булавоносцевих. Найвологіший кінець градієнта посідають болота з домінуванням осоки гострої, гостровидної і пухирчастої, а також зарості верби тритичинкової (*Salix triandra*) у заплавах і соснові ліси чорницево-сфагнові.

У табл. 2 представлені середні значення режимів провідних екологічних чинників для найпоширеніших рослинних угруповань Зони відчуження. Сюди ввійшли тільки ті угруповання, які представлені трьома і більше описами. Ці дані є основою подальших фітоекологічних аналізів і прогнозів.

42

Таблиця 2. Середні значення екологічних режимів рослинних угруповань Зони відчуження ЧАЕС, бал {! у першу колонку введено найменування угруповань із Приміток}

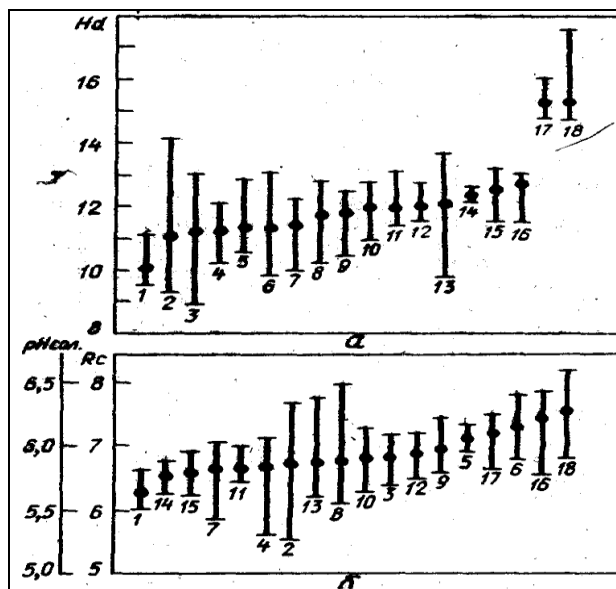
Угруповання домінуванням із	Повторність	Екологічний чинник									
		<i>Tm</i>	<i>Kn</i>	<i>Om</i>	<i>Cr</i>	<i>Hd</i>	<i>fH</i>	<i>Tr</i>	<i>Rc</i>	<i>Nt</i>	<i>Lc</i>
Трав'янисті піонерні угруповання (зарості), посіви											
1. Осоту польового	4	8,30	8,67	7,85	7,75	11,52	6,39	7,92	6,96	6,80	2,87
2. Буркуна білого	7	8,19	8,96	7,41	7,42	10,91	6,28	8,28	7,03	6,14	2,75
3. Жита посівного	4	8,65	8,84	7,45	7,92	10,60	6,57	7,98	7,05	6,16	2,61
4. Пшениці літньої	3	8,50	8,81	7,49	7,78	10,79	6,36	7,87	6,80	6,19	2,56
5. Кропиви дводомної	5	8,30	8,85	7,86	7,60	11,58	6,56	7,72	6,61	7,27	3,20
Лучні та болотні формації											
6. Мітлиці велетенської	19	8,40	8,72	7,61	7,68	11,37	6,39	8,09	7,27	6,24	2,74
7. Мітлиці тонкої	13	8,10	8,47	7,86	7,54	11,41	5,59	7,37	6,64	5,25	2,84
8. Китника лучного	9	8,20	8,69	7,78	7,40	12,72	6,15	8,39	7,46	6,01	2,54

9. Пахучого колоска звичайного	3	8,06	8,45	7,92	7,68	12,02	5,36	7,40	6,66	5,23	2,95
10. Куничника наземного	9	8,15	8,62	7,84	7,54	11,76	6,45	7,77	6,78	5,68	2,81
11. Осоки гострої	5	7,80	8,43	8,10	7,47	15,26	5,92	7,98	7,55	6,18	2,94
12. Осоки чорної	4	8,02	8,47	8,09	7,58	12,55	5,48	7,40	6,61	5,62	2,90
13. Осоки пухирчастої	9	7,73	8,53	8,02	7,31	15,28	6,18	8,39	7,19	6,20	2,88
14. Булавоносця сіруватого	9	8,47	8,41	7,78	7,98	10,07	6,09	6,91	6,29	4,91	2,66
15. Грястиці збірної	21	8,26	8,84	7,69	7,50	11,20	6,13	8,10	6,86	6,15	2,86
16. Щучника дернистого	20	8,12	8,69	7,66	7,57	12,11	5,44	7,60	6,76	5,47	2,96
17. Пирію повзучого	66	8,36	8,67	7,77	7,64	11,04	6,44	7,77	6,73	6,23	2,82
18. Костриці лучної	9	8,05	8,50	7,82	7,63	12,08	5,34	7,95	6,89	5,52	2,86
19. Костриці червоної	10	8,12	8,58	7,84	7,60	11,97	5,40	7,55	6,84	5,29	2,93
20. Біловуса стиснутого	4	7,75	8,42	8,07	7,51	12,39	5,14	6,90	6,56	4,68	2,95
21. Тимофіївки лучної	7	8,20	8,77	7,65	7,57	11,30	5,97	8	7,14	6,01	2,79
22. Тонконога вузьколистого	11	8,13	8,64	7,69	7,54	11,21	5,48	7,92	6,70	4,95	2,86
23. Тонконога лучного	13	8,04	8,59	7,74	7,54	11,82	5,44	7,96	6,98	5,77	3,02
Чагарникові і лісові угруповання (зарості)											
24. Клена ясенелистого	10	8,75	8,87	7,98	7,88	11,43	6,52	7,14	6,69	6,72	3,46
25. Малини	3	8,61	8,82	7,56	7,94	11,77	6,18	7,78	6,97	7,09	3,20
Ліси корінні і умовно корінні											
26. Сосновий ліс булавоносцевий	3	8,28	8,52	7,97	7,76	10,38	5,53	6,20	6,07	4,15	2,89
27. Сосновий ліс зеленомоховий	6	8,00	8,42	8,13	7,71	11,28	5,55	5,83	5,98	4,37	3,45
28. Сосновий ліс орляковий	10	8,08	8,49	8,35	7,55	11,94	5,30	5,76	6,14	4,51	3,96
29. Сосновий ліс червонокострицевий	3	7,78	8,50	8,16	7,44	12,23	4,71	5,48	5,58	4,41	3,61
30. Сосновий ліс вересовий	5	7,57	8,21	8,46	7,39	12,36	5,01	5,26	5,28	4,22	3,65
31. Сосновий ліс чорницевий	13	7,11	8,43	8,87	6,97	14,25	3,80	4,83	4,92	3,99	3,97
32. Сосновий ліс молінієвий	3	7,24	8,45	8,79	7,25	14,30	3,63	5,32	5,20	4,23	3,99
33. Дубово-сосновий ліс орляковий	6	8,33	8,57	8,13	7,76	11,72	5,44	6,04	6,42	4,72	4,06
34. Дубово-сосновий ліс ліщиново-пальчастоосоковий	5	8,33	8,44	8,33	7,88	11,95	5,10	5,86	6,34	5,08	4,53
35. Дубово-сосновий ліс ліщиново-орляковий	11	8,46	8,49	8,25	7,88	12,01	5,23	5,81	6,47	5,09	4,50
36. Дубово-сосновий ліс червонокострицево-орляковий	6	8,06	8,55	8,29	7,52	12,21	4,96	5,64	6,08	4,70	4,27
37. Дубово-сосновий ліс чорницевий	24	7,80	8,46	8,61	7,47	13,40	4,23	5,22	5,47	4,48	4,37
38. Грабово-дубовий ліс маренковий	3	8,40	8,29	8,37	7,97	12,34	5,16	6,03	6,40	5,22	4,86
39. Грабово-дубовий ліс ліщиново-волосистоосок	5	8,72	8,28	8,36	8,41	12,40	4,74	5,95	6,87	5,66	5,09
40. Грабово-дубовий ліс зірочниковий	3	8,56	8,27	8,26	8,29	12,64	7,72	6,12	6,63	5,48	4,96

За градієнтом вологості трав'янисті ценози Зони відчуження утворюють гідроекоклін, зображений на рисунку (а). Як бачимо, екологічні ніші окремих угруповань в значній мірі перекриваються. Так, екологічна амплітуда найпоширеніших в Зоні відчуження угруповань пірію повзучого (5 ступенів шкали *Hd*) перекриває амплітуди майже всіх інших трав'янистих ценозів, крім болотних. Цьому сприяють екологічні особливості пірію, який має найширшу екологічну амплітуду порівняно з іншими домінантами рослинного покриву Зони відчуження (наприклад, за вологістю ґрунту – від 2 до 22 балів 23-бальної шкали). Широкий діапазон вологості екотопів займають також асоціації грястиці збірної (4,2 ступеня вологості), щучника дернистого (3,9), мітлиці велетенської (3,3). Найвужчий діапазон вологості зафіксовано для ценозів біловуса стиснутого (*Nardus stricta*) (0,5), костриці лучної (1,3) і булавоносця сіруватого (1,6 ступеня вологості). Лісові угруповання мають екологічну амплітуду від 10,4 (сухолісний гігروتон) до 15,3 балів (сиролісовий).

Відомо, що у зоні дерново-підзолистих ґрунтів їх узагальнена родючість (трофність) найкраще корелює з кислотністю, тому ми застосуємо цей показник для оцінки трофності ґрунтів.

Ґрунти Зони відчуження щодо реакції ґрунтового розчину є кислими та слабкокислими, про що свідчать індикувані ацидорежими у межах від 3,8 (рН=4,4, сосняки чорницеві) до 8,2 бала (рН=6,6, ценози осоки гострої). На рисунку б наведено ацидоклін трав'янистих угруповань Зони відчуження. Найширшу амплітуду кислотності мають лучні формації пірію повзучого, куничника наземного, тонконога вузьколистого і щучника дернистого, а також болотні – осоки гострої – і китника лучного. В усіх корінних лісових угрупованнях спостерігається підвищення кислотності ґрунту від дубових лісів через сосново-дубові до соснових. У соснових лісах кислотність нарастає у міру збільшення їх вологості від 6,3 бала для сосняків брусничевих і 6,1 бала для сосняків булавоносцевих (рН=5,5-5,7) до 4,9-5,0 балів для чорничевих і чорничево-сфагнових типів (рН = 4,9-5,0). Для сосново-дубових лісів *Rc* змінюється від 6,4-6,5 балів для орлякових до 5,5 балів для чорничевих типів. Для широколистяних лісів градієнт зміни *Rc* встановлено у межах 7,4 (дубняк трясуноквидно-осоковий) – 6,4 балів (грабовий дубняк маренковий). Це відповідає амплітуді рН 6,2-5,7.



Ординація найпоширеніших трав'янистих рослинних угруповань Зони відчуження за чинниками вологості *Hd* (а) і кислотності *Rc* (б) ґрунту. Вертикальні лінії показують діапазон толерантності, точки на цих лініях – середнє значення екологічного режиму, цифри – номер рослинного угруповання (формації):

1 – булавоносця сіруватого, 2 – пірію повзучого, 3 – грястиці збірної, 4 – тонконога вузьколистого, 5 – тимофіївки лучної, 6 – мітлиці гігантської, 7 – мітлиці тонкої, 8 – куничника наземного, 9 – тонконога лучного, 10 – костриці червоної, 11 – пахучої трави звичайної, 12 – костриці лучної, 13 – щучки дернистої, 14 – біловуса стиснутого, 15 – осоки чорної, 16 – китника лучного, 17 – осоки пухирчастої, 18 – осоки гострої.

Ступінь зволоження *Hd* відбиває середній рівень фізіологічне ефективного водозабезпечення рослин. Один і той же середній рівень зволоження в одному місцезростанні може відбивати достатньо рівномірний і забезпечений протягом року водний режим, а в іншому – бути підсумком регулярних різких коливань вологості.

Тому для характеристики водного режиму використовувався і показник його змінності *fH*. Встановлено, що наймінливіший режим зволоження притаманний піонерним трав'янистим

угрупованням злинок канадської (7,3 бали), а з деревних – теж піонерним угрупованням клена ясенелистого і верби білої (*Salix alba*). Це є доказом того, що у піонерних угрупованнях і водний режим є несформованим, а з переходом до вищих стадій сукцесії водний режим повинен стабілізуватися. Найменша змінність зволоження серед трав'янистих угруповань – у ценозів біловуса стиснутого (5,1 бала), костриці червоної, щучника дернистого (5,4 бала). В лісах найстабільнішим режимом зволоження ґрунту характеризуються сосняки чорницеві, молінієві, чорницево-сфагнові (3,6-3,8 бала). Очевидно, що цьому сприяє близький і водночас відносно постійний рівень ґрунтових вод. За вмістом азоту в ґрунті рослинні угруповання в Зоні відчуження займають діапазон від 3,4 (дуже бідні на азот ґрунти) до 8,5 балів (багаті на азот). Із трав'янистих формацій найширшу амплітуду мають ценози з домінуванням пирію повзучого, грястиці збірної, куничника наземного, мітлиці велетенської, мітлиці тонкої. Середній азотний режим трав'янистих ценозів характеризується значенням 5,9 бала.

Піонерні трав'янисті угруповання, локалізовані в основному на присадибних ділянках, городах, полях, у середньому на 0,6 бала краще забезпечені азотом, що є наслідком удобрення згаданих угідь. У міру зникнення цього ефекту їх азотний режим повинен погіршуватися. Основні піонерні угруповання у напрямку поліпшення азотного режиму розташовуються в ряд (за домінантами): метлюг звичайний (*Apera spica-venti*) – злинка канадська – півняче просо (*Echinochloa crus-galli*) – пажитниця багаторічна (*Lolium multiflorum*) – буркун білий (*Melilotus alba*) – осот польовий – кропива дводомна.

Діапазон азотного режиму для лісів коливається від 4,0 бала – для сосняків чорницевих і чорницево-сфагнових – до 6,2 бала для грабово-ясенових дібров яглицевих. У середньому для лісового типу рослинності забезпечення азотом становить 4,65 бала (бідні на азот ґрунти), що на 1,2 бала нижче, ніж для трав'янистих типів.

Піонерні лісові та чагарникові угруповання, які виростають на присадибних ділянках і городах, мають із вказаних вище причин на 1,5-2 бала кращий азотний режим, ніж корінні ліси. Особливо виділяються у цьому відношенні угруповання з домінуванням клена ясенелистого (5,4-8,5, у середньому 6,7 бала), які, маючи оптимальні умови живлення, демонструють добрий ріст і поширення.

Клен ясенелистий був інтродукований в Україні у 1809 р. і цілком натуралізувався. Він невибагливий і стійкий, швидко росте перші 10-15 років, після чого ріст припиняється. Ця порода цінна там, де потрібно за короткий час створити зелені насадження, що є особливо актуальним для зони радіоактивного забруднення. Вважають, що в лісівничому відношенні він є поганим лісоутворювачем і дає малоцінну деревину [19]. У Зоні відчуження склалися сприятливі умови для поширення клена ясенелистого. Його добрі експлерентні властивості дозволяють прогнозувати, що через 15-20 років після аварії сільські селитебні території Зони відчуження і їх околиці перетворяться на ліси з домінуванням клена ясенелистого.

Поліські ґрунти характеризуються невисоким вмістом солей, тобто узагальненою трофністю. Фітоіндикаційна шкала трофності відбиває активне багатство ґрунтів і синтетичний характер реакції рослинності на сукупність поживних речовин. На підзолистих ґрунтах Полісся ряд трофності є одночасно рядом вилюговування, вздовж якого поступово

45

втрачаються елементи живлення при одночасному наростанні кислотності. Іншими словами, сольовий і кислотний режими ґрунтів Зони відчуження пов'язані прямо пропорційною залежністю.

В процесі історичного розвитку ландшафтів нинішньої Зони відчуження ліси на кращих землях були зведені, а залишилися на відносно бідних і незручних землях. Наприклад, Чорнобильсько-Чистогалівський лесовий "острів", раніше вкритий широколистяними лісами, повністю збезлісений, сильно змінені дубові ліси збереглися лише на крутому правому схилі р. Прип'ять. Внаслідок цього трофність нинішніх ґрунтів під лісом відносно низька і коливається у межах від 4,9 бала для сосняків чорницевих до 8,4 бала для дубняків безостостокосових. Середня трофність борових місцезростань – 5,4, суборових – 5,6, сугрудових і грудових – 6,3 бали. Піонерні угруповання клена ясенелистого, розташовані на штучно удобрюваних раніше ґрунтах, мають трофність 7,1 бала.

Трав'янисті фітоценози порівняно з лісовими характеризуються вищими параметрами сольового режиму, який коливається від 6,3 (пермезотрофні екотопи) до 9,2 бала (евтрофні екотопи).

За радіаційним балансом, який формує термічний режим території, екотопи відрізняються досить сильно. Середнє значення радіаційного балансу, індикуване за 480 геоботанічними описами, зробленими у Зоні відчуження, становить 8,2 бала, тобто $171,7 \cdot 10^4$ кДж·м⁻²·рік⁻¹. Це співпадає з наявними актинометричними даними (Київ – $168,7 \cdot 10^4$, Бориспіль – $179,6 \cdot 10^4$). Крайніми точками на градієнті чинника є екотопи, зайняті угрупованнями полину польового (9,0 бала, тобто $188,4 \cdot 10^4$ кДж·м⁻²·рік⁻¹) і сосняків чорницевих (7,1 бала, або $148,6 \cdot 10^4$ кДж·м⁻²·рік⁻¹). Континентальність клімату екотопів визначалася за методом М.М. Іванова, який враховує середні річні і добові амплітуди температури повітря і середньорічний дефіцит його вологості. В цілому для району досліджень цей показник становить 8,6 бала (материковий режим континентальності). Екстремальними є значення 9,0 балів для угруповання з домінуванням буркуна білого і 7,8 бала для заростей полину польового.

За гумідністю (вологістю) клімату екотопів у більшості з них формуються семіаридні типи режиму. Під гумідністю розуміється різниця між річними значеннями кількості опадів R , і випаровуваності E_o . Індикуване середнє значення $R-E_o = -2$ мм.

Локальні особливості умов місцезростання і типів рослинності спричинюють коливання гумідності від 8,87 бала для сосняків чорницевих до 7,41 бала для заростей буркуна білого. В абсолютних одиницях це становить +177 мм для сосняків чорницевих і -118 мм для заростей буркуна. Середнє значення O_m для лучних формацій становить 7,76, що співпадає з режимом гумідності найпоширеніших в зоні угруповань пирію повзучого і відповідає -48 мм. Це є близьким до розрахованих значень $R-E_o$ для метеостанцій Поліське (-88), Чорнобиль (-156), Чернігів (-91 мм), розташованих на викошуваних лучних площадках.

Індикація кріоклімату показує, що ценози, які знаходяться в різних топологічних умовах (вершини горбів, улоговини, долини), мають значно відмінні режими кріоклімату (від 8,9 бала для угруповань полину польового до 6,92 бала сосняків чорницево-сфагнових). Це відповідає амплітуді середніх січневих температур 7,6° між екотопами сфагнових боліт і відкритих підвищених місцезростань.

Аналізуючи характер і масштаб змін екологічних чинників у Зоні відчуження, було встановлено, що режими кліматичної групи чинників у більшій мірі залежать від глобальних причин їх зміни (географічна широта, атмосферна циркуляція), хоча значний вклад дають і топологічні чинники формування мікроклімату. Градієнт кліматичних чинників у Зоні

46

відчуження складає 11-19 % глобального (див. табл. 1), що вказує на велике значення особливостей підстилаючої поверхні у формуванні їх режимів (крутизни схилів, їх експозицій, властивостей поверхні ґрунту і особливо характеру рослинного покриву). Інші чинники (едафічна група) виявляють більшу мінливість у просторі відносно можливого їх градієнта у природі (26-47 %). Виявлені нами режими зволоження ґрунту, який є провідним екологічним чинником у Зоні відчуження, охоплюють діапазон від вологостепоного до субболотного (39 % всіх можливих режимів). Оскільки водні і прибережно-водні екотопи не були предметом нашого дослідження, то практично у зоні представлено біля 70 % всіх режимів зволоження, які існують в природі.

Врахування всіх біологічних і екологічних особливостей рослинного покриву Зони відчуження має першорядне значення як для розробки прогнозів подальшого його розвитку, які були складені нами [11, 12], так і прогнозів міграції радіонуклідів, які депоновані в природних і умовно природних екосистемах. Особливого значення ця проблема набуде при вирішенні питання про майбутнє відновлення господарської діяльності і можливе заселення окремих територій зони, що передбачається програмою реабілітації Зони відчуження ЧАЕС [20].

2. Андрієнко Т.Л. Еколого-ценотичні особливості заростання пісків Українського Полісся // Укр. ботан. журн. – 1994. – 51, //24. – С. 34-88.
3. Миркин Б.М. Антропогенная динамика растительности // Итоги науки и техники. Сер. ботаника. – Т. 5. Геоботаника. – М.: ВИНТИ, 1984. – С. 139-232.
4. Succession in Abandoned Fields Studies in Central Bohemia, Czechoslovakia // Geobotany. – London: Kluwer Acad. Publ., 1992. – 15. – 168 p.
5. Воронков И.А., Кожевникова С.А., Павлушкин Л.Т. и др. Гидрологическая и метеорологическая роль лесных насаждений разного породного состава // Лесоведение. – 1976. – № 1. – С. 3-10.
6. Огиевский А.В. Влияние леса на весенние максимальные расходы воды в реках // Метеорология и гидрология. – 1937. – вып. 3. – С. 47-60.
7. Ступина Н.М. Влияние растительного и почвенного покрова на развитие эрозии // Региональные системы противоэрозионных мероприятий. – М.: Мысль, 1972. – С. 49-84.
8. Францевич Л.И., Балашев Л.С. О расширении площади природно-заповедного фонда в зоне отчуждения ЧАЭС // Чернобыль-94: Сб. тез. – Зеленый Мыс: НПО "Припять", 1994. – С. 129-130.
9. Ситников А.В. Концепция мониторинга природной среды зон отчуждения и обязательного отселения Чернобыльской АЭС. – Киев, 1994. – 22 с. (Препр. / ИГН НАН Украины).
10. Балашов Л., Гайченко В., Крижанівський В. і ін. Вторинні екологічні зміни на евакуйованих територіях // Ойкумена. – 1992. № 2. – С. 31-43.
11. Дідух Я., Андрієнко Т., Плюта П. і ін. Формування рослинного покриву в зоні відчуження Чернобыльської АЕС // Ойкумена. – 1993. № 2. – С. 13-22.
12. Дідух Я.П., Кордюм Є.Л., Андрієнко Т.Л. і ін. Фітоценотичний та цитогенетичний моніторинг рослинного покриву в умовах хронічного опромінення, спричиненого аварією на Чернобыльській АЕС. – Київ, 1994. – 22 с. (Препр. ІБ НАН України).
13. Ситайлова Л.М., Балашев Л.С. Изменения растительного покрова лугов в бассейне р. Припять в связи с аварией на ЧАЭС // Чернобыль-94: Сб. тез. – Зеленый Мыс: НПО "Припять", 1994. – С. 148-149.
14. Шеляг-Сосонко Ю. Р., Балашев Л.С., Уварова С.А. Особенности растительного покрова ПВЛРО "Рыжий лес" // Чернобыль-92: – Зеленый Мыс: НПО "Припять", 1992. – 4, ч. 1. – С. 139-153.

47

15. Грубрін Ю.Л. До питання геоморфологічного районування території Київської області // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. геод. та геогр. – 1959. – Вип. 1. № 2. – С. 121-127.
16. Кучма Н.Д., Архипов Н.П., Федотов И.С. и др. Радиоэкологические и лесоводственные последствия загрязнения лесных экосистем зоны отчуждения. – Чернобыль: НПО "Припять", 1994. – 54 с.
17. Смирнов Е.Г. Природные условия и растительность восточно-уральского радиоактивного следа // Экологические последствия радиоактивного загрязнения на Южном Урале. – М.: Наука, 1993. – С. 21-39.
18. Дідух Я.П., Плюта П.Г. Фітоіндикація екологічних факторів. – Київ: ІБ НАН України, 1994. – 280 с.
19. Кохно М.А. Интродукция кленів на Україні: клени в природі й культурі. – Київ: Наук. думка, 1968. – 172 с.
20. Мешалкин Г.С., Архипов Н.П. Проблемы реабилитации территории в зоне аварии на Чернобыльской АЭС // Проблемы Чернобыльской зоны відчуження. – 1994. – Вип. 1. – С. 19-27.

Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, Київ
Надійшла 15.03.95

48

УДК 591.553-577.34

А. С. Соболев, Б. С. Пристер, Т. В. Жалобіна, В. М. Чернобай, К. В. Боженко **ФОРМУВАННЯ РАДІАЦІЙНОЇ СИТУАЦІЇ У ПРИВАТНИХ ГОСПОДАРСТВАХ (САМОСЕЛИ) В ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ**

На основі експериментальних даних робиться висновок, що у приватних господарствах, які розташовані на території 30-кілометрової зони, де продовжує проживати частина населення, так звані самосели, необхідне проведення систематичного контролю за рівнем забруднення молока ¹³⁷Cs та проведення контрольних заходів. Найпрактичнішими способами зменшення вмісту ¹³⁷Cs в молоці ПГ 30-кілометрової зони є переробка молока у домашніх умовах, яка дозволяє зменшити вміст ¹³⁷Cs у кінцевому продукті в 1,2-1,5 рази, та використання сорбентів: використання фероцину зменшує вміст ¹³⁷Cs в молоці в 2-2,5 рази.

В ряді населених пунктів, що розташовані на території 30- кілометрової зони, продовжує проживати частина населення, так звані самосели, яка споживає продукцію тваринництва та рослинництва, що виготовляється у Зоні відчуження. У населених пунктах Зони проводилося вивчення рівнів забруднення ґрунту та трави на пасовищах, молока від корів, що пасуться на них, а також овочів, що вирощені на присадибних ділянках, ¹³⁷Cs. На кожному з семи пасовищ випасалося 3-6 корів. Коефіцієнт переходу ¹³⁷Cs з ґрунту в молоко

(КП) дорівнює 0,6-2,8 в залежності від населеного пункту. Наприклад, у с. Городище КП більший ніж у с. Куповате в 4,7 рази (табл. 1).

Таблиця 1. Коефіцієнт переходу ^{137}Cs з ґрунту в молоко і траву пасовищ

Населений пункт	^{137}Cs		Коефіцієнт переходу	
	Ґрунт кБк/м ²	Трава Бк/кг	Ґрунт - Молоко Бк/л	Ґрунт - Трава кБк/м ²
с. Городище	333,0	1887,0	2,8	5,7
с. Куповате	92,5	244,2	0,6	3,3
с. Опачичі	148,0	270,1	1,0	1,8
с. Рудня Іллінецька	74,0	281,2	1,0	3,8
с. Іллінці	74,0	592,0	2,0	8,0
с. Старі Соколи	74,0	259,0	0,8	3,5
с. Нові Соколи	111,0	296,0	1,0	2,7

Систематичний контроль за вмістом ^{137}Cs в молоці корови, яка пасеться на пасовищах, на яких не проводилося контрмір після 1986 р., почав здійснюватися в 1989 р. Дані, що наведені у табл. 2 свідчать про те, що не спостерігається закономірностей в зміні вмісту ^{137}Cs в молоці в період з 1989 по 1994 р. Ми пояснюємо це тим, що на пасовищах не проводилися корінні поліпшення після 1986 р. І тому великий внесок на перехід ^{137}Cs з ґрунту в молоко робила дернина.

В протилежність цьому, на пасовищах, де було проведено корінне поліпшення, спостерігається закономірне зменшення змісту ^{137}Cs в молоці (табл. 3). У спеціальних дослідках в 30-кілометровій зоні вивчався вплив якості травостою пасовищ на перехід ^{137}Cs з ґрунту в молоко.

© А. С. Соболев, Б. С. Пристер, Т. В. Жалобіна, В. М. Чернобай, К. В. Боженко, 1996

Таблиця 2. Вміст ^{137}Cs в молоці в населених пунктах зони відчуження

Місяць	1989 р.	1990 р.	1991р.	1992 р.	1993 р.	1994 р.
с. Нові Соколи						
Травень	62	64	66	88	52	65
Липень	55	85	80	75	85	90
Вересень	110	120	130	130	70	10
с. Луб'янка						
Травень	400	300	210	390	300	
Липень	250	150	330	330	250	200
Вересень	580	500	450	420	270	130
Жовтень	1000	980	970	800	500	400
с. Іллінці						
Травень	63	52	45	50	37	
Липень	50	20	100	220	100	10
Вересень			115	115	75	40
с. Рудня Іллінецька						
Травень	40	60	57	55	80	95
Липень	50	65	80	85	95	110
Вересень	72	80	100	105	60	32
с. Городище						
Травень	420	330	430	500		
Липень	270	330	400	450	250	50
Вересень	620	620	520	450	455	460
Жовтень	950	550	300	370	370	400
с. Опачичі						
Травень	60	80	120	130	160	220
Липень	50	140	155	200	250	270
Вересень				210	150	
Жовтень	150	160	170			
с. Старі Соколи						
Травень	30	27	24	22	27	33
Липень	24	22	20	82	90	93
Вересень	50	77	115	100	63	70
с. Куповате						
Травень	50	50	50	90	120	17
Вересень	40	42	43	45	25	10
с. Дитятки						
Липень	90	90	90	90	115	120
с. Горностайпіль						
Липень	55	60	15	16	17	18
Жовтень	42	30	20	20	31	35

Залежність вмісту ^{137}Cs в молоці від вмісту цього радіонукліду у дернині описується регресивною моделлю:

$$Y = -127 + 0,59X,$$

(1)

де Y – вміст ^{137}Cs в молоці, Бк/л; X – вміст ^{137}Cs в дернині, Бк/кв.м.

Відсутність закономірностей в аміні вмісту ^{137}Cs в молоці у період з 1989 по 1994 р. в населених пунктах 30-кілометрової зони робить неможливим прогноз на подальшу зміну вмісту ^{137}Cs в молоці. Тому стає необхідним проведення систематичного контролю за рівнем забрудненні молока радіоцезієм та проведення контрмір. Найпрактичнішими способами зменшення вмісту ^{137}Cs в молоці ПГ 30-кілометрової зони є переробка молока у домашніх умовах та використання сорбентів.

50

Т а б л и ц я 3 . Вміст ^{137}Cs в молоці в населених пунктах після проведення корінного поліпшення на пасовищах у 1988 р.

Місяць	1987 р.	1988 р.	1989 р.	1990 р.	1991 р.	1992 р.	1993 р.	1994 р.	Період поліпшення
Травень	530	500	175	130	110	175	100	100	2,17
Червень	425	400	250	150	100	150	120	120	3,65
Липень	455	440	330	250	210	150	100	100	2,89
Серпень	380	370	350	340	270	150	100	90	2,31
Вересень	380	340	260	225	170	130	130	130	3,3
Жовтень	300	275	200	125	100	75	50	50	2,67

Для вивчення закономірностей переходу ^{137}Cs з молока в продукти переробки та розробки рекомендації по подальшому раціональному використанню забрудненого молока було проведено відбір проб у самоселів у 30-кілометровій зоні ЧАЕС (табл. 4).

Переробка молока в домашніх умовах дозволяє зменшити вміст ^{137}Cs у кінцевому продукті в 1,2-1,5 рази.

Для обмеження надходження ^{137}Cs в організм тварин використовують сорбенти. Одним з найефективніших препаратів, що має здібність вибірково утворювали в шлунково-кишковому тракті тварин нерозчинні з'єднання з радіоактивним цезієм, є фероцин. В селах Опачичі і Іллінці коровам давали по 2 г фероцину (медичний препарат) на одну корову на добу. Дослід продовжувався протягом 15 діб.

У селі Опачичі експеримент проводили з чотирма коровами. Двом з них давали препарат. Усі тварини випасалися разом на одному пасовищі.

Вміст ^{137}Cs в траві становив 490 Бк/л. На початку дослідів вміст ^{137}Cs в молоці складав 240 і 263 Бк/л, у контролі - 235 і 274 Бк/л. До кінця дослідів під дією фероцину вміст радіоцезію зменшився в 2,3 і 2,5 рази і становив відповідно 104 і 105 Бк/л.

Середній вміст ^{137}Cs через 15 днів після подачі препарату у досліді становив - 104,5 Бк/л, в контролі - 275 Бк/л. Таким чином, фероцин зменшив вміст ^{137}Cs в молоці в 2,6 рази.

У с. Іллінці середній вміст ^{137}Cs у досліді був 54 Бк/л, в контролі - 58 Бк/л. Через 15 днів після початку згодовування препарату: в досліді - 26 Бк/л, в контролі - 62 Бк/л. Під дією фероцину вміст ^{137}Cs зменшився у 2,4 рази.

Вивчався також: вміст ^{137}Cs в овочах, що були вирощені на присадибних ділянках. Коефіцієнти переходу ^{137}Cs з ґрунту у картоплю, буряк, моркву на них не залежав від місця розташування населеного пункту (табл. 5).

Таблиця 4. Вміст ^{137}Cs в молоці і молочних продуктах жителів Зони відчуження

Таким чином, у приватних господарствах Зони відчуження необхідне проведення систематичного контролю за рівнем забруднення молока радіоцезієм та проведення контрмір. Найпрактичнішими способами зменшення

51

Т а б л и ц я 5. Вміст ^{137}Cs у овочевих культурах та коефіцієнт переходу з ґрунту в рослини

Населений пункт	Вміст ^{137}Cs , Бк/кг			КП, Бк/кг:Бк/м ²		
	Картопля	Буряк	Морква	Картопля	Буряк	Морква
с. Городище	37±2	37±4	33±4	0,6	0,6	0,5
с. Куповате	18±1	22±2	25±2	0,4	0,4	0,5
с. Опачичі	18±1	26±1	15±3	0,5	0,6	0,5
с. Луб'янка	59±3	56±3	56±5	0,6	0,6	0,5
с. Рудня Іллінецька	17±2	18±1	18±2	0,5	0,5	0,5
с. Іллінці	22±2	18±1	19±2	0,5	0,5	0,5
с. Старі Соколи	24±1	21±1	18±1	0,5	0,5	0,5
с. Нові Соколи	28±2	26 ±2	23±1	0,6	0,6	0,4

вмісту ^{137}Cs в молоці ПГ 30-кілометрової зони є переробка молока в домашніх умовах та використання сорбентів. Переробка молока у домашніх умовах дозволяє зменшити вміст ^{137}Cs у кінцевому продукті в 1,2-1,5 рази. Використання фероцину вменшує вміст ^{137}Cs в молоці в 2-2,5 рази.

Український сільськогосподарської Надійшла 15.03.95 52 УДК 546.11.02.3 А. К. Сухоручкин К ВОПРОСУ О ТВЕРДЫХ ОТХОДАХ И ИХ ЛОКАЛИЗАЦИИ В ХРАНИЛИЩАХ Предложена третийсодержащих отходов по соответствующая известной радиоактивных отходов по возможности и ограничения на третийсодержащих отходов в Известно, что с	Номер проби	Населений пункт	М
	1	с. Городище	научно-дослідний інститут радіології, Київ
	2	с. Городище	
	3	с. Городище	
	4	с. Луб'янка	
	5	с. Старі Соколи	
	6	с. Старі Соколи	КЛАССИФИКАЦИИ ТРИТИЙСОДЕРЖАЩИХ
	7	с. Старі Соколи	
	8	с. Старі Соколи	ЗЕМЛЯНЫХ
	9	с. Опачичі	
	10	с. Опачичі	классификация твердых их удельной активности,
	11	с. Куповате	классификации
	12	с. Куповате	мощности дозы. Рассмотрены локализацию
	13	с. Луб'янка	земляных хранилищах.
	14	с. Луб'янка	целью минимизации ЧАЭС в Зоне

последствий аварии на отчуждения были созданы предприятия по захоронению радиоактивных отходов. По мере решения этой основной задачи предприятия могут быть ориентированы на прием радиоактивных отходов нечернобыльского происхождения. Среди этих отходов тритийсодержащие вещества по совокупности свойств наиболее отличаются от захороненных продуктов аварийного выброса ЧАЭС.

Твердые радиоактивные отходы (ТРО) имеют ряд признаков, которые могут быть положены в основу их классификации: нуклидный состав, общая и удельная активность, параметры ионизирующего излучения, устойчивость материала, миграционные свойства вещества отходов и т.п.

Известны две общепринятые отечественные системы классификации отходов [1, 2].

Отходы атомных электростанций классифицируются по удельной активности и мощности дозы гамма-излучения на расстоянии 10 см от поверхности отходов (табл.1) [1].

Т а б л и ц а 1

Группа отходов	Мощность дозы, мбэр/ч	Удельная активность, Ки/кг	
		бета-излучатели	альфа-юлучателей
1	0,03...30	$2 \cdot 10^{-6} \dots 1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-7} \dots 1 \cdot 10^{-5}$
2	30...1000	$1 \cdot 10^{-4} \dots 0,1$	$1 \cdot 10^{-5} \dots 0,01$
3	выше 1000	выше 0,1	выше 0,01

Прочие ТРО (нестанционного происхождения) классифицируются СПОРО-85 на группы по мощности эквивалентной дозы, измеряемой на расстоянии 10 см от поверхности отходов [2]:

группа - до 30 мбэр/ч

группа - от 30 до 1000 мбэр/ч

группа – свыше 1000 мбэр/ч

Такая классификация ориентирована, главным образом, на обеспечение радиационной безопасности персонала при операциях по обращению с ТРО.

Среди ТРО, разнообразных по происхождению и содержанию, имеются отходы, обусловленные присутствием только одного радионуклида – трития.

© А. К. Сухоручкин, 1996

53

Применить на практике классификацию СПОРО-85 к тритийсодержащим отходам затруднительно. В процессе радиоактивного распада трития испускаются бета-частицы низкой энергии (меньше 18,6 кэВ), эффективная энергия тормозного излучения равна 9,3 кэВ. Стандартные дозиметрические приборы не предназначены для измерения мощности дозы при таких энергиях частиц. В то же время активность тритийсодержащих отходов, как правило, известна из паспортных данных изделий или определяется в лабораторных условиях. Поэтому целесообразно классифицировать тритийсодержащие отходы также и по их удельной активности.

При внутреннем облучения радиобиологическая значимость трития сравнительно невелика, его допустимая концентрация (Ки/л) на несколько порядков выше, чем для других нуклидов (табл. 2) [3].

Таблица 2.

Элемент	ДК _Б в воздухе	ДК _Б в воде
Тритий-3	$3,0 \cdot 10^{-10}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$
Стронций-90	$4,0 \cdot 10^{-14}$	$4,0 \cdot 10^{-10}$
Цезий-137	$4,9 \cdot 10^{-13}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$
Плутоний-239	$3,0 \cdot 10^{-17}$	$2,2 \cdot 10^{-9}$

Следует учитывать, что формальное приравнивание по удельной активности тритийсодержащих отходов к отходам, типичным для АЭС и содержащим широкий спектр токсичных осколочных и трансурановых нуклидов, может привести к неоправданному значительному удорожанию операций по обращению с ТРО.

* * *

Тритий характеризуется следующими основными параметрами [4]:

Один из важных материалов тритий содержащих отходов - тритид титана (TiT_2) - имеет следующие основные свойства [4]:

54

Из представленных данных следует, что непосредственно бета-излучение трития не может создать какого-либо дозового поля на регламентированном [2] расстоянии 10 см от поверхности отходов, поскольку максимальный пробег бета-частиц в воздухе составляет лишь 5,7 мм. Однако дозовое поле может быть обусловлено тормозным излучением, возникающим при взаимодействии бета-частиц с веществом.

Тормозное излучение будет возникать непосредственно как в образце (теле отходов), так и в воздухе в тонком 6 мм слое вблизи поверхности отходов. Эффективная энергия тормозного излучения равна 9,3 кэВ.

В расчетах примем предположение, что отходы представляют собой полубесконечную гомогенную тритийсодержащую среду из смеси тритида титана TiT_2 и гидрида титана TiH_2 . Удельная активность отходов обусловлена присутствием трития и равна A , Ки/кг.

Тип распада -	Используя известные закономерности [5]
Период полураспада -	выхода бета-частиц за пределы образца и
Энергия испускаемых бета-частиц	формирования тормозного излучения в воздухе, а
максимальная -	также закономерности формирования тормозного
средняя -	излучения в образце и его выхода за пределы
Максимальный пробег бета-частиц	образца, получаем следующие расчетные
в воздухе -	соотношения между удельной активностью отходов
в воде -	и параметрами излучения:
в ткани -	
Удельная активность -	
-	

$$f = 4100 \cdot A, \text{ бета-частиц/см}^2 \cdot \text{с}$$

$$P_0 = 5,8 \cdot 10^{-7} \cdot A, \text{ Гр/ч}$$

$$P_1 = 0,06 \cdot A, \text{ мбэр/ч,}$$

где f - плотность потока бета-частиц на поверхности отходов, частиц/см²·с; P_0 - мощность поглощенной дозы в воздухе на границе раздела образец - воздух,

Гр/ч; P_1 - мощность эквивалентной дозы на расстоянии 10 см от поверхности отходов, мбэр/ч; A - удельная активность отходов, Ки/кг.

Тип	Значения числовых коэффициентов в
Плотность	формулах (1)-(3) обусловлены
Объемное содержание водорода	используемыми размерностями величин и
Удельная активность TiT_2	конкретными свойствами материала
Температура, при которой выделяется основное	отходов, воздуха и излучения трития.
количество трития	
Взаимодействие	Мощность дозы определяется в
с атмосферным воздухом	основном тормозным излучением,
с водой	исходящим из образца; при этом вклад
	тормозного излучения, возникающего в
	воздухе, не превышает 2,5%.

Выполненные расчеты позволяют провести классификацию отходов TiT_2 по их удельной активности. Из формулы (3)

следует

$$A = 16,7 \cdot P_1.$$

Придавая P_1 граничные значения классификации СПОРО-85, получаем разделение отходов на группы, приведенные в табл. 3.

Таблица 3.

Группа	Мощность дозы, мбэр/ч	A , Ки/кг
I	меньше 30	меньше 500
II	30-1000	500- $1,7 \cdot 10^4$
III	больше 1000	больше $1,7 \cdot 10^4$

Как видно из табл. 3, предлагаемая классификация по удельной активности существенно отличается от классификации СПАС [1] - в одной и той же группе удельная активность трития может быть на 5-6 порядков выше удельной активности отходов АЭС.

55

* * *

Представленная здесь классификация тритийсодержащих отходов, как и классификация СПОРО-85, не учитывает физико-химических свойств отходов и радиобиологической значимости нуклидов в случае их проникновения в окружающую среду.

Известно, что твердые тритийсодержащие отходы способны к саморазложению, в результате которого они выделяют тритий в форме газа (T_2) или паров тритиевой воды (НТО) [4]. Выделившийся тритий обладает высокой миграционной способностью, аналогичной водороду, водяному пару или воде.

Вследствие указанных свойств невозможно полностью локализовать твердые тритийсодержащие отходы в обычных земляных хранилищах. Поэтому требуется оценить радиоэкологические последствия возможных захоронений с учетом следующих вероятных явлений и путей миграции.

1. Выделение трития из тритида титана.

Скорость выделения трития из тритида титана зависит от условий хранения изделий; по различным данным [4] постоянная выделения трития находится в диапазоне 0,022-0,25 1/год.

2. Накопление трития (тритевой воды) в захоронении.

Уравнение кинетики для трития, выделившегося из тритида титана, можно записать в виде

$$dA/dt = \lambda_2 A_1 - \lambda_1 A \quad (4)$$

с начальным условием $A(0) = 0$, где A - активность трития (тритевой воды) в хранилище в момент времени t , Ки; t - время от момента захоронения, год; A_1 - активность тритида титана в момент времени t , Ки; λ_1 - постоянная радиоактивного распада трития, $\lambda_1 = 0,056$ 1/год, λ_2 - постоянная выделения трития из TiT_2 .

Решение уравнения (4) с указанным начальным условием известно:

$$A = A_{10} \cdot \exp(-\lambda_1 t) - [1 - \exp(-\lambda_2 t)] \quad (5)$$

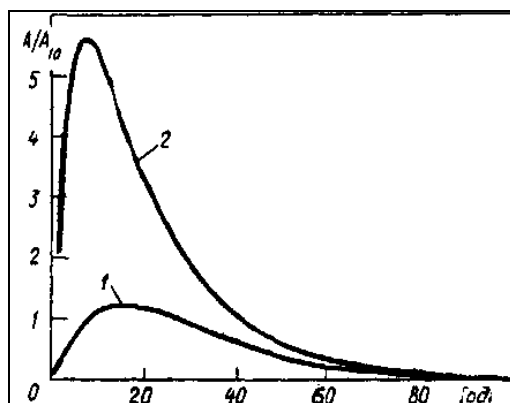
где A_{10} - исходная активность тритида титана, Ки.

При $\lambda_2 = 0$ (абсолютно устойчивый материал) $A = 0$.

При $\lambda_1 = 0$ (стабильный нуклид) $A = A_{10} - A_{10} \cdot \exp(-\lambda_2 t)$,

Результаты расчетов по формуле (5) величины A/A_{10} для двух различных значений λ_2 представлены на рисунке. Максимальное накопление трития в подвижной форме достигается через 7-15 лет и составляет около 12% исходного в первом случае и около 55% - во втором.

ДВ, кКи/год	Условия нормирования
19,0	Непревышение значения 0,01 ДКв для r расстоянии 500 м от места выброса на уровне Предположение, что весь выброшенный в счет сухого осаждения попадает в поверхность
1,2	а) Увеличение концентрации трития фоновых значений;
500	б) Увеличение концентрации трития в воды.



Динамика накопления трития в подвижной форме (в виде газа, водяного пара или воды) при двух значениях постоянной разложения ТРО:

$$1 - \lambda_2 = 0,022 \text{ 1/год},$$

$$2 - \lambda_2 = 0,25 \text{ 1/год}.$$

3. Выход трития в атмосферу.

Накапливающийся в хранилище тритий может в форме газа или паров тритиевой воды выйти в атмосферный воздух.

Предельно допустимый разовый выброс тритиевого пара из источника, расположенного на уровне земли, составляет 400 кКи [3].

56

Допустимый выброс (ДВ) тритиевого пара при его постоянном поступлении в атмосферу можно оценить, используя различные критерии, следующими величинами:

При оценках ДВ использован среднегодовой коэффициент метеорологического разбавления $2 \cdot 10^5 \text{ м}^3/\text{с}$ [4], фоновое значение концентрации трития в бассейне р.Днепр 10^{-10} Ки/л [7] и среднегодовой расход р. Припять $400 \text{ м}^3/\text{с}$.

Для сравнения, ДВ тритиевого пара из высоких труб (30-100 м) оценивается величинами в диапазоне 27-730 кКи/год [4].

4. Диффузия трития в грунте.

Тритий, выходящий из ТРО в виде паров тритиевой воды, может конденсироваться на частицах грунта и диффундировать в направлении подземного водоносного горизонта.

Коэффициент диффузии тритиевой воды (НТО) в почве по разным оценкам равен $1,03 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$ и $3,0 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$ [4].

Из решения уравнения диффузии для плоского слоя при разовом внесении загрязняющего вещества на верхнюю поверхность слоя [5] имеем

$$C_R/C_0 = \exp[-R^2/4Dt], \quad (6)$$

где C_R - концентрация тритиевой воды на нижней границе слоя аэрации (вблизи зеркала подземных вод), Бк/см³; C_0 - концентрация тритиевой воды на верхней границе слоя (в области локализации ТРО) Бк/см³; R - толщина слоя аэрации (расстояние от области локализации ТРО

до подземного водоносного горизонта), см; D - коэффициент диффузии, см²/с; t - время от момента захоронения, с.

Согласно СПОРО-85 [2] на пунктах захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО) расстояние R должно быть не менее 4 м; в зоне ЧАЭС на ПЗРО "Буряковка" это расстояние несколько превышает 10 м.

При $R=10$ м и двух различных коэффициентах диффузии по формуле (6) можно получить результаты, представленные в табл. 4.

Данные табл. 4 доказывают, что ожидать в результате диффузии появления трития вблизи зеркала подземных вод можно не ранее, чем через 100 лет. За это время активность захороненного материала уменьшится в сотни-тысячи раз.

5. Смещение пятна загрязнения подземных вод

Более интенсивное проникновения трития в подземные воды возможно в случае гипотетического разрушения и затопления ПЗРО. Пятно загрязнения будет перемещаться со скоростью потока подземных вод. Например, в Зоне отчуждения ЧАЭС на ПЗРО "Буряковка" эта скорость составляет 5 м/год. Здесь время миграции трития за пределы периметра ПЗРО зависит от конкретного места захоронения и может превышать 150 лет.

57

* * *

Если ориентироваться на представленные выше значения допустимого выброса ДВ трития в атмосферу, то допустимая активность трития в захоронении не должна превышать (в зависимости от λ_2 , т.е. от устойчивости материала отходов) следующие величины, приведенные в табл. 5.

Т а б л и ц а 4			Т а б л и ц а 5		
Год	$D = 3,0 \cdot 10^{-6}$ см ² /с	$D = 1,03 \cdot 10^{-8}$ см ² /с	ДВ, кКи/год	$\lambda_2 = 0,022$ 1/год	$\lambda_2 = 0,25$ 1/год
1	0,0	0,0	1,2	55	5
10	0,0	$3,6 \cdot 10^{-34}$	19,0	860	76
100	$3,7 \cdot 10^{-12}$	0,00045	500,0	22700	2000
1000	0,07	0,46	Разовый выброс 400 кКи	3300	730

Таким образом, рассмотренные радиационно-гигиенические и радиозэкологические последствия захоронения тритийсодержащих ТРО накладывают ограничения на общую активность трития в отходах.

Классификация тритийсодержащих отходов по удельной активности соответствует классификации СПОРО-85 по мощности эквивалентной дозы и может использоваться с целью обеспечения радиационной безопасности персонала при операциях по обращению с ТРО.

1. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных электростанции СПАС-88. - М., 1988.
2. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-85). Сан-ПиН 42-129-11-3938-85. Издание официальное. - М., 1986. - 54 с.
3. Нормы радиационной безопасности НРБ-76/87. - М., Энергоатомиздат, 1988. - 160 с.
4. Беловодский Л.Ф., Гаевой В.К., Гришмановский В.И. Тритий. - М., Энергоатомиздат, 1985. - 248 с.
5. Мошкович В.П. Защита от ионизирующих излучений. Справочник. - М., Энергоатомиздат, 1982. - 296 с.
6. Александров А.В., Колбасов А.М. Радиоизотопные исследования для защиты подземных вод от загрязнений. - М., Энергоатомиздат, 1983. - 96 с.
7. Радиационная обстановка на территории СССР в 1990 г. / Под ред. К.П. Махонько. - Обнинск - НПО "Тайфун", 1991. - 211 с.

Управление дозиметрического контроля, НПО "Припять", Чернобыль
Поступила 15.03.95

58

УДК 556.535.5

Рассматриваются процессы формирования мощных зажоров и заторов льда на р. Припять, вызывающие подъем уровней воды до отметок затопления поймы в Зоне отчуждения, вследствие чего возможен повышенный смыв радионуклидов. Приводятся сценарии экстремально неблагоприятного развития ледовых ситуаций, предназначенные для повышения надежности прогнозов и эффективности мероприятий по предотвращению и ликвидации зажоров, заторов льда на 60-километровом приустьевом участке реки.

Формирование мощных зажоров и заторов льда на р. Припять в пределах Зоны отчуждения приводит к подъему уровней воды до отметок затопления поймы, а последнее опасно потенциально высоким смывом радионуклидов. В целях разработки эффективных мер борьбы с зажорами, заторами льда актуально обобщение результатов ледовых исследований последних шести лет и материалов стандартных многолетних наблюдений на постах г. Припять и Чернобыля. Это позволяет выявить основные закономерности ледового режима реки и создать сценарии экстремально неблагоприятного развития ледовых ситуаций.

Для ледового режима 60-километрового приустьевого участка р. Припять характерен ледостав продолжительностью около двух месяцев с максимальной толщиной ледяного покрова 0,4 м. Процессы замерзания и вскрытия усложнились после создания Киевского водохранилища, так как участок от БНС до Чернобыля оказался в зоне выклинивания подпора воды, а для таких зон типично формирование зажоров и заторов льда. Зажоры представляют собой скопления шуги (внутриводного льда) в виде смерзшихся шуговых венков и льдин диаметром до 10 м, аккумулярованных в русле по окончании осенне-зимнего ледохода. Заторы льда представляют собой хаотические нагромождения льдин в русле реки, образующихся в период весеннего вскрытия реки при подвижках ледяных полей или в процессе ледохода.

Зажоры, заторы льда способны настолько стеснить русло реки, что подъем воды достигает отметок ее выхода на пойму (посты: Чернобыль - 105,3, БНС - 106,7, г. Припять (дамба № 3) - 107,0 м БС). Заметим, что подъем воды обусловлен не только стеснением русла льдом, но еще и увеличением гидравлического сопротивления, так как коэффициенты шероховатости "зажорно-заторных" скоплений в 2-4 раза больше коэффициентов шероховатости ледяного покрова и дна реки.

Ледостав на рассматриваемом участке р. Припять обычно возникает в процессе смыкания заберегов в устье и далее перемещения кромки шуго-ледяного покрова вверх по реке за счет притока шуговых венков, льдин. В условиях типичного возрастания уклона водной поверхности от 0,01 в устье до 0,10-0,15 промиле на 60-м километре (у с. Беневка), наступающая вверх по реке кромка шуго-ледяного покрова испытывает все больший гидродинамический напор, для преодоления которого ей необходима все большая толщина. В итоге, на отдельных участках продвижение кромки возможно только при условии ее повышенной толщины, т.е. при условии формирования зажоров. Наиболее мощные из них приурочены к местам сосредоточенных уклонов водной поверхности (перекаты, сужения русла, крутые повороты). В результате часто образуется каскад зажоров, а отдельные из них достигают длины 5 км и толщины 2-3 м. В прибрежной полосе шириной до 100 м русло иногда забивается шугой, льдом до дна, высота навалов льдин на берега достигает 5 м.

На участках мощного осенне-зимнего зажорообразования возникают заторы льда при весеннем вскрытии реки. Длина заторов достигает 2 км, а толщина - 2 м. Другими словами, весенние заторы обычно слабее по сравнению с зажорами. Продолжительность зажоров - до одного месяца, заторов до двух недель.

Повторяемость мощных зажоров и заторов льда - соответственно 20-25 и 10-15 % числа лет наблюдений. Повторяемость же зажоров и заторов в целом (не взирая на мощность) - соответственно 80 и 30 %. Показателем мощности является превышение фактического уровня воды над уровнем открытого русла при том же расходе воды. Максимальные превышения: 2,3 м при зажорах и 1,0 м при заторах льда. Характерные уровни воды в зависимости от расхода при открытом и закрытом русле в створе Яновского затона приведены в таблице.

Расход воды м ³ /с	Период открытого русла	Период зажорно-заторных явлений
400	103,9-104,1	105,4-105,6
600	104,6-104,8	106,2-106,4
800	105,3-105,5	106,7-106,9
1000	105,8-106,0	107,0-107,2

На мощность зажоров, заторов льда влияет большой комплекс гидрометеорологических факторов, особенно отметим водность реки в период замерзания и вскрытия: зажорообразование наблюдается при расходах воды не менее 400, заторообразование - не менее 600 м³/с; активное зажорообразование, определяющее уменьшение водопрпускной способности русла в 2-3 раза происходит при расходах воды более 600, а заторообразование - более 900 м³/с.

Анализ и обобщение материалов ледовых исследований последних шести лет, включая рекогносцировочные обследования речных участков, наблюдения с борта ледоколов, аэровизуальные наблюдения, позволили разработать сценарии экстремального развития зажорных и заторных явлений.

Основные фрагменты сценария зажорных ситуаций:

неустойчивые погодные условия в декабре - чередование волн похолоданий и оттепелей, определяющих вялое замерзание реки в целом (периодические местные вскрытия), но достаточных для сохранения ледостава на 10-километровом приустьевом участке;

последующий переход среднесуточной температуры воздуха к устойчивым значениям ниже минус 10°С - увеличение интенсивности шуго-ледохода до пяти баллов по 10-балльной шкале на дату выхода кромки шуго-ледяного покрова на 11-15-й километр;

гидравлические условия, обеспечивающие подныривание шуги и льдин под кромку шуго-ледяного покрова, критерием чего являются значения числа Фруда $Fr > 0,12$, где

$$Fr = V / (qH)^{0,5}$$

и где V - средняя скорость потока, м/с; q - ускорение свободного падения, м/с²; H - глубина потока, м. Указанные значения числа Фруда имеют место практически на всех перекатах при расходах воды свыше 500 м³/с;

шуго-ледоход балльностью свыше пяти при расходе воды более 600 м³/с с выходом кромки шуго-ледяного покрова на 16-17-й километр — как условие возникновения головы мощного зажора у с. Плютовище с последующим формированием каскада зажоров

60

выше по реке, из которых наибольшим постоянством образования отличается зажор на 43-45-й километр (крутой, порожиный поворот русла у БНС).

Основные фрагменты сценариев заторных ситуаций:

толщина льда в предвесенний период, на дату устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха к положительным значениям, составляет на зажорных участках реки не менее 0,6 м, а в устье реки (ниже с. Оташев) составляет не менее 0,3 м;

общая длина каскада зажоров на участке от г. Припять до с. Оташев в зимний период составляет более 15 км как гарантия тяжелого (затороопасного) вскрытия реки;

расходы воды при вскрытии реки превышают 800 м³/с;

Значения числа Фруда в период весеннего ледохода составляют не менее 0,15 на фронте отступающей вниз по реке кромки ледяного покрова.

В крайне неустойчивые по погодным условиям зимы, примечательные неоднократными замерзанием и вскрытием речных участков, наблюдаются места одновременно как фрагменты зажорообразования (в процессе шуго-ледохода), так и фрагменты заторообразования (торошение ледяного покрова). Именно таким сочетанием (зажорно-заторные явления) были обусловлены наибольшие подъемы воды в 1991 и 1994 гг. на водопосту дамба № 3 (нижний бьеф Яновского затона) - уровень достигал отметок: 107,05 м 24.01.1991 и 107,08 м 10.02.1994.

Приведенные сценарии экстремального развития ледовых ситуаций на р. Припять рекомендуется использовать в прогнозах ее уровневого режима с соответствующим планированием мероприятий по борьбе с зажорами и заторами льда.

Государственное малое предприятие "НИВО", Киев
Поступила 15.03.95

61

УДК 576.312.36:614.876

А. Ю. Бондарь, В. П. Замостьян, Ж. В. Невгад,
А. И. Нягу, И. Н. Хоменко, С. В. Хлевнюк
**СПЕКТР АБЕРРАЦИЙ ХРОМОСОМ В ЛИМФОЦИТАХ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ ЛИЦ,
РАБОТАЮЩИХ В ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ**

В работе дан анализ индивидуальной чувствительности к малым дозам ионизирующей радиации. В лаборатории возрастной радиобиологии Института экспериментальной радиобиологии изучались закономерности образования хромосомных aberrаций, в лимфоцитах работников Зоны отчуждения. У них обнаружена межиндивидуальная вариабельность цитогенетического эффекта. Судя по выявленной частоте хромосомных aberrаций у обследуемых лиц, сделан вывод, что они подвержены комбинированному действию разнообразных и, быть может, не связанных между собой мутагенных факторов. Таким образом, специфический для радиационного воздействия цитогенетический эффект (достоверное повышение частоты маркеров различных aberrаций хромосомного типа) обнаружен у группы работников Зоны отчуждения. Обнаруженный уровень частоты нестабильных aberrаций хромосомного типа маркеров радиационного воздействия в группе, работающих в 30-километровой зоне, подвержен существенным межиндивидуальным колебаниям. Рекомендовано обследуемый контингент отнести к группе повышенного риска, нуждающейся в постоянном и тщательном диспансерном наблюдении. Результаты цитогенетического обследования будут использованы для установления связи между наблюдаемой патологией и радиационным фактором, выделения группы риска для возможной мутагенной нагрузки как следствия других физических и химических факторов.

В настоящее время внимание исследователей привлечено к проблеме длительного воздействия загрязнителей окружающей среды. Одной из групп, подвергающихся хроническому облучению малых доз ионизирующей радиации, являются работники Зоны отчуждения.

Из литературных данных известно, что ионизирующая радиация способна индуцировать хромосомные повреждения в лимфоцитах людей и миелоцитах млекопитающих. Малые дозы ионизирующей радиации при длительном воздействии на организм приводят к формированию хромосомных aberrаций, что проявляется увеличением частоты хромосомных нарушений в лимфоцитах человека, культивируемых *in vitro*.

В работе дан анализ индивидуальной чувствительности к малым дозам ионизирующей радиации. Известно, что реакция клетки на мутагенные факторы определяется генотипическими особенностями индивидуума и зависит от ряда, модифицирующих факторов. Выявление лиц, обладающих повышенной чувствительностью к мутагену (в данной случае - малым дозам ионизирующего излучения), позволяет выделить группы риска. Для этого изучались закономерности образования хромосомных aberrаций в лимфоцитах работников Зоны отчуждения, в зависимости от стажа работы и индивидуальных особенностей организма.

Известно, что частота стабильных и нестабильных aberrаций хромосомного типа в соматических клетках человека служит достаточно надежным биологическим индикатором облучения и применяется для индивидуальной дозиметрии при остром, интенсивном внешнем облучении [15].

Частота aberrаций хромосомного типа является достаточно корректным биоиндикатором облучения. Намного сложнее проведение оценки кумулятивного эффекта излучения по результатам цитогенетического анализа, в случае хронического радиационного воздействия малыми дозами ионизирующей радиации,

© А. Ю. Бондарь, В. П. Замостьян, Ж. В. Невгад, А. И. Нягу, И. В. Хоменко, С. В. Хлевнюк, 1996

что обусловлено двумя взаимоисключающими факторами - элиминацией нестабильных повреждений хромосом со временем вследствие гибели аберрантных клеток и обновления пула нормально циркулирующих лимфоцитов, а также аккумулярованием мутагенных нарушений в соматических клетках (лимфоцитах периферической крови и стволовых клетках костного мозга (лимфоцитопродуцирующих органов)) [12, 18].

Для обнаружения относительно невысоких уровней мутагенного эффекта, индуцированного малыми дозами хронического облучения, необходим анализ достаточно большой выборки клеток, что возможно при обследовании групп лиц одного пола, возраста, идентичных по мутагенному воздействию [11].

При цитогенетической дозиметрии облучения в оценке мутагенного статуса используются показатели частоты нестабильных aberrаций хромосомного типа - дицентрические хромосомы, центрические кольца, парные ацентрические свободные фрагменты, интерстициальные делеции [13, 20]. Как известно, эти хромосомные повреждения постепенно элиминируются после радиационного воздействия, однако легко регистрируются без кариотипирования [1, 7, 18]. Это объясняет использование нестабильных aberrаций хромосом в качестве маркера радиационного воздействия при необходимости обследования лиц, подвергшихся неконтролируемому облучению различных уровней ионизирующей радиации.

Целью настоящего исследования была цитогенетическая оценка уровня мутагенеза у группы лиц, работающих в Зоне отчуждения. В связи с этим решались следующие задачи: 1) оценить частоту aberrаций хромосом, частоту aberrаций хромосомного и хроматидного типа в лимфоцитах периферической крови, 2) оценить типы хромосомных и хроматидных aberrаций.

На основании анализа основных тенденций развития исследований по оценке влияния ионизирующей радиации на наследственность человека можно заключить, что уровень и типы повреждений хромосом соматических клеток человека зависят от дозы и типа облучения и могут служить индикатором возможного мутагенного эффекта радиации [1, 5, 6, 10, 11, 15, 17, 19].

С целью определения возможного мутагенного эффекта действия радиозэкологической обстановки, в которой работают и живут люди в Зоне отчуждения с сентября 1992 г. по настоящее время, проводится цитогенетическое обследование персонала Зоны отчуждения. Изучается структура и стабильность генетического аппарата соматических клеток при длительном радиационном воздействии разной интенсивности с целью генетической индикации и ориентировочной биологической дозиметрии облучения. Обследуемый контингент различается по уровню и характеру радиационного воздействия (продолжительное и хроническое, преимущественно внешнее, либо сочетание малой и средней интенсивности) [15].

Один из важных аспектов биологического действия ионизирующей радиации - это дозозависимое повреждение генетического аппарата соматических клеток организма, что является основой предпатологических и патологических состояний, патогенезом которых служит мутагенный эффект облучения. Вследствие этого цитогенетический статус организма используется в радиобиологии и радиационной медицине для биологической индикации радиационного воздействия [8, 16, 18].

По литературным данным известны обоснованные представления о хромосомных поломках вследствие воздействия радиации спустя длительные сроки обследования после радиационного воздействия, что может являться, по-видимому, следствием

стойкого нарушения структуры хромосом и возникновения клонов мутантных меток, с другой стороны, индикатором продолжающегося воздействия факторов радиационной аварии [2, 4, 7, 16].

Цитогенетическому обследованию экспонированных ионизирующей радиацией низких уровней посвящен ряд работ [1, 4, 6, 7, 13, 17], в которых обследованы лица, экспонированные в различных эффектансах. Обнаружено повышенное число клеток с aberrациями хромосомного типа по сравнению с контролем, и наоборот, никакой корреляции

между хромосомными абберациями и годами экспозиции не обнаружено. Этот недостаток корреляции объясняется тем, что в течение хронической экспозиции часть хромосомных поломок уменьшается *in vivo* из-за гибели лимфоцитов.

Зависимость доза-эффект при облучении *in vivo* изучена еще недостаточно. Данных о последствиях облучения всего тела еще меньше. Результаты одного исследования с использованием доз от 12 до 50 рад показали, что даже при таких низких дозах можно получить зависимость доза-эффект [4].

Необходимо отметить, что изучение лучевых поражений *in vivo* показало, что доза, установленная по частоте хромосомных аббераций, хорошо коррелирует с дозами, установленными с помощью дозиметров и реконструкций [12, 19].

В подобных исследованиях отмечается повышение числа хромосомных аббераций у лиц, подвергшихся облучению, однако явной корреляции с дозой облучения не наблюдается. Это можно объяснить тем, что накопление дозы у таких облученных лиц происходит медленно и на разном уровне, так что зависимость доза - эффект маскируется утратой аббераций со временем [14, 20].

В соответствии с задачами, поставленными в исследовании, материалом являются лимфоциты периферической крови пациентов отделения самотоневрологии института Клинической радиологии КЦРМ АМН Украины. Лимфоциты периферической крови культивировали по стандартной методике Hungerford (1965). Продолжительность культивирования составляла 48 часов. От каждого индивида анализировали по 200-300 метафаз.

Метафазные пластинки отбирали согласно критериям, предложенным Н. П. Захаровым, Бочковым (1971). Основные требования заключались в следующем: все хромосомы должны быть четко прокрашены и хорошо разбросаны; все элементы метафазной пластинки могут быть однозначно идентифицированы. В метафазной пластинке должно быть не менее 45, и не более 47 центромер. Уровень спирализации хромосом должен быть в следующих пределах: максимально малые акроцентрические хромосомы четко видны в виде хромосом, а не в виде точек; минимальные хромосомы четко разделены на 2 хроматиды. Не допускается наличие в метафазной пластинке хромосом, которые уже вступили в колхициновую фазу. Недопустимо продольное наложение больших и средних хромосом. Если клетка не соответствовала хотя бы одному из указанных критериев, то она не была использована для анализа. Учитывали следующие типы хромосомных аббераций: ацентрические парные фрагменты, обменные хромосомные абберации сопровождающиеся парными фрагментами.

Полученные данные подтвердили сложность реконструкции индивидуальных доз облучения в отдаленные сроки после радиационного воздействия при учете нестабильных хромосомных аббераций и исследований без автоматизации выборок клеток для хромосомного анализа. Учитывали все абберации хромосомного типа, межхромосомные (дицентрические хромосомы симметричные транслокации) и внутрехромосомные

64

(кольцевые хромосомы, ацентрические кольца, перичцентрические инверсии) обмены и абберации хроматидного типа. Для кольцевых хромосом и дицентриков (в клетках первого митоза) сопутствующим считается один парный фрагмент. Интерстициальные делеции и ацентрические кольца оцениваются как один тип аббераций.

Результаты собственных исследований и литературные данные свидетельствуют об уровне спонтанного мутагенеза: средняя частота лимфоцитов с абберациями хромосом у человека составляет примерно 1,2%, а число аббераций на клетку не превышает 0,0125, причем не зависит от пола. Частота абберантных метафаз и хромосомных аббераций колеблется от 0 до 3%. Следовательно, максимальный уровень клеток с абберациями хромосом в культуре лимфоцитов человека в норме не превышает 3%.

Критерием радиационного воздействия считали достоверное повышение общей частоты аббераций хромосомного типа (парные фрагменты, ацентрические кольца, интерстициальные делеции, дицентрические и кольцевые хромосомы).

Частота хромосомных aberrаций у лиц обследованной группы

Номер индивида	Количество клеток	Количество aberrантных метафао	кольцевые хромосомы, не сопровождающиеся ацентрическими парными кольцевые хромосомы, сопровождающиеся ацентрическими парными	Свободные парные ацентрические фрагменты	Аберрации хромосомного типа	Аберрации хроматидного типа	Номер индивида	Количество клеток	Количество aberrантных метафао	кольцевые хромосомы, не сопровождающиеся ацентрическими парными кольцевые хромосомы, сопровождающиеся ацентрическими парными	Свободные парные ацентрические фрагменты		
		число	100 клеток	число	100 клеток	число		100 клеток	число	100 клеток	число	100 клеток	
4	240	15	6,25	3	1,25	0,00	0,00	6	2,50	9	3,75	6	2,50
5	400	4	1,00	1	0,25	0,00	0,00	1	0,25	2	0,50	2	0,50
6	200	8	4,00	0	0,00	0,00	0,00	2	1,00	2	1,09	6	3,00
7	300	1	0,33	0	0,00	0,00	0,00	1	0,33	1	0,33	0	0,00
8	300	14	4,67	0	0,00	0,00	0,00	5	1,67	5	1,67	9	3,00
9	300	10	3,33	0	0,00	1,00	0,33	4	1,33	5	1,67	5	1,67
10	350	19	5,43	1	0,30	1,00	0,29	5	1,43	7	2,09	12	3,43
11	200	6	3,00	1	0,50	0,00	0,00	3	1,50	4	2,09	2	1,00
12	310	12	3,87	2	0,60	0,00	0,00	5	1,61	7	2,26	5	1,61
13	200	13	6,50	2	1,00	3,00	1,50	3	1,50	9	4,59	4	2,00
14	300	17	5,67	1	0,30	0,00	0,00	4	1,33	5	1,67	3	1,50
15	200	3	1,50	0	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0	0,09	3	1,50
16	300	11	3,67	1	0,30	2,00	0,67	,5	1,67	8	2,67	3	1,00
17	300	13	4,33	1	0,30	0,00	0,00	6	2,00	7	2,33	6	2,00
18	326	13	3,99	1	0,30	0,00	0,00	4	1,23	5	1,53	8	2,45

Как можно видеть из таблицы, для каждого индивида были изучены следующие показатели: количество aberrантных метафаз на 100 клеток, частоты aberrаций хромосомного и хроматидного типов на 100 метафаз. У некоторых обследованных [7,10] лиц обнаружили возрастание частоты aberrантных метафаз, причем это увеличение цитогенетического эффекта произошло за счет повышения уровня aberrаций хроматидного типа (повреждений нерадиационного геноза.) [7, 10].

В группе работников Зоны отчуждения обнаружили значительную межиндивидуальную вариабельность цитогенетического эффекта. Результаты цитогенетической оценки указывают на менее интенсивное воздействие у некоторых лиц

65

по сравнению с предыдущим обследованием, что может быть связано с рядом причин: элиминацией aberrантных клеток и нестабильных хромосомных aberrаций со временем, спецификой характера облучения, индивидуальной радиочувствительностью (возможным адаптивным ответом ?) (номера 6, 16, 17) и в нескольких (номера 7, 13, 15, 10) случаях не вполне корректным определением дозы облучения в 1987, 1988 гг. за счет малой выборки (43-100) проанализированных клеток.

У некоторых обследованных обнаружены дицентрические и кольцевые хромосомы, причем у индивидов, обследованных под номерами 6, 13, 18, обнаружены эти aberrации без сопровождающих парных ацентрических фрагментов, а у трех обследуемых лиц выявлены обменные хромосомные aberrации, сопровождающиеся парными фрагментами.

Поскольку обнаруженный уровень частоты нестабильных aberrаций хромосомного типа (дицентрических и кольцевых хромосом, сопровождающихся и несопровождающихся

фрагментами, ацентрических колец, свободных парных фрагментов) в этой группе подвержен существенным межиндивидуальным колебаниям и у отдельных лиц практически не изменяется со временем номерами 4, 10, 14.

По литературным данным обнаружено в лимфоцитах крови лиц, которые по роду своей профессиональной деятельности длительное время находились в условиях повышенного радиационного фона, интенсификацию репаративного синтеза ДНК и снижение синтеза сестринских хроматидных обменов. Есть данные, что при периодическом облучении реакция адаптивного ответа может поддерживаться в течение достаточно продолжительного времени. Учитывая сложную радиоэкологическую обстановку, которая сложилась в 30-километровой зоне после Чернобыльской аварии, и характеризующуюся загрязнением комплекса факторов физической и химической природы, считаем необходимым провести исследования по модификации цитогенетического эффекта, индуцированного *in vivo*, дополнительной радиационной мутагенной нагрузкой *in vitro* в зависимости от интенсивности облучения и индивидуальной чувствительности к мутагенному воздействию, так как возможно обнаружение реакции адаптивного ответа при хроническом тотальном облучении в небольших дозах.

В связи с тем, что объективным показателем для биологической индикации является изучение распределения aberrаций по клеткам, на следующем этапе был проведен подробный анализ типов aberrантных клеток.

Анализируя индивидуальный спектр aberrаций хромосом, мы обнаружили значительную поливариантность. Так, у обследуемого объекта 6 частота, на первый взгляд, превышает нормальный уровень, однако изучив структуру его цитогенетического статуса, видно, что это не так, ведь общую частоту aberrаций составили одноударные aberrации хроматидного типа. Аналогичная ситуация и у обследованных объектов под номерами 8, 13, 17. У обследуемого объекта номер 8 выявлена сравнительно высокая частота aberrантных клеток, но при очень малой выборке анализируемых метафаз в связи с малым количеством лимфоцитов в культуре. По рекомендациям ВОЗ (1987) [11] для проведения биологической дозиметрии необходима выборка не менее 300-500 проанализированных метафаз. Недостаточное количество анализируемых метафаз для цитогенетической индикации, как видно из таблицы, было у 8, 18 индивидов.

Спектр хромосомных aberrаций свидетельствует о том, что их общий уровень связан с разными факторами.

66

Обнаруженный патогенетический эффект свидетельствует о нарушении стабильности генома в группе работников Зоны отчуждения и должен рассматриваться как индикатор необходимости назначения этому контингенту лиц антимуtagenных препаратов.

Рекомендовано обследуемый контингент отнести к группам повышенного радиационного риска, нуждающимся в постоянном и тщательном диспансерном наблюдении.

Учитывая сложную радиоэкологическую обстановку, которая сложилась в Зоне отчуждения после Чернобыльской аварии и характеризуется загрязнением комплекса факторов физической и химической природы, считаем необходимым провести исследования по модификации цитогенетического эффекта, индуцированного *in vivo*, дополнительной нагрузкой *in vitro* в зависимости от интенсивности облучения и индивидуальной чувствительности к мутагенному воздействию.

Результаты цитогенетического обследования лиц будут использованы для установления взаимосвязи наблюдаемой патологии и радиационным фактором, выделения группы риска для возможной мутагенной нагрузки как следствия других физических и химических факторов.

1. Awa A.A. Personal communication // Radiation Research Foundation. - 1986. - Hiroshima, Japan.
2. Awa A.A., Neel J.V. Cytogenetic "rogue" cells: Their Frequency, origin and evolutionary significance // Technical Report Effects Research Foundation. - 1986 /PERF/ Japan. - P. 1-14.
3. A collaborative exercise on cytogenetic dosimetry for simulated whole and partial body accidental irradiation / D.S. Lloyd, A.A. Edwards, J.S. Prosser et al. // Mutat.Res. - 1987. - 179. - P. 197-208.
4. Buckton K.E., Evans H.J. Methods for the analysis of human chromosome aberrations WHO // Geneva, 1974.

5. *Chromosome* aberration in leucocytes of survivors of the atomic bombings of Hiroshima and Nagasaki / T. Amenomori, M. Tomonaga, M. Ishimaru et al. // Nagasaki Vol. Med. J. - 1984. - 59. - N 10. - P. 418-422.
6. *Cytogenetic* monitoring of hospital workers exposed to low-level ionizing radiation / P. Bigatti, L. Lambertti, G. Ardito, F. Armelino // Mut. Res. - 1988. - 204. - P. 343 - 347.
7. *Chromosome* aberration in individuals occupationally exposed to ethylene oxide and in a large control population / S.M. Galloway, P.K. Berry, W.W. Nicholls et al. // Mutat. Res. - 1986. - 170. - P. 55-74.
8. *Doses* in radiation accident investigated by chromosome aberration analysis XIV: a review of cases investigated / D.C. Lloyd, A.A. Edwards, J.S. Prosser et al. // 1985. Nat. Radiol. Prot. Board. - 1986. - 192. - P. 1-12.
9. *Dolphin G.W., Lloyd D.S., Purrot R.J.* Chromosome aberration analysis as a dosimetric technique in radiological protection // Health Phys. - 1973. - 27. - P. 7-15.
10. *Ewans H.J.* Cytogenetic and allied studies in populations exposed to radiations and chemical agents // Assessment of risk from low-level exposure to radiation and chemicals. - Plenum, New York. - 1985. - P. 429-451.
11. *Environmental Health*, 24 Chernobyl: Health Hazards from Radiocesium WHO, Regional Office for Europe, Copenhagen.
12. *Evans H.J.* The induction of aberration in human chromosomes following exposure to mutagens / carcinogens // Environmental Carcinogens, Elsevier. North- Holland. - Amsterdam. - 1979. - P. 57-74.
13. *Fabry L.* Cytogenetic damage induced in human lymphocytes by two doses of Co gamma-rays delivered at high and low dose rates // Acta radiol. Oic. - 1986. - 25. - N 2. - P. 143-145.
14. *Gavrilas M.* Fast estimate of the I-131 and Cs-137 source terms for the Chernobyl reactor accident // Health. Phys.. - 1987. - 52 suppl. - N 1 - P. 6-7.

67

15. *Genetic* and somatic effects of ionizing radiation. - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: 1985 Report to the General Assembly, with annexes // New York. - 1986.
16. *Hungerford D.A.* Leucocytes cultured from smili inicuJa of whole blood and the preparation of metaphase chromosomes by treatment with KCl. - Stain. Techn.. - 1965. - 40. - P. 333.
17. *International Atomic Energy Agency: Summary Report of Post-Accident Review Meeting of the Chernobyl Accident* // Safety Series 75. INSA G-I. Vienna. - 1986.
18. *Ionising Radiation: Sources and Biological Effects.* United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1982 Report to the General Assembly, with annexes // New York. - 1982.
19. *Increased* somatic cell mutant frequency in atomic bomb survivors / M. Hattoda, M. Akiyama, Y. Hitai et al. // Mut. Res. - 1988, - Vol. 201. - P. 39-48.
20. *Lloyd D.S.* An overview of radiation dosimetry by conventional methods // Biological Dosimetry: - Eds. W.G. Eisert and M.L. Mendelsohn. Springer. Berlin.. -1984. - P. 3-14.
21. *Obe G., Book B.* The human lymphocyte test system // Chemical Mutagens-Principle and Methods for their Detection: - Eds. de Serres F.V., Rollander A. New York: Plenum. - 1982. - P. 337-400.

Научный Центр радиационной медицины АМН Украины, Киев
Поступила 15.03.95

68

УДК 591.13:621.039

М. Ф. Петров ПИТАНИЕ КАБАНА (*SUS SCROFA* L.) В ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ

Излагаются результаты посезонного изучения питания кабана по содержимому желудка в течение 3 лет в зоне отчуждения черновыльсхой катастрофы на территории Украины. Дается список кормовых видов растений и основных групп кормовых животных и характеризуется интенсивность их посезонного употребления. Показывается роль основных группировок растительности зоны отчуждения в питании кабана. Подробно охарактеризовано питание кабана подземными кормами (33% среднегодового меню), а также питание энотерой двухлетней (*Oenothera biennis* L.), корни которой дают 26% среднегодового меню, как оказывающее наиболее серьезное воздействие на растительный покров региона. Оценивается современное состояние кормовой базы и делается попытка прогноза ее динамики на ближайшие 10-15 лет.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящей работе излагаются результаты 11 сезонов полевых исследований в 1992-1995 годах. Исследования проводились по проекту ЕСП-9 "Переход радионуклидов из кормовых растений в растительных животных" в рамках Генерального соглашения о международном сотрудничестве по проблемам ликвидации последствий черновыльсхой аварии между Комиссией Европейских Сообществ и Правительствами Украины, России и Беларуси от 23 июня 1992 года. Отстрел животных проводился Г.М. Пановым (Институт зоологии НАН Украины, Киев, Украина) и О. Эриксоном (Шведский Университет

сельскохозяйственных наук, Упсала, Швеция). Большинство необходимых для данной работы лабораторных исследований выполнены мною в лабораториях Отдела радиологии и рекультивации НПО "Припять" (г. Припять) при организационном содействии Н.П. Архипова и С.П. Гацака. Искренне благодарен названным коллегам и всем, кто способствовал выполнению проведенных исследований.

Все полевые работы проведены на территории украинской части черновыльскай зоны отчуждения.

МЕТОДИКА И МАТЕРИАЛЫ

В результате полевых работ отстрелян 71 кабан и найдено 2 падших животных. У животных отбирались образцы содержимого желудка и делалось геоботаническое описание мест отстрела. Если перед отстрелом животное кормилось, то подробно осматривалось место кормления и характер повреждения растений, порои, тропы кабанов.

Образцы содержимого желудка к ботаническому анализу отбирались следующим образом. Вынутое содержимое желудка тщательно перемешивалось для достижения равномерного распределения частиц пищи и таким образом отбирался усредненный образец весом 100-500 г, в зависимости от общего веса всего содержимого. Отобранный образец, при необходимости его хранения, заливали 95% этиловым спиртом, который не разрушает целлюлозу стенок клеток растительных остатков, и замораживали. Одновременно отбирался и фиксировался контрольный образец. Контрольные образцы сохраняются в морозильнике Отдела радиологии и рекультивации НПО "Припять" (г. Припять).

Определение содержимого желудка проводилось по методике, принятой в работе [1]. Основные ее особенности следующие. Образцы содержимого желудка промывали на проволочных ситах со сторонами квадрата 4 мм, 2 мм, 1 мм и 0.5 мм. По задержанным на ситах частицам корма определялся видовой состав съеденных растений и животных. Соотношение между видами (группами видов) растений и животных, если они были, в каждой из отфильтрованных 4 фракций частиц за размером, устанавливалось после определения и учета 100 частиц, размещенных на пересечениях линий 100-точечной сетки, расположенной под прозрачным лотком с отфильтрованными частицами. Среднее из четырех показателей участия частиц вида (группы видов) растений и животных принималось за величину его участия в корме данного животного. В работе не учитывалась разница в удельном весе частиц разных категорий корма.

Опыт первых 2 сезонов исследований показал, что спирт растворяет многие красители растительных тканей, в том числе и хлорофилл, что очень затрудняет идентификацию частиц корма, а в случае попадания крови в содержимое желудка, все частицы корма закрашиваются ею. Поэтому, начиная с мая 1993 года, анализ содержимого желудка проводился на свежееотобранных образцах в Припяти. Это позволило в затруднительных случаях разыскивать трудно определяемые виды корма при осмотре мест отстрела соответствующего животного.

После определения ботанического состава корма каждого животного, на месте его отстрела мной отбирались образцы основных кормовых растений (обычно 6-12 образцов на животное, всего 310 образцов) для радиологических исследований. Присутствовал при отстреле примерно 30% животных. Наблюдения при сборе образцов и охоте позволили включить в число кормовых видов растений кабана около 15 видов.

Роль элемента корма в питании оценивалась по среднему проценту его наличия в содержимом желудка животных выборки, которые представляют определенный сезон или период года в питании, что согласуется с подходом П.Г. Козло [2].

Для определения частиц растительной пищи использованы источники [3-8]. Наименование видов растений даны по работе [3]. В тех случаях, когда в литературе более употребительны другие названия, они приведены как синонимы.

ОСОБЕННОСТИ ТЕРРИТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Зона отчуждения черновыльскай катастрофы расположена на территории Полесской низменности. Ландшафтно-экологические условия региона исследований охарактеризованы в работе [9], поэтому здесь укажем только на наиболее существенные для жизнедеятельности животных моменты.

Почвы здесь сформированы на водноледниковых и аллювиальных отложениях, преимущественно песчаного состава.

В процессе освоения в регионе преобладающие по площади сосновые и дубово-сосновые леса на хорошо дренированных неоглеенных почвах были вырублены и замещены сельскохозяйственными угодьями. В последние десятилетия начались осушение и распашка переувлажненных и заболоченных почв и одновременное залесение наиболее истощенных пашен на песчаных почвах. К моменту аварии осталось еще немало незалесенных истощенных участков, нередко с признаками ветровой эрозии.

После катастрофы в зоне отчуждения оказалась территория, 36% площади которой было покрыто лесами, 38% территории ранее распахивалось, 11% занимали луга, около 5% - населенные пункты. Остальная площадь занята водоемами. До аварии пашни с естественным увлажнением занимали около 65% распахиваемых площадей, а пашни на мелиорированных землях - около 35% [9].

70

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В работах, посвященных питанию диких животных [10-17] обычно оценивают значение кормовых видов (групп видов) растений или животных по частоте встречаемости в выборке и доле в общем объеме, иногда дают качественное определение значимости корма, например, главный (основной), второстепенный (сопутствующий), редкий (случайный) и т.п.

Результаты изучения питания кабана в виде средних результатов для сезонных выборок даются в Табл. 1. Вследствие значительного количества видов, поедаемых кабаном, они были объединены в группы по признаку сходства основных поедаемых частей (органов). Для иллюстрации ведущей роли, отдельно показано участие *Oenothera biennis* (энотера двулетняя), *Malus domestica* (яблоня домашняя) и насекомых, как наиболее значимых кормовых объектов кабана в регионе.

Оценка значимости видов (групп видов) растений и животных, обнаруженных в содержимом желудка у 10% и более исследованных нами кабанов, приведена в Таблице 2.

Безусловно, следует отметить преобладание *Oenothera biennis*, корни, реже листья, которой обнаружены у 60% исследованных кабанов во все сезоны. О кормовой ценности корней энотеры можно судить из данных о ее химическом составе, приведенных в сводке [18]. В них содержится углеводов (в %): глюкозы 36,2, сахарозы 3,22, крахмала 4,96, инулина 2 [19], целлюлозы 9,9 [20]. Кроме того, имеется - смолы 3,2%, каучука 1,6% [19], жирного масла 3,5% [20]. На кормовую ценность корней энотеры для домашних свиней указывает И.В. Ларин [21](цит. по [18]).

Обычным кормом являются также плоды *Malus domestica*, встреченные у 32% животных, хрущи - 27%, другие насекомые - 22%, (вместе с муравьями насекомые обнаружены у 45% кабанов) и мелкие млекопитающие, обитающие в почве (полевки, мыши, бурозубки) - 22%. Листья *Elytrigia repens* встречаются довольно часто (37% кабанов), но обычно в небольших количествах (менее 5%), попадая как примесь при питании основными кормами. Только у 4 животных он преобладал. Двое из них были добыты зимой, при снежном покрове толщиной 15-20 см. Обнаруженная у 25% кабанов растительная ветошь также составляет примесь к основным кормам, особенно заметную при поедании зеленых листьев злаков зимой. У 10% кабанов в желудках обнаружены потемневшие кости павших животных, что указывает на недостаток минеральных веществ в корме.

Таблица 1. Сезонный состав корма кабана в Зоне отчуждения Чернобыльской катастрофы, %

Кормовой объект	Весна n=20	Лето n=12	Осень n=18	Зима без снега n=14	Зима со снегом n=9	В среднем за год N=73
Надземные органы растений	69	28	13	19	53	36
Подземные органы растений (в т.ч. корни энотеры)	9(6)	10(9)	41(35)	76(58)	38(22)	33(26)
Плоды и семена (в т.ч. яблока)	+(0)	39(35)	26(18)	0	1(1)	14(11)
Корм животного происхождения (в т.ч. насекомые)	9(8)	3(2)	7(3)	1(+)	2(+)	5(3)
Остальные компоненты	13	20	13	4	6	12

Примечание: + - компонент в количестве менее 0,5%

71

Таблица 2. Корм кабана в Зоне отчуждения Чернобыльской катастрофы

Тип керма	Корм обнаружен в n желудках	Весна	Лето	Осень	Зима со снежным покровом	Зима без снежного покрова
Дерево						
<i>Malus domestica</i> Borkh.	23		П3	П3	П1-2	П1-2
<i>Prunus domestica</i> L.	8		П2	П2	П1	
<i>Quercus robur</i> L.	7			П2-3		В1
Травянистое растение						
<i>Cirsium</i> spp.	10	Вч2	Вч2	Вч2		Вч2
<i>Hieracium pilosella</i> L.	15	Вч2				Вч3 К1
<i>Oenothera biennis</i> L.	44	К3	К2-3	К3	К2-3	К3 Вч2
<i>Ranunculus</i> spp.	8	Вч1-2	Вч3-2			
<i>Sonchus</i> spp.	15		Вч1			
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg.	10	К1 Вч3 Сц3		Вч1		К1
<i>Urtica dioica</i> L.	7	Вч3	Вч1-3			
<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski	27	Вч2	Вч2	Вч2-3	Вч2-3	Вч2-3
Ветошь растений	18	В1	В1	В2	В2	В2
Корма животного происхождения						
Хрущи (имаго, коконы)	20	3		1-2		
Муравьи (имаго, коконы)	6	2	1	2	1	1
Прочие насекомые (имаго, личинки)	16	1	1	2-3		
Мелкие млекопитающие	16	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3
Кости животных	7	1	1	1		1

Примечание. А. Кормовые объекты: Вч - надземные части растений, преимущественно с фотосинтезирующими органами; В - отмершие надземные недревесневающие части растений (ветошь); К - подземные органы растений (корни, корневища, подземные побеги, клубни); П - плоды, семена; Сц - соцветия или отдельные цветки, бутоны с частями несущих их побегов, стеблей.

Б. Значение и обилие кормового объекта: 1 - редкий корм; 2 - второстепенный корм (присутствует в корме нескольких кабанов, но составляет менее 15% корма); 3 - основной корм (составляет более 50% корма у более чем 30% кабанов; для животных кормов участие в корме более 20% кабанов).

Вторую группу кормовых объектов составляют корни *Anthriscus sylvestris* (купырь лесной), корневища *Potentilla erecta* (лапчатка прямая), *Nimphaea alba* (кувшинка белая), подземные побеги *Epilobium hirsutum* (кипрей шершавый), *Phragmites australis* (тростник обыкновенный), надземные части *Aegopodium podagraria* (сныть), *Chelydonium majus*

(чистотел большой), *Erigeron canadensis* (мелколепестник канадский), *Glysetia maxima* (манник большой), *Hieracium umbellatum* (ястребинка зонтичная), *Taraxacum officinale* (одуванчик лекарственный), *Sonchus* spp. (виды рода Осот вместе), *Cirsium* spp. (виды рода Бодяк вместе), зеленые листья, верна и части колоса ржи, пшеницы, овса, клубни картофеля, а из кормов животного происхождения - лягушки. Эти кормовые объекты встречаются у 1-5 кабанов, но составляли при этом 50-100% содержимого желудка соответствующих животных. Все эти кормовые объекты имеют ограниченное распространение или доступны кабану только в течение короткого времени.

В третью группу - второстепенных кормовых объектов входят подземные побеги *Typha latifolia* (рогоз широколистный), *Equisetum* spp. (виды рода Хвощ вместе), надземные части *Ajuga genevensis* (живучка женеvская), *Calla palustris* (белокрыльник болотный),

72

Chamerion angustifolium (хамеион (иван-чай) узколиственный), *Chenopodium album* (марь белая), *Corynephorus canescens* (булавоносец седоватый), *Daeschampsia caespitosa* (щучка дернистая), *Festuca rubra* (овсяница красная), *Glechoma hederacea* (будра плющевидная), *Moehringia trinervia* (мерингия трижилковая), *Riccia fluitans* (риччия плавающая), *Sagittaria sagittifolia* (стрелолист обыкновенный), *Stellaria media* (звездчатка средняя), *Stratiotes aloides* (телорез алоеvidный), *Trifolium* spp. (виды рода Клевер вместе), плоды *Juglans regia* (орех грецкий), *Pyrus communis* (груша обыкновенная), зерна кукурузы, а также муравьи, моллюски, ящерицы, пададь (у четырех кабанов найдены остатки косули и у двух - птиц), которые обнаружены у одного-пяти животных с долей менее 15%.

В качестве дополнительного корма (веток, листьев зеленых и отмерших, семян и т.д.) попадались *Acer negundo* (клен ясенелистный), *A. platanoides* (клен остролистный), *Alnus glutinosa* (ольха клейкая), *Betula* spp. (виды рода Береза вместе), *Bidens tripartita* (череда трехраздельная), *Peucedanum palustre* (горичник болотный), *Pinus sylvestris* (сосна обыкновенная), *Populus tremula* (осина), *Rubus idaeus* (малина), *Salix* spp. (виды рода Ива вместе), *Sedum acre* (очиток едкий), папоротники, мхи и даже гриб-дождевик.

В составе корма кабанов обнаружены также пищевые отходы со свалок гг. Чернобыль и Припять (6 раз), зерно из оставленных при эвакуации складов (3 раза), помет (2 раза).

Кроме перечисленных кормовых объектов, установленных при анализе содержимого желудка, на основании полевых наблюдений к корму кабана в регионе исследований нужно причислить плоды *Aesculus hippocastanus* (каштан конский), *Armeniaca vulgaris* (абрикос), *Cerasus vulgaris* (вишня), *Corylus avellana* (лещина), *Morus alba* (шелковица белая), корни и корневища *Cichorium intybus* (цикорий), *Epilobium palustre* (кипрей болотный), *Nuphar lutea* (кубышка желтая), *Polygonum amphibium* (горец земноводный), зеленые органы *Agrimonia eupatoria* (репейничок лекарственный), *Dactylis glomerata* (ежа сборная), *Holcus lanatus* (бухарник шерстистый), *Molinia caerulea* (молиния голубая), *Rumex acetosa* (щавель кислый).

Следует отметить, что отнесение некоторых видов растений в ту или иную группу довольно относительно. В дальнейшем могут быть обнаружены новые кормовые виды, а уже известные могут быть переведены в более значимую категорию. Например, в последний сезон исследований (бесснежный февраль 1995 года) впервые обнаружены в корме прикорневые зимнезеленые листья *Chelidonium majus* (64% содержимого желудка исследованного животного) и корни *Anthriscus sylvestris* (91% содержимого желудка).

Учитывая исключительно высокое влияние кабана на почвенно-растительный покров зоны отчуждения, в Таблице 3 даются сведения о кормовых объектах, добываемых из почвы.

В питании кабана по сезонам есть ряд особенностей, обусловленных средой обитания (Табл. 1-3). В первую очередь, это преобладание в корме всех сезонов синантропных [22] видов (*Oenothera biennis*, *Taraxacum officinale*, *Sonchus* spp, *Cirsium* spp, в определенной степени *Urtica dioica*, *Elytrigia repens*), оставшихся в растительном покрове и после минимизации антропогенного воздействия. Виды коренные участвуют в корме как второстепенные, приобретая значение преобладающих только в неблагоприятные периоды (корни, корневища и подземные побеги *Anthriscus sylvestris*, *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *Potentilla erecta*, *Epilobium hirsutum*, *E. palustre*). Также заметно участие водных и околоводных видов растений и животных (лягушек, моллюсков), что отражает

наличие в регионе многочисленных водоемов. Участие сельскохозяйственных растений в корме невелико. Они представлены остатками зерна пшеницы, ржи, семян кормовых злаков и сорняков из неэвакуированных складов (до весны 1994 года) и вегетативными частями и зерном пшеницы, ржи, овса, кукурузы, клубнями картофеля с опытных посевов и огородов местных жителей-самоселов.

Таблица 3. Подземный корм кабана Зоны отчуждения Чернобыльской катастрофы (среднегодовое меню за время исследований, %)

Кормовой объект	Весна	Лето	Осень	Зима без снега	Зима со снегом	В среднем за год
Растение						
Энотера двухлетняя; корни	6	8	35	58	22	26
Лапчатка прямая; корневища	1		3	6		2
Кипрей шершавый; подземные побеги			3			1
Купырь лесной; корни				6		1
Тростник; подземные побеги					11	1
Рогоз широколистный; подземные побеги			1	3	3	1
Хвои; подземные побеги	1	+	+	+	1	+
Подземные органы неопределенных растений				1		+
Животное						
Хрущи; личинки и имаго	8		+			2
Муравьи; коконы и имаго	+	2	+		+	+
Прочие насекомые; личинки и имаго			3			1
Земноводные					+	+
Мелкие млекопитающие		1	+	+	1	+
Вместе подземного корма животного происхождения	8	3	4	+	1	3
Всего подземного корма	17	13	45	74	39	35

Примечание: + - компонент в количестве менее 0,5%

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПИТАНИЯ

Сезонные полевые работы из года в год проводились по календарным срокам. В связи с тем, что различия во времени прохождения фенофаз по годам достигают 15-20 суток, в разные годы в одни и те же календарные сроки на одних и тех же площадках добывались животные, которые питались в разных фенофазах.

Основываясь на составе корма кабанов первого полевого сезона (июнь 1992 года), можно отнести полученные данные к весеннему сезону. Эту ситуацию частично иллюстрируют данные Табл. 1, где показаны вариации употребления групп кормов по сезонам.

Колебания погодно-климатических условий по годам меняют энергетические потребности животных и одновременно изменяют урожайность и доступность различных кормовых видов. За три года наблюдений менялась доступность отдельных видов кормов не только по годам, но и в разных частях зоны отселения.

Например, в 1992 и 1993 гг. случаев употребления кабаном подземных (подводных) органов водно-болотных растений было зарегистрировано мало. Летом и осенью 1994 г., когда резко упал уровень грунтовых и поверхностных вод, в корме впервые зафиксированы моллюски, корневища *Nymphaea alba*, листья *Stratiotes aloides*, растущего в наиболее глубоких частях непроточных водоемов, и водного мха *Riccia fluitans*.

Обильные урожаи яблок в сельских садах давали основной корм кабана во второй половине лета и осенью 1992 и 1993 годов. В 1994 году умеренные урожаи яблок были

74

только в западной части зоны отчуждения и только там они зафиксированы в корме. Неурожай яблок принудил кабана использовать корма менее привлекательные - плоды дикой груши или малодоступные - подземные и подводные органы кувшинки, моллюски. В этом случае корни энотеры кабан начал употреблять уже с августа даже в тех местах, где были посевы зерновых культур.

Зимой наиболее постоянным кормом кабана являются корни и, отчасти, листья *Oenothera biennis* и озимые (зимне-зеленые) злаки *Elytrigia repens*, *Festuca rubra*, *Corynephorus canescens*, *Dactylis glomerata*, *Deschampsia caespitosa* совместно с отмершей надземной частью этих и других злаков. В зависимости от наличия и глубины снежного покрова, в корме появляются листья и корни *Hieracium pilosella*, *Ajuga genevensis*, *Chelydonium majus*, *Glyceria maxima*, *Calluna vulgaris*, а при промерзании почвы на залежах, на позднее замерзающих болотах подземные органы *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *Potentilla erecta*.

Весной, когда в корме преобладают надземные части растений, сравнительно постоянно в корме присутствуют *Urtica dioica*, *Taraxacum officinale*, *Cirsium* spp, *Sonchus* spp, а другие виды кормовых растений (*Agrimonia eupatoria*, *Aegopodium podagraria*, *Erigeron canadensis*, *Hieracium umbellatum*, *Ranunculus* spp) обнаружены у 1-2 животных в разные годы.

Основным кормами животного происхождения у кабана зоны отчуждения являются насекомые, обнаруженные у 42 животных: у 14 - только хрущи, у 6 - муравьи, у 16 - прочие насекомые. У 28 кабанов в желудках обнаружены остатки млекопитающих: у 18 - мелких млекопитающих, обитающих в почве (полевки, мыши, бурозубки), у 4 - косули (пададь), у 7 - потемневшие кости млекопитающих.

КОРМОВАЯ БАЗА КАБАНА В ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ

В послеаварийный период в зоне отчуждения чернойбыльской катастрофы сформировалась кормовая база кабана, которая отличается от выявленных в других местах с близкими климатическими условиями и описанных в работах [11; 14; 15]. Ее отличает, прежде всего, незначительная роль растений пашен - около 100 га, или менее 0,1% территории. Проведенные исследования показали, что за 8-9 послеаварийных лет в диете кабана происходило постепенное уменьшение доли кормов сельскохозяйственного происхождения и увеличение доли синантропных.

В первые годы после аварии в питании кабана важное значение имело оставшееся после эвакуации на складах зерно пшеницы и ржи, но уже к лету 1992 года оно осталось только в с. Зимовище, а через 2 года было съедено и там.

Автохтонные виды - *Potentilla erecta*, *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *Nymphaea alba* и другие, имеют второстепенное значение, вероятно, и потому, что имеются более доступные, обильные и, нередко, более питательные корма в виде синантропных растений. Особое место среди автохтонных видов занимает дуб, в период опадения желудей которого кабан употребляет другие корма только при недостатке желудей.

Основные места произрастания и запасы синантропных кормовых видов - это многолетние залежи с естественным увлажнением и в условиях влияния мелиоративных систем. Синантропные виды растений не переносят или плохо переносят затенение, что исключает их произрастание в сколько-нибудь значительных количествах, имеющих кормовое значение, в древесно-кустарниковых группировках. Поселяющиеся на залежах древесно-кустарниковые растения вытесняют светолюбивые синантропные кормовые виды и происходит уменьшение кормовых запасов кабана на залежах с естественным увлажнением суборевого ряда и залежах в условиях влияния мелиоративных систем.

76

На залежах с естественным увлажнением сложносуборевого ряда ослабление конкуренции пырея лучше всего используют синантропные растения, так как их семена в изобилии сохраняются много лет в почве, в отличие от семян древесно-кустарниковых растений региона, жизнеспособных менее года.

Одновременное уменьшение запасов кормовых синантропных видов растений на одних категориях залежей и увеличение их на других при постоянстве запасов кормов по всей зоне отчуждения будет сохраняться около 10-15 лет, несмотря на начавшиеся работы по искусственному облесению. Обработка почвы при проведении лесовосстановительных работ будет способствовать увеличению запасов кормовых синантропных растений и основного животного корма кабана - личинок хруща.

Через 10-15 лет произойдет зарастание большей части залежей суборевого ряда с естественным увлажнением березняками [9; 23], вследствие чего площади произрастания синантропных видов и их кормовые запасы начнут уменьшаться. К этому же времени ожидается естественная возрастная гибель большей части деревьев *Malus domestica* в эвакуированных селах и промышленных садах зоны отчуждения.

В ходе исследований ежегодно обнаруживались новые виды кормовых растений. Сравнение видового состава кормовых растений нашего списка с подобными списками из районов, близких к зоне отчуждения по естественным условиям, [10-17; 24], показывает, что кабан района наших исследований еще не использует или слабо использует подземные побеги *Chamaerion angustifolia*, злаков и осок.

Представление о достаточности кормовой базы кабана в регионе получаем по общепринятым косвенным признакам: уровень падежа в популяции и его связь с кормовой базой, упитанность добытых животных в критические периоды, плодовитость самок.

За время проведения работ нами найдено 2 кабана, у которых еще можно было отобрать пробы содержимого желудка, а останки еще 4 были обглоданы и частично растащены хищниками. Из них только одно животное было найдено зимой 1993 года, в начале периода со снежным покровом. Кабан лежал на голой почве, то есть погиб до выпадения снега. В желудке обнаружены корни *Oenothera biennis* и другой корм, обычный для сезона. Другое исследованное животное было найдено осенью 1992 года и имело в желудке яблоки и остатки мягких тканей косули, то есть также обычный для данного сезона корм. У обоих кабанов не обнаружено признаков истощения. Таким образом, состояние погибших животных не указывает на недостаток корма.

Отстрелянные в зимние сезоны 1993 и 1994 годов в конце снежного периода половозрелые (2 и более года) самки имели по 4-8 эмбрионов и заметный слой подкожного и нутряного жира. Добытые весной этих же лет половозрелые самки кормили 4-8 поросят, а Г.М. Панов [25] наблюдал возле крупных одиночных самок и по 12 поросят. По его же наблюдениям, весной и летом возле самок имеется по 4-6 годовиков, что свидетельствует о хорошей перезимовке последних. Такие же цифры приводятся в работе [26].

Зима 1994-1995 годов была малоснежной, но почва промерзла со второй декады ноября 1994 года, а оттаяла, в основном, к середине февраля 1995 года. Добытые в этот сезон исследований кабаны имели очень тонкий слой подкожного жира, но не имели признаков истощения. Среди отстрелянных животных не было половозрелых самок.

Следовательно, наиболее уязвимые в критический период года части популяции, обычно не страдают от недостатка кормов.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТ ОТСТРЕЛА КАБАНА ПО РАСТИТЕЛЬНЫМ ГРУППИРОВКАМ И ИХ НАСЫЩЕННОСТЬ КОРМОВЫМИ ВИДАМИ

Для выяснения связи между ролью растительных группировок в питании и встречаемостью в них кабана, в Табл. 4 сведены данные об количестве кормовых видов в них и количестве добытых там кабанов. Встречаемость выявленных за время исследований кормовых видов и доступность их кабану установлена полевыми наблюдениями. Большинство кабанов добыто с подхода в период кормежки. Но в некоторые периоды года добывать их на местах кормежки не удавалось, поэтому применялись другие способы охоты.

Осенью 1993 года не удалось добыть кабанов, кормившихся желудями из-за их неурожая, а осенью 1994 года застрелено только одно животное на месте кормежки в дубово-сосновом лесу. Наблюдения показали, что после кормежек желудями утром и вечером кабаны уходили на лежки в тростниковые и древесно-кустарниковые (ольха черная, ива пепельная) болота. После многочисленных загонов там удалось добыть еще трех кабанов. Один из них имел в желудке корни *Oenothera biennis*, ближайшим местом кормежки

которыми могло быть с. Машево (1,5-2 км), два других - желуди дуба. У одного из них в желудке преобладали корневища *Potentilla erecta* (калган) - вида влажных лугов. Таким образом распределение мест отстрела кабана только частично совпадает с основными местами кормления.

На основании данных анализа содержимого желудков модельных животных, полевых наблюдений и видового состава растительных группировок, выделенных на карте "Антропогенные изменения ландшафтов и современная растительность зоны влияния Чернобыльской АЭС" [27] можно выделить 10 основных кормовых станций кабана в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС. Для каждой станции можно указать основные корма, сезоны их употребления, степень использования и скорость восстановления запасов. Далее они перечислены в порядке убывания их значения в питании кабана.

На залежах с естественным увлажнением к настоящему времени произошла дифференциация растительного покрова в соответствии с эдафическими условиями.

Таблица 4. Распределение добытых экземпляров кабана по группировкам растительности Зоны отчуждения

Группировка растительности	Весна	Лето	Осень	Зима без снега	Зима со снегом	Всего	Насыщенность установленными кормовыми видами
Сосновые сухотравно-лишайниковые и бруснично-зеленомошные леса	1		3	2	3	9	6
Сосновые и осиново-березовые чернично-долгомошные леса					1	1	5
Дубово-сосновые и грабово-дубовые леса			1			1	6
Черноольховые болотнотравные леса	1		3			4	10
Пойменные луга	2					2	21
Болота	2		1	1	1	5	12
Культурно-полевая растительность в условиях естественного увлажнения	2	3	0	0	0	5	6
Многолетние залежи в условиях естественного увлажнения и внепойменные луга	6	1	4	3	2	16	29
Многолетние залежи в условиях влияния мелиоративных систем	3			5		8	22
Эвакуированные населенные пункты	3	8	7	2	2	22	30

Указанные условия характеризуются в терминологии украинской лесотипологической школы [28] как суборевые и сложносуборевые. Эти два типа залежей большую часть года имеют разные аспекты и разные кормовые особенности.

Залежи с естественным увлажнением суборевого ряда характеризуются разреженным травостоем, образованным 1-2-летними синантропными видами с участием злаков - пырея, *Calamagrostis epigeios* (вейник наземный), булаво- носца седоватого, *Koeleria glauca* (келерии стройной), *Apera spica-venti* (метлицы) с проективным покрытием 40-80%. На почве всегда присутствуют пятна мхов и лишайников. Основным кормом кабана в них являются стержневые корни энотеры, употребляемые с разной интенсивностью с августа по май. При замерзании почвы или выпадении снега глубиной более 20 см потребление корней энотеры снижается. В бесснежные периоды зимы почва промерзает, а в солнечные дни, когда верхний слой почвы слегка оттаивает, кабан кормится листьями и корешками ястребинки волосистой, озимью некоторых синантропных видов. Хорошо прогреваемые почвы этих залежей, наряду с разреженными молодняками сосны, являются основными местами размножения видов хруща, который является кормом для кабана. Наиболее интенсивное употребление кабаном личинок и имаго хруща наблюдается в мае-июне и сентябре-октябре.

Следует подчеркнуть, что в этой кормовой станции происходит ежегодное возобновление запасов растительных кормов, в первую очередь корней *Oenothera biennis*, в значительной мере под влиянием самого кабана. К залежам с естественным увлажнением,

которые принадлежат к суборевому ряду, по кормовому значению очень близки небольшие участки внепойменных лугов, служивших ранее выгонами.

На залежах с естественным увлажнением сложносуборевомого ряда проективное покрытие травостоем достигает 90-100%. В чем всегда доминирует пырей, мощные подземные побеги которого образуют дернину толщиной 4-5 см. На поверхности почвы большую часть года есть слой подстилки. Количество растений энотеры здесь значительно меньше, чем в предыдущей стадии, вследствие корневого конкурента и затенения всходов, и ее роль в питании кабана ниже. Но в весенне-летний период здесь многочисленны растения видов осотов и бодяков, одуванчика, ястребинки зонтичной, а поздней осенью и бесснежной зимой - зелень всходов бодяков, пырея, озимь синантропных 1-2-летников. Зеленые части этих растений служат кормом кабана в указанные периоды. При поедании захватываются и мертвые части растений перечисленных видов.

Характерным для этой стадии является преобладание в питании кабана кормов животного происхождения, добываемых из почвы, мелких млекопитающих, ящериц, насекомых и червей. Млекопитающих и ящериц кабан вырывает в основном в периоды их малоактивного состояния - с сентября по апрель. Места пороев (ямки и выбросы) наиболее пригодны в условиях данного местообитания для устройства нор мелких позвоночных, что приводит к систематическому кормлению здесь кабана и возникновению глубоких - иногда до метра - пороев. Такие порои медленнее зарастают пыреем и служат местами поселения ряда растений, дающих корм мелким растительноядным млекопитающим и другим животным. Здесь в многочисленных муравейниках рода *Lasius* кормом кабана служат имаго и коконы муравьев, добываемых летом и в начале осени. Личинок других насекомых и червей кабан добывает из почвы в течение теплого периода года, но наиболее интенсивно в мае-июне и сентябре-ноябре.

Порои кабана разрушают дернину пырея и способствуют проникновению в растительный покров новых видов растений и восстановлению в нем ряда кормовых видов для кабана и поедаемых им животных. С нарастанием площади пороев и их глубины,

78

возрастает мозаика местообитаний кормовых растений и почвообитающих животных, возрастает кормовая ценность стадии. Таким образом, происходит возобновление и даже расширение кормовой базы кабана.

Залежи в условиях влияния мелиоративных систем образуют еще одну важную кормовую стадию. Осушение, распашка, а потом, во многих местах, повторное подтопление после аварии, привело к образованию сложной мозаики почвенно-растительного покрова и почвенных животных, свойственных залежам, а также лугово-болотных и прибрежно-водных. Наблюдается исключительно благоприятное сочетание кормовых и защитных условий. Эти местообитания, по сообщению Г.М. Панова [25], были освоены кабаном уже в 1987 г. Кормовыми объектами в этих условиях являются надземные части видов лютиков, осотов, одуванчика, крапивы, ястребинок волосистой и зонтичной, сныти и других видов в весенне-летний период, ряда видов злаков (пырея, овсяницы красной, молинии голубой, мятликов и полевиц) и бодяков - во все сезоны года, подземные органы хвощей, лапчатки прямой, кипреев шершавого и болотного, тростника, рогоза, горца земноводного, изредка энотеры, а в летнюю и зимнюю межень - кувшинки белой и кубышки.

В наиболее многоснежный период зимы 1994 г., в феврале - начале марта в этих местообитаниях были добыты три кабана, в содержимом желудка которых преобладали зеленые листья и стебли манника большого. Они сохранились над поверхностью льда в зарослях тростника. Кормами животного происхождения являются преимущественно земноводные и водные моллюски. Земноводные преобладают в составе корма весной, в период размножения, и поздней осенью, когда образуют скопления перед зимовкой. Моллюски в качестве корма употребляются при пересыхании водоемов в конце лета - начале осени.

Восстановление запасов подземных растительных кормов происходит на протяжении нескольких вегетационных сезонов [29], в отличие от залежей с естественным увлажнением, где запасы корней энотеры восстанавливаются в течение одного вегетационного сезона.

В целом, питание подземными органами растений наблюдается только тогда, когда отсутствуют или недоступны (из-за замерзания почвы) основные растительные корма - корни энотеры на залежах с естественным увлажнением в селах, и яблоки в садах.

По набору основных кормовых объектов и времени их использования к залежам в условиях влияния мелиоративных систем очень близки пойменные луга, быстро теряющие свое кормовое значение по причине зарастания межгрядных понижений кустарниковыми ивами. Большинство кормовых объектов кабана на болотах сходно с отмеченными на повторно подтопленных залежах.

В 1987-1993 гг. кабаны питались за счет того, что в эвакуированных населенных пунктах на складах остались зерновые, а также яблоками в приусадебных и промышленных садах. Последние запасы зерна были съедены к весне 1994 г. Яблоки поедаются кабаном во вторую половину лета и в течение всей осени. Зимой животные собирают мерзлые и гнилые плоды по мере их опадания. Кроме яблок, кабан ест опавшие соплодия шелковицы, плоды вишни, сливы, груши, ореха грецкого, а также каштана конского, абрикоса. Эти корма настолько привлекательны, что секачи стряхивают сливы, абрикосы, изредка яблоки, с деревьев, захватывая при этом нависающие или низко отходящие ветки и тонкие стволы (устное сообщение Г.М. Панова). На противоположных сторонах веток в местах захвата срывается кора и верхний слой древесины. В настоящее время вторым кормовым объектом для кабана является корень энотеры вдоль сельских улиц. При питании вышеперечисленными кормами кабан захватывает в небольших количествах надземные части пырея, крапивы, видов бодяков и других растений.

79

Из кормов животного происхождения преобладают имаго хрущей, которые кормятся листьями деревьев и в прохладные ветреные ночи падают на землю, и их личинки, мелкие почвообитающие млекопитающие - полевки, мыши, бурозубки.

Основным видом корма в условиях данной станции являются корни энотеры, в силу стабильности и возобновляемости их запасов, в то время как величина урожаев фруктов колеблется по годам, а запасы зерна в хранилищах уже съедены. Количество деревьев яблони уменьшается из-за естественной гибели и повреждений кабаном. От поврежденных корней слив отрастают отпрыски, образуя целые рощицы, однако значение этой кормовой станции, в целом, постепенно уменьшается.

Леса с участками дуба, образующие следующую стацию, составляют около 15% общей площади лесов зоны. Среди них абсолютно преобладают по площади дубово-сосновые и грабово-дубовые. Кабаны кормятся в них в течение 2-4 недель, пока не подберут все опавшие желуди (в этих лесах не наблюдались всходы или подрост дуба моложе 10 лет). По наблюдениям И.Д. Юркевича [30], в соседних с Чернобыльской Зоной отчуждения районах Беларуси за десятилетний период в дубравах бывает 2-3 обильных урожаев, 3-4 средних и 2-3 слабых, 2-3 года являются неурожайными. В некоторые периоды кабан также добывает в этих лесах личинки и червей. В общем, значение этой станции невелико.

Сосновые леса с атмосферным увлажнением (сосново-лишайниковые, сосново-зеленомошные) в стадии молодняков служат местами значительного размножения некоторых видов хрущей, а в старших возрастных группах лесонасаждений - и других насекомых. Кроме добываемых из почвы в теплое время года личинок, в холодное снежное время кабан питается здесь также рыжими лесными муравьями. Сосновые чернично-долгомошные леса, служат местами наиболее активной роющей деятельности кабана в критические периоды с высотой снежного покрова более 20 см. Добытый здесь кабан имел в желудке кормовые виды, не свойственные этой станции. В Беловежской Пуще [34] в данной станции в снежные зимы кабан кормился корой корешков сосны и черники. Роль черноольховых болотнотравных лесов в питании кабана Зоны отчуждения неясна, так как желудки добытых здесь кабанов были наполнены кормовыми растениями, не выявленными в данной станции. Пороев в этих лесах сравнительно мало, хотя здесь произрастают виды, подземные органы которых активно употреблялись кабаном в других условиях [14].

Таким образом, в Украинской части Чернобыльской Зоны отчуждения зимой, весной и в первую половину лета по набору кормовых объектов и по экотопам их добывания питание

кабана близко к наблюдавшемуся в Беловежской Пуще и Березинском заповеднике Беларуси [14]. Во вторую половину лета и осенью в урожайные годы в Зоне отчуждения кабан переходит на преимущественное питание яблоками в эвакуированных селах, в то время как в заповедниках Беларуси кабан в эти периоды года кормится преимущественно подземными органами травянистых растений и сельскохозяйственными растениями на полях. Но главной особенностью в питании кабана в Зоне отчуждения является преобладание корней энотеры (до 80% растительного корма, добываемого из почвы). Восстанавливающиеся в течение одного вегетационного сезона запасы корней энотеры стали надежной кормовой базой популяции в тяжелейшие периоды года.

1. Eriksson O., Palo T., & Soderstrom L. 1981. Reindeer grazing in winter time. Uppsala. Vaxteknologiska studier, 13. ISBN 91-7210-813-4.
 2. Козло П.Г. Изменчивость питания лося (*Alces alces* L.) в осенне-зимний период в Березинском заповеднике // Вестник зоологии. - 1972. - № 5. - С. 62 - 67.
 3. Определитель высших растений Украины / Доброчаева Д.Н., Котов М.И., Прокудин Ю.Н. и др. - Киев: Наукова думка, 1987. - 548 с.
- 80
4. Определитель растений лесов УССР. // Под редакцией А.Л. Бельгарда. - Киев: Выща школа, 1984. - 343 с.
 5. Рысин Л.П., Рысина Г.П. Морфоструктура подземных органов лесных травянистых растений - Москва: Наука, 1987. - 208 с.
 6. Бачурина А.Ф., Партыка Л.Я. Печеночники и мхи Украины и смежных территорий: Краткий определитель - Киев: Наукова думка, 1979 - 204 с.
 7. Майсурян Н.А., Атабекова А.И. Определитель семян и плодов сорных растений. Изд. 2-е, перераб. и доп. - Москва: Колос, 1978. - 288 с.
 8. Хомякова И.М. Лесные травы. Определитель по вегетативным признакам. 2-е изд. - Воронеж: Изд-во ВГУ, 1990. - 176 с.
 9. Ландшафты Чернобыльской зоны и их оценка по условиям миграции радионуклидов / Давыдчук В.С., Зарудная Р.Ф., Михели С.В. и др. - Киев: Наукова думка, 1994. - 112 с.
 10. Варнаков А.П. Питание кабана и его роль в биогеоценозах Молого-Шекснинского междуречья // Роль крупных хищников и копытных в биогеоценозах заповедников. Сборник научных трудов. - Москва: 1986. - С. 86-94.
 11. Гусев А.А. Питание и роющая деятельность кабана в Центрально-Черноземном заповеднике // Периодические явления в жизни животных. Сборник научных трудов ЦНИЛ Главохоты РСФСР. - Москва: 1983. - С. 34-46.
 12. Гусев А.А. Допустимая плотность населения диких копытных животных и опыт ее поддержания в Центрально-Черноземном заповеднике // Популяционные исследования животных в заповедниках. Сб. научных трудов - Москва: Наука, 1988. - С. 114-128.
 13. Гусева В.А., Гусев А.А. Влияние диких копытных животных на видовой состав, численность и биомассу почвенных беспозвоночных // Экология, морфология, использование и охрана диких копытных / Тез. Всес. совещания. Москва, 20-22 февраля 1989 года. Часть 1. - С. 50-52.
 14. Гусев А.А., Елисеева В.И. Особенности зимнего питания кабана в лесостепи // Периодические явления в жизни животных. Сб. научных трудов ЦНИЛ Главохоты РСФСР. - Москва: 1983. - С. 46-51.
 15. Козло П.Г. Дикий кабан - Минск: Ураджай, 1975. - 224 с.
 16. Саблина Т.Б. Копытные животные в заповеднике Беловежская пуща - Москва: 1955. - 190 с.
 17. Тупицына Л.Ф. Динамика численности и размещения кабана (*Sus scrofa* L.) в Дарвинском заповеднике // Популяционные исследования животных в заповедниках. Сб. научных трудов - Москва: Наука, 1988. - С. 128-139.
 18. Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав, использование. Семейства Hydrangeaceae-Haloragaceae. - Ленинград: Наука, 1987. - 326 с.
 19. Литвинчук К.А. Каучук, олія і волокно з ослинника // Технічні культури, 1939, № 5-6. - С. 75-77.
 20. Гейдеман Т.С. и др. Полезные дикорастущие растения Молдавии // Кишинев: 1962 - 416 с.
 21. Ларин И.В. Кормовые растения сенокосов и пастбищ СССР. Т. 2. - Москва: 1953.
 22. Протопопова В.В. Синантропная флора Украины и пути ее развития. - Киев: Наукова думка, 1991. - 204 с.
 23. Удра И.Ф. Расселение растений и вопросы палео- и биогеографии. - Киев: Наукова думка, 1988. - 200 с.
 24. Дежкин В.В., Калецкий А.А. Под пологом леса (к совместному ведению лесного и охотничьего хозяйств). - Москва: Лесная промышленность, 1973. - 160 с.
 25. Панов Г.М. Устное сообщение. 1994.
 26. Францевич Л.И., Гайченко В.А., Крыжановский В.И. Животные в радиоактивной зоне. - Киев: Наукова думка, 1991 - 128 с.
 27. Давыдчук В.С., Сорокина Л.Ю., Фоменко Ю.Я. Антропогенные изменения ландшафтов и современная растительность зоны влияния Чернобыльской АЭС. Карта М 1:100 000. - Киев: Мапа-ЛТД, 1992.

28. *Погребняк П.С.* Основы лесной типологии. - Киев: Изд-во АН УССР, 1955. - 456 с.
29. *Зайцева Н.Л.* Особенности возобновления зарослей лапчатки прямостоячей в условиях Карелии. // Проблемы продовольственного и кормового использования недревесных и второстепенных лесных ресурсов. - Красноярск, 1983. - С. 237.
30. *Юркевич И.Д.* Дубравы Белорусской ССР и их восстановление. - Минск: Гос. изд-во БССР, 1951. - 217 с.

Институт географии НАН Украины
Поступила 15.03.95

81

УДК 579.222; 582.282

В. И. Суденко, В. С. Подгорский, В. И. Рясенко
МИКРОФЛОРА ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА ЧЕРНОБЫЛЬСКИХ НОРОК (САМОК)
РАЗЛИЧНОГО ВОЗРАСТА И ИММУНОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Установлены количественные и видовые характеристики бактерий и дрожжей, выделенных на корма и желудочно-кишечного тракта самок норок различных возрастных групп и разного иммунологического состояния. Определен видовой состав бактерий, составляющих основную и сопровождающую микрофлору тонкого и толстого кишечника норок. Установлено нарастание количества анаэробных (бифидобактерии), микроаэрофильных (молочнокислые палочки, энтерококки) и аэробных (кишечные палочки) бактерий в содержимом толстого кишечника норок по сравнению с желудком и тонким кишечником у всех обследованных групп животных разного возраста к иммунологического состояния.

Нормальная микрофлора желудочно-кишечного тракта теплокровных играет существенную роль в поддержании естественной резистентности организма к инфицированию макроорганизма патогенными бактериями, в регуляции обмена веществ, витаминном балансе, иммуногенезе, а также выполняет ряд физиологических функций, связанных с утилизацией пищи и поддержанием адекватности питания. Макроорганизм млекопитающих и населяющая его микрофлора, в том числе микрофлора пищеварительного тракта, является сбалансированной экологической системой. Нарушение соотношения микроорганизмов в желудочно-кишечном тракте может привести к дисбактериозу и заболеванию организма человека или животного. В микробиоценозе желудочно-кишечного тракта животного различают основную, сопутствующую и остаточную микрофлору. Исследованиями последних лет установлено, что в кишечнике многих животных преобладают анаэробные и микроаэрофильные микроорганизмы. Количество микробов в содержимом пищеварительного тракта человека и животных нарастает по его ходу [6-8, 12-14].

Характер питания, сезонность, возраст, условия содержания, применение антибиотиков и других лечебных препаратов, а также воздействие радиации внешнего и внутреннего характера может оказать заметное влияние на состав микрофлоры кишечника теплокровных. Среди выделяемых из желудка групп микроорганизмов преобладают молочнокислые, бифидобактерии, бактероиды и энтерококки [1, 2, 4, 5, 9, 10].

В тонком кишечнике превалируют бактероиды, бифидобактерии. Энтерококки, лактобациллы и кишечные палочки выделяются из этого отдела кишечника реже, чем анаэробы. Основной микрофлорой толстого кишечника и испражнений являются бифидобактерии, бактероиды и зубактерии. Сопутствующая микрофлора представлена кишечными и молочнокислыми палочками, энтерококками и клостридиями.

Дрожжи, относящиеся к группе остаточной микрофлоры кишечного ценоза, часто выделяются из содержимого пищеварительного тракта человека и животных. Постоянство их выделения и относительно большой объем по сравнению с бактериями, дают основание предполагать их существенную роль в микробной ассоциации кишечника.

В результате исследований, проведенных нами ранее, было установлено, что количество микроорганизмов, выделяемых из желудка самцов норок, содержащихся в зверохозяйстве вблизи IV энергоблока ЧАЭС, достигает 10^6 клеток/г, а у животных

© В. И. Суденко, В. С. Подгорский, В. И. Рясенко, 1996

82

из черкасского зверохозяйства на 1-3 порядка выше, т.е. внешнее и внутреннее хроническое воздействие малых доз радиации оказывает выраженный ингибиторный эффект на состав микрофлоры желудка облучаемых животных. В желудке норок из черныбыльсого зверохозяйства преобладали облигатные гетероферментативные виды молочнокислые бактерий, в частности *Lactobacillus fermentum* и *L. reuteri*. В желудке черкасских норок превалировали представители факультативных гетероферментативных видов, а среди них *L. bavaricus*. Наряду с этими видами обнаружены и энтерококки, в частности *Streptococcus faecalis*, *L. fermentum* и *L. reuteri* встречались и среди основной микрофлоры тонкого кишечника черныбыльских и черкасских норок (самцов) [9].

Из толстого кишечника черныбыльских норок (самцов) чаще других видов выделялись *L. acidophilus* и *Bifidobacterium indicum*. Последние превалировали и среди микроорганизмов, изолированных из толстого кишечника черкасских норок. Так как предыдущие исследования микрофлоры желудочно-кишечного тракта проведены на самцах норок, целью настоящей работы было определение влияния хронического воздействия малых доз радиации на микрофлору пищеварительного канала самок норок различного возраста и иммунологического состояния.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований были самки норок 1,5-годовалого возраста (4 животных), обозначенные как группа № 1 и 2,5-летнего возраста (8 животных), содержащихся в зверохозяйстве в районе IV энергоблока ЧАЭС. Более зрелые животные разделены на две группы по 4 норки, те, которые получали в течение 10 сут. перед убоем ежедневные инъекции тимогена в концентрации 0,2 мкг/мл по 0,02 мг на норку (группа № 2) и не получали инъекции этого препарата (группа № 3) (табл. 1).

Таблица 1. Распределение самок норок по экспериментальным группам

Номер норок	Экспериментальная группа	Введение тимогена	Возраст животного, год	Вес отдельного животного, г	Средний вес животного в группе, г
1	1		1,5	880	978
2		-		920	
3		-		970	
4		-		1140	
5	2	+	2,5	720	1053
6		+		1150	
7		+		1240	
9		+		1100	
10	3	-	2,5	1000	1013
11		-		1075	
12		-		1050	
14		-		925	

Инъекции тимогена проводили для повышения иммунореактивности подопытных животных.

Для выделения микроорганизмов из содержимого пищеварительного тракта, норок усыпляли и отбирали пробы содержимого желудка, тонкого и толстого кишечника. Образцы для исследований разводили методом серийных 10-кратных разведений в физиологическом растворе поваренной соли до 10^{-4} , а затем в полужидкой среде МРС до 10^{-11} . Выделение и количественный учет бифидо- и молочнокислых бактерий, а также энтерококков

проводили на полужидкой и агаризованной селективной среде МРС [3]. Для выделения и учета энтеробактерий использовали мясопептонный агар и среду Эндо. Дрожжи выделяли на подкисленном до pH 4,0-4,5 сусло-агаре. Высейнные пробы культивировали при 37° и 30°C (при выделении дрожжей). Бройдильную и ассимиляционную активность дрожжей и бактерий определяли на специальных средах с добавлением исследуемых углеводов и спиртов в концентрации 0,595. Обесцвечивание лакмуса и метиленовой синьки, сквашивание молока и определение его кислотности проводили на обезжиренном молоке. Рост молочнокислых бактерий и энтерококков определяли в жидкой среде МРС с 2, 4, 6, 5 и 8% поваренной соли, а также при температуре 15, 45 и 48-50°C (для энтерококков). Гемолитическую активность бактерий учитывали на мясопептонном агаре с добавлением 5% бычьей или человеческой крови. Для дифференциации энтерококков использовали способность к росту после 30-минутного прогрева бактериальной суспензии при 63°C. Выделение бактериями аммиака из аргинина, каталазную и желатиназную активность учитывали на специальных средах [3]. Способность выделенных микроорганизмов к росту определяли на агаризованной и жидкой среде МРС в присутствии 2 ед/мл пенициллина, а морфологию клеток бактерий определяли с помощью световой микроскопии. После изучения морфологических и физиологических признаков была проведена идентификация выделенных штаммов бактерии и дрожжей по определителям [11, 15],

ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования из пищеварительного тракта самок норок выделены микроорганизмы: основной, сопровождающей и остаточной микрофлоры. Основная микрофлора представлена анаэробами - бифидобактериями, которые преобладают во всех трех обследованных группах животных, начиная с желудка и кончая толстым кишечником. Сопровождающая микрофлора пищеварительного тракта самок норок представлена микроаэрофильными бактериями - молочнокислыми и энтерококками, количество которых на 1-2 порядка ниже, чем бифидобактерий. Концентрация микроорганизмов в содержимом пищеварительного тракта нарастает по его ходу. Количество бифидобактерий и молочнокислых бактерий, выделяемых из содержимого желудочно-кишечного тракта самок норок, получавших инъекции тимогена, устойчиво ниже на 1-2 порядка, чем у более молодых животных (1,5 г) и животных того же возраста (2,5 г), но не стимулированных тимогеном (табл. 2).

При сравнении количества бифидобактерий, выделяемых из содержимого желудка норок разных возрастных групп (1 и 3 группа), различий не обнаружено. В тонкой и толстом кишечнике 1,5-годичных животных (1 группы) бифидобактерий было в 5-10 раз больше, чем у 2,5-годичных. Аналогичная закономерность наблюдалась в этих группах норок и в содержании молочнокислых бактерий. Концентрация последних в содержимом желудка молодых норок (1,5 г) была почти вдвое выше, чем у более взрослых животных (2,5 г), а в тонком и толстом кишечнике эта разница достигала 5-10 раз соответственно. Количество энтерококков в содержимом желудка 1,5-годичных норок была в 5 раз ниже, чем у 2,5-годичных. Разницы в содержании энтерококков в тонком и толстом кишечнике не обнаружено (табл. 2). Не обнаружено также количественных различий в содержании энтеробактерий в обследованных отделах желудочно-кишечного тракта самок норок всех трех обследованных групп, хотя численность их возрастает по ходу пищеварительного тракта: желудок, тонкий и толстый кишечник.

Таблица 2. Содержание аэробных и анаэробных микроорганизмов в корме и содержимом желудочно-кишечного тракта самок норок, содержащихся в 30-километровой зоне ЧАЭС

Источник выделения бактерий	Возраст норок (самок) год	Введение тимогена	Отдел обследованного желудочно-кишечного тракта норок	Количество микроорганизмов в 1 г содержимого				
				Дрожжи	Кишечные палочки	Энтерококки	Молочнокислые бактерии	Бифидобактерии
Корм норок				$10^2 - 2 \cdot 10^3$	10^4	10^7	10^8	-
Норки								
группа 1	1,5	-	Желудок	-	10^4	10^6	$5 \cdot 10^7$	10^8
группа 2	2,5	+	Желудок	-	10^4	10^6	10^6	$5 \cdot 10^7$
группа 3	2,5	-	Желудок	$5 \cdot 10^3$	10^4	$5 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^7$	10^8
группа 1	1,5		Тонкий кишечник	10^3	10^5	10^7	$5 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^9$
группа 2	2,5	+	То же	10^2	10^5	10^6	$6 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^7$
группа 3	2,5	-	То же	$5 \cdot 10^3$	10^5	10^7	10^8	10^9
группа 1	1,5		Толстый кишечник	$8 \cdot 10^2$	10^6	$7 \cdot 10^8$	10^9	10^{10}
группа 2	2,5	+	То же	$2 \cdot 10^2$	10^6	$5 \cdot 10^8$	10^8	10^9
группа 3	2,5	-	То же	$4 \cdot 10^2$	10^6	$7 \cdot 10^8$	10^8	10^9

Следует отметить, что такие же группы микроорганизмов, за исключением бифидобактерий, выделялись и из корма норок - мясорыбного фарша (табл. 2).

С целью определения видовой принадлежности микроорганизмов, преобладающих в обследованных отделах желудочно-кишечного тракта самок норок проведено исследование морфологических и физиологических признаков бактерий, выделенных из предельных разведений содержимого пищеварительного тракта. У микроаэрофильных бактерий изучена способность ассимилировать стандартный набор источников углеродного питания и установлен ряд морфологических и физиологических признаков, необходимый для определения видовой принадлежности. Бифидобактерии идентифицированы на основании их морфологических и отдельных физиологических признаков.

В результате проведенной работы из предельных разведений пищеварительного канала самок норок черномыльского зверохозяйства выделены и идентифицированы до вида нижеследующие штаммы (табл. 3).

Среди выделенных микроорганизмов из желудка норок 1 и 3 групп преобладали штаммы облигатных гомоферментативных молочнокислых бактерий, отличающихся способностью к росту при 45° и отнесенных нами к *Lactobacillus helveticus*. У животных 2 и 3 группы из желудка выделялись и облигатные гетероферментативные молочнокислые бактерии - *L. buchneri*. Наряду с этим видом у животных 2 группы в желудке обнаружены и бифидобактерии - *Bifidobacterium bifidum* и *B. indicum*. Из 10^{-5} - 10^{-6} разведений содержимого желудка норок всех трех групп выделены и энтерококки, отнесенные нами к *Streptococcus faecalis*. Это на 1-2 порядка ниже, чем концентрация молочнокислых палочек. Из предельных разведений содержимого тонкого кишечника 1 группы норок выделены и идентифицированы штаммы *L. coryniformis* subsp. *coryniformis* (факультативные гетероферментативные молочнокислые бактерии) у животных 2 группы - *L. farciminis*, а у норок 3 группы - *L. amylophilus* (облигатные гомоферментативные молочнокислые бактерии). Среди энтерококков, выделенных из тонкого кишечника норок 1 и 2 группы, преобладали *S. faecium*, а в 3 группе - *S. faecalis*.

Таблица. 3. Видовой состав молочнокислых бактерий и энтерококков, выделенных из пищеварительного тракта самок норок, обитающих в Зоне отчуждения ЧАЭС

Номер экспериментальной группы норок	Отдел желудочно-кишечного тракта, из которого выделены бактерии	Количество микроорганизмов в 1г содержимого	Вид бактерии	Количество выделенных штаммов
1	Желудок	10^7 - 10^8	<i>L. helveticus</i>	3
	»	10^5	<i>S. faecalis</i>	1
2	»	10^5	<i>S. faecalis</i>	1
	»	10^4	<i>L. buchneri</i>	1
3	»	10^7	<i>L. coryniformis</i>	
	»	10^7 - 10^8	<i>L. helveticus</i>	
	»	10^7	<i>L. buchneri</i>	1
	»	10^6	<i>L. faecalis</i>	1
1	Тонкий кишечник	10^9 - 10^{10}	<i>L. coryniformis</i>	
	»	10^6 - 10^9	<i>S. faecium</i>	4
2	»	10^7	<i>L. farciminis</i>	1
	»	10^6 - 10^9	<i>S. faecium</i>	
	»	10^7	<i>S. faecalis</i>	1
3	»	10^8	<i>L. amylophilus</i>	1
	»	10^6 - 10^8	<i>S. faecalis</i>	
	»	10^6	<i>S. faecium</i>	1
1	Толстый кишечник	10^{10} - 10^{11}	<i>L. casei</i>	
	»	10^9	<i>S. faecalis</i>	1
	»	10^9	<i>S. faecium</i>	1
2	»	10^7 - 10^9	<i>S. faecium</i>	7
3	»	10^7 - 10^9	<i>S. faecium</i>	
	»	10^9	<i>S. faecalis</i>	1

йа предельных разведений содержимого толстого кишечника группы норок 1 выделены и идентифицированы штаммы *L. casei* subsp. *casei* (факультативные гетероферментативные молочнокислые бактерии). Энтерококки в содержимом толстого кишечника группы норок 1 представлены штаммами *S. faecalis* и *S. faecium*, а в 1 и 3 преобладали *S. faecium* (табл. 3).

В корме (мясо-рыбном фарше) норок обнаружены и идентифицированы молочнокислые палочки, в частности *L. coryniformis* subsp. *coryniformis*, выделенные из разведений 10^{-8} . Энтерококки в корме обнаруживались значительно реже - в разведении 10^7 . Среди них превалировали *S. faecium*.

Как отмечено выше, из предельных разведений содержимого желудка, тонкого и толстого кишечника обследованных самок норок наряду с молочнокислыми бактериями выделялись и анаэробные микроорганизмы, отнесенные к роду *Bifidobacterium*. В желудке обнаруживались штаммы, принадлежащие к роду *B. bifidum* и *B. indicum*. Установлены количественные различия в содержании бифидобактерии в разных отделах пищеварительного тракта самок норок трех обследованных групп. Обнаружены различия в концентрации анаэробных бактерий в определенных отделах желудочно-кишечного тракта (желудок, тонкий, толстый кишечник) животных разного возраста (1 и 2 групп) и разного иммунологического состояния (2 и 3 групп). Среди штаммов бактерии, выделенных из кишечника самок норок, обнаружены *B. indicum*, *B. globosum*, *B. breve* и *B. minimum*. Выраженных отличий в видовом составе бифидобактерии, выделенных от норок разных групп, не установлено.

В содержимом всех отделов желудочно-кишечного тракта норок и их корме встречались и дрожжевые формы. Так, они обнаружены в содержимом желудка 75%

обследованных норок 2,5-годичного возраста (3 группа) и не выделялись из содержимого желудка норок того же возраста, но подвергшихся иммуностимуляции с помощью инъекций тимогена (2 группа), а также у 1,5-годичных животных. В содержимом желудка норок 3 группы концентрация дрожжей достигает $5 \cdot 10^3$ клеток/г.

В тонком кишечнике 50% обследованных животных 1,5- и 2,5-годичного возраста обнаружены дрожжи в количестве 10^3 клеток/г, а у 2,5-годичных норок, подвергшихся иммуностимуляции тимогеном, их количество было на 1 порядок ниже и встречались они только у 25% обследованных животных.

В содержимом толстого кишечника 1,5-годичных (1 группа) и обработанных тимогеном 2,5-годичных (группа 2) норок дрожжи обнаружены у 50% обследованных животных соответственно в концентрации $8 \cdot 10^2$ и $2 \cdot 10^2$ клеток/г и 25% обследованных 2,5-годичных норок (группа 3) в количестве $4 \cdot 10^2$ клеток/г.

В корме норок дрожжи обнаруживаются почти в такой же концентрации, как и в желудочно-кишечном тракте - 10^2 - $2 \cdot 10^3$ клеток/г (табл. 2). Среди них преобладают *Candida humicola*, реже встречаются *C. apis* var. *galacta* и *C. curvata*.

По морфологическим признакам доминирующую популяцию пищеварительного тракта норок представляют собой беспигментные дрожжи, образующие псевдомицелий и не образующие аско- или базидиоспор, отнесенные нами к условно патогенным дрожжам рода *Candida*. Реже встречались окрашенные формы дрожжей.

Исследованы физиологические свойства дрожжей, выделенных из организма самок норок, обитающих в Зоне отчуждения ЧАЭС. Установлено, что эти дрожжи преимущественно бродящие, не усваивают нитраты, нуждаются в витаминах для своего роста. Значительная часть из изолированных дрожжей растет при температуре 37°C , это обусловлено тем, что они находятся в организме теплокровных животных. Часть выделенных дрожжей идентифицирована до рода, а часть до вида. Среди беспигментных дрожжей наиболее часто встречаются *Candida stellata* и *C. kefir*, несколько реже - *C. parapsilosis*. Окрашенные формы дрожжей представлены видом *Rhodotorula rubra*, (табл. 4). Выраженной закономерности в выделении дрожжей от исследованных животных различных экспериментальных групп не установлено.

Проведенные исследования состава микробиоценоза желудочно-кишечного тракта самок норок, находившихся в Зоне отчуждения ЧАЭС и различавшихся по возрасту (1,5 и 2,5 г) и уровню иммунореактивности,

Таблица 4. Видовой состав дрожжей, выделенных из пищеварительного тракта самок норок

Вид дрожжей	Количество штаммов	Номер экспериментальной группы норок	Отдел пищеварительного тракта, из которого выделены дрожжи	Разведение исходной пробы
<i>C. stellata</i>	3	3	Желудок	10^{-2}
»	1	1	Тонкий кишечник	10^{-1}
»	1	1	Толстый кишечник	10^{-1}
»	3	3	»	10^{-1}
<i>C. kefir</i>	2	3	Желудок	10^{-1} - 10^{-2}
»	1	3	Тонкий кишечник	10^{-2}
»	2	3	Толстый кишечник	10^{-1}
<i>C. parapsilosis</i>	1	3	Желудок	10^{-2}
»	1	2	Толстый кишечник	10^{-1}
<i>Rh. rubra</i>	1	2	Тонкий кишечник	10^{-1}

позволили установить количественные различия в содержания основной, сопровождающей и остаточной микрофлоры пищеварительного тракта исследованных животных. Установлено,

что бифидобактерии составляют основную микрофлору обследованных отделов пищеварительного тракта норок (желудок, тонкий и толстый кишечник) независимо от возраста и иммунологического состояния. Наименьшая концентрация бифидобактерий в каждом из обследованных отделов пищеварительного канала наблюдалась в группе животных, получавших инъекции тимогена с целью повышения иммунореактивности макроорганизма. Не обнаружено влияния возрастного фактора на концентрацию бифидобактерий в содержимом желудка. В содержимом тонкого и толстого кишечника 1,5-годичных норок обнаружена, большая концентрация бифидобактерий, чем в тех же отделах кишечника 2,5-годичных животных. По-видимому, это зависит от ухудшения условий для развития бифидобактерий в организме взрослеющих животных, что создает возможность для проникновения в микробиоценоз кишечника патогенных и условно патогенных бактерий.

Количество молочнокислых бактерий, находящихся в пищеварительном тракте норок, только на порядок ниже, чем концентрация бифидобактерий в нем. Исключением оказался тонкий кишечник 1,5-годичных норок (1 группа), у которых содержание молочнокислых и бифидобактерий было одинаковым. В связи с тем, что молочнокислые бактерии обладают способностью продуцировать не только органические кислоты, но и другие биологически активные вещества, угнетающие рост патогенной микрофлоры, проникающей в пищеварительный тракт животного, то поддержание стабильного и достаточно высокого уровня этих бактерий в кишечнике животных предупреждает их заболевания и способствует нормальному росту и развитию организма. Этим, вероятно, и объясняется тот факт, что у более молодых норок (1,5 г) содержание молочнокислых бактерий в желудке, тонком и толстом кишечнике устойчиво выше, чем у более зрелых самок (2,5 г), вес которых лишь незначительно больше, чем у 1,5-годичных. Более низкий уровень содержания молочнокислых бактерий в пищеварительном тракте тимогенстимулированных норок объясняется изменением иммунореактивности их организма и ингибиторным действием тканей кишечника этих животных на развитие бактерий.

Среди молочнокислых бактерий, выделенных из желудка норок 1 и 3 групп, преобладали штаммы *L. helveticus*, особенно у более молодых животных (1,5 г). Отличительной особенностью их является рост при 45°C. Формирование такой микрофлоры обусловлено селективным воздействием места обитания (желудок) у теплокровного животного и их большей устойчивостью к низким дозам радиации.

Среди выделенных и идентифицированных молочнокислых палочек отсутствовали *L. fermentum*, ранее выделенные нами от норок (самцов). Этот факт можно объяснить либо половыми различиями наблюдаемых животных, либо ограниченностью объектов исследования. Однако представители облигатных гетероферментативных видов – *L. buchneri* – были нами выделены из желудка 2,5-годичных норок, подвергавшихся обработке тимогеном и без нее. Это дает основание при формировании рациона самок норок рекомендовать вводить в их корм препараты, содержащие живые культуры бифидобактерий и молочнокислых палочек – *L. fermentum*. Хотя энтерококки обнаруживались в содержимом пищеварительного тракта значительно реже, чем молочнокислые палочки, однако их роль в создании микробного барьера против патогенной микрофлоры может быть весьма, существенной.

Следует отметить, что среди энтерококков, выделенных из кишечника, значительную часть составляют штаммы *S. faecium*.

Не обнаружено существенных различий содержания кишечных палочек в разных отделах пищеварительного тракта норок (самок) разного возраста и иммунологического состояния. В связи с тем, что данная группа бактерий не отличается заметной антагонистической активностью и играет роль дополнительного стабилизирующего фактора нормальной микрофлоры, введение их в корм норок нецелесообразно.

Биологическая роль дрожжей, как остаточной микрофлоры пищеварительного тракта, может оказаться заметной при нарушении состава основной и сопутствующей микрофлоры, резком возрастании численности дрожжей на фоне дисбактериоза с последующим развитием кандидоза.

Таким образом, установлено, что у норок (самок) наблюдаются различия в составе основной (бифидобактерии), сопутствующей (молочнокислые палочки, энтерококки, кишечные палочки) и остаточной (дрожжи) микрофлоры в зависимости от возраста, иммунологического состояния и исследуемого отдела желудочно-кишечного тракта животного.

1. Аманов М.А. Количественные взаимоотношения отдельных представителей микрофлоры желудочно-кишечного тракта экспериментальных животных (крыс) в норме и при иммуносупрессии имураном // Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол. - 1983. - С. 77-80.
2. Кафарская Л.И., Ефимов Б.А., Гладько И.А. и др. Изучение состояния микрофлоры кишечника у лиц, находящихся в контакте с различными антимикробными препаратами // Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол. - 1991. - № 9. - С. 25-27.
3. Квасников Е.И., Нестеренко О.А. Молочнокислые бактерии и пути их использования. - М.: Наука, 1975. - 384 с.
4. Клемпарская Н.Н., Шальнова Г.А. Аутофлора как индикатор радиационного поражения организма // М.: Медицина, 1966.
5. Коришунов В.М., Пинегин Б.В., Мальцев В.Н., Кисина Е.В. и др. Влияние антибиотиков и препаратов бифидобактерий на микрофлору кишечника мышей, облученных γ -квантами // Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол. - 1980. № 7. - С.25 - 29.
6. Петраков А.А., Вильшанская Ф.Л., Гаврилов А.Ф. Количественное содержание бактериоидов в кишечнике людей в норме и при дисбактериозе // Микробиол. журн. - 1983. - 45, № 1, С. 46-50.
7. Петровская В.Г., Марко О.П. Микрофлора человека в норме и патологии. - М.: Медицина. - 1976. - 232 с.
8. Сорокин В.В., Тимошко М.А., Николаева А.В. Нормальная микрофлора кишечника животных. - Кишинев: Штиинца, 1973. - 78 с.
9. Суденко В.И., Грома Л.И., Подгорский В.С. Исследование микрофлоры желудочно-кишечного тракта норок, содержащихся в зоне ЧАЭС и вне ее // Микробиол. журн. - 1995. - 57, № 2, С. 54-60.
10. Суденко В.И., Нагорная С.С., Грома Л.И. Кишечная микрофлора людей подвергшихся радиационному поражению // Микробиол. журн. - 1992. - 54, № 4. - С. 16-20.
11. *Bergey's manual of determinative bacteriology*. - 8-th ed. - Baltimore: Williams and Wilkins Co., 1974. - 1268 p.
12. *Drassar B.S., Hill M.J. Human intestinal flora*. - London, New-York, San Francisco: Acad. press, 1974. - 263 p.
13. *Puler R. The normal intestinal flora of the pig. IV. The effect of dietary supplements of penicillin, chlortetracycline or copper sulphate on the faecal flora* // J. Appl. Bacteriol. - 1960. - 23, N 2. - P.195 - 205.
14. *Hentges D.J. Human intestinal microflora in health and disease* // Cancer Res. - 1983. - 43, N 3. - P.703 - 707.
15. *The Yeasts. A taxonomic study* // Ed. N.J.W. Kreger van Rij. - Amsterdam: Elsevier Scienc Publishers B.V. - 1984. - 1082 p.

Институт микробиологии и вирусологии НАН Украины, Киев
Научно-технический центр НПО "Припять", Чернобыль
Поступила 15.03.95

УДК 612.822.2: 614.876

Т. М. Мишунина, Л. Е. Калининская, Л. И. Пилькевич,
В. Я. Кононенко, В. И. Рясенко, Т. И. Богданова
**СОСТОЯНИЕ МЕДИАТОР/МОДУЛЯТОРНЫХ СИСТЕМ МОЗГА НОРОК
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РАДИАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ
10-КИЛОМЕТРОВОЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС**

Исследована активность ферментов обмена важных медиатор/модуляторов центральной нервной системы - аденозина, ангиотензина и ГАМК, а также специфическое связывание ^{14}C -ГАМК синаптическими мембранами структур мозга норок, которые разное время (0,5 месяца - 3 года) находилась в условиях 10-километровой зоны ЧАЭС. Показано, что активность аденозиндеаминазы, ангиотензин-превращающего фермента и глутаматдекарбоксилазы существенно изменяется в гипоталамусе, стриатуме, гиппокампе, мозжечке, коре больших полушарий, продолговатого и среднего мозга норок. Разнообразие изменений, их регионарность и зависимость от времени пребывания животных в условиях действия радиационных факторов 10-километровой зоны ЧАЭС может быть причиной возникновения тяжелых осложнений со стороны не только нервной, но и других систем организма.

Несомненной и наиболее важной заслугой клеточной радиобиологии является установление дозовой зависимости сроков пострadiационной гибели организма от

преимущественного поражения различных клеточных систем [1]. Количественные и временные закономерности гибели и восстановления радиочувствительных клеточных популяций были предметом большого числа исследований и отражены в ряде общеизвестных обзоров и монографий.

Однако реакция целостного организма на действие ионизирующего излучения не исчерпывается только поражением радиочувствительных тканей, а представляет собой сложнейшую цепь явлений, которые последовательно развиваются в структурах различных функциональных систем организма [2]. К их числу, прежде всего, относится нервная система, эволюционно предназначенная контролировать адаптацию организма к экстремальным воздействиям. Поэтому, одними из важнейших в проблеме влияния радиации на организм, являются исследования центральных механизмов адаптации, лежащих в основе как нейроэндокринных эффектов повреждающего действия радиации, так и нарушения многих иных жизненно важных функций организма. В настоящее время накоплены многочисленные факты, свидетельствующие о значительной роли функциональных сдвигов в центральной нервной системе (ЦНС), особенно в диэнцефальной области, в клинических проявлениях отдаленных последствий действия радиации [3]. Так, преждевременное старение с характерными нарушениями адаптивных возможностей организма оказывается прямо связанной с состоянием регулирующих систем мозга. Тем не менее, не только количественные, но и качественные характеристики изменений последних при действии радиации исследованы крайне недостаточно [1].

Это особенно относится к изучению медиатор/модуляторных механизмов, играющих ведущую роль в обеспечении адаптации ЦНС к изменению условий внешней среды. Среди нейромедиаторов наше внимание в исследуемой проблеме привлекли гамма-аминомасляная кислота (ГАМК), ангиотензин и аденозин, важное значение которых в регуляции многих физиологических функций организма доказано. Активное участие указанных биологически активных соединений в деятельности нервной системы

© Т.М. Мишунина, Л.Н. Калинская, Л.И. Пилькевич, Б.Я. Кононенко, В.И. Рясенко, Т.И. Богданова, 1996

90

проявляется широким спектром биологической активности - их участием в регуляции функции эндокринной, сердечно-сосудистой, пищеварительной, вестибулярной, сенсорной, иммунной, дыхательной, выделительной и репродуктивной систем, в механизмах анальгезии, контроля приема пищи, привыкания к различным химическим веществам, адаптации к гипоксии, возникновения возрастных сдвигов в поведении, в осуществлении стрессорных реакций и др. [4-14]. В то же время роль этих модуляторов/медиаторов в пострадиационных нарушениях функций мозга либо не изучена (аденозин, ангиотензины), либо изучена односторонне (ГАМК) [15]: исследования проводили или при локальном облучении головы, или при общем облучении животных рентгеновскими и γ -лучами в летальных дозах, рассматривая импульс ионизирующей радиации в качестве своеобразного раздражителя, специфически активирующего эндогенную ритмику мозга [16].

Изучение содержания медиаторов, их обмена и рецепции в условиях длительного, в том числе и начиная с момента рождения животного, воздействия радиации в сочетании с попаданием радионуклидов внутрь организма (условия 10-километровой Зоны отчуждения ЧАЭС) не проводилось, но представляется чрезвычайно важным, так как в этом случае наиболее ярко проявляется многогранное действие радиации - непосредственное влияние на клетки мозга, структуру их биополимеров, биомембран и ферментативных систем и опосредованное, реализация которого проявляется через модификацию других функциональных систем или обусловлена радиотоксинами периферического происхождения [17-19].

Учитывая изложенное выше, целью настоящей работы является изучение влияния длительного (месяцы-годы) и постоянного действия ионизирующего излучения низкой интенсивности (преимущественно за счет попадания радионуклидов внутрь организма) на состояние ГАМК-ергической, ренин-ангиотензиновой и аденозин-ергической систем различных отделов и структур мозга норки.

Для характеристики функционального состояния указанных медиаторных систем исследовали активность глутаматдекарбоксилазы (фермента синтеза ГАМК),

ангиотензин-превращающего фермента (ключевого фермента ренин-ангиотензиновой системы, катализирующего образование гипертензивного пептида ангиотензина 11 из неактивной формы) и аденозиндезаминазы (фактора, ограничивающего действие аденозина) в гипоталамусе, гиппокампе, стриатуме, среднем мозге, мозжечке, коре мозга и продолговатом мозге контрольных и подопытных норок. Кроме того, определяли специфическое связывание ^{14}C -ГАМК синаптическими мембранами, выделенными из ткани коры мозга и продолговатого мозга.

В настоящей работе использовано 23 норки (самцы), различного время содержавшихся в условиях зверофермы НПО "Припять": в течение 2-х недель - 4,6-ти месяцев - 5 (второе поколение, рождены от родителей, проживавших два года перед оплодотворением в условиях 10-километровой зоны), 1,5 лет - 6,2-х лет - 4 и 3-х лет - 4 животных. Норки получали корм, производимый в районах 30-километровой зоны ЧАЭС, в том числе рыбу из пруда-охладителя ЧАЭС. Контрольную группу составляли животные (11 норок 0,5-1,5-летнего возраста), обитавшие в условиях житомирской и черкасской звероферм. Забой норок проводили с помощью миорелаксантов, мозг извлекали из черепной коробки немедленно, разделяли на структуры и замораживали для транспортировки в лабораторию.

91

Активность ферментов определяли в гомогенатах, приготовленных на 0,32 М растворе сахарозы. Активность глутаматдекарбоксилазы устанавливали флуориметрическим методом по количеству ГАМК, образовавшейся за время инкубации из глутамата [20]; активность ангиотензин-превращающего фермента определяли с помощью флуоресцентного метода [21], используя в качестве субстрата гиппурил-гистидил-лейцин; активность аденозиндезаминазы - фенол-гипохлоритным методом по количеству аммиака, ферментативно образовавшегося из использованного в качестве субстрата аденозина [22]. Содержание белка устанавливали по методу Lowry [23] или по одной из его модификаций [24].

Синаптические мембраны из ткани исследованных отделов мозга получали после отделения фракции ядер (2,5 тыс. об/мин, 10 мин.). Супернатант разбавляли бидистиллированной водой (20 V), замораживали при -20°C на 18-20 ч, оттаивали и центрифугировали при 40000 g, 4°C в течение 20 мин. Полученные синаптические мембраны трижды промывали 50 мМ трио-цитратным буфером pH 7,4 с последующим осаждением при 40 000 g и оставляли при -20°C . Непосредственно перед опытом мембранную фракцию ресуспендировали в свежем трио-цитратном буфере. Аликвоту белка мембран (0,7-1 мг) инкубировали 15 мин при 0°C в 50 мМ трис-цитратном буфере с 25 пикомоль ^{14}C -ГАМК ("Amersham", Великобритания, удельная радиоактивность 200 мКи на мМ) в пробирках фирмы "Beckman" (США). Реакцию останавливали центрифугированием проб при 40000 g; к осадку белка приливали сцинтилляционную жидкость ЖС-8. Подсчет радиоактивности проводили на жидкостном сцинтилляционном счетчике LS500TA фирмы "Beckman". Специфическое связывание ^{14}C -ГАМК устанавливали как разницу между общим (в отсутствии) и неспецифическим (в присутствии 10^{-3} М немеченной ГАМК) связыванием. Количество связавшейся ^{14}C -ГАМК выражали в пикомолях на миллиграмм белка мембран. Полученные данные обработаны статистически с использованием критерия Стьюдента и непараметрического критерия Вилкоксона-Манна-Уитни [25, 26].

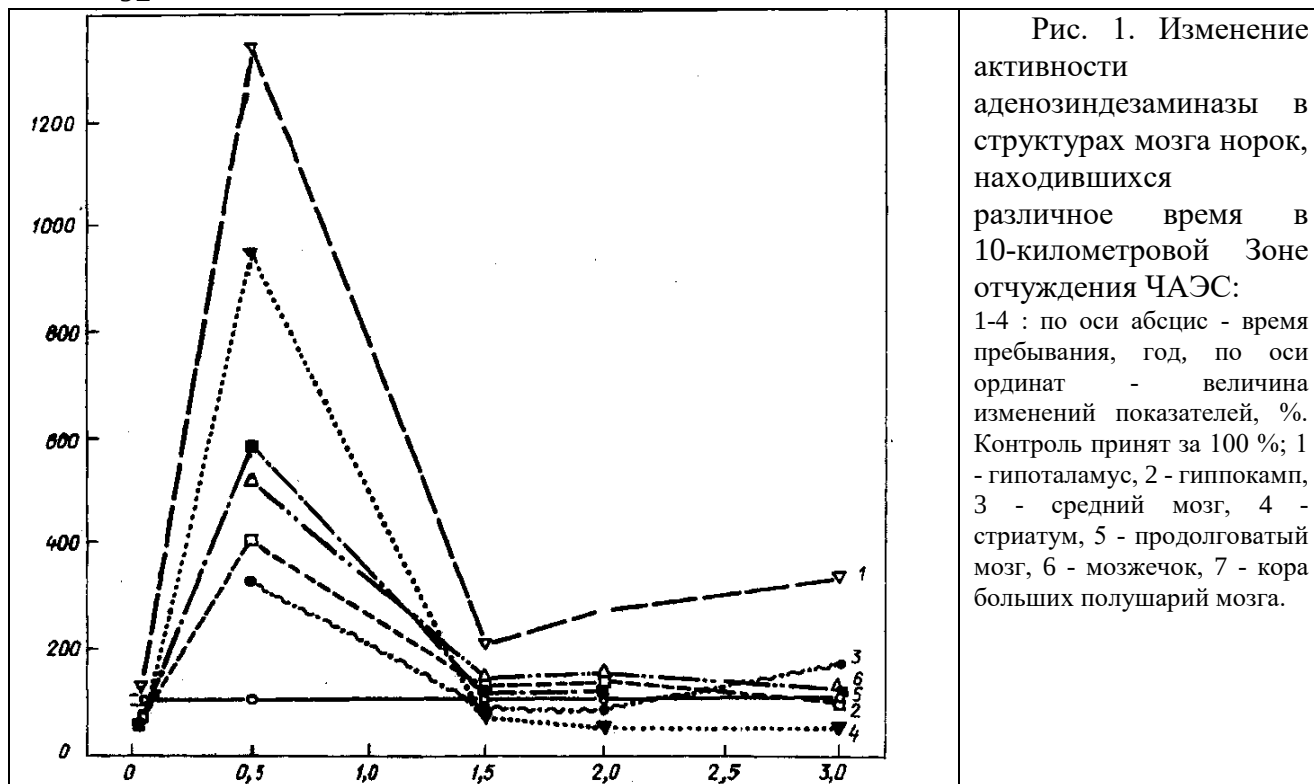
Активность аденозиндезаминазы у контрольных норок имела выраженные региональные особенности (таблица). Ее активность была значительно выше в гипоталамусе и среднем мозге, несколько ниже в коре мозга, еще ниже и практически одинаковой в гиппокампе, стриатуме, мозжечке и продолговатом мозге.

Активность ангиотензин-превращающего фермента (нмоль гис-лей-мин/мг белка), аденозиндезаминазы (наномоль аммиака·мин/мг белка) и глутаматдекарбоксилазы (мкмоль ГАМК·ч/мг белка) в различных отделах мозга контрольных норок ($M \pm m$, $n=5-6$)

Структура мозга	Активность		
	Аденозин-дезаминазы	Ангиотензин-превращающего фермента	Глутамат-декарбоксилазы
Гипоталамус	0,84 $\pm$ 10,15	0,27 $\pm$ 0,01	0,38 $\pm$ 0,05

Гиппокамп	$0,59 \pm 0,11$	$0,27 \pm 0,02$	$0,13 \pm 0,01$
Стриатум	$0,58 \pm 0,05$	$0,24 \pm 0,01$	$0,15 \pm 0,01$
Средний мозг	$0,87 \pm 0,19$	$0,30 \pm 0,02$	$0,28 \pm 0,04$
Кора мозга	$0,73 \pm 0,09$	$0,18 \pm 0,01$	$0,25 \pm 0,02$
Мозжечок	$0,59 \pm 0,10$	$0,30 \pm 0,02$	$0,30 \pm 0,01$
Продолговатый мозг	$0,56 \pm 0,18$	$0,20 \pm 0,01$	$0,22 \pm 0,02$

92



Полученные нами данные о региональных различиях активности аденозиндезаминазы согласуются с наблюдениями других авторов для животных иных видов [27-29], которые при исследовании активности аденозиндезаминазы в различных структурах ЦНС пришли к выводу о том, что в гипоталамусе активность изучаемого фермента в несколько раз выше, чем в гиппокампе.

Исследования активности ангиотензин-превращающего фермента в различных структурах мозга контрольных норки показали, что наиболее высокая активность фермента выявлена в гипоталамусе, гиппокампе, среднем мозге и мозжечке, более низкая - в коре мозга и продолговатом мозге.

Активность глутаматдекарбоксилазы наиболее высокая в гипоталамусе, высокая в мозжечке, среднем мозге, коре больших полушарий мозга, продолговатом мозге, и низкая в гиппокампе и стриатуме. Подобное распределение активности фермента синтеза ГАМК в мозге норки несколько отличается от такового в мозге других животных, где высокая активность глутаматдекарбоксилазы наблюдается в гипоталамусе, гиппокампе, среднем мозге, мозжечке, а низкая - в коре мозга и продолговатом мозге [30 -31].

Анализируя зависимость изменений активности аденозиндезаминазы от времени пребывания норки в 10-километровой Зоне отчуждения (рис. 1), необходимо отметить снижение активности фермента в гиппокампе и коре мозга животных при коротком сроке (две недели) их нахождения в зоне. При шестимесячном сроке пребывания животных

93

в условиях 10-километровой Зоны отчуждения ЧАЭС наблюдали резкое увеличение активности фермента во всех исследуемых структурах мозга норки, сменяющееся затем таким

же резким снижением активности аденозиндезаминазы к 1,5-годовалому сроку. В дальнейшем происходило небольшое, но прогрессирующее увеличение активности фермента в гипоталамусе и снижение ее в коре больших полушарий мозга при 2-3-летнем сроке пребывания животных в 10-километровой Зоне отчуждения ЧАЭС.

Следовательно, сдвиги активности аденозиндезаминазы в мозге норок зависели от срока их нахождения в Зоне. При этом у животных, пребывавших в 10-километровой Зоне отчуждения в течение двух недель, двух и трех лет, отмечена регионспецифичность изменений активности фермента метаболизма аденозина, а у норок, которые в течение шести месяцев находились в 10-километровой зоне отчуждения, наблюдались односторонние изменения активности аденозиндезаминазы во всех изученных структурах мозга. Возможно, что решающее значение в возникновении таких резких изменений активности фермента в мозге при шестимесячном пребывании норок в 10-километровой Зоне отчуждения может иметь тот факт, что норки не только длительное время находились в условиях действия радиационных факторов Зоны, но и рождены от родителей, также длительное время пребывавших в 10-километровой Зоне отчуждения ЧАЭС.

Учитывая чрезвычайно важную роль аденозина в функционировании ЦНС, в частности, не только его нейромодуляторную роль, но и нейромедиаторную роль в гипоталамусе [11, 27, 32], а также наиболее резкие и выраженные разнообразные изменения активности аденозиндезаминазы в этой структуре, которая является нейроцентром регуляции многих, в том числе и нейроэндокринных функций, можно сделать предположение о существенном значении системы аденозина в процессах адаптации организма к пребыванию в условиях повышенного радиационного фона.

Кроме того, необходимо отметить данные о радиопротекторных свойствах аденозина и его производных. Существует ряд гипотез о механизмах их противолучевого действия. Одни авторы исходят из того, что указанные метаболиты проникают в клетки и используются для восстановления клеточного фонда макроэргов и активации биосинтетических процессов [33]. Другие считают, что аденозин и адениновые нуклеотиды воздействуют через специфические аденозиновые рецепторы [34]. В пользу гипотез, поддерживающих вторую точку зрения, приводятся данные о том, что защитное действие подкожных инъекций аденозина и адениновых нуклеотидов у мышей при рентгеновском облучении, устраняется алкилксантинами, которые конкурируют с аденозином за его рецепторы на клеточной поверхности и дипиридамолом, ингибирующим транспорт аденозина в клетки [34]. В любом случае защитный эффект аденина, аденозина и адениновых нуклеотидов при ионизирующем облучении можно рассматривать как еще одно доказательство важной роли пуринового обмена в патогенезе радиационных нарушений.

При анализе результатов исследований влияния различного срока пребывания норок в условиях постоянного воздействия радиационных факторов обращают на себя внимание данные о повышении активности ангиотензин-превращающего фермента в структурах мозга норок, находившиеся в 10-километровой Зоне ЧАЭС в течение сравнительно непродолжительного времени: при двухнедельном пребывании достоверное повышение ферментативной активности отмечено в гипоталамусе, гиппокампе и стриатуме, при шестимесячном - в гипоталамусе (рис. 2).

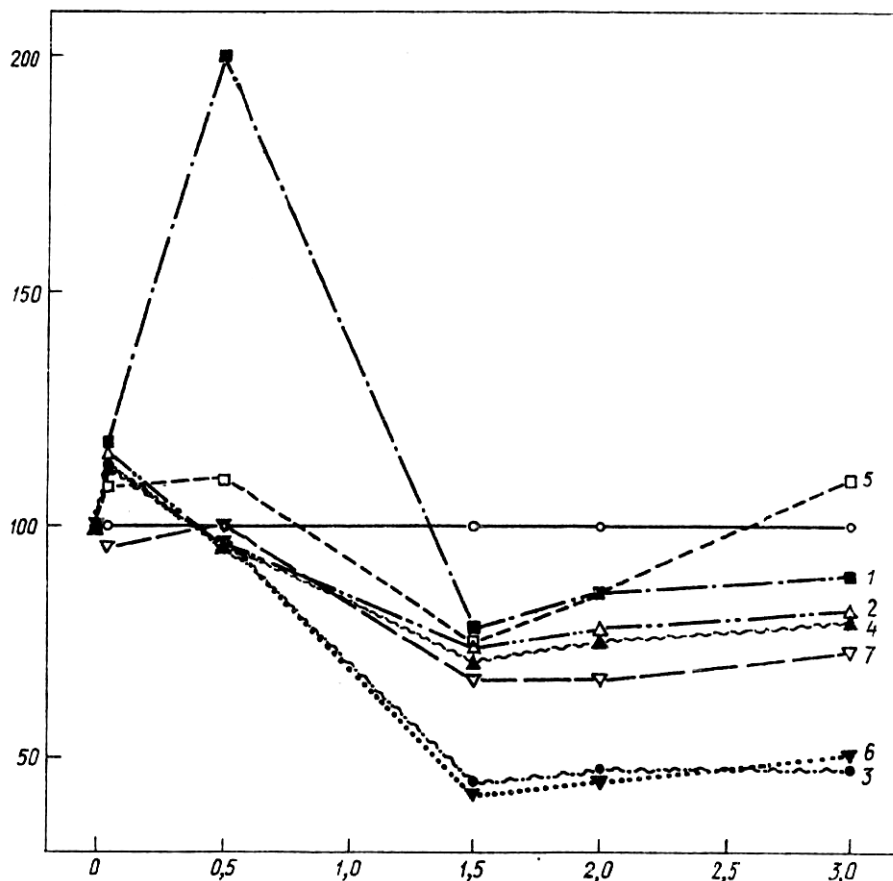


Рис. 2. Изменение активности ангиотензин-превращающего фермента в структурах мозга норок, находившихся различное время в 10-километровой Зоне отчуждения ЧАЭС.

При сопоставлении этих данных с результатами исследований влияния более длительного пребывания норок в 10-километровой Зоне отчуждения ЧАЭС видно, что повышение активности ангиотензин-превращающего фермента, наблюдаемое нами в гипоталамусе, гиппокампе и стриатуме норок, находившихся в Зоне отчуждения ЧАЭС в течение 0,5-6 мес., сменяется через 1,5, 2 и 3 года снижением активности фермента в исследованных отделах мозга. Достоверное снижение активности фермента отмечено в гипоталамусе, гиппокампе, стриатуме, среднем мозге, коре больших полушарий мозга, мозжечке и продолговатом мозге. При этом следует отметить, что снижение ферментативной активности более выражено в мозге норок, находившихся в Зоне отчуждения ЧАЭС в течение 1,5 лет по сравнению с более продолжительным сроком, когда отмечена даже нормализация активности ангиотензин-превращающего фермента в гипоталамусе и продолговатом мозге.

Следовательно, в наших исследованиях отмечена определенная фазность изменений активности ангиотензин-превращающего фермента в мозге норок в зависимости от продолжительности пребывания животных в Зоне отчуждения ЧАЭС - повышение ферментативной активности через 0,5-6 месяцев, снижение в исследованных отделах через 1,5, 2 и 3 года с нормализацией ферментативной активности в гипоталамусе и продолговатом мозге через три года.

Принимая во внимание данные о том, что ангиотензины играют важную роль в регуляции нейроэндокринных взаимоотношений, оказывая влияние на секрецию гормонов гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы [35], повышение активности ангиотензин-превращающего фермента в гипоталамусе норок через 0,5-6 месяцев пребывания в Зоне отчуждения ЧАЭС может быть одним из факторов активации системы гипоталамус-гипофиз, которая, как считают, является ранним проявлением лучевого воздействия на организм людей [36]. Снижение активности ангиотензин-превращающего фермента через 1,5-2 года пребывания в Зоне отчуждения ЧАЭС и частичная нормализация ферментативной активности в гипоталамусе и продолговатом мозге через три года, очевидно,

имеет компенсаторный характер и направлено на нормализацию нейроэндокринных взаимоотношений.

Учитывая важную роль центральной ренин-ангиотензиновой системы, в частности, ангиотензина 11 гипоталамуса и продолговатого мозга в регуляции артериального давления, можно полагать, что динамика изменений активности ангиотензин-превращающего фермента при пребывании животных в 10-километровой Зоне отчуждения ЧАЭС свидетельствует о том, что они развиваются как приспособительные реакции. Известно, что при переходе лабильной формы гипертензии в стабильную, характерным для животных и людей является снижение показателей нейрогуморальных прессорных систем регуляции артериального давления, в частности ренина и ангиотензин-превращающего фермента [37, 38].

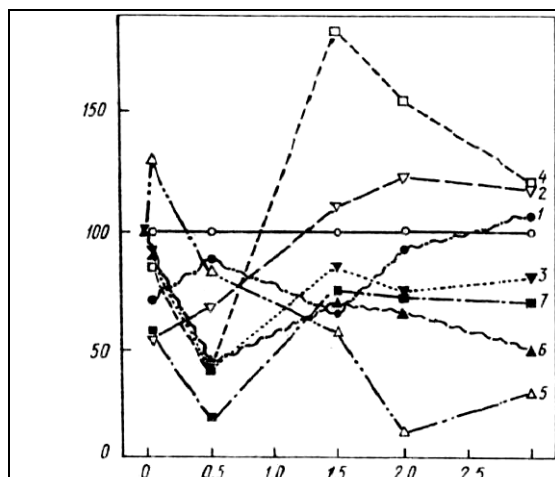


Рис. 3. Изменение активности глутаматдекарбоксилазы в структурах мозга норок, находившихся различное время в 10-километровой Зоне отчуждения ЧАЭС.

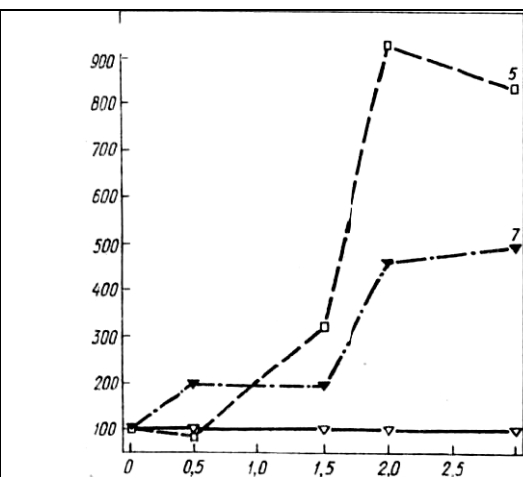


Рис. 4. Изменение специфического связывания ^{14}C -ГАМК синаптическими мембранами структур мозга норок, находившихся различное время в 10-километровой Зоне отчуждения ЧАЭС.

Анализируя полученные данные о влиянии различного срока пребывания норок в зоне постоянного действия ионизирующего излучения на состояние ГАМК-ергической системы (рис. 3), можно выделить две группы структур мозга, реакция обмена медиатора в которых существенно различается. К первой следует отнести гипоталамус, гиппокамп, средний мозг и стриатум. В этих структурах отмечено снижение интенсивности синтеза ГАМК в первые из изученных сроков пребывания животных в 10-километровой Зоне отчуждения ЧАЭС (в гиппокампе, среднем мозге и стриатуме - 6 мес, а в гипоталамусе - 1,5 года). В дальнейшем (1,5-3 года) активность фермента нормализуется в гипоталамусе,

96

гиппокампе и среднем мозге, резко возрастает в стриатуме (1,5 года) с нормализацией ее в этой структуре в поздние сроки (3 года) пребывания норок в условиях постоянного воздействия радиационных факторов. Подобный характер изменений активности фермента синтеза основного тормозного медиатора мозга, принимающего участие в формировании адекватных нейрохимических и физиологических реакций, может свидетельствовать об адаптации в указанных отделах механизмов, использующих ГАМК-ергическую медиацию, к длительному пребыванию животных в условиях повышенного радиоактивного излучения.

Вторую группу структур мозга составили кора мозга, мозжечок и продолговатый мозг, где снижение активности глутаматдекарбоксилазы через 6 мес. пребывания животных в 10-километровой Зоне отчуждения ЧАЭС наблюдается и в более поздние сроки (1,5-3 года); при этом следует отметить прогрессирующее падение интенсивности синтеза медиатора в продолговатом мозге. Снижение активности глутамат-декарбоксилазы и снижение, вследствие этого, уровня ГАМК в этих отделах, особенно в коре мозга является важным фактором в поддержании гипервозбудимости мозга [39] при действии радиации.

Наряду с резким снижением интенсивности синтеза ГАМК в продолговатом мозге отмечено значительное увеличение рецептирования медиатора в коре больших полушарий и продолговатом мозге. Так, синтез аминокислоты в продолговатом мозге падает в 1,7, 3 и 6 раз соответственно при 1,5, 2 и 3-летнем пребывании норки в зоне, а рецепция ГАМК возрастает соответственно в 3, 9 и 8 раз (рис. 4). Учитывая значение расположенных в продолговатом мозге центров регуляции жизненно важных функций организма и участие ГАМК в центральных механизмах контроля многих физиологических процессов, подобное критическое состояние ГАМК-ергической системы продолговатого мозга может явиться причиной появления в условиях длительного воздействия радиации тяжелых осложнений со стороны не только и не столько нервной системы организма, сколько других систем.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о значительном нарушении в условиях длительного и постоянного воздействия ионизирующего излучения низкой интенсивности с попаданием радионуклидов внутрь организма процессов, обмена и рецептирования в мозге таких важных нейромедиаторов/нейромодуляторов как аденозин, ангиотензин и ГАМК. Разнообразность изменений, их регионспецифичность и зависимость от длительности пребывания животных в условиях действия радиационных факторов 10-километровой Зоны отчуждения ЧАЭС может быть связана с возникновением при действии ионизирующего излучения многочисленных, обратимых (временных) или необратимых и тяжелых дефектов в нервной системе (функциональные изменения в нейронах, органическое поражение нейрональных элементов, демиелинизация проводников, сосудистые расстройства, появление выраженных очаговых некрозов в мозге и др.), приводящих к возникновению тяжелой патологии мозга [1].

1. Москалев Ю.И. Отдаленные последствия ионизирующего излучения. - М.: Медицина, 1991. - 463 с.
2. Козгл Д.И. Биологические эффекты радиации // Радиационная медицина. - 1987. - № 1. - С. 3-15.
3. Ливанов М.Н. Проблемы действия ионизирующей радиации на нервную систему. - М.: Госмедиздат, 1962. - 80 с.
4. De Feudis F. Involvement of GABA and other inhibitory amino acids in thermoregulation // Gen. Pharmacol. - 1984. - 15, N 6. - P. 445 - 449.

97

5. De Feudis F. GABA and respiratory function // Gen. Pharmacol. - 1984. - 15, N 6. - P. 441 - 445.
6. Elias A., Valenta L., Szekeres A. et al. Regulatory role of gamma-aminobutyric acid in pituitary hormone secretion // Psychoneuroendocrinology. - 1982. - 7, N 1. - P. 15-30.
7. Раевский К.С., Георгиев В.П. Медиаторные аминокислоты: нейрофармакологические и нейрохимические аспекты. - М.: Медицина, 1986. - 240 с.
8. Drugan R., Morrow A., Weizman R. et al. Stress-induced behavioral depression in the rat is associated with a decrease in GABA receptor - mediated chloride ion flux and brain benzodiazepine receptor occupancy // Brain Res. - 1989. - 487, N 1. - P. 45-51.
9. Langwinski R. Bol a neuroprzekazniki // Post. big. i med. dosw. - 1986. - 40, N 4. - P. 401-419.
10. Димитренко И.П. Аденозин, его метаболизм и возможные механизмы участия в функции клеток иммунной системы // Успехи соврем. биологии. - 1984. - 97, вып. 1. - С. 20-36.
11. Dorflinger L., Schonbrunn A. Adenosine inhibits prolactin and growth hormone secretion in a clonal pituitary cell line // Endocrinology. - 1985. - 117, N 6. - P. 2330-2338.
12. Елисеев В.В., Полтавченко Г. М. Роль аденозина в регуляции физиологических функций организма. - Санкт-Петербург: Наука, 1991. - 120 с.
13. Поляк М.Г. Ангиотензин-образующая система мозга и регуляция водно-электролитного обмена и гемодинамики // Пробл. эндокринологии. - 1986. - 22, № 4. - С. 84-90.
14. Yanong W.F. The brain renin-angiotensin system // Ann. Rev. Physiol. - 1984. - 46. - P. 17-31.
15. Розанов В.А. Метаболическая роль ГАМК-шунта в центральной нервной системе при экстремальных состояниях // Успехи совр. биол. - 1989. - 107, № 3. - С. 375-390.
16. Дудкин А.О. Некоторые особенности реакций нервных клеток млекопитающих на малые дозы радиации // Радиобиология. - 1988. - 28, № 5. - С. 663-667.
17. Мороз Б.Б., Кендыш И.И. Радиобиологический эффект и эндокринные факторы. - М.: Атомиздат, 1975. - 232 с.
18. Свердлов А.Г. Опосредованное действие ионизирующих излучений. - М.: Атомиздат, 1968. - 102 с.
19. Патологическая физиология экстремальных состояний // Ред. П.Д. Горизонтов, Н.Н. Сиротинин. - М.: Медицина, 1973. - 383 с.
20. Graham I., Aprison M. Distribution of some enzymes associated with the metabolism of glutamine in rat spinal cord // J. Neurochem. - 1969. - 16, N 4. - P. 559-566.
21. Yang Y., Neff N. Distribution and properties of angiotensin converting enzyme of rat brain // J. Neurochem. - 1972. - 19, N 10. - P. 2443-2450.

22. Магарламов А.Г. Определение активности аденозиндезаминазы по фенол-гипохлоритной реакции // Укр. биохим. журн. - 1980. - 52, № 4. - С. 446-452.
23. Lowry O.H., Rosenrough N.J., Levis et al. Protein measurement with the Folin phenol reagent // J. Biol. Chem. - 1951. - 193, N 10. - P. 2443-2450.
24. Hartree T. Determination of protein: A modification of Lowry method that gives a linear photometric response // Anal. Biochem. - 1972. - 48, N 2. - P. 422-427.
25. Ойвин М.А. Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований // Патол. физиология и эксперим. терапия. - 1967. - № 4. - С. 76-86.
26. Гублер Е.В., Генкин А.А. Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях. - Л.: Медицина, 1973. - 141 с.
27. Geider J., Nagy J. Regional distribution and ontogenesis of adenosine deaminase activity in rat CNS // Pflugers Arch. - 1986. - 407, Suppl. 1. - P. 42.
28. Nagy J.J., Lobella L.A., Buss M. Immunohistochemistry of adenosine deaminase: implications of adenosine neurotransmission // Science. - 1984. - 224, N 4646. - P. 186-168.
29. Patel B.T. Adenosine deaminase distribution in the brains of mammals // Pflugers Arch.. - 1986. - 407, Suppl. 1. - P. 44.
30. Сытинский И.А. ГАМК - медиатор торможения. - Л.: Наука, 1977. - 139 с.
31. Vincent S., Hokfelt T., Wu J. GABA neuron system in hypothalamus and the pituitary gland // Neuroendocrinology. - 1982. - 34, N 2. - P. 117-125.

98

32. Nicholson S. The influence of adenosine on pituitary-adrenocortical axis in the rat // J. Physiol. (Gr. Brit.). - 1988. - 396. - P. 126.
33. Дмитренко Н.П. Пуриновый обмен и его регуляция в лимфоцитах. - Киев: Наук. думка, 1991. - 197 с.
34. Кулинский В.И., Климова А.Д., Филипович И.В. Исследование радиозащитного эффекта различных нуклеозидов и нуклеотидов и механизма действия аденозина // Радиология. - 1988. - 28, № 2. - С. 230-235.
35. Muracami K., Yanong W. Site at which angiotensin 11 acts to stimulate ACTH secretion // Neuroendocrinology. - 1987. - 46, N 3. - P. 231-236.
36. Иванецкая И.Ф. Функциональное состояние гипоталамико-адренкортикальной системы в отдаленные сроки после радиационного воздействия // 11 Всерос. съезд эндокринологов. Тез. докл. - 1991. - С. 253-254.
37. Шабров А.В. "Низкорениновые" формы гипертонической болезни и гипоталамико-адренкортикальная дисфункция // Бюлл. эксперим. биол. и мед. - 1987. - N 2. - С. 99-100.
38. Алмазов В.А., Соколова Л.А., Суковатова Н.М. Некоторые показатели ренин-ангиотензиновой системы периферической крови и калликреин-кининовой системы почек при гипертонической болезни // Кардиология. - 1982. - 22, № 3. - С. 25-29.
39. Поздеев В.К. Медиаторные процессы и эпилепсия. - Л.: Наука, 1983. - 112 с.

Институт эндокринологии и обмена веществ им. В.П. Комиссаренко АМН Украины, Киев,
Научно-технический центр НПО "Припять", Чернобыль
Поступила 15.03.95

99

УДК 591.84:577.391

Л. И. Носова, В. И. Рясенко, Н. В. Родионова ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ДОЗ РАДИАЦИИ НА КРОВЕТВОРНУЮ ФУНКЦИЮ КОСТНОГО МОЗГА ПОЗВОНОЧНЫХ

Работа посвящена изучению влияния малых доз радиации на кроветворную функцию костного мозга норок зверофермы Чернобыля: и серых крыс-пасюков, отловленных в 30-километровой зоне ЧАЭС. Используются общепринятые гематологические методики и оригинальный тест, с помощью которого определяются адаптационные возможности организма по индексу гетерофилов в периферической крови. Установлено, что у норок наблюдаются рецидивирующие тромбоцитопении, омоложение популяции нейтрофилов и резкое снижение компенсаторно-приспособительных реакций организма. Характер крови серых крыс (лимфоцитарных в норме) приобретает нейтрофильную ориентацию, наблюдается напряжение компенсаторно-приспособительных реакций в популяции гранулоцитов, ответственных за обеспечение естественного иммунитета. Прогнозируется развитие мастоцитоза (одного из видов гемабластозов).

ВВЕДЕНИЕ. Последствия аварии на ЧАЭС продолжают оказывать неблагоприятное воздействие на системы и органы животных, обитающих в 30-километровой зоне в том числе и тех, что содержатся в условиях зверофермы Чернобыля (норки). Исследование основных количественных показателей периферической крови, морфофункциональных особенностей клеток костного мозга теплокровных позвоночных при хроническом облучении малыми дозами позволяет дать оценку кроветворной функции органа, где происходит гемопоэз [1-4].

Известно [5-7], что гомеостаз в организме животных, при воздействии неблагоприятных факторов окружающей среды, поддерживается благодаря многочисленным компенсаторно-приспособительным реакциям, в том числе на клеточном и субклеточном уровнях. Поскольку при радиационном воздействии наблюдается тенденция к общему ослаблению организма (признаки анемии, гемоглобинопатия, повышенная восприимчивость к инфекциям и, следовательно, снижение иммунного статуса) [8-10] актуальными и перспективными являются исследования защитных реакций организма и, в частности, факторов неспецифической резистентности: клеточных и гуморальных.

Целью данного исследования было изучение клеточного звена неспецифического (естественного) иммунитета, центральными клетками которого являются гранулоциты (нейтрофилы, эозинофилы, базофилы).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ. В 1994 г. была обследована группа из семи годовалых беременных норок, содержащихся в условиях зверофермы Чернобыля, а также четырех контрольных с зверофермы пос. Барышевка Киевской области. Животных умерщвляли введением 0,1 мл 2 % лиственона. В 30-километровой зоне ЧАЭС отловлено шесть пасюков, с массой тела по 190-200 г; контрольными служили три серые крысы из Святошино, с массой тела по 200-220 г. Крыс умерщвляли путем декапитации. Исследованы основные показатели гепаринизированной периферической крови: содержание гемоглобина (по Сали); количество эритроцитов, тромбоцитов и лейкоцитов (с использованием камеры Горяева). Мазки периферической крови и костного мозга окрашивали по Романовскому-Гимзе. Подсчитаны лейкограммы, в качестве "ноу-хау" опробирован чувствительный и информативный тест по определению содержания гетерофилов (гранулоцитов с гетерогенной зернистостью) в периферической крови [10, 11], т.е. индекса гетерофилов (ИГ). Последний отражает масштабы компенсаторно-приспособительных реакций организма и степень

© Л. И. Носова, В. И. Рясенко, Н. В. Родионова, 1996

100

их проявления. Полученные данные подвергнуты статистической обработке по Стьюденту. Для сравнения привлечены соответствующие данные за период с 1991 по 1994 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ. Ранее нами было установлено [10, 11], что при внедрении в организм чужеродных агентов, эндогенной интоксикации, а также при воздействии радиации, столь же масштабный, как и фагоцитоз, является процесс трансгрануляции [12] в популяции гранулоцитов. Впервые это было обнаружено в экспериментах при облучении белых крыс на гамма-установках в диапазоне доз от 0,3 до 6 Гр [10]. Оказалось, что при общем дефиците внутриклеточной пероксидазы (в нейтрофилах) при облучении, когда не ингибируется только эозинофилпероксидаза [6], эозинофилы выступают в роли доноров пероксидазы [13,14] и не только для нейтрофилов, но и других клеток (10, 11, 15), усиливая тем самым микробицидные системы этих клеток [16-18].

При светооптическом изучении препаратов, окрашенных по Романовскому-Гимзе, в периферической крови регистрируются гетерофилы (нейтрофилы с оксифильной реакцией части гранул, заимствованных у эозинофилов, и базофилы с примесью эозинофильных гранул). На субмикроскопическом уровне естественным маркером эозинофилпероксидазы как у норок, так и у крыс является электронно-плотный кристаллоид внутри специфических гранул эозинофилов; при передаче его или его субъединиц и регистрируется процесс трансгрануляции в костном мозге у этих животных.

Нами доказано, что при значениях ИГ от 2 до 10 компенсаторно-приспособительные реакции организма развиваются в пределах физиологической нормы; при 10-30 и больше определяется напряжение клеточных механизмов естественной защиты организма (положительный прогностический признак); при величинах ИГ меньше двух происходит смещение приспособительных реакций на патологический уровень регуляции.

Таблица 1. Основные количественные показатели периферической крови норок (1994 г.) $M \pm m$ при $P < 0,05$

Группа животных	Гемоглобин, г/л	Эритроциты, $10^{12}/л$	Тромбоциты, $10^9/л$	Лейкоциты, $10^9/л$
Опытная	140±3,4	8,0±2,3	(90)	4,0±0,6
Контрольная	120±3,0	5,6±0,3	190±19	7,0±0,4

Анализ основных гематологических показателей периферической крови показал, что у черномыльских норок, по сравнению с контрольными, выявляется тенденция к эритроцитозу, лейкопении и стойкая тромбоцитопения (табл. 1), что свидетельствует о пониженной иммунной сопротивляемости. На мазках костного мозга регистрируются медленно вызревающие мегакариоциты: снижено количество базофильных стадий, неэффективное отшнуровывание тромбоцитов у оксифильных мегакариоцитов. Если сравнивать данные по содержанию тромбоцитов в крови животных того же возраста за несколько последних лет ($103 \cdot 10^9/л$ - 1991 г.; $37 \cdot 10^9/л$ - 1992 г.; $90 \cdot 10^9/л$ - в 1994 г.), то определяется рецидивирующий характер тромбоцитопений, что скорее всего, связано с заболеваниями аутоиммунной природы [19]. Гормональный статус (в связи с беременностью) мало отражается на приведенных показателях. Лейкоцитарная формула меняется в зависимости от изменений иммунобиологических реакций организма в целом [20]. По нашим данным, лейкограммы норок (табл. 2) свидетельствуют о левом сдвиге нейтрофилов в формуле (омоложение популяции) [21].

101

Таблица 2. Лейкограммы норок (1994 г.)

Нейтрофилы палочко-сегментно-ядерные	Эозинофилы	Моноциты	Лимфоциты
Опытная группа			
(12) 48,3±2,1	(2,5)	(5)	32,7±3,7
Контрольная группа			
(9) 54,5±2,9	(1-5)	(4)	28,6±1,2

Наиболее интересной представляется ситуация с индексом гетерофилов (т.е. клеток нейтрофильного профиля с примесью эозинофильных гранул). Поскольку ИГ в периферической крови норок в 1994 г. оказался очень низким, даже по сравнению с контролем, к анализу привлечены данные по этому показателю за прошлые годы (табл. 3). Здесь представлена динамика изменений ИГ за последних четыре года. Хотя в прошлые годы нами не исследовались беременные норки, такое сравнение, все-таки, оправдано, потому что гормональный фон мало отразился на этом показателе (контрольные данные не различаются между собой достоверно). Можно констатировать резкое снижение компенсаторно-приспособительных реакций.

Таблица 3. Индекс гетерофилов периферической крови норок за период с 1991 по 1994 г.

Период	Опыт	Контроль
1991	10±0,8	3±0,4
1992	14±1,3	5±1,1
1993	16±0,8	-
1994	2±0,3	5±0,6

Таблица. 4. Основные показатели периферической крови серых крыс (1994 г.)

Группа животных	Гемоглобин, г/л	Эритроциты, $10^{12}/л$	Тромбоциты, $10^9/л$	Лейкоциты, $10^9/л$
Опытная	65±2,9	6,73±0,23	393±17,7	7,0±0,15
Контрольная	79±1,5	7,20±0,21	500±11,5	9,2±0,18

Весьма вероятно, что накопление радионуклидов в костях не только сказывается на протекании внутриутробного развития плодов (во многих случаях обнаружена патологическая беременность с теми или иными отклонениями), но может быть причиной нарушений процессов кроветворения в костном мозге и, как результат, - прогрессирующее снижение естественной устойчивости организма к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды. В норме норки имеют промежуточный характер крови, т.е. среди лейкоцитов примерно одинаковое соотношение нейтрофилов и лимфоцитов, после облучения - значительное преобладание нейтрофилов.

Основные параметры периферической крови крыс свидетельствуют об общем, хотя и незначительном, снижении показателей красной крови (табл. 4). Лейкоцитов достоверно меньше и, судя по распределению клеток в лейкограмме (табл. 5), характер крови приобретает нейтрофильную ориентацию. Динамика изменения индекса гетерофилов в периферической крови прослежена за период 1991-1993 гг. (табл. 6). Сохраняется тенденция, выявленная у норок, т. е. напряжение компенсаторно-приспособительных реакций среди гранулоцитов, ответственных за естественный иммунитет (обеспечение неспецифической резистентности).

Присутствие тканевых базофилов (мастоцитов) в костном мозге теплокровных наряду с базофилами - явление неординарное, и именно оно регистрируется на мазках

102

Таблица 5. Лейкограммы серых крыс (1994 г.)

Нейтрофилы палочко-сегменто-ядерные		Эозинофилы	Моноциты	Лимфоциты
Опытная группа				
8±0,57	36,3±2,0	8±0,58	6,3±0,33	42,3±1,45
Контрольная группа				
6±0,16	23,7±0,8	4±0,11	3,0±0,11	62,3±1,20

костного мозга серых крыс. В то же время уменьшается содержание эозинофилов (антагонистов базофилов), в них регистрируется гиперсегментов и микроядра. В наших исследованиях прошлых лет инфильтрация тучными клетками костного мозга рассматривалась как негативный прогностический признак - предвестник мастоцитоза (разновидности гемобластозов).

ВЫВОДЫ. Под влиянием малых доз радиации в периферической крови норок наблюдается тромбоцитопения; в костном мозге - задержка созревания тромбоцитов на стадии оксифильных мегакариоцитов, а также - нейтрофилез вплоть до смены промежуточного (в норме) характера крови на нейтрофильный и резкое снижение компенсаторно-приспособительных реакций организма. Периферическая кровь серых крыс в условиях зоны приобретает нейтрофильный характер (в норме - лимфоцитарный); на основании инфильтрации костного мозга мастоцитами прогнозируется развитие мастоцитозов.

1. Зильбер Л.А. Основы иммунологии. - М.: Наука, 1958. - 599 с.
2. Гольдберг Д.И., Гольдберг Е.Д., Шубин Н.Г. Гематология животных. - Изд-во Томского университета, 1973. - 180 с.
3. Козлов А.А. К проблеме "малых доз" в радиобиологии // Радиобиология. - 1988. - 28, вып. 3. - С. 424-426.
4. Кассирский И.А., Алексеев Г.А. Клиническая гематология. - М.: Наука, 1970. - 360 с.
5. Готлиб В.Я. Корреляция между событиями пострадиационной репарации на клеточном и молекулярном уровнях // Мед. Радиология, 1977. - N 2. - С. 14-21.
6. Бережная Н.М. Нейтрофилы и иммунологический гомеостаз. - Киев: Наук. думка, 1988. - 190 с.
7. Берестов В.А., Малинина Г.М. Особенности неспецифического иммунитета у норок и песцов. - Л.: Наука, 1991. - 204 с.
8. Бойцова В.П., Голощанов П.В., Шведов В.А. Отдаленные последствия хронического облучения крыс при различной мощности дозы // Радиобиология. - 1984. - 24, вып. 5. - С. 672-675.
9. Борисова В.В., Воеводина Т.М., Федорова А.В., Яковлева П.Г. Биологические эффекты при длительном поступлении радионуклидов. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 168 с.

10. Панченко И.А., Носова Л.И., Филимонов И.С. и др. Гетерофильные гранулоциты крыс при облучении // Цитология и генетика, 1992. - 26, № 2. - С. 21-24.
11. Носова Л.И. Межклеточные взаимоотношения эозинофилов и эндотелиоцитов костного мозга крыс при облучении // Докл. АН Украины, 1993. - № 3. - С. 171-175.
12. Greenberg G., Burhstck G. A novel cell-to-cell interaction between mast cells and other cell types // Exp. Cell Res., 1983. - 147, N 1. - P. 1-13.

103

13. Archer G.T., Gordon T.G., Hirsch J.G. Isolation of granules from eosinophil leucocytes and study of their enzyme content // J. exper. Med., 1963. - 118, N 2. - P. 277-286.
14. Henderson W.R., Chi E.Y., Jorg A., Klefanoff S. Y. Horse eosinophil degranulation induced by the ionophore A 23137. Ultrastructure and role of phospholipase A2 // Amer. J. Pathol., 1983. - 111, N 3. - 341-349.
15. Носова Л.И., Панченко И.А., Филимонов И.С. и др. Способ определения адаптационных возможностей организма // Патент РФ, 1994 г. с приоритетом 1991 г.
16. Венглинская Е.А., Бжассо К.И., Парахонский А. П. Лейкоцитарные факторы и реактивность (клинико-экспериментальные сопоставления) // Реактивность и резистентностные фундаментальные и прикладные вопросы. - Киев, 1987. - С. 43-44.
17. Парасонский А.В., Венглинская Е.А. Значение бактерицидных систем крови в оценке резистентности организма // Реактивность и резистентность: фундаментальные и прикладные вопросы. - Киев, 1987. - С. 355-356.
18. Хамидов Д.Х., Акилов А. Т., Турдыев А.А. Кровь и кроветворение у позвоночных животных. - Ташкент: ФАН Узб. ССР, 1978. - 167 с.
19. Учебное пособие по клиническим лабораторным методам исследования (с элементами программирования). - М.: Медицина, 1975. - 352 с.
20. Фримель Х., Брок И. Основы иммунологии. - М.: Мир, 1986. - 132 с.
21. Бойд У. Основы иммунологии. - М., 1969. - 647 с.

Институт зоологии им. И.И. Шмальгаузена НАН Украины, Киев
Научно-технический центр НПО "Припять", Чернобыль
Поступила 15.03.95

104

УДК 591.13:621.039

М. Ф. Петров

КОРМ КОЗУЛІ (CAPREOLUS CAPREOLUS L.)

У ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Подані результати посезонного вивчення харчування козулі протягом 3 років за вмістом рубця. Перелічується 125 видів кормових рослин та характеризується інтенсивність споживання їх органів посезонно. Висвітлюється роль основних рослинних угруповань зони відчуження чорнобильської катастрофи у харчуванні популяції тварини. Особлива увага звертається на роль надземних органів енотери дворічної (*Oenothera biennis*), які становлять 34% середньорічного меню козулі та споживаються нею протягом 9-10 місяців щороку. Оцінюється сучасний стан кормової бази популяції та робиться прогноз її динаміки на найближчі 10-15 років.

ВСТУП

Дослідження харчування козулі, одного з найчисельніших видів копитних тварин Зони відчуження Чорнобильської катастрофи, проводилось одночасно із вивченням харчування кабана, і також як етап міжнародних радіоекологічних досліджень, тому використано єдину методику [1, 2], викладену у нашій попередній статті у цьому збірнику. Для визначення часток корму використано довідники та визначники [3-6]. Назви видів рослин дані згідно "Определитель высших растений Украины" [3]. У необхідних випадках подані синоніми.

Ландшафтно-екологічні умови регіону досліджень уже описані у роботі [7], а надзвичайно великий вплив популяції кабака у період досліджень на рослинний покрив Зони відчуження показано в згадуваній статті, тому тут розповідається тільки про деякі істотні для життєдіяльності козулі моменти. Загалом же, внаслідок сукцесійних процесів на перелогах утворилося рослинне вкриття із чергуванням вербових, березових гайків та залучених ділянок, найсприятливіше для козулі [8].

КОРМОВІ ВИДИ РОСЛИН

У роботах, присвячених вивченню харчування козулі [10, 11], звичайно оцінюють значення кормових видів (груп видів) рослин за частотою знахідок у вибірці та частці у загальному об'ємі, іноді дається якісна оцінка значущості корму, наприклад, головний

(основний), другорядний (супутній), рідкий (випадковий) і т.п. Дані нашого вивчення юрму козулі у Зоні відчуження подані у табл. 1. Через значну кількість кормових видів вони об'єднані у групи за ознакою спільності споживаних частин (органів) рослин. Особливо виділено види, які мають найбільше значення у певні сезони чи протягом усього року. Це енотера дворічна (*Oenothera biennis*), сосна звичайна (*Pinus sylvestris*), осика (*Populus tremula*), види верб разом (*Salix* spp.; переважно поїдаються верби вушката (*S. aurita*) та сіра (*S. cinerea*)), верес звичайний (*Calluna vulgaris*), чорниця (*Vaccinium myrtillus*).

Як показали польові спостереження, при утворенні снігового покриву товщиною понад 8-10 см різко змінюється набір та співвідношення кормових об'єктів. Тому вжита у табл. 1 назва одного із зимових періодів у харчуванні козулі "зима без снігу" дещо умовна.

Основні види кормових рослин козулі у Зоні відчуження, до яких підносимо знайдені у кормі 10 % та більшої кількості модельних тварин, подані у табл. 2, де у колонці 2 вказано кількість тварин, у рубцях яких було знайдено дану рослину.

© М. Ф. Петров, 1996

105

Таблиця 1. Сезонний спектр корму козулі Зони відчуження,

Кормовий об'єкт	Весна n=17	Літо n=11	Осінь n=19	Зима без снігу n=10	Зима зі снігом n=9	У середньому за рік N=66
Дерева, та кущі, в т.ч.	28	19	21	22	31	24
(сосна)	(0)	(0)	(+)	(8)	(51)	(8)
(осика)	(8)	(2)	(7)	(14)	(2)	(7)
(верби)	(9)	(8)	(9)	(1)	(9)	(7)
Чагарнички, в т.ч.	2	0	4	16	42	10
(верес)	(0)	(0)	(4)	(15)	(14)	(5)
(чорниця)	(2)	(0)	(+)	(1)	(24)	(4)
Дводольні трави, в т.ч.	65	78	69	50	22	60
(енотера)	(51)	(45)	(38)	(11)	(2)	(34)
(ін. синантропні трави)	(12)	(4)	(21)	(17)	(20)	(15)
Однодольні трави	3	1	3	5	0	2
Гриби	0	2	4	+	2	2
Решта компонентів	2	+	0	7	3	2

Примітка: + - компонент у кількості, меншій 0,5 %; n(N) - досліджена вибірка

Як видно із табл. 1 та 2, основним кормовим видом козулі є енотера дворічна, різні органи якої знайдені у рубцях 56 % досліджених тварин та становлять 34 % середньорічного меню. Дещо рідше зустрічаються види верб (крім вказаних вище, верби гостролиста (*Salix acutifolia*), козяча (*S. caprea*), чорнична (*S. myrtilloides*), та у 10 % тварин визначити вдалося тільки рід (*Salix* spp.)) - у 48 % тварин та осика - у 32 % тварин, але вони дають тільки по 7 % середньорічного меню. Значення сосни (знайдена у 29 % досліджених козуль та дає 8 % середньорічного меню), вересу (15 та 5 % відповідно) та чорниці (11 та 4 %) особливо велике взимку. У 15 % досліджених тварин в кінці весни та влітку знайдено листки та зелені пагони беріз повислої (*Betula pendula*) та пухнастої (*B. pubescens*). Біля 35 % кормових видів козулі - це синантропні види [12], які разом складають 10 % середньорічного меню. Найчастіше серед них поїдаються грабельки звичайні (*Erodium cicutarium*), осот польовий (*Cirsium arvense*), перстач сріблястий (*Potentilla argentea*), жовтець повзучий (*Ranunculus repens*), фіалка польова (*Viola arvease*). У вмісті рубця 25 % тварин виявлено гриби. Визначено *Leccinum scabrum*, *Boletus edulis*, *Tricholoma collosum* із порядку Boletales, *Telephora terrestris* із порядку Aphyllophorales та *Russula* sp. із порядку Russalales. Знайдені у багатьох тварин пирій повзучий (*Elytrigia repens*) та частинки мертвих рослин (бадиля - "растительная ветошь") звичайно не

перевищують 5 % вмісту рубця однієї тварини і випадково захоплюються з головними кормовими об'єктами.

Другорядне кормове значення мають види (групи видів), котрі знайдені у 4-9 % досліджених тварин. З них у дуба (*Quercus robur*), деревію майже звичайною (*Achillea submillefolium*), полинів гіркого (*Artemisia absinthium*) та віникового (*A. scoparia*), хамерію вузьколистого (*Chamerion angustifolium*), нечуйвітра волохатенького (*Hieracium pilosella*), звіробою звичайного (*Hipericum perforatum*), перстачів прямого (*Potentilla erecta*) та норвежського (*P. norvegica*), конюшин гібридної (*Trifolium hybridum*), гірської (*T. montanum*) та невизначних (*Trifolium* sp.), фіалок польової та триколірної (*Viola tricolor*) поїдаються листки, верхівки стебел, квітки та незрілі плоди,

106

Таблиця 2. Основні кормові рослини козулі Зони відчуження

Кормовий вид рослини	Корм знайдено в <i>n</i> рубцях	Весна	Літо	Осінь	Зима без снігового покриву	Зима зі сніговим покривом
Дерева, кущі та чагарнички						
<i>Betula</i> spp.	11	ЛЗ, По2	Л2, По2	Л1-2		В2, По1
<i>Calluna vulgaris</i>	10			По2	По3	По3
<i>Genista tinctoria</i>	7			Л2, П2, По2		
<i>Pinus sylvestris</i>	19			В1	Л2	ЛЗ-2, По2
<i>Populus tremula</i>	21	ЛЗ, По2	ЛЗ, По2	Л2-3, По1	По1	По2, В2
<i>Salix</i> spp.	32	Л2-3, По1	ЛЗ, По1	Л2-3, По1	По2	По2
<i>Vaccinium myrtillus</i>	7	Л2-3, По2		По1-2	По3	По3
Трав'янисті рослини						
<i>Cirsium</i> spp.	7	Л1	Л1	Л2	Л2	Л1
<i>Erodium cicutarium</i>	7			Л2-3, Сц2	Л2-3	
<i>Oenothera biennis</i>	37	ЛЗ	СцЗ	Сц, П1	Лр1, П1	Лр2, П1
<i>Potentilla</i> spp.	11			Л2, П2-3	Л2-3	
<i>Sedum acre</i>	7				Л1-2	
<i>Elytrigia repens</i>	15	Л1-2	Л1-2	Л1	Л1-2, В1	Л2, В2
Бадилля рослин	24	1			2	2
Гриби	15			Т2	Т1	Т1

Примітки: А. Кормові об'єкти: Л - надземна фотосинтезуюча частина рослин (листки та частини стебел, пагонів); Лр - листки прикореневої розетки; П - плоди, насінини; По - одерев'янілі пагони деревних рослин; Сц - суцвіття та окремі квітки, пуп'янки із частинами стебел, пагонів; В - мертві неопалі частини рослин (бадилля); Т - талом грибів.

Б. Значення кормового об'єкту: 1 - випадковий корм; 2 - другорядний корм (участь у кормі менш 15%); 3 - основний корм (складає більше 50% корму, більше ніж у 30% тварин)

а у лободи білої (*Chenopodium album*), гірчаків малого (*Polygonum minus*) та шорсткого (*P. scabrum*) восени та взимку поїдаються плоди.

Кількість часток видів рослин, знайдених у вмісті рубців козуль Зони відчуження 1-3 рази, різна. Види вологих луків плакун верболистий (*Lythrum salicaria*) та прутковидний (*L. virgatum*), перестріч гребінчастий (*Melampyrum cristatum*), дзвінець пізній (*Rhinantus serotinus*), розхідник плющовидний (*Glechoma hederacea*), давали 30-80 % вмісту рубця у 1-2 досліджених козуль. У плакунів поїдаються у другій половині літа суцвіття та верхівкові листки. У двох видах родини Ранникових (*Scrophulariaceae*) влітку поїдається верхня частина суцвіття, а в кінці вегетаційного сезону - плоди, причому оглянуті рослини об'їдалися двічі за вегетаційний сезон. Пізньої осені у кормі знайдено листя розхідника. Перелічені види з різних причин малочисельні у Зоні відчуження і утворюють тільки невеликі зарості. Інші види із цієї групи

зустрічаються у кормі в кількостях, менших 30 %. У дерев, чагарників та чагарничків бруслини бородавчастої (*Euonymus verrucosa*), крушини ламкої (*Frangula alnus*), багна (*Ledum palustre*), жостіра проносного (*Rhamnus cathartica*), брусниці (*Rhodococcum vitis-idaea*), робінії звичайної (*Robinia pseudacacia*) у різні періоди поїдаються листки та пагони, а у яблуні домашньої (*Malus domestica*) та груші (*Pyrus communis*) ще й плоди. У парила звичайного (*Argemone eupatoria*), котячих лапок дводомних (*Anthenaria dioica*), гикавки сірої (*Berteroa incana*), череди трироздільної (*Bidens tripartita*), осотів польового, городнього (*Cirsium oleraceum*), болотного (*C. palustre*), прибережного (*C. rivulare*) та щетинистого (*C. setosum*), звичайного (*C. vulgare*), в'язі строкатого (*Coronilla varia*), жабника польового (*Filago arvensis*), гадючника оголеного (*Filipendula ulmaria*), підмаренників північного (*Galium boreale*) та невизначеного (*Galium* sp.), сухоцвіта лісового (*Gnaphalium sylvaticum*), ромашки непахучої (*Matricaria perforata*), квасениці звичайної (*Oxalis acetosella*), жовтеців їдкого (*Ranunculus acris*) та невизначеного (*Ranunculus* sp.),

107

щавелю кінського (*Rumex confertus*), червеця багаторічного (*Scleranthus perennis*), чистеця болотного (*Stachys palustris*), зірочника середнього (*Stellaria media*), пижма (*Tanacetum vulgare*), кульбаби лікарської (*Taraxacum officinale*), горошку шорсткого (*Vicia hirsuta*), барвінку малого (*Vinca minor*), булавоносця сіруватого (*Corynephorus canescens*), щучника, дернистого (*Deschampsia caespitosa*), костриці червоної (*Festuca rubra*), ожики волосистої (*Luzula pilosa*), осок (*Carex* sp.), дріоптериса чоловічого (*Dryopteris filix-mas*) поїдаються листки, квітки, плоди в невеликих кількостях.

Завдяки польовим спостереженням, до кормових видів козулі у Зоні відчуження прилучаємо дрік германський (*Genista germanica*), малину (*Rubus idaeus*), ожину несійську (*R. nessensis*), ожину сизу (*R. saxatilis*), паслін солодко-гіркий (*Solanum dulcamara*), горобину звичайну (*Sorbus aucuparia*), буяхи (*Vaccinium uliginosum*), калину (*Viburnum opulus*), полин звичайний (*Artemisia vulgaris*), роговик польовий (*Cerastium holosteoides*), лобода міська (*Chenopodium urbicum*), цикорій (*Cichorium intybus*), жовтушник лакфіолевидний (*Erysimum cheiranthoides*), зніти шорсткий (*Epilobium hirsutum*), болотяний (*E. palustre*) та рожевий (*E. roseum*), герань маленьку (*Geranium pusillum*), гравілати річковий (*Geum rivale*) та міський (*G. urbanum*), нечуйвітер зонтичний (*Hieracium umbellatum*), плакун гісополистий (*Lythrum hyssopifolia*), перестріч гайовий (*Melampyrum nemorosum*), перестріч лучний (*E. pratense*), куколицю білу (*Melandrium album*), редьку дику (*Raphanus raphanistrum*), щавель кислий (*Rumex acetosa*), віскарію звичайну (*Silene vulgaris*), кропиву дводомну (*Urtica dioica*), вероніку довголисту (*Veronica longifolia*), пахучу траву звичайну (*Anthoxanthum odoratum*), грястицю збірну (*Dactylis glomerata*), плоскуху звичайну (*Echinochloa crusgali*), кострицю овечу (*Festuca ovina*), мишій сизий (*Setaria glauca*), мишій зелений (*S. viridis*), кладонію оленячу (*Cladonia rangiferina*).

Таким чином, до кормових видів козулі у Зоні відчуження входить 14 видів дерев, кущів та чагарничків, 97 видів дводольних трав, 11 видів однодольних трав, 1 вид папоротників, 1 вид лишайників, 3 види мохів та 5 видів грибів.

Привертає увагу поїданні козулею у Зоні відчуження восени та взимку видів рослин, які у роботах [10, 13, 14] характеризуються як глистогінні - деревію майже звичайного, парила звичайного, полинів гіркого та віничного, бруслини бородавчастої, розхідника плющовидного, нечуйвітра волохатенького, звіробою звичайного, перстача сріблястого, пижма. Ці рослини знайдені у 70 % досліджених тварин за вказані сезони. У деяких тварин вони становлять 50-65 % вмісту рубця. Також восени польовими спостереженнями встановлено поїдання полину звичайного та пасльону солодко-гіркого, які, згідно із довідником [14] теж містять глистогінні речовини.

ОСОБЛИВОСТІ КОРМУ КОЗУЛІ У ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ

У огляді харчування козуль Євразії [10] даються назви 880 видів вищих судинних рослин, які поїдаються цими тваринами. Із них біля 380 видів можуть рости у Чорнобильській Зоні відчуження. Нами встановлено 127 видів вищих судинних рослин та 5 видів грибів, або ж біля 33 % потенційних кормових видів рослин. Це співставно із даними, наведеними у [9] для

близьких за кліматичними умовами Біловезької Пущі у Білорусі та лісових заповідників у Білгородській та Курській областях Росії.

На відміну від них, співвідношення лісових та нелісових територій у нашому регіоні майже рівне 1:1. Нелісові території - це переважно перелоги на ґрунтах дуже легкого механічного складу, що є другою та найважливішою відміною.

108

Одержані нами результати вивчення харчування козулі цілком відображають вказані відміни при збереженні типових для усього ареалу виду співвідношень між деревно-кущовими, чагарниковими, дводольними та однодольними трав'яними видами.

Головною особливістю є надзвичайно велика частка (50 % усього середньорічного меню) синантропних трав'яних видів. Про те, що рудеральні види рослин у вегетаційний сезон є улюбленим кормом козулі Зони відчуження Східноуральського радіоактивного сліду у Росії, повідомляє А.А. Данілін [15]. Коли виходити із наведеного списку кормових видів [10], у Зоні відчуження Чорнобильської катастрофи вперше зафіксовано у кормі козулі енотеру дворічну, полин гіркий, прутняк лозний, булавоносець сіруватий, чистець болотяний.

Критичний період у харчуванні та життєдіяльності козуль Чорнобильського регіону настає при утворенні снігового покриву глибиною 15-20 см та більше. Основою корму в ці часи стають глистя сосни, пагони кущових верб, осики та інших видів. Взимку козуля часто розшукує та їсть листки осики, беріз, верб, дуба, які залишаються на деяких рослинах вказаних видів та зламаних вітром влітку і завислих гілках цих видів. Чагарнички верес та чорниця в регіоні, переважно через дії людини у доаварійні часи, мають обмежене поширення, але у екотопах, де вони збереглися, активно поїдаються козулями. У деяких місцях разом із чорницею росте багно болотяне, зелені листки та верхівкові пагони якого теж поїдаються козулею.

РОЗПОДІЛ ВПОЛЬОВАНИХ ЕКЗЕМПЛЯРІВ КОЗУЛІ ПО УГРУПОВАННЯХ РОСЛИННОСТІ

Завдяки відомим особливостям поведінки козулі [9] тварин впольовували звичайно на місці годівлі чи поблизу від них, тобто там і тоді, де їх можна було побачити. Посезонний розподіл впольованих екземплярів по основних угрупованнях рослинності приведені у табл. 3. Окремою колонкою показана кількість видав кормових рослин із виявлених за час досліджень, котрі доступні козулі у цьому угрупованні

Більшість досліджених козуль (63 %) впольовано у рослинних угрупованнях, де зосереджені синантропні види рослин - на перелогах та в евакуйованих селах.

Таблиця 3. Розподіл впольованих екземплярів козулі по угрупованнях рослинності Зони відчуження

Угруповання рослинності	Насиченість кормовими видами	Весна	Літо	Осінь	Зима без снігу	Зима зі снігом	Усього впольовано тварин
Соснові сухотравно-лишайникові та брусницево-зеленомошні ліси	15	0	0	1	2	3	6
Соснові чорницево-довгомошні ліси	11	0	0	0	1	2	3
Дубово-соснові та грабово-дубові ліси	11	1	0	0	1	0	1
Чорновільхові болотянотравні ліси	14	0	0	2	0	0	2
Позазаплавні луки	25	3	4	2	2	0	11
Заплавні луки	35	0	0	2	6	0	2
Болота	9	0	1	0	0	0	1
Культурно-польова рослинність в умовах природного зволоження	6	0	0	0	1	0	1
Багаторічні перелоги в умовах природного зволоження	48	8	4	7	3	2	24
Багаторічні перелоги в умовах впливу меліоративних систем	32	2	0	3	0	0	5
Евакуйовані села	35	3	2	2	2	1	10

Біля 20 % тварин добуто на заростаючих кущовими вербами луках. У решті рослинних угруповань впольовано по 1 - 3 козулі або ж нічого. Це може бути показником невеликої ролі цих угруповань у харчуванні виду, за винятком соснових чорницево-довгомошних лісів, у яких козулі концентруються при утворенні на нелісових територіях снігового покриву товщиною більше 15 см.

Таким чином, найбільшу кормову цінність для козулі Чорнобильської Зони відчуження мають перелоги та евакуйовані села, дещо меншу - вологі луки із заростями верб вужкатої та сірої. Лісові рослинні угруповання мають невелику кількість кормових видів, які, до того ж, стають з часом малодоступними. Але в певні періоди вони мають винятково велике кормове значення.

КОРМОВІ СТАЦІЇ КОЗУЛІ У ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ

Соснові сухотравно-лишайникові, соснові та сосново-березові брусницево-зеленомохові ліси. Головним кормовим видом у багатосніжні зими тут стає сосна звичайна, верес по узліссях, галявинах, вздовж доріг. Іноді з-під снігу козулі викопують лишайники, гриби. У малосніжні зими тут поїдаються рослини із зимово-зеленими листками, головним чином булавонісці сіруватий та очиток їдкий. Влітку та восени поїдаються гриби. Найбільші зарості вересу у Зоні відчуження зосереджено саме у цій стації. Максимально ж можливе поширення вересу у регіоні - 15-20 % площі цих лісів [16].

Вологі та сирі соснові, дрібнолистяно-соснові ліси із переважанням у чагарничково-трав'яному покриві чорниці. Кормовими видами тут є сосна у молодняках та чорниця, багно, крушина, горобина, гриби у всі вікові періоди розвитку лісу. Особливо важлива роль цієї стації при утворенні снігового покриву, товщого за 15 см. У такі часи козуля може об'їдати до 80-90 % приросту пагонів чорниці останнього вегетаційного сезону, але вони успішно відростають знову наступного літа. Загроза зменшення площі чорничників зникла після припинення осушувальних робіт. Пожежі 1992 р. у ці екотопи практично не проникли. Вірогідність збільшення площ під чорничниками невелика, тому що едафічно придатні ділянки заселені більш конкурентноздатними рослинами.

У дубово-соснових та дубових лісах козуля знаходить листя та пагони дуба, бруслини, крушини, подекуди ростучої тут чорниці, гриби.

У чорновільхових болотяноотравних лісах пагони кущових верб, крушини стають досяжними цим тваринам після утворення достатньо міцної криги. На купинах у цей же час поїдають зелені листки деяких трав (види розхідників, гравілатів та ін.), пагони подекуди ростучої тут чорниці.

На заплавних зачагарованих луках влітку та восени кормом козулі стають листки та пагони кущових верб, листки осотів польового та прибережного, листки та суцвіття знітів шорсткого та болотяного, восени листки, плоди та пагони дроку красильного, влітку та на початку осені - квітки, приквітки та плоди плакунів верболистого, прутovidного та гісополистого, перестріча гребінчастого та лучного, дзвінця пізнього та ін. Взимку, після утворення міцної криги на водоймах поїдаються пагони верб, які ростуть понад ними, зелені взимку прикореневі листки перстачів прямого та норвезького.

На перелогих під впливом меліоративних систем та трав'яних болотах ростуть усі види кормових рослин, вказані для заплавних лук, а також види жовтеців (найчастіше поїдається жовтець повзучий, рідше - жовтець їдкий та ін.), кульбаба лікарська,

нечуївітер зонтичний, деревій майже справжній, гірчаки малий та шорсткий, перстачі сріблястий та норвезький, а на зривинах та покопах кабана - синантропні види та хамерій вузьколистий. По підвищених місцях у невеликій кількості зустрічається енотера. Листки та пагони кущових верб поїдаються завжди, коли вони доступні.

Рослинне вкриття перелогів із природним зволоженням тепер добре деференційоване за едафічними умовами. Ці умови характеризуються термінами української лісотипологічної школи [17] як суборові та складносуборові. Рослинне вкриття цих типів перелогів більшу частину року має різні аспекти та різну кормову цінність. Ми оцінюємо співвідношення площ суборових та складносуборових перелогів як 1: 2.

Суборові перелогі із природним зволоженням мають розріджений травостан (проективне вкриття 40-80 %), утворений 1 - 2 - річними синантропними видами з участю злаків - пирію повзучого, куничника наземного (*Calamagrostis epigeios*), булавоносця сіруватого, кипця сизого (*Koeleria glauca*), метлюга звичайного (*Apera spica-venti*), мітлици тонкої (*Agrostis tenuis*). На поверхні ґрунту завжди є подушечки мохів та лишайників. З'являється також чисельний, але нерівномірний самосів та підріст берези повислої, досить рідкий - сосни. Тут зосереджені основні кормові запаси синантропів - енотери, полину гіркою та віничного, грабельок звичайних, фіалок польової та триколірної, деревію майже звичайного, а по мікрозниженнях - осотів польового, щетинистого та звичайного, пижма звичайного, а також хамерія вузьколистого (іван-чаю). За нашими спостереженнями ці перелогі є кормовою стацією більшої частини популяції козулі у Зоні відчуження біля 10 місяців у році.

На **складносуборових перелогах із природним зволоженням** травостан має зімкнутість 90-100 %. Домінантом завжди є пирій повзучий, могутні та багаточисельні підземні пагони якого утворюють щільну дернину товщиною 2-4 см (в кращих умовах - товстий шар). На поверхні ґрунту більшу частину року існує шар підстилки. Кормові види козулі зосереджені переважно на зривинах кабана. Це енотера, осоти польовий, щетинистий та звичайний та інші синантропні види рослин, а також хамерій вузьколистий. У перехідних смугах до перелогів суборового ряду ростуть пижмо та деревій майже справжній. У невеликих кількостях на зривинах у мікрозниженнях з'являються сходи, підріст верб та осики, але вони дуже пошкоджуються самцями козулі при міченні ділянок, а тому не мають кормового значення. Кормове значення цих перелогів значно нижче, ніж суборових перелогів із природним зволоженням. Але триваюче вселення хамерію вузьколистого через зривини кабана буде підвищувати їх кормову цінність у період вегетації рослин цього виду (травень-серпень).

На вулицях **евакуйованих** сіл ростуть та поїдаються козулею енотера, полин гіркий та віничний, лобода біла та міська. У невеликих кількостях також поїдаються яблука, листки та пагони дерев та кущів. По зривинах кабана ростуть усі синантропні види, які їсть козуля, але через, порівняно із суборовими перелогами, невелику площу кормове значення цієї стації значно менше.

ОСОБЛИВОСТІ ЕНОТЕРИ ДВОРІЧНОЇ ЯК КОРМОВОЇ РОСЛИНИ

У енотери дворічної після першого сезону вегетації залишається зеленими центральна частина прикореневої розетки листків, щільно притиснутих до поверхні ґрунту. Якщо осінь та зима м'які, вологі, із сніговим покривом, то зберігаються доволі великі листки до 4-5 см довжини.

111

У сухі, морозні, безсніжні сезони зеленими залишаються листочки довжиною менше 1 см, щільно притиснуті, один до одного у центрі розетка. Козуля починає їсти прикореневі листки рослин енотери першого року вегетації восени після перших заморозків, а також безсніжною чи малосніжною зимою. При шарі снігу понад 10 см іноді викопують їх з-під снігу. Поїдання листків минулорічного відростання продовжується після сніготанення аж до початку нового вегетаційного сезону. Після його початку кормова роль енотери знижується, внаслідок як виснаження козулею запасів самої рослини, такі появи нових кормових об'єктів. Після досягнення стеблами рослин другого року вегетації висоти 15-25 см (звичайно, у другій половині травня) значення енотери у харчуванні козулі Зони відчуження стає винятково великим (табл. 1). У другий вегетаційний сезон поїдається найм'якіша, найніжніша частина верхівок стебел та гілок (пагонів), на яких протягом вегетаційного сезону з'являються листки та, пуп'янки, квіти, зав'язі, незрілі плоди. У невеликих кількостях пізньої осені та взимку у рубцях знайдено плоди та насіння. Взимку без снігу дві тварини разом із прикореневими листками з'їли корені (3 та 8 % вмісту рубця), верхня частина яких подекуди виступає над поверхнею ґрунту.

При поїданні листків прикореневої розетки іноді вигризається центральна частина розетки із верхівковою брунькою. Але тоді проростають бокові бруньки від короткої кореневищної частини підземного органу рослини. Звичайно вона має блідо-буряковий колір та зморшкувату контрактильну поверхню, на відміну від гладенької білої чи блідо-бурої

кореневої частини. Рослини другого року вегетації об'їдаються 2-3 рази протягом вегетаційного сезону. На пагоні нижче місця об'їдання із листових пазух починають рости бруньки, на яких встигають утворитися пуп'янки, квітки та плоди. Після другого-третього об'їдання залишаються декілька цілих плодів, які потім нормально визрівають. В той же час навіть у невеликих групах рослин енотери залишається непошкодженим 10-40 % екземплярів.

Крім козулі, надземні частини енотери поїдають і інші тварини. Ми неодноразово спостерігали поїдання лосем її квітучих рослин влітку. Восени, після заморозків на ґрунті, знаходили сліди спасання листків прикореневої розетки лосем та благородним оленем. У безсніжні періоди зими знаходили сліди поїдання прикореневих листків зайцем, полівками. Т.А. Работнов повідомляє [18], що надземна частина енотери поїдається домашніми тваринами, плямистими оленями, а її корені охоче їдять домашні свині.

Очевидно, надземні частини енотери стали кормом місцевої популяції козулі вже давно, принаймні енотера звична рослина з'явилася у регіоні понад 150 років тому [20]. Л.Павлович у роботі "О кормовых травах дикорастущих и возделываемых на Украине", виданій у 1876 р. у Харкові, дає опис енотери та пропонує дослідити можливості її культивування [21]. Цьому сприяло також значне скорочення площ місцезростань аборигенних видів родини Онагрових (Onagraceae) внаслідок осушення перезволожених земель та штучного заліснення нерозорюваних ділянок в останні десятиріччя перед аварією. Після підтоплення раніше меліорованих земель, почала зростати чисельність знітів болотного та шорсткого. У хамерію вузьколистого (іван-чаю) до аварії та у перші роки після аварії було мало придатних за багатством ґрунту та відсутністю конкурентів ділянок (зрубів, згарів). Найпридатніші для нього у регіоні ґрунти були зайняті під ниви, які потім швидко заросли пирієм та іншими видами, насіння яких було у ґрунті. Дернина товщиною 2-6 см та густий травостан виключали чи значно ускладнювали розселення цього анемохора. Та в останні 3-4 роки зростаюча у Зоні відчуження популяція кабана почала

112

активно розривати дернину на перелогах у пошуках личинок хрущів, мишей, полівок, бурозубок, ящірок та коренів енотери. З'явилися ділянки субстрату, вільного від дернини пирію, на яких сходи хамерію встигали вирости та утворити систему підземних пагонів, конкурентноздатних із підземними пагонами пирію. Зараз усюди, де оселилися рослини хамерію, його підземні пагони проросли за периметр зривин кабана на 2-3 м вглиб заростей пирію. Енотера та хамерій, що ростуть поряд, об'їдаються приблизно з однаковою швидкістю.

Вражаючий факт незнаходження енотери у кормі козулі до цього часу, при величезному співпадінні ареалів європейської та сибірської козуль із циркумполярним ареалом виду рослини, можна пояснити тільки тим, що дослідження харчування тварин проводились на територіях, де не спостерігалось поєднання оптимальних для енотери дворічної факторів - ґрунтів легкого механічного складу, розрідженого трав'яного покриву та такого своєрідного "рільника" як дикий кабін, яке склалося у Зоні відчуження Чорнобильської катастрофи.

Пагони хамерію вузьколистого у Зоні відчуження об'їдаються 1-2 рази за вегетаційний сезон. Утворення пуп'янків та квітнування у нього в регіоні звичайно починається на 10-15 діб пізніше, ніж у енотери, а закінчується у кінці серпня - на початку вересня. Ріст верхівкових бруньок стебел (пагонів) енотери продовжується до перших осінніх заморозків (найчастіше у кінці серпня - на початку вересня). Таким чином, кормова придатність для козулі у енотери може тривати до 9-10 місяців, у той час як у хамерію вона не перевищує 3 - 3,5 місяці.

З урахуванням поїдання її надземних органів іншими видами копитних, а коренів диким кабаном, енотеру необхідно впроваджувати як цінну кормову рослину у мисливські господарства, що мають ділянки незаліснених піщаних ґрунтів.

НАПРЯМКИ ДИНАМІКИ КОРМОВОЇ БАЗИ КОЗУЛІ НА НАЙБЛИЖЧУ ПЕРСПЕКТИВУ (10-15 РОКІВ)

Через вихід крон сосни з кормової зони козулі, значення більшості теперішніх лісових кормових стацій буде зменшуватися. Площа та роль чорничників залишиться на сучасному рівні.

Зменшення кількості та запасів кормових трав'янистих видів на суборових перелогах із природним зволоженням, внаслідок заростання березою та штучного заліснення, буде компенсуватися збільшенням запасів синантропних кормових видів та хвої сосни на лісокультурних площах, а також збільшенням площ під хамерієм та енотою на складносуборових перелогах із природним зволоженням.

Запаси кормів на заплавах луках та перелогах в умовах впливу меліоративних систем будуть зберігатися на приблизно однаковому рівні, тому що вихід підростаючих вербняків із кормової зони козулі буде компенсуватися появою нових. На згарниках очікується розширення площ, зайнятих вересом, хамерієм, природне поселення чи посадка сосни, що буде збільшувати кормову цінність та значення цих територій.

Таким чином, у найближчі 10-15 років очікується перерозподіл запасів кормових видів козулі по кормових стаціях при збереженні загальних запасів кормів у Зоні відчуження.

Основні запаси кормів козулі у Зоні відчуження зосереджені на перелогах та зачагарованих луках. Половина її кормового раціону складається із синантропних видів, в першу чергу еноти дворічної.

113

Враховуючи споживання надземних частин еноти козулею та іншими видами копитних, а коренів кабаном, рекомендуємо вирощувати її на кормових полях мисливських господарств, котрі мають ділянки незаліснених піщаних ґрунтів.

1. Eriksson O., Palo T., & Soderstrom L. 1981. Reindeer grazing in winter time. Uppsala. Vaxtekologiska studier, 13. P. 35-67. ISBN 91-7210-813-4.
2. Козло П.Г. Изменчивость питания лоса (*Alces alces* L.) в осенне-зимний период в Березинском заповеднике // Вестник зоологии. - 1972. - № 5. - С. 62 - 67.
3. Определитель высших растений Украины / Доброчаева Д.Н., Котов М.И., Прокудин Ю.Н. и др. - Киев: Наукова думка, 1987. - 548 с.
4. Определитель растений лесов УССР. //Под редакцией А.Л. Бельгарда. - Киев: Выща школа, 1984. - 343 с.
5. Майсурян Н.А., Атабекова А.И. Определитель семян и плодов сорных растений. Изд. 2-е, перераб. и доп. - Москва: Колос, 1978. - 288 с.
6. Хомякова И.М. Лесные травы. Определитель по вегетативным признакам. 2-е изд. - Воронеж: Изд-во ВГУ, 1990. - 176 с.
7. Ландшафты Чернобыльской зоны и их оценка по условиям миграции радионуклидов /Давыдчук В.С., Зарудная Р.Ф., Михели С.В. и др. - Киев: Наукова думка, 1994. - 112 с.
8. Данилкин А.А. Экология и систематика козуль Евразии (биологические основы рационального использования и охраны) / Автореферат дисс. на соискание ученой степени д.б.н. - Москва: 1989. - 47 с.
9. Европейская и сибирская козули. Систематика, экология, поведение, рациональное использование и охрана // Под редакцией В.Е. Соколова. - Москва: Наука, 1992. - 399 с.
10. Приедитис А.А. Оценка состояния популяции козули в Латвийской ССР // Управление популяциями диких копытных животных. Сборник научных трудов - Москва: 1985. - С. 79-94.
11. Протопопова В.В. Синантропная флора Украины и пути ее развития - Киев: Наукова думка, 1991. - 204 с.
12. Рабинович М.И. Лекарственные растения в ветеринарии. - Москва: Росселхозиздат, 1981. - 224 с.
13. Чотик В.И., Дудченко Л.Г., Краснова А.Н. Дикорастущие полезные растения Украины. Справочник // Под редакцией К.М. Сытника. - Киев: Наукова думка, 1983. - 399 с.
14. Данилкин А.А. Популяция сибирской козули на территории Восточноуральского радиоактивного следа// Экологические последствия радиоактивного загрязнения на Южном Урале - Москва: Наука, 1993. - С. 181-187.
15. Юркевич И.Д., Ловчий Н.Ф., Гельтман В.С. Леса Белорусского Полесья (геоботанические исследования). - Минск: Наука и техника, 1977. - 288 с.
16. Погребняк П.С. Основы лесной типологии. - Киев: Изд-во АН УССР, 1955. - 456 с.
17. Кормовые растения сенокосов и пастбищ СССР. Т. 3 - Москва: Сельхозиздат, 1956. - 879 с.
18. Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав, использование. Семейства Hydrangeaceae - Haloragaceae. - Ленинград: Наука, 1987. - 326 с.
19. Протопопова В.В. Адвентивні рослини лісостепу та степу України - Київ: Наукова думка, 1973. - 192 с.
20. Кормовые растения сенокосов и пастбищ СССР. Т.1 - Москва: Сельхозиздат, 1950. - 688 с.

МОРФОМЕТРИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ КЛЕТОК ОРГАНОВ ПИЩЕВАРЕНИЯ ЖИВОТНЫХ ИЗ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ

Вследствие аварии на ЧАЭС возникла экстремальная ситуация, которая требует от организмов, находящихся на загрязненных территориях, напряжения защитно-компенсаторных реакций со стороны различных систем органов. Особое значение имеет проблема выяснения механизмов действия невысоких уровней ионизирующей радиации на клеточные популяции. Желудочно-кишечный тракт является популяцией клеток с очень интенсивным замещением. Это налагает свои особенности на реакцию популяции эпителиальных клеток при повреждающем действии радиации.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследований служили норки, которые находились на экспериментальной базе НТЦ НПО "Припять". Для кормления животных готовили мясо-рыбный фарш из продуктов местного производства. Радиоизотопный состав кормосмеси составлял: ^{137}Cs - (2563 ± 166) Бк/кг, ^{134}Cs - (223 ± 4) Бк/кг, ^{90}Sr - (247 ± 24) Бк/кг. Внешний гамма-фон составлял 0,04-0,60 мР/ч. Животные были завезены в зону в двухмесячном возрасте из чистых территорий и находились под влиянием радиации на протяжении двух (1 группа) и трех (2 группа) лет. Контролем служили норки из зверохозяйств "чистых" районов Киевской области.

Для гистологических исследований отбирали участки дна желудка, стенки тонкой и толстой кишок. Материал обрабатывался по общепринятым гистологическим методикам. Морфометрические исследования производили с помощью полуавтоматического цитоанализатора "Интеграл-2МТ". Изучались показатели, характеризующие процессы пролиферации и дифференциации клеток эпителия: площадь сечения (ПС) цитоплазмы и ядра, ядерно-цитоплазматическое соотношение (ЯЦС). Дополнительные измерения производили с помощью окуляра-микрометра.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Желудок. У животных, которые подвергались действию радиации, имеет место атрофия слизистой оболочки дна желудка. Много клеток поверхностного и железистого эпителия находятся в состоянии некроза. Клетки поверхностного эпителия при сохранении нормальной полярности увеличиваются в размерах (их длина составляет $20,13 \pm 1,125$ мкм против $14,93 \pm 0,555$ мкм в контроле). Ядра клеток содержат более конденсированный хроматин, чем в контроле.

Все клеточные элементы собственных желез, наоборот, уменьшаются в размерах (табл. 1); это касается как цитоплазмы, так и ядра. Однако клетки различных популяций изменяются в размерах неодинаково - более всех уменьшаются главные клетки, далее - клетки генеративной зоны, а размеры париентальных клеток остаются почти на уровне контроля. В глазных клетках существенно увеличивается ЯЦС (см. табл. 1), тогда, как у других популяций клеток оно несколько уменьшается. Главные клетки приобретают неправильную форму, у них наблюдаются выпячивания кардио- и цитолеммы. Ядра и цитоплазма париентальных клеток и клеток генеративной зоны сохраняют более правильную форму.

Увеличение размеров поверхностных клеток можно отнести к компенсаторным реакциям. Таким путем проявляется защита нижележащих слоев клеток.

© О. А. Масицкая, В. И. Рясенко, 1996

Таблица 1. Морфометрия клеток слизистой оболочки дна желудка ($M \pm m$ мкм кв.)

Показатель	Генеративная зона		Главные клетки		Париентальные клетки	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
ПС цитоплазмы	$85,5 \pm 1,68$	$83,0 \pm 2,42$	$83,2 \pm 2,07$	$47,9 \pm 1,05$	$200,7 \pm 4,08$	$190,4 \pm 3,94$
ПС ядер	$38,5 \pm 0,78$	$27,5 \pm 1,23$	$26,1 \pm 0,82$	$17,7 \pm 0,50$	$32,4 \pm 0,72$	$29,2 \pm 0,75$
ЯЦС	$0,457 \pm 0,008$	$0,433 \pm 0,008$	$0,314 \pm 0,006$	$0,372 \pm 0,007$	$0,165 \pm 0,004$	$0,156 \pm 0,004$

Действительно, у животных с наиболее высокими поверхностными эпителиальными клетками эрозии слизистой оболочки желудка не наблюдаются.

Давно установленным фактом есть увеличение объема ядра в процессе регенерации ткани [3]. Уменьшение объема ядра наблюдается при старении организма и его клеток, что объясняется нарушениями гемодинамики [2]. При изучении клеток собственных желез обращает на себя внимание недостаточность их дифференциации, показателем которой служит ЯЦС, особенно главных клеток, что выражается в увеличении этого соотношения, а также в недостаточном развитии белоксинтезирующего аппарата. Дифференциация париентальных клеток проходит более полно - ЯЦС у них изменяется незначительно. Уменьшение ЯЦС у активно делящихся клеток (генеративная зона) свидетельствует о снижении их пролиферативной активности.

Тонкая кишка. В слизистой оболочке тонкой кишки нарушение процессов пролиферации и дифференциации клеток эпителия еще более выражено, чем в слизистой желудка. У экспериментальных животных, подвергавшихся действию радиации, уменьшается высота ворсин ($823,48 \pm 20,125$ мкм против $985,35 \pm 12,136$ мкм в контроле) и глубина крипт ($379,72 \pm 20,886$ мкм против $420,98 \pm 18,125$ мкм в контроле), что свидетельствует о гипорегенераторной атрофии слизистой оболочки.

Энтероциты в верхних участках ворсин находятся в состоянии некроза, бокаловидные клетки с секретом в этом участке ворсин почти не определяются. Энтероциты ворсин из призматических становятся плоскими (высота $10,44 \pm 0,60$ мкм против $14,06 \pm 0,86$ мкм в контроле). При сохранении почти постоянного объема клеток (табл. 2) их цитоплазма неоднородна, окрашивается неравномерно. Изменение формы клеток позволяет при нарушенной регенерации поддерживать целостность эпителиального покрова ворсин. Ядра клеток этой зоны набухшие, увеличенные в размерах, с углублениями и выпячиваниями кариолеммы. Часто ядра смещены в апикальную часть клетки.

Клетки крипт также находятся в состоянии некроза и дистрофии. При этом, чем ближе клетки ко дну желез, тем более выражены в них изменения. В пролиферативной зоне, у дна крипт, часто встречаются сильно базофильные сплюснутые остатки клеток. Клетки генеративной зоны тонкого кишечника существенно уменьшаются в размерах,

Таблица 2. Морфометрия клеток слизистой оболочки тонкой кишки ($M \pm m$ мкм кв.)

Показатель	Генеративная зона		Энтероциты середины крипт		Энтероциты середины ворсин	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
ПС цитоплазмы	$136,4 \pm 3,75$	$89,6 \pm 2,85$	$104,5 \pm 1,87$	$82,6 \pm 3,02$	$100,3 \pm 2,97$	$94,5 \pm 3,50$
ПС ядер	$46,9 \pm 1,77$	$22,5 \pm 0,90$	$25,0 \pm 0,72$	$20,6 \pm 0,85$	$19,5 \pm 0,54$	$23,3 \pm 0,90$
ЯЦС	$0,342 \pm 0,008$	$0,256 \pm 0,008$	$3,238 \pm 0,005$	$0,255 \pm 0,007$	$0,201 \pm 0,005$	$0,250 \pm 0,006$

116

Таблица 3. Морфометрия клеток крипт толстой кишки ($M \pm m$ мкм кв.)

Показатель	Генеративная зона		Середина крипт	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
ПС цитоплазмы	$152,5 \pm 2,56$	$138,4 \pm 4,25$	$146,3 \pm 3,51$	$91,7 \pm 1,34$
ПС ядер	$48,6 \pm 1,76$	$28,3 \pm 3,55$	$27,9 \pm 0,61$	$20,5 \pm 0,56$
ЯЦС	$0,328 \pm 0,004$	$0,289 \pm 0,010$	$0,207 \pm 0,006$	$0,224 \pm 0,005$

неправильной формы, с пикнотичными, в 2 раза уменьшенными, ядрами (табл. 2), конденсированным или разреженным хроматином, уменьшается их ЯЦС. Естественно, что такие клетки не могут полноценно делиться, следовательно, пролиферативный путь клеток существенно уменьшался.

Энтероциты, которые находятся на более высоких позициях в криптах, также меньше, чем в контроле, с измененной формой, имеют несколько уменьшенные ядра с неправильными контурами, однако эти изменения менее выражены, чем в клетках донной зоны крипт. ЯЦС

этих клеток увеличивается по сравнению с контролем (см. табл. 2), что является выражением неполноценности процессов дифференциации.

Другим подтверждением неполноценности процессов дифференциации энтероцитов является уменьшение криптальной зоны, следовательно, на ворсинки, в зону максимальной физиологической нагрузки, поступают клетки, не способные полностью выполнять свои функции. Но даже деструктивные клетки поддерживают целостность эпителиального покрова, что свидетельствует о значительном запасе прочности эпителия тонкой кишки. Это подтверждается данными и других авторов [1], которые наблюдали оголение стромы ворсин при очень высоких дозах облучения.

Толстая кишка. В толстой кишке также наблюдается атрофия слизистой оболочки, с некротическими изменениями в клетках. На поверхности слизистой часто встречаются эрозии с оголениями соединительной стромы. Морфометрия клеток, размещенных в средней части желез, показывает, что они уменьшаются в размерах, особенно вертикальных, чаще приобретают неправильную форму, уменьшаются также объемы их ядер. Однако происходит увеличение ЯЦС (табл. 3), что свидетельствует о недостаточности процессов дифференциации клеток.

Хотя в клетках крипт толстой кишки изменения выражены меньше, чем в энтероцитах тонкой кишки, поверхностные клетки слизистой оболочки также значительно повреждены. Это можно объяснить более низкой митотической активностью в этом отделе пищеварительной трубки и большей продолжительностью функционирования клеток эпителия.

Таким образом, у животных, которые длительный период находились под воздействием ионизирующей радиации, в пищеварительной трубке происходят нарушения процессов пролиферации и дифференциации клеток.

1. *Лебедева Г.А.* Некоторые особенности поражения желудочно-кишечного тракта при хронической лучевой болезни, вызванной введением различных радиоактивных изотопов // Радиобиология. - 1965. - N 6. - С. 842 - 846.

2. *Саркисов Д. С., Аруин Л.И., Туманов В.П.* Морфология компенсаторно-приспособительных процессов. - М.: Медицина, 1983. - 365 с.

3. *Структурные основы адаптации и компенсации нарушенных функций* / Под редакцией Д.С. Саркисова. - М.: Медицина, 1987. - 445 с.

Институт разведения и генетики животных УААН, Киев
Научно-технический центр НПО "Припять", Чернобыль
Поступила 15.03.95

117

УДК 541.383

Н. И. Проскура, В. А. Кожанов, В. В. Маляренко
ВЛИЯНИЕ ГУМИНОВОЙ КИСЛОТЫ НА ЭЛЕКТРОМИГРАЦИЮ
ИОНОВ РУБИДИЯ И ЦЕЗИЯ В МОДЕЛИ ПЕСЧАНОГО ГРУНТА

Показано, что ионы рубидия и цезия сорбируются частицами песка ионообменным механизмом. Емкость слоя песка увеличивается при введении гуминовой кислоты (ГК), это объясняется гетерогенной природой взаимодействия частичек песка и ГК. С помощью метода ЭПР установлено увеличение вязкости межчастичной жидкости в 3,5-4 раза при введении в систему ГК. Проведено сравнение результатов измерения электрокинетического потенциала методом электрофореза и электроосмоса.

Одной из задач ликвидации последствий аварии на ЧАЭС является детальное изучение поведения радионуклидов в грунтах зоны аварии и состояния самих грунтов при различных воздействиях. Как известно [1], наиболее распространенными грунтами зоны аварии ЧАЭС (как по площади, так и по мощности залегания) являются различного рода песчаные образования с небольшим содержанием гумусовых веществ. Наличие органических веществ вносит определенное своеобразие в протекание процессов миграции, сорбции, ионного обмена в песчаных грунтах [2, 3]. Согласно современным представлениям состояние поверхностного заряда знак и величина потенциала на границе раздела фаз во многом

определяют структурные и структурно-реологические свойства дисперсной системы, а следовательно, и способность ее к водопоглощению или поглощению и миграции различных компонентов водного раствора. Наиболее важным, с точки зрения миграции ионов через дисперсную фазу, является электрокинетический потенциал, так как двойной электрический слой простирается на большое расстояние от поверхности частиц (до 10^{-4} см и более), занимая частично или полностью межчастичное пространство. Это оказывает влияние на диффузионные и миграционные процессы ионов, молекул и высокодисперсных частиц, находящихся в межчастичном пространстве. Взаимная миграция частиц и жидкости в дисперсной системе может быть охарактеризована с точки зрения электрокинетических явлений, что одновременно позволяет определить знак и величину электрокинетического потенциала дисперсной системы.

Цель данной работы - изучение электромиграции ионов рубидия и цезия, используя модель песчаного грунта. Образцом песчаного грунта служил отмытый и просеянный кварцевый песок. Отбирали фракцию песка, проходящую через сито с размером отверстий 40 мкм, промывали в цилиндре раствором 5%-ной хлороводородной кислоты, затем 5%-ным раствором пероксида водорода, дистиллятом и бидистиллятом. Наиболее легкооседаемые фракции отбрасывали. Микроскопический анализ показал, что в приготовленной таким образом модели песчаного грунта 75-78% частиц составляла фракция размером 2-8 мкм. Модели гуминовой кислоты (ГК) готовили из промышленного препарата (ТУ-610-10-316-85), с количеством титруемых кислотных функциональных групп 4,3 моль/г.

Микроэлектрофоретическая скорость частиц измерялась в плоской горизонтальной ячейке с фиксированной высотой щелевого капилляра. Движение частиц наблюдали в световом поле освещения микроскопа, опыты проводились при градиентах потенциала от 5 до 15 В/см [4].

© Н. И. Проскура, В. А. Кожанов, В. В. Маляренко, 1996

118

Электрокинетический потенциал определяли по формуле Смолуховского

$$\xi = \frac{\eta U_{ef}}{\varepsilon \varepsilon_0}, \quad U_{ef} = \frac{V}{\omega},$$

где $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ А·с/(В·м), принимая $\eta = 10^{-3}$ Н·с/м², $\xi = 81$ (V - линейная скорость частицы, м/с, ω - градиент потенциала, В/м).

В качестве зонда ЭПР, т.е. парамагнитной частицы, находящейся в дисперсной среде, использовали стабильный нитроксильный радикал 2,2-,6,6-тетраметил-4-оксипиперидин-1-оксил (ТП) [5]. Спектры ЭПР были записаны на спектрометре типа ISN-254 в трехсантиметровом диапазоне. Зонд вводился в дисперсную среду из расчета получения массовой концентрации $1,2 \cdot 10^{-4}$ моль/л. Время вращательной корреляции рассчитывали по формуле [6]

$$\tau = 6,65 \cdot 10^{-10} \Delta H_+ (\sqrt{y_+/y_-} - 1),$$

где ΔH_+ - ширина низкочастотной компоненты спектра, y_+ , y_- - амплитуды крайних компонент спектра в слабом и сильном поле, соответственно.

Электромиграция ионов изучалась методом электроосмоса. Перенос (P) раствора определяли на электроосмометре [7], модифицированном путем установки двух пар Pt-электродов, позволяющих измерять электропроводность жидкости и электропроводность порового раствора:

$$P = V/I,$$

где V - объемная скорость жидкости в капилляре, дм³/с; I - сила электрического тока, А.

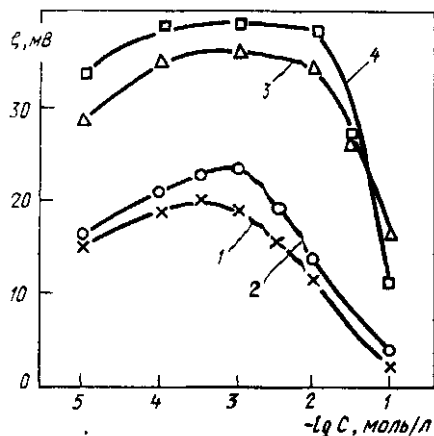


Рис. 1. Зависимость ξ -потенциала частиц кварцевого песка от концентрации растворов хлорида рубидия (1, 3) и хлорида цезия (2, 4). Дисперсионная среда в образцах 3 и 4 содержит 0,001% мас. гуминовой кислоты.

На рис. 1 приведены результаты микроэлектрофоретического определения ξ -потенциала отдельных частиц кварцевого песка в растворах хлоридов рубидия и цезия. Следует отметить классическую форму кривых 1 и 2 [8]. Увеличение абсолютной величины ξ -потенциала в левой ветви кривых объясняется ионообменной сорбцией, в результате которой поверхность частиц частично модифицируется, превращаясь в Rb- или Cs-форму, соответственно. В случае рубидия максимум достигается при более низкой массовой концентрации раствора, что свидетельствует о большой близости ионов рубидия к поверхности кварцевого песка по сравнению с ионами цезия. При дальнейшем повышении концентрации (правая ветвь кривых 1 и 2) ξ -потенциал уменьшается, что вызвано электростатическим сжатием диффузионной части двойного электрического слоя, приводящей к уменьшению подвижности жидкой и твердой фаз относительно друг друга.

Добавление в систему гуминовой кислоты приводит к значительному увеличению ξ -потенциала во всем интервале изменения концентраций ионов рубидия и цезия (см. рис. 1, кривые 3 и 4). Это указывает на то, что происходит модифицирование поверхности частиц

119

кварцевого песка макромолекулами гуминовой кислоты. Такое модифицирование характерно и для других полиэлектролитов [9]. Сохранение знака ξ -потенциала свидетельствует о гетерополярном взаимодействии гуминовой кислоты с поверхностью кварцевого песка, в результате которого кислотные функциональные группы гуминовой кислоты (карбоксильные и феноксильные гидроксилы) остаются свободными [10]. Как видно из рис. 1, в присутствии ГК увеличивается область, соответствующая максимальным значениям ξ -потенциала (от 10^{-4} до 10^{-2} моль/л) и уменьшается регрессирующее влияние электролита в области высоких концентраций. В то же время следует отметить, что прививка ГК на поверхность кварцевого песка не приводит к нивелированию природы электролита: в области максимума ξ -потенциал частиц кварцевого песка в присутствии ионов цезия заметно выше, чем в присутствии ионов рубидия (см. рис. 1, кривые 3 и 4).

В концентрированных дисперсных системах природного происхождения (песчаники, супеси, суглинки, глинистые отложения и др.) или искусственных (пасты, суспензии и др.) характерный для одиночной частицы двойной электрический слой может быть значительно искажен под влиянием соседних частиц. Перекрывание двойных слоев изменяет не только макроскопические характеристики дисперсий (механическая прочность, адгезия, реологические свойства), но и состояние жидкости норового пространства, в частности микровязкость.

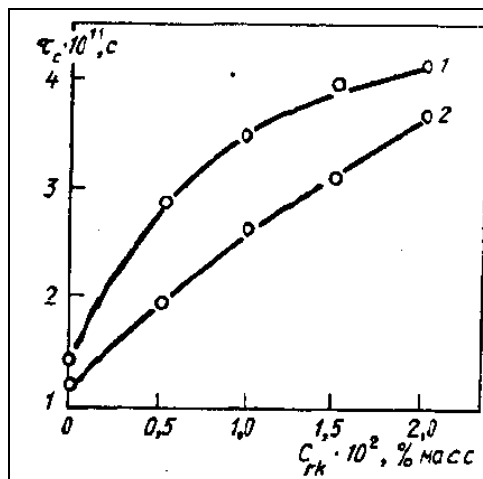


Рис. 2. Влияние содержания в дисперсионной среде гуминовой кислоты на время корреляции зонда ЭПР в дисперсиях кварцевого песка. Содержание электролита:

1 - $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л RbCl; 2 - $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л CsCl.

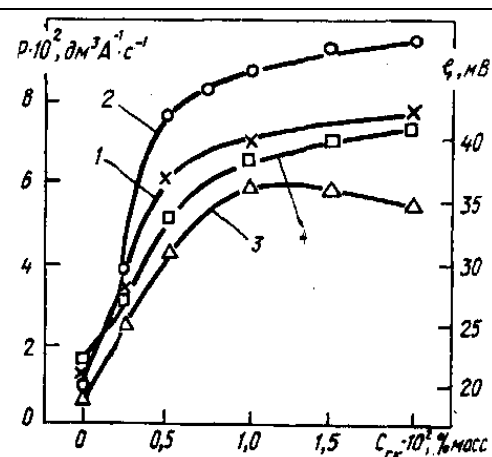


Рис. 3. Зависимость электроосмотического переноса (1, 2) и ζ -потенциала (3, 4) от содержания гуминовой кислоты в дисперсиях кварцевого песка. Содержание электролита:

1, 3 - $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л RbCl; 2, 4 - $2,4 \cdot 10^{-3}$ моль/л CsCl.

В данной работе для оценки изменения вязкости межчастичной жидкости дисперсии кварцевого песка было изучено время корреляции молекулярного зонда ЭПР. Спектр ЭПР ТП представляет собой триплет сверхтонкой структуры от взаимодействия неспаренного электрона нитроксильной группы с ядром ^{14}N . Форма линий триплета аналогична представленной в [11] и свидетельствует о высокой подвижности радикала в изотропном вращении, при котором переориентация относительно трех осей молекулы зонда происходит с равной частотой и равными скоростями. Вращательная переориентация зонда в этом случае характеризуется временем τ , зависящим от размера молекулы зонда и вязкости его локального окружения.

120

Исследования растворов [5, 11, 12], суспензий [13, 14] и паст [15] показали, что ТП является нейтральным зондом, располагается в дисперсной системе преимущественно на удалении от ионов и заряженной поверхности частицы и непосредственно с ними не взаимодействует. Как видно из рис. 2, в изученных дисперсиях кварцевого песка время вращательной корреляции ТП остается в пределах $(1-5)10^{-11}$ с, что характерно для маловязких жидкостей. Расчеты показывают, что для частиц размером $(2-6)10^{-6}$ м, размер пор в состоянии плотной упаковки составляет $(0,2-0,8)10^{-6}$ м. Протяженность диффузионной части двойного слоя при концентрации хлоридов рубидия и цезия $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л составляет около 100 Å. Следовательно, диффузионный слой не охватывает полностью межчастичное пространство дисперсии и остается некоторый объем раствора с неизменными свойствами (вязкостью), в которой располагаются молекулы зонда, имеющие предельно высокую подвижность. Увеличение времени корреляции зонда при введении в систему гуминовой кислоты (см. рис. 2) показывает, что в межчастичном пространстве ухудшаются условия для свободного вращения молекул ТП. Из рисунка также можно сделать вывод, что на ТП оказывают совместное действие ГК и растворенный электролит. В частности, ионы рубидия в большей степени увеличивает τ в присутствии ГК по сравнению с ионами цезия.

Согласно соотношению Стокса-Эйнштейна [16]

$$\eta = \frac{3kT\tau_c}{4\pi r^3},$$

где r - радиус частиц; вязкость локального окружения молекулярных частиц пропорциональна τ_c . Учитывая преимущественную локализацию молекул ТГ в дисперсной среде, по изменению τ_c можно сделать вывод, что в поровом пространстве дисперсии на удалении от поверхности

частиц более 100 Å вязкость жидкости в 3,5-4,0 раза выше, по сравнению со свободным раствором в отсутствии добавок гуминовой кислоты.

Следует отметить, что в повышении вязкости межчастичной жидкости вносит вклад не только структурирующее действие макромолекул биполярного полиэлектролита, каким является ГК [17], но также и иммобилизация жидкости под влиянием двойного электрического слоя. Последней происходит в результате повышения вблизи поверхности частиц концентраций гидратированных ионов одного знака - такое структурированное состояние воды недостижимо в объеме раствора, где соблюдается равенство концентрации ионов обоих знаков. Вследствие сорбции макромолекул ГК повышение локальной вязкости вблизи поверхности частиц, в частности на границе скольжения (1,0 - 1,5) нм, по-видимому, значительно выше и ухудшает условия диффузии, миграции или электромиграции ионов, находящихся в поровом пространстве дисперсии.

На рис. 3 приведены результаты изучения электроосмотического переноса ионов рубидия и цезия через дисперсию кварцевого песка (кривые 1 и 2), а также изменение электрокинетического потенциала, измеренного методом микроэлектрофореза (кривые 3 и 4) при различном содержании ГК. Электроосмотический перенос представляет собой объемную скорость движения жидкости в порах, отнесенную к величине проходящего электрического тока. Согласно формуле Смолуховского

$$P = \frac{\xi \epsilon \epsilon_0}{\eta \chi}$$

121

пропорционален величине ξ -потенциала, [18]. Поскольку при электромиграции жидкости через поры дисперсной системы участвует деформированный двойной электрический слой, в отличие от электрофореза одиночных частиц, то ξ -потенциал, определенный методом электроосмоса, как правило, значительно ниже, чем определенный методом микроэлектрофореза. Сравнение результатов по электроосмосу и электрофорезу (см. рис. 3) показывает, что сохраняется влияние добавок гуминовой кислоты в дисперсию кварцевого песка. Это подтверждает одинаковый ход кривых Р-С и ξ -С, а так же более сильное влияние ионов рубидия по сравнению с ионами цезия как в том, так и в другом случае. Наиболее сильное увеличение электромиграции раствора наблюдается при малых добавках гуминовой кислоты (до 0,01% мас.), происходящее при симбатном изменении ξ -потенциала и времени корреляции зонда ЭПР (см. рис. 2). Следовательно, гуминовая кислота выполняет две функции в дисперсии кварцевого песка: ГК сорбируется на поверхности частиц и модифицирует ее таким образом, что увеличивается вязкость межчастичной жидкости. Оба эффекта существенно изменяют состояние дисперсионной среды, от которого зависят диффузионные процессы в дисперсиях.

1. *Ландшафты Чернобыльской зоны и их оценка по условиям миграции радионуклидов* // В.С. Давыдчук, Р.Ф. Зарудная, С.В. Михели и др. - Киев: Наук, думка, 1994. - 112 с.
2. *Латин И.А., Красюков В.Н.* Роль гумусовых веществ в процессах комплексообразования и миграции металлов в природных водах // Водные ресурсы, 1985. - № 1. - С. 134-144.
3. *Питьева К.Е.* Гидрохимия. - Изд-во МГУ, 1988. - 316 с.
4. *Маляренко В.В., Овчаренко Ф.Д., Кракова Т. С.* Исследование двойного электрического слоя каолинита, модифицированного поверхностно-активными катионитами // Коллоидн. журнал. - 1978. - С. 778-781.
5. *Кульский Л.А., Маляренко В.В., Черноморец Н.Ф.* Состояние нитроксильного зонда ЭПР в водных растворах электролитов // Украинск. хим. журнал. 1984. - 50, - № 1. - С. 18-20.
6. *Атлас спектров ЭПР, спиновых меток и зондов* // Л.И. Анциферова, А.М. Вассерман, А.Н. Иванова, В.А. Лившиц, Н.С. Назимец. - М.: Наука, 1977. - 160 с.
7. *Алексеев О.Л., Маляренко В.В.* К методике электроосмотических измерений // Украинск. хим. журнал. - 1970. - 36, № 11. - С. 1177-1178.
8. *Riddick T.M.* Control of colloid stability through Zeta Potential. - Livingston: Wynnewood, Pa. - 1968. - 1. - 372 p.
9. *Кожанов В.А., Клименко Н.А., Маляренко В.В.* Удаление красителя активного яркокрасного 5 СХ катионным флокулянтном из водной среды // Химия и технология воды. - 1991. - 13, № 6. - С. 534-537.
10. *Маляренко В.В.* О природе свободных радикалов гуминовых кислот // Химия и технология воды. - 1993. - 15, № 9-10. - С. 611-620.
11. *Маляренко В. В., Черноморец Н.Ф.* Состояние нитроксильного зонда ЭПР в водных растворах электролитов при замораживании // Украинск. хим. журнал. - 1984. - 50, № 5. - С. 471-475.

12. *Взаимодействие* между фосфат- и силикат-ионами в водных растворах // В.В. Маляренко, Н.Ф. Чуйко, В.Ю. Третинник, С.В. Паховчишин. - Там же. - 1988. - 54, № 7. - С. 686-689.

13. *Влияние* pH на гидрофильность, электрокинетические и реологические свойства Al_2O_3 // В.В. Маляренко, С.В. Паховчишин, А.П. Шиманский, П.И. Купрбенко, В.И. Фурман. - Там же. - 1989. - 55, № 11. - С. 1141-1145.

14. *Куприенко П.И., Пилипенко А. Т., Маляренко В.В.* Применение гидроксинитрата алюминия в качестве стабилизатора водных дисперсий силикатов // Докл. АН СССР. - 1990. - 310, № 2. - С. 392-394.

122

15. *Применение* метода, спинного зонда ЭПР для исследования силикатных дисперсий // Ю.А. Шепляков, В.В. Маляренко, В.Д. Глуховский, В. Манк, Р.Ф. Рунова. - Коллоид. журнал - 1982. - № 4. - С. 815-818.

16. *Свободные радикалы* в биологии // Ред. У. Прайор. - М.: Мир, 1979. - Т.1. - 320 с.

17. *Маляренко В.В.* Природа, функциональных групп и сорбционные взаимодействия гуминовых веществ в водной среде // Химия и технология воды. - 1994. - 16, № 6. - С. 592-606.

18. *Духин С.С., Дерягин Г.В.* Электрофорез. - М.: Наука, 1976. - 328 с.

Межотраслевой научно-технический центр НАН Украины "Укрытие", Чернобыль

Поступила 15.03.95

123

УДК 541.183

В. А. Кожанов, Ю. В. Шулепов, Н. И. Проскура
**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СОРБЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ
В СЛОЕ ПОЧВЫ ОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ ЛИНЕЙНОЙ ИЗОТЕРМЕ**

Получено решение системы уравнений процесса сорбции радионуклидов сдоем почвы. Решение приведено в виде зависимости степени завершенности процесса внутренней диффузии в частицу почвы и исходных динамических кривых от основных обобщенных параметров процесса: обобщенной длины слоя грунта сорбенту, обобщенного времени протекания процесса, критерия Био. Введены понятия "слой защитного действия грунта" и "время защитного действия грунта", приведены их математические выражения, позволяющие провести прогнозирующие расчеты.

В настоящее время на территории аварии ЧАЭС складывается ситуация, которая заставляет обратить более пристальное внимание на возможность интенсивного поступления радионуклидов в р. Припять и связанные с ней водоносные горизонты.

Поверхностное радиоактивное загрязнение территории Зоны отчуждения без пунктов временной локализации радиоактивных отходов ПВЛРО, промплощадки 4-го энергоблока и объекта "Укрытие" оценивается в суммарном выражении в 237,8 тыс. Ки [1], что приблизительно эквивалентно массе 13 кг радионуклидов, рассредоточенных на площади 1856 км² (0,007 мг/м²) и достаточно прочно связанных с поверхностным слоем почвы. Этот вид радиоактивного загрязнения не предвещает каких-либо спонтанных процессов, обуславливающих их значительное поступление в короткий промежуток времени в водоносные горизонты. Сосредоточение же около 95% 192 т топлива, первоначально загруженного в реактор 4-го энергоблока, в объекте "Укрытие" [2], около 500-1000 кг на промплощадке этого же объекта, наличие около 800 ПВЛРО с суммарным объемом радиоотходов около 1 млн. м³ с общей активностью в 380 тыс. Ки [1] заставляет оценить вероятность поступления этой массы радионуклидов в водоносные горизонты и сопоставить с сорбционной возможностью почв, по которым предположительно может осуществляться миграция этих загрязнений.

Учитывая то, что территория аварии дренируется р. Припять, связанной с источниками водоснабжения, которые обеспечивают 40 миллионов человек [3], становится ясным - актуальность поставленной проблемы не вызывает сомнений.

Интенсивность и направленность миграции радионуклидов в почвах определяется совокупностью разнообразных факторов: геоморфологическим строением местности, физико-химическими свойствами почв и их генетическим строением, гидрогеологическими и климатическими условиями местности, и, что очень существенно, условиями поступления радиоактивных загрязнений, т.е. является ли источник радионуклидов стационарным или временно действующим.

Ясно, что такой широкий диапазон факторов, определяющих миграцию, среди которых еще не названы физико-химические свойства самих радионуклидов, чрезвычайно сильно усложняет задачу определения и использования математической модели обсуждаемого процесса.

Рассмотрим вопрос фильтрации жидкости, в которой растворены радионуклиды, через слой почвы (сорбента) однородной структуры. В предлагаемой модели используется ряд приближений: частицы почвы принимаются сферическими, вводится предположение о

© В. А. Кожанов, Ю. В. Шулепов, Н. И. Проскура, 1996

124

фильтровальном режиме течения процесса (при больших числах Пекле), в расчетах не учитываются эффекты слипания частичек почвы и тупиковых зон. (Такой учет можно было бы реализовать введением эффективных коэффициентов для объема фильтрации.) Решение задачи получено в предположении линейной изотермы сорбции - адсорбции либо ионного обмена в частичку почвы (зерна адсорбента). Решение получено в общем виде смешанно-диффузионной кинетики без привлечения эмпирических соотношений, описывающих кинетику сорбции в частицу. Используемое граничное условие, характеризующее постоянное значение радионуклидов в среде на поверхности слоя, определяет существование стационарного источника радионуклидов на поверхности почвы. Решение получено для концентрации одного из компонентов (сортов) радионуклидов и справедливо для каждого из компонентов смеси при линейной изотерме.

Динамика сорбции ионов в случае смешанно-диффузионной кинетики. В данном разделе рассматривается построение теории динамики процесса сорбции в почвах. Прежде всего, выясним механизм процесса фильтрации. Ясно, что в предельном случае может реализоваться два режима протекания процесса. В первом случае, когда эффективная длина слоя почвы, за которым ведется наблюдение, оказывается короткой, в процессе фильтрации частицы почвы (сорбента) практически остаются неотработанными, не успевают образоваться резкая граница между адсорбированным и неадсорбированным веществом в растворе. Такой характер протекания процесса называется нерегулярным [4]. Во втором случае процесс протекает таким образом, что образуется достаточно резкая граница между адсорбированным и неадсорбированным веществом в растворе. В процессе фильтрации эта резкая граница (фронт адсорбции) движется со скоростью, меньшей скорости фильтрации, и после прохождения границы фронта частицы почвы отрабатываются почти полностью. Этот случай соответствует так называемому регулярному режиму [4]. Факторами, способствующими протеканию процесса в регулярном режиме, являются увеличение длины слоя, коэффициента диффузии адсорбата в частичках почвы, а также увеличение коэффициента распределения, в то время как возрастание скорости фильтрации и порозности (доли свободного объема) в слое почвы препятствуют реализации регулярного режима.

Представление лишь о двух предельных режимах протекания процесса фильтрации является идеализацией. В действительности часто встречаются промежуточные случаи, кроме того, даже при выполнении критериев реализации регулярного режима существенным сказывается фактор размытия фронта адсорбции. Тем не менее, введение представления о режимах протекания процессов фильтрации важно для анализа реальной ситуации.

Для математического описания процесса однокомпонентной динамики сорбции следует решить совместную систему уравнений [4-8]

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha \frac{\partial c}{\partial t} + (1 - \alpha) \frac{\partial c}{\partial t} + V \frac{\partial c}{\partial x} = 0, \\ a(x, t) = \int_0^t F(t - t') \frac{\partial c^*(x, t')}{\partial t'} dt, \\ c^* = k_d c, \\ c(x, 0) = 0, \quad 0 < x < L; \quad c(0, t) = c_0, \quad 0 < t < \infty. \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} (1) \\ (2) \\ (3) \\ (4) \end{array}$$

125

Система состоит из уравнения математического баланса (1), записанного без учета влияния продольного перемешивания путем молекулярной диффузии, что оправдано в

большинстве реализующихся на практике случаев; кинетического уравнения (2), описывающего взаимосвязь усредненной концентрации в частице почвы $a(x, t)$ в момент времени t в сечении, находящемся на расстоянии x от источника поступления радионуклидов в слой почвы с концентрацией на поверхности частицы почвы $c^*(x, t)$ и степенью завершенности процесса внутренней диффузии в частице $F(t)$ (отношение количества сорбтива, поглощенного частицей, к моменту времени t и в состоянии равновесия); это уравнение является решением общей задачи сорбции ионного обмена для линейного уравнения диффузии адсорбата в сферическую частицу с постоянным коэффициентом диффузии при нулевой начальной и произвольном граничном условии (4) через решение задачи о внутридиффузионной кинетике с граничными условиями, определяющими постоянство концентрации на поверхности сферической частицы (4); уравнение (3) связывает концентрацию сорбтива на поверхности частицы $c^*(x, t)$ с концентрацией в растворе c ; оно представляет собой изотерму сорбции, записанную в пренебрежении равновесными факторами размытия фронта сорбции, т.е. линейную изотерму. Остальные обозначения: k_d - коэффициент объемного распределения; L - длина слоя почвы, через которую происходит фильтрование; V - линейная скорость раствора по слою почвы; α - порочность слоя (доля пустот в объеме почвы).

Решение системы уравнений (1)-(3) при условиях (4) может быть получено на основе асимптотических представлений для функции $F(\tau)$ для больших и малых времен.

Так, для случая сорбции в сферическую частицу радиуса R в общей случае смешанно-диффузионной кинетики при линейной изотерме сорбции (3) асимптотическое выражение зависимости степени завершенности процесса $F(\tau)$ от обобщенного времени $\tau = \bar{D} t / R^2$ при малых τ имеет вид

$$F(\tau) = \frac{3Bi}{Bi-1} \left\{ \frac{2Bi}{Bi-1} \sqrt{\tau/\pi} - \tau - \frac{Bi}{(Bi-1)^2} (1 - \exp[(Bi-1)^2 \tau]) \times \right. \\ \left. \times \operatorname{erfc}((Bi-1)\sqrt{\tau}) \right\} + O(\tau^{3/2} \exp(-1/\tau)), \quad \sqrt{\tau} \ll 1, \quad (5)$$

$$\operatorname{erfc} z = 1 - \operatorname{erf} z = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_z^\infty \exp(-u^2) du,$$

где $Bi = DR / \bar{D} \delta k_d$ - диффузионный критерий Био для сферической частицы радиуса R , определяющий соотношение вкладов внешней и внутренней диффузии; $\bar{D}, D$ - коэффициенты диффузии адсорбата в частице и в растворе соответственно; δ - толщина пограничного слоя, зависящая от гидродинамических условий на поверхности зерна.

В предельных случаях больших и малых значений критерия Био выражение (5) преобразуется к виду

$$F(\tau) = \begin{cases} \frac{6\sqrt{\tau}}{\sqrt{\pi}} - \frac{3}{Bi} - 3\tau, & Bi\sqrt{\tau} \gg 1, \quad \sqrt{\tau} \ll 1; \\ 3Bi\tau - \frac{4}{\sqrt{\tau}} Bi^2 \tau^{3/2} + \frac{3Bi^2(Bi-1)\tau^2}{2}, & Bi\sqrt{\tau} \ll 1, \quad \sqrt{\tau} \ll 1. \end{cases} \quad (6)$$

126

Как следует из выражения (6), степень завершенности процесса внутренней диффузии в частице $F(\tau)$ уменьшается с убыванием критерия Био, обращаясь при $Bi \rightarrow 0$ в нуль. Асимптотическое поведение (6) характеризуется так называемым нерегулярным режимом смешанно-диффузионной кинетики при линейной изотерме сорбции.

В противоположном предельном случае больших времен τ $F(\tau)$ поведение $F(\tau)$ определяется первыми членами разложения экспоненциального ряда и характеризуется регулярным режимом смешанно-диффузионной кинетики сорбции [5-8]

$$F(\tau) \approx 1 - B \exp(-\mu^2 \tau), \quad \mu^2 \tau > 1, \quad (7)$$

где $B = \frac{6Bi^2}{\mu^2[\mu^2 + Bi(Bi - 1)]}$, μ - первый (наименьший, не равный нулю) корень трансцендентного уравнения $\mu \operatorname{ctg} \mu = 1 - Bi$. Для $Bi \rightarrow \infty$ $B = 6/\pi$, $\mu = \pi$. Численные значения коэффициентов B и μ приводятся в монографии [9]. Подстановка асимптотических формул (6) и (7) в (1) и решение (2) при начальных и граничных условиях (4) для линейной изотермы (3) дают следующие выражения для выходных кривых фронтального процесса сорбции:

$$\frac{c(x, t)}{c_0} = e^\lambda \begin{cases} \operatorname{erfc}\left(\frac{\lambda}{2\sqrt{\tau_1}}\right), & \tau_1 = \frac{\bar{D}}{R^2}\left(t - \frac{\alpha x}{V}\right) + \frac{\lambda}{Bi}, \\ Bi \geq \frac{3(1-\alpha)k_d}{\alpha}, & Bi\sqrt{\tau} \gg 1, \quad \sqrt{\tau} \ll 1, \\ \operatorname{erfc}\left(\frac{\lambda}{2\sqrt{\tau}}\right), & Bi \leq \frac{3(1-\alpha)k_d}{\alpha}, \\ Bi\sqrt{\tau} \gg 1, & \sqrt{\tau} \ll 1, \end{cases} \quad (8)$$

$$\frac{c(x, t)}{c_0} = e^{-Bi\lambda} \theta\left(t - \frac{\alpha x}{V}\right) \left[1 + \frac{2\lambda}{\sqrt{\pi}} \tau^{1/2} Bi^2 + \frac{\lambda^2}{2} \tau Bi^4 - \right. \\ \left. [-\lambda \tau Bi^2 (Bi - 1)] \right], \quad Bi\sqrt{\tau} \ll 1, \quad \sqrt{\tau} \ll 1; \quad (9)$$

$$\frac{c(x, t)}{c_0} = \exp(-B\mu^2\lambda/3) \left[1 + \int_0^{\frac{2\mu^2\sqrt{B\lambda(\tau-b\lambda)/3}}{}} \exp(-3\xi^2/4\mu^2 B\lambda) I_1(\xi) d\xi \right], \\ \tau > b\lambda, \quad \mu^2\tau > 1, \quad (10)$$

где $\theta(z) = \begin{cases} 1, & z > 0; \\ 0, & z < 0 \end{cases}$; $\lambda = \frac{3(1-\alpha)k_d \bar{D}x}{R^2 V}$ - обобщенная длина слоя;

$b=(1-B)/3$; $I_1(\xi)$ - функция Бесселя первого порядка от мнимого аргумента.

Уравнения для выходных кривых приведены для нерегулярного [(8), (9), $\sqrt{\tau} \ll 1$] и регулярного [(10), $\mu^2\tau > 1$] режимов и основаны на использовании соответствующих асимптотических выражений для кинетических кривых сорбции в частицу почвы.

Возможность получения экспресс-информации на уровне инженерных расчетов. Уравнение (10) весьма громоздко для проведения инженерных расчетов, если воспользоваться вместо функции Бесселя первого порядка от мнимого

127

аргумента ее разложением и оставить только первый член этого разложения:

$$I_1(\xi) = \frac{\exp(\xi)}{\sqrt{2\pi\xi}}. \quad (11)$$

После ряда преобразований подучим более простую формулу, пригодную для инженерных вычислений параметров сорбционного процесса, протекающего в квазиравновесном режиме:

$$\frac{c(\tau)}{c_0} = \frac{1}{2} \left\{ \operatorname{erf} \left(\mu\sqrt{\tau - b\lambda} - \mu\sqrt{\frac{B\lambda}{3}} \right) + \operatorname{erf} \left(\mu\sqrt{\frac{B\lambda}{3}} \right) \right\} + \\ + O \left(\frac{1}{4} \left(\mu\sqrt{\frac{B\lambda}{3}} \right)^{-1} \right). \quad (12)$$

Точность приведенного выражения порядка $\frac{1}{4}(\mu\sqrt{B\lambda/3})^{-1}$, само выражение справедливо при выполнении следующих ограничений:

$$4\mu^2 \leq \tau - b\lambda \leq (2 \div 4) \frac{b\lambda}{3}; \quad \mu \sqrt{\frac{B\lambda}{3}} \geq 2.$$

Следует отметить, что на основании исследования выходных динамических кривых процесса сорбции можно судить о характере режимов фильтрования, что весьма важно для анализа процессов миграции радионуклидов на границе слоя почвы. Как следует из приведенных выше выражений, при достаточно протяженном пути фильтрации в почве миграция радионуклидов в однородной среде протекает по типу регулярного режима с формированием границы концентрации радионуклидов. Это приводит к выводу о существовании слоя защитного действия почвы $L_{\text{защ}}$, который определяется соотношением

$$\lambda_{\text{защ}} = \frac{3(1 - \alpha)k_d \bar{D} L_{\text{защ}}}{R^2 V} \approx 10. \quad (13)$$

Определенное из (13) значение $L_{\text{защ}}$ зависит от ряда параметров: константы адсорбции Генри (k_d), коэффициента диффузии радионуклидов в частицах почвы ($\bar{D}$), среднего радиуса частицы почвы (R) и скорости фильтрования жидкости (V). Значение $L_{\text{защ}}$ определит толщину слоя почвы, на которой происходит полное поглощение радионуклидов. Время, в течение которого происходит полное насыщение слоя $L_{\text{защ}}$ почвы радионуклидами $\tau_{\text{защ}}$, определяется из уравнения

$$\tau = \frac{\bar{D} \tau_{\text{защ}}}{R^2} = \frac{\lambda_{\text{защ}}}{3}. \quad (14)$$

Вместе с тем, задав толщину $L_{\text{защ}}$ слоя почвы, на которой происходит миграция, вычислим по формуле (13) величину $\lambda_{\text{защ}}$ и при условии $\lambda_{\text{защ}} > 10$ определим в соответствии с (14) $\tau_{\text{защ}}$ и, следовательно, время $t_{\text{защ}}$ насыщения этого слоя радионуклидами.

128

Вывод. Таким образом, на основании исследования выходных динамических кривых фронтального процесса сорбции можно судить о характере режима фильтрования в толще почвы, что весьма важно в сложившейся ситуации, когда предположением о поступлении радионуклидов в водоносные горизонты нельзя пренебрегать.

Приведенные оценки показывают возможность использования полученных результатов для прогноза величины загрязнения почвы радионуклидами в процессе их переноса при осадках или другими водными потоками. Естественно, что для проведения такого рода прогностических расчетов необходимо располагать некоторым набором данных, характеризующих сорбент (почву), сорбат (радионуклиды) и гидродинамическую обстановку. Их можно определить экспериментально или взять из литературных источников. Достоверность этих исходных данных во многом определит точность прогноза.

1. Холоша В.И., Соболев Е.В. Концепція Чорнобильської зони відчуження на території України // Проблеми Чорнобильської зони відчуження. - 1994. - № 1. - С. 3-17.
2. Безопасность Чернобыльской АЭС - международные оценки / Составитель М.Я. Аркин. - Атомная техника за рубежом, 1994. - № 11. - С. 9-11.
3. Ландшафты чернобыльской зоны и их оценка по условиям миграции радионуклидов / Под ред. А.М. Маринича. - Киев: Наук. думка, 1994. - 112 с.
4. Шатаева Л.К., Кузнецова Н.Н., Елькин Г.Э. Карбоксильные катиониты в биологии. - Л.: Наука, 1979. - 286 с.
5. Мясников И. А., Гольберт К. А. Внешнедиффузионная динамика сорбции в нелинейной области // Журн. физ. химии, 1963. - 27, № 9. - С. 1311-1328.
6. Аксельруд Г.А. Решение обобщенной задачи в тепло- или массообмене в слое / Инж.-физ. журн., - 1966. - 11, 1. - С. 93-98.
7. Кожанов В.А., Шулепов Ю.В. Математические модели для описания динамики ионного обмена и адсорбционной очистки // Докл. Академии наук СССР. Серия Б. - 1990. - № 11. - С. 40-44.
8. Шулепов Ю.В., Кожанов В.А. Решение общей динамической задачи сорбции из многокомпонентного раствора или из смеси газов для линейной, прямоугольной и слабонелинейной изотерм // Химия и технология воды, 1994. -16, № 3. - С. 227-249,
9. Лыков А.В. Теория теплопроводности. - М.: Высш. школа, 1967. - 599 с.

ТРИТИЙ В ВОДОЕМАХ 30-КИЛОМЕТРОВОЙ ЗОНЫ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Исследовано содержание трития в водоемах, расположенных в 30-километровой зоне ЧАЭС. Проведенные измерения показали, что в 1993 г. содержание радионуклида в водных объектах не превышало уровней, характерных для водоемов Украины в этот период. Имевшие место повышенные концентрации в связи с аварией на ЧАЭС в 1986 г. очевидно носили кратковременный характер. Рассмотрены возможные причины увеличения содержания трития в пойменных водоемах р. Припяти, происшедшего в мае 1994 г. Предполагается, что источником повышенных концентраций трития в водоемах поймы р. Припяти могли быть также Хмельницкая и Ровенская АЭС, оснащенные реакторами типа ВВЭР и расположенные в бассейне этой реки.

Введение. Тритий является основной радиоактивной составляющей жидких сбросов и газообразных выбросов атомных электростанций с реакторами, при эксплуатации которых в качестве теплоносителя и замедлителя быстрых нейтронов используется кипящая вода или вода под давлением. К первым относятся реакторы типа BWR, получившие распространение за рубежом, ко вторым - реакторы типа PWR и их отечественные аналоги - реакторы ВВЭР-1000 и ВВЭР-440.

ЧАЭС оснащена реакторами типа РБМК, характеризующимися сравнительно незначительными поступлениями исследуемого радионуклида в окружающую среду. Однако в результате аварии на ЧАЭС в 1986 г. в биосферу, наряду с другими радионуклидами, поступило и значительное количество трития (Катрич 1990, Florkowsli et al. 1988, Salonen, 1987).

Специфика загрязнения тритием водных экосистем заключается в том, что уменьшение концентрации этого радионуклида в водном объекте происходит только вследствие разбавления и/или выхода из экосистемы за счет испарения и проточности водоема. Тритий отнесен к радиационно опасным, долгоживущим нуклидам ($T_{1/2}=12,35$ г) и способен загрязнять окружающую среду не только в районе непосредственного размещения источника, но и в региональном и глобальном масштабе.

Целью настоящих исследований являлось изучение распределения трития в водоемах 30-километровой зоны ЧАЭС.

Материал и методика исследований. Отбор проб воды производили в различные сезоны 1993 и 1994 гг. в период экспедиций Института гидробиологии НАН Украины. Пробы отбирали в поверхностном водном слое пруда-охладителя ЧАЭС, в озерах Глубоком и Далеком, в Красненском старице, а также в р. Припять у Чернобыля и в устьевой части (см. рисунок). После отбора пробы фильтровали от взвесей на компрессорной установке УК 40-2М, помещали в герметично закрывающиеся стеклянные емкости объемом 250 мл и в целях предотвращения испарения заливали парафином. Перед измерением воду дистиллировали.

Содержание трития определяли с использованием сцинтилляционного альфа-, бета-спектрометра, Quantulus-1220 (LKB-Wallac). Пробы готовили на основе сцинтилляционной смеси OptiPhase-HiSafe 3 при соотношении (проба : сцинтиллятор) 8:12 и измеряли в полиэтиленовых виалах емкостью 20 мл. Калибровку спектрометра по эффективности проводили с помощью стандартного радиоактивного раствора на основе тритиевой воды с погрешностью удельной активности не более 3% и калибровочного набора Het-Trick фирмы LKB Wallac с погрешностью не более 1%. Минимальная детектируемая активность

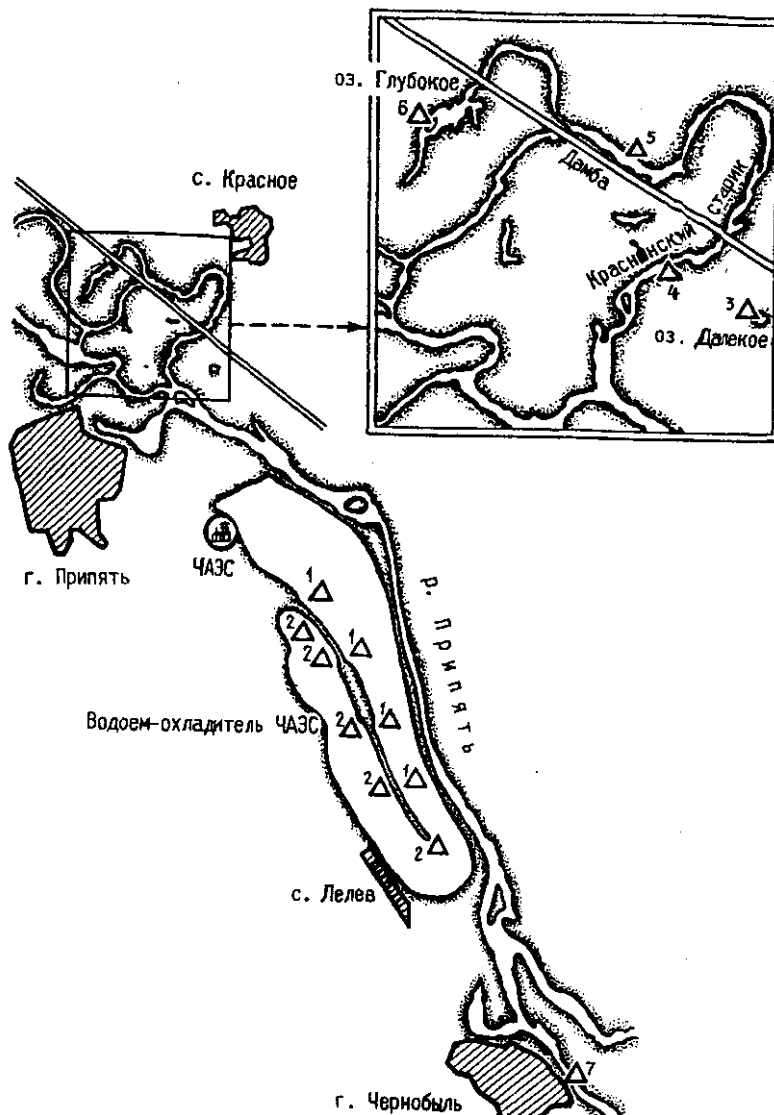


Схема водоемов 30-километровой зоны ЧАЭС со станциями отбора проб в 1993 и 1994 гг. Номера см. в таблице (масштаб 1:180 000).

при измерении составляла 5,1 и 1,1 Бк/л для времени измерения образцов соответственно 100 и 500 мин. Ошибка при этом составляла не более 5%.

Результаты исследований и их обсуждение. Проведенные измерения показали, что содержание трития в водоемах 30-километровой зоны ЧАЭС в 1993 г. характеризовалось концентрациями в пределах от 4,1 до 11,0 Бк/л с максимальными значениями в пруде-охладителе ЧАЭС (см. таблицу). Такое содержание трития в исследуемых водоемах не превышает уровень, характерный для водных объектов природного и антропогенного происхождения, расположенных на территории Украины, а незначительное увеличение радионуклида в пруде-охладителе ЧАЭС свидетельствует о том, что сбросы и выбросы трития ЧАЭС не превышают величины усредненных нормализованных сбросов и выбросов для реакторов типа РБМК.

В мае 1994 г. было зарегистрировано значительное увеличение (более чем в 19 раз) содержания трития во всех исследуемых водоемах 30-километровой зоны ЧАЭС

131

с максимальным значением в р. Припять (более 120 Бк/л). Предполагается, что в рассматриваемой ситуации ЧАЭС не является преобладающим источником увеличения содержания трития в водных объектах в этот период, поскольку, несмотря на то, что водоснабжение пруда-охладителя ЧАЭС осуществляется за счет воды из р. Припять, концентрация исследуемого радионуклида в пруде-охладителе была в 1,5-2 раза меньше по сравнению с его содержанием в реке. При этом значительно большие концентрации отмечены для водоемов, расположенных выше по течению от ЧАЭС. Учитывая то обстоятельство, что в

бассейне р. Припять размещены Ривненская и Хмельницкая АЭС (соответственно на р. Стырь и Горынь), оснащенных реакторами типа ВВЭР, можно предположить, что источником увеличения трития в исследуемых водоемах была одна из упомянутых атомных электростанций.

Содержание трития в водоемах 30-километровой ооны ЧАЭС, Бк/л

Номер п/п	Расстояние до ЧАЭС, км	Водоемы	Май-июнь 1993 г.	Октябрь 1993 г.	Май 1994 г.	Июль 1994 г.	Ноябрь 1994 г.
1	2,9-7,8	Пруд-охладитель ЧАЭС (холодная часть)	8,6	8,9	84,0	25,5	7,8
2	3,2-9,6	Пруд-охладитель ЧАЭС (теплая часть)	11,0	8,5	66,6	17,2	6,5
3	3,9	Оз. Далекое	х	5,8	61,2	7,4	4,5
4	4,8	Красненский старик (до дамбы)	х	4,5	66,7	5,8	5,3
5	6,3	Красненский старик (после дамбы)	х	4,1	94,2	5,2	3,6
6	7,0	Оз. Глубокое	х	4,2	75,0	7,9	5,4
7	16,0	Р. Припять (у Чернобыля)	1,5	7,3	120,4	9,7	5,7
8	29,0	Р. Припять (устье)	х	5,3	х	5,9	х

Примечание. х – не определяли.

Несмотря на значительное увеличение содержания трития в водоемах 30-километровой зоны ЧАЭС в мае 1994 г., уже через два месяца после весеннего пробоотбора концентрация трития в них снизилась практически до уровня 1993 г. Исключение составил пруд-охладитель, содержание трития в котором оставалось на уровне 17,2-25,5 Бк/л. Очевидно, это было связано с большим объемом воды в пруде-охладителе и соответственно с более медленным обменом водных масс, по сравнению с другими из исследуемых водоемов, смена воды в которых происходила значительно быстрее.

В ноябре 1994 г. содержание трития во всех водоемах 30-километровой зоны ЧАЭС, в которых производился отбор проб, продолжало снижаться, достигнув к концу месяца значений 1993 г.

Заключение. Проведенные исследования показали, что в 1993 г. содержание трития в водоемах 30-километровой зоны ЧАЭС не превышало уровней, характерных для водоемов Украины, а имевшие место повышенные концентрации в связи с аварией на ЧАЭС в 1986 г., очевидно, носили кратковременный характер.

Имеются основания полагать, что источником увеличения содержания трития в исследуемых водоемах в мае 1994 г. является не ЧАЭС, а скорее всего - электростанции, оснащенные реакторами типа ВВЭР и расположенные в бассейне р. Припять.

132

Концентрации трития, зарегистрированные в водоемах 30-километровой зоны ЧАЭС в период исследований, не превышают допустимые концентрации, согласно принятым на Украине нормативам для питьевой воды, и соответственно радиозэкологической опасности не представляют.

Считается целесообразным создание пунктов отбора проб в районах размещения Ривненской и Хмельницкой АЭС для проведения регионального мониторинга трития, который позволит выявить источники и оценить уровни поступления трития на территорию водосбора Днепра и его водохранилищ.

1. Камрич И.Ю. Тритий в природных водах после аварии на Чернобыльской атомной электростанции // Метеорология и гидрология. - 1990. - 5. - С. 92-97.

2. Florkowski T., Kuc T., Rozanski K. Influence of the Chernobyl accident on the natural levels of tritium and radiocarbon // Appl. Radiat. and Isotop. - 1984. - 39, N 1. - P. 77-79.

Институт гидробиологии НАН Украины, Киев
Поступила 15.03.95

133

УДК 551.405-551.49/628.19:546.799.44546 36+546.42

Л. М. Шехтман, В. Т. Баранов, Г. Ф. Нестеренко,
Е. А. Кишинская, В. М. Черная, Е. А. Яковлев
**ОЦЕНКА ЗАЩИТНОЙ СПОСОБНОСТИ ОТ РАДИОАКТИВНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ
ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПЛОЩАДКИ КОМПЛЕКСА "ВЕКТОР"
В 30-КИЛОМЕТРОВОЙ ЗОНЕ ЧАЭС**

Рассмотрены защитные свойства геологической среды площадок дезактивационного комплекса "Вектор" в 30-километровой зоне ЧАЭС. Охарактеризованы основные закономерности подземной миграции радиоактивных загрязнений, сорбционные свойства грунтов в зоне аэрации при миграции цезия-137, стронция-90 и плутония-239. Произведены расчеты скорости миграции радионуклидов, построены карты оценки защитной способности грунтов зоны аэрации, выполнено районирование площадки по величине сорбционной способности грунтов. Изложенное позволяет констатировать, что геологическая среда обладает достаточно высокой защитной способностью от радиоактивных загрязнений.

Одним из объектов, проектируемых в составе дезактивационных сооружений в 30-километровой зоне ЧАЭС, является комплекс "Вектор", включающий завод по дезактивации металла и хранилище для временного складирования радиоактивных отходов низкой и средней активности с последующим захоронением в региональный могильник. Предполагается предварительное обязательное омоноличивание низкоактивных отходов цементированием, среднеактивных - битуминизированием. Эти мероприятия должны обеспечить гарантированный расчетный срок хранения хранилищ 10^3 лет при условии цементирования, 10^5 лет при битуминизировании.

Создание подобных хранилищ требует надежной оценки защитных свойств геологической среды в части ее сорбционных свойств и возможности подземной миграции радионуклидов, обуславливающих процессы массопереноса, которые могут привести к загрязнению водоносных горизонтов и поверхностных водоемов, дренирующих эти горизонты.

Основным условием захоронения радиоактивных отходов неглубоких могильников является недопущение контакта твердых отходов с инфильтрующимися атмосферными осадками и подземными водами, т.е. хранилище должно быть всегда сухим. Это может быть обеспечено размещением могильника в благоприятных природных условиях - на участках, где мощность и сорбционные свойства грунтов зоны аэрации обеспечивают защиту подземных вод от загрязнения их радионуклидами.

В случае возникновения экстремальных природных и техногенных аварийных ситуаций, при которых в хранилище может поступить вода, радиационное состояние подземных вод будет зависеть от миграционных параметров основных радионуклидов - стронция-90, цезия-137 и плутония-239, поскольку они вероятнее всего будут преобладать в технических отходах комплекса. Оценка защитной способности геологической среды площадки комплекса "Вектор" выполнена на основании определения ее сорбционных свойств, в частности, коэффициентов распределения указанных элементов K_p [1] (лабораторные определения выполнены в Институте биофизики Минздрава России).

© Л. М. Шехтман, В. Т. Баршова, Г. Ф. Нестеренко, Е. А. Кишинская, В. М. Черная, Е. А. Яковлев, 1996

134

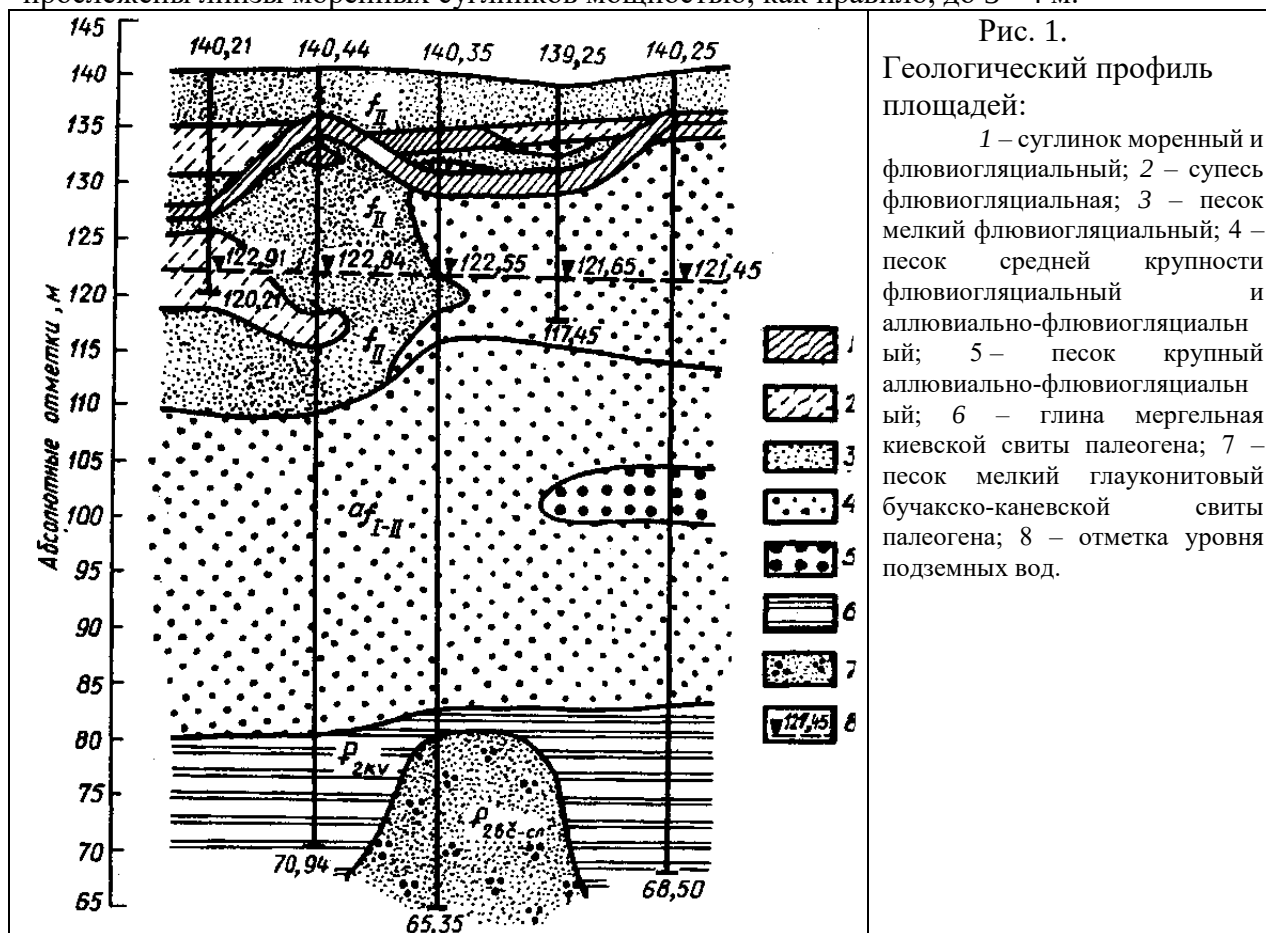
ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ПЛОЩАДКИ

Рассматриваемая территория расположена на междуречном пространстве р. Припять и ее правого притока - р. Уж; расстояние до р. Припять 10 км, до р. Уж - 8 км. Абсолютные отметки рельефа 132-150 м. Это моренно-зандровая равнина, характеризующаяся незначительной глубиной расчленения.

При анализе геолого-гидрогеологических условий наибольший интерес представляет толща четвертичных и эоценовых отложений (рис.1), включающая четвертичный и бучакско-каневский водоносные горизонты, а также верхнего мела (нижний водоупор бучакско-каневского горизонта).

Отложения верхнего мела представлены мергельно-меловыми породами туронского яруса, кровля которых прослеживается на глубине 90-100 м. Выше залегают отложения бучакско-каневской свиты, представленные мелкими и пылеватыми песками мощностью порядка 30 м; к ним приурочен бучакско-каневский водоносный горизонт. Кровлей горизонта является толща мергельных глин киевской свиты эоцена мощностью в среднем 10 м; кровля глин на глубине 50 – 60 м.

Залегающая выше толща четвертичных флювиогляциальных отложений в нижней части сложена песками, преимущественно средней крупности, в верхней – переслаивающимися песчано-глинистыми образованиями с преобладанием песков; местами прослежены линзы моренных суглинков мощностью, как правило, до 3 - 4 м.



135

Мощность прослоев и линз глинистых грунтов непостоянна - от 1-2 до 6-8 м. К четвертичным отложениям приурочены грунтовые воды.

Площадка находится в области питания водоносных горизонтов; уклон зеркала подземных вод - в сторону долга рек Припять и Уж, где происходит их разгрузка.

Водоносные горизонты, приуроченные к четвертичным и бучакско-каневским отложениям, рассматриваются как взаимосвязанный водоносный комплекс в связи с несовершенством водоупора (мергельных глин киевской свиты) из-за высокой трещиноватости глин. Четвертичный горизонт безнапорный, бучакско-каневский обладает напором, причем уровни их примерно совпадают и прослеживаются на глубинах от 11 до 25 м (абсолютные отметки 122-127 м). В ближайших частях долин рек Припять и Уж уровни подземных вод на абсолютных отметках 109-115 м.

Для расчетов сорбционных и миграционных свойств геологической среды при миграции цезия-137, стронция-90 и плутония-239 гидрогеологические условия

схематизированы, исходя из следующих предпосылок: подземные воды в четвертичных и бучакско-каневских отложениях рассматриваются как единый водоносный комплекс;

толща мергельных глин киевской свиты, затрудняющих миграцию радионуклидов, в расчетах не учитывается;

коэффициент фильтрации песков водоносного комплекса составляет: средней крупности - 15 м/сут, мелких - 4,0 м/сут, пылеватых - 3,5 м/сут;

общая пористость песков: средней крупности - 40%, мелких и пылеватых - 42%;

активная пористость песков (по справочным данным) - 0,15.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОДЗЕМНОЙ МИГРАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Радионуклиды обладают свойством поглощаться горными породами в процессе миграции в зоне аэрации.

Миграция радиоактивных загрязнений в зоне аэрации является очень сложным гидрогеологическим процессом, зависящим от многих факторов: минералогического состава грунтов зоны аэрации; плотности сложения пород и степени их неоднородности; состава поровых растворов и инфильтрующихся вод; окислительно-восстановительных процессов; форм миграции загрязняющих веществ, их коэффициентов диффузии и др.

Процесс миграции радиоактивных загрязнений в подземных водах осложняется в связи с тем, что радионуклиды в основном перемещаются в гравитационной воде, движение которой зависит от активной пористости n , составляющей по объему только 20-40 % объема общей пористости n . Остальная часть общей пористости пород (60-80 %) заполнена неподвижной и слабоподвижной (связанной) водой. При движении загрязненной гравитационной воды в рыхлых осадочных породах происходит диффузионное перемещение из нее радионуклидов в связанную воду. Указанный процесс служит дополнительным фактором, замедляющим продвижение радионуклидов.

Источники радиоактивного загрязнения могут располагаться в пределах распространения водоносных горизонтов или находиться на поверхности земли. В последнем случае появляется дополнительный защитный барьер, которым являются "сухие" породы зоны аэрации.

136

Движение воды в зоне аэрации - очень сложный процесс. Не всегда поток просачивается по всем порам пород, большей частью вода проникает по отдельным вертикальным, наиболее проницаемым участкам, как при инфильтрации атмосферных осадков. На этот процесс накладываются другие факторы: действие капиллярных сил и испарение влаги, взаимодействие между гравитационной и связанной водой, транспирация влаги растениями.

Однако расчетная схема движения вертикального потока через зону аэрации упрощается, когда жидкость полностью заполняет все поры породы. Это возможно при утечках из емкостей и трубопроводов комплекса, а также при аварийных разливах растворов. Для приближенной оценки миграции радиоактивных загрязнений в зоне аэрации некоторыми авторами используются расчетные схемы, применяемые для горизонтальных потоков в водоносных горизонтах.

Так, для определения положения основного фронта движения сорбируемого радионуклида (граница участка насыщения) используется уравнение

$$x = \frac{U_{\Phi} t}{n_0(1 + \bar{K}_p)},$$

в котором x - мощность зоны аэрации, а вместо скорости фильтрации U_{Φ} и времени t записывается суммарный объем жидкости, прошедшей через единицу площади поперечного сечения потока q :

$$x = \frac{q}{n_0(1 + \bar{K}_p)}.$$

Последнее уравнение позволяет оценить мощность зоны аэрации, обеспечивающую защиту грунтовых вод от проникновения в них сорбируемого радионуклида. Когда же рассматривается движение несорбируемого радионуклида, значение K_p принимается равным

нулю ($\bar{K}_p$ - приведенный коэффициент распределения; методика определения $\bar{K}_p$ излагается ниже).

СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

Защитная мощность подстилающих хранилище пород оценивается их сорбционной способностью, которая характеризуется катионо-обменной емкостью (КОЕ), определяющей, какое количество катионов (в мг-экв) может поглотить 1 г исследуемого образца. В качестве показателя сорбции радионуклидов грунтами используется коэффициент распределения (K_p), представляющий собой отношение концентрации нуклида в грунте к равновесному удельному содержанию его в растворе, находящемся в соприкосновении с данным образцом грунта.

В зависимости от сложения и минералогического состава различные грунты поглощают радионуклиды с разной интенсивностью. Чем выше ионообменная емкость грунтов, тем больше возрастают значения коэффициентов распределения при поглощении сорбируемых радионуклидов.

По результатам исследований Института биофизики наибольшей катионообменной емкостью и сорбционной способностью обладают тонкодисперсные глинистые породы (монтмориллониты, бентониты и др.).

При лабораторных определениях коэффициентов распределения в качестве жидкости использована пресная гидрокарбонатная вода, имеющая сухой остаток 300-400 мг/л. Величины K_p при миграции цезия-137, стронция-90, плутония-239 непостоянны и варьируют в определенных пределах. При этом коэффициент распределения стронция-90

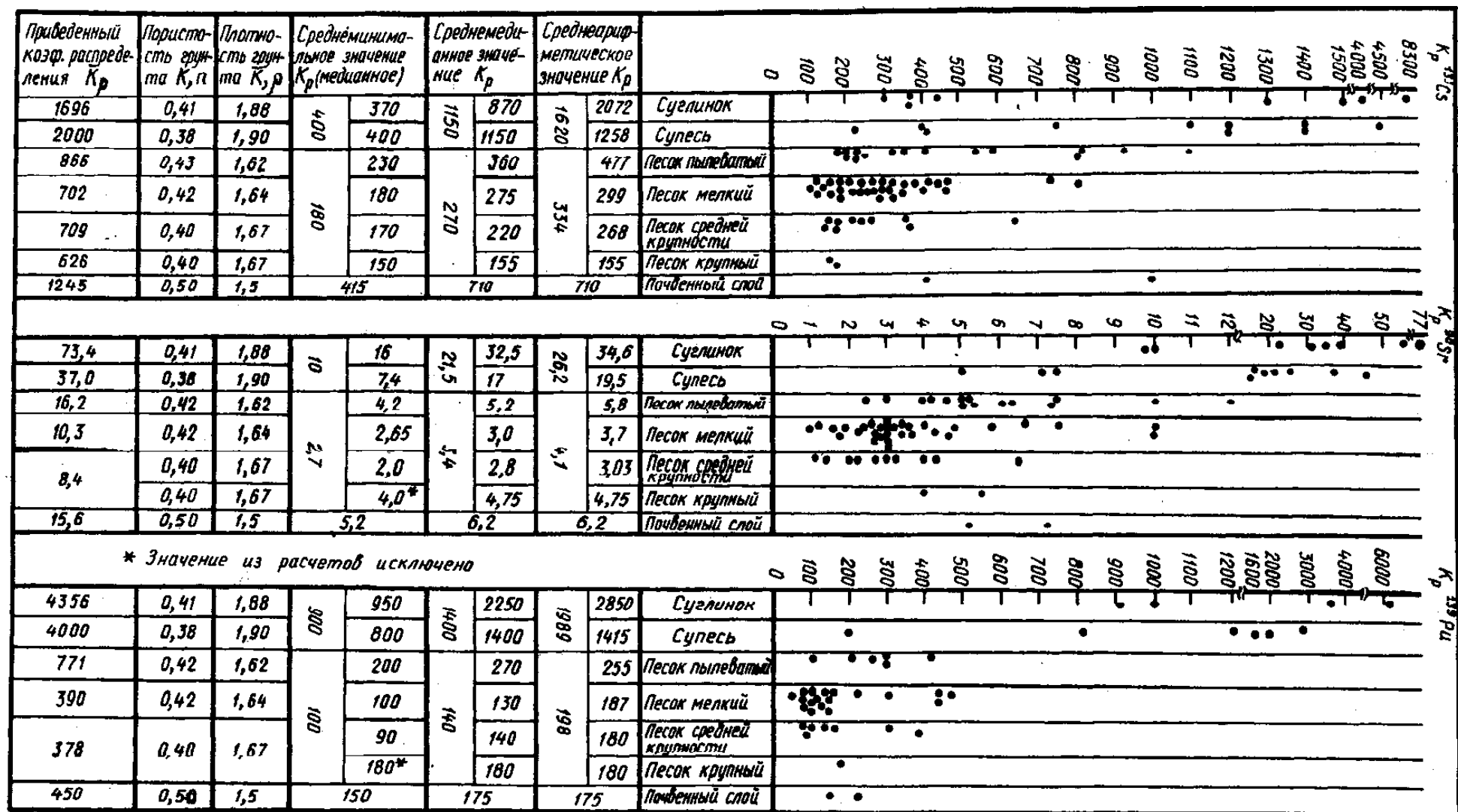


Рис. 2. Графики рассеивания коэффициента распределения K_p при миграции цезия-137, стронция-90, плутония-239 и подсчет приведенных коэффициентов распределения K_p

значительно ниже, чем цезия-137 и плутония-239, т.е. стронций-90 характеризуется значительно меньшей сорбционной способностью.

На рис. 2 приведены графики рассеивания K_p трех радионуклидов отдельно для всех литологических разновидностей грунтов, слагающих зону аэрации - песков различного гранулометрического состава, супесей, суглинков. Выполнено определение средних значений разными методами - среднеарифметическим и среднемедианным. Для расчетов принимаются значения K_p среднеминимальные (по медиане), что в конечном итоге дает несколько завышенные скорости подземной миграции радионуклидов, т.е. обеспечивает необходимый запас надежности.

Для дальнейших расчетов используется величина приведенного коэффициента распределения $\bar{K}_p$, определяемого по формуле

$$\bar{K}_p = K_p \frac{\rho}{\rho_{ж} n},$$

где ρ - объемная плотность грунта (сорбента); $\rho_{ж}$ - объемная плотность жидкости; n - общая пористость грунта.

Результаты расчетов $\bar{K}_p$ приведены на рис. 2 и сведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Величина приведенного коэффициента распределения $\bar{K}_p$ ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{239}Pu для различных литологических разновидностей грунтов зоны аэрации

Наименование грунта	Коэффициент распределения K_p (среднемедианные значения)			Приведенный коэффициент распределения, $\bar{K}_p$			Плотность грунта, ρ , г/см ³	Пористость грунта, n
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{239}Pu	^{137}Cs	^{90}Sr	^{239}Pu		
Суглинок	370	16	950	1696	73,4	4356	1,88	0,41
Супесь	400	7,4	800	2000	37,0	4000	1,90	0,38
Песок пылеватый	230	4,2	200	866	16,2	771	1,62	0,42
Песок мелкий	180	2,65	100	702	10,3	390	1,64	0,42
Песок средней крупности	170			709			1,67	0,40
Песок крупный	150	2,0	90	626	8,4	375	1,67	0,40

Сорбционная способность песков зависит от их механического состава, главным образом - от содержания в них пылеватых и глинистых частиц. Даже небольшое их количество значительно повышает величины коэффициентов распределения. В связи с этим выполнены исследования по определению K_p радионуклидов для различных фракций песка. Результаты представлены в табл. 2. Микроколичества стронция и цезия в данных условиях поглощаются грунтами по ионообменному механизму сорбции, но при этом стронций сорбируется в основном на поверхности частиц, а цезий еще внедряется в межкристаллические пустоты, что делает более сложной зависимость его сорбции от гранулометрического состава грунтов. Плутоний же, находясь в загрязненном растворе, главным образом, в полимерно-коллоидном состоянии, задерживается глинистыми фракциями в песчаных грунтах, что также не дает прямой зависимости между КОЕ и K_p .

Анализ результатов определения K_p для различных фракций песка (табл. 2) позволяет сделать однозначный вывод: с уменьшением размера фракции песка увеличивается K_p цезия-137, стронция-90, плутония-239. Эта же зависимость четко прослеживается и в табл. 1 и на рис. 2 - с увеличением крупности песка (от пылеватого до крупного) уменьшается K_p .

Т а б л и ц а 2. Поглощение радионуклидов из пресной воды различными фракциями песка

Номер п/п	Номер скважины	Наименование грунта	Глубина отбора, м	Коэффициент распределения															
				Стронций - 90						Цезий-137					Плутоний-239				
				Фракция, мм						Фракция, мм					Фракция, мм				
				< 0,1	0,1-0,25	<0,25	0,25-0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	< 0,1	0,1-0,25	0,25-0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	< 0,1	0,1-0,25	0,25-0,5	0,5-1,0	1,0-2,0
1	7256	Песок м	5,0-5,1			4,1±0,2	3,0±0,6	2,2±0,4				300±100	80±10						
2		Песок м	7,0-7,1			4,5±0,5	3,0±0,6	2,9±0,5				200±100	60±10						
3		Песок к	17,7-17,8			9,3±1,3	4,6±0,6	3,7±0,8				200±70	70±30						
4		Песок к	18,0-18,1			10±1	5,5±0,4	3,8±0,5				180±60	60±20						
5		Песок с	16,2-18,3			5,0±1,4	3,1±0,3	3,3±0,7				200±60	100±20						
6		Песок с	20,0-21,1			3,0±0,4	2,7±0,4	1,8±0,3				210±70	80±20						
7		Песок с	21,6-21,8			7,6±1,0	3,6±0,4	3,3±0,5				230±70	60±10						
8	7499	Песок с	6,9		2,1±0,3		1,8±0,2	1,6±0,2	Не сорбируется		330±50	220±120	170±40	160±60		830±540	680±360	90±20	53 ±4
9		Песок с	13,0-15,0	3,9±1,6	2,0±0,7		1,4±0,3	Не сорбируется		1100±400	370±90	290±70	150±40		120±50	90±50	70±20	60±20	

Примечание: м - песок мелкий, с - песок средней крупности, к - песок крупный

Наряду с сорбционными параметрами образцов грунта определена их радиоактивность гамма-спектрометрическим методом: измерена концентрация элементов ряда уран - радий и тория. В исследуемых пробах достоверно фиксировались только элементы первой цепочки, содержание которых дано в пересчете на радий-226. Кроме того, в некоторых пробах отмечен цезий-137 в небольших количествах (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. Содержание радионуклидов в образцах грунта

Номер скважин	Глубина, м	Наименование грунта	Концентрация радионуклидов, Бк/кг									
			Радий-	Свинец-		Висмут-		Таллий-	Калий-	Цезий-		
			226	212	214	212	214	208	40	137	134	
Т256	0,16	Почвенный слой	34							31		
	1-1,1	Песок мелкий	12							10		
7299	1-1,1	То же	39							14		
	1,5-1,6	То же	18							12		
7425	0,15	Почвенный слой	13	10	7	11	7	3	-	53	5	
	1,0	Песок мелкий	-	17	5	14	6	-	-	56	6	
	4,5	То же	-	7	10	8	10	2,5	-	10	0,5	
7499	0,15	Почвенный слой	-	7	9	8	12		-	35	4	
	1,0	Песок мелкий	-	21	11	-	10	2,6	71	1,5	-	
	3,2	Супесь	-	22	19	25	18	8	33	25	-	

Величина радиоактивности образцов песка незначительна, ее можно не принимать во внимание при прогнозе подземной миграции загрязнений в случае их поступления из хранилища в подстилающие породы.

140

ЗАЩИТНАЯ СПОСОБНОСТЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ОТ РАДИОАКТИВНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Расчеты скорости миграции радионуклидов. В рассматриваемых условиях защитная способность геологической среды от радиоактивных загрязнений определяется сорбционными свойствам» грунтов зоны аэрации и скоростью миграции радионуклидов через подземные воды к местам разгрузки водоносных горизонтов (долинам рек Припять и Уж).

Для оценки защитной способности грунтов четвертичной толщи от проникновения в подземные воды сорбируемого радионуклида используется уравнение

$$x = \frac{q}{n_0(1 + \bar{K}_p)},$$

где x - мощность зоны аэрации; q - объем загрязненной жидкости, прошедшей через 1 м² площади поперечного сечения потока.

При минимальной мощности зоны аэрации (11 м) естественная защита водоносного горизонта от попадания радионуклидов будет обеспечена при объеме жидкости, фильтрующейся через единицу площади поперечного сечения потока:

$$q = x n_0 (1 + \bar{K}_p).$$

Для расчета принимается среднее значение $\bar{K}_p$ по пескам мелким и средней крупности, что обеспечивает запас надежности:

для цезия-137 $q = 11 \times 0,15 \times (1 + 705) = 1165 \text{ м}^3$;

для стронция-90 $q = 11 \times 0,15 \times (1 + 9,3) = 17 \text{ м}^3$;

для плутония-239 $q = 11 \times 0,15 \times (1 + 382) = 632 \text{ м}^3$.

Расчеты выполнены с запасом надежности, так как не учтена роль глинистых прослоев, залегающих в толще песков, которые, несомненно, будут препятствовать проникновению радионуклидов через зону аэрации за счет растекания радиоактивных растворов по кровле глинистых пород.

141

Скорость миграции радионуклидов в подземных водах к местам разгрузки водоносных горизонтов (долинам рек Припять и Уж) предопределяет наличие либо отсутствие опасности радиоактивного загрязнения водоносного горизонта и поверхностных вод. В подземных водах миграционная способность радионуклидов зависит от их химической формы. Радионуклиды, имеющие анионную форму, почти не поглощаются горными породами и могут двигаться в подземных водах со скоростью распространения этих вод; лишь небольшая часть их, входя при определенных условиях в химические комплексы или коллоидные образования, задерживается породами. К радионуклидам, находящимся в анионной форме, относятся рубидий, йод и некоторые другие. Особое положение занимает радионуклид тритий, скорость распространения которого не отличается от скорости движения основной массы подземной воды.

Радионуклиды, имеющие катионную форму (цезий-137, стронций-90, плутоний-239, церий-144 и др.), поглощаются породами по законам ионообменной сорбции. При движении подземных вод концентрация этих радионуклидов будет снижаться за счет их сорбции грунтами, поэтому контур распространения радионуклидов будет отставать от потока подземных вод.

Величина этого отставания характеризуется коэффициентом D . В соответствии с принятыми для решения задачи $\overline{K_p}$

$$D = \frac{1}{1 + \overline{K_p}};$$

соответственно

$$\text{для цезия-137 } D_{Cs} = \frac{1}{1 + 705} = 0,0014;$$

$$\text{для стронция-90 } D_{Sr} = \frac{1}{1 + 9,3} = 0,097;$$

$$\text{для плутония-239 } D_{Pu} = \frac{1}{1 + 382} = 0,0026.$$

Скорость движения контура распространения радионуклидов в водоносном горизонте в год

$$U = D U_D 365$$

где U - действительная скорость движения воды, м/сут:

$$U_D = \frac{K_{\Phi} i}{n_0}.$$

Здесь K_{Φ} - коэффициент фильтрации, равный 4 м/сут; i - средний уклон поверхности подземного потока - 0,002; n_0 - активная пористость, равная 0,15:

$$U_D = \frac{4 \cdot 0,002}{0,15} = 0,04 \text{ м/сут.}$$

Тогда скорость движения контура распространения радионуклидов в водоносном горизонте в год следующая:

142

$$\text{цезия-137 } U_{Cs} = 0,0014 \cdot 0,04 \cdot 365 = 0,02 \text{ м/год;}$$

$$\text{стронция-90 } U_{Sr} = 0,097 \cdot 0,04 \cdot 365 = 1,42 \text{ м/год;}$$

$$\text{плутония-239 } U_{Pu} = 0,0026 \cdot 0,04 \cdot 365 = 0,04 \text{ м/год.}$$

Приведенные расчеты позволяют сделать вывод, что при попадании радионуклидов в четвертично-бучакский водоносный комплекс за один год контур загрязнения цезием-137 распространится на расстояние 0,02 м/год, стронцием-90 - на 1,42 м/год, плутонием-239 - на

0,04 м/год. При таких малых скоростях контур загрязнения радионуклидами практически не выйдет за пределы территории площадки: при этом следует отметить, что через 10 периодов полураспада цезия-137 (300 лет) концентрация этих радионуклидов в загрязненных водах снижается на 3 порядка. За период 300 лет контур загрязнения стронцием-90 распространится примерно на 426 м от источника загрязнения, цезием-137 и плутонием-239 практически не распространится.

Расчеты выполнены с достаточным коэффициентом надежности, так как приняты параметры, гарантирующие завышенные значения миграции радионуклидов.

Исходя из приведенных данных, гипотетическое радиоактивное загрязнение подземных вод на территории площадки не может оказать неблагоприятное влияние на воды рек Припять и Уж, находящихся соответственно на расстоянии 10 и 8 км.

Районирование площадки по величине сорбционной способности грунтов выполнено по результатам охарактеризованных выше лабораторных определений сорбционной способности грунтов (коэффициентов распределения цезия-137, стронция-90 и плутония-239). Оно базируется на поэтапном картографировании: построении карт изолиний $\sum m\bar{K}_p$ по каждому радионуклиду, на их основе - карт районирования по величине сорбционной способности при миграции соответствующего радионуклида [2].

Районирование площадки по величине сорбционной способности при миграции радионуклидов базируется на величине D_p :

при $D_p < 2$ участок наиболее благоприятный (это обусловлено большой мощностью зоны аэрации и высокими значениями $\bar{K}_p$, что связано с наличием в разрезе глинистых грунтов);

при $2 < D_p \leq 5$ участок благоприятный;

при $D_p > 5$ участок менее благоприятный (это обусловлено минимальной мощностью зоны аэрации и преобладанием в разрезе песчаных грунтов с относительно невысокими значениями коэффициентов распределения).

На сводной карте оценки защитной способности грунтов зоны аэрации (с учетом сорбционных свойств при миграции цезия-137, стронция-90, плутония-239) оконтурены участки различной степени благоприятности (рис. 3).

При этом следует учитывать, что даже "участки менее благоприятные" характеризуются достаточно высокой защитной способностью.

Выводы. Материалы изысканий и исследований сорбционной способности грунтов зоны аэрации свидетельствуют о благоприятных условиях для локализации радиоактивных загрязнений. Это обусловлено в первую очередь довольно значительной мощностью зоны аэрации, а также наличием многочисленных прослоев глинистых грунтов в песчаной толще

зоны аэрации, образующих ландшафтно-геохимические барьеры, которые в разной степени проницаемы для загрязненных миграционных потоков.

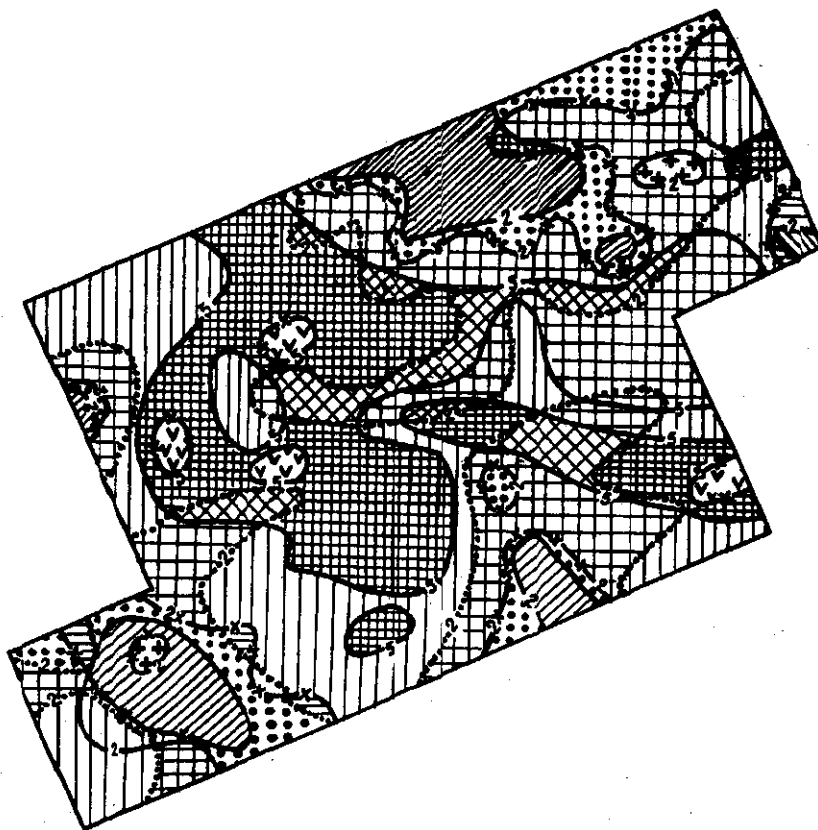


Рис. 3. Сводная карта оценки защитной способности грунтов зоны аэрации с учетом сорбционных свойств при миграции плутония-239, цезия-137, стронция-90

а) участки с различной сорбционной способностью (I, II, III) грунтов зоны аэрации, выделенные по величине $D_p = \frac{\text{макс } K_p}{n K_p}$ при миграции радионуклидов:

плутония-239	цезия-137	стронция-90
I: $D_p = 1 \div 2$	I: $D_p = 1 \div 2$	I: $D_p = 1 \div 2$
II: $D_p = 2 \div 5$	II: $D_p = 2 \div 5$	II: $D_p = 2 \div 5$
III: $D_p > 5$	III: $D_p > 5$	III: $D_p > 5$

б) участки с различной сорбционной способностью грунтов зоны аэрации при миграции радионуклидов.

^{239}Pu	^{137}Cs	^{90}Sr	^{239}Pu	^{137}Cs	^{90}Sr	^{239}Pu	^{137}Cs	^{90}Sr
I	I	I	II	II	I	III	I	II
I	I	II	I	I	II	III	II	II
I	II	II	I	II	II	III	II	III
II	I	I						

Оценка сорбционных свойств грунтов зоны аэрации и расчеты миграции радионуклидов цезия-137, стронция-90 и плутония-239 позволяет сделать вывод, что за 10 периодов полураспада цезия-137 (300 лет) контур загрязнения стронцием-90 распространится примерно на 426 м от источника загрязнения,

цезием-137 и плутонием-239 практически не продвинется. Следовательно, гипотетическое радиоактивное загрязнение подземных вод на площадке комплекса "Вектор" не может оказать

неблагоприятное влияние на воды рек Припять и Уж, находящихся соответственно на расстоянии 10 и 8 км.

По результатам обработки материалов определения сорбционных свойств грунтов с учетом геологического разреза площадки построены карты оценки защитной способности грунтов зоны аэрация и районирования площадки с учетом сорбционных свойств при миграции цезия-137, стронция-90 и плутония-239. Результаты районирования позволяют констатировать, что геологическая среда обладает достаточно высокой защитной способностью от радиоактивных загрязнений.

1. Белицкий А. С., Орлова Е.И. Охрана подземных вод от радиоактивных загрязнений. - М.: Медицина, 1968. - 208 с.

2. Яковлев Е.А. Оценка защитной способности почв и грунтов в районах радиогеохимического влияния АЭС // Атомная энергия. - 1987. - 67. - Вып. 3. - С. 207-210.

Институт изысканий и исследований "Энергопроект" КИИЗИ ЭП, Киев
Поступила 15.03.95

145

УДК 631.81:621.039.8

М. Ж. Ильин, Г. П. Перепелятников
**ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МЕЛИОРАТИВНЫХ РАБОТ НА ЕСТЕСТВЕННЫХ ЛУГАХ
В ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС**

Приведены результаты многолетнего изучения поведения ^{90}Sr и ^{137}Cs чернобыльских выпадений в системе почва-растение на естественных лугах 10-километровой зоны ЧАЭС и влияния мелиорации на подвижность радионуклидов в почве и доступность их луговым растениям. Показано, что в ближней к ЧАЭС зоне радиоактивного загрязнения поведение радионуклидов после проведения общепринятых в сельскохозяйственной практике агротехнических и агрохимических мероприятий специфично, что обусловлено характером выпадений. В первый период после проведения мелиоративных работ в этой зоне наблюдается увеличение подвижности радионуклидов в почве и перехода ^{137}Cs в луговые растения, по-видимому, за счет деструкции горячих частиц.

Анализ литературных данных, полученных многими исследователями в опытах по выявлению способов снижения содержания радионуклидов в продукции кормопроизводства, показывает, что еще задолго до аварии на ЧАЭС были определены наиболее эффективные мероприятия и их сочетания, проведение которых обуславливает достоверное снижение накопления в растениях радионуклидов (главным образом, ^{90}Sr) при сохранении или увеличении продуктивности угодий.

В результате аварии на ЧАЭС сформировались две зоны радиоактивного загрязнения, существенно различающихся по характеру выпадений. Ближняя зона радиоактивного загрязнения расположена на расстоянии до 60 км от станции и характеризуется сложным радионуклидным составом выпадений, из которых значительная часть в виде горячих частиц [1, 2]. Первые результаты исследований в этой зоне свидетельствовали о специфичности поведения радионуклидов в почвенно-растительном покрове после проведения некоторых контрмер. В связи с этим, нами предпринято изучение особенностей поведения ^{90}Sr и ^{137}Cs при мелиорации естественных лугов ближней к ЧАЭС зоны.

Исследования, проведенные в 1988-1990 гг. на стационарных участках "Чистогаловка" (5 км от ЧАЭС) и "Новошепеличи" (7 км от ЧАЭС), показали, что агротехническая обработка дерново-подзолистой почвы приводит к увеличению подвижности радионуклидов в почве, что выражается в увеличении содержания их воднорастворимых и обменных форм (табл. 1), а также усилении вертикальной миграции ^{137}Cs и ^{90}Sr в подпахотные горизонты (табл. 2).

После вспашки суходольного луга в 5 км от ЧАЭС содержание в почве воднорастворимой формы ^{137}Cs увеличилось в 3 раза, а средне-пойменного луга (в 7 км) - в 14 раз; увеличение содержания обменной формы в первом случае было не существенным, а во

втором достигало 4 раз. Содержание воднорастворимой формы ^{90}Sr после вспашки в обоих случаях снижалось в 2 раза на суходольном лугу и не изменялось на среднелугу. Следовательно, проведение обработок почвы лугов ближней к станции зоны приводит к значительному увеличению подвижности радионуклидов в почве, более существенному для ^{137}Cs , особенно с ростом влагообеспеченности угодий.

При проведении обработок дерново-подзолистой почвы суходольного луга в 5 км от ЧАЭС интенсивность вертикальной миграции радионуклидов возрастает. При обработке почвы на глубину до 15 см (дискование), спустя два года, в слоях 15-20, 20-25 и 25-30 см содержание ^{137}Cs , по сравнению с целинным участком, было выше,

© М. И. Ильин, Г. П. Перепелятников, 1996

146

Таблица 1. Влияние вспашки на подвижность радионуклидов в почвах лугов 10-километровой зоны ЧАЭС, %, от валового содержания в 20-сантиметровом слое

Вариант	^{90}Sr		^{137}Cs	
	Воднорастворимый	Обменный	Воднорастворимый	Обменный
Чистогаловка:				
без обработки	4,1	49,3	0,02	1,2
вспашка	18,8	25,5	0,06	1,4
Новошепеличи:				
без обработки	1,2	65,5	0,07	2,0
вспашка	4,2	72,2	1,00	7,8

соответственно, в 21, 8 и 2 раза, а ^{90}Sr - в 9, 4 и 5 раз. После вспашки на 20 см в слоях 20-25 и 25-30 см содержание ^{137}Cs , по сравнению с целинным участком, было больше, соответственно, в 88 и 18 раз, а ^{90}Sr - в 10 и 11 раз. Следовательно, при вспашке (с оборотом пласта) загрязнение подпахотных горизонтов почвы радионуклидами в 2-4 раза больше, чем при дисковании. Аналогичные данные получены авторами работ [3, 4], которые отмечают, что проведение глубокой безотвальной вспашки с разрушением плужной подошвы способствует проникновению радионуклидов в нижележащий слой почвы.

Агрохимические мероприятия при проведении мелиорации естественных лугов ближней к ЧАЭС зоны также могут способствовать увеличению подвижности радионуклидов в почве. Спустя 15 месяцев после поверхностного известкования и внесения нитрофоски на дерново-подзолистую песчаную почву суходольного луга в 5 км от ЧАЭС, наблюдали увеличение вертикальной миграции ^{137}Cs из верхнего 5-сантиметрового слоя в 3-8 раз, по сравнению с контролем (табл. 3).

Поверхностное известкование приводит к 4-5-кратному увеличению содержания ^{137}Cs в слое 5 - 20 см, а внесение нитрофоски - к 8-кратному, что свидетельствует о достоверном увеличении подвижности радионуклида в почве.

Таблица 2. Влияние агротехнических обработок на распределение радионуклидов в почве суходольного луга в 5 км от ЧАЭС (экспозиция 2 года), %, от валового содержания

Слой почвы, см	Без обработки		Вспашка		Дискование		HCP _{0,95} $\frac{^{137}\text{Cs}}{^{90}\text{Sr}}$
	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	
0-20	98,1	99,8	81,3	89,4	—*	—	$\frac{0,5}{4,8}$
0-15	95,9	99,7	—	—	71,0	96,9	$\frac{0,5}{5,2}$
15-20	2,2	0,1	—	—	21,0	2,1	$\frac{0,3}{2,4}$
20-25	1,3	0,1	13,0	8,8	5,0	0,8	$\frac{0,2}{0,8}$
25-30	0,6	0,1	6,7	1,8	3,0	0,2	$\frac{0,1}{0,4}$

* Содержание не определялось.

147

Таблица. 3. Влияние поверхностного внесения мелиорантов на распределение ¹³⁷Cs по профилю дерново-подзолистой почвы суходольного луга в 5 км от ЧАЭС (экспозиция 15 месяцев)

Вариант	Содержание в слое, %				
	0-5 с м	5-10 с м	10-15 с м	15-20 с м	20-25 с м
Контроль *	98,5	1,1	0,2	0,1	0,1
Известь, 5 т/га	93,2	5,2	1,9	0,5	0,1
То же, 10 т/га	94,4	2,9	1,5	1,0	0,2
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	88,8	9,3	1,2	0,6	0,1
N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	89,1	8,6	1,3	0,9	0,1
HCP _{0,95}	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1

* Без внесения мелиорантов.

Однако изучение поступления радионуклида в травостой, основу которого составляет белоус торчащий, показало, что в данных условиях доступность ¹³⁷Cs растениям под влиянием агрохимических мероприятий не адекватна подвижности радионуклида в почве: применение нитрофоски способствовало некоторому снижению КП радионуклида, а известкование - их двукратному увеличению (табл. 4).

Анализ полученных результатов показывает, что в 1988 г. при проведении комплекса мероприятий по улучшению суходольного луга, загрязненного горячими частицами, наблюдалось значительное увеличение содержания ¹³⁷Cs в растениях. Так, КП радионуклида в растениях овса и редьки после мелиорации луга с известкованием были в 2 раза выше, чем при внесении нитрофоски или по сравнению с вариантом без внесения мелиорантов.

Спустя два года после коренного улучшения среднелуга в 7 км от ЧАЭС (стационар "Новошепеличи"), максимальное увеличение содержания ¹³⁷Cs в растениях отмечено при внесении полного минерального удобрения (N₆₀P₆₀K₆₀) с известкованием (1 норма по Нг) - в 1,7 раза (табл. 5). Внесение K₁₂₀ было достаточно эффективным (36%-ное снижение), однако при параллельном известковании эффективность заметно снижалась. Применение азотного (N₆₀) и фосфорного (P₉₀) удобрений несколько снижали уровень загрязнения травостоя (на 18 и 11% соответственно); известкование значительно усиливало влияние суперфосфата (снижение до 27%).

В отличие от ¹³⁷Cs, применение мелиорантов при коренном улучшении луга, спустя 2 года, ни в одном из вариантов не привело к увеличению перехода в растения ⁹⁰Sr.

Таблица 4. Влияние обработок почвы и мелиорантов на переход ^{137}Cs в растения при мелиорации естественного луга в 8 км от ЧАЭС (КП)

Вариант	Без обработки	Дискование		Вспашка	
	Белоус	Овес	Редька	Овес	Редька
Контроль *	5,6	3,3	21,2	1,2	20,4
Известь, 5 т/га	9,9	6,3	60,5	6,9	60,6
То же, 10 т/га	10,7	6,4	60,1	4,4	58,9
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	4,5	3,1	14,9	1,9	12,8
N ₁₆₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	3,8	2,7	13,5	2,6	12,1
HCP _{0,95}	1,0	1,3	3,3	1,2	2,8

* Без внесения мелиорантов.

148

Таблица 5. Влияние мелиорантов на содержание радионуклидов в травостое, %, спустя 2 года после коренного улучшения луга в 7 км от ЧАЭС

Варианты опыта	^{137}Cs	^{90}Sr
Без мелиорантов	100,0	100,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + известь (1 Нг)	172,7	41,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	127,3	98,8
P ₉₀ K ₁₂₀	127,3	64,5
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + известь (1 Нг)	118,2	76,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + известь (1,5 Нг)	118,2	49,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + известь (1 Нг)	118,2	41,1
N ₁₂₀	109,1	87,3
K ₁₂₀ + известь (1 Нг)	109,1	66,6
N ₆₀ K ₁₂₀	100,0	66,2
P ₉₀	90,9	69,1
N ₆₀	81,8	94,4
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₂₄₀ + известь (1 Нг)	81,8	50,2
N ₆₀ + известь (1 Нг)	81,8	46,9
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₂₄₀ + известь (1 Нг)	81,8	45,6
P ₉₀ + известь (1 Нг)	72,7	67,6
K ₁₂₀	63,6	63,3
N ₆₀ P ₉₀	54,5	71,4
N ₆₀ P ₁₅₀ K ₁₂₀ + известь (1 Нг)	45,5	63,5
N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀	36,4	68,5
HCP _{0,95}	3,5	6,2

126

Наиболее эффективно снижало содержание в травостое обоих радионуклидов применение полного минерального удобрения N₆₀P₁₅₀K₁₂₀ с известкованием (1 норма по Нг) или N₆₀P₉₀K₁₂₀, позволяющее снизить суммарный переход ^{137}Cs и ^{90}Sr из дерново-подзолистой супесчаной почвы в травостой в 2 раза. Наибольшее снижение поступления в травостой ^{137}Cs (в 3 раза, по сравнению с вариантом без применения мелиорантов) отмечено при использовании полного минерального удобрения N₆₀P₉₀K₁₂₀, а ^{90}Sr - в 2,5 раза при внесении полного минерального удобрения (N₆₀P₆₀K₆₀ или N₆₀P₆₀K₁₂₀) с известкованием (1 норма по Нг).

Со временем влияние коренного улучшения луга на поступление радионуклидов в травостой значительно меняется. Содержание ^{137}Cs во вновь сформированном травостое, спустя 3 года (в 1992 г.), стало в 3 раза ниже, чем на целинном участке, несмотря на то, что через 6 месяцев после проведения коренного улучшения было в 5 раз выше (табл. 6).

Через полгода после коренного улучшения (осень 1988 г.) отмечено увеличение (в 2,4-7,6 раза), по сравнению с целинным участком, накопления ^{137}Cs травосмесью (ежа + тимофеевка + овсяница) во всех вариантах с применением различных мелиорантов и их сочетаний, что обусловлено, с одной стороны, влиянием вспашки (5-кратное увеличение КП), а с другой - изменением видового состава травостоя (до коренного улучшения и, соответственно, в контроле его основу составлял вейник наземный).

В дальнейшем содержание радионуклида в естественном травостое практически не изменялось, тогда как на улучшенном участке проявлялось действие как вспашки, так и мелиорантов. После вспашки в течение 3 лет отмечается примерно двукратное снижение содержания ^{137}Cs в растениях ежегодно, что частично обусловлено постепенным восстановлением доминирования вейника наземного в травостое.

149

Таблица 6. Динамика перехода ^{137}Cs из дерново-подзолистой супесчаной почвы в травостой при коренном улучшении среднепойменного луга в 7 км от ЧАЭС (Зона отчуждения)

Вариант опыта	КП			
	1989 (осень)	1990 (весна)	1991 (весна)	1992 (весна)
Контроль*	0,9	1,6	1,5	1,7
Без мелиорантов	4,4	1,6	1,1	0,6
N ₆₀	4,5	3,6	0,9	0,3
N ₁₂₀	6,2	5,3	1,2	0,5
P ₉₀	5,1	3,0	1,0	0,6
K ₁₂₀	3,4	1,4	0,7	0,6
N ₆₀ P ₉₀	4,3	3,8	0,6	0,3
N ₆₀ K ₁₂₀	2,8	2,3	1,1	0,7
P ₆₀ K ₁₂₀	4,2	1,8	1,4	1,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	5,2	3,7	1,4	0,6
N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀	6,3	3,0	0,4	1,3
N ₆₀ + известь (1 Нг)	5,4	2,6	0,9	0,4
P ₉₀ + известь (1 Нг)	3,7	1,8	0,8	1,0
K ₁₂₀ + известь (1 Нг)	5,9	3,1	1,2	0,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + известь (1 Нг)	6,3	4,1	1,9	1,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + известь (1,5 Нг)	6,8	3,2	1,3	0,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + известь (1 Нг)	4,0	3,1	1,3	0,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₈₀ + известь (1 Нг)	2,8	1,7	0,9	0,4
N ₆₀ P ₁₅₀ K ₁₂₀ + известь (1 Нг)	2,2	1,5	0,5	0,3
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + известь (1 Нг)	2,8	3,3	1,3	0,8
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₂₄₀ + известь (1 Нг)	2,2	1,8	0,9	0,8
НСР _{0,95}	0,3	0,2	0,1	0,1

* Естественный луг.

Этот эффект достоверно усиливается при внесении под вспашку аммиачной селитры (60 кг/га по д.в.), смеси ее с суперфосфатом (60 и 90 кг/га по д.в., соответственно) и смеси полного минеральной удобрения; (N₆₀P₁₅₀K₁₂₀) с известью (1 норма по Нг): спустя 3 года после коренного улучшения в этих вариантах зафиксирована минимальная концентрация радионуклида. Весьма эффективно действие калийной соли (K₁₂₀), особенно при

одновременном применении извести (1 норма по Нг), однако в смеси с азотным и фосфорным удобрениями эффективность резко снижается.

Таким образом, результаты проведения мелиорации лугов ближней к ЧАЭС зоны (5-30 км) свидетельствуют о специфическом поведении радионуклидов в системе почва-растение, обусловленном характером выпадений (около 50% выпавших радионуклидов находится в горячих частицах). Агротехническая обработка естественных лугов этой зоны приводит к значительному увеличению подвижности ^{137}Cs в почве, что связано с разрушением дернины, которая в первые послеаварийные годы была местом нахождения основной массы горячих частиц. При этом значительно возрастает степень их взаимодействия с почвенным раствором, что, очевидно, приводит к росту интенсивности их деструкции (особенно, мелких фракций). Это предположение в настоящее время получило подтверждение в работах некоторых исследователей [5]. Спустя 3 года, после мелиорации, снижение доступности радионуклида за счет проведения вспашки достигает 3 раза, а применение мелиорантов может приводить как к усилению, так и ослаблению этого эффекта, что свидетельствует о фиксации ^{137}Cs в почве.

150

Таким образом, после деструкции основной массы горячих частиц в результате проведения мелиорации поведение этого радионуклида в зоне отчуждения аналогично миграционным процессам, характерным для конденсационных или глобальных выпадений.

Подобные результаты приводят некоторые авторы, занимающиеся изучением особенностей миграции радионуклидов в ближней к ЧАЭС зоне, а именно: об увеличении накопления растениями радионуклидов чернобыльского выброса после проведения перепашки почвы [6], об увеличении подвижности радионуклидов в пахотных дерново-подзолистых почвах, по сравнению с целинными, после проведения коренного улучшения и внесения мелиорантов [7], об увеличении концентрации ^{137}Cs в сеяных травах улучшенного суходольного луга при внесении извести, по сравнению с естественным травостоем [8], о снижении эффективности фосфорных и калийных удобрений при сочетании их с азотными, или при внесении всех трех элементов в равных дозах [9, 10, 11, 12], и, наконец, об увеличении накопления ^{90}Sr и ^{137}Cs растениями при избытке калия в почве после внесения калийных удобрений [13]. Эти данные и подученные нами результаты свидетельствуют о необходимости тщательного изучения поведения радионуклидов в условиях загрязнения почвы горячими частицами, так как проведение мелиоративных работ (в том числе, обработок почвы и известкования) на естественных лугах в зоне отчуждения может способствовать значительному увеличению доступности радионуклидов растениям, особенно в первый период после улучшения.

1. Лоцилов Н.А. Проблемы радиации в АПК после Чернобыльской аварии // Проблемы сельскохозяйственной радиологии: Укр. НИИ сельхозрадиологии. - Киев, 1991. - С. 1-8.

2. Кашипаров В.А., Лоцилов Н.А., Процак В.П. и др. Ядерно-физические характеристики чернобыльских горячих частиц // Пробл. сельскохозяйственной радиологии: Укр. НИИ сельхозрадиологии. - Киев, 1992. - Вып. 2. - С. 1-9.

3. Ратников А.Н., Петров К.В., Попова Г.Е. и др. Миграция ^{137}Cs на сельскохозяйственных угодьях Нечерноземной зоны РСФСР // Тез. докл. 3-й Всесоюз. конф. по сельхозрадиологии. - Обнинск, 1990. - 4. - С. 11-12.

4. Ратников А.Н., Попова Г.Е., Петров К.В., Малина Л.А. Особенности вертикальной миграции ^{137}Cs в почвах сельскохозяйственных угодий некоторых областей РСФСР, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС // Пробл. ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС: Тез. докл. Всесоюз. конф. - Обнинск, 1991. - 1. - С. 4.

5. Лоцилов Н.А., Иванов Ю.А., Зварич С.И., Кашипаров В.А. Влияние влажности почвы и действие некоторых мелиорантов и удобрений на деструкцию модельных топливных частиц // Пробл. сельскохозяйственной радиологии: Укр. НИИ сельхозрадиологии. - Киев, 1993. - Вып. 3. - С. 7-17.

6. Алексахин Р.М., Маликов В.Г., Жуков Б.И., Савченко В.Н. Радиоактивное загрязнение растений из почв Белоруссии // Тез. докл. 3-й Всесоюз. конф. по сельхозрадиологии. - Обнинск, 1990. - 1. - С. 36.

7. Гребенищикова Н.В., Самусев Н.И., Новик А.А. Поведение радионуклидов Cs в дерново-подзолистых почвах Гомельской области // Там же. - С. 18-19.

8. Витриховский П.И., Беляк Н.И., Пристер Б.С. Влияние способов улучшения сенокоса на поступление радиоцезия в фитомассу луговых трав // Тез. докл. 1-й Всесоюзн. радиобиол. съезда. - Пушино, 1989. - 2. - С. 424-425.

9. Бондарь П.Ф., Заика В.В., Дутов А.И., Свиденюк Н.Л. Влияние удобрений и мелиорантов на накопление радиоцезия в урожае сельскохозяйственных культур на известкованных почвах // Тез. докл. 3-й Всесоюзн. конф. по сельхозрадиологии. - Обнинск, 1990. - 1. - С. 81-82.

10. Кузнецов В.К., Санжарова Н.И., Усачева Т.Б. и др. Эффективность агротехнических и агрохимических мероприятий по снижению загрязнения сельскохозяйственной продукции ^{137}Cs в условиях Белорусского Полесья // Там же. - С. 114-115.

151

11. Перепелятникова Л.В., Пристер Б. С., Халеев В.В., Буковская В.С. Система применения удобрений и мелиорантов в условиях радиоактивного загрязнения после аварии на ЧАЭС // Там же. - С. 95.

12. Ратников А.Н., Жигарева Т.Л., Попова Г.И., Попова Г.Е. Влияние средств химизации на снижение поступления ^{137}Cs в сельскохозяйственную продукцию в некоторых районах, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС // Там же. - 4. - С. 10-11.

13. Skiba Tadeusz. Zdolnosc niektórych gatunkow i odmian roslin uprawnych do pobierania i przemieszczania ^{90}Sr i ^{137}Cs z uwzględnieniem poziomu nawożenia (komunikat) // Pam. Pulaw. - 1987. - N 89. - P. 185-193.

Украинский НИИ сельскохозяйственной радиологии, Киев
Поступила 15.03.95

152

УДК 614.7:876(048).613:312.6

Л. М. Сердюк, И. И. Карачев, Н. Д. Маленко, Н. М. Боровикова, В. И. Чернюк,
Л. И. Наговицына, В. И. Геец, В. Я. Акименко, Г. Я. Чегринец, В. Б. Присяжнюк
**РАDIАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧАЭС
ДЛЯ ВАХТОВОГО ПЕРСОНАЛА, РАБОТАЮЩЕГО В ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ**

Представлены данные комплексных исследований по гигиенической оценке уровней радиационного и химического загрязнения объектов окружающей среды (атмосферный воздух, почва) Зоны отчуждения ЧАЭС. Изучены условия труда и проживания операторов тяжелой строительной техники (бульдозеры, экскаваторы и др.) и водителей большегрузных автомобилей, работающих на радиационноопасных технологических участках вахтовым методом. Установлено напряжение основных физиологических систем их организма под воздействием факторов производственной и окружающей среды. Выявлена зависимость между продолжительностью стажа работы в Зоне отчуждения и заболеваемостью обследованных специалистов.

Катастрофа на ЧАЭС привела к широкомасштабному радиоактивному загрязнению густонаселенных районов Украины и обострила проблему комбинированного воздействия малых доз радиации в сочетании с другими антропогенными факторами окружающей и производственной среды. Особо остро эта проблема стоит в Зоне отчуждения ЧАЭС, территория которой подверглась наиболее мощному радиоактивному загрязнению, и где в течение нескольких лет вахтовым методом работает значительный контингент ликвидаторов последствий аварии.

Довольно длительное время не уделялось должного внимания изучению состояния здоровья ликвидаторов во взаимосвязи с условиями их труда и социально-бытовыми условиями пребывания на вахте, продолжительностью стажа работы в Зоне, а также степенью загрязнения радионуклидами и химическими веществами территории производственных участков. В течение 1991-1994 г. было выполнено комплексное исследование по радиационно-гигиенической оценке объектов окружающей среды Зоны отчуждения ЧАЭС, условий труда и здоровья вахтового персонала, работавшего на объектах НПО "Припять".

Авторами [1, 2] была выявлена тенденция роста заболеваемости у ликвидаторов за период работы в Зоне отчуждения, что дает основание предположить негативное воздействие на их здоровье ионизирующего излучения в сочетании с другими факторами окружающей и производственной среды.

Исходя из радиационно-экологической ситуации в Зоне отчуждения, были определены группы риска, прежде всего, лиц, работающих на открытом воздухе и земляных работах,

связанных с интенсивным пылеобразованием, и подвергающихся дополнительной опасности проникновения радионуклидов и химических веществ в организм (особенно альфа-, бета-излучателей и тяжелых металлов) через органы дыхания с пылью. В такие критические группы вошли следующие специалисты: операторы тяжелой строительной техники, водители большегрузных автомобилей, сварщики, бурильщики, бетонщики, а также персонал, выполняющий работы по дозиметрии и дезактивации.

© А. М. Сердюк, И. И. Карачев, Н. Д. Маленко, Н. М. Боровикова, В. И. Чернюк, Л. И. Наговицына, В. И. Геец, В. Я. Акименко, Г. Я. Чегринцев, В. Е. Присяжнюк, 1996

153

Исследуемая группа состояла из водителей большегрузных автомобилей и операторов тяжелых строительных машин (бульдозеров, экскаваторов, автопогрузчиков, скреперов и др.), проводивших работы на пунктах захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО), а также при разрушении и уборке обветшалых "грязных" зданий в г. Чернобыле. Эти специалисты в процессе трудовой деятельности наряду с воздействием повышенных уровней ионизирующего излучения испытывала влияние комплекса традиционных факторов производственной среды (шум, вибрация, пыль, микроклимат и др.). В качестве контроля служила группа дозиметристов и других специалистов, работающих на тех же производственных площадках. Мощность экспозиционной дозы гамма-облучения в реперных точках составляла от 0,6 до 1,4 мР/ч.

При гигиенической оценке производственных участков в пробах окружающей среды, кроме химических веществ (тяжелые металлы, диоксид азота, оксид углерода, взвешенные вещества и др.), определяли радиоактивные элементы: ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{90}Sr , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu .

Изучение условий труда проводилось в соответствии с требованиями ГОСТ 121.003-83 и ГОСТ 121,012-80 и заключалось в определении содержания вредных химических ингредиентов в воздухе рабочей зоны, измерении параметров микроклимата, уровней шума и вибрации (общей и локальной) на их рабочих местах. В отобранных пробах пыли определялся уровень удельной активности радионуклидов по ^{137}Cs . Параллельно с этим проводились исследования по гигиенической оценке условий проживания изучаемого контингента лиц в общежитиях, расположенных в Чернобыле. В жилых помещениях определяли параметры микроклимата (температура, относительная влажность и скорость движения воздуха) и воздухообмена. Полученные данные оценивали согласно требованиям СанПиН 42-121-4719-88 [3]. Кроме того, с целью субъективной оценки качества жилой среды общежитий, проводился опрос проживающих с помощью специально разработанной анкеты.

Используя гетерогенный антропоморфный фантом тела человека, разработанный НПК "Атом", были смоделированы условия труда обследуемых специалистов, работающих как на открытой местности, так и на тяжелой технике. На открытой местности фантомы устанавливали в положении "стоя" с временем экспозиции 48 часов. В кабине бульдозера, на месте расположения оператора, фантом устанавливался в положении "сидя". Время экспозиции в этом случае составляло 20 ч. Мощность экспозиционной дозы гамма-излучения в точках установки фантомов равнялась 0,8 мР/ч на высоте 1 м над поверхностью земли.

Физиологические исследования лиц обследуемой и контрольной групп проводили до и после работы в течение 2-3 дней в начале, середине и конце двухнедельной вахты. Изучалось функциональное состояние специфических рефлекторных систем, воспринимающих воздействие шума (слуховой анализатор) и вибрации (вестибулярный аппарат), а также интегральные показатели, характеризующие физиологическое состояние центральной нервной системы, вегетативной и сердечно-сосудистой систем.

Состояние вестибулярного аппарата оценивали по результатам анализатора, клинических проб (Уэмуры, шагающей и графической проб Фукуды, указательной пробы) и данным электроокулографии. Результаты всех проб учитывались интегрально по разработанной в Киевской институте медицины труда АМН Украины 20-балльной шкале диагностики состояния вестибулярного анализатора на основе зарубежных работ по клинической вестибулологии [4-6].

154

130

Слуховую функцию изучали методом тональной аудиометрии по частотам 250, 500, 1000 и 4000 Гц с помощью аудиометра МА-31 до работы и через пять минут после ее окончания.

Функциональное состояние центральной нервной системы (ЦНС) исследовали методом условно-рефлекторных реакций, основанным на определении патентного периода зрительно-моторной реакции (ЛП ЗМР) и латентного периода сложной зрительно-моторной реакции (ЛП СЗМР). Состояние высшей нервной деятельности оценивали по объему кратковременной памяти, способности к концентрации внимания и самооценке состояния (тест САН) [7].

Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы (ССС) изучалось по показателям электрокардиографии, частоты пульса, систолического и диастолического артериального давления (АД), вариационной пульсометрии [8].

Кроме этого было изучено влияние некоторых социально-бытовых факторов на здоровье обследуемых специалистов и иммунный статус их организма. По накопленным данным изучалась заболеваемость, т.е. анализировались все случаи заболеваний, зарегистрированные за время работы обследуемого в Зоне отчуждения ЧАЭС. Определялось влияние на уровень заболеваемости таких признаков, как общий стаж работы в 30-километровой зоне, жилищно-бытовые условия жизни в зоне и по основному месту жительства, семейное положение, взаимоотношения в семье и др. Оценка функции иммунной системы проводилась по схеме, наиболее оптимальной в гигиенических исследованиях: [9, 10], с использованием тестов по определению общего количества лейкоцитов; абсолютного и относительного уровня лимфоцитов и нейтрофилов; абсолютного и относительного количества Т- и В-лимфоцитов; концентрация сывороточных иммуноглобулинов основных классов (А, М и G) в периферической крови; фагоцитарной активности нейтрофилов.

Результатами исследований установлено, что основным загрязнителем атмосферного воздуха Зоны отчуждения является пылевой фактор. Наиболее высокая концентрация взвешенных веществ определялась в местах земляных работ на тяжелой строительной технике, где содержание пыли в воздушной среде превышало ПДК от 3 до 12 раз. На этих же участках определялся оксид углерода и диоксид азота в концентрациях, приближающихся к ПДК. Приземные концентрации аэрозолей тяжелых металлов в атмосферном воздухе точек изучения не превышали гигиенических нормативов. Лишь только на ПЗРО "Буряковка" выявлены концентрации никеля и кобальта, приближающиеся к среднесуточным ПДК соответственно - 0,0078 мг/м³ и 0,00095 мг/м³.

Содержание радионуклидов ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²³⁸Pu, ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu в воздухе обследуемых производственных участков регистрировались на три и более порядка ниже допустимых значений для лиц категории Б (ДКв) согласно НРБ 76/87 [11]. Наиболее высокие концентрации ¹³⁷Cs и ²³⁸Pu, ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu определялись в атмосферном воздухе на площадке ПЗРО "Буряковка": цезий - $1,67 \cdot 10^{-6}$ Бк/л; плутоний - $0,01 \cdot 10^{-6}$ Бк/л. Однако такие концентрации составляют всего лишь соответственно 0,01 и 1,0 % ДКб.

Установлено, что загрязнение поверхностного слоя почвы Зоны отчуждения ЧАЭС тяжелыми металлами характеризуется мозаичностью и неоднородностью, так же как и радионуклидами. Вместе с тем, анализ результатов не выявил взаимосвязи загрязнения почвы тяжелыми металлами и радионуклидами, что указывает на разные источники их поступления. Наиболее высокие концентрации тяжелых металлов, особенно свинца и цинка,

155

определялись вдоль автомагистралей. Это свидетельствует о том, что в данном случае основным источником поступления тяжелых металлов в почву являлся автотранспорт.

На всех обследованных производственных участках Зоны отчуждения максимальное содержание тяжелых металлов в почве превышало фоновые значения, свойственные данному региону, от 1,5 до 7,9 раз. В отдельных точках и минимальные концентрации некоторых металлов также были выше фоновых значений (свинец, никель, цинк).

На целинных участках 30 километровой зоны радионуклиды, в основном, находятся в верхнем 5-сантиметровом слое почвы. На участках, где проводились дезактивационные и другие работы, установлено более глубокое их проникновение по профилю почвы. Анализ показал, что интенсивность миграции радионуклидов, по-видимому, связана с образованием в почве комплексов "аминокислота-радионуклид". Так, 60-80% ^{90}Sr находится в доступной обменной форме по сравнению с ^{137}Cs , который пребывает в фиксированном состоянии.

На ПЗРО "Буряковка" (участок, где проводятся интенсивные земляные работы) в почве удельная активность ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu регистрировалась в пределах от 2,1 до 4,0 Бк/кг, что не исключает его проникновения в дыхательные пути работающих с пылью.

Результаты проведенных исследований по гигиенической характеристике условий труда операторов тяжелой техники и водителей большегрузных автомобилей свидетельствует в том, что по выраженности влияния производственных факторов нерадиационной природы в наиболее неблагоприятной ситуации находились бульдозеристы (см. таблицу). Интенсивность воздействия вредных факторов во многом зависела от типа машин, их технического износа и вида выполняемых работ.

Гигиеническая оценка условий труда операторов тяжелой строительной техники и водителей большегрузных автомобилей

Тип машины	Уровень неблагоприятного производственного фактора					
	Шум, дБ экв.	Общая вибрация, LV дБ экв.	Локальная вибрация, LV дБ экв.	Пыль, мг/м ³	СО, мг/м ³	Углеводороды нефти, мг/м ³
Бульдозер:						
ДЭТ-250	91-94	113-117	115-117	27,0-47,0	32,0	300,0
Г-140	81-83	112-118	109-112	14,2-40,2	н/о	н/о
Г-130	82-86	112-117	111-112	16,3-61,8	н/о	н/о
Г-170	84-87	112-116	110-112	12,3-38,8	18,3	203,0
БАТ-М	96-100	115-119	114-116	12,1-16,0	46,0	370,0
Экскаватор: ЭО-5522	83-85	108-110	110-111	3,0-4,0	н/о	н/о
Автопогрузчик:						
ТО-18	82-84	115-119	110-112	8,3-14,7	20,0	160,0
"Stalovi Wola"	82-84	103-105	106-110	14,7-39,2	16,2	н/о
Автоскрепер:						
9-357	80-83	110-113	100-107	2,8-4,4	н/о	н/о
Белаз-531	80-86	110-114	100-193	1,7-2,8	н/о	н/о
Автомобиль:						
КРАЗ-65	78-91	114-121	110-112	14,2-26,0	34,3	100,0
БЕЛАЗ	84-86	113-116	108-112	2,3-11,2	н/о	н/о
ХАЗ	77-83	111-119	110-112	8,3-18,0	22,2	н/о
КАЗ-55	78-85	112-114	106-111	11,0-21,0	31,7	200,0
КАМАЗ	80-86	108-112	101-110	4,0-9,0	12,2	н/о
Допустимое значение: (ПДУ, ПДК)	80	107	112	4,0	20,0	300,09

Из представленных в таблице данных следует, что условия труда на бульдозерах характеризовались превышением ПДУ шума на 3-20 дБ. Уровни общей вибрации были выше ПДУ на 5-12 дБ, локальной - на 2-5 дБ. Запыленность воздуха рабочей зоны также оказалась наибольшей в

кабинах бульдозеров, превышавшая ПДК в 3-12 раз, а в отдельных образцах проб - до 17 раз. В ряде случаев в воздухе рабочей зоны бульдозеристов отмечено превышение ПДК углеводородов нефти и оксида углерода (в 1,5-2,0 раза).

Содержание пыли в воздухе кабин большегрузных автомобилей и автопогрузчиков превышало ПДК от 2 до 10 раз; в кабинах экскаваторов и автоскреперов уровень запыленности был близким к нормируемым величинам. Следует подчеркнуть, что по дисперсному составу пыль распределялась следующим образом: пылевые частицы размером до 1 мкм составляли 10%, от 1 до 5 мкм - около 70% и от 5 до 10 мкм - 20-25%.

Из данных таблицы видно, что по воздействию неблагоприятных производственных факторов более благоприятные условия труда были у экскаваторщиков, водителей большегрузных автомобилей, автоскреперов и автопогрузчиков. Однако на отдельных типах машин (автомобиль КРАЗ-65, автопогрузчик ТО-18) регистрировалось превышение допустимых уровней общей вибрации (на 8-14 дБ) и содержания пыли в воздухе рабочей зоны (от 2 до 6,5 раз).

Температура воздуха в кабинах всех типов обследованных машин в большинстве случаев не превышала нормируемых значений. Вместе с тем, как показали результаты исследований, водители этих машин до 30 дней в году испытывали воздействие нагревающего микроклимата, что в сочетании с ионизирующим излучением и значительной запыленностью воздуха рабочих мест может отрицательно сказываться на здоровье работающих.

Исследование проб пыли, отобранных в воздухе рабочей зоны обследуемых специалистов на активность содержащихся в нем изотопов цезия, показало, что их концентрация составила в среднем 0,033 Бк/л воздуха. Учитывая, что за 6-часовую рабочую смену воздухообмен человека составляет, примерно, 9 м³ [11], а в воздухе рабочей зоны находится до 70% пылевых частиц, наиболее глубоко проникающих в дыхательные пути, то это может существенно дополнять эффективную дозу облучения работающих.

Радиационно-гигиеническая характеристика условий труда обследуемых специалистов, полученная с помощью фантомных исследований, позволила заключить, что перенос полученных результатов на реального человека правомочен, так как "ткани", входящие в состав фантома, радиационно подобны основным тканям человека. Установлено также, что для персонала, работающего на открытой местности, распределение доз типично для равномерного облучения: в поперечных сечениях доза уменьшалась с глубиной. При этом, как правило, более высокие дозовые нагрузки приходились на органы, расположенные относительно близко от поверхности тела.

Для операторов бульдозера характер распределения доз отличался большей неравномерностью, обусловленной различной защищенностью участков тела конструктивными элементами кабины и трактора в целом, а также его позой. Поэтому отдельные органы и части тела бульдозеристов подвергались воздействию ионизирующего облучения в дозах от 1,2 до 2,5 раз меньших, чем у персонала, работающего на открытой местности.

Обследование различных технологических участков, на которых работали специалисты исследуемой и контрольной групп, позволило установить фактические уровни дозового воздействия, формирующиеся в процессе выполнения работ.

157

Рассчитанные на основе результатов изучения радиационных маршрутов дозы внешнего гамма-, бета-облучения и дозы внутреннего облучения при алиментарном и ингаляционном путях поступления для них составили от 9,6 до 1,2 сЗв/год. Такие дозы не превышают дозовых пределов, установленных НРБ 76/87 [11] для профессионалов (5 сЗв/год), однако, они достигают 30% годовой квоты облучения персонала, выполняющего ремонтно-профилактические работы на реакторе РБМК-1000.

Особенности режима Зоны отчуждения ЧАЭС обуславливают сокращение времени пребывания людей на открытом воздухе в свободное от работы время. Специалисты обследуемых групп во время пребывания на вахте в основном проживали в приспособленных под общежития четырех- и пятиэтажных жилых зданиях с централизованным отоплением и

канализацией. При этом число проживающих в жилой комнате достигало четырех и более человек, что, естественно, отрицательно сказывалось на параметрах микроклимата, качестве воздушной среды жилых помещений, ионной чистоте воздуха и др. Установлено, что температура воздуха жилой среды в холодный период года в 52% случаев была выше и только в 10% - ниже нормируемые значения. В теплый период наблюдалось противоположное: в 67% случаев температура воздуха оказалась ниже допустимых величин и только в 13% - выше. Такая ситуация может объясняться повышенной температурой теплоносителя в отопительный сезон, значительным числом секций отопления, а также недостаточной вентиляцией жилых помещений.

Подвижность воздуха в холодный и теплый периоды года варьировала от 0,1 до 0,2 м/с, что соответствовало гигиеническим требованиям. Показатели относительной влажности воздуха в холодный период года в 72% обследованных жилищ превышали нормативные величины на 3-24%; в теплый период в 87% случаев - были выше на 2-23%.

У более половины обследованных жилых помещений фактическая величина воздухообмена была ниже минимально допустимых гигиенических нормативов (18 м³/ч на 1 человека), чему способствовали перенаселенность комнат, герметизация окон полиэтиленовой пленкой, заклеивание решеток вентиляционных каналов бумагой и др. Такая ситуация может быть причиной значительного загрязнения воздуха этих помещений пылью, микроорганизмами, антропогенами и продуктами деструкции полимеров, приводить к повышению влажности и температуры воздуха. Недостаточный воздухообмен также способствует концентрированию тяжелых металлов внутри жилищ в результате их осаждения с пылью на поверхность конструктивных элементов и предметы обихода. Данные, полученные расчетным методом, показали, что даже при оптимальном воздухообмене кратность превышения ПДК тяжелых металлов, осажденных с пылью в жилых помещениях, составит по цинку - 3, меди - 4 и свинцу - 23. Следовательно, в общежитиях Чернобыля существует определенная угроза дополнительного поступления токсичных металлов в организм человека с пылью.

Эквивалентная равновесная концентрация (ЭРК) природных радионуклидов ²²²Rn и торона ²²⁰Rn в воздухе жилых помещений, где проживает обследуемый вахтовый персонал, колебалась в осенне-зимний период от 2,14 Бк/м³ до 15,20 Бк/м³ для радона и от 0,04 Бк/м³ до 1,06 Бк/м³ для торона. Средняя величина эффективной дозы облучения проживающих от этих радионуклидов составила 0,49 мЗв/год за счет радона и 0,11 мЗв/год за счет торона, а вклад торона в дозу облучения по сравнению с радоном не превышал 18,3%.

Обнаруженные в воздухе жилых помещений величины ЭРК радона-222 не превышают допустимой величины (50,0 Бк/м³), установленной в Украине для помещений с постоянным

158

пребыванием людей и не требует проведения каких-либо противорадиационных мероприятий. Однако, учитывая радиационно-экологическую ситуацию, сложившуюся в Зоне отчуждения ЧАЭС, специфику труда вахтового персонала, нельзя пренебрегать этим фактором.

Субъективная оценка условий проживания, полученная с помощью анкетирования, подтвердила выводы инструментальных исследований о возможном неблагоприятном влиянии дискомфортного микроклимата и недостаточного воздухообмена на самочувствие и эффективность отдыха вахтового персонала. В частности, значительная часть опрошенных предъявляла претензии к температурному режиму; 42,0% проживающих оценили температурные условия жилищ в теплый период года как "прохладные", а 20,5% в холодный период - как "жаркие". Наиболее существенные претензии к температурным условиям предъявлялись в летнее (43,5% опрошенных) и зимнее время (39,5%). Кроме того, во все сезоны года от 33,5% до 44,5% проживающих оценили воздух жилых помещений как "влажный". Наличие же сквозняков отмечали 10,5% респондентов в теплый период года и 17,0% - в холодный.

Оценивал воздухообмен в жилых помещениях, 55,0% проживающих определили свое состояние в весенне-летний период года как "дышится тяжело". Несколько меньше

опрошенных (41,0%) указали на аналогичное состояние в осенне-зимний период. Следовательно, частичная герметизация жилых помещений, повсеместно практикующаяся в общежитиях Чернобыля, уменьшает, но не исключает поступление радионуклидов из наружного воздуха, однако существенно ухудшает их воздухообмен, вызывая дискомфортное самочувствие проживающих.

Исследованиями функционального состояния основных физиологических систем организма установлено, что в группе обследуемых специалистов под влиянием работы за период пребывания на вахте в Зоне отчуждения, происходит увеличение подвижности нервных процессов, повышение работоспособности головного мозга, возрастание скорости сенсомоторных реакций, указывающих на повышение уровня активации ЦНС. Так, выявлены следующие достоверные изменения: укорочение, по сравнению с исходными значениями, ЛП СЗМР на 4,7% к середине вахты и на 10,4% к концу вахты; увеличение функциональной подвижности нервных процессов на 18,0% к середине вахты и на 36,0% - к концу; повышение работоспособности головного мозга на 8,9% к середине вахты и на 12,0% - к концу; снижение числа ошибок на дифференцировочный раздражитель на 50,7% к середине и на 44,2% к концу вахты. Следует полагать, что такое функциональное напряжение ЦНС обусловлено условиями и характером труда обследуемых лвц. В то же время известно, что высокий уровень нервного напряжения сопровождается развитием выраженного утомления. Однако в исследуемой группе специалистов не установлено ожидаемого снижения значений самооценки состояния организма по тесту САБ, который является весьма информативным при развитии утомления и позволяет выявить его наступление задолго до снижения психофизиологических показателей [7].

Повышение уровня активации ЦНС в динамике вахты наблюдалось и в контрольной группе, но в значительно меньшей степени, чем у операторов тяжелой техники и водителей большегрузных автомобилей.

Предположительно такая высокая активация ЦНС, развивающаяся под влиянием трудовой деятельности, маскирует проявление утомления. Возможно также, что воздействие ионизирующего излучения, специфические условия пребывания в Зоне отчуждения, вахтовый метод работы приводят к искажению самоощущений, возникновению у работающих неадекватных реакций.

Полученные данные о функциональном напряжении ЦНС у обследованных групп ликвидаторов и предположение о развитии у них "скрытого утомления" подтвердились результатами исследований состояния ССС, слухового и вестибулярного анализаторов. Так, уже в исходном состоянии (до работы) в первые дни вахты у обследуемых лиц наблюдались высокие значения частоты пульса при индивидуальном варьировании от 72 до 96 уд/мин и уровнях АД от 120/90 до 180/120 мм рт.ст., а также индекса напряжения сердца (ИН) от 110 до 400 относительных единиц при средней величине - 200 относительных единиц.

К концу рабочей смены в среднем по группе операторов и водителей существенно возрастала частота сердечных сокращений, имела место тенденция к снижению систолического АД, тогда как диастолическое АД оставалось на уровне исходных величин. Отмечалось также снижение ударного объема крови, вследствие чего обеспечение минутного объема крови к концу рабочего дня происходило, в основном, за счет учащения сердечных сокращений, что обычно является результатом снижения активности работы сердца. Эти процессы сопровождались достоверными изменениями статистических характеристик сердечного ритма: уменьшение моды (M_0), размаха варьирования (ΔX), а также увеличением амплитуды моды (ΔM_0) и ИН, что свидетельствует о напряжении механизмов регуляции ССС и симпатикотоническом перенапряжении.

Одновременно наблюдались гиперкомпенсаторные реакции на функциональную пробу с физической нагрузкой, сочетающиеся с признаками снижения экономичности гемодинамики и уменьшением ИН сердца на фоне высокой частоты сердечных сокращений.

К середине вахты отмечалось некоторое улучшение показателей состояния ССС, однако направленность неблагоприятных реакций на тестовую физическую и трудовую нагрузки сохранялась. К концу вахты у операторов и водителей вновь выявились характерные признаки функционального напряжения системы кровообращения.

У лиц контрольной группы исследуемые показатели ССС как в исходном состоянии, так и в течение всей вахты были в пределах физиологической нормы. В этой группе не было неадекватных реакций и на пробу с дозированной физической нагрузкой.

Закономерности, выявленные в динамике исследуемых показателей системы кровообращения в группе обследуемых специалистов, указывают на существенную перестройку механизмов нейрогуморально-гормональной регуляции и снижение адаптационных возможностей их организма.

Корреляционный анализ, проведенный между изученными показателями состояния ССС, возрастом обследуемых (от 24 до 41 года), их стажем работы по специальности (от 2 до 10 лет) и дозовыми нагрузками (в пределах 4,0-11,0 сЗв), полученными ими за время трудовой деятельности в Зоне отчуждения, выявил тесную прямую корреляционную связь показателей гемодинамики и сердечного ритма с дозовой нагрузкой ($r=0,6-0,8$). Существенно слабее проявлялась эта связь с возрастом обследуемых и их стажем работы по специальности.

В контрольной группе подобные закономерности установлены не были. Однако и дозовые нагрузки у лиц этой группы были значительно ниже (0,05-4,2 сЗв).

Полученные данные согласуются с результатами ранее проведенных исследований [1], показавших, что состояние системы адаптации у работающих в Зоне отчуждения ЧАЭС более тесно коррелирует с величиной дозовой нагрузки, чем со стажем работы.

160

При исследовании слуховой функции у 59% обследованных операторов тяжелой строительной техники выявлена разная степень постоянного снижения остроты слуха. Сопоставление данных состояния слуховой чувствительности у операторов, работающих в Зоне отчуждения, с аналогичными данными, полученными ранее у операторов таких же машин, работающих на "чистой" территории, показало, что при однородности по возрасту и стажу работы сравниваемых групп, исходные пороги слуха на частотах 500, 1000 и 4000 Гц на 4-10 дБ выше у операторов, работающих в Зоне. При этом на частотах 500 и 1000 Гц такие различия были статистически достоверными ($p < 0,05$).

Анализ данных состояния остроты слуха в динамике рабочего дня и вахты показал, что в начале вахты, после завершения работы, отмечалось снижение слухового порога по всем исследуемым: частотам на 3-5 дБ. Начиная с середины вахты, после трудового дня, смещение слухового порога на всех исследуемых частотах уже достигало до 5-9 дБ. При этом достоверные сдвиги, полученные на частотах 250, 500 и 1000 Гц, свидетельствуют о развитии у операторов утомленности слухового анализатора.

Результаты исследований, а также данные корреляционной зависимости слуховой чувствительности на частотах 500 Гц ($r=0,5$) и 1000 Гц ($r=0,7$) от стажа работы в Зоне отчуждения и на частоте 4000 Гц ($r=0,5$) от величины накопленной дозы показали, что, помимо профессиональной шумовой нагрузки, на состояние слуховой функции операторов тяжелой строительной техники существенное воздействие оказывают условия их пребывания на радиоактивно загрязненной территории.

В это же время у водителей большегрузных автомобилей и лиц контрольной группы не выявлено существенных изменений слухового порога в динамике рабочего дня и вахты. Корреляционные зависимости слуховой чувствительности от каких-либо исследуемых факторов также были незначительными.

При изучении функционального состояния вестибулярного анализатора (ФСВА) уже в начале вахты у 76% лиц обследованной группы операторов тяжелых машин выявились признаки умеренно выраженной вестибулярной дисфункции, проявляющейся в большинстве случаев нарушением функций равновесия. Средний оценочный балл по всей группе составил 5, в то время как в соответствии с принятыми критериями граница физиологической нормы

составляет 4 балла. К концу вахты у операторов эти нарушения усиливались, а у лиц контрольной группы в динамике рабочей смены и вахты балльная оценка оставалась в пределах физиологической нормы.

Результаты корреляционного анализа выявляли прямую статистически значимую зависимость нарастания признаков дисфункции вестибулярного анализатора от стажа работы операторов в Зоне отчуждения ($r=0,7$) и их дозовой нагрузки ($r=0,6$). Учитывая, что такая зависимость не выявлена от возраста операторов и стажа работы по профессии, можно предположить, что не последнюю роль в возникновении у них вестибулярной дисфункции играет воздействие радиационного фактора.

У водителей большегрузных автомобилей также определялись признаки умеренно выраженной вестибулярной дисфункции с нарастанием их в динамике вахты. Причем усиление дисфункции отмечалось больше у лиц с "физиологической нормой" со стороны вестибулярного аппарата. Однако существенной корреляционной зависимости ФСВА у водителей от исследуемых факторов не выявлено.

161

Результаты проведенных исследований позволили установить зависимость между продолжительностью стажа работы в Зоне отчуждения ЧАЭС и заболеваемостью обследованных лиц. Так, у персонала со стажем работы в зоне 7 лет и более показатели заболеваемости были в 2,2 раза выше, чем у лиц, работающих в течение 1-3 лет (609 против 278 случаев на 100 человек соответственно).

Установлено также, что с увеличением продолжительности стажа работы в Зоне отчуждения у обследованного персонала наблюдался рост инфекционно-воспалительных заболеваний, ОРЗ и аутоиммунных реакций.

Не менее важную роль в формировании показателей заболеваемости играют условия жизни операторов и водителей во время работы на вахте. Если у группы лиц, оценивших свои жилищно-бытовые условия на вахте как хорошие, уровень заболеваемости составил 436 случаев на 100 человек, то у оценивших их как неудовлетворительные - 670 случаев, что на 54% выше. При этом не выявлено влияния на показатели заболеваемости жилищно-бытовых условий по основному месту жительства обследованных.

Существенное влияние на заболеваемость обследуемых специалистов оказывали неблагоприятные взаимоотношения в семье. Если у лиц с хорошими семейными отношениями заболеваемость регистрировалась на уровне 461 случая на 100 человек, то у лиц с неудовлетворительными взаимоотношениями - 727 случаев.

Выявлено также, что лица, работающие дополнительно вне вахты, болеют чаще неработающих на 69%; 778 и 459 случаев на 100 человек соответственно ($p < 0,05$).

Проведенный анализ иммунологического обследования также показал рост уровня ряда заболеваний, особенно инфекционно-воспалительных, с увеличением продолжительности стажа работы в Зоне отчуждения. Выявленные изменения в иммунной системе (увеличение абсолютного количества Т- и В-лимфоцитов, повышение фагоцитарной активности нейтрофилов, снижение уровня иммуноглобулинов класса М) свидетельствуют о начальных изменениях иммунологической реактивности организма и могут быть отнесены к 1 стадии - компенсации.

Таким образом, результаты проведенных исследований подтвердили предположение о том, что операторы тяжелой строительной техники и водители большегрузных автомобилей, работающие в Зоне отчуждения ЧАЭС, постоянно подвергаются комплексному воздействию неблагоприятных физических и химических факторов окружающей и производственной среды в сочетании с радиационным фактором. Это приводило к дезадаптации основных физиологических систем их организма (повышение уровня активации ЦНС, снижение остроты слуха, проявление вестибулярной дисфункции, напряжение функционирования ССС) и развитию утомления. Характерно, что условия отдыха и проживания в Зоне не способствовали снятию негативных психогенных нагрузок у исследуемой группы лиц, а в некоторых случаях л усугубляли это состояние. Установлено существенное влияние

продолжительности стажа работы в Зоне отчуждения на показатели заболеваемости обследованных специалистов.

В связи с этим целесообразно изучить состояние здоровья всех специалистов, работающих на радиационно опасных технологических участках с применением эпидемиологических, иммунологических и генетических методов исследований. При этом следует снять запреты и ограничения по благоустройству жилого фонда в Зоне отчуждения. Кроме того, необходима разработка профессионального статуса лиц, работающих вахтовым

162

методом в Зоне отчуждения, как специфической профессиональной группы. Приведенные данные также могут служить основой для разработки более глубокой и обоснованной методики отбора лиц для работы в Зоне отчуждения, определения сроков продолжительности работы на вахте, а также целенаправленных мероприятий по оптимизации условий труда и быта вахтовиков и укреплению их здоровья.

1. *Состояние здоровья персонала 30-км зоны ЧАЭС* / А.И.Нягу, А.И.Степанова, Л.И.Чумак и др. // Итоги медицинских последствий аварии на ЧАЭС. - Киев, 1991. - С. 162-164.

2. *Состояние заболеваемости работающих в зоне отчуждения в период с 1986 по 1992 гг.* / В.Д. Вохмеков, Г.П. Маралина, Л.В. Волкова, Е.Г. Ганжа // Проблемы Чернобыльской зоны відчуження. - Київ: Наук. думка, 1994. - С. 27-37.

3. *Санитарные правила устройства, оборудования и содержания общежитий для рабочих, студентов, учащихся средних специальных заведений и профессионально-технических училищ*: СанПиН 42-121-4719-88. - М.: МЗ СССР, 1984. - 25 с.

4. *Uemura T., Suzuki S.-J., Hozawa T., Highstein S.M.* Neurootological examination with special reference to equilibrium function tests // Igaki shoin ltd., Tokio, 1977. - 178 p.

5. *Claussen C.-F.* Schwindelsymptomatik, Diagnostik, Therapie. - Hamburg: Edition m-p. Dr. Werner Rudat k. Co, 1983. - 255 p.

6. *Vertigo* / M.R. Dix, L.D. Hood. - Chichester: H. John Willey & Sons, 1984. - 491 p.

7. *Психологический тест "САН"* применительно к исследованиям в области физиологии труда / В.А. Доскин, Н.А. Лаврентьева, О.М. Стронгина, В.В. Шарай // Гигиена труда и профзаболевания. - 1975. - № 5. - С. 28-32.

8. *Баевский Р.М., Кирилов О.М., Клецкин С.З.* Математический анализ измерений сердечного ритма. - М.: Медицина, 1984. - С. 59-210.

9. *Комплексная оценка иммунного статуса при гигиенических массовых обследованиях населения. Методические рекомендации* // НИИ общей и коммунальной гигиены им. А.Н. Сысина.- М., 1988. - 74 с. .

10. *Винарская Е.И.* Влияние факторов окружающей среды на иммунный статус населения. - Киев, 1993. - 26 с.

11. *НРБ-76/87 и ОСП-72/87*. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 160 с.

Украинский научный гигиенический центр Министерства здравоохранения Украины, Киев
Поступило 15.03.95

163

УДК 612.014.482:613:168:001.5

Ю. Д. Думанский, И. И. Карачев, И. С. Бездольная, Н. Д. Шабунина,
Л. А. Томашевская, Л. Г. Андриенко, Н. К. Кушнир, Н. Л. Ковтонюк,
С. З. Биткин, Л. К. Маркелова, Т. И. Бережная

БИОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ СОЧЕТАННОГО ДЕЙСТВИЯ ИНКОРПОРИРОВАННОГО ¹³⁷Cs И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Исследована радиационная и электромагнитная обстановка в зонах размещения АЭС Украины. Проведены биологические эксперименты, направленные на изучение биохимического, иммунологического и физиологического статуса организма, лабораторных животных (крыс), подвергавшихся в течение трех месяцев по 16 часов в сутки сочетанному воздействию электромагнитного поля (ЭМП) 50 Гц (15 и 20 кВ/м) к ¹³⁷Cs, вводимого перорально ежедневно по $1,74 \cdot 10^{-2}$ кБк/кг. Установлено, что сочетанное действие, на уровнях допустимых гигиеническими нормативами, инкорпорированного ¹³⁷Cs и ЭМП является биологически значимым, вызывает функциональное напряжение ряда систем организма и обладает потенцирующим эффектом.

138

Анализ научной, литературы, посвященной вопросу сочетанного воздействия на организм неионизирующего и ионизирующего излучения, установил модифицирующее влияние ионизирующей радиации и электромагнитного поля (ЭМП) нетепловых интенсивностей на ряд систем организма животных. В то же время единичность исследований в этой области, отсутствие данных о биологическом действии ионизирующей радиации в сочетании с электромагнитным полем различных частотных диапазонов не позволяет прогнозировать эффективность гигиенической защиты нормативными документами, регламентирующими уровни ЭМП на селитебных территориях в возникшей в результате аварии на ЧАЭС эколого-гигиенической ситуации.

Важным этапом в решении настоящей проблемы является Изучение радиационной и электромагнитной обстановки как в зонах экологического бедствия (ЧАЭС и 30-километровая зона), так и повышенного экологического риска (в местах размещения АЭС), а также установление биологических закономерностей сочетанного действия ЭМЕ и ионизирующей радиации.

Одним из ведущих источников излучения электромагнитной энергии в окружающую среду как в местах размещения АЭС, так и в зонах жилой застройки является ЭМП промышленной частоты (50 Гц), а одним из приоритетных радионуклидов - ^{137}Cs .

С учетом изложенного была изучена электромагнитная и радиационная обстановка в местах размещения АЭС (Запорожской, Южно-Украинской АЭС) и проведены биологические экспериментальные исследования, направленные на изучение биохимического, иммунологического и физиологического статуса организма животных, подвергавшиеся сочетанному действию ЭМП и ^{137}Cs на уровнях, допустимых гигиеническими нормативами. В течение трех месяцев по 16 часов в сутки на белых беспородных крыс (самок) воздействовали ЭМП 50 Гц напряженностью 20 и 15 кВ/м [1] и ^{137}Cs , вводимым перорально ($1,74 \cdot 10^{-2}$ кБк/кг/сут.). Расчет вводимой активности ^{137}Cs

© Ю. Д. Думанский, И. И. Карачев, И. С. Бездольная, Н. Д. Шабунина, Л. А. Томашевская, Л. Г. Андриенко, Н. К. Кушнир, Н. Л. Ковтонюк, С. В. Биткин, П. К. Маркелова, Т. И. Бережная, 1996

164

производили в соответствии с нормами радиационной безопасности - 76/87 (НРБ) [2]. Согласно НРБ предел годового поступления ^{137}Cs (для лиц категории Б) в организм через органы пищеварения составляет $4,44 \cdot 10^5$ Бк/год (12 мкКи/год). При этом учитывали количество ^{137}Cs , приходящегося на 1 кг веса стандартного человека (70 кг) в день.

Исследования показали, что в местах размещения АЭС ведущими источниками излучения ЭМП 50 Гц являются распределительные устройства, линии электропередачи (ЛЭП) и трансформаторные подстанции. В зонах расположения открытых распределительных устройств (ОРУ) уровень электрической составляющей поля колеблется в пределах 0,3-25 кВ/м, а магнитной - от 60 до 2500 мкТл. Максимальные уровни регистрируются вблизи ЛЭП, возле коммутирующих устройств ОРУ, а также трансформаторов.

Напряженность ЭМП в зонах прохождения ЛЭП зависит от шага линии, высоты подвеса токонесущих проводов и удаления от них. Наибольшие уровни регистрируются под проводами в местах наибольшего их провисания, т.е. в центре пролета, а у опор уровень поля снижается.

Воздействию ЭМП 50 Гц подвергаются как лица, профессионально связанные с обслуживанием электроустановок, так и другие работники АЭС и население. Это обусловлено тем, что ОРУ и ЛЭП, являющиеся мощными источниками излучения электромагнитной энергии в окружающую среду, вплотную примыкая к АЭС и населенным пунктам, создают на прилегающих к ним зонах высокие уровни напряженности электрического и магнитного полей, которые на некоторых объектах и территориях в 2-15 раз превышают предельно допустимые.

При нормальном режиме работы АЭС являются незначительным источником радиоактивного загрязнения окружающей среды. Однако в случае аварии возможен огромный ущерб для окружающей среды и населения. До ввода в эксплуатацию ЧАЭС плотность загрязнения почвы ^{137}Cs и ^{90}Sr не превышала 0,081 и 0,067 Ки/км² соответственно. В 1993 г. в

ареале 5-километровой зоны от эпицентра аварии плотность загрязнения ^{137}Cs находилась в пределах 5,8-600 Ки/км², ^{90}Sr - 4,3-440 Ки/км². Плотность загрязнения почвы на различных участках сельскохозяйственных угодий 30-километровой зоны в 1993 г. ^{137}Cs варьировала от 0,2 до 81 Ки/км² [3].

Радиационная обстановка в районе расположения Южно-Украинской АЭС до ее эксплуатации (1982 г.) характеризовалась повышенным (в 2-3 раза по сравнению с усредненными данными по Украине) содержанием естественных радионуклидов и присутствием искусственных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr , последнее обусловлено глобальными выпадениями. Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs и ^{90}Sr находилась соответственно в пределах 0,032 - 0,054 и 0,015 - 0,053 Ки/ки².

Результаты исследований, проведенных в 1986 - 1992 г., показали повышенное содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в пробах почвы, растительности, молока. Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs достигала 0,32 Ки/км². Содержание радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в продуктах питания (булоко, мясо, яйца, овощи) в 1989-1992 г. находилось на постоянной уровне и превышало доаварийные величины в 3-5 раз, однако по сравнению с ВДУ-91 [4] была ниже на 2-3 порядка. Результаты исследований, проведенных в районе размещения Запорожской АЭС до ее ввода в эксплуатацию в 1984 г. и по 1992 г., показали аналогичный характер радиационной обстановки, сложившейся на Южно-Украинской АЭС.

Проведенные экспериментальные исследования на животных (500 крыс) установили, что поглощенная доза от ^{137}Cs составляет $55,11 \pm 5,34$ мкГр при ежедневном внутрижелудочном введении крысам 5 раз в неделю водного раствора ^{137}Cs на протяжении 3 месяцев эксперимента.

165

Сочетанное действие ЭМП 50 Гц напряженностью 20 кВ/м и ^{137}Cs снижало комплементарную активность сыворотки крови на 22,2% (1-й и 2-й месяцы воздействия) (рис. 1) и увеличивало уровень циркулирующих иммунных комплексов на 74,2% (3-й месяц воздействия) и 49,6% (период последействия) (рис. 2); уровень гликогена в ткани печени был снижен на 10% в течение всего периода воздействия, активность церу-лопламина была повышена на 17% [2-й и 3-й месяцы воздействия), а цитохромоксидазы снижена на 26% (1-й месяц воздействия) и на 13% (2-й и 3-й месяцы воздействия) в митохондриях печени, в эти же сроки отмечено увеличение перекисного окисления липидов но малсному диальдегиду. Результаты исследования гематологических показателей зафиксировали статистически значимые изменения в содержании гемоглобина, лейкоцитов, лимфоцитов, палочкоядерных нейтрофилов и эозинофилов. Однако все выявленные изменения были неустойчивы, находились в пределах физиологической: нормы и восстанавливались до контрольных значений в период последействия в течение месяца.. Изучение функционального состояния нежронв моторной и сенсомоторной зоны хоры головного мозга крыс установило депрессию дельта-, бета-, гамма-ритмов (1-й месяц воздействия - моторная и сенсомоторная зоны; 3-я месяц - сенсомоторная зона) и увеличение дельта-активности (2-й месяц воздействия - сенсомоторная зона); установлено угнетение двигательной активности животных (1-й и 2-й месяцы воздействия).

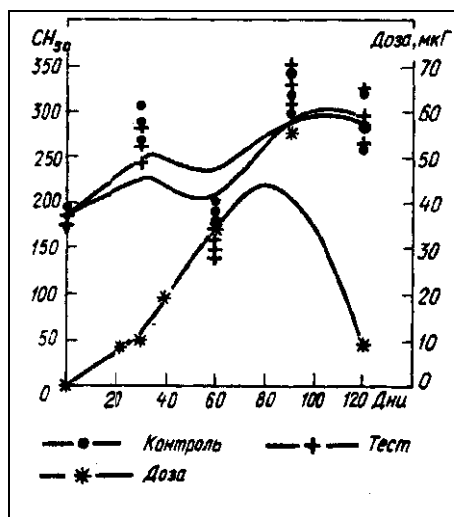


Рис. 1. Динамика комплементарной активности сыворотки крови (CH_{50} ед.опт.пл./мл) белых крыс при сочетании действия электромагнитного поля 50 Гц, 20 кВ/м и ^{137}Cs

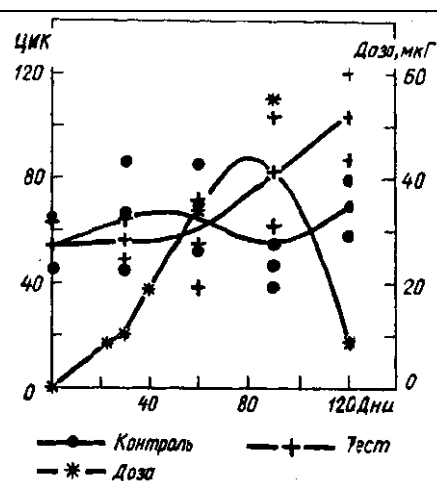


Рис. 2. Динамика циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК, ед.опт.пл./100 мл) белых крыс при сочетании действия электромагнитного поля 50 Гц, 20 кВ/м и ^{137}Cs

Сочетанное действие ЭМП Гц напряженностью 15 кВ/м и ^{137}Cs также угнетало активность ферментов, регулирующих процессы дыхания и перекисного окисления липидов (2-й и 3-й месяцы воздействия). Показатели углеводного обмена в течение первых двух месяцев существенно не отличались от контрольных. И только на 3-м месяце уровень гликогена в печени был достоверно снижен по сравнению с контрольной группой. Кроме этого, отмечалось снижение массы и краниокаудального индекса плода, изменение функционального состояния корковых нейронов и двигательной активности животных, характеризовавшееся фазностью (фаза активации сменялась фазой торможения).

166

В то же время не отмечалось существенного влияния изучаемых факторов на иммунорезистентность и состояние гематологических показателей.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют, что используемые в эксперименте нормативные значения напряженности ЭМП и активность ^{137}Cs на уровне НРБ-76/87 при совместном воздействии обладают потенцирующим эффектом, вызывающим изменение функционального состояния ряда систем организма, и характеризуются напряжением гуморального и клеточного иммунитета (снижение комплементарной активности крови и увеличение циркулирующих иммунных комплексов - 20 кВ/м). Зарегистрированные уменьшения гликогена в печени, угнетение дыхательных ферментов, увеличение перекисного окисления липидов и активности антиоксидантного фермента свидетельствует как об угнетении процессов аэробного окисления, так и о переключении функции дыхания на анаэробный, сопровождающийся повышением антиоксидантной активности церулоплазмзы. Эти процессы, а также увеличение перекисного окисления липидов, служат доказательством нарушения кислородного баланса в клетках и обусловлены возможным мембраноповреждающим действием. Результатом нарушения аэробного окисления является уменьшение энергетического выхода метаболизма, к которому наиболее чувствительны клетки с высокой скоростью обмена веществ (нервные клетки), что, вероятно, и обусловило развитие депрессии ритмов электрокортикограммы животных, и выразилось снижением спектральной плотности регистрируемой нейронной активности клеток мозга. Функциональным состоянием нейронов обусловлено и угнетение двигательной активности животных. Динамика развития ответной реакции гематологических показателей дает основание предположить возможность возникновения неблагоприятных сдвигов при пролонгировании воздействия изучаемых факторов.

Таким образом, с помощью проведенных экспериментальных исследований установлено, что сочетанное действие нормативных уровней ЭМП 50 Гц и ^{137}Cs на уровне НРБ является биологически значимым, вызывает функциональное напряжение ряда систем организма, и обладает потенцирующим эффектом. Изложенное свидетельствует о необходимости доработки нормативных документов, регламентирующих изолированное действие электромагнитных излучений, с учетом сложившейся экологической ситуации и научного обоснования соответствующих гигиенических, инженерно-технических, градостроительными других мероприятий по охране здоровья населения и защите окружающей среды от неблагоприятного воздействия этих факторов.

1. Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты / Минздрав СССР: Введены 28.03.1984 г. - М., 1984. - 8 с.

2. Нормы радиационной безопасности НРБ-76/87 и основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующего излучения ОСП-72/87 / Минздрав СССР: 3-е изд. перераб. и дополн. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 160 с.

3. Бюлетень екологічного стану зони відчуження за період з 1.01.92 р. по 30.06.1992 р (попередній період) та з 1.01.93 р по 30.06.1993 р (звітний період) - Чорнобиль, 1993 - Вип. 1. - 44 с.

4. Временные допустимые уровни содержания радионуклидов цезия и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде, установленные в связи с аварией на Чернобыльской АЭС (ВДУ-91) // Минздрав СССР: Введены 22.01.1991 г. - М., 1991. - 4 с.

Украинский научный гигиенический центр Министерства здравоохранения Украины, Киев
Поступила 15.03.95

167

УДК 621.039.7

З. В. Калашникова, Г. И. Корчак, И. И. Карачев, Л. Ф. Ерусалимская,
Л. В. Григорьева, Л. Я. Наговицына, В. О. Волощенко, Л. В. Троян, Г. И. Бережная
**ОЦЕНКА ДОСТУПНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ РАСТЕНИЯМ ПРИ РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ МИКРОБИОЦЕНОЗОВ ПОЧВЫ**

В экспериментальных исследованиях изучалась зависимость процессов формирования доступных растениям форм радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr от состояния микрофлоры почвы, участвующей в деструкции органического вещества. Выявлены группы микроорганизмов более и менее активные в условиях высоких уровней радиоактивного загрязнения почвы. Прослежена динамика развития жадной физиологической группы в течение трехмесячного периода выдерживания сосудов с почвой в разных водотемпературных условиях. Полученные результаты сопоставлены с данными по распределению ^{137}Cs и ^{90}Sr по почвенным вытяжкам и накоплению радионуклидов растениями.

В последнее время возрос интерес к вопросу о роли низкомолекулярных органических соединений почвы в накоплении радионуклидов растениями, поскольку эти соединения относятся к числу наиболее биологически доступных, миграционно-способных и вносят основной вклад (70-90 %) в поступление изотопов в растения [1]. В связи с этим нельзя игнорировать роль почвенных микроорганизмов как основных деструкторов органических веществ.

Зависимость между поступлением радионуклидов в растения и жизнедеятельностью микробных ценозов не может носить прямой характер, поскольку поведение доступных растениям низкомолекулярных органических веществ, образовавшихся в результате микробиологической деятельности, определяется также агрохимическими свойствами почвы (рН, содержанием гумуса и др.).

Попытки выявить влияние жизнедеятельности микроорганизмов на поведение радионуклидов в почве предпринимались рядом авторов. Была показана особая роль микробных ценозов почвы в повышении подвижности аварийного радиоцезия по сравнению с глобальным. Получен ряд косвенных данных, позволяющих связывать миграционные

процессы радионуклидов и накопление их растениями с деятельностью почвенных микроорганизмов [2, 3].

Целью наших исследований явилось изучение зависимости между количественными показателями состояния почвенной микрофлоры и накоплением радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr растениями. В качестве промежуточного критерия между этими двумя факторами использовали данные о формах содержания радионуклидов в почве, поскольку известно, что процессы миграции изотопов по профилю почвы и поступление в растения в значительной степени определяются распределением их по почвенным вытяжкам.

Вариант опыта	$t, ^\circ\text{C}$	Влажность
I контроль	30	
II опыт	30	
III опыт	20	
IV опыт	10	
V опыт	5	

Исследования проводились в условиях вегетационного опыта. Для контрольного варианта (I) использовали относительно чистую по радиационному показателю дерново-подзолистую супесчаную почву: удельная активность ^{137}Cs – 0,23 кБк/кг, ^{90}Sr – 0,29 кБк/кг. Для опытных вариантов (II–IV) была отобрана загрязненная радионуклидами почва из 30-километровой зоны ЧАЭС, аналогичная контрольной по своим агрохимическим

© З. В. Калашникова, Г. И. Корчак, И. И. Карачев, Л. Ф. Ерусалимская, Л. В. Григорьева, Л. И. Наговицына, В. О. Волощенко, Л. В. Троян, Т. И. Бережная, 1996

168

свойствам: удельная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr – 2,4 кБк/кг. Масса воздушно-сухой почвы в сосудах 3,5 кг, повторимость опыта двукратная. Для обеспечения интересующего нас интервала величин количественных показателей состояния микрофлоры почвы были созданы разные условия жизнедеятельности микроорганизмов, что предполагает разную степень разложения органического вещества. Для этого сосуды с почвой в течение трех месяцев выдерживали в следующих водотемпературных режимах: от оптимального для развития микрофлоры (варианты I и II) до критического (вариант V) (табл. 1).

Таблица 1. Условия выдерживания сосудов

В начале опыта, а затем периодически один раз в месяц определяли количественные показатели микрофлоры. По истечении трехмесячного срока были отобраны почвенные пробы для изучения распределения радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr по почвенным вытяжкам. Затем в сосуды были высажены растения овса, которые выращивали в оптимальных условиях до фазы выхода в трубку, после чего они были срезаны и проведены их гамма-спектрометрические и радиохимические исследования.

При выборе физиологических групп почвенных микроорганизмов основное внимание было уделено тем, которые осуществляют процесс деструкции азотсодержащих органических соединений (протеолиты, аммонификаторы, нитрификаторы). В наших исследованиях изучено всего 12 физиологических групп, кроме вышеперечисленных, следующие: вегетативные и споровые (кислото-, щелочеобразователи, нейтральные формы), аллохтонная и аутохтонная микрофлора, индексы бактерий кишечной палочки (БГКП).

Протеолиты определяли на среде Фразье, аммонификаторы – в 1% пептонной воде с бумажками Круппа, нитрификаторы с использованием среды Виноградского и реактива Грисса [4-6]. Обсемененность почвы алло- и аутохтонной микрофлорой изучали путем глубинного посева соответствующих разбавлений исходной 10%-ной взвеси почвы в расплавленный 1,5%-ный мясопептонный агар с последующей инкубацией посевов при 37°C в течение 24 ч и при 20°C – 48 ч [7]. Индекс БГКП определяли общепринятым титрационным методом [8]. Кислото- и щелочеобразователи, нейтральные группы микроорганизмов устанавливали на мясо-пептонном агаре с 1%-ной глюкозой и индикаторами нейтральным красным и метиленовым синим [9].

Радионуклидный состав образцов исследовали на спектрометрической установке, основу которой составляет анализатор импульсов "VARRO" с полупроводниковым германиевым детектором шла 3020, минимально детектируемая активность (МДА) за 10000 с составляет 0,21 Бк/кг по ^{137}Cs для "геометрии" сосуда Маринелли объемом 1 л.

Определение ^{90}Sr проводили радиохимическим методом.

Формы нахождения ^{137}Cs и ^{90}Sr в почве устанавливались согласно следующей модели. На первом этапе проводили экстракцию водорастворимых форм радионуклидов дистиллированной водой в соотношении 5:1. На втором этапе - экстракция обменных форм 1N $\text{NH}_4(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)$ в соотношении 10:1. На третьем этапе - выделение подвижных форм 2N HCl в соотношении 5:1. Фиксированную форму определяли путем экстракции прокаленного при $t = 450^\circ\text{C}$ сухого остатка в 6N HCl в соотношении 5:1. После каждой экстракции почву высушивали и в ней регистрировали содержание ^{137}Cs гамма-спектрометрическим методом и ^{90}Sr (в экстракте) радиохимические.

169

Таблица 2. Значения t -критерия и соответствующей вероятности p

Тип микрофлоры	II-I		II-III		II-IV		II-V	
	t	P	t	P	t	P	t	P
Вегетативные все формы	2,826	0,0135*	2,081	0,0563	2,528	0,0241*	2,982	0,0099*
Вегетативные кислотные формы	1,429	0,1749	1,184	0,2561	0,3108	0,7606	1,125	0,2795
Вегетативные щелочные формы	1,094	0,2925	2,267	0,0398*	1,089	0,2947	1,181	0,2574
Вегетативные нейтральные формы	3,632	0,0027*	1,294	0,2166	2,421	0,0297*	2,317	0,0362*
Споровые все формы	3,228	0,0061*	-0,009	0,9933	1,181	0,2571	1,545	0,1448
Споровые кислотные формы	1,386	0,1873	0,0821	0,9357	1,086	0,2958	1,255	0,2300
Споровые щелочные формы	1,342	0,2009	1,275	0,2232	1,041	0,3154	1,544	0,1450
Споровые нейтральные формы	3,089	0,0080*	-0,249	0,8070	1,068	0,3034	1,388	0,1869
Протеолиты	1,826	0,0845	-0,213	0,8336	1,767	0,0942	1,641	0,1181
Аммонификаторы	1,659	0,1144	-0,497	0,6250	0,5775	0,5707	0,8443	0,4096
Нитрификаторы	0,6205	0,5427	0,0002	0,9998	0,0002	0,9998	0,000	0,9996
Аллохтонная микрофлора	2,371	0,0291*	0,5890	0,5632	-0,116	0,9093	1,173	0,2563
Аутохтонная микрофлора	2,850	0,0106*	0,9606	0,3495	0,0854	0,9329	1,595	0,1281
ВГКП	1,605	0,1259	1,162	0,2604	1,068	0,2994	1,181	0,2528

* Достоверность различия на уровне 0,05 вариантов I-V от контрольного II.

Результаты микробиологических исследований показали, что численность почти всех физиологических групп в загрязненной радионуклидами почве (вариант II) в течение трехмесячного периода наблюдения была, как правило, ниже контрольной (вариант I). В группах нейтральных вегетативных и споровых форм, алло- и аутохтонной микрофлоры это различие было достоверно значимым (табл. 2 - статистический анализ проведен по совокупному числу каждой из групп микрофлоры за три месяца).

К наиболее активным среди рассмотренных групп микроорганизмов следует отнести протеолиты (рис. 1), которые несмотря на исходные низкие значения численности, в дальнейшем оказались способны к ее увеличению, хотя латентный период этого процесса был более длительным по сравнению с контрольным.

У других физиологических групп колебания численности микроорганизмов на протяжении трехмесячного периода наблюдения в загрязненной радионуклидами почве (вариант II) не были столь значительными, как в контрольном (вариант I), и сохранились приблизительно на уровне исходных (до начала опыта) значений. Динамика развития аутохтонной микрофлоры в течение трех месяцев хорошо демонстрирует характер изменения численности менее активных групп в загрязненной и контрольной почвах (рис. 2).

170

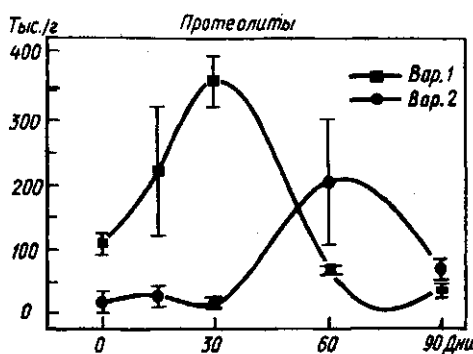


Рис. 1

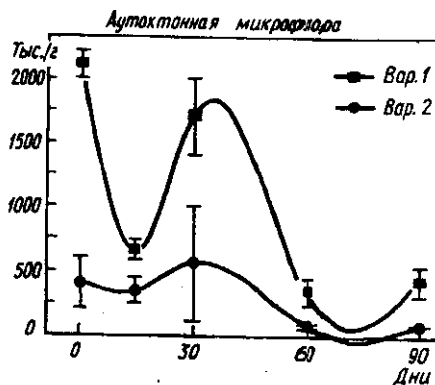


Рис. 2

При снижении значений водотемпературного фактора в вариантах II-IV ожидалось угнетение жизнедеятельности микроорганизмов, однако результаты исследований этого не показали.

Согласно данным табл. 2 происходило достоверно значимое увеличение числа вегетативных форм в вариантах IV и V, т.е. там, где условия выдерживания сосудов были близки к критическим для развития почвенной микрофлоры. Численность протеолитов, аммонификаторов (рис. 3), споровых нейтральных форм (рис. 4) также имела тенденцию к росту в указанных выше вариантах.

У остальных наблюдаемых групп определенных тенденций как в динамике развития за три месяца, так и по совокупной численности бактерий каждой группы по мере снижения параметров водотемпературного фактора не отмечалось (табл. 1). Полученные результаты не согласуются с общепринятыми представлениями об оптимуме температурного режима для развития большинства микроорганизмов (25-30°C). Однако этот температурный интервал связан с эколого-физическими характеристиками среды обитания. В частности, ряд авторов располагает данными о повышенной численности почвенных микроорганизмов в весенне-осенний периоды года, имеющих температурные условия варианта IV [10].

Что касается влажности, то большинство микроорганизмов весьма устойчивы к высушиванию, хорошо переносят водный стресс и способны функционировать при низком водном потенциале [11]. Относительно высокая активность некоторых форм в вариантах IV-V опыта возможно связана с более высокой радиоустойчивостью бактерий в сухих препаратах по сравнению с жидкими [12].

Накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr растениями овса по вариантам опыта имело значительные различия (табл. 3). Максимальное накопление ^{137}Cs показано в IV варианте, где условия инкубации микроорганизмов были близки к критическим, а ^{90}Sr - во II варианте, с оптимальным режимом инкубации. Причем содержание радиостронция в растениях уменьшалось по мере снижения значений температуры и влажности.

Таблица 3. Коэффициенты накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в вегетативной массе овса

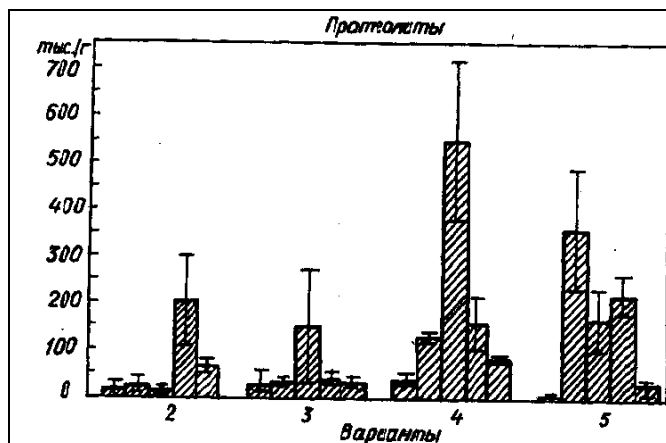


Рис. 3

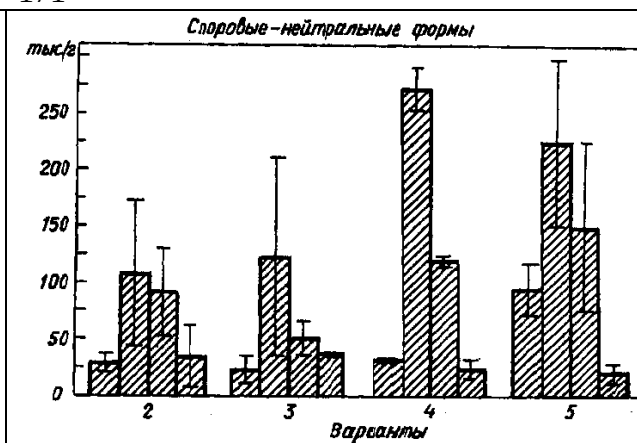


Рис. 4

Интересным представляется тот факт, что максимальное накопление радиоцезия растениями и наиболее высокий уровень активности микроорганизмов некоторых физиологических групп (протеолиты, асиммонификаторы, нейтральные формы вегетативных и споровых) наблюдали в 4-м и том же варианте опыта, что объясняется, по нашему мнению, фиксацией этого изотопа преимущественно на органических соединениях почвы [1]. Поэтому усиление процессов деструкции органических соединений привело к повышению содержания доступных форм радиоцезия в почвенном растворе.

Согласно литературным данным для ^{90}Sr характерно увеличение доступной растениям доли радионуклида в почве в послеаварийный период, что вызвано выветриванием и повышенной по сравнению с ^{137}Cs миграционной способностью и выщелачиванием топочных частиц, т.е. физико-химическими процессами [13]. В связи с этим представляется закономерным то, что нами не была выявлена зависимость накопления ^{90}Sr растениями от уровня активности почвенных микроорганизмов.

Анализ распределения радионуклидов по почвенным вытяжкам указывает на водорастворимую форму ^{90}Sr , как наиболее отражающую характер накопления изотопов растениями по вариантам опыта (табл. 4). Поскольку нами не было отмечено связи между

172

микробной активностью почвы и накоплением радиостронция растениями, изменение его доли в водной вытяжке следует отнести за счет влияния физических факторов: температуры и влажности. Полученные данные позволяют предположить, что со снижением температуры и водного потенциала происходит ослабление физико-химических процессов, принимающих активное участие в разрушении почвенных частиц, содержащих ^{90}Sr в недоступном для растений состоянии (а это, согласно литературным данным, в основном минеральные соединения) и переводящих его в доступные формы.

Таблица 4. Распределение ^{90}Sr по почвенным вытяжкам

Вариант опыта	^{90}Cs
I	0,27
II	0,59
III	0,35
IV	1,50
V	0,20

и ^{137}Cs по

Вариант опыта	⁹⁰ Sr, % общего запаса в почве					¹³⁷ Cs, % общего запаса в почве				
	F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	14	F5
I	6,3	47,2	29,5	16,9	-	2,5	2,0	5,0	9,3	81,2
II	28,1	69,5	1,9	0,5	-	3,5	3,0	56,5	2,4	34,6
III	8,7	82,4	7,4	1,5	-	19,8	3,1	8,4	30,3	38,4
IV	4,8	84,1	8,8	2,3	-	22,2	5,5	17,0	14,6	40,7
V	3,2	84,4	10,9	1,5	-	24,5	3,5	22,7	19,1	30,2

Примечания. F1 - водорастворимая, F2 - обменносорбируемая (1N CH₃COONH₄), F3 - подвижная (2N HCl), F4 - необменносорбируемая (6N HCl), F5 - нерастворимый остаток.

Иная картина наблюдается по распределению ¹³⁷Cs по почвенным вытяжкам. Сравнение результатов по накоплению радиоцезия растениями и распределению его в почвенных вытяжках не дает определенных указаний на какую-либо форму, как наиболее отражающую динамику изменения величины K_n радионуклида в вариантах II-V. Поскольку основная доля ¹³⁷Cs связана с органическим веществом почвы, есть основания предполагать, что процессы деструкции радионуклид-органических соединений в меньшей степени подвержены воздействию физико-химических факторов среды таких, как температура и влажность, а связаны, в основном, с жизнедеятельностью микробиоценоза почвы.

Вероятно поэтому, процессы формирования доступных растениям форм ¹³⁷Cs являются более сложными и исследование поведения этого радионуклида с помощью почвенных вытяжек до настоящего времени не дало полного представления о механизмах перехода в растения и факторах, определяющих эти процессы.

Заслуживают внимания, на наш взгляд, данные по содержанию подвижного ¹³⁷Cs в варианте II-F3=56,5%, что значительно выше соответствующих значений в других вариантах опыта и свидетельствует об усилении миграционных процессов ¹³⁷Cs при выдерживании почвы в таких условиях водотемпературного режима, аналогичные результаты были приведены в работе [2]. Однако полученные нами данные дают основание предполагать, что увеличение доли подвижного ¹³⁷Cs в почве связано не с активизацией жизнедеятельности микрофлоры, поскольку их максимумы отмечены в вариантах IV, V, а, скорее, с усилением физико-химических процессов.

Полученные результаты позволяют сделать следующее заключение.

Таким образом, сопоставление количественных показателей микробиологической активности с накоплением радионуклидов растениями и распределением их по почвенным вытяжкам по вариантам опыта показывает, что связи между этими процессами у ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs носят разный характер. Максимумы численности протеолитов, аммонификаторов,

173

нейтральных форм вегетативных и споровых бактерий и пики по накоплению ¹³⁷Cs растениями наблюдали в одном и том же варианте опыта. Что касается почвенных вытяжек, то нельзя выделить какую-либо из них, которая бы отражала динамику накопления радиоцезия растениями. Учитывая литературные данные о преимущественной связи ¹³⁷Cs с органическими соединениями почвы, мы считаем возможным предположить, что процессы формирования доступных растениям форм ¹³⁷Cs определяются, в основном, микробиологической активностью почвы.

Не отмечено связи между количественными показателями микробиологической активности и накоплением радиостронция растениями по вариантам опыта. Последнее хорошо описывается изменением количества водорастворимых форм, содержание которых в свою очередь, связано с параметрами водотемпературного режима, т.е. определялись физико-химическими условиями среды. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что процессы формирования доступных форм ⁹⁰Sr находятся в зависимости, в основном, от состояния физико-химических процессов, происходящих в почве, и, по-видимому, в меньшей

степени, чем ^{137}Cs , связаны с жизнедеятельностью микроорганизмов, участвующих в деструкции органического вещества почвы.

1. Агапкина Г.И. Органические соединения ^{90}Sr и ^{137}Cs в почвенных растворах лесных почв 30-км зоны ЧАЭС и их роль в поступлении радионуклидов в растения // Геохимич. пути миграции искусственных радионуклидов в биосфере. (Тез. докл. V конф.). - Пушино, - 1991. - С. 67.
2. Tegan I. Laboratory experiments to investigate the influence of microbial activity on migration of caesium in a forest soil // Water, Air and Soil Pollut. -1991. - P. 441-447.
3. Романов Г.Н., Спирин Д.А., Медведев В.П. Факторы, определяющие подвижность ^{137}Cs . // Радиационные аспекты Черноб. аварии. Тр. I Всесоюз. конф. Обнинск, 22-25 июля, 1989.
4. Родина А.Г. Методы водной микробиологии. - Л.: Наука, 1965, - 362 с.
5. Григорьева Л.В. Санитарная бактериология и вирусология водоемов. - М.: Медицина, 1975. - 192 с.
6. Санитарная микробиология эвтрофных водоемов / Григорьева Л.В., Касьяненко А. И., Корчак Г.И. и др. - Киев: Здоровье, 1985. - 224 с.
7. Вершигора А.Е., Григорьева Л.В., Ярошенко В.А. Санитарная микробиология. - Киев: Здоровье, 1967. - 200 с.
8. Санитарно-бактериологические и вирусологические исследования воды // Гирич В.Н., Григорьева Л.В., Ерусалимская Л.Ф. и др. - Киев: Здоровье, 1981. - 176 с.
9. Борошова В.Н. Гифомицеты лесной подстилки в различных экосистемах. - Киев: Наук. думка, 1988. - 251 с.
10. Пошон Ж., Де Баржак. Г. Почвенная микробиология. - М.: Мир, 1988. - С. 53.
11. Мишустин Е.Н., Емцев В.Г. Микробиология. - М.: В.О. Агропромиздат, 1987.
12. Недугова Г.И., Рубцов И.В., Самойленко И.И. // Микроб., эпидемиол. и иммунобиол. - 1984. - № 2. - С. 47-51.
13. Архипов А.Н., Архипов Н.П., Городецкий Д.В., Мешалкин Г.С. Развитие радиоэкологической ситуации на сельхозугодиях 30-км зоны Чернобыльской АЭС. - Чернобыль, 1994. - 43 с.

Украинский научный гигиенический центр Министерства здравоохранения Украины, Киев
Поступила 15.03.95

УДК 616-001.28-06:616.8/-07

А. И. Нягу, И. Г. Халявка, К. Н. Логановский,
Ю. И. Плачинда, К. Л. Юрьев, Т. К. Логановская
**ПСИХОНЕВРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИЦ,
ПЕРЕНЕСШИХ ОСТРУЮ ЛУЧЕВУЮ БОЛЕЗНЬ**

У 110 пострадавших при аварии на ЧАЭС, перенесших острую лучевую болезнь (ОЛБ), на протяжении 8 лет прослежено увеличение встречаемости цереброваскулярной патологии, остеохондроза позвоночника, а также формирование патологического психоорганического развития личности и эндоформного психоорганического процесса, частота встречаемости которых пропорциональна степени тяжести ОЛБ. Регистрация спонтанной и вызванной активности головного мозга подтвердила наличие в отдаленном периоде ОЛБ органического поражения центральной нервной системы (ЦНС) дисциркуляторного и токсико-метаболического характера, вследствие радиационного воздействия. Для ранней и дифференциальной диагностики психоневрологических расстройств у лиц, перенесших ОЛБ, необходимым является проведение углубленных нейро- и психофизиологических исследований с компьютерной томографией, ядерным магнитным резонансом и позитронной эмиссионной томографией головного мозга.

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Несмотря на способность к функциональным реакциям: при малых дозах облучения, нервная система традиционно считается радиорезистентной. Приводятся данные о том, что лучевые реакции при дозе общего облучения менее 1 Гр, как правило, не сопровождаются неврологическими проявлениями, при дозах 1-4 Гр выявляются нарушения нервно-висцеральной регуляции и общая астенизация [3, 16].

Ретроспективный анализ кариологических данных у лиц, подвергшихся воздействию общего равномерного γ - и β -излучения в результате аварии на ЧАЭС, показал, что доза общего облучения 0,7 Гр может быть расценена как минимальная для развития острой лучевой болезни (ОЛБ) I степени тяжести [11]. У пострадавших в результате аварии на ЧАЭС при ОЛБ

I степени тяжести (0,8 - 2, 1 Гр) наблюдалась вегето-сосудистая дистония (ВСД) и невротические расстройства, а. при ОЛБ II степени тяжести (2,0-4,0 Гр) - ВСД [15]. При общем облучении в дозах 2 Гр и более выявлены признаки микродеструкции ткани мозга по нейроиммунологическим тестам [11].

Облучение дозой 4-6 Гр вызывает общемозговые оболочечные симптомы, вегетативные расстройства, рассеянные церебральные микросимптомы, координаторные нарушения, увеличивающиеся с ростом дозы [3, 16]. В этих случаях при ОЛБ III степени тяжести (4,2-6,3 Гр) у пострадавших в результате аварии на ЧАЭС прослежены острая радиационная и радиационно-токсическая энцефалопатия, острый психоз со зрительными и слуховыми галлюцинациями, отек головного мозга. При ОЛБ IV степени тяжести (6,0-16,0 Гр) наблюдались острая радиационная и радиационно-токсическая энцефалопатия, субарахноидально-паренхиматозное кровоизлияние, выраженные отек и набухание мозга [15].

Первичная реакция на облучение характеризуется типичным дисфорическим синдромом или его маниакальным вариантом (последний наиболее часто наблюдается на II стадии - мнимого благополучия) - состояние эйфорического возбуждения, которое издавна известно как "рентгеновское похмелье". На III стадии (выраженных симптомов болезни) выявляются слабость, вялость, апатия, быстрая утомляемость, страхи, резкие головные боли, бессонница, тошнота, рвота, пароксизмальные расстройства сознания, психосенсорные расстройства. В тяжелых и крайне тяжелых случаях вслед за коротким периодом

© А. И. Нягу, И. Г. Халявка, К. Н. Логановский, Ю. И. Плачинда, К. Л. Юрьев, Т. К. Логановская, 1996

175

мнимого благополучия наряду с резким соматическим ухудшением быстро нарастают симптомы слабости и апатии, за которыми развиваются состояния оглушенности и различные по интенсивности делирии, сопор и кома. На IV стадии заболевания при относительно легкой степени поражения наблюдается соматогенная астения, тогда как при тяжелой - амнестический синдром, грубые психосенсорные расстройства, полиневриты. В качестве отдаленных последствий ОЛБ описаны своеобразные формы энцефалопатии с выраженным акцентом поражения в гипоталамо-гипофизарной области. Наряду с общими для любой энцефалопатии признаков, при этой форме наблюдаются относительно стойкая астения, транзиторные приступы катаплексии, дисфории и вегетативных нарушений, недостаточность адаптационных способностей (непереносимость жары, холода, колебаний атмосферного давления и т.д.) [4, 12, 19, 25].

В Японии после атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки у 7,3% перенесших ОЛБ выявлялись психические расстройства, которые были обусловлены как психогениями, так и экзогенно-органическим влиянием ионизирующего излучения [20, 24]. Проведенные в отдаленном периоде эпидемиологические психиатрические работы показали, что среди лиц, выживших после атомных бомбардировок, распространенность тяжелых психических расстройств более чем в 6 раз превышает популяционные показатели [23].

К ранним (недели - месяцы) последствиям ОЛБ относят транзиторные миело- или энцефалопатии, обнаруживающие сходство с симптоматикой рассеянного склероза, ВСД и общую астенизацию [11, 13].

Среди отсроченных (месяцы и годы) последствий ОЛБ выявляются негрубые интеллектуально-мнестические нарушения, гипоталамо-гипофизарная дисфункция, реже - прогрессирующая миелопатия, некроз мозга [3, 16]. Вследствие ОЛБ при дозах 3-5 Гр описан радиационный демиелинизирующий энцефаломиелез [10].

В отдаленном периоде ОЛБ выделены астено-вегетативный, диэнцефальный, астено-дистрофический синдромы, а также органическое поражение нервной системы (радиационная, дисциркуляторная или смешанная энцефалопатия) [16]. Психологические исследования пострадавших в результате аварии на ЧАЭС, перенесших ОЛБ I-III степеней тяжести, в отдаленном периоде свидетельствуют о выраженной истощаемости, снижении

умственной работоспособности, тревоге, депрессии, а также специфических изменениях в семантической структуре личности [1].

Динамическое шестилетнее наблюдение за пострадавшими при аварии на ЧАЭС, перенесшими ОЛБ, показало трансформацию ВСД и соматогенной астении в проявлении дисциркуляторной энцефалопатии с преобладанием церебрастенической симптоматики. При психиатрическом обследовании в 1992-93 гг. у 70% этих больных установлено органическое поражение ЦНС смешанного (радиационного и сосудистого) генеза. Делается вывод о значениях профессионального статуса пострадавших в эффективности социальной реадaptации [17].

Вместе с тем, в доступной литературе до сих пор не опубликованы данные об интегральной характеристике психоневрологической сферы лиц, перенесших ОЛБ, с учетом важнейших биологических систем организма, а также функциональном состоянии головного мозга в процессе восприятия и обработки сенсорной информации.

Поэтому целью настоящей работы явилось изучение психоневрологической сферы лиц, перенесших ОЛБ, на основании динамического наблюдения. В задачи исследования входили: 1) клиническая и патопсихологическая характеристика; 2) нейро- и психофизиологическая оценка функционального состояния

176

нервной системы в покое и в процессе восприятия и обработки сенсорной информации; 3) интегральная оценка состояния здоровья лиц, перенесших ОЛБ, с помощью многомерного математического анализа.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основную группу вошли 110 лиц, у которых в 1986 г. был установлен диагноз ОЛБ. Из них 105 (95%) мужчин. Возраст обследованных на момент облучения находился в интервале от 20 до 75 лет при среднем возрасте $37,0 \pm 1,05$ лет. Ретроспективный кариологический анализ позволил уточнить степень тяжести ОЛБ и показал, что типичная костно-мозговая форма ОЛБ была лишь у 73 обследованных. Это явилось основанием для выделения в структуре основной группы трех подгрупп: ОЛБ-0 - 37 пациентов, у которых диагноз ОЛБ не нашел подтверждения (средняя доза общего относительно равномерного γ - и β -облучения $22,0 \pm 5,0$ сГр); ОЛБ-1 - 38 пациентов, перенесших ОЛБ I степени тяжести ($107,0 \pm 12,0$ сГр); ОЛБ-2 - 35 пациентов, перенесшие ОЛБ II и III степеней тяжести ($269,0 \pm 20,0$ сГр).

Изучены ранние последствия ОЛБ в 1987 г. и отсроченные в 1990 и 1993 гг. Анализировались 95 показателей: диагнозы; клинические психоневрологические и офтальмологические проявления; результаты электроэнцефалографического (ЭЭГ) и реоэнцефалографического (РЕГ) исследований, аудио- и вестибулометрии, патопсихологического тестирования; показатели физической работоспособности; форменные элементы крови; показатели, характеризующие иммунную систему, липидный обмен, перекисное окисление липидов; концентрация ферментов и гормонов в сыворотке крови; состояние микрофлоры кишечника; результаты ультразвукового исследования (УЗИ) внутренних органов и щитовидной железы.

Учитывая высокую информативность и дифференциально-диагностическую значимость регистрации вызванных потенциалов головного мозга в изучении психоневрологических расстройств после облучения [7, 8, 14], 16 обследованным основной группы было осуществлено углубленное нейро- и психофизиологическое обследование. Проведено картирование результатов спектрального анализа ЭЭГ, регистрация сомато-сенсорных вызванных потенциалов (ССВП) и слуховых вызванных потенциалов мозгового ствола (СВПМС), патопсихологическое тестирование по MMPI.

Электрическая активность мозга отводилась монополярно референтными электродами на мочках ушей. Скальповые электроды располагались по международной схеме "10-20". Использовали 19-канальный анализатор биопотенциалов мозга "Brain Surveyor", SAICO, Италия.

После записи фоновой ЭЭГ регистрировали церебральные ССВП на 40 болевых электрокожных стимулов в проекции правого срединного нерва в нижней трети предплечья. Оценивали величины амплитуды и латентных периодов основных компонентов ССВП и их топографическое распределение. Исследование коротко- и длиннolatентных ССВП с их топографическим картированием позволяет охарактеризовать процессы восприятия и обработки сомато-сенсорной афферентации на всем протяжении от периферии до коры головного мозга [6, 22].

Регистрация СВПМС проводилась на аппарате "Multibasis" производства фирмы OTE Biomedica (Италия). В каждой записи измерялись латентные периоды (ЛП) пяти основных компонентов СВПМС, межпиковые интервалы (МПИ): I-III, I-V, III-V, амплитуда основных

177

компонентов СВПМС. Проводился качественный анализ СВПМС: учитывались форма и выраженность пяти основных компонентов СВПМС, степень их асимметрии. Регистрами СВПМС является одним из наиболее эффективных методов оценки функционального состояния стволовых структур и диагностики характера и уровня стволовых поражений [6].

Контролем служили 25 практически здоровых лиц (группа А), 30 ветеранов военных конфликтов с посттравматическими стрессовыми расстройствами (группа В), 50 ветеранов военных конфликтов с посттравматическими стрессовыми расстройствами и последствиями закрытой черепно-мозговой травмы (группа С) и 25 больных с цереброваскулярной патологией (группа D).

Вариационный, корреляционный и непараметрический (по критерию χ -квадрат) анализ проведен в электронных таблицах Excel 4.0 в среде Microsoft Windows.

Многомерный математический анализ ставил своей задачей создание математической модели для интегральной оценки здоровья лиц, перенесших ОЛБ. Модель строили методом максимального правдоподобия [2, 9].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Клиническая характеристика

Клиническое динамическое наблюдение показало, что пациенты основной группы на всем протяжении последствий ОЛБ предъявляли множество жалоб. К числу основных жалоб относились: слабость, повышенная утомляемость, безынициативность, головные боли, преимущественно разлитые или лобно-височной локализации, диффузные неприятные сомато-сенсорные ощущения, которые с трудом описывались больными, метеочувствительность, головокружения, шаткость при ходьбе, снижение работоспособности и памяти на текущие события, колебания настроения с преобладанием угнетенности и подавленности, раздражительность, тревожность, потливость, снижение либидо и потенции, нарушения сна в виде сонливости днем и бессонницы ночью, нарушения зрения. Зависимости характера и выраженности субъективных симптомов от степени тяжести ОЛБ не было выявлено, однако прослежено отчетливое увеличение жалоб на снижение памяти, "апатию и адинамию", нарушения зрения, угнетенность и слабость в отдаленном периоде ОЛБ (1990-1993 гг.).

Результаты клинического неврологического, психиатрического и офтальмологического обследований представлены в табл. 1. Как видно из этой таблицы, у лиц, перенесших ОЛБ, отмечается прогрессивность психоневрологических, отоневрологических и офтальмологических расстройств. Особое клиническое значение имеет нарастание симптоматики, отражающей стволочный уровень поражения: слабость конвергенции, нистагм, кохлео-вестибулярные нарушения по центральному типу.

Прослежено увеличение "ажурных" микросимптомов пирамидно-экстрапирамидной недостаточности в виде оживления и/или снижения периостальных, сухожильных и кожных рефлексов, анизорефлексии, патологических рефлексов Штрюмгеля и Россолимо, изредка - Бакинского, Нойка-Ганева, Маринеску-Радовичи, нерезкого снижения мышечной силы, изменений мышечного тонуса, негрубых скованности, брадикинезии, гипомимии.

Наблюдается также усугубление периферических двигательных и сенсорных нарушений и стато-координаторных расстройств.

178

Таблица 1. Динамика клинических проявлений психоневрологических и офтальмологических расстройств у лиц, перенесших острую лучевую болезнь

Симптомы	1987, n=110		1990, n=110		1993, n=110	
		%		%		%
Слабость конвергенции	7	6,4	38	34,5	48	43,6
Нистагм	4	3,6	9	8,18	17	15,5
Снижение слуха	2	1,8	9	8	23	21
Вестибулопатия	4	3,6	19	17	44	40
Пирамидные нарушения	8	7,3	18	16,4	32	29,1
Экстрапирамидные нарушения	7	6,4	10	9,09	18	16,4
Нарушения периферического отдела нервной системы	26	24	38	34,5	49	44,5
Чувствительные расстройства	25	23	35	31,8	65	59,1
Нарушения координации	10	9,1	16	14,5	52	47,3
Вегетативные расстройства	105	95	108	98,2	108	98,2
Нарушения восприятия	30	27	62	56,4	79	71,8
Нарушения внимания	26	24	68	61,8	83	75,5
Нарушения памяти	22	20	63	57,3	80	72,7
Нарушения мышления	4	3,6	14	12,7	50	45,5
Нарушения эмоционально-волевой сферы	98	89	106	96,4	106	96,4
Снижение интеллекта	0	0	2	1,82	22	20
Снижение умственной работоспособности	25	23	63	57,3	79	70,9
Патология глазного дна	17	15	48	44	70	64
Изменения хрусталика	18	16	44	40	58	53
Снижение остроты зрения	13	12	34	31	46	42

Клиническое исследование вегетативного статуса показало относительно стабильную в течение всех лет наблюдения высокую частоту встречаемости вегетативных нарушений. Выявленные клинические признаки отражали изменения вегетативной регуляции тонуса сосудов и сердечной деятельности, терморегуляции и потоотделения, проявления периферической вегетативной недостаточности, а также адаптационно-трофические нарушения. Отмечено, что ВСД протекала только в виде перманентной или перманентно-пароксизмальной форм. Пароксизмальные состояния на фоне перманентного течения синдрома ВСД прослежены у 62 % пациентов. Кризы в выделенных группах наблюдались с частотой от 1 раза в месяц до 2-3 раз в неделю и носили преимущественно вагоинсулярный или смешанный (симпато-вагоинсулярный) характер.

"Классические" нарушения чувствительной сферы, укладывающиеся в традиционные нейроанатомические схемы, у пациентов основной группы встречались относительно редко в структуре полинейропатических и корешковых расстройств, и изредка - лемнисковых вариантов чувствительных нарушений. В то же время, при тщательном клиническом исследовании чувствительности у всех обследованных выявлялись признаки так называемых "функциональных" чувствительных расстройств.

Аспонтанные сенсорные феномены проявлялись гипестезией и гиперестезией. Обнаруженные симптомы сенсорных нарушений преимущественно наблюдались в структуре расстройств поверхностной (тактильной, болевой и температурной) чувствительности, которые преобладали ($p < 0,05$) над патологией глубокой и сложной чувствительности.

179

Отмечено чередование зон гип- и гиперестезии в виде пятен различной формы и локализации. Как правило, они имели двустороннее относительно равномерное расположение при сгущении участков сенсорных нарушений в области конечностей (дистальных отделах), лица и шеи. Эти сенсорные нарушения были классифицированы как пятнисто-мозаичные расстройства. Также наблюдали необычные гемитипы, тотальные изменения всех типов чувствительности, расстройства в виде лент, геометрических фигур, точек и проч. Все они были объединены понятием "необычных" сенсорных феноменов. Описанные расстройства чувствительной сферы соответствуют так называемым экстралемнисковым расстройствам и отражают стволово-диэнцефальный уровень нарушений.

Таким образом, у лиц, перенесших ОЛБ, отмечена рассеянная микроочаговая неврологическая симптоматика, преимущественно стволово-диэнцефальной локализации. Прослежена тенденция к трансформации нейрофункциональных нарушений в более стойкие структурно-функциональные в отдаленном периоде ОЛБ.

Расстройства сферы восприятия характеризовались преобладанием спонтанных сенсорных феноменов в виде более различной локализации, парестезий. В ряде случаев детализация патологических сенсорных феноменов позволила установить, что это не просто боли, а гораздо более тягостные, мучительные и извращенные ощущения. Эти ощущения нередко вызывали гиперболическую трактовку, сопровождалась выраженной эмоциональной реакцией и существенной вовлеченностью мыслительного процесса вплоть до образования навязчивых и сверхценных идей. Описанные расстройства были квалифицированы как сенестопатии. Нередко наблюдались пароксизмальные психосенсорные расстройства в виде метаморфозий и аутометаморфозий.

Для расстройств памяти было типично снижение запоминания, хранения и воспроизведения новой информации (дисмнезия), хотя прослеживалось также выпадение давно приобретенных знаний и повседневных навыков. Выявлялось снижение устойчивости, переключаемости и концентрации внимания.

Когнитивные нарушения проявлялись в форме подозрительной или параноидной мышления и (или) чрезмерной озабоченности обособленной, часто абстрактной, темой (религия, "справедливость" и "несправедливость"), а также ипохондрических образований нередко сверхценного характера. Обнаруживались изменения темпа и течения речевой продукции в виде обстоятельности и вязкости.

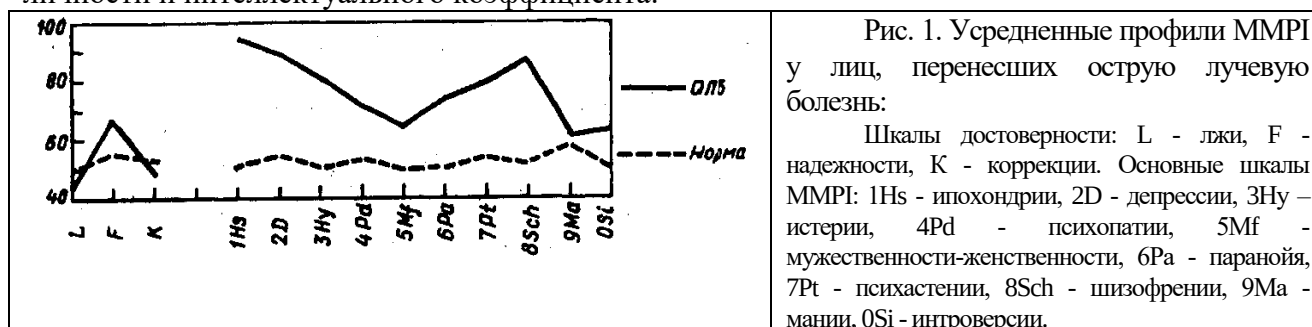
Кроме того, выявлялись снижение способности к упорству и настойчивости в целенаправленной деятельности, особенно требующей длительного периода времени и предполагающей отсроченное вознаграждение, бедный контакт с другими с тенденцией к социальной отгороженности, нарушения эмоционального поведения, характеризующиеся апатией и гипобулией.

Описанные психопатологические проявления у лиц, перенесших ОЛБ, усугубились в отдаленном периоде. В то же время расстройства эмоционально-волевой сферы в виде дисфории, тревожной напряженности, аффективной лабильности, встречавшиеся практически у всех обследованных лиц основной группы, существенной динамики не выявили.

Клинические находки подтверждались результатами патопсихологического исследования. Так, по результатам тестирования по ММРІ (рис. 1) у лиц, перенесших ОЛБ, имел место "плавающий" патологический профиль с одновременным подъемом по невротическим и психотическим шкалам. Этот профиль отражал выраженные психические

180

расстройства с признаками дезинтеграции интеллектуальной и эмоциональной сфер. Выявлены значительные повышения показателей шкал ипохондрии, паранойи, шизофрении, эпилепсии и причудливости сенсорного восприятия при снижении значений шкал силы "ядра" личности и интеллектуального коэффициента.



Таким образом, в основной группе прослежено формирование эндоформного психоорганического синдрома с доминированием сенесто- и паранойяльно-ипохондрической симптоматики в сочетании с апато-абулическими расстройствами.

Изучение особенностей течения психоневрологических расстройств проведено на основании клинко-катамнестического (до 8 лет) исследования (табл. 2). В периоде ранних последствий ОЛБ у всех обследованных отмечались индивидуальные реакции в пределах резервов личности. При этом в 86 % случаев диагностировались варианты астенического синдрома с выраженными вегетативными нарушениями. У части пациентов на этом этапе отмечалась дисфоричность, проявления демонстративности, эгоцентричности, рентные установки, в некоторых случаях - ажитированность и эксплозивность.

Таблица 2. Динамика встречаемости психоневрологических расстройств у лиц, перенесших острую лучевую болезнь

Код МКБ-9	Диагноз	1987, % n=110	1990, % n=110	1993, % n=110
-	Здоровы	2	2	-
300.5	Неврастения (астено-невротический синдром)	80	64	40
300.7	Ипохондрический невроз	2	6	3
300.92	Неврозоподобные состояния	3	15	6
301.9	Психопатоподобные состояния	-	4	6
306.2	Нейроциркуляторная астения (НЦД)	65	16	5
310.11	Органическое поражение ЦНС	-	23	56
311.1	Астено-депрессивный синдром	6	14	14
337.9	Вегетативная дистония	78	63	56
357	Полинейропатия	19	14	16
384	Вестибулярная дисфункция	4	15	31
383.5	Кохлеарный неврит	1	6	10
401.9	Гипертоническая болезнь	4	9	14
437.0	Цереброваскулярные болезни (дисциркуляторная энцефалопатия, церебральный атеросклероз, хроническая недостаточность мозгового кровообращения)	14	39	65
7318	Остеохондроз позвоночника	15	25	34

К 1990-91 гг. у 64% обследованных пациентов в клинической картине преобладали признаки церебрастенического синдрома и неврозоподобных состояний. На этом этапе

впервые диагностируется органическое поражение ЦНС, при котором на фоне сенесто- и/или паранойяльно-ипохондрических проявлениях наблюдалось умеренное интеллектуально-мнестическое снижение с признаками эндоформности некоторых симптомов (снижение психической активности по типу апатических явлений, элементы аутистического поведения, непоследовательность в мышлении, неадекватные эмоциональные реакции). Манифестировали также психопатоподобные состояния (апатического, параноидного и эксплозивного типов) и соматические заболевания. Психопатологическая симптоматика усложнялась: болезненные ощущения приобретали более мучительный, мигрирующий характер. Больные испытывали затруднения в описании этих ощущений. Ипохондрия проявлялась в форме навязчивых, доминирующих и сверхценных идей. Наблюдались субдепрессия и депрессия, тревожная напряженность, снижение волевых побуждений, аутизм.

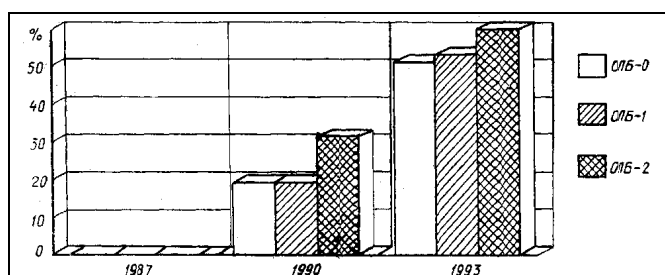


Рис. 2. Динамика органического поражения центральной нервной системы у лиц, перенесших острую лучевую болезнь.

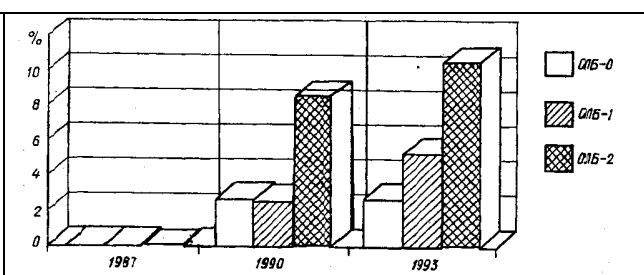


Рис. 3. Динамика психопатоподобных состояний у лиц, перенесших острую лучевую болезнь.

Спустя 7 - 8 лет после ОЛБ отмечалось утяжеление психического состояния. У 56% обследованных было диагностировано органическое поражение ЦНС, частота встречаемости которого, так же как и психопатоподобных расстройств, зависела от степени тяжести ОЛБ (рис. 2, 3). Сенестопатии усложнялись, дополнялись психосенсорными расстройствами.

182

Указанные симптомы во многом обусловили нарастающее снижение волевых побуждений, аутизацию, психосоциальную дезадаптацию в результате апатоабулических расстройств. У 20% психические изменения приобрели характер выраженного психоорганического синдрома - неспецифической органической деменции,

Таким образом, у лиц, перенесших ОЛБ в периоде отдаленных последствий психопатологическая симптоматика может быть классифицирована как психоорганическое патологическое развитие личности и органический эндоформный процесс с формированием дефекта психической деятельности преимущественно по типу неспецифической деменции.

Прослежено увеличение встречаемости цереброваскулярной патологии, а также клинических проявлений остеохондроза позвоночника при значительном уменьшении вегето-сосудистой и нейроциркуляторной дистонии, что может свидетельствовать о трансформации функциональных нарушений в органические.

Нейро- и психофизиологическая характеристике

Нарушения церебральной гемодинамики находили подтверждение в ухудшении РЭГ-показателей. Так, если в периоде ранних последствий ОЛБ признаки снижения кровенаполнения головного мозга обнаруживались лишь у 4% обследованных, изменения тонуса церебральных сосудов - у 16%, а нарушения эластичности сосудистой стенки практически не встречалось, то к 1993-1994 гг. изменения кровенаполнения мозга регистрировались в 44% случаев, нарушения тонуса сосудов - в 60%, а изменения эластичности сосудов - в 26%.

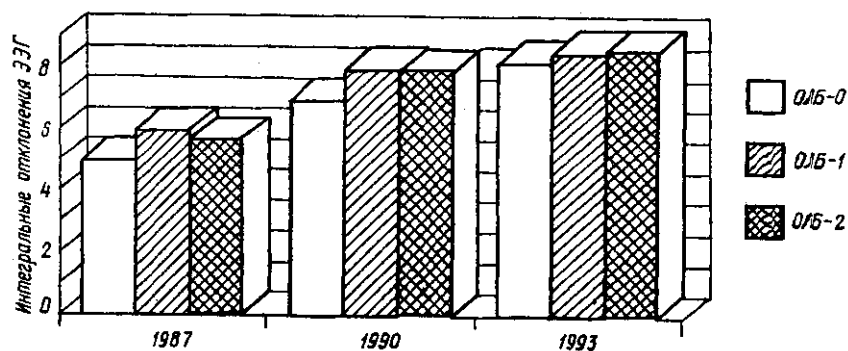


Рис. 4. Динамика нарушений электрической активности головного мозга у лиц, перенесших острую лучевую болезнь.

Прогрессиентность органической патологии головного мозга подтверждалась результатами исследования биоэлектрической активности головного мозга, которая значимо ($p < 0,05$) ухудшалась с течением времени, прошедшего после ОЛБ (рис. 4). Прослежено преобладание ЭЭГ с наличием пароксизмальной активности в виде билатеральных разрядов α -подобных, медленных, острых и полиритмичных волн с левосторонней лобно-височной локализацией проекции на скальп источника этой активности. Также наблюдали множественные и единичные пики, комплексы "пик" и "полипик-волна" без четкой локализации очага в сочетании с межполушарной асимметрией.

Выявлены характерные ЭЭГ-синдромы [5] для лиц, перенесших ОЛБ.

1. Плоский полиморфный тип ЭЭГ с преобладанием спектральной мощности Δ -диапазона в лобных отделах с латерализацией в левое, доминирующее,

183

полушарие в сочетании с наличием β_1 -диапазона и пароксизмальной активности на фоке низкоамплитудной ("плоской") ЭЭГ обнаружен у 47% пациентов основной группы, что отражало нарушения функционального состояния головного мозга органического (сосудистого и/или токсико-метаболического) характера.

183

2. Гиперсинхронный (моноритмичный) тип ЭЭГ с высоким индексом регулярной α -, β - или θ -активности при потере их зональных различий и латерализации билатеральной пароксизмальной активности в правое полушарие, встречался у 22 % обследованных. Данный тип ЭЭГ можно расценивать как легкие или умеренные регуляторные изменения функционального состояния головного мозга с признаками ирритации диэнцефальных структур.

3. Дезорганизованный тип ЭЭГ с преобладанием α -активности с дезорганизованной высокоамплитудной α -активностью, доминирующей во всех отделах мозга, усиленной по амплитуде β_1 -активностью, диффузной θ - и δ -активностью, имеющей достаточно высокую амплитуду в сочетании с билатеральной пароксизмальной активностью, встречался у 18 % больных. Данный тип ЭЭГ соответствует значительным нарушениям функционального состояния головного мозга, что связывают с раздражением специфических и ассоциативных ядер таламуса, угнетением ретикулярной формации ствола мозга и заднего гипоталамуса.

У 13% обследованных выявлен организованный паттерн ЭЭГ, отражающий сохранную нейродинамику мозга.

В основной группе по сравнению с контрольной группой А выявлено снижение амплитуд всех основных компонентов СВПМС ($p < 0,05$ для III компонента; $p > 0,05$ для компонентов I, II, IV, V); увеличение абсолютных значений латентных периодов всех пяти основных компонентов СВПМС ($p < 0,01$); удлинение МПИ I-III ($p < 0,05$), МПИ I-V ($p < 0,05$), МПИ III-V ($p > 0,05$).

В группе лиц, перенесших ОЛБ, регистрировались, как правило, все основные компоненты СВПМС. Двустороннее отсутствие IV компонента выявлено у двух пациентов основной группы. Сглаженность (снижение амплитуды) I компонента выявлено у 10 (63 %) пациентов основной группы; II, III и IV компонента - у 11 (69 %); V компонента - у 12 (75 %) пациентов. Нарушение нормального соотношения амплитуд V и I компонентов выявлено у 3 (19 %) лиц, перенесших ОЛБ.

В основной группе выявлено значительное (превышающее 2 стандартных отклонения по данным исследования в контрольной группе) удлинение ЛП II компонента у 4 (25 %) пациентов; ЛП III компонента - у 1 (6 %); ЛП IV компонента - у 2 (14 %); ЛП V компонента - у 2 (13 %); МПИ I-III - у 2 (12 %). У одного пациента выявлено резкое (превышающее 4 стандартных отклонения) увеличение МПИ III-V. Увеличение ЛП I компонента в сочетании с укорочением МПИ I-V выявлено у 7 (44 %) лиц, перенесших ОЛБ, что свидетельствует о патологии периферического отдела слухового анализатора.

Таким образом, исследование СВПМС у лиц, перенесших ОЛБ, позволило выявить патологические изменения периферического отдела слухового анализатора (на уровне улитки и дистальных отделов слухового нерва) и нарушения функционального состояния ствола головного мозга, что может быть обусловлено как патологией специфических слуховых проводников, так и нарушением функционального состояния неспецифических структур ствола (ретикулярной формации).

Амплитудно-временные параметры ССВП и характер их топографического распределения по скальпу у обследованных основной группы существенно отличались от таковых у пациентов контрольных групп. Установлено, что у лиц, перенесших ОЛБ,

184

величины латентных периодов основных компонентов ССВП были большими, чем в контроле. Эти различия были достоверны для ранних компонентов N_{20} и P_{25} в проекционной области, а для среднего N_{140} и поздних P_{300} и N_{400} - как в проекционной, так и в ассоциативных областях обоих полушарий. Выявленные особенности свидетельствуют о замедлении процессов восприятия и обработки сомато-сенсорной информации у облученных на всех уровнях сомато-сенсорной афферентной системы с преобладанием нарушений на корково-подкорковом уровне.

Величины амплитуд ранних (N_{20} и P_{25}) и поздних (P_{300} и N_{400}) компонентов ССВП у пациентов основной группы были меньшими, чем в контроле. Однако различия оказались достоверными лишь в проекционной области. Кроме того, в основной группе выявлена тенденция к увеличению ($p > 0,05$), по сравнению с контрольными группами А, В и С, амплитуды среднего компонента N_{140} , что связывают с изменениями функционального состояния стрио-паллидарной системы. Найденные нейрофизиологические проявления отражают у лиц, перенесших ОЛБ, снижение активности специфического отдела афферентных систем при патологической активации неспецифического.

С помощью топографического Картирования ССВП были выявлены специфические проявления сомато-сенсорной афферентации у облученных. Установлено, что в этой группе максимальные значения амплитуды и минимальные - латентных периодов наблюдались не в проекционной (C_3) области, как в норме, но в ассоциативных зонах - лобных отделах и в области над постцентральной извилиной, ипсилатеральной стороне стимуляции. Изменения топографического распределения амплитудно-временных параметров ССВП статистически достоверными оказались для ранних (N_{20} и P_{25}) и поздних (P_{300} и N_{400}) компонентов.

Описание найденной в группе лиц, перенесших ОЛБ, топографии ССВП не публиковалось в доступной литературе. Представляется возможным считать их характерными для последствий облучения. Правомочно предположить, что выявленные топографические особенности ССВП у пациентов основной группы отражают преобладание обработки сомато-сенсорной информации неспецифической (экстралемнисковой) системой при угнетении специфического (лемнискового) отдела сомато-сенсорной афферентной системы.

На основании многомерного математического анализа были отобраны пять наиболее информативных показателей, отражающих изменения информационных процессов мозга у лиц, перенесших ОЛБ:

X_1 - значение шкалы ипохондрии (1 Hs) MMPI в стандартизованных единицах T ;

X_2 - интегральный показатель ЭЭГ-отклонений по Е.А. Жирмунской [5] в усл. ед.;

X_3 - спектральная мощность δ -диапазона (0,5-4,0 Гц) в центральном отведении левого, доминирующего, полушария (C_3) в % относительно суммарной спектральной мощности всех диапазонов ЭЭГ в данном отведении;

X_4 - отношение величины латентного периода раннего компонента N_{20} ССВП в проекционной области (C_3) к среднему значению величин латентных периодов в ассоциативных областях (C_4 , F_3 и F_4), для удобства расчетов умноженное на 100;

X_5 - отношение величины амплитуды (мкВ) позднего компонента P_{300} ССВП в проекционной области (C_3) к напряжению тока стимуляции (B), для удобства расчетов умноженное на 100.

185

На основании этих информативных признаков методом дискриминантного анализа было произведено дискриминантное разделение признаков пространств. Критерием разделения областей служил интеграл вероятности. В результате был сформулирован интегральный психофизиологический показатель, который рассчитывался по формуле:

$$\text{ИП} = 0,95X_1 + 7,38X_2 + 0,55X_3 + 2,25X_4 - 1,2X_5 - 196, \quad (1)$$

где kX_1-kX_5 - описанные выше информативные признаки с учетом их информационного веса в характеристике радиационных изменений информационных процессов мозга.

ИП сформирован таким образом, что, чем больше его значения, тем степень нарушений процессов обработки сенсорной информации в ЦНС выше. На рис. 5 представлено графическое изображение средних значений интегрального показателя психофизиологических отклонений для обследованных основной и контрольной групп. Как видно из этого рисунка, выраженность психофизиологических нарушений наибольшая у лиц, перенесших ОЛБ. Корреляционный анализ показал наличие достоверной ($p < 0,01$) умеренно выраженной связи степени психофизиологических отклонений с суммарной дозой облучения ($r = 0,40$).

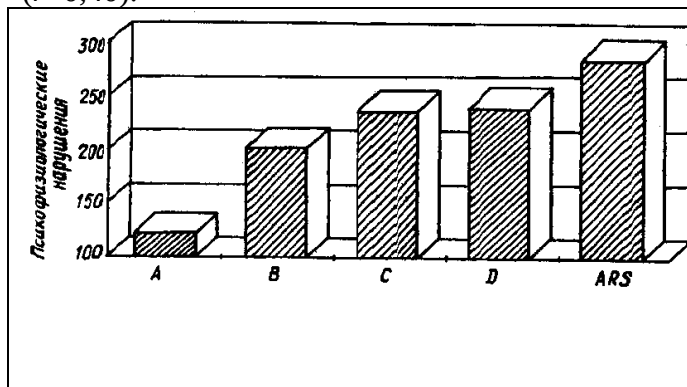


Рис. 5 Интегральный показатель психофизиологических отклонений у лиц, перенесших острую лучевую болезнь, и в контрольных группах: А - здоровые ($n=25$); В - ветераны военных конфликтов с посттравматическими стрессовыми расстройствами ($n=30$); С - ветераны военных конфликтов с посттравматическими стрессовыми расстройствами и последствиями закрытой черепно-мозговой травмы ($n=50$); D - больные с цереброваскулярной патологией ($n=25$); ARS - лица, перенесшие острую лучевую болезнь ($n=16$).

158

Сравнительный многомерный анализ состояния здоровья лиц, перенесших ОЛБ

На I этапе исследовались различия как между основной и контрольными группами, так и внутри основной группы по комплексу показателей, характеризующих различные системы организма человека: иммунную систему (CD-3, CD-4 коэффициент хелперов и супрессоров IgA, IgB, IgM), ЦНС (интегральный показатель ЭЭГ-отклонений по Е.А. Жирмунской, нарушения памяти), липидный обмен (концентрация холестерина в сыворотке крови), перекисное окисление липидов и концентрация ферментов в сыворотке крови (глутатион-редуктаза, глутатион восстановленный, церулоплазмин, аспартатаминотрансфераза), С-реактивный белок, состояние микрофлоры кишечника (дисбактериоз), УЗИ щитовидной железы. Эти 16 показателей в определенной мере отражали

состояние жизненно важных систем организма и могли служить критерием оценки общего состояния здоровья лиц, перенесших ОЛБ.

186

На данном этапе методом дискриминантного анализа сравнивались внутригрупповые различия по годам наблюдения. Эти различия в 1987 г. представлены в табл. 3, из которой видно, что подгруппа, ОЛБ-0 достоверно отличается от ОЛБ-1 и ОЛБ-2, но последние между собой не различаются. Отсюда следует, что в 1987 г. среди лиц, перенесших ОЛБ, существовали различия в состоянии здоровья, связанные с дозами облучения.

Таблица 3. Интегральная оценка состояния здоровья в 1987 г. в зависимости от степени тяжести острой лучевой болезни

Подгруппа	Оценка состояния здоровья по величине диагностического радиуса	Сравниваемые подгруппы	Степень различий по интегралу вероятности	Граница различий
ОЛБ-0	125±14	ОЛБ-0/ОЛБ-1	0,92	138
ОЛБ-1	157±20	ОЛБ-0/ОЛБ-2	1,13	141
ОЛБ-2	168±24	ОЛБ-1/ОЛБ-2	0,26	162

Однако обследование 1990 г. обнаружило, что эти различия через 5 лет нивелировались (табл. 4). Результаты анализа свидетельствуют об отсутствии внутригрупповых различий - по состоянию здоровья все одинаковы. Обследование 1993 г. также показало, что внутригрупповых различий за 3 года не произошло. Базируясь на полученных данных, мы в дальнейшем не пользовались внутригрупповым разделением по дозам и рассматривали всю группу в целом по годам наблюдения.

Таблица 4. Интегральная оценка состояния здоровья в 1990 г. в зависимости от степени тяжести острой лучевой болезни

Подгруппа	Оценка состояния здоровья по величине диагностического радиуса	Сравниваемые подгруппы	Степень различий по интегралу вероятности	Граница различий
ОЛБ-0	114±19	ОЛБ-0/ОЛБ-1	0,35	120
ОЛБ-1	127±20	ОЛБ-0/ОЛБ-2	0,74	128
ОЛБ-2	140±16	ОЛБ-1/ОЛБ-2	0,326	134

На втором этапе для многомерного анализа были сформированы 5 групп пациентов:

Группа А - 25 человек с отличным состоянием всех систем жизнеобеспечения (возрастная норма).

Группа ОЛБ 87 - 110 лиц, у которых в 1986 г. был установлен диагноз ОЛБ, где у 37 пациентов диагноз ОЛБ в дальнейшем не нашел подтверждения (подгруппа ОЛБ-0); 38 пациентов, перенесших ОЛБ I степени тяжести (подгруппа ОЛБ-1); 35 пациентов, перенесших ОЛБ II и III степени тяжести (подгруппа ОЛБ-2). Эта группа была обследована в 1987 г.

Группа ОЛБ 90 - те же 110 пациентов, обследованные в 1990 г.

Группа ОЛБ 93 - те же 110 пациентов, обследованные в 1993 г.

Гипотетическая группа из 15 человек, имеющая, возможно, наихудшие характеристики исследуемых показателей.

187

Дискриминантный анализ, произведенный по этим 5 группам одновременно, позволил интегрально оценить состояние здоровья, описываемое 16 показателями, и различия между группами.

Из табл. 5 видно, что все пациенты основной группы по состоянию здоровья были хуже своей возрастной нормы, причем в 1990 г., спустя 4-5 лет после перенесенной ОЛБ,

обнаруживали ухудшение показателей здоровья, несмотря на проводимые лечебные мероприятия. Последующие обследования в 1995 г. показали, что состояние здоровья как бы стабилизировалось. Различий между ОЛБ 90 и ОЛБ 93 по рассмотренным показателям не наблюдается.

Таблица 5. Динамика состояния здоровья лиц, перенесших острую лучевую болезнь, по результатам интегральной оценки в сравнении с контрольными группами

Номер п/п	Группа	Оценка состояния здоровья по величине диагностического радиуса	Сравниваемые подгруппы	Степень различий по интегралу вероятности	Граница различий
1	Группа А (норма)	125±16			
2	ОЛБ 87	162±26	1-2	0,89	138
3	ОЛБ 90	204±32	1-3	1,67	151
4	ОЛБ 93	199±32	1-4	1,56	149
5	Гипотетическая группа с патологией	409±18	1-5	8,36	257

На основании многомерного анализа установлено достоверное ухудшение здоровья на протяжении 5 лет после облучения. Через 8 лет после аварии на ЧАЭС состояние здоровья по данным показателям стабилизировалось. Внутригрупповое различие по дозовым нагрузкам через 5 лет после аварии нивелировалось - все лица находятся в одной генеральной совокупности и имеют одинаковое здоровье, оцененное по рассмотренным показателям.

Заключение

Неврологические последствия ОЛБ характеризуются прогрессирующей во времени микроорганической симптоматикой стволово-диэнцефального уровня с выраженными вегетативными нарушениями и сенсорными расстройствами преимущественно экстралемнискового типа. Прослежено увеличение встречаемости цереброваскулярной патологии, а также клинических проявлений остеохондроза позвоночника при значительном уменьшении вегетативной дистонии, что может свидетельствовать о трансформации функциональных нарушений в органические.

Нарушения психического здоровья в отдаленном периоде ОЛБ проявляются формированием патологического психоорганического развития личности по апатическому, параноидному и, реже, эксплозивному типам, а также эндоформным психоорганическим процессом, частота встречаемости которых пропорциональна степени тяжести ОЛБ.

Проведенные исследования показали недостаточную информативность общеклинических лабораторных исследований в оценке психоневрологических последствий ОЛБ, тогда как регистрация вызванных ответов мозга позволила выявить особенности процессов восприятия и обработки сенсорной информации вследствие радиационного воздействия. Выявлены нарушения неспецифических систем ствола головного мозга, патологическая активация неспецифических афферентных систем мозга при угнетении специализированных.

На основании психофизиологических показателей построена модель изменения функционального состояния головного мозга в результате воздействия ионизирующего излучения. Регистрация вызванной активности головного мозга подтверждает наличие в отдаленном периоде ОЛБ органического поражения ЦНС дисциркуляторного и токсикометаболического характера вследствие радиационного воздействия. Это не

противоречит литературным данным о наличии в отдаленном периоде ОЛБ циркуляция токсических веществ, изменении проницаемости клеточных мембран, гибели клеток, нейромедиаторных и аутоиммунных нарушений, изменений микроциркуляции, ускорении процессов старения организма [3, 4, 18, 19, 21, 25]. Ряд авторов отрицает возможность, когда бы то ни было, полного выздоровления после перенесенной ОЛБ, объясняя это, прежде всего, возникновением генетически аномальных клонов клеток [18]. Этими патогенетическими механизмами, очевидно, и обусловлена стойкость и терапевтическая резистентность психоневрологических последствий ОЛБ.

Таким образом, для ранней и дифференциальной диагностики психоневрологических расстройств у лиц, перенесших ОЛБ, необходимым является проведение углубленных нейро- и психофизиологических исследований. Перспективным представляется осуществление компьютерной томографии ядерного магнитного резонанса и позитронной эмиссионной томографии головного мозга для дальнейшего изучения последствий радиационного воздействия на организм человека.

1. Chinkina O. V., Torubarov F.S. Psychological features of patients with acute radiation sickness following the Chernobyl Atomic Power Station disaster // Human Physiology. - 1991. - 17(4). - P. 301-307.
2. Гублер Е.В. Вычислительные методы анализа и распознавания патологических процессов. - Л.: Медицина, 1978. - 206 с.
3. Гуськова А.К., Шакирова И.Н. Реакция нервной системы на повреждающее ионизирующее излучение (Обзор) // Журн. невропатол. и психиатр. им. С.С. Корсакова. - 1989. - 89. - Вып. 2. - С. 138-142.
4. Давыдов Б.И., Ушаков И.Б. Радиационное поражение головного мозга. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 240 с.
5. Жирмунская Е.А. Клиническая электроэнцефалография. - М.: МЭЙБИ, 1991. - 80 с.
6. Зенков Л.Р., Ронкин М.А. Функциональная диагностика нервных болезней. - М.: Медицина, 1991. - 640 с.
7. Логановский К.Н. Значение метода сомато-сенсорных вызванных потенциалов в дифференциальной диагностике патологических состояний нервной системы, возникших послелучевого воздействия // III Междунар. Конфер. по проблемам медицины катастроф / Сб. матер. - Киев, 1991. - Т.1. - С. 100-102.
8. Логановский К.Н. Клинико-нейрофизиологическая характеристика функционального состояния головного мозга у лиц, подвергавшихся воздействию ионизирующего излучения в результате аварии на Чернобыльской АЭС. - Автореф. дисс... канд. мед. наук. - Киев, 1993. - 25 с.
9. Максимов Г.К., Синицин Д.Н. Статистическое моделирование многомерных систем в медицине. - Л.: Медицина, 1983. - 191 с.
10. О радиационном демиелинизирующем энцефаломиелезе / И.С. Глазунов, В.В. Благовещенская, В.А. Иванов и др. // Журн. невропатол. и психиатр. им. С.С. Корсакова. - 1971. - 71. - Вып. 11. - С. 1601-1604.
11. Острые эффекты облучения при аварии на Чернобыльской АЭС: непосредственные исходы заболеваний и результаты лечения / А.К. Гуськова, Н.М. Надежина, А.В. Барабанова и др. // Медицинские аспекты аварии на Чернобыльской атомной электростанции: Матер. науч. конфер. - Киев: Здоровье, 1988. - С. 143-155.
12. Психические нарушения при лучевой болезни // Психиатрия / А.А. Портнов, Д.Д. Федотов. - М.: Медицина, 1971. - С. 279-282.
13. Пути реабилитации больных, перенесших острую лучевую болезнь / В.Г. Бебешко, Б.П. Преварский, И.Г. Халявка и др. // Медицинские аспекты аварии на Чернобыльской атомной электростанции: Матер. науч. конфер. - Киев: Здоровье, 1988. - С. 161-155.

189

14. Способ диагностики функционального состояния головного мозга при воздействии ионизирующего излучения / А.Е. Нягу, А.Г. Нощенко, Ю.И. Плачинда, К.Н. Логановский. - Заявка на изобретение № 94010203 от 10.02.93.
15. Состояние нервной системы у пострадавших при аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) / Ф.С. Тарубаров, В.В. Благовещенская, П.В. Чесалин, М.К. Николаев // Журн. невропатол. и психиатр. им. С.С. Корсакова. - 1989. - 89. - Вып. 2. - С. 43-52.
16. Тарубаров Ф.С. Итоги к задаче клинических исследований по радиационной неврологии // Мед. радиология. - 1991. - № 8. - С. 29-31.
17. Халявка І.Г., Романенко Н.Ф. Психоневрологічний стан осіб, які перенесли гостру променеву хворобу внаслідок катастрофи на Чорнобильській АЕС // Соціально-психологічні та психоневрологічні аспекти наслідків аварії на Чорнобильській АЕС: Сб. матер. наукової конфер. - Київ, 1993. - С. 292.
18. Court Brown W.M. Изучение соматических нарушений, вызываемых у человека ионизирующими излучениями в больших дозах // Защита населения при радиационных авариях: Труды семинара / Пер. с англ. - Женева: Всемирная Организация Здравоохранения, 1966. - С. 86-98.

19. Кимельдорф Д., Хани Э. Действие ионизирующей радиации на функции нервной системы / Пер. с англ. - М.: Атомиздат, 1969. - 376 с.
20. A psychiatric survey on atomic bomb survivors // S.Tsuiki, T.Yuzuriha, E.Anzo et al. // Nagasaki Medical Journal. - 1958. - 33, N 6. - P. 637-639 (in Japanese).
21. Endogenous opiates mediate radiogenic behavioral change / G.A. Mickley, B.E. Stevens, G.A. White, G.L. Gibbs // Science. - 1983. - 220, N 4602. - P. 1185-1187.
22. Maurer K., Dierka T. Atlas of Brain Mapping: Topographic Mapping of EEG and Evoked Potentials. - Berlin etc.: Springer-Verlag, 1991. - 104 p.
23. Nakane Y., Ohta Y. An example for the Japanese Register: some longterm consequences of the A-Bomb for its survivors in Nagasaki // Psychiatric Case Register in Public Health / G.H.M.M. ten Horn, R.Giel, W.H.Gnlbinat, J.H.Henderson. - Amsterdam - New-York - Oxford: Elsevier Science Publishers B.V., 1986. - P. 26-27.
24. Nishikawa T., Tsuiki S. Psychiatric investigation of atomic bomb survivors // Nagasaki Medical Journal. - 1961. - 36, N 11. - P. 717-722 (in Japanese).
25. Vyner H.M. The physiological effects of ionizing radiation // Cult., Med. and Psychiatr. - 1983. - 1, N 3. - P. 241-261.

Ассоциация "Врачи Чернобыля", Чернобыль

Научный центр радиационной медицины Академии медицинских наук Украины, Киев

Поступила 15.03.95

190

УДК 614.876:351.778.5

А. В. Кретинин, А. В. Бредихин

КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ВЫБОРА ПЛОЩАДЕЙ ПОД ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Приведены результаты замеров потока радона с обследуемой поверхности почв, концентрация радона в почвенном воздухе, влажность почв и эквивалентная равновесная концентрация радона внутри жилых помещений, полученных в 1992-1994 гг. в населенных пунктах Кировоградской области, отведенных для проживания переселенцев из зон отселения, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС. Представлен механизм перераспределения потоков радона в почве в зависимости от ее физического состояния.

Результаты оценки коллективных доз населения Украины за счет основных дозообразующих факторов природного и искусственного происхождения с момента аварии на ЧАЭС до 2056 г. показывают, что основным дозообразующим фактором является радон-222 в воздухе жилых помещений (около 60% дозы). Основным источником поступления радона - почвенный воздух и строительные материалы.

Поэтому строительство новых домов в 3-й и 4-й зоне, а также в районах Украины, предназначенных для проживания переселенцев из зон отселения, требует тщательного радиометрического контроля строительных материалов и потока радона с площади, выбранной под строительство.

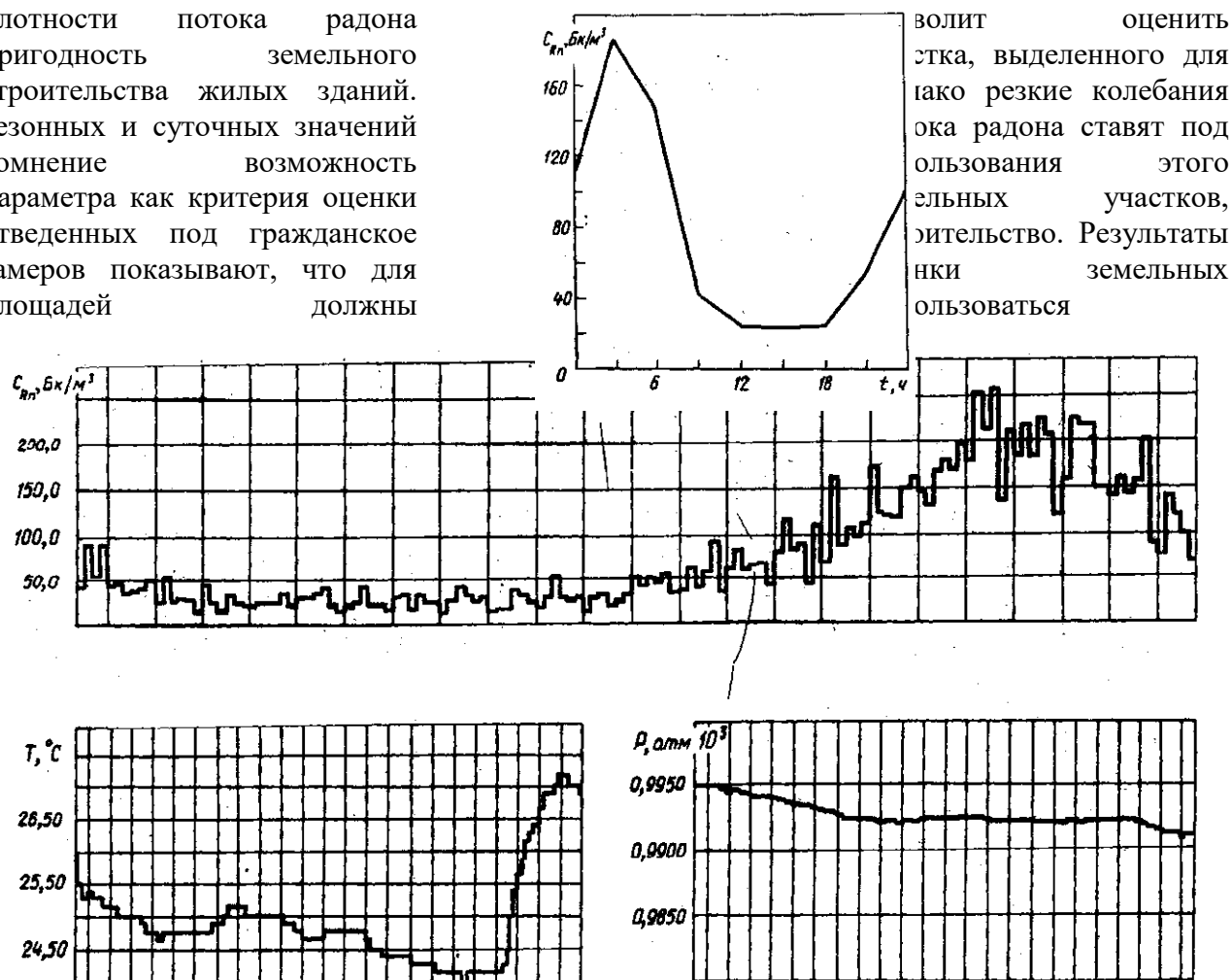
Экскалация радона с поверхности почвы - это суммарный результат сложных процессов переноса газа в многофазной среде, какой является грунт, и, следовательно, количественная величина выхода радона зависит от множества факторов, что экспериментально подтверждается как отечественными, так и зарубежными исследователями [1, 2].

Установлено, что при промерзании или увлажнении почвы, наличии снежного покрова экскалация понижается вследствие замедления процессов диффузии и конвекции.

Наблюдения, проводимые авторами в Кировоградской области (с. Несватково, Ленинское и Бутовское), показали, что корреляционная связь между концентрацией радона в воздухе помещений и температурой, влажностью воздуха, а также атмосферным давлением отсутствует (рис. 1). Суточные вариации концентрации радона в помещении (рис. 2) показывают максимум ночью и минимум в дневное время.

Показатель суточного максимума более чем в 4 раза превышает минимум. Идентичную качественную картину суточных вариаций концентрации радона вне помещений показывают результаты и других исследователей [1, 3]. Если учесть, что максимальная доза радона

поступает с поверхности почвы, т.е. зависит от геологических факторов, таких как тип почв и подстилающих пород, наличие тектонических нарушений, зон напряжения горных пород в районах ведения горных работ и плотности потока радона пригодность земельного строительства жилых зданий. сезонных и суточных значений сомнение возможность параметра как критерия оценки отведенных под гражданское замеры показывают, что для площадей должны



совокупность величин концентрации радона в почвенном воздухе и его поток с поверхности почвы.

Необходимость таких комплексных замеров подтверждают результаты исследований по определению концентрации радона в почвенном воздухе,

© А. В. Кретинин, А. В. Бредихин, 1996

191

Рис. 1. Графики изменений концентрации радона, температуры воздуха и атмосферного давления в помещении (Кировоградская обл., с. Несватково, ул. Житомирская, 27)

192

величины потока радона с поверхности почвы и эквивалентной равновесной концентрации (ЭРК) радона внутри помещения, полученные в 1992 и 1994 г. (таблица).

Анализируя полученные данные, в первую очередь необходимо отметить, что летние месяцы 1992 г. были дождливые и на момент проведения замеров влажность верхнего слоя грунта колебалась от 25 до 30%. В 1994 г. замеры проводились в период двухмесячного отсутствия дождей при влажности верхнего слоя грунта 9 - 10%.

Рис. 2. Суточные вариации концентраций радона в помещении (Кировоградская обл., с. Несватково, ул. Житомирская, 27)

Максимальное раскрытие пор и образование густой сети трещиноватости в верхнем слое почвы повлияло на снижение концентрации радона в поровом воздухе и способствовало

уменьшению пути выхода атомов радона на контакт почва-воздух и увеличению скорости их движения.

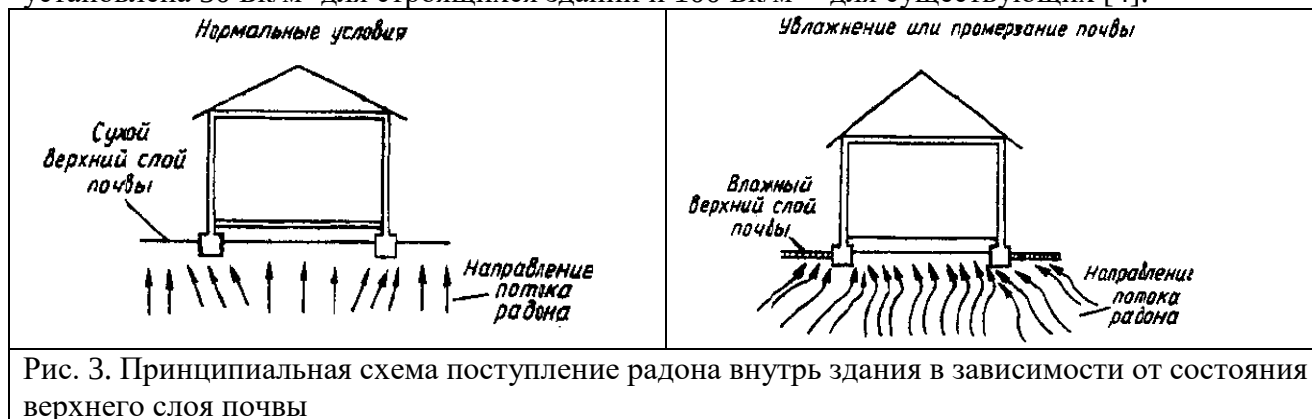
Результаты экспериментальных замеров в населенных пунктах Кировоградской области

Время проведения замеров	Влажность почвы, %	Поток радона с прилегающей территории, $\text{мБк}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$	Концентрация радона в почвенном воздухе прилегающей территории, $\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$	ЭРК радона внутри дома, $\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$
с. Ленинское				
Лето 1992 г.	25-30	17,5	2760	207
Лето 1994 г.	9-10	20,0	34	73
с. Несватково				
Лето 1992 г.	25-30	5,0	' 2950	170
Лето 1994 г.	9-10	10,0	56	39
с. Бутовское				
Лето 1992 г.	25-30	29,6	1451	137
Лето 1994 г.	9-10	38,0	34	

Механизм миграции радона от места его образования на, контакт почва-воздух будет различен из-за изменений физического состояния верхнего слоя почвы под строением (домом) и примыкающей к дому территории. Так как под домом при любых природных условиях сохраняется примерно постоянная влажность почвы, а на прилегающей территории верхняя часть почвенного покрова подвержена сезонным изменениям физического ее состояния, то направление потоков движения радона изменяется в зависимости от этих условий. В зимнее время с промерзанием почвы и наличием снежного покрова и в летнее время при максимальной влажности верхнего ее слоя поток радона направлен под дом и его концентрация в замкнутом пространстве (комнатах) будет наибольшей. В летнее время при минимальной влажности верхнего слоя поток будет направлен из-под дома, и, как следствие, его концентрация будет наименьшей (рис. 3). Этот вывод наглядно подтвержден результатами прямых измерений, полученных на территории обследуемых населенных пунктов.

193

Анализируя полученные результаты по определению величины потока радона с поверхности почвы и ЭРК радона внутри помещения, необходимо отметить, что при относительно небольших значениях потока радона от 10 до 38 $\text{мБк}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$, ЭРК радона превышает допустимую для жилых помещений, которая для Украины, по РСН-356-91 установлена 50 $\text{Бк}/\text{м}^3$ для строящихся зданий и 100 $\text{Бк}/\text{м}^3$ - для существующих [4].



Таким образом, учитывая многофакторную зависимость потока радона с поверхности исследуемого участка и отсутствие изученного механизма перемещения радона в многофакторных, по физическому состоянию, средах, величина потока радона не может быть использована как критерий оценки выбора площадей под гражданское строительство. Поэтому за основной критерий оценки необходимо принимать измеренную величину мощности экспозиционной дозы γ -излучения, которая не должна превышать двух фоновых значений, с определением нуклидного состава. Вспомогательным показателем, характеризующим обследуемую площадь, могут служить комплексные замеры концентрации радона в почвенном воздухе и потока радона с поверхности.

1. Сорока Ю.Н., Молчанов А.И. Об учете экскалации радона при изыскательских работах и проектировании жилых зданий / Проектирование и инженерные изыскания. - 1991. - С. 17-19.
2. Nazaroff W. W., Doyle S.M. Radon entry into houses having a chawl spece // Ibid. - 1985, - 48. - P. 265-281.
3. Fisenne I.M. Radon-222 measurements at Chester - EML-383, 198С. - P. 73-108.
4. Положение о радиационном контроле на объектах строительства и предприятиях стройиндустрии и стройматериалов Украины / РСН 356-91. Госстрой Украины. - Киев, 1991.

Научно-технический центр по дезактивации и комплексному обращению с радиоактивными отходами (НТЦ КОРО), Киев

Поступила 15.03.95

194

УДК 621.039.7

Н. И. Щербина, Б. М. Гулин
**ИССЛЕДОВАНИЕ ОЧИСТКИ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ
ПУНКТА ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ
КИЕВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО МЕЖОБЛАСТНОГО СПЕЦКОМБИНАТА
ИОНООБМЕННЫМ МЕТОДОМ**

Предложен наиболее экологически и экономически приемлемый: метод очистки накопленных жидких радиоактивных отходов смесью сильноосновного и сильнокислотного ионитов. Эффективность очистки по ^{137}Cs составила 99,8%, по ^{90}Sr - 99,75% при расходе смеси ионитов 17 г/л. Метод обеспечивает надежную фиксацию радиоактивных веществ в отработанном сорбенте, радиационную безопасность окружающей среды и населения при дальнейшем отверждении и захоронении отходов. Новизна работы заключается в сравнительной простоте впервые предложенного метода для очистки и утилизации накопленных на объекте жидких радиоактивных отходов сложного многокомпонентного состава.

На пунктах захоронения радиоактивных отходов государственных межобластных спецкомбинатов (ПЗРО ГМСК) УкрГО "Радон" существуют хранилища с жидкими радиоактивными отходами (ЖРО), которые хранятся более двадцати лет и являются источниками повышенной опасности радионуклидного загрязнения окружающей среды. Вопрос ликвидации этих ЖРО до настоящего времени не решен.

В качестве базового объекта исследования были выбраны три хранилища ЖРО (№№ 12, 13, 14) на ПЗРО Киевского ГМСК. Общий объем накопленных растворов составляет 450 м³.

На начало работы отсутствовала информация об их радионуклидном и физико-химическом составе, что потребовало проведения специального пробоотбора и трудоемких аналитических, радиохимических и радиометрических работ. Исследования проводились с привлечением двух независимых специализированных лабораторий, что позволило получить достоверные и представительные результаты, позволившие выбрать наиболее экологически и экономически эффективный метод очистки этих ЖРО.

Химический анализ показал наличие в ЖРО ряда тяжелых металлов (Cd, Pb, Ni, Al, Mn) и нитрат-ионов, содержание которых превышает ПДК, установленные для водоемов рыбохозяйственного водопользования.

Основной вклад в удельную активность ЖРО вносят три радионуклида: цезий-137, стронций-90, водород-3 (табл. 1). Содержание остальных нуклидов в ЖРО (^{60}Co , $^{238,239}\text{Pu}$,

^{134}Cs , $^{154,155}\text{Eu}$, ^{144}Ce , ^{95}Nb ,
находящихся в хранилищах,
уровней соответствующих

В связи с изложенным
находящиеся в хранилищах,
цезия-137 и стронция-90,
водных растворах
виде ионов.

Тритий выделять из
традиционными методами
невозможно, а способы его

Ионообменная смола	$^{103,106}\text{Ru}$, ^{22}Na), значительно ниже ДК _σ для воды.
Катионит КУ-2-8	выше, ЖРО,
Анионит АВ-17-8	следует очистить от которые содержатся в
Смесь ионитов (после реагентно подготовки)	преимущественно в
Смесь ионитов (без предварительно реагентной подготовки)	водных растворов практически изотопного разделения

Таблица 1. Относительное содержание радионуклидов в хранилищах ЖРО, в долях ДК_σ

Радионуклид	Содержание в долях ДК _σ в хранилищах ЖРО		
	N 12	N 13	N 14
^{137}Cs	17,8	16,4	0,05
^{90}Sr	344,6	209,5	1,7
^3H	2,3	37,8	0,3

дороги и сведения о их применении в практических целях отсутствуют. Поэтому, после очистки ЖРО от цезия-137 и стронция-90 содержание трития в ЖРО можно снизить до установленных санитарных норм методом разбавления с дальнейшим использованием воды на технологические нужды ПЗРО.

© Н. И. Щербина, Б. М. Гулин, 1996

195

Так, принимая, что концентрация трития в очищаемых растворах остается неизменной, только за счет смещения очищенных вод из всех трех хранилищ ЖРО среднемаксимальное значение концентрации трития составит $2,44 \cdot 10^6$ Бк/л (примерно в 17 раз выше ДК_σ). Тогда для гарантированного снижения концентрации трития до санитарных норм достаточно будет двадцатикратного разбавления очищенных и обессоленных растворов технической водой (примерно 9000 м³ технической воды).

С учетом результатов радионуклидного и химического состава ЖРО рассматривался ряд методов для их очистки: реагентный, электрохимический, мембранные (электродиализ, обратный осмос), адсорбция, термический, ионообменный с использованием природных и синтетических сорбентов. Определяющими факторами при этом служили: простота технологии, минимальное количество операций, отсутствие необходимости в применении сложного оборудования, обеспечение безопасности персонала [1, 2].

Таблица 2. Остаточное содержание в очищенной воде ^{137}Cs и ^{90}Sr в зависимости от расхода ионитов, в долях ДК_σ.

Рассматривался вопрос использования природных сорбентов (бентонитов, цеолитов) и производных из природных органических материалов (например, Микотон-Cs [3], Хивит-03 [4]), имеющих ту или иную степень избирательности по отношению к сорбции цезия-137 и стронция-90. Однако с практической точки зрения, их использование признано нецелесообразным как из-за достаточно низкой сорбционной емкости и, соответственно, больших объемов образующихся отходов, так и в связи со сложностью отделения и дальнейшего обезвреживания гелеобразных и тонкодисперсных коллоидных частиц. Кроме того, ни один из них не применяется в качестве самостоятельного метода обезвреживания и не

обеспечивает в реальном времени необходимую степень очистки цезия-137 и стронция-90 (ниже значений их ДК_г).

Из всех рассмотренных способов очистки ЖРО только применение методов выпаривания и ионообменной очистки позволит снизить содержание радионуклидов до норм ДК_г.

Анализ экономической и экологической эффективности этих способов очистки ЖРО показал преимущество ионообменного метода с применением зернистых синтетических ионообменников. Его реализация позволит очистить ЖРО до требований санитарных норм с использованием простейшей аппаратуры и с минимальными энергозатратами. Существенным преимуществом этого метода является прочная фиксация радионуклидов зернами ионита, с их последующей цементацией.

Широкий ассортимент синтетических ионообменников позволяет подбирать различные иониты и их смеси для конкретных ЖРО [5, 6].

В процессе исследований анализировалась применимость для переработки ЖРО следующих ионитов в разных формах: АВ-17-8, АВ-17-10п, АМ-8, А11-31, КУ-1, КУ-2-8, КУ-23, КВ-2 с предварительной реагентной обработкой и без нее. Из реагентных видов

196

обработки в качестве предварительной подготовки для ионообменной сорбции были использованы: карбонатный с добавлением микроколичеств Fe^{3+} , содово-известковый с добавлением микроколичеств Fe^{3+} , сульфидный, фосфатный [7].

В основу методики проведения исследований был положен наиболее простой метод, основанный на балансовых соотношениях и позволяющий определять необходимое количество ионита по известным параметрам: начальной концентрации раствора и требуемой полноты его очистки.

После выполненного для проведения эксперимента использовали сильноосновной анионит и сильнокислотный катионит АВ-17-8 и КУ-2-8 (ГОСТ 20301-74 и ГОСТ 20298-74), которые подготавливали в соответствии с требованиями ГОСТ 10896-78 соответственно в OH^- - и OH^+ -формах. При постановке настоящих исследований было взято за основу соотношение ионитов КУ-2-8 и АВ-17-8, равное 1:1 [8, 9]. Для приближения процесса ионообменной сорбции к динамическим условиям, процесс очистки ЖРО проводился на одной и той же пробе постоянного объема с порционной добавкой смеси ионитов, с постоянным перемешиванием раствора с каждой порцией смеси в течение 1 ч. Каждая последующая порция смеси смол вносилась в очищаемый раствор после удаления предыдущей отконтактировавшей порции. Это способствовало созданию необходимой слабокислой среды (рН порядка 3,3-4,4) без добавления химических реактивов и гарантировано обеспечивало возможность наиболее полного проведения ионного обмена основных радионуклидов-загрязнителей цезия-137 и стронция-90.

Эффективность очистки ЖРО от радионуклидов определялась на основе прямых измерений снижения активности исходного раствора ЖРО в процессе проведения экспериментов. Измерение содержания радионуклидов стронция-90 и цезия-137 проводилось с использованием радиометра типа РУБ-01П с блоком детектирования БДЖБ-06П1 по специальной методике. Эта методика основана на различии коэффициентов ослабления фильтров из-за различия энергий β -излучения этих изотопов при их совместном присутствии в растворах в сочетании с измерением содержания цезия-137 с помощью γ -спектрометрического метода на ЛР-4900 с ППД типа ДГДК-160В-3. Чувствительность метода по цирконию-90 составляет $4,98 \cdot 10^{-4}$ имп/с на Бк/л и по цезию-137 $1,56 \cdot 10^{-4}$ имп/с на Бк/л, доверительная граница погрешности определения объемной активности по цирконию-90 и цезию-137 при доверительной вероятности 95% не превышает 53%.

Параллельно по отдельным точкам проводился анализ на остаточное содержание радионуклидов в указанных выше лабораториях.

Для проверки основных прогнозных оценок по использованию метода ионообменной очистки были проведены эксперименты по очистке ЖРО отдельно катионитом (КУ-2-8), анионитом (АВ-17-8) и их смесью.

Сравнительные показатели исследований при удельном расходе 10 мл/л ионообменных смол (в том числе их смеси) приведены в табл. 2.

Результаты проведенных экспериментов подтвердили сложность состава и разнообразие форм нахождения основных радионуклидов в исследуемых ЖРО и необходимость их очистки смесью ионитов, которая, увеличивая число элементарных актов массообмена, повышает эффективность процесса очистки. Тем более, что с целью максимально возможного удешевления проводимых исследований и упрощения самого процесса очистки и его аппаратного оформления, вопрос регенерации ионообменных смол с самого начала был снят, так как радионуклиды, сорбированные на ионообменных смолах, надежно удерживаются в их структуре, а сами сорбенты служат барьером на пути миграции загрязнений в окружающую природную среду.

197

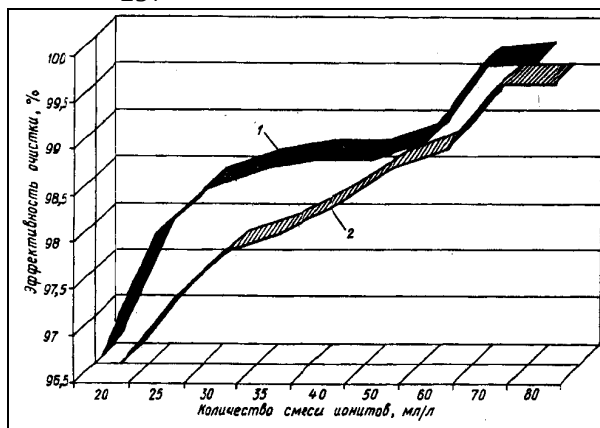


Рис. 1. Эффективность очистки цезия-137 от количества смеси ионитов: 1 - без предварительной реагентной подготовки; 2 - после предварительной реагентной подготовки.

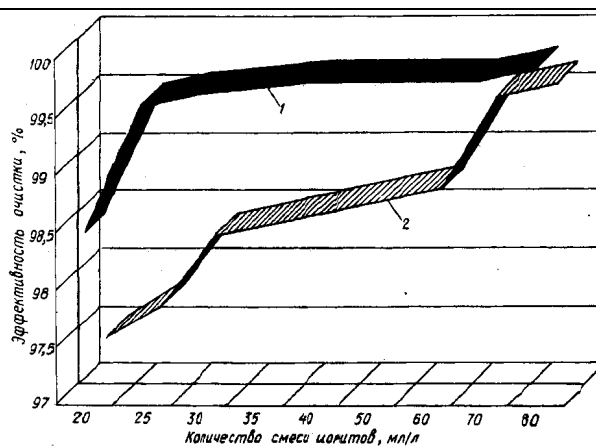


Рис. 2. Эффективность очистки стронция-90 от количества смеси ионитов: 1 - без предварительной реагентной подготовки; 2 - после предварительной реагентной подготовки.

198

Эффективность очистки ЖРО ионообменными способами смесью ионитов до требуемого остаточного содержания основных радионуклидов-загрязнителей (цезия-137 и стронция-90), как с предварительной реагентной подготовкой, так и без таковой, практически находится на одном уровне и значительно ниже значений соответствующих нормативов (рис. 1, 2). Предварительная реагентная подготовка растворов позволяет добиться при последующей ионообменной очистке более глубокого обессоливания очищаемой воды. В то же время проблема обессоливания очищаемых ЖРО является вторичной. Главной задачей проведенных исследований было достижение требуемой степени очистки при максимально возможной простоте оформления самого технологического процесса. Таким образом, самоочевиден вывод о преимуществе более простого как в технологическом плане, так и в аппаратном оформлении метода очистки ЖРО без предварительной реагентной обработки. При этом происходит снижение активности по цезию-137 более, чем в 1850 раз, а по стронцию-90 - в 520 раз. По результатам проведенных лабораторных исследований для рекомендуемого варианта ионообменной очистки ЖРО ПЗРО Киевского ГМСК без предварительной реагентной подготовки гарантированный удельный расход смеси сильноокислотного катионита КУ-2-8 и сильноосновного анионита АВ-17-8 (подготавливаемых соответственно в H^+ - и H^- -формах) в соотношении 1:1 составляет 32÷34 мл на 1 л очищаемых ЖРО (около 17 г/л).

Выводы. Использование катионита КУ-2-8 и смеси его с анионитом АВ-17-8 (при соотношении 1 : 1 По объему в набухшем состоянии) в лабораторных условиях на реальных

растворах позволило очистить ЖРО от цезия-137 и стронция-90 до значений, значительно ниже норм ДК[^]. Потребность ионита при этом составила 15÷17 в г/м³ ЖРО. Одновременно происходит очистка от токсичных загрязнений (тяжелых металлов и нитратов) до уровней, обеспечивающих соблюдение требований санитарных норм; сухой остаток при этом составил менее 0,1 г/л.

1. *Соболев И.А., Хомчик Л.М.* Обезвреживание радиоактивных отходов на централизованных пунктах. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 128 с.
2. *Мартынов Б.В.* Обращение с радиоактивными отходами. - Киев: Техника, 1993. - 107 с.
3. *Сорбент* ионов тяжелых металлов и радиоактивных элементов "Микотон-Цезий". ТУоп 1891-01-93, утвержденные президентом научно-производственной ассоциации "ЭЛСИКО" В.В. Хоценко 27.02.93 г. по согласованию с МЗ Украины (письмо исх. № 5-02-28 от 26.02.93), разработчик СП "БИАМЕД".
4. *Испытание сорбентов на основе материалов биологического происхождения для извлечения трансурановых элементов, стронция, цезия из грунта и грунтовых вод // Отчет о НИР, Инв. ВИТА-0/91-37.* - М., 1991.
5. *Ионообменные материалы для процессов гидрометаллургии, очистки сточных вод и водоподготовки / Справочник.* - М.: ВНИИХТ, 1983. - 207 с.
6. *Сенявин М.М.* Ионный обмен в технологии и анализе неорганических веществ. - М.: Химия, 1980. - 272 с.
7. *Кузнецов Ю.В., Щебетковский В.Н., Трусов А.Г.* Основы очистки воды от радиоактивных загрязнений. - М.: Атомиздат, 1974. - 360 с.
8. *Очистка вод атомных электростанций / Кульский Л.А., Стразов З.Б., Волошинова А.М. и др.* - Киев: Наук. думка, 1979. - 209 с.
9. *Хоникевич А.А.* Очистка радиоактивно-загрязненных вод лабораторий и исследовательских ядерных реакторов. - М.: Атомиздат, 1974. - 312 с.

Научно-технический центр по дезактивации и комплексному обращению с радиоактивными отходами (НТЦ КОРО), Киев
Поступила 15.03.95

199

УДК J77.41/:577.391

В. В. Деревец, Л. А. Дорошенко, А. К. Сухоручкин, Ю. В. Ткаченко
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДООХРАННЫХ СООРУЖЕНИЙ
НА ЛЕВОБЕРЕЖНОЙ ПОЙМЕ Р.ПРИПЯТЬ

По результатам мониторинга установлена высокая эффективность левобережного водоохранного комплекса в экстремальных ситуациях зимних паводков на р. Припять. Предложены и частично реализованы меры по дальнейшему совершенствованию системы водоохраных сооружений в зоне ЧАЭС.

На пойме р. Припять в пределах Зоны отчуждения находится примерно 30 тыс. Ки долгоживущих радионуклидов. Согласно результатам исследований УкрКИГМИ, УДК НПО "Припять" и ряда других организаций не менее половины этой активности сосредоточено на левобережном участке Припятской поймы от истока протоки Муровка до Яновского железнодорожного моста (на так называемой Красненской пойме). В районе озер Глубокое и Вершина наблюдаются наибольшие плотности радиоактивного загрязнения почв, которые достигают 700...900 Ки/км² по стронцию-90 и более 800 Ки/км² по цезию-137. Здесь же отмечаются очень высокие уровни загрязнения плутонием-239, 240 - 5...10 Ки/км².

Значительно загрязнены и водные объекты, расположенные на Красненской пойме. Так, в воде Красненского старица концентрация цезия-137 в 1989-1990 гг. составляла 200...500 пКи/л, стронция-90 - 1000...2509 пКи/л, в воде озер Глубокое и Вершина - 600...1000 пКи/л цезия-137 и 6000...9000 пКи/л стронция-90. Для сравнения содержание стронция-90 в припятской воде у Чернобыля на протяжении большей части года составляет 15...20 нКи/л.

Плотность загрязнения донных отложений в этих водоемах цезием-137 находится в диапазоне 180...800 Ки/км², стронцием-90 - 160...660 Ки/км².

Для предотвращения в период половодий и паводков затопления Красненской поймы и неизбежного при этом смыва активности с ее территории по проекту института "Укрводпроект"* в 1992 г. был введен в эксплуатацию комплекс водоохраных сооружений. В состав комплекса вошла оградительная намывная дамба протяженностью 11,2 км, дренажный канал, соединяющий основные водоемы на огражденной территории, и насосная станция для перекачки излишков воды из канала на польдер, существовавший в районе сс. Усов-Красно-Зимовище еще до создания комплекса.

Об эффективности ограждения левобережной поймы можно судить по данным о радиационном состоянии р. Припять в периоды проявления мощных зажоров: в январе - феврале 1991 г., когда пойма еще не была защищена дамбой от затопления, и в феврале-марте 1994 г. - при сооруженном водоохранном комплексе (табл. 1).

Продолжительность заторно-зажорных явлений и уровня подъема воды выше 106,5 мБС (начало значимого затопления поймы) как в 1991, так и в 1994 г. были примерно одинаковы; отметки максимальных уровней воды у дамбы № 3 при этих зажорах также были практически равными.

*В разработке проекта принимали участие УкрБІГМІ, Институты кибернетики и гидромеханики НАН Украины.

© В. В. Деревец, Л. А. Дорошенко, А. К. Сухоручкин, Ю. В. Ткаченко, 1996

200

Таблица. 1. Параметры гидрологического режима и радиационного состояния р. Припять при заторно-зажорных явлениях зимой 1991 и 1994 гг.

Период проявления зажора	Средний расход воды р. Припять, м ³ /с	Максимальный уровень воды у дамбы № 3, мБС	Максимальная концентрация ⁹⁰ Sr у Чернобыля, пКи/л	Вынос ⁹⁰ Sr р. Припять за период зажора, Ки
17.01-9.02.1991 г.	500	107,05	330	105
7.02-05.03.1994 г.	515	107,08	160	53

Примечание: мБС - уровень в Балтийской системе отсчета, м.

Из представленных в табл. 1 данных следует, что ограждение левобережной поймы р. Припять позволило снизить максимальные концентрации и вынос стронция-90 в периоды ледовых зажоров примерно в два раза; более чем вдвое сократился среднесуточный для этих периодов вынос стронция-90 - 4,4 Ки/сут в 1991 г. и 2,0 Ки/сут в 1994 г.

Потенциальная опасность Красненской поймы для подземных вод заключается в загрязнении радионуклидами грунтового водоносного горизонта, фильтрации загрязненных грунтовых вод в обход и под плотинами с разгрузкой в р. Припять, перетекании загрязненных грунтовых вод через отдельный слой мергелей киевской свиты в эоценовые отложения и их фильтрации к Яновскому водозабору.

С целью недопущения подтопления поверхности Красненской поймы и предотвращения направленного грунтового потока, в р. Припять насосная станция на дренажном канале должна поддерживать уровни воды на пойме несколько ниже уровня р. Припять, но не выше 105-105,5 мБС. Существовавший в начале эксплуатации комплекса регламент работы насосной станции однозначно определял поддержание уровня воды на пойме не выше 103,5 мБС. В периоды высоких уровней в р. Припять это приводило к повышенному фильтрационному потоку относительно чистой припятской воды на пойму и излишним объемом ее перекачки на сильно загрязненный старый польдер у с. Красно-Зимовище, откуда эта вода возвращалась через проран в дамбу № 7 в р. Припять, но уже с концентрациями 1200...1900 пКи/л.

За 1993 г. на польдер из огражденной части левобережной поймы было перекачано около 16,8 млн. м³ воды. С этой же водой в польдер поступило 23,4 Ки стронция-90 и 1,1 Ки цезия-137, которые затем попали в реку (табл. 2).

Анализ начального периода работы комплекса водоохраных сооружений на левобережной пойме и радиационного состояния водных объектов позволил разработать предложения по снижению некоторых отрицательных последствий работы насосной станции.

В результате регламент работы насосной станции с октября 1993 г. был изменен, объемы перекачиваемой воды в последующие месяцы снизились, вместе с этим уменьшилось поступление радионуклидов из дренажного канала в польдер у сс. Красно-Зимовище, а оттуда - в р. Припять. Так, в январе-октябре 1994 г. объем перекачанной воды из канала в польдер составил не многим более 7,6 млн. м³, с этой водой туда поступило около 8,2 Ки стронция-90 и 0,4 Ки цезия-137. Всего же из польдера в р. Припять через дамбу № 7 за первые десять месяцев этого года поступило около 32 млн. м³ воды, а вместе с ней 43,4 Ки стронция-90 и 6,1 Ки цезия-137. Хотя удалось значительно снизить закачку воды из Красненской поймы на польдер, проблема, обусловленная поступлением сильно загрязненной воды в Припять из польдера через дамбу № 7 до конца, не решена.

201

Таблица 2. Расход воды и перенос радиоактивности через насосную станцию и дамбу № 7 в водной системе "Красненская пойма - польдер - р. Припять"

Период	Перекачка в польдер на Красненской пойме			Сток за польдера в р.Припять через дамбу № 7		
	Объем ВОДЫ, тыс. м ³	Активность, Ки		Объем стока, тыс. м ³	Активность, Ки	
		⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs		⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
1993						
январь	0	0	0	685	1,2	0,04
февраль	540	0,6	0,01	1330	2,3	0,07
март	2080	4,2	0,12	2150	3,3	0,09
апрель	2480	3,7	0,11	5780	6,9	0,56
май	1300	1,8	4,08	4920	7,5	1,2
июнь	1570	2,2	0,19	2380	4,0	0,57
июль	2460	3,7	0,22	3080	5,7	0,57
август	2430	2,9	0,18	3490	4,9	1,3
сентябрь	2000	2,6	0,14	3110	3,6	0,65
октябрь	930	0,9	0,04	2550	3,1	0,20
ноябрь	1020	0,8	0,03	2070	2,9	0,29
декабрь	0	0	0	1610	3,1	0,27
Всего за 1993 г.	16810	23,4	1,1	33160	48,5	5,8
1994						
январь	85	0,08	0,005	2710	3,4	0,74
февраль	1105	1,2	0,05	2320	3,1	0,40
март	1600	1,5	0,06	4660	4,8	0,72
апрель	2080	2,5	0,11	7960	11,4	1,6
май	1300	1,2	0,07	6610	9,3	1,3
июнь	1600	1,2	0,05	4690	6,6	0,79
июль	330	0,5	0,02	2290	4,2	0,46
август	32	0,05	0,002	350	0,6	0,08
сентябрь	15	0,02	0,001	7	0,01	0,001
октябрь	7,5	0,01	0,000	0	0	0
Всего за 01-10.94	8150	8,2	0,37	31600	43,4	6,1

Гидрологический режим польдера имеет свои особенности. Сток с него формируется за счет как собственного водосбора, так и части стока Погонянского канала, которые с обводняемых лесных массивов и торфяников на территории Беларуси поступают на польдер. Кроме того, как отмечено выше, сюда направляется и вода, перекачиваемая насосной станцией с огражденной части Красненской поймы.

Дополнительно снизить сброс активности из польдера в Припять можно, уменьшив поступление на польдер воды с водосбора Погонянского канала, для чего в периоды с достаточной увлажненностью пожароопасных угодий сток канала через шлюз-регулятор в с. Борщевка направлять непосредственно в реку. Концентрация радионуклидов в воде Погонянского канала примерно на порядок ниже, чем в воде польдера и не ухудшит радиационное состояние р. Припять. В настоящее же время шлюз на канале в с. Борщевка наглухо перекрыт.

Выводы. 1. Высокая эффективность левобережного водоохранного комплекса, эксплуатация которого начата в 1992 г., несомненна в расчетных экстремальных ситуациях. При практически одинаковых характеристиках гидрологического режима р. Припять и сценарии развития ледовых явлений зимой 1991 и 1994 гг. максимальны концентрация и вынос стронция-90 в период мощного зазора 1994 г. были примерно вдвое ниже, чем в 1991 г.

2. Анализ радиогидрологических условий, сложившихся на начальном этапе эксплуатации водоохранного комплекса, позволял путем изменения регламента работы насосной станции снизить возникающие отрицательные побочные эффекты.

3. Для дальнейшего уменьшения сброса радионуклидов в р. Припять из польдера у сс. Красно-Зимовище через проран в дамбе № 7 необходимо до минимума снизить поступление воды на польдер с водосбора Погонянского канала. Для этого в периоды с достаточным увлажнением лесных массивов и торфяников, обводняемых водой канала, его сток направлять через перекрытый в настоящее время шлюз в с. Борщевка.

Управление дозиметрического контроля НПО "Припять", Чернобыль
Поступила 15.03.95

203

УДК 614.041.44

С. И. Азаров
**ОЦЕНКА ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТИ
ЛАНДШАФТОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ К ПОЖАРАМ**

Приводится шкала оценок предрасположенности ландшафтов Чернобыльской Зоны отчуждения к пожарам на основе факторного метода. Предложено использовать полученные данные для предотвращения пожаров в Зоне отчуждения.

Одним из важных аспектов уменьшения влияния на окружающую среду последствий аварии на IV энергоблоке ЧАЭС является предотвращение образования и выноса радиоактивных веществ из Зоны отчуждения при пожарах. В условиях радиоактивного загрязнения ландшафтов, пожары в Зоне отчуждения являются неблагоприятным фактором, поскольку увеличивают дозовые нагрузки на население и значительно снижают защитные и регулирующие функции природных территориальных комплексов.

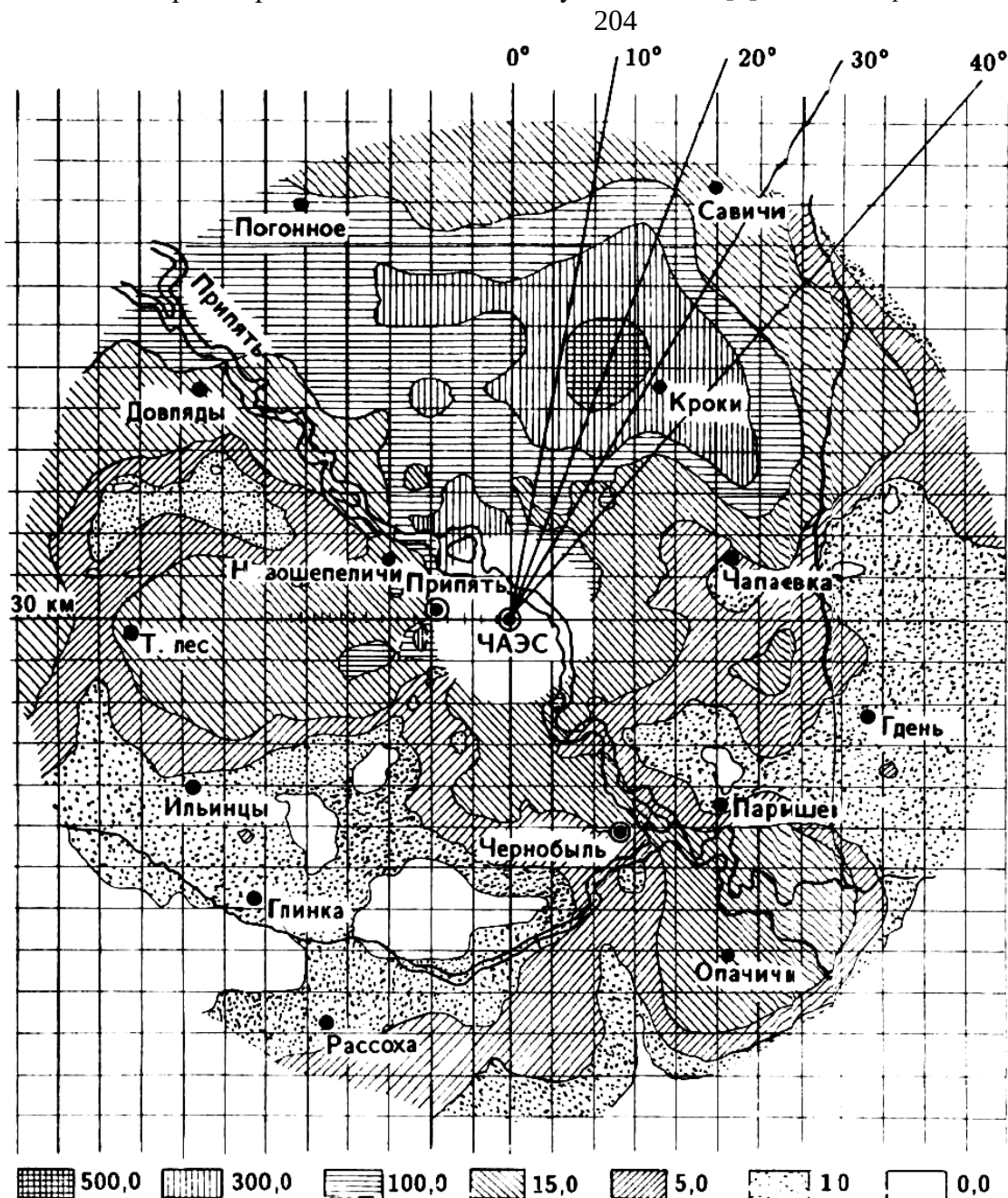
За период с 1991 по 1994 гг. в Зоне отчуждения произошло более 200 пожаров, в результате чего было повреждено 4,1 тыс. га лесов и 5,6 тыс. га травяного настила [1]. Пожароопасный сезон в Зоне отчуждения ЧАЭС наступает с момента схода снежного покрова и продолжается до наступления устойчивой дождливой осенней погоды или образования снежного покрова. В связи с этим, правильная оценка степени потенциальной опасности пожаров в зоне влияния аварии на ЧАЭС и масштабы их последствий, является важным фактором для своевременных и адекватных решений по минимизации ущерба. Однако такая оценка возможна только при обеспечении достоверными данными о факторах пожарной опасности, которые имеют multifunctional характер взаимосвязи друг с другом. Например, ландшафтные урочища Зоны отчуждения, находясь в сходных климатических условиях, покрыты мозаикой растительности, которая характеризуется различными запасами горючего материала с различными агрегатными состояниями, пожарной нагрузкой и, следовательно, в разной степени предрасположены к пожарам.

В данной работе приводится комплексная оценка предрасположенности ландшафтно-геодезических условий Зоны отчуждения к пожарам с помощью факторного метода [2].

В общем виде постановку задачи многокритериальной оценки пожарной опасности можно сформулировать следующим образом. Из номенклатуры существующих в природно-территориальном комплексе ландшафтов, необходимо выбрать такие, у которых степень потенциальной опасности пожаров была минимальна. Под термином "степень потенциальной опасности пожара" будем понимать отдельный признак (фактор) или их

совокупность, пространственно-временное изменение которых характеризует и идентифицирует возможные причины возникновения пожара. Упрощенно, алгоритм оценки степени потенциальной опасности пожара в Зоне отчуждения можно представить следующим образом.

На первом этапе Зону отчуждения определяют пожаротехнические характеристики анализируемой территории. Для этого Зону отчуждения разбивают радиально-кольцевой сетью на сектора с нарастающим шагом между ее точками [3]. © С. И. Азаров, 1996



В каждом из секторов (см. рис.) находят модификации ландшафтов Зоны отчуждения - множество элементов X_{ij} т.е.

$$X = \{x_i \in N\}, \text{ где } i = 1, 2, \dots, n,$$

(сосновый, хвойный и лиственный лес, травяной настил, луга, болота и др.). В Зоне отчуждения ЧАЭС леса занимают 36 % угодий, луга - 10,5 %, болота - 7,5 %, залежи - 38 %, а остальное - населенные пункты, водные объекты и техногенные территории [4]. Фракционный состав и запасы горючей фитомассы по основным типам лесонасаждения и группам травяных

ценозов (в тоннах абсолютно сухого вещества на 1 га) следующее: сосновые леса - 1600, лиственные - 2200, луга - 30, болота - 76, залежи - 54.

Далее априори определяют такие факторы пожарной опасности, которые непременно приводят к пожару - множество элементов y_j :

$$Y = \{y_j \in M\}, \text{ где } j = 1, 2, \dots, m,$$

причем, число элементов этого множества $m < n$.

205

В работе проанализированы следующие факторы пожарной опасности:

1. Пожаротехнические характеристики ландшафтов:
 - пожарная нагрузка (запас фитомассы);
 - агрегатное состояние горючего материала;
 - температура самовоспламенения;
 - температура воспламенения под воздействием огня и др.
2. Показатели пожарной опасности зоны:
 - температура и влажность воздуха;
 - количество дней без осадков и др.
3. Причины возникновения пожара:
 - внешние (природные и техногенные явления);
 - внутренние (антропогенные явления);
 - комбинация событий.

Анализ причин возникновения пожаров в зоне влияния аварии на ЧАЭС показывает, что большая часть - 90 % носит антропогенный характер, связанный с деятельностью человека, а оставшаяся часть - экстремальные погодные условия и техногенные воздействия.

На втором этапе составляют структурную матрицу, элементами столбцов которой были Y , а элементами строк X ;

$$Y = CX. \quad (1)$$

Здесь C - матрица коэффициентов размерностью $(n \times m)$. Поскольку анализируемые факторы взаимосвязаны друг с другом и имеют различные физические размерности, то на данном этапе каждый фактор преобразуется в безразмерный вид с помощью выражения

$$\bar{X}_i = \frac{1}{X_{n_i}^2 + 1}, \quad (2)$$

где X_{n_i} - нормированная величина.

Затем из значений $\bar{X}_i$ формируют структурную матрицу безразмерных величин:

$$Y = C\bar{X}. \quad (3)$$

На третьем этапе производят ранжирование элементов матрицы из уравнения (3) с помощью весовых коэффициентов, K_j , и определяют сумму рангов для каждой строки по формуле

$$Y_j = \sum_{i=1, j=1}^{N, M} \text{rang } K_j \bar{X}_i. \quad (4)$$

После чего производят сравнительную оценку предрасположенности модификаций ландшафтов Чернобыльской Зоны отчуждения в рассматриваемом секторе к пожарам в условных единицах степени пожарной опасности:

- I - отсутствует;
- II - малая;
- III - средняя;
- IV - высокая;
- V - чрезвычайная.

В таблице представлены данные по оценке предрасположенности ландшафтных урочищ Зоны отчуждения к пожарам.

Оценивание полученных данных показало, что в границах Чернобыльской Зоны отчуждения лишь 48 % территории характеризуется отсутствием пожарной опасности. Оставшаяся часть территории относится к средней 38 % и высокой 14 % категории предрасположенности к пожару.

206

Шкала оценок предрасположенности ландшафтных урочищ Чернобыльской Зоны отчуждения к пожарам

Номер п/п	Сектор	Модификация ландшафтных урочищ				
		Травяной настил	Сосновый лес	Лиственный лес	Луг	Болото и торфяники
1	0-10°	I	II	I	I	I
2	10-20°	III	IV	V	III	III
3	20-30°	II	III	V	III	III
4	30-40°	III	III	III	III	
5	40-50°	I	II	IV	II	I
6	50-60°	II	IV	II	II	
7	60-70°	III	III	III	II	I
8	70-80°	I	I		I	I
9	80-90°	I	I	II	I	
10	90-100°	I	I	I	I	II
И	100-110°	I	I	I	I	II
12	110-120°	I	I	I	I	II
13	120-130°	III	II	I	III	III
14	130-140°	II	I	I	I	II
15	140-150°	III	IV	I	II	III
16	150-160°	III	III	I	II	III
17	160-170°	IV	V	I	III	I
18	170-180°	I	II	I	I	I
19	180-190°	I	II	I	I	I
20	190-200°	I	II	I	I	I
21	200-210°	I	III	I	III	I
22	210-220°	I	II	I	I	I
23	220-230°	I	IV	I	II	I
24	230-240°	V	V	I	V	I
25	240-250°	V	V	II	V	II
26	250-260°	V	V	II	IV	II
27	260-270°	I	I	I	I	1
28	270-280°	II	I	I	I	I
29	280-290°	V	V	II	IV	IV
30	290-300°	V	V	III	V	IV
31	300-310°	I	I	I	I	II
32	310-320°	I	I	II	II	II
33	320-330°	I	I	II	I	II
34	330-340°	I	II	II	I	
35	340-350°	I	II	II	I	II
36	350-360°	I	III		I	II

Кроме того, из представленных модификаций ландшафтных урочищ наиболее пожароопасными являются сосновый лес (более 44 %) и травяной настил (30 %). Вместе с тем

сравнительный анализ данных, приведенных на рисунке и в таблице, показывает, что пожароопасные зоны приурочены, как правило, к местностям наибольшего загрязнения ^{137}Cs , например, в секторах $0-60^\circ$ и $320^\circ-360^\circ$ с уровнем загрязнения более 100 Ки/км^2 . В связи с этим необходимо усилить противопожарные мероприятия, предотвращающие пожары (обработка скрепляющими радиобобными растворами, увлажнение почв путем подъема уровня грунтовых вод, создание минеральных полос и др.). Кроме того, важно

207

разработать тактику тушения пожаров на территориях, загрязненных радионуклидами и оценить степень радиологической опасности пожаров с целью защиты личного состава пожарных команд, принимающих участие в тушении пожаров.

1. Будько А.К., Огородников В.И. Радиоактивные аэрозоли при пожарах на территориях, загрязненных продуктами Чернобыльской аварии // Радиацион. биология. Радиоэкология. 1995. - 35. - Вып. 1, С. 102-112.
2. Основные концепции системы предупреждения пожаров на АЭС / С.И. Азаров и др. Киев, 1990 // Препринт КИЯИ - 90 - 8. - 12 с.
3. Изменение условий загрязнения 30-километровой зоны ЧАЭС / В.И. Гаврилюк и др. Киев, 1990 // Препринт КИЯИ - 90 - 29 - 16 с.
4. Ландшафты Чернобыльской зоны и их оценка по условиям миграции радионуклидов / Под ред. А.М. Маринича. - Киев, Наук. думка, 1994. - 112 с.

Институт ядерных исследований НАН Украины, Отделение проблем атомной энергетики, Киев
Поступала 15.03.95

208

УДК 621.039.58

С. И. Азаров, А. И. Прикашиков, А. А. Однолько
**КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ О ПОЖАРАХ
В ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС**

Приведена классификация факторов пожарной и радиационной опасности в Чернобыльской Зоне отчуждения. Проанализированы сценарии возникновения пожара и воздушная миграция радионуклидов из Зоны отчуждения с оценкой радиационной обстановки. На основе анализа факторов пожарной опасности в Зоне отчуждения ЧАЭС предложена, концепция системы обнаружения и сигнализации о пожарах. Приводится структурная схема системы и описываются ее составные блоки, режимы работы и область практического использования.

Из известных путей миграции радионуклидов, из Чернобыльской Зоны отчуждения (водный в растворимой форме, воздушный с аэрозолями и пылью, контактный перенос и др.) наибольшую опасность представляет собой вынос радиоизотопов воздушным путем с дымом и сажей при лесных пожарах.

В границах загрязненной радиоактивными веществами территории ЧАЭС общей площадью 1856 км^2 , лесные массивы занимают более 768 км^2 , при общем запасе древесины - 1300 млн. м^3 . С 1992 по 1994 гг. в 30-километровой зоне произошло более 200 пожаров, в результате чего было повреждено, по разным оценкам (2,4-3,9) тыс. га леса и (1,9-2,6) тыс. га залежных ценозов. Известно [1], что средний статистический лесной пожар развивается в течение 30 мин и за это время при сгорании одной тонны древесины в окружающую среду выделяется $1000-1700 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$, $250-700 \text{ м}^3$ паров воды, $100-250 \text{ м}^3 \text{ CO}$ и 15-30 кг твердых частиц. Причем находящиеся в составе продуктов сгорания и золы радионуклиды могут вовлекаться в атмосферный перенос, что приводит к повышению их содержания в воздухе в сотни раз [2]. В процессе пожара также происходит быстрая минерализация лесной подстилки и органического вещества в верхней части почвенного профиля, что создает опасность активации смыва и инфильтрации радиоизотопов в ландшафтах Зоны отчуждения ЧАЭС. Кроме того, возможна воздушная миграция радиоактивной золы размером $0,05 \text{ мм}$, поскольку именно такая пылевая фракция наиболее подвержена ветровой эрозии [3].

На сегодняшний день в Зоне отчуждения ЧАЭС отсутствует система пожарной защиты лесов, которая бы обнаруживала, сигнализировала и оповещала об аварийных ситуациях,

приводящих к возгоранию, а в случае возникновения лесного пожара давала бы возможность оперативно оказывать помощь руководящему составу аварийно-пожарных команд и администрации Зоны.

Сложный многофункциональный характер взаимосвязи процессов миграции радионуклидов в воздушной среде при лесных пожарах диктует необходимость контроля и интерпретации полученных результатов обширной разноплановой информации (ландшафтно-геодезические карты, отражающие пространственную геофизическую дифференциацию ландшафтов; рельеф и геологическое строение контролируемой местности; скорость и направление ветра; высота запирающих слоев в атмосфере; температура и влажность воздуха, распределение радиоактивности в воздухе по высоте и др.).

В связи с этим защита зараженных радиацией лесов и торфяников от пожаров является важным фактором стабилизации радиоэкологической обстановки в Чернобыльской Зоне отчуждения.

© С. И. Азаров, А. И. Прикашиков, А. А. Однолько, 1996

209

Система обнаружения и сигнализации о пожарах предназначена для:
дистанционного контроля параметров пожарной, радиационной и метеорологической обстановки в Зоне отчуждения ЧАЭС;

прогноза и обеспечения возможности быстрого реагирования и регулирования пожаробезопасной и радиационной обстановки;

выдачи рекомендаций по локализации и ликвидации пожаров.

Основной задачей системы должно являться [4]:

обнаружение предпожарных ситуаций в контролируемой зоне;

автоматическое оповещение о пожаре по всем каналам выдачи информации;

выработка информации по тактике ведения боевых действий при тушении пожаров;

оценка риска радиационной опасности для пожарных команд, персонала зоны и населения;

прогнозирование масштабов радиационного загрязнения чистых территорий;

выдача рекомендаций по радиационной защите аварийно-пожарных команд и персонала зоны;

выдача превентивных противопожарных мероприятий.

В организационно-техническом плане система должна быть построена по принципу распределенной многоуровневой информационно-измерительной системы, функционирующей в реальном масштабе времени.

На нижнем уровне системы должны быть размещены технические средства (измерительные станции) осуществляющие функции измерения, сбора, первичной обработки информации и ее передачи на технические средства верхнего уровня (центральный пункт).

Измерительные станции (радиобуи и тепловизоры) должны размещаться в реперных точках Зоны ЧАЭС таким образом, чтобы избежать зон затемнения (из-за складок местности) в местах с максимальной пожарной нагрузкой (запас фитомассы больше 200 т/га абсолютно сухого вещества и с уровнем радиационного загрязнения по ^{90}Sr более 1,0 Ки/км² и ^{137}Cs больше 15 Ки/км²).

Радиобуй - это функционально и конструктивно завершенный комплекс технических средств, ориентированный на измерение заданного потока физических параметров (температура, влажность, концентрация газов и др.), а также первичную обработку результатов измерения и передачу информации на центральный пункт.

Тепловизор должен размещаться на 50-метровых мачтах с автономным приводом для поворота вокруг оси к углу наклона. Радиус действия тепловизора должен составлять 5 км, причем разрешение на дальность должна составлять 10 м, а по углу не хуже 0,3 градуса. Управление процессом получения исходных данных от измерительной станции и диагностика их работоспособности должна осуществляться с помощью микропроцессора, снабженного устройствами сопряжения с датчиками и радиоканалом. Сигналы от измерительных станций

по каналам (УВК-радиостанции) через ВЧ концентраторы должны поступать на верхний уровень.

Комплекс средств связи должен обеспечивать передачу данных как при наличии прямой радиовидимости между корреспондирующими абонентами, так и при ее отсутствии.

Необходимо использовать механизм ретрансляции через адаптер постов, находящихся в зоне радиовидимости.

Жизнеобеспечение измерительных станций должно обеспечиваться устройствами сетевого питания с контуром бесперебойного энергоснабжения,

210

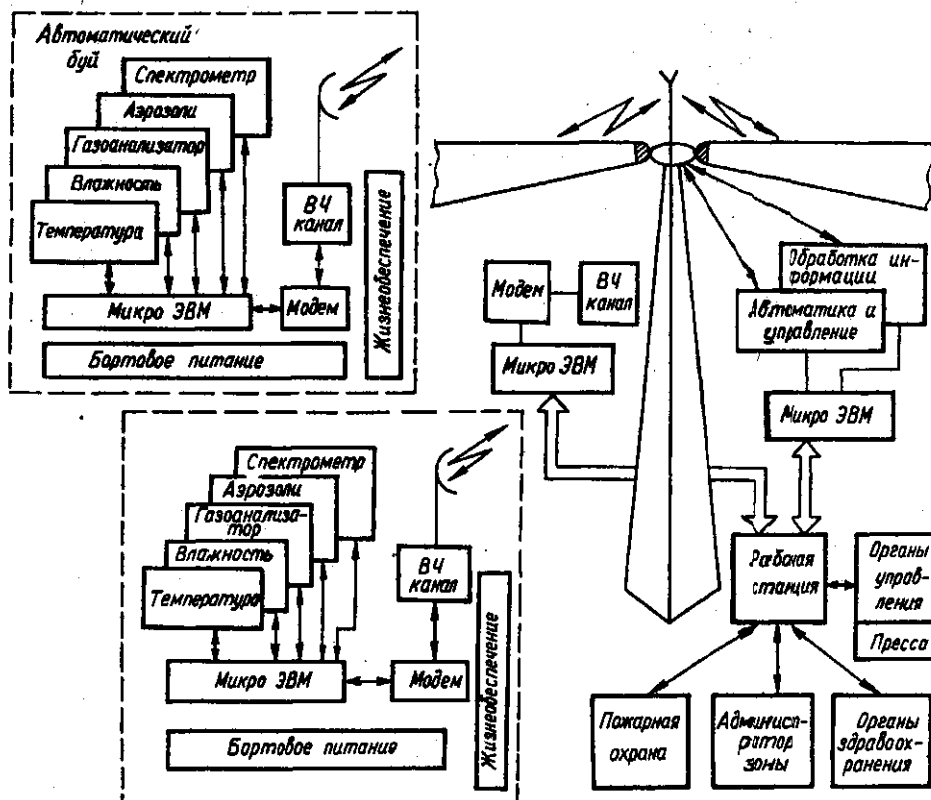


Рис. 1.

а также резервным автономным питанием. На рис. 1 представлена блок-схема системы обнаружения и сигнализации о пожарах в Зоне отчуждения ЧАЭС. Центральный пункт системы должен осуществлять функции сбора, обработки и выдачи информации. Технической базой центрального пункта должны быть электронно-вычислительные комплексы, объединенные в локальную вычислительную сеть, которая обеспечивает поступление информации от системы на следующие пульты (видеотерминалы):

- администрации Зоны;
- пожарной охраны Зоны;
- центра управления аварийно-восстановительными работами.

Центральный пункт системы должен обеспечивать выполнение следующих функций

[5]:

сбор, регистрация, обработка данных о пожарных, радиационных и метеорологических параметрах;

сигнализация отклонений параметров от контрольных значений;

прогноз пожарной и радиационной обстановки на основе данных измерений динамических и математических моделей;

оформление в автоматизированном режиме отчетной документации;

организация накопления, учета и архивирования отчетной информации;

обмен информацией с другими системами мониторинга Зоны отчуждения ЧАЭС;

контроль и диагностика комплекса технических средств.

211

Центральный пункт системы должен быть оснащен метеомачтой, на которой размещаются датчика скорости и направления ветра, а также датчик для градиентных температурных намерений.

Средства приема и передачи данных должны представлять собой агрегатированный комплекс программно-технических средств, обеспечивающих надежный информационный обмен между измерительными станциями и центральным пунктом системы.

В состав средств передачи данных должны входить унифицированный адаптер с программным обеспечением, радиомодем и радиостанция.

Конструктивное исполнение аппаратных средств системы должно соответствовать следующим критериям:

- 1) обеспечение работоспособности в заданных условиях эксплуатации;
- 2) единство подхода к программному обеспечению и функциональному построению конструкций;
- 3) функциональная законченность на каждом конструктивном уровне;
- 4) возможность сервисного обслуживания.

В зависимости от назначения и условий размещения аппаратура системы конструктивно должна выполняться в виде стоечной аппаратуры и пультов.

В основу создания программного обеспечения системы должны быть положены критерии минимизации стоимости работ за счет развития средств технологии программирования и разработки алгоритмов и программ, а также получения высоконадежного, гибкого и документированного программного обеспечения, допускающего оперативное внесение коррекций по результатам эксплуатации.

Необходимо разработать базовое и прикладное программное обеспечение, методы создания программных компонентов, реализующих режимы реального времени и конструирования циклограмм.

Для ЭВМ необходимо использовать операционную систему VAX/VMS, которая должна являться базовой в различных применениях систем реального времени и обеспечивать организацию вычислительного процесса в режимах реального времени, разделения времени и пакетной обработки.

Для управления локальной вычислительной сетью должны использоваться операционные системы NET WARE 486 (NET WARE VMS). Средством, защищающим информацию, должна являться система отслеживания транзакций (TTS).

Для ЭВМ типа IBM/PC должна использоваться операционная система MS/DOC.

Каждое множество программ контроля реального времени должны иметь иерархичную структуру: множество программ режима, функциональной системы и функциональных модулей.

Информационное обеспечение системы должно строиться по принципу:

- 1) выполнения информационной совместимости системы по всем уровням;
- 2) унификации состава и способов представления информации;
- 3) единой структуры фонда информации;
- 4) единой структурной и знаковой моделью объектов информации.

Высокая надежность системы должна обеспечиваться следующими программно-техническими и организационными мерами:

- 1) структурным резервированием аппаратуры;
- 2) реализацией методов реконфигурации структуры;
- 3) алгоритмическим и программным контролем вычислительного процесса;
- 4) выбором радиоэлементной базы повышенной радиационной стойкости;
- 5) прогнозированием надежности аппаратуры в процессе эксплуатации. i

212

Центральный пункт должен являться многофункциональной, восстанавливаемой и обслуживаемой системой длительного пользования.

Контроль работоспособности аппаратуры должен осуществляться с помощью встроенной аппаратной проверки (контроль по паритету MOD 2), фоновых тестов и периодической поверки.

Ввод информации в систему должен предусматривать: загрузку программного обеспечения, ввод данных в базу данных, ввод команд оператора, ввод начальных значений параметров, ввод описания структуры выходных документов, настройку системы отображения информации и контроль достоверности входных данных.

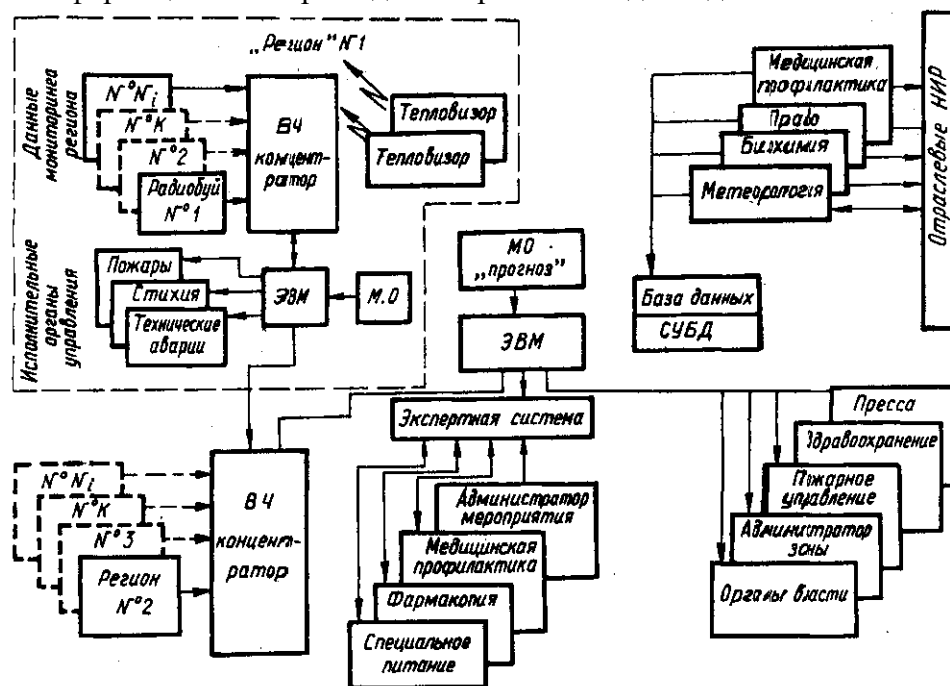


Рис. 2.

Организационной основой центрального пункта (рис. 2) должна быть экспертная система, которая бы:

- моделировала развитие пожара и миграцию радионуклидов воздушным путем;
- предсказывала возможные радиационные последствия от лесных пожаров;
- рекомендовала превентивные мероприятия по уменьшению возможности пожаров в лесах (создание минеральных полос путем вспашки вдоль лесных опушек и просек, постоянная "очистка" лесов от сухостоя, обработка пожароопасных лесов с высоким уровнем радиационного загрязнения скрепляющими гидрофобными растворами и др.);

- осуществляла тренаж командного состава пожарных служб и администрации Зоны отчуждения.

Следует отметить, что необходимым условием успешной реализации поставленной задачи является не только качественная разработка средств контроля, передачи и обработки информации, а также информационного и матобеспечения, но и подготовка высококвалифицированного персонала для обслуживания системы обнаружения и сигнализации о пожарах.

1. Однолько А.А. Исследование вторичной радиационной опасности при пожарах объектов с повышенным загрязнением радионуклидами. Автореф. дис. канд. техн. наук. - М., 1995. - 26 с.
2. Абдурагимов И.М., Однолько А.А. Пожары в радиационно загрязненных территориях // Природа. - 1993. - № 1. - С. 28-30.
3. Оценка выноса радионуклидов при пожарах лесов и торфяников в 30-километровой зоне ЧАЭС: Отчет ОПАЭ ИЯИ НАН Украины (НИР по х/д 1/93с УДК НПО "Припять"), инв. НА. - 12. Киев-Чернобыль, 1993. - 91 с.

4. Азаров С.И. Основные подходы к разработке концепции противопожарной защиты зоны отчуждения ЧАЭС // Экология АЭС: Сборник матер. научн. семинара 4-8 октября 1993. - Одесса, 1993. - С. 10-11.

5. Концепция пожарной защиты зоны отчуждения ЧАЭС / С.И. Азаров, В.В. Токаревский, А.А. Однолько // Чорнобильська аварія, її наслідки та проблеми її подолання: Тези доповідей, Київ, 20-21 квітня, 1994. - С. 88.

Институт ядерных исследований НАН Украины, Отделение проблем атомной энергетики, Киев
Поступила 15.03.95

214

УДК 621.039

А. С. Вишнеvский, И. Б. Кузьмина, В. Н. Ткач, В. В. Токаревский
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ
ОБЪЕКТА "УКРЫТИЕ"**

Проведены экспериментальные исследования химического и фазового состава радиоактивных новообразований объекта "Укрытие" с использованием рентгеновского и локального электронно-фондового методов анализа вещества. Показано, что выщелачивание урана происходит в результате воздействия щелочно-карбонатных растворов, миграция урана осуществляется в форме двойного щелочно-карбонатного комплекса $\text{Na}_4[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]$. В минеральной ассоциации новообразований обнаружены карбонаты, сульфаты, галит и, возможно, сульфато-карбонаты. Сделано предположение об образовании в условиях объекта "Укрытие" натрийуранилтетракарбоната $\text{Na}_6(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_4$, до сих пор не описанного в литературе. Ключевые слова: объект "Укрытие", топливосодержащие массы, кристаллы, минеральный состав, уранилкарбонаты

ВВЕДЕНИЕ

Для выбора оптимальных методов решения отдельных аспектов проблем преобразования объекта "Укрытие" (ОУ) в экологически-безопасную систему необходимы достоверные сведения о современном состоянии радиоактивных масс на ОУ и изменении их: в ршїях реального времени. Это требует проведения детальных комплексных исследований процессов выщелачивания радиоактивных элементов из топливосодержащих материалов (ТСМ), миграции их в окислительных условиях зоны гипергенеза и образования парагенезисов радиоактивных минералов. Настоящая работа посвящена изучению химического и фазового состава новообразований ТСМ, впервые появившихся на ОУ в 1990 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА
ОБРАЗЦОВ НОВООБРАЗОВАНИЙ ИЗ ОУ

Образцы новообразований представляют собой относительно плотные мелкозернистые корочки с наростами на них сростками бесцветных прозрачных, белых и желтых кристаллов размером от нескольких до десятков и даже сотен микрометров. Визуальное изучение образов позволило сделать предварительное заключение о значительном разнообразии кристаллических индивидов и присутствии з них нескольких минеральных видов.

Исследование элементного состава проведено методом электронно-зондового анализа на установке РЭМ БС-340 с помощью энергодисперсионной системы Link-860 [1-3]. Локальная чувствительность метода составляет 10^{-12} - 10^{-16} г анализируемого вещества при величине исследуемой зоны $\sim 0,1$ - $1,0$ мкм, относительная погрешность определения 10^{-2} - 10^{-1} %.

Препарат из отобранных проб на ОУ закреплялся на липкой ленте, для снятия статического заряда образцы напылялись тонким слоем ($40 \text{ \AA}$) золота.

Необходимо отметить, что анализ частиц с размерами меньше области генерации рентгеновского излучения имеет специфические особенности. Например, помимо характеристического излучения от исследуемой частицы, может регистрироваться излучение от элементов близлежащих фаз; некоторые образцы под воздействием электронного пучка могут разрушаться.

© А. С. Вишнеvский, И. Е. Кузьмина, В. Н. Ткач, В. В. Токаревский, 1996

215

Ускоряющее напряжение, кВ	Глубина выхода, мкм		Содержание элементов, %	
	Na	U	Na	U
10	0,9	0,8	18,7	81,3
15	1,8	1,7	7,2	92,8
20	2,3	2,1	2,4	97,6
30	3,1	2,3	2,4	97,6

В табл. 1 приведена зависимость глубины выхода рентгеновского излучения $\text{NaK}\alpha$ и $\text{UM}\alpha$ от ускоряющего напряжения электронного зонда (расчет выполнен с применением метода Монте-Карло [1, 2]) и соответствующие концентрации натрия и урана для одного из исследованных кристаллов (рис. 1, а).

Наблюдается почти линейное увеличение глубины выхода характеристического $\text{NaK}\alpha$ -излучения с ростом энергии электрононого пучка, в то же время аналогичное значение для $\text{UM}\alpha$ выходит на насыщение.

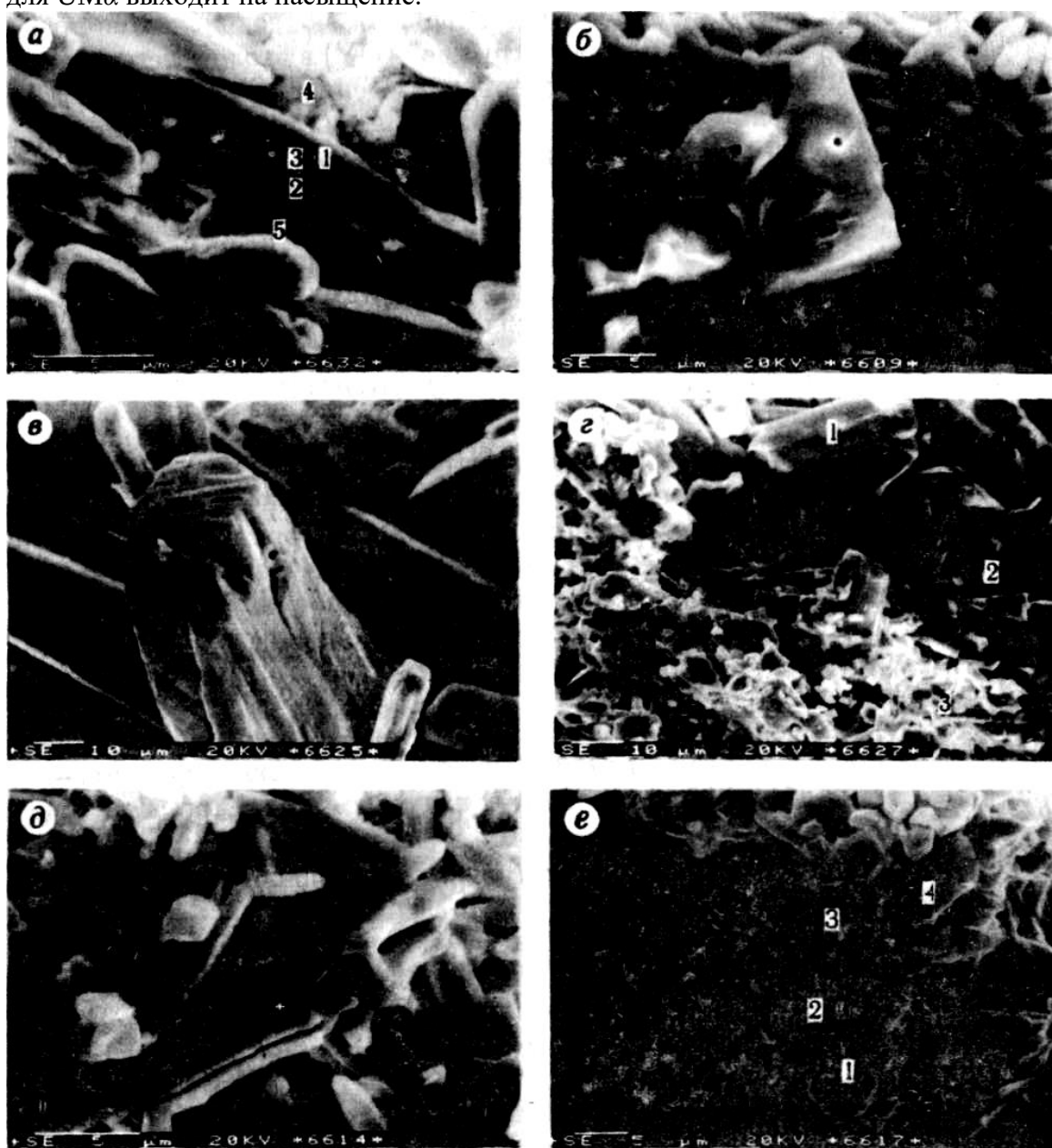


Рис. 1. Растровомикроскопические снимки кристаллов новообразований:
6632 - натрийуранилкарбонат; 6609 - сульфато-карбонат уранила и натрия; 6625, 6627 (1, 2) - трона;
6627 (3) - тенардит; 6614(+) - Na-арканит; 6617 (1, 2, 4) - галит.

Следовательно, исследованный кристалл имеет сложное слоистое строение, верхние слои его обогащены натрием, а в центральной области соотношение концентраций урана к натрию существенно увеличивается. При анализе образцов с использованием стандартных поправок на флуоресценцию, атомный номер и поглощение следует ожидать увеличения суммарной концентрации элементов в образце, что необходимо учитывать при обсуждении экспериментальных результатов.

Особый методический интерес представляют собой исследования новообразований на устойчивость к воздействию на них электронным зондом. На рис. 1,а представлен снимок кристалла, на поверхности которого видны лунки от воздействия электронным пучком. В табл. 2 даны концентрации основных элементов в кристалле натрийуранилкарбоната, определенные для одного участка кристалла при различной продолжительности анализа.

Таблица 2

Номер анализа	Время, с	Содержание элемента, %					
		Na	Si	S	Cl	Fe	U
1	50	16,7	0,6	0,0	0,6	0,2	60,4
2	250	11,5	0,4	0,0	0,6	0,1	68,5
3	350	8,4	0,3	0,0	0,7	0,1	72,7
4	500	5,7	0,3	0,0	0,9	0,0	72,0

При длительном воздействии электронного зонда на образец наблюдается уменьшение содержания элементов Na, Si и Fe, в то же время увеличивается содержание U и Cl. Образовавшиеся лунки свидетельствуют о стравливании верхних слоев кристалла. Таким образом, получено распределение элементов по глубине кристалла. Поэтому становится актуальным вопрос выбора времени набора спектра.

Таблица 3

Номер анализа	Время анализа, с	Содержание элемента, %				
		Na	Si	S	Cl	Fe
1	20	20,3	0,05	0,9	0,5	57,3
2	60	16,4	0,5	0,6	0,0	61,5
3	120	14,8	0,4	0,7	0,2	65,0
4	60	22,5	9,9	0,6	0,1	38,2
5	60	6,4	6,0	0,4	0,0	17,8

На рис. 1,а отмечены точки (1-3), в которых выполнены анализы при разном времени набора рентгеновского спектра, а в табл. 3 даны соответствующие значения концентраций основных элементов, анализы 4, 5 характеризуют состав нижележащего зерна. Видно, что составы "подложки" и кристалла существенно различаются, следовательно, анализы 1-3 отражают состав только исследуемого кристалла, "вклада" нижележащего зерна, нет. Это указывает на принципиальную возможность выбора оптимального времени анализа для исследования новообразованных монокристаллов по глубине.

У рассмотренного кристалла также наблюдается увеличение содержания урана от периферии к центру зерна (от 57 до 65%).

Для диагностики минералов были использованы рентгеновский и локальный электронно-зондовый методы анализа вещества. Препараты для рентгенографических

исследований были изготовлены при визуальном отборе образцов с помощью бинокулярного микроскопа при увеличении до 100. Порошок с размером зерен порядка 1 мкм помещали в стеклянный капилляр диаметром 200 мкм.

Рентгенограммы получены на установке УРС-55 на нефилтрованном $\text{FeK}\alpha$ -, β -излучении. Идентификацию фаз проводили путем сравнения полученного набора межплоскостных расстояний d/n со справочными данными [5-7].

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ НОВООБРАЗОВАНИЙ

К достоверно установленным минералам мы относим трону и натрийуранилтрикарбонат, идентифицированные по рентгеновским данным и подтвержденные локальным электронно-зондовым анализом.

Трона – $\text{Na}_3\text{H}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - главная составляющая белых корок. Кристаллы троны образуют незакономерные сростки, в которых преобладают индивиды в несколько десятков микрометров. Изредка встречаются кристаллы, размеры которых достигают 200÷250 мкм в длину при поперечном сечении 30-50 мкм. Растрово-микроскопические снимки кристаллов троны представлены на рис. 2. Химический состав различных кристаллов троны приведен в табл. 4. Общее количество элементов примесей (K, Si, S, U) в кристаллах троны составляет десятые доли и не превышает 1% мас.

Таблица 4

Оксид	Теоретический состав	Содержание оксида в кристалле, мас. %		
		6625	6627-2	Д-22
Na_2O	41,15	53,06	43,01	52,57
K_2O		0,05	0,10	0,18
SiO_2		0,13	0,36	0,00
SO_3		0,00	0,12	0,85
UO_3		0,23	0,17	0,00
CO_2	38,94	$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
H_2O	19,91	46,53	56,24	46,38
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0

Натрийуранилтрикарбонат - $\text{Na}_4(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_3$ - единственный из исследованных нами урановых минералов, который диагностирован рентгеновским методом. Химический состав исследованных кристаллов приведен в табл. 5. Анализ табл. 5 показывает, что массовое отношение $\text{UO}_3:\text{Na}_2\text{O}$ в исследованных кристаллах колеблется в пределах 2,05-2,59 и близко к таковому для натрийуранилтрикарбоната (2,30). Поскольку кристаллы уранилкарбоната могут иметь непостоянный по зонам химический состав (см. табл. 2), определение в новообразованиях натрийуранилтрикарбоната, составляющего основную массу желтых скоплений, можно считать убедительным.

Растрово-микроскопические снимки натрийуранилтрикарбоната показаны на рис. 1, в, г. Кристаллы имеют призматический (снимок 6606 - 1, 2) или таблитчатый (снимок 6618 - 3, 4) облик; размеры колеблются в пределах 1-10 мкм. Следует подчеркнуть, что кристаллы не имеют ясно выраженных вершин и ребер. По-видимому, это вызвано воздействием водных растворов, при котором растворение кристаллов начинается с вершин и ребер.

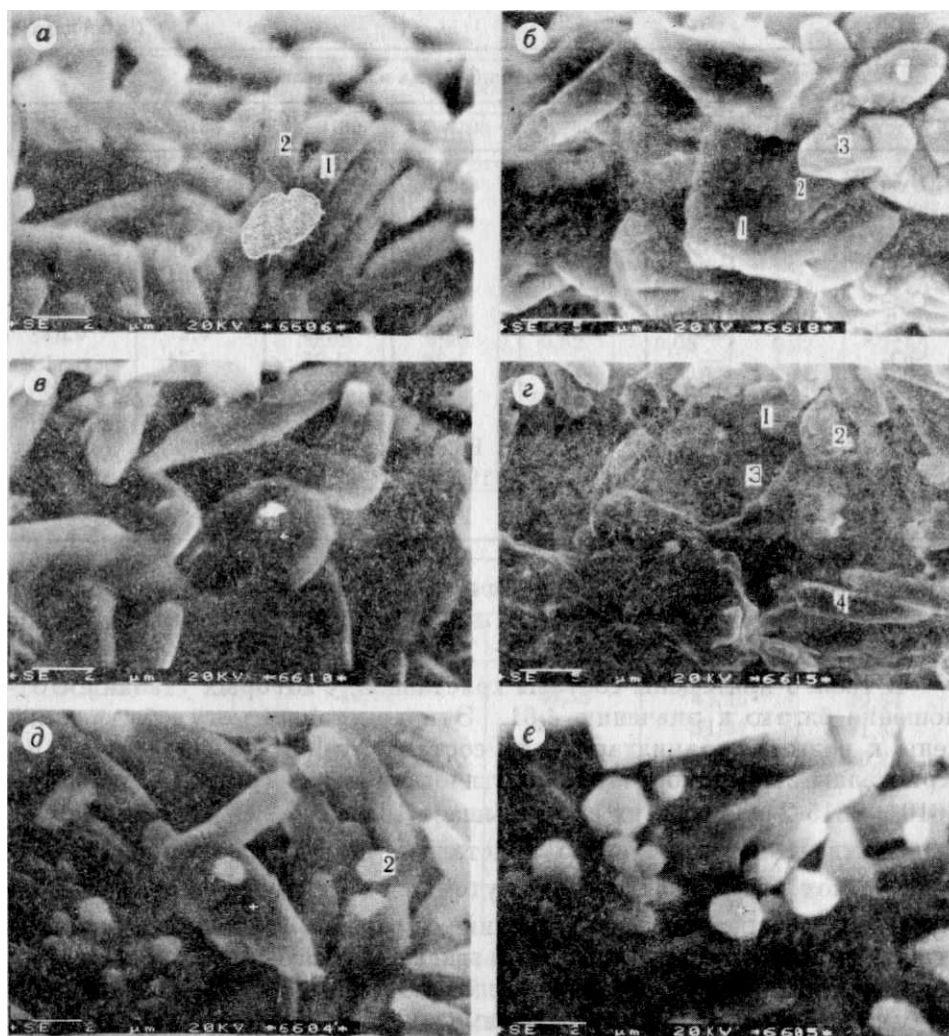


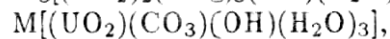
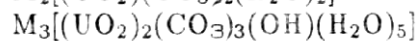
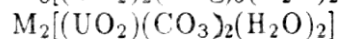
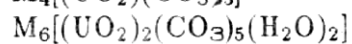
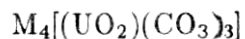
Рис. 2. Урановые минералы объекта "Укрытие":

6608 (1, 2), 6618 (3, 4) - натрийуранилтрикарбонат; 6610 (+), 6615 (2) - натрийуранилдиаквадикарбонат; 6604 (+, 2), 6605 (+) - натрийуранилтетракарбонат.

Заметим, что натрийуранилтрикарбонат известен как синтетическое соединение, в литературе отсутствуют сведения об его образовании в природных условиях.

Многочисленные анализы кристаллов, содержащих уран и натрий, показывают, что многие из них не могут быть отнесены к натрий-уранилтрикарбонату. Химический состав таких кристаллов приведен в табл. 6, 7, 8.

Семейство комплексных карбонатов уранила имеет вид



где символом М обозначены ионы Na^+ , K^+ , Ba^{2+} и т.п. [8-10]. Состав карбонатов уранила для $M=Na^+$ и соотношения в соединениях ионов и оксидов приведены в табл. 8.

Оксид	Содержание оксида в кристалле, мас. %					
	6606-1	6606-2	6618-3	6618-4	6619	В-4
UO ₃	66,03	66,76	69,07	63,64	68,19	64,68
Na ₂ O	26,04	25,03	33,90	30,18	32,78	29,55
K ₂ O	0,81	0,71	0,28	0,31	0,46	1,56
CaO	0,00	0,25	0,00	0,01	0,01	0,00
CeO	0,00	0,63	0,00	0,23	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	0,61	0,00	0,10	0,00	0,27	0,01
SiO ₂	-	-	1,28	1,25	1,74	-
SO ₃	0,00	0,00	1,12	1,02	0,42	0,00
Cl	0,69	0,87	0,83	0,47	0,12	0,59
CO ₂	Не определялось					
Сумма	94,18	94,25	106,58	97,51	104,28	96,39
UO ₃ /Na ₂ O	2,45	2,59	2,02	2,06	2,05	2,08

Для отнесения представленных в табл. 5, 6, 7 кристаллов к определенному соединению из семейства карбонатов, используем отношение оксидов UO₃:Na₂O.

В табл. 6 приведены составы кристаллов, у которых указанное отношение близко к значению 4,61. Эти кристаллы могут быть отнесены к водному уранилкарбонату состава Na₂[(UO₂)(CO₃)₂•(H₂O)₂]. Кристаллы имеют короткопризматический облик (рис. 2, в, г; кадры 6610+; 6615-2), размер их не превышает 10 мкм.

Значительное количество кристаллов имеет отношение UO₂²⁺:CO₃²⁻, которое является промежуточным между значениями UO₂²⁺:CO₃²⁻ для известных соединений семейства карбонатов уранила (табл. 7). Наиболее вероятным объяснением этого представляется неоднородность (слоистость) кристаллов, которая может быть обусловлена быстро изменяющимися условиями их роста. Снимки показаны на рис. 2, г (кадры 6615-1; 6615-4).

Особого внимания заслуживают результаты, приведенные в табл. 8. Как видно из таблицы, отношение UO₃:Na₂O составляет 1,44-1,50, что значительно меньше такового для минимального в семействе натрийуранилкарбонатов значения - 2,3, соответствующему молярному отношению UO₂²⁺:CO₃²⁻=1:3 (натрийуранилтрикарбонат). Возможность существования карбоната уранила с отношением UO₂²⁺:CO₃²⁻, равный 1:4, ранее предполагалось [11].

Таблица 6

Оксид	Содержание оксида в кристалле, мас. %			
	6610	6615-2	6621-3	Теорет. состав
UO ₃	63,52	67,26	50,08	60,59
Na ₂ O	14,65	14,60	10,34	13,14
K ₂ O	0,00	0,53	0,11	-
Fe ₂ O ₃	0,30	0,19	0,11	-
SiO ₂	Не опр.	0,29	0,29	-
SO ₃	0,00	0,45	0,17	-
Cl	0,58	0,00	0,17	-
CO ₂ +H ₂ O	Не определялось			18,64
Сумма	79,05	83,32	61,25	100,00
UO ₃ :Na ₂ O+K ₂ O	4,33	4,46	4,79	4,61

220

Таблица 7

Оксид	Содержание оксида в кристалле, мас. %					
	6604-1	С-6	6615-1	6615-4	6621-1	6615-3
UO ₃	54,55	60,48	60,18	65,29	64,23	63,03
Na ₂ O	18,96	21,45	14,22	18,93	17,96	11,53
K ₂ O	0,42	0,89	0,79	0,70	0,22	0,35
Fe ₂ O ₃	0,39	0,00	0,00	0,06	0,06	0,00
SiO ₂	Не определялось		0,26	0,89	0,46	0,00
SO ₃	0,00	0,00	0,82	0,08	0,32	0,80
Cl	0,32	0,73	0,22	0,33	0,34	0,50
CO ₂ +H ₂ O	74,64	86,55	76,49	86,28	83,59	76,31
Сумма	2,81	2,70	4,01	3,32	3,50	5,30
$x = \text{UO}_3:\text{CO}_3$	$3 > x > 2,5$		$2,5 > x > 2,0$		$2,0 > x > 1,5$	

Таблица 8

Оксид	Содержание оксида в кристалле, мас. %			
	Теоретический состав	6604-2	6605	6611
UO ₃	44,14	43,35	45,16	49,54
Na ₂ O	28,70	29,78	31,39	31,80
K ₂ O	-	0,04	0,08	0,38
Fe ₂ O ₃	-	0,27	0,00	0,38
Cl	-	0,36	0,21	0,00
CO ₂	27,16	Не определяюсь		
Сумма	100,00	73,80	76,84	82,93
UO ₃ :Na ₂ O	1,54	1,45	1,44	1,50

Морфология кристаллов, состав которых приведен в табл. 8, отличается от других карбонатов уранила, обнаруженных в новообразованиях ОУ. Снимки приведены на рис. 2, д, е. Это таблитчатые кристаллы гексагональной формы, размером менее 5 мкм, которые

находятся в ассоциации с другими натриевыми карбонатами уранила, иногда нарастают на них (рис. 2, д, кадр 6604 (+ и 2)).

Можно предположить, что в специфических условиях ОУ образуются натриевый карбонат уранила с отношением $\text{UO}_2^{2+}:\text{CO}_3^{2-} = 1:4$, т.е. натрийуранилтетракарбонат, $\text{Na}_6(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_4$. Действительно, если сопоставить составы этого соединения и кристаллов новообразований, то они оказываются очень близкими (табл. 9).

Среди исследованных кристаллов, кроме урана и натрия, были обнаружены содержащие также 25÷30% (мас.) серы. Химический состав кристаллов сульфатокарбонатов приведен в табл. 10, снимок одного из кристаллов показан на рис.1, б, кадр 6609(+). Соотношения $\text{UO}_2^{2+}:\text{CO}_3^{2-}:\text{SO}_3$ в этих кристаллах не соответствуют таковым для известных сульфатных соединений уранила, как природных, так и синтетических.

Как следует из табл. 10 содержание в кристаллах указанных элементов в сумме не дает 100%. Другие элементы, которые могут быть определены электронно-зондовым анализом, в исследованных кристаллах не обнаружены. Поэтому дефицит в анализе можно объяснить присутствием в кристаллах CO_2 и H_2O .

221

Таблица 9

Натрийуранилкарбонат	Соотношение ионов $\text{UO}_2^{2+}:\text{CO}_3^{2-}$	Концентрация, %			Массовое отношение $\text{UO}_2:\text{Na}_2\text{O}$
		UO_3	Na_2O	CO_2	
$\text{M}_4[(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_3]$	1:3,0	52,76	22,88	24,36	2,30
$\text{M}_6[(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_5 (\text{H}_2\text{O})_2]$	1:2,5	56,41	18,34	21,70	3,07
$\text{M}_2[(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_2 (\text{H}_2\text{O})_2]$	1:2,0	60,59	13,14	18,64	4,61
$\text{M}_3[(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_2 (\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5]$	1:1,5	63,84	10,38	14,73	6,15
$\text{M}[(\text{UO}_2)(\text{CO}_3) (\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_3]$	1:1,0	67,45	7,31	10,38	9,23

Однако присутствие в кристаллах воды необязательно, так как она не изменяет отношения $\text{UO}_3:\text{Na}_2\text{O}:\text{SO}_3$. Такие минералы мы относим к сульфатокарбонатам уранила и натрия.

Отметим, что под электронным зондом, как это видно на снимке, кристалл сульфатокрбоната разрушается. Это может быть косвенным доказательством того, что в кристаллической решетке минерала присутствует вода.

Таблица 10

Оксид	Содержание оксида в кристалле, мас. %	
	6609-1	В-7
UO_3	27,95	8,17
Na_2O	23,13	42,31
K_2O	0,70	0,32
SO_3	25,57	31,85
$\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$	Не определ.	Не определ.
Сумма	77,35	82,69

Исходя из химического состава кристаллов, определенного расчетным путем по результатам локального электронно-зондового анализа, в качестве самостоятельных минеральных видов в новообразованиях также определены: Na-арканит $[(\text{K}, \text{Na})_2\text{SO}_4]$, рис. 1; тенардит (Na_2SO_4), рис. 2, кадр 6627-3; галит (NaCl), рис. 1, кадр 6617-1,2. Из-за ограниченного объема статьи мы опускаем их описание.

ВЫВОДЫ

Полученные данные позволяют сделать следующие выводы:

1. Новообразования ОУ образуют минеральную ассоциацию, в которую, в частности, входят карбонаты и сульфатокарбонаты уранила. Урансодержащие кристаллы имеют неоднородное (слоистое) строение, концентрация урана увеличивается от периферии к центру. Зональность кристаллов может быть обусловлена быстро изменяющимися условиями их образования.

2. В минеральной ассоциации новообразований обнаружены карбонаты, сульфаты, галит и сульфатокарбонаты.

Достоверно установлены натрийуранилтрикарбонат (до сих пор известный как синтетическое соединение) и трона.

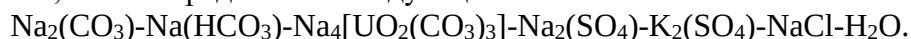
На основании расчетов по результатам локального электронно-зондового анализа определены: натрийуранилкарбонаты с различным отношением $\text{UO}_2^{2+}:\text{CO}_3^{2-}$ (водные и безводные), тенардит, На-арканит, галит, сульфатокарбонаты уранила и натрия.

222

Сделано предположение об образовании в условиях ОУ до сих пор не описанного в литературе натрийуранилтетракарбоната. Кристаллы натрийуранилтетракарбоната находятся в ассоциации с другими карбонатами уранила, иногда нарастают на них.

3. Миграция урана в специфических условиях ОУ осуществляется в форме двойного щелочно-карбонатного комплекса $\text{Na}_4[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]$.

4. Водно-солевую систему, определяющую минеральный парагенезис новообразований, можно представить следующим составом:



5. Выщелачивание урана из ТСМ ОУ происходят в результате воздействия щелочно-карбонатных растворов, которые могут образовываться из атмосферных осадков, поверхностных грунтовых вод, системы пылеподавления на ОУ, и т.п.

6. Минералы, слагающие новообразования, кристаллизуются (выпадают в осадок) при испарении щелочных вод карбонатно-сульфатного состава.

7.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментальные результаты, полученные при изучении химического и фазового состава новообразований ОУ, подтвердили перспективность выбранного направления и эффективность принятой комплексной методики исследований.

Полученные результаты являются первым шагом на пути обоснования генезиса новообразований на ОУ и изучения их состава. Представленные данные, в связи с ограниченным объемом данной публикации, лишь в общих чертах отражают химический и фазовый состав исследованных новообразований.

Для выяснения механизмов разрушения ТСМ, идентификации водно-растворимых соединений и форм урана, трансурановых элементов и продуктов деления ядерного топлива необходимы дополнительные комплексные исследования состава различных модификаций ТСМ из различных участков ОУ.

1. *Практическая растровая электронная микроскопия* / Под ред. Яковица. - М.: Мир, 1978.
2. *Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ*. - М.: Мир, 1984. - Т. 2.
3. Echlin P. SEM/1978/1, SEM Inc., AMF O'Hare, Ill., 109.
4. *Электронно-зондовый микроанализ* / Под ред. И.Ф. Боровского. - М.: Мир, 1974.
5. PDF, 1986 (Powder Diffraction File Search Manual, Hanawalt Method, Inorganic phases, 1986).
6. Сидоренко Г.А. Рентгенографический определитель урановых и урансодержащих минералов. - И.: Госгеолтехиздат. 1960. - 116 с.
7. Васильев Е.К., Васильева Н.П. Рентгенографический определитель карбонатов. - Новосибирск, 1980. - 114 с.
8. Липилина И.И. Уранил и его соединения. - М.: Госатомиздат, 1959.
9. Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1958. Доклады советских ученых. - М.: Атомиздат, 1959.
10. Вдовенко В.М. Химия урана и трансурановых элементов. - М., Л.: Изд-во АН СССР, 1960. - 700 с.

11. Терехов В.Я. Минералогия и геохимия редких и радиоактивных металлов. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 290 с.

Межрегиональный научно-технический центр "Укрытие" НАН Украины, Чернобыль
Поступила 15.03.95

223

УДК 616.89 - 0.58+614.7

В. А. Прилипко, З. А. Безверхая
**МЕДИКО-СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ПУБЛИКАЦИЙ О ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ
В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ПРЕССЕ**

Целью настоящего исследования явилось изучение квалитетических характеристик материалов отечественной прессы постчернобыльского периода (1986-1994 гг.): их количественной динамики; проблемно-тематического спектра; особенностей коммуникативной модели с точки зрения воздействия на психоэмоциональное напряжение населения. Проведен анализ 9285 Публикаций по Чернобыльской проблематике, среди них 4460 материалов украинской прессы. Установлено, что публикация постчернобыльского периода, освещавшие медико-социальные аспекты 30-километровой зоны, составляют достаточно большой массив - 30% общего числа. Выявлено существование периодизации количества публикации, освещавших проблемы Зоны отчуждения; особенности коммуникативной модели (ее жанровой и лексической форм); дана характеристика проблемно-тематического спектра.

В условиях обострения экологического кризиса, вызванного быстрым техническим развитием, а также в связи с возрастающей опасностью техногенных катастроф глобальных масштабов, таких, как радиационные, внимание общественности направлено на вопросы взаимодействия человеческого общества и природы. В такой ситуации приобретает значение качество информационного обеспечения населения, которое попало в зону вредных воздействий. Социологические исследования показывают, что обстановка на загрязненных территориях характеризуется высоким уровнем психоэмоциональной напряженности не только в связи с возможным негативным воздействием радиации и слабой социальной защищенностью, но и отсутствием информационного опыта при освещении техногенных катастроф [5, 4].

Журналистика экстремальных ситуаций основывается на существовании реального риска для здоровья и его осознании пострадавшим населением [2]. Поэтому коммуникатор при реализации коммуникативной модели (ее "внешней" (жанровой) и внутренней (лексической) форм) должен ориентироваться на уровень психоэмоциональной напряженности, возникшей вследствие техногенной аварии, предыдущий коммуникативный опыт по проблеме [6].

Изучение материалов средств массовой информации постчернобыльского периода послужит наработке необходимого опыта в информационной стратегии, а также позволит учесть специфику квалитетических характеристик информационного потока в формировании психоэмоциональной напряженности среди пострадавшего населения [1, 3].

Изложенное выше свидетельствует об актуальности и целесообразности изучения количественных и качественных особенностей информационного потока и эффективности коммуникативной модели постчернобыльского периода для улучшения информационной стратегии при экстремальных ситуациях.

Целью настоящего исследования явилось изучение квалитетических характеристик материалов отечественной прессы постчернобыльского периода (1986-1994 гг.): их количественной динамики; проблемно-тематического спектра; особенностей коммуникативной модели (ее "внешней" (жанровой) и "внутренней" (лексической) форм) с точки зрения воздействия на психоэмоциональное напряжение населения.

Проведен анализ 9285 публикаций по Чернобыльской проблематике, среди них 4460 материалов украинской прессы. Количественная динамика публикаций по годам представлена в таблице.

© В. А. Прилипко, З. А. Безверхая, 1996

224

192

На основе изучения публикаций по Чернобыльской проблематике установлено, что материалы постчернобыльского периода, освещавшие медико-социальные аспекты 30-километровой зоны, составляют достаточно большой массив - 30% общего числа. Их количественная динамика несколько отличается от динамики общего информационного потока: значительное увеличение общего числа публикаций происходило в 1986, 1990-1991 (информационный пик), 1993 г., а увеличение материалов о 30-километровой Зоне отмечено в 1986 (пик), 1990, 1992, 1993 гг. Это говорит о концентрации общественного интереса в 1990-1991 гг. на решение проблем пострадавшего населения, которое проживает на загрязненных территориях, в этот период аспекты 30-километровой зоны рассматриваются с точки зрения возможности распространения радиационного загрязнения из зоны на другие территории. И, наоборот, в 1992 г., когда общее количество чернобыльских публикаций уменьшилось, информационная напряженность в связи с негативным воздействием радиации на пострадавшее население стабилизировалось, на передний план выступили медико-социальные и экологические аспекты зоны.

Количественная динамика публикаций

Уровень прессы		Год									
		1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	Всего
Пресса СССР	Публикация,	524	259	188	518	2462	2230				6181
	%	8,48	4,19	3,04	8,38	39,83	36,08				100,00
В том числе до 1991 г.											
Центральная пресса	Публикации,	134	58	77	187	1202	1290	1003			3951
	%	3,39	1,47	1,95	4,73	30,42	32,65	25,39			100,00
Пресса Украины	Публикация,	387	201	106	293	819	553	457	819	825	4460
	%	8,68	4,51	2,38	6,57	18,36	12,40	10,25	18,36	18,50	100,00
Итого		524	259	188	518	2462	2230	1460	819	825	9285

В 1986 г. выявлено наиболее широкий проблемно-тематический диапазон материалов о 30-километровой зоне. В центре внимания прессы такие вопросы:

ликвидация самой аварии, закрытие поврежденного реактора; эвакуация населения из 30-километровой зоны, Чернобыля и Припяти. Газеты писали, что из Зоны отчуждения было эвакуировано около 100 тысяч человек, эвакуация Припяти прошла быстро и организовано - не более, чем за три часа ("Медицинская газета", 11.06.86);

медицинское обеспечение эвакуированных. Отмечалось, что все эвакуированные находятся под динамичным медицинским наблюдением, острой лучевой болезни ни у кого не выявлено ("Деснянская правда", "Литературная газета", 21.05.86 и др.);

решение социальных проблем эвакуированных. Например, "Правда" (16.12.86) писала: "Всего переселено 116 тысяч человек. Им оказана материальная помощь. Все они трудоустроены, для них возведено около 12 тысяч жилых домов, более 200 объектов социально-бытового назначения";

состояние здоровья пожарников и работников ЧАЭС. В газете "Известия" (19.09.86) подчеркивалось: "всего было госпитализировано триста человек, у 203 из них установлена острая лучевая болезнь с различными степенями тяжести,..., 31 человек скончались, в том числе - 6 пожарных, а также двое работников станции..., ни одного человека с лучевой болезнью среди населения нет";

радиационная обстановка в Зоне отчуждения и принятые в связи с этим меры защиты для работающих там. В прессе отмечалось, что принята предельно допустимая доза для работающих в Зоне - 25 Р, которая не может повредить здоровью, каждому работающему

выдаются индивидуальные дозиметры, средства защиты, спецодежда ("Медицинская газета", 11.06.86);

специфика и сложности работы в Зоне отчуждения. Писалось, что главное рассчитать время пребывания человека на открытом пространстве, работа по схеме: два часа работы, четыре - отдыха, но так, чтобы каждый не более 6 часов в сутки, такая схема гарантировала темп и безопасность; необходимость прокладывать трассу через 30-километровую зону для перевозки грузов в режиме "работа и строительство одновременно"; эксплуатация станции вахтовым методом, обслуживающий персонал приезжает на работу на определенный срок, для этого построен поселок вахтовиков в Зеленем Мысе и т.д. ("Известия", 2.06.86; 23.09.86; "Комсомольская правда", 7.05.86).

Основными информационными жанрами этого периода были расширенная информация, хроника событий, очерк, репортаж, интервью с очевидцами и специалистами.

В освещении хода ликвидации аварии и последующей работы в Зоне отчуждения сказалась политика сокрытия правды, как печаталось в газетах последующих годов, многим ликвидаторам не сообщалась или умышленно занижалась накопленная ими доза облучения, не выдавались необходимые средства защиты, а под прославлением героических усилий скрывался ненужный, неоправданный риск для здоровья людей.

Лексическая сторона материалов о 30-километровой зоне в целом не составляла особых трудностей из-за насыщенности специальной лексикой и терминами. Возникшие словесные обозначения новых реалий могли представлять трудности лишь в первые месяцы аварии, но, так как они соотносились с уже употреблявшимися в языке лексическими единицами, то происходило достаточно быстрое их освоение. Исключение составляли не всегда понятные единицы измерений, в связи с чем возможно неадекватное восприятие опасности. Кроме того, наиболее заинтересованной частью читательской аудитории материалов о 30-километровой зоне были работники ЧАЭС и предприятий Зоны отчуждения, ликвидаторы, т.е. люди, которые уже имели коммуникативный опыт, связанный с атомными объектами.

Для материалов, освещавших вопросы 30-километровой зоны, 1987-1989 гг. совпадают с общим периодом информационного спада. Наблюдается заметное снижение количества публикаций по теме, а их проблемно-тематический диапазон сужается.

Основные вопросы, стоявшие в центре внимания этого периода: радиационная обстановка в Зоне отчуждения и то, как она может сказаться на экологии республики из-за миграции радионуклидов; необходимость создания в Зоне отчуждения ЧАЭС предприятий по переработке и захоронению радиоактивных отходов, снижение уровней загрязнения Зоны отчуждения до санитарных норм ("Правда", 28.04.88); "Радянська Україна", 23.04.89; 21.11.69; "Киевская правда", 4.07.89 и др.);

рост заболеваемости среди ликвидаторов ("Труд", 17.92.87; "Комсомольская правда", 15.10.87; "Правда", 28.04.88 и др.);

проблемы самоселов. Например, "Правда" (8.10.88) писала о том, что в Чернобыльский район возвратилось 994 эвакуированных в обход контрольных постов, этим людям не сообщено об уровнях загрязнения их места проживания, за два с лишним года

226

не было даже попытки провести в районе тщательную дезактивацию, на своих участках они выращивают грязную продукцию, чистые продукты питания им не завозятся. Комитет Минатомэнерго, которому передано всю полноту власти в районе, им ничем не помогает, хотя полноценная жизнь здесь будет невозможна на протяжении многих десятилетий.

Доминирующие информационные жанры этого периода - очерки, репортажи, корреспонденции, интервью.

В связи с начавшимся в 1989 г. периоде рассекречивания информации о масштабах и последствиях аварии на ЧАЭС в конце этого года, а также в 1990 число публикаций значительно возрастает.

Больше половины материалов 1990 г. посвящено радиоэкологической обстановке в 30-километровой зоне, ставится вопрос о закрытии ЧАЭС. Газеты сообщали, что здесь около 600 могильников, начиненных радиацией, "рыжий лес" вместе с осевшей на него радиоактивной пылью закопан в песок без элементарных глиняных экранов, которые бы могли хоть как-то сдерживать вымывание радионуклидов, есть места, где радиоактивная грязь лежит прямо в болотной воде, идет процесс растворения в грунтовых водах, где превышены допустимые концентрации в 200-250 раз от допустимых значений по питьевой воде и т.д. ("Вечірній Київ", 22.10.90; "Киевская правда", 26.09.90 и др.).

Достаточно много публикаций, рассказывающих о энергоемкой специфике даже простых работ в Зоне и на пропускных пунктах. Писалось, что для снижения пылеобразования асфальтируются дороги, оборудуются спецплощадки для мытья машин, для тех, кто выезжает из Зоны обязателен дозиметрический контроль, дезактиваторы зоны работают в специальных костюмах и т.д. ("Киевская правда", 7.12.80).

В 1991 г. происходит расширение тематического спектра. В центре внимания газет такие вопросы:

описание пожара на ЧАЭС в октябре 1991 г., героический труд персонала станции, пожарных, критика недостатков и осмысление того, что со времени аварии 1986 г. не многое изменялось. В "Рабочей газете" (23.10.91) говорилось: "Работая в тяжелейших условиях огромного помещения, в крошечном дыму, который так и сочился сквозь швы бетонных перекрытий, находясь под гнетом постоянной угрозы еще более страшных последствий, соизмеримых по масштабам разве что с апрельской ночью 1986 года, они делали свое дело... Прошло уже пять лет после катастрофы, а специализированные пожарные подразделения до сих пор не имеют средств индивидуальной защиты, ни соответствующих медицинских препаратов, ни надежной службы дозиметрического контроля. Даже элементарные "лепестки" стали дефицитом";

радиационная ситуация. Так описывает обстановку в 30-километровой зоне "Голос України" (11.07.91): "...выявлено, что из 800 могильников радиоактивных отходов (РАВ) паспортизирована лишь четверть...", "паспортизации подлежит около 600 траншей и наземных буртов...", "выявлено 24 района локализации радиоактивных отходов с радиоактивностью 380 тысяч кюри..."; "на наиболее загрязненных местах в зоне активность по цезию достигает 22760, по стронцию - 1800, по плутонию - 9,4 кюри на кв. км...", "на двух третьих всей площади тридцатикилометровой зоны загрязненность превышает временные допустимые уровни хотя бы по одному из трех радионуклидов... "по оценкам Института гидрометеорологии АН УССР ежегодно с водами реки Припять в бассейн Киевского водохранилища выносятся 224 кюри, по оценкам НВО "Припять" - 123 кюри...";

морально-этические аспекты жизни Зоны отчуждения. Сообщалось о том, что в Зоне имеет место воровство и продажа краденого радиозагрязненного имущества, оставленного в квартирах, исчезновение машин; существование лишь видимости сухого закона и т.д. ("Культура і життя", 18.05.91);

227

самоселы в Зоне отчуждения не только возвратившиеся жители этих мест, но и люди преступившие закон ("Голос України", 25.12.91 и др.).

1992 г. характеризуется широким освещением вопросов социальной защиты людей, работающих в Зоне, защиты прав персонала НПО "Припять", недостаточным финансированием научно-исследовательских и дезактивационных работ, а также, связанной с этими проблемами, психоэмоциональной напряженностью среди работающих ("Вестник Чернобыля", № 3, 5, 15, 21, 53, 64, 78; "Вечірній Київ", 26.06.92 и др.). Достаточно остро в том году стояли проблемы здоровья людей, которые уже несколько лет работают на станции и предприятиях Зоны, в том числе НПО "Припять" ("Правда Украины", 14.11.92; "Вестник Чернобыля" № 3, 16, 23, 31, 72; "Вечірній Київ", 10.08.92).

Увеличилось количество материалов, содержащих рекомендации и советы специалистов для работающих и проживающих в загрязненной зоне, особенно мною публикаций в "Вестнике Чернобыля" (№ 68, 75, 76, 79, 81, 85 и т.д.).

Радиоэкологическая ситуация в 30-километровой зоне оценивалась прессой неудовлетворительно из-за необходимости обновления могильников, "саркофага", частых пожаров, миграции радионуклидов и т. д. ("Радянська Україна", 14.07.92; "Вестник Чернобыля", № 5, 6, 7, 16, 26, 44, 69 и т.д.).

В "Вестнике Чернобыля" (№ 2) рассказывалось о самоселах Зоны отчуждения, проблемах, связанных с их поддержкой, помощью чистыми продуктами, поставкой воды и т.д.

Продолжает достаточно остро стоять вопрос охраны имущества, эвакуированных от разграбления, торговли крадеными в Зоне вещами и других правонарушений ("Народная армия", 25.02.92).

В этот период возрастает количество материалов сложных информационных жанров - проблемных, критических и аналитических статей, корреспонденции, бесед со специалистами. Эта тенденция прослеживается и в последующие годы анализируемого периода.

В 1993 г. 30-километровая зона продолжает оставаться в центре внимания общественности. На первый план выступают публикации о состоянии объекта "Укрытие", о конкурсе проектов "саркофага", оценивается радиационная обстановка ("Хрещатик", 17.03.93; "Вечірній Київ", 16.02.93; "Вестник Чернобыля", № 2, 9, 11).

Большинство социальных проблем зоны рассматриваются под углом зрения сокращения льгот и компенсаций для работающих там или последствий возможного закрытия ЧАЭС ("Вестник Чернобыля", № 6 и др.).

Публикуется достаточно мною материалов, затрагивающих медицинские аспекты, рассказывающих о специфике питания, способах выведения из организма радионуклидов, укрепления иммунитета ("Вестник Чернобыля", № 3, 11-17, 20 и др.).

В 1994 г. наблюдается некоторый спад количества материалов о Зоне отчуждения. Доминировали такие проблемно-тематические аспекты:

экология Зоны, миграция радионуклидов, опасность загрязнения грунтовых вод. ("Вечірній Київ", 30.09.94; "Київська правда", 18.01; 24.01.94; "Ваше здоров'я", 6.02.94. и др.). "Голос України" (26.04.94) писал, что в Чернобыльской зоне за последний год содержание стронция и цезия во всех водостоках увеличилось в 1,5-2 раза;

нецелесообразность закрытия ЧАЭС в сложившейся экономической ситуации ("Правда Украины", 31.05.94);

228

ухудшение состояния здоровья работающих в 30-километровой зоне, а также ликвидаторов ("Вечірній Київ", 12.07.94); "Ваше здоров'я", 27.07.94; "Голос України", 5.03.94 и др.) и рекомендации специалистов по питанию, режиму труда и отдыха ("Київська правда", 5.05.94; "Вечірній Київ", 1.10.94);

работа органов внутренних дел, трудности, связанные с обеспечением порядка в Зоне отчуждения. Газеты подчеркивали, что отсутствие хорошо охраняемых границ, множество заброшенных помещений, обширные незаселенные одичалые пространства, оставленное при эвакуации имущество и т.д. способствуют росту правонарушений ("Київська правда", 16.06.94).

Таким образом, анализ материалов прессы показал следующее. Выявлена периодизация количества публикаций, освещавших вопросы, касающиеся зоны отчуждения: 1986 г. - информационный пик; 1987 - первая половина 1989 г. - период информационного спада; вторая половина 1989 г. - 1990 г. - период повторного информационного подъема; 1991 г. - период стабилизации; 1992-1994 г. - период увеличения количества публикаций.

Проблемно-тематический анализ публикаций установил основные мотивы обеспокоенности населения, связанные с 30-километровой зоной: ликвидация садовой аварии как причины распространения радиации далеко за пределы Зоны, неудовлетворительная

радиационная ситуация и возможная миграция радионуклидов, слабая социальная защищенность, ухудшение состояния здоровья ликвидаторов и работающих в Зоне отчуждения.

Выявлены такие особенности коммуникативной модели: жанровая динамика материалов поставарийного периода развивалась от простой к более сложной, а лексическая - от более сложной (из-за введения в повседневное употребление специальной лексики и новых слов, отсутствия предыдущего коммуникативного опыта) к более простой (в связи с освоением новой лексики, наработкой коммуникативного опыта).

Материалы по медико-социальным аспектам 30-километровой зоны характеризовались эмоциональной уравновешенностью, даже в раскрытии наиболее острых вопросов, что отличало их от публикаций, затрагивающих проблемы населения, проживающего на загрязненных территориях.

Коммуникативная модель, которая воссоздавала образ Зоны отчуждения, в основном соответствовала возможностям восприятия аудитории, однако была не вполне адекватна образу реальной Зоны из-за существовавших определенных установок в официальной информационной стратегии.

1. Бугрим В.В. Журналістика екстремальних подій (Теоретико-прикладні аспекти) // Журналістика. Преса, телебачення, радіо / Респ. міжвід. наук. зб. - 1990. - № 22.
2. Бугрим В.В. Чорнобильська аварія: оцінка її висвітлення неоднозначна // Журналіст України. - 1989. - № 4.
3. Бугрим В.В. Социально-медицинские аспекты освещения чернобыльских событий в средствах массовой информации // Медицина и средства массовой информации / Под ред. В.И. Покровского, Д.С. Саркисова. - М., 1991.
4. Стегній О. Інформаційна політика в період техногенної катастрофи // Ойкумена. - 1993. - № 2.
5. Ференц В.П., Прилипко В.А., Блызнюк И.Д. Восприятие радиационной обстановки и оценка состояния своего здоровья населением, проживающим в зоне жесткого радиационного контроля // Журнал неврологии и психиатрии. - 1991. - № 11.
6. Эффективность средств массовой информации / Под ред. Г.П. Давидюка, В.С. Коробейникова. - Мн. - Изд.: Наука и техника. - 1986.

Научный центр радиационной медицины Академии медицинских наук Украины Киев
Поступила 15.03.95

229

Е.В. СОБОТОВИЧ, В.М. ШЕСТОПАЛОВ, Р.Я. БЕЛЕВЦЕВ, В.Г. ЯКОВЛЄВ
СТАН ПРОБЛЕМИ ЗАХОРОНЕННЯ І ГЕОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЇЇ ІЗОЛЯЦІЇ

У роботі дано аналіз стану проблеми радіоактивних відходів (РАВ) в Україні, що створився перш за все в результаті Чорнобильської катастрофи. Викладаються концептуальні положення щодо ізоляції РАВ і міркування стосовно етапів дослідження по вибору ділянок для ізоляції РАВ в Україні. З геолого-гідрогеологічних та інженерно-геологічних позицій розглянуто територію України і пропонувані як перспективні для ізоляції РАВ Український щит, і у його межах масиви кристалічних порід - Коростенський, Корсунь-Новомиргородський та Східно-Приазовський, і як найперспективніший - Лугинський гранітний масив Коростенського плутона.

E.V. SOBOTOVICH, V.M. SHESTOPALOV, R.YA. BELEVTSSEV, V.T. YAKOVLEV
STATE OF THE PROBLEM OF BURIAL OF RADIOACTIVE WASTE IN UKRAINE AND GEOLOGICAL ASPECTS OF THEIR ISOLATION

The state of the problem on radioactive waste (RAW) in Ukraine -which arose as a result of the Chernobil disaster is analyzed. Conceptual propositions on isolation of RAW and stages of the study for choice of areas appropriate to bury RAW in Ukraine are described. The territory of Ukraine is considered in the geological and hydrogeological as well as in engineering-geological aspects. The promising areas for RAW isolation are the Ukrainian Shield and crystalline rock massives within its frames: Korostenian, Korsun-Novomirgorodian and East-Azovian; the Luginian granite massif of the Korosten pluton is the most promising one.

В.В. МАРКОВ, Е.В. КЛОЧКО, В.М. ПУШКАРЬОВ, І.П. ПАСТЕР, В.І. РЯСЕНКО, Н.П. СМІРНОВА
"DOWN"-ЕФФЕКТ РЕГУЛЯЦІЇ ЕНДОКРИННОЇ ФУНКЦІЇ ГІПОФЕЗАРНИМ ГОРМОНОМ У ТВАРИН ІЗ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ЧАЕС

Хронічне опромінення у Зоні відчуження ЧАЕС викликає у тварин послаблення "down"-регуляції функції щитоподібної залози високими дозами гіпофізарного гормону. Одночасно спостерігається збільшення мембранного транспорту іонів кальція в її клітинах. При використанні експериментальних моделей показано, що причиною спостережуваних змін мембранного транспорту іонів кальцію можуть бути радіаційні перекисні пошкодження ендокринної тканини, а наслідком таких пошкоджень може бути посилення, відносно інтактного органу, синтезу ДНК у її клітинах у присутності гормонів із ростостимулюючими властивостями.

V.V. MARCOV, E.V. KLOCHKO, V.M. PUSHKAREV, I.P. PASTER, V.I. RYASENKO, N.P. SMIRNOVA

"DOWN"-EFFECT OF THE ENDOCRINE FUNCTION REGULATION BY A PITUITARY HORMONE IN ANIMALS FROM THE CHERNOBYL EXCLUSION ZONE

The "down"-regulation of the thyroid function by high doses of a pituitary hormone becomes weaker under chronic irradiation in the Chernobyl exclusion zone. At the same time the membrane transport of Ca ions a thyroid cells increases.

It is shown by experimental models that the possible cause of observed "down"-effect and Ca-membrane transport is radiation peroxide damage of endocrine cells, in consequence of which the DNA synthesis in these cells, which respect to intact ones, may arise under the influence of growth stimulating hormones.

230

В.Д. ОМЕЛЬЧЕНКО, О.М. ХАРИТОНОВ

СЕЙСМІЧНИЙ МОНІТОРИНГ РАЙОНУ РОЗМІЩЕННЯ ЧАЕС

Розглянуто геологічні та геофізичні основи сейсмічного моніторингу та його практичне застосування для району розміщення ЧАЕС. Приведені результати сейсмічного моніторингу, які можуть бути застосовані при експлуатації та консервації ЧАЕС.

V.D. OMELCHENKO, O.M. KHARITONOV

SEISMIC MONITORING OF THE CHERNOBYL WPP REGION

Geological and geophysical fundamentals of seismic monitoring and practical application of the monitoring for the Chernobyl NPP region are described. Results of seismic monitoring which may be used either for service of the Chernobyl NPP or for putting it in dead storage are presented.

А.В. КЕНДЗЕРА

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ АКСЕЛЕРОГРАМ ВРАНЧЕВСЬКИХ ЗЕМЛЕТРУСІВ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО МАЙДАНЧИКА ЧАЕС

Розглянуто теоретичні аспекти розрахункових акселерограм, що застосовуються для антисейсмічного проектування. Описана методика отримання таких акселерограм, моделюючих проектний та максимальний розрахунковий землетрус із сейсмічної зони Вранча на промислових майданчиках основних інженерних споруд на території України. Методика базується на максимальному застосуванні емпіричної інформації, яка стосується записів землетрусів зони Вранча, які одержані в Молдові, Україні, Білорусі. Практичне застосування методики ілюструється на прикладі генерації розрахункових акселерограм промислового майданчика ЧАЕС.

A.V. KENDZERA

SIMULATION OF CALCULATED ACCELEROGRAMS OF VRANCIA EARTHQUAKES FOR THE INDUSTRIAL SITES OF THE CHERNOBYL NPP

The paper presents theoretical aspects of application of calculated accelerograms for antiseismic design. The procedure for development of these accelerograms simulating design and maximal calculated earthquakes from the seismoactive zone of Vrancea at industrial sites of important engineering constructions in the territory of Ukraine is described. This procedure is supported by maximal use of empiric information which is available from the existing records of Vrancea earthquakes obtained in Moldova, Ukraine and Byelorussia. Practical application of the procedure is illustrated by generation of calculated accelerograms for the industrial sites of the Chernobyl WPP.

198

P.G. PLYUTA, YA.P. DIDUKH

PHYTOINDICATIONAL INVESTIGATIONS IN THE CHERNOBYL NPP EXCLUSION ZONE

The whole complex of landscapes, ecotopes, types of vegetation, and stages of their reestablishment in the Chernobyl exclusion zone is shown in 480 phytosociologic stand made during the years parsed from the Chernobyl accident. Changes in ecological conditions of habitats in the course of demutation and syngenetic processes were estimated according to the main climatic and edaphic factors on the basis of phytoindication scales. Directions of further development of plant communities are presented. The necessity of the constant phytoecological monitoring in the exclusion zone is substantiated.

231

A.S. SOBOLEV, B.S. PRISTER, T.V. ZHALOBINA, V.M. CHERNOBAY, E.J. BOZHENKO

FORMATION OF RADIATION SITUATION ON PRIVATE FARMS (COME-BACKERS) IN THE CHERNOBYL EXCLUSION ZONE

Some people, the so-called "come-backers", continue to live in a number of settlements in the territory of the 30-km zone. These people consume animal and plant products from the evacuation zone.

The ^{137}Cs contamination levels of soil and grass on pastures, as well as milk produced on these pastures were investigated in these settlements.

On the basis of experimental data it is concluded that in private farms, where no radical improvement was applied on the pastures, it is necessary to monitor regularly the levels of milk contamination with radiocaesium and to apply countermeasures. The most practical ways of reducing ^{137}Cs content in milk on private farms of the 30-km zone are milk processing in domestic conditions and applications of sorbents. Processing of milk in domestic conditions provides 1.3-1.5-fold reduction of ^{137}Cs content in the final product. Application of ferrocene reduces ^{137}Cs content in milk 2-2.5 times.

A.K. СУХОПУЧКИН

ДО ПИТАННЯ ПРО КЛАСИФІКАЦІЮ ТВЕРДИХ ВІДХОДІВ, ЩО ВМІЩУЮТЬ ТРИТІЙ, ТА ЇХ ЛОКАЛІЗАЦІЮ У ЗЕМЛЯНИХ СХОВИЩАХ

Запропонована класифікація твердих відходів, що вміщують тритій, по їх питомій активності, яка відповідає відомій класифікації радіоактивних відходів за потужністю дози. Розглянуто можливість і обмеження на локалізацію відходів, що вміщують тритій, в земляних сховищах.

A.K. SUKHORUCHKIN

CONCERNING CLASSIFICATION OF TRITIUM-CONTAINING SOLID WASTES AND THEIR LOCALIZATION IN GROUND STORAGE

Classification of tritium-containing wastes according to their activity which corresponds to the known classification of radioactive wastes according to the dose rate is suggested. Possibilities and limitations of tritium-containing wastes localization in ground storage are discussed.

E.S. ХЕРСОНСЬКИЙ, А.М. ФІЛІПОВ

ЗАЖОРИ ТА ЗАТОРИ КРИГИ НА 60-КІЛОМЕТРОВІЙ ПРИГІРЛОВІЙ ДІЛЯНЦІ р.ПРИП'ЯТЬ

Розглянуто процеси формування заторів та зажорів криги на р.Прип'ять, що визиваються підняттям рівня води до відміток заповнення заплави в Зоні відчуження, внаслідок чого може підвищитися змив радіонуклідів. Наведені сценарії екстремально несприятливих розпитків льодових ситуацій, які сприяють підвищенню надійності прогнозів та ефективності заходів щодо підвищення та ліквідації заторів та зажорів на 60-кілометровій пригирловій ділянці ріки.

E.S. KHEKSONSKY, A.M. FILIPPOV

ICE JAMS AND DAMS IN THE 60 KM LONG MOUTH PART OF THE PRIPYAT RIVER

Processes of formation of intensive ice jams and dams in the Pripyat river are described. They induce a rise of water levels to the marks of the flood-plain inundation in the estrangement zone, which may cause an increased wash-out of radionuclides. Some versions of extremely unfavourable development of ice accumulation situations are described with the aim to make their prediction more reliable and measures for prevention and removal of ice jams and dams in the 60 km long mouth part of the Pripyat river more efficient.

232

A.YU. БОНДАР, В.П. ЗАМОСТ'ЯН, Ж.В. НЕВГАД, А.І. НЯГУ, І.Н. ХОМЕНКО, С.В. ХЛЕВНЮК

СПЕКТР АБЕРАЦІЙ ХРОМОСОМ В ЛІМФОЦИТАХ ПЕРИФЕРІЙНОЇ КРОВІ ОСІБ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ

В роботі проаналізована особиста чутливість геному осіб, що працюють в Зоні відчуження до невеликих доз іонізуючої радіації. Описано закономірності з'явлення хромосомних аберацій в лімфоцитах робітників Зони відчуження. Рекомендовано осіб, що обстежувалися, віднести до групи підвищеного радіаційного ризику, яка потребує постійного та ретельного догляду.

A.YU. BONDAR, V.P. ZAMOSTIAN, J.V. NIVGAB, A.I. NYAGU, I.N. KHOMENKO, S.V. KHLEVNYUK

THE SPECTRUM OF CHROMOSOME ABERRATIONS IN LYMPHOCYTES OF PERIPHERAL BLOOD OF EXCLUSION ZONE PERSONNEL

Workers from the exclusion zone represent one of the critical groups of population exposed to Chernobyl accident factors. Genome of such people is very sensitive to low doses of ionizing radiation. One way of the research that is currently available is based on the analysis of chromosome aberrations in lymphocytes of workers from the exclusion zone. The ionizing radiation and other ecological factors have serious genome impacts. The use of cytogenetical factors for bioindication of radiation impacts may be applied not only for revealing the fact of existence or absence of exposure, but to estimate the level of radiation affection. That population is recommended to be treated as a group with high risk of radiation which requires constant and thorough examination.

М.Ф. ПЕТРОВ

ХАРЧУВАННЯ КАБАНА (*SUS SCROFA* L.) У ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Подано результати посезонного вивчення харчування кабака протягом трьох років за вмістом шлунку. Подається список видів кормових рослин та тварин і дається посезонний спектр інтенсивності споживання їх органів. Висвітлюються значення основних рослинних угруповань Зони відчуження Чорнобильської катастрофи у харчуванні популяції кабана. Особлива увага звертається на підземний корм (35% середньорічного меню), а також на споживання коренів енотери дворічної (*Oenothera biennis* L.), які становлять 26% всього середньорічного меню. Оцінюється сучасний стан кормової бази популяції кабана та прогнозується її динаміка у найближчі 10-15 років.

M.F. PETROV

FEEDING OF WILD BOAR (*SUS SCROFA* L.) IN THE EXCLUSION ZONE OF THE CHERNOBYL ACCIDENT IN THE TERRITORY OF UKRAINE

Investigations of seasonal feed choice of a wild boar have been carried out during a 3-year period on the basis of the stomach content. Results of the investigations are given. A list of forage plants and forage animals is presented. Seasonal intensity of their consumption is evaluated. Main plant assemblages of the exclusion zone of the Chernobyl accident are analyzed for their significance in the diet of a wild boar. Special attention is paid to the role of underground forage (35% of average annual forage), and to consumption of *Oenothera biennis* roots comprising 26% of average annual forage. Recent state of the forage base, and of the wild boar population is estimated. An attempt to predict its dynamics for the nearest 10-15 years is made.

233

В.І. СУДЕНКО, В.С. ПІДГОРСЬКИЙ, В.І. РЯСЕНКО

МІКРОФЛОРА ШЛУНКОВО-КИШКОВОГО ТРАКТА ЧОРНОБИЛЬСЬКИХ НОРОК (САМОК) РІЗНОГО ВІКУ І ІМУНОЛОГІЧНОГО СТАНУ

Встановлені кількісні і видові характеристики бактерій та дріжджів, виділених із корму та шлунково-кишкового тракту норок (самок) різних вікових груп та різного імунологічного стану. Визначений видовий склад бактерій, що складають основну і супровідну мікрофлору тонкого і товстого кишечника норок. Встановлено наростання кількості анаеробних (біфідобактерій), мікро-аерофільних (молочнокислі палички, ентерококи) і аеробних (кишкові палички) бактерій у вмісті товстого кишечника норок порівняно з шлунком і тонким кишечником у всіх обстежених групах тварин різного віку та імунологічного стану.

V.I. SUDENKO, V.S. PODGORSKY, V.I. RYASENKO

MICROFLORA OF THE GASTROINTESTINAL TRACT OF CHERNOBYL SHE-MINKS OF DIFFERENT AGE AND IMMUNOLOGICAL STATE

The quantitative and species characteristics of bacteria, and yeast isolated from the food and gastrointestinal tract of she-minks of different age groups and different immunological state have been established. The species composition of bacteria forming the basic and accompanying microflora of small and large Intestine of minks is determined. An increase in the quantity of anaerobic (bifidobacteria), microaerophilic (lactic acid bacilli, enterococci) and aerobic (intestinal bacilli) bacteria in the content of the large intestine of minks has been established in comparison with the stomach and small intestine in all examined groups of animals of various age and immunological state.

Т.М. МИШУНІНА, Л.М. КАЛИНСЬКА, Л. ПІЛЬКЕВИЧ, В.Я. КОНОНЕНКО,

В.І. РЯСЕНКО, Т.І. БОГДАНОВА

СТАН МЕДІАТОР-МОДУЛЯТОРНИХ СИСТЕМ МОЗКУ НОРОК ПРИ ДІЇ РАДІАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ 10-КІЛОМЕТРОВОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ЧАЕС

В роботі досліджені активність ферментів обміну важливих медіатор-модуляторів центральної нервової системи - аденозину, ангіотензину та ГАМК, а також специфічне зв'язування ¹⁴C-ГАМК синаптичними мембранами структур мозку норок, які різний час (0,5 місяці - 3 роки) знаходилися в умовах 30-кілометрової Зони відчуження ЧАЕС. Показано, що активність аденозіндезамінази, ангіотензинперетворюючого ферменту і глутаматдекарбоксилази суттєво змінюється у гіпоталамусі, стріатумі, гіпокампі, мозочку, корі великих півкуль, довгастому та середньому мозку норок; напрям та ступінь вираженості змін залежить від строку перебування тварин у зоні. Рецептування ГАМК у корі великих півкуль та довгастому мозку прогресивно і значно зростало зі збільшенням часу дії радіації. Різноманітність змін, їх регіонспецифічність та залежність від тривалості перебування тварин і умов дії радіаційних факторів 10-кілометрової Зони відчуження ЧАЕС може бути причиною виникнення тяжких ускладнень не тільки нервової, але і інших систем організму.

T.M. MISHUNINA, L.N. KALINSKAYA, L.I. PILKEVICH, V.YA. KONONENKO, V.I. RYASENKO, N.I. BOGDANOVA.

THE MEDIATOR-MODULATOR BRAIN SYSTEM IN MINKS EXPOSED TO RADIATION FACTORS OF THE CHERNOBYL NPP 10-KM ZONE

The paper is devoted to the study of the activity of the important metabolizing mediators/modulators of the central nervous system: adenosine, angiotensin and GABA as well as specific binding of ¹⁴C-GABA by synaptic

membranes of brain structures in minks who were in the 10-km zone of the Chernobyl NPP from 0.5 months to 3 years. Adenosine deaminase, angiotensin converting enzyme and glutamate decarboxylase activities endured significant changes in the hypothalamus, striatum, hippocampus, cerebellum, cerebral cortex, medulla oblongata, and midbrain of minks; the direction, and the extent of manifestation of those changes depend on the term of animals' stay in the zone. The GABA reception in the cerebral cortex and medulla oblongata increased significantly and progressively with the prolongation of exposure to radiation. It is concluded that the variety of changes, their regional-specificity and dependence on exposure of animals to the radiation factors of the Chernobyl NPP 10-km zone may induce development of serious complications not only in nervous but in some other systems.

234

L.I. NOSOVA, V.I. RYASENKO, N.V. RODIONOVA

ВПЛИВ МАЛИХ ДОЗ РАДІАЦІЇ НА КРОВОТВОРНУ ФУНКЦІЮ КІСТКОВОГО МОЗКУ ХРЕБЕТНИХ

Вплив малих доз радіації за умов 30-кілометрової Зони відчуження ЧАЕС на норку сприяє розвитку тромбоцитопенії та змін характеру периферичної крові на нейтрофільний; у пасюків характер периферичної крові поступово змінюється від лімфоцитарного до нейтрофільного. Спостерігається загальне зняження компенсаційно-приспосувальних реакцій організму.

L.I. NOSOVA, V.I. RYASENKO, N.V. RODIONOVA

THE INFLUENCE OF LOW DOSES OF IRRADIATION ON HEMOPOIESIS OF THE BONE MARROW OF VERTEBRATES

The influence of low doses of irradiation on minks in the 30-km zone of the Chernobyl NPP contributes to reduction of thrombocytes quantity in the peripheal blood and gradually changes the blood character of rats from limphatic to neutrophil one. A general decrease in the compensative-rehabilitative reactions of the organism takes place.

M.F. PETROV

FEEDING OF ROE DEER (*CAPREOLUS CAPREOLUS* L.) IN THE EXCLUSION ZONE OF THE CHERNOBYL ACCIDENT

Seasonal feed choice of a roe deer for a 3-year period has been investigated on the basis of the rumen content analysis. Results of the investigation are given. A list of 125 species of forage plants is presented. Seasonal intensity of their consumption is characterized. Significance of main plant assemblages of the evacuated zone of Chernobyl in the diet of the animal population is elucidated. Special attention is paid to the role of the aboveground parts of *Oenotera biennis* that comprise 34% of the average annual forage of roe deer and are consumed by the animal during 9-10 months. Recent state of the forage base of the population is estimated. An attempt to predict its dynamics for the nearest 10-15 years is made.

O.O. МАСИЦЬКА, V.I. RYASENKO

МОРФОМЕТРИЧНЕ ВИВЧЕННЯ КЛІТИН ОРГАНІВ ТРАВЛЕННЯ ТВАРИН З ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ

Вивчалися зміни морфометричних характеристик клітин епітелію шлунка, тонкої і товстої кишок норок, які знаходились в Чорнобильській Золі відчуження протягом двох та трьох років. Встановлено, що в цій популяції клітин порушуються процеси проліферації та диференціації.

O.O. MASITSKAYA, V.I. RYASENKO

MORPHOMETRIC STUDY OF CELLS OF ANIMAL DIGESTIVE ORGANS FROM THE CHERNOBYL EXCLUSION ZONE

Changes in morphometric characteristics of the epithelium cells of the stomach, small and large intestines of minks which were in the Chernobyl zone during 2 and 3 years have been analyzed. It has been found that processes of proliferation and differentiation in this population of cells are broken.

M.I. ПРОСКУРА, V.A. КОЖАНОВ, V.V. МАЛЯРЕНКО

ВПЛИВ ГУМІНОВОЇ КИСЛОТИ НА ЕЛЕКТРОМІГРАЦІЮ ІОНІВ РУБІДІЮ ТА ЦЕЗІЮ У МОДЕЛІ ПІЩАНОГО ҐРУНТУ

Показано, що іони рубідію та цезію сорбуються частинками піску за іонообмінним механізмом. Сміність шару піску збільшується при введенні в нього гумінової кислоти (ГК), що пояснюється гетерогенною природою взаємодії часток піску та ГК. За допомогою методу ЕПР встановлено збільшення в'язкості міжшарової рідини у 3,5-4,0 рази при введенні в систему ГК. Проведено порівняння результатів виміру електрокінетичного потенціалу методами електрофорезу та електроосмосу.

235

N.I. PROSKURA, V.A. KOZHANOV, V.V. MALARENKO

HUMIC ACID INFLUENCE ON RUBIDIUM AND CESIUM IONS ELECTROMIGRATION IN SAND SOIL MODEL

It is shown that rubidium and cesium ion sorption by sand particles runs according to the ion-exchange mechanism. Sorption capacity of the sand layer increases while introducing humic acid (HA) that is explained by the heterogenic nature of the sand particle-HA interaction. The 3,5-4,0-fold increase in viscosity of interparticle liquid after HA introduction in the system was established by the ESR-method. The results obtained during the electrokinetic potential determination by the microelectrophoresis and electroosmosis methods are compared.

В.А. КОЖАНОВ, Ю.В. ШУЛЕПОВ, М.І. ПРОСКУРА

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІЧНОГО ПРОЦЕСУ СОРБЦІЇ РАДІОНУКЛІДІВ ШАРОМ ГРУНТУ ОДНОРІДНОЇ СТРУКТУРИ ПРИ ЛІНІЙНІЙ ІЗОТЕРМІ

Одержано рішення системи рівнянь процесу сорбції радіонуклідів шаром ґрунту. Рішення подано у вигляді залежностей ступеню завершення процесу внутрішньої дифузії у частку ґрунту та вихідних динамічних кривих від основних узагальнюючих параметрів процесу: узагальненої довжини шару ґрунту сорбента, узагальнюючого часу протікання процесу, критерію Біо. Введено поняття "шар захисної дії ґрунту" та "час захисної дії ґрунту", наведено їх математичні вирази, які дозволяють провести прогностичні розрахунки.

V.A. KOZHANOV, Y.V. SHULEPOV, N.I. PROSKURA

MATHEMATICAL MODEL FOR DYNAMIC PROCESS OF RADIONUCLIDE SORPTION IN THE SOIL LAYER OF HOMOGENEOUS STRUCTURE WITH THE LINEAR ISOTHERM

The equation system of the radionuclide sorption by a soil layer is formulated and solved. Solutions are given as dependences of completeness of the process of inner diffusion into soil particle and output dynamic curves as the main generalized parameters of the process such as the generalized sorbent layer length, process time and Bio criterion. The concepts of "the soil protective action time" are introduced and their mathematic expressions are given allowing prognostic estimation determination.

Д.І. ГУДКОВ, М.І. КУЗЬМЕНКО

ТРИТІЙ У ВОДОЙМАХ 30-КІЛОМЕТРОВОЇ ЗОНИ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС

Досліджено вміст тритію у водоймах, розташованих у 30-кілометровій зоні Чорнобильської АЕС. Проведені вимірювання показали, що у 1993 р. вміст тритію у зазначених водних об'єктах не перевищував рівнів, характерних для водойм України у цей період. Має місце підвищення концентрації тритію у зв'язку з аварією на Чорнобильській АЕС у 1986 р., очевидно носило короточасний характер. Розглянуті можливі причини збільшення вмісту тритію у заплавах водойм р. Прип'яті, яке відзначено у травні 1994 р. Припускається, що джерелом підвищення концентрацій тритію у водоймах заплави р. Прип'ять могли стати Хмельницька та Рівненська АЕС, оснащені реакторами типу ВВЕР та розташовані у басейні цієї ріки.

D.I. GUDKOV, M.I. KVZMENKO

TRITIUM IN WATER OBJECTS OF CHERNOBYL 30-KM ZONE

The content of tritium in water objects of Chernobyl exclusion zone in 1993 has been determined. We carried out the study on tritium concentration increase in the Pripyat river in 1994, when the levels of the radionuclide in water objects within of 30 km zone of Chernobyl NPP have risen substantially (more than 10-fold). Corresponding increase in the Dnieper (the major river of Ukraine) were 4-5 times higher than in 1992 and in 1993. It is assumed that, the source of tritium content increase in water objects studied, was not the Chernobyl NPP, but, that is more probable,

236

NPPs equipped with WWER reactors (PWR analogue), located within the Pripyat river basin (Khmelnitsk and Rovno NPPs), that show increased emissions and discharges of tritium to the environment at operation.

Л.М. ШЕХТМАН, В.Т. БАРАНОВ, І.Ф. НЕСТЕРЕНКО, С.А. КАШИНСЬКА, В.М. ЧОРНА, Є.А. ЯКОВЛЄВ

ОЦІНКА ЗАХИСНОЇ ЗДАТНОСТІ ВІД РАДІОАКТИВНИХ ЗАБРУДНЕНЬ ГЕОЛОГІЧНОЇ СЕРЕДИ МАЙДАНЧИКА КОМПЛЕКСУ "ВЕКТОР" У 30-КІЛОМЕТРОВІЙ ЗОНІ ЧАЕС

Розглянуто захисні властивості геологічного середовища майданчика дезактиваційного комплексу "Вектор" у 30-кілометровій зоні ЧАЕС. Охарактеризовано основні закономірності підземної міграції радіоактивних забруднень, сорбційні властивості ґрунтів у зоні аерації при міграції цезію-137, стронцію-90 і плутонію-239. Наведено розрахунки швидкості міграції радіонуклідів, побудовано карти оцінки захисної властивості ґрунтів зони аерації, виконано районування площі за величиною сорбційних властивостей ґрунтів. Викладене дозволяє констатувати, що геологічне середовище має досить високі захисні властивості щодо радіаційних забруднень.

L.M. SHEKHTMAN, V.T. BARANOV, G.F. NESTERENKO, E.A. KASHINSKA, V.M. CHORNA, E.A. YACOVLEV

ESTIMATION OF THE "VEKTOR" COMPLEX SITE IN THE 30-KM ZONE OF THE CHERNOBYL NPP FOR PROTECTION PROPERTIES AGAINST RADIOACTIVE CONTAMINATION OF THE GEOLOGIC MEDIUM

Protection properties of the geologic medium at the decontamination complex site "Vektor" in the 30-km zone of the Chernobyl NPP have been studied. The main mechanism of underground migration of radioactive contamination, sorption properties of soil in the aeration area in case of ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{239}Pu migration are analyzed. Radionuclide migration rate is calculated, maps of estimation of protection properties of soils in the aeration zone are prepared. Zoning of the "Vektor" complex site according to the value of soils sorption ability is made. The above information permits stating that the geologic medium possesses sufficiently high protection properties against radioactive contamination.

М.І. ІЛЬІН, Г.П. ПЕРЕПЕЛЯТНИКОВ

ОСОБЛИВОСТІ ПОВЕДІНКИ РАДІОНУКЛІДІВ ПРИ ПРОВЕДЕННІ МЕЛІОРАТИВНИХ РОБІТ НА ПРИРОДНИХ ЛУКАХ В ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ ЧАЕС

Наведені наслідки багаторічного вивчення поведінки ^{90}Sr та ^{137}Cs чорнобильських випадінь в системі ґрунт-рослина на природних луках 10-кілометрової зони ЧАЕС і вплив меліорації на рухомість радіонуклідів у ґрунті та доступність їх лучним рослинам. Показано, що в ближній до ЧАЕС зоні радіоактивного забруднення поведінка радіонуклідів після проведення загальноприйнятих в сільськогосподарській практиці агротехнічних і агрохімічних заходів специфічна, що обумовлено характером випадань. В перший період після проведення меліоративних робіт в цій зоні спостерігається збільшення рухомості радіонуклідів у ґрунті та переходу ^{137}Cs в лучні рослини, можливо, за рахунок деструкції "гарячих" частинок.

M.I. ILYIN, G.P. PEREPELYATNIKOV

PECULIARITIES OF RADIONUCLIDES BEHAVIOUR AFTER SOME MELIORATIVE MEASURES ON NATURAL MEADOWS IN THE CHERNOBYL NPP EVACUATION ZONE

Results of long-term investigations of the behaviour of ^{90}Sr and ^{137}Cs fallouts in the system soil-plant in the 10-km Chernobyl NPP zone, as well as influence of melioration on radionuclides availability for meadow plants are presented. It is shown that radionuclides behaviour is specific after application of some ordinary agrotechnical and agrochemical measures in that zone. Mobility of ^{90}Sr and ^{137}Cs in soils, as well as their transfer to plants increases in the first period, after ploughing and application of fertilisers or lime, probably as a result of hot particles destruction.

237

А.М. СЕРДЮК, І.І. КАРАЧОВА, М.Д. МАЛЕНКО, Е.М. БОРОВИКОВА, В.І. ЧЕРНЮК, Л.І. НАГОВИЦИНА, В.І. ГЕСЦЬ, В.Я. АКИМЕНКО, Г.Я. ЧЕГРИНЕЦЬ, В.С. ПРИСЯЖНЮК

РАДІАЦІЙНО-ГІГІЄНИЧНА ОЦІНКА НАСЛІДКІВ АВАРІЇ НА ЧАЕС ДЛЯ ВАХТОВОГО ПЕРСОНАЛУ, ЩО ПРАЦЮЄ В ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ

Представлено дані комплексних досліджень з гігієнічної оцінки рівнів радіаційного та хімічного забруднення об'єктів навоколишнього середовища (атмосферне повітря, ґрунт) Зони відчуження ЧАЕС. Вивчено умови праці та проживання операторів важкої будівельної техніки (бульдозери, екскаватори та інші) ті водіїв багатовантажних автомобілів, що працюють на радіаційно небезпечних технологічних ділянках вахтовим методом. Визначено напругу основних фізіологічних систем їхнього організму під дією факторів виробничого та навоколишнього середовища. Виявлена залежність між тривалістю стажу роботи у Зоні відчуження та захворюваністю обстежених фахівців.

A.M. SERDYUK, I.I. KARACHEY, N.D. MALENKO, N.M. BOROVIKOVA, V.I. CHERNYUK, L.I. NAGOVITSYNA, V.I. GETS, V.YA. AKIMENKO, G.YA. CHEGRINETS, V.E. PRISYAZHNYUK

RADIATION-HYGIENIC ESTIMATION OF THE CHERNOBYL DISASTER AFTEREFFECTS FOR SHIFTING PERSONNEL WORKING IN THE ESTRANGEMENT ZONE

Data of the complex studies aimed to obtain a hygienic estimate of levels of radiation and chemical contamination of the environment (air, soil) in the estrangement zone of the Chernobyl NPP are described. Everyday life and labour conditions of building engineering operators (bulldozers, excavating machines) and of heavy lorry drivers who are working by shifts in radiation-dangerous areas have been examined. It has been found that both production and environmental factors induce stress of main physiological systems. An obvious dependence between the term of work in the estrangement zone and disease rate in the specialists examined has been revealed.

Ю.Д. ДУМАНСЬКИЙ, І.І. КАРАЧОВ, І.С. БЕЗДОЛЬНА, Н.Д. ШАБУНІНА, Л.А. ТОМАШЕВСЬКА, Л.Г. АНДРІШКО, Н.К. КУШНІР, Н.Л. КОВТОНІЮК, С.В. БІТКІН, Л.К. МАРКЕЛОВА, Т.І. БЕРЕЖНА

БІОЛОГО-ГІГІЄНИЧНА ЗНАЧИМІСТЬ СПОЛУЧНОЇ ДІЇ ІНКОРПОРОВАНОГО ЦЕЗІЮ-137 ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ПРОМИСЛОВОЇ ЧАСТОТИ

Досліджена радіаційна та електромагнітна обстановка у зонах розташування АЕС України. Проведені біологічні експерименти, спрямовані на вивчення біохімічного, імунологічного та фізіологічного статусу

організму лабораторних тварин (пацюків), які підлягали протягом трьох місяців по 16 годин на добу сполучній дії електромагнітного поля (ЕМП) 50 Гц (15 та 20 кВ/м) та ^{137}Cs , що вводили перорально кожного дня по $1,74 \cdot 10^{-2}$ кБк/кг. Встановлено, що сполучна дія на рівнях, припустимих гігієнічними нормативами, інкорпорованого ^{137}Cs та ЕМП є біологічно значущою, викликає функціональну напругу ряду систем організму і має потенціюючий ефект.

238

YU.D. DUMANSKY, I.I. KARACHOV, I.S. BEZDOLNAYA, N.D. SHABUNINA, L.A. TOMASHEVSKAYA, L.G. ANDRIENKO, N.K. KUSHNIR, N.L. KOVTONYUK, S.V. BITKIN, L.K. MARKELOVA, T.I. BEREZHNYAYA

BIOLOGICAL AND HYGIENIC SIGNIFICANCE OF COMBINED EFFECTS OF INCORPORATED ^{137}Cs AND INDUSTRIAL-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS

Radiation and electromagnetic situation have been studied in the zones of nuclear plant sites in Ukraine. Biological experiments have been carried out for studying biochemical immunological and physiological status of organisms of laboratory animals (rats). During three months for 16 hours a day the rats were exposed to combined effects of the electromagnetic field (EMF) (50 Hz, 15 and 20 kV/m) and ^{137}Cs administered every day perorally $1,74 \cdot 10^{-2}$ kBq/kg. It has been found that in the frames of permissible hygienic standards the combined effects of ^{137}Cs and EMF are biologically significant, lead to functional stress of a number of organism systems and have potential effects.

З.В. КАЛАШНИКОВА, Г.І. КОРЧАК, І.І. КАРАЧОВА, Н.М. БОРОВИКОВА, Л.В. ГРИГОР'ЄВА, Л.І. НАГОВИЦІНА, В.О. ВОЛОЩЕНКО, Л.В. ТРОЯН, Т.І. БЕРЕЖНА

ОЦІНКА ДОСТУПУ РАДІОНУКЛІДІВ РОСЛИНАМ ПРИ РІЗНИХ УМОВАХ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ МІКРОБІОЦЕНОЗІВ ҐРУНТУ

В експериментальних дослідженнях вивчалась залежність процесів формування доступних рослинам щодо радіонуклідів цезію-137 і стронцію-90 від стану мікрофлори ґрунту, яка бере участь в деструкції органічних речовин. Виявлені групи більш-менш активних мікроорганізмів в умовах високих рівней радіоактивного забруднення ґрунту. Простежена динаміка розвитку кожної фізіологічної групи на протязі трьохмісячного періоду утримання посудин з ґрунтом в різних водотемпературних умовах. Результати дослідів порівнені з даними розподілу цезію-137 і стронцію-90 по ґрунтових витяжках і накопиченню радіонуклідів рослинами.

Z.V. KALASHNIKOVA, G.I. KORCHAK, I.I. KARACHOV, N.M. BOROVIKOVA, G.V. GRIGORIEVA, L.I. NAGOVITSYNA, V.O. VOLOSHCHENKO, L.V. TROYAN, T.I. BEREZHNYAYA

ASSESSMENT OF RADIONUCLIDES ACCESSIBILITY TO PLANTS UNDER VARIOUS CONDITIONS OF VITAL ACTIVITY OF SOIL MICROORGANISMS

The dependence of formation of accessible forms of ^{137}Cs and ^{90}Sr on the state of soil microorganisms participating in the organic matter destruction was studied in the experimental research. More and less active groups of microorganisms were brought to light under conditions of High radioactive soil contamination levels. Progress of every physiological group was traced during the three-months period of keeping vessels with soil under various water-temperature conditions. Microbiological data were compared with the results of ^{137}Cs and ^{90}Sr distribution in the soil extracts and with the accumulation of these radionuclides in plants.

А.І. НЯГУ, І.Г. ХАЛЯВКА, К.М. ЛОГАНОВСЬКИЙ, Ю.І. ПЛАЧИНДА, К.Л. ЮР'ЄВ, Т.К. ЛОГАНОВСЬКА
ПСИХОНЕВРОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОСІБ, ЩО ПЕРЕНЕСЛИ ГОСТРУ ПРОМЕНЕВУ ХВОРОБУ

У 110 потерпілих внаслідок аварії на ЧАЕС, що перенесли гостру променеву хворобу (ГПХ), протягом 8 років простежено зростання частоти церебро-васкулярної патології, остеохондрозу хребта, а також формування патологічного психоорганічного розвитку особистості та ендормального психоорганічного процесу, частота зустрічі яких пропорційна ступеню важкості ГПХ. Регістрація спонтанної та евакуйованої активності головного мозку підтвердила наявність у віддаленому періоді ГПХ органічного ураження центральної нервової системи (ЦНС) дисциркуляторного та токсико-метаболического характеру внаслідок радіаційного впливу. Для ранньої та диференційної діагностики психоневрологічних розладів в осіб, що перенесли ГПХ,

239

необхідним є проведення поглиблення нейро- та психофізіологічних досліджень з комп'ютерною томографією, ядерним магнітним резонансом та позитронною емісійною томографією головного мозку.

A.I. NYAGU, I.G. KHALYAVKA, K.M. LOGANOVSKY, YU.I. PLACHINDA, K.L. YURIEV, N.K. LOGANOVSKAYA

PSYCHONEUROLOGICAL CHARACTER OF PERSONS WHO HAD ACUTE RADIATION SYNDROME

Survivors of the Chernobyl accident who had an acute radiation syndrome (ARS, 110 persons) were observed for 8 years after Chernobyl accident. It has been found that the cerebrovascular pathology and vertebral osteochondrosis rate increase as well as abnormal psychoorganic changes in personality and endogenic-like psychoorganic process, their rate being in proportion to the ARS heaviness. The EEG and evoked potentials have confirmed the dyscirculatory and toxic-metabolic organic disorders of the central nervous system as a result of irradiation in the remote period of the ARS.

consequences. It is necessary for early and differential diagnostic of the psychoneurological disorders after ARS to carry out the neuro- and psychophysiological examination as well as computer tomography, nucleic magnetic resonance and positron emission tomography of the brain.

A.B. КРЕТИНІН, О.В. БРЕДІХІН

КРИТЕРІЙ ОЦІНКИ ВИБОРУ ПЛОЩІ ПІД ЖИТЛОВЕ БУДІВНИЦТВО

Наведені результати вимірів потоку радону з обстеженої поверхні ґрунтів, концентрація радону в ґрунтовому повітрі, вологість ґрунтів і еквівалентна рівноважна концентрація радону всередині житлових приміщень, одержаних у 1992-1994 рр. в населених пунктах Кіровоградської області, відведених для проживання переселенців із зон відселення, забруднених внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС. Поданий механізм перерозподілення потоків радону в ґрунті в залежності від його фізичного стану.

A.V. KRETININ, A.V. BREDIKHIN

AN ESTIMATION CRITERION FOR CHOOSING BUILDING SITES

Measurements of the radon flow from soils under study, radon concentration in the soil air, soil humidity and equivalent equilibrium concentration of radon inside residential places were made in 1992-1994 in settlements of the Kirovograd Region meant for residence of migrants from estrangement zones contaminated as a result of the Chernobyl disaster. Results of the measurements are discussed. A mechanism of the radon flow redistribution in the soil depending on its physical state is described.

Н.І. ЩЕРБИНА, Б.М. ГУЛІН

ДОСЛІДЖЕННЯ ОЧИЩЕННЯ РІДКИХ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ КИЇВСЬКОГО ДЕРЖАВНО МІЖГАЛУЗЕВОГО СПЕЦКОМБІНАТУ ІОНООБМІННИМ МЕТОДОМ

Запропонований найбільш екологічно і економічно прийнятний метод очищення накопичених рідких радіоактивних відходів сумішшю сильноосновного і сильнокислотного іонітів. Ефективність очищення по цезію-137 склала 99,8 %, по стронцію-90 - 99,75 % при витраті суміші іонітів 17 г/л. Метод забезпечує надійну фіксацію радіоактивних речовин у відпрацьованому сорбенті, радіаційну безпеку навколишнього природного середовища і населення при подальшому отвердженні і похованні відходів, які утворюються. Новизна роботи заключається у відносній простоті вперше запропонованого методу для очищення і утилізації накопичених на об'єкті рідких радіоактивних відходів складного багатокомпонентного складу.

N.I. SHCHERBINA, B.M. GVLIN

ION-EXCHANGE TREATMENT OF LIQUID RADIOACTIVE WASTES FROM THE KIEV STATE SPECIAL PLANT

The most efficient ecological and economical method of refinement of aggregated liquid radioactive wastes by blend of strongly alkaline and strongly acidic ion-exchangers was proposed.

240

Refinement efficiency for ^{137}Cs is 99.8 %, for ^{90}Sr is 99.75 % (consumption of ionic blend is 17 g/l). The method secures fixation of radioactive wastes in used sorbents, radioactive safety of environment and population during following solidification and disposal of formed wastes. Novelty of this proposition is the simplicity of the first proposed method for refinement and utilization of liquid radioactive multicomponent wastes aggregated at the plant.

В.В. ДЕРЕВЕЦЬ, Л.А. ДОРОШЕНКО, А.К. СУХОРУЧКІН, Ю.В. ТКАЧЕНКО

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВОДООХОРОННИХ СПОРУД НА ЛІВОБЕРЕЖНІЙ ЗАПЛАВІ р. ПРИП'ЯТЬ

По результатах моніторингу установлена висока ефективність лівобережного водоохоронного комплексу в екстремальних ситуаціях зимових паводків на р. Прип'ять. Запропоновані і частково реалізовані заходи подальшого удосконалювання системи водоохоронних споруджень в зоні ЧАЕС.

V.V. DEREVETS, L.A. DOROSHENKO, A.K. SUKHORUCHKIN, YU.V. TKACHENKO

ESTIMATION OF WATER PROTECTION STRUCTURES AT THE LEFT-BANK FLOOD PLAIN OF THE PRIPYAT RIVER FOR THEIR EFFICIENCY

The results of monitoring have permitted determining high efficiency of the left-bank water protection system in emergency situation during high winter water flood at the Pripyat river. Some measures on further improvement of the water protection system in the exclusion zone are suggested and partially implemented.

С.І. АЗАРОВ

ОЦІНКА СХИЛЬНОСТІ ЛАНДШАФТІВ ЧОРНОБІЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ДО ПОЖЕЖ

Приводиться шкала оцінок можливості ландшафтів Чорнобильської Зони відчуження до пожеж на основі факторного методу. Запропоновано використовувати отримані дані для попередження пожеж у Зоні відчуження ЧАЕС.

S.I. AZAROV

LANDSCAPES OF THE CHERNOBYL ZONE AND ESTIMATION ON THEIR FIRE RISK CONDITIONS

A scale for estimation of the landscapes of the Chernobyl zone for fire risk conditions is suggested as based on the factorial method. The data obtained are suggested to be used for fire prevention in the Chernobyl NPP zone.

С.І. АЗАРОВ, О.І. ПРИКАЩИКОВ, А.А. ОДНОЛЬКО

КОНЦЕПЦІЯ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ І СИГНАЛІЗАЦІЇ ПРО ПОЖЕЖІ В ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ
ЧАЕС

Проведено класифікацію факторів пожежної та радіаційної безпеки у Чорнобильській Зоні відчуження. Проаналізовані сценарії виникання пожежі та повітряна міграція радіонуклідів з Зони відчуження з оцінкою радіаційного стану. На основі аналізу факторів пожежної безпеки в Зоні відчуження ЧАЕС запропонована концепція системи визначення і сигналізації про пожежі. Приводиться структурна схема системи та описуються її складові блоки, режим роботи та галузь практичного використання.

S.I. AZAROV, A.I. PRIKASHCHIKOV, A.A. ODNOLKO

CONCEPTION OF THE FIRE WARNING SYSTEM IN THE CHERNOBYL ZONE

Classification of fire danger and radiation factors in the Chernobyl zone is presented. Scenarios of fire emergence and aerial migration of radionuclides in the evacuation zone are analyzed with

241

estimation of radiation conditions. Based on the analysis of fire risk in the Chernobyl NPP zone a new conception of the fire warning system is suggested. A version of the block diagram of the system is presented and its composing units as well as conditions and the field of practical use are described.

А.С. ВИШНЕВСЬКИЙ, І.Е. КУЗЬМИНА, В.Н. ТКАЧ, В.В. ТОКАРЕВСЬКИЙ

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІОАКТИВНИХ НОВОУТВОРЕНЬ ОБ'ЄКТА
"УКРИТТЯ"

Проведені експериментальні дослідження хімічного і фазового складу радіоактивних новоутворень об'єкту "Укриття" з використанням рентгенівського і локального електронно-зондового методів аналізу речовини. Показано, що вилужування урану відбувається в результаті дії лужно-карбонатних розчинів, міграція урану здійснюється у формі подвійного лужно-карбонатного комплексу $\text{Na}_4[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]$. У мінеральній асоціації новоутворень виявлені карбонати, сульфати, галіт і, можливо, сульфато-карбонати. Запропонована гіпотеза про утворення в умовах об'єкту "Укриття" карбонату уранілу, що має склад $\text{Na}_6(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_4$, який до цього часу не описано в науковій літературі.

A. S. VISHNEVSKY, I.E. KUZMINA, V.N. TKACH, V.V. TOKAREVSKY

EXPERIMENTAL STUDIES OF RADIOACTIVE NEW FORMATIONS OF OBJECT "SHELTER".

Chemical and phase compositions of radioactive new-formations of object "Shelter" have been experimentally studied by the X-ray and local electronic probe methods of the substance analysis. Leaching of uranium is shown to be a result of attack by alkali- carbonate solutions, migration of uranium takes place in the form of double alkali- carbonate system $\text{Na}_4[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]$. Carbonates, sulphates, halit and probably sulphates-carbonates were found in the mineral association of new-formations. A hypothesis of formation of sodium uranyl-tetracarbonate $\text{Na}_6(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_4$, under conditions of object "Shelter" which was not described in scientific literature before has been advanced.

В.А. ПРИЛІПКО, З.А. БЕЗВЕРХА

МЕДИКО-СОЦІАЛЬНІ АСПЕКТИ ПУБЛІКАЦІЙ ПРО ЗОНУ ВІДЧУЖЕННЯ У ВІТЧИЗНЯНІЙ ПРЕСІ

Метою дослідження було вивчення кваліметричних характеристик матеріалів вітчизняної преси післячорнобильського періоду (1986-1994 рр.): їх кількісна динаміка; проблемно-тематичний спектр, особливості комунікативної моделі з точки зору впливу на психо-емоційну напруженість населення. Проведено аналіз 9285 публікацій з Чорнобильської проблематики, серед них 4460 матеріалів української преси. З'ясовано, що 30 % загальної кількості публікацій, освітлюють медико-соціальні аспекти 30-кілометрової зони. Виявлено: існування періодизації кількості публікацій, особливості комунікативної моделі (її жанрової та лексичної форм), зроблено характеристику проблемно-тематичного спектру.

V.A. PRILIPKO, Z.A. BEZVERKHAYA

MEDICO-SOCIOLOGICAL ASPECTS OF PUBLICATIONS ON THE RESTRICTED ZONE IN HOME PRESS

The purpose of this study is to investigate the qualimetric characteristics of home publications in the post-Chernobyl period (1986-1994): quantitative dynamics; the problematic and topical spectrum; specificity of the communicative model from the standpoint of influence on the physiological and emotional stress of population. The analysis of 9285 publications including 4460 Ukrainian publications has been carried out. It is found that in the

post-Chernobyl period the publications on the medico-sociological aspects of the 30-kilometer zone compose about 30 % of all the publications. Periodization of the number of publications on the problems in the 30-km zone is described as well as peculiarities of the communicative model (its genre and lexical forms). The problematic and subject spectrum of these publications is discussed.

242

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ ДЛЯ АВТОРІВ ЗБІРНИКА «ПРОБЛЕМИ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ»

До збірника приймаються не опубліковані раніше і не призначені для одночасного опублікування в інших виданнях праці, присвячені проблемам радіоекології Чорнобильської Зони відчуження, поводження з радіоактивними відходами в Зоні, перетворення об'єкту "Укриття" в екологічно безпечну систему, експлуатації підприємств, розташованих в зоні, медико-біологічних аспектів та ін.

Обсяг статті не повинен перевищувати 24 стор. машинопису. Авторський рукопис (основний текст з таблицями, ілюстраціями, анотаціями на окремій сторінці) подається у редакцію у трьох примірниках разом з необхідною супровідною документацією (скерування установи, акт експертизи, рецензія внутрішня та зовнішня).

ВИМОГИ ДО ТЕХНІЧНОГО ОФОРМЛЕННЯ РУКОПISУ

Текст рукопису має бути надрукований на друкарській машинці (принтері) на папері формату А4 через чорну стрічку доброї якості, або набраний на дискеті у редакторах ChiWriter або Word.

Абзацний відступ повинен дорівнювати п'яти знакам. У рядку повинно бути 60 ± 2 знаки, на сторінці суцільного тексту - 29 ± 1 рядки лише через два інтервали. Надрукований текст повинен мати такі поля: верхнє - 20 мм, праве - 10 мм, ліве і нижнє - не менше 20 мм.

Заголовки відділяються від тексту зверху і знизу трьома інтервалами.

2. Перед текстом статті має бути вказаний цифровий номер УДК (з лівого боку), ініціали і прізвища авторів, а потім назва статті. Після назви на окремій сторінці наводиться текст анотації (до 0,5 стор.) мовою оригіналу.

В кінці тексту на першій сторінці статті повинно бути надруковано: ініціали та прізвища авторів (наприклад, Є.В. Соботович, В.В. Долін, 1994).

3. Після основного тексту статті на окремій сторінці без заголовку оформляється список літератури і порядку посилань. Праці, на які нема постанов у тексті, у список не включаються. Після списку літератури повинна йти розгорнута назва організації, де виконана робота, і підпис автора (авторів) статті. Сторінки кожної статті слід пронумерувати.

4. На окремій сторінці друкується анотація статті українською та англійською мовами. Анотація повинна включати ініціали, прізвища авторів, назву статті і короткий (до 0,5 стор.) текст, що відображає основний зміст статті.

5. Математичні, хімічні формули і символи повинні бути віддруковані на принтері або чітко вписані від руки чорним чорнилом (пастою, тушшю); знаки, цифри, букви мають бути правильно розміщені відповідно до змісту формули. Між рядками формули і дробовими рисками зберігаються інтервали, що допускають вільну їх розмітку.

6. Формули у перших двох примірниках рукопису повинні бути розмічені згідно з такими вимогами:

латинські букви, що набираються курсивом, слід підкреслити хвилястою лінією фіолетовою (синьою) пастою;

243

однакові за написанням букви (Bb, Cc, Kk, Oo, Pp, Ss і т. ін.) треба помітити двома рисками: великі - знизу (C), малі - зверху (w);

букви, що набираються прямим шрифтом (тригонометричні функції, exp, log, lim і т. ін., цифра 0) підкреслити фіолетовою (синьою) пастою знаком **i**;

букви, що набираються напівжирним шрифтом, мають бути підкреслені прямою жирною лінією чорною пастою;

показники степені, верхні індекси та інші порядкові знаки мають бути відзначені дужкою $\cup$, а порядкові знаки (нижні індекси) - дужкою $\cap$ фіолетовою (синьою) пастою; грецькі букви мають бути підкреслені червоним олівцем (пастою); рукописні букви слід підкреслити жовтим олівцем; готичні букви слід підкреслити синім олівцем, а на лівому полі сторінки звичайним олівцем написати ці букви і пояснити їх;

математичні символи слід пояснити звичайним олівцем по лівому полі сторінки.

Ілюстрації і таблиці додаються на окремих аркушах. Кожна таблиця повинна мати тематичний заголовок. Всі графи таблиць повинні мати назву, яка точно відповідає даним, наведеним в них. До кожної статті бажано додати не більш трьох ілюстрацій. Всі слова в таблиці слід писати без скорочень (крім розмірностей). Ілюстрації можуть бути виконані на білому папері або кальці тушшю або роздруковані на принтері через стрічку хорошої якості з позначенням і розміткою на кожному примірнику. На звороті кожної ілюстрації і таблиці треба вказати її порядковий номер, прізвища авторів і назву статті, а при необхідності - відмітити "верх", "низ", потрібний також підпис автора (авторів) на звороті. У тексті рукопису на полях простим олівцем проставити номери ілюстрацій чи таблиць проти тих місць, де вони повинні бути вставлені.

ЗРАЗКИ ОФОРМЛЕННЯ БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. *Александровский Ю.А.* Экологические катастрофы и психическое здоровье // Сов. медицина. - 1991. - № 12, - С. 7-10.
2. *Булдаков Л.А., Гусев Д.Я., Гусев Н.Т. и др.* Радиационная безопасность в атомной энергетике // Под ред. А.И. Бурназина. - М.: Атомиздат, 1981. - 120 с.
3. *Клебанова В.А.* Гигиеническая оценка загрязнения воздушной среды жилых и общественных зданий и придонных территорий: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. - М., 1979. - 25 с.
4. *Соботович Э.В., Ольховик Ю.А., Коромысленко Т.И., Соколич Г.А.* Сравнительная характеристика миграционной способности радионуклидов в донных отложениях водоемов ближней зоны Чернобыльской АЭС // Докл. АН УССР. Сер. А. - 1990. - № 8. - С12-16.
5. *Бегичев СЛ., Боровой А.А., Бурлаков Е.В. и др.* Топливо реактора 4-го блока ЧАЭС: Краткий справочник. - М, 1990 - 21 с. (Препр. / АН СССР; ИАЭ-5208/3).
6. *Суханова А.И.* Морфологические различия растительноядных рыб на ранних периодах развития и поведение их эмбрионов и личинок // Новые исследования по экологии и разведению растительноядных рыб. - М.: Наука, 1968. - С. 194-200.
7. *Руководство по биотехнике разведения и выращивания растительноядных рыб /* Под ред. В.К. Виноградова. - М.: ВНИИПРХ, 1975. - 100 с.
8. *Воронина Э.А. Шеханова Ж.А.* Влияние инкорпорированного цезия-137 и стронция-90 на ооциты на стадия протоплазматического роста у тилляпии // Роль факторов внешней среды в онтогенезе: Тез. докл. на симп. (Москва, 30 окт. - 1 нояб. 1974 г.). - М., 1974. - С. 9-10.
9. *Julius N.N., Simpson E., Hertenberg L.A.* A rapid method for isolation of functional thymus derived murine lymphocytes // Eur. J. Immunol. - 1973. - № 13. - Р. 645-646.

Засновано у 1994 р.
Випуск 3

Київ, видавництво "Наукова думка" (російською мовою та українською мовами)

Технічний редактор С.Г. Максимова Коректор Т. В. Пантелеймонова

Підп. до друку 05.02.96. Формат 70x108/16. Папір оф. № 1. Офс. друк. Гарн. "Computer Modern". Ум.-друк. арк. 21,35 - Ум. фарб.-від. 22,06. Обл.-вид. арк. 20,49. Тираж 2000 прим. Зам. 3547

Видавництво "Наукова думка" Р.с. 05417561
252601 Київ 4, вул. Терещенківська, 3.

Віддруковано на виробничо-видавничому комбінаті "Патент".
234013 Ужгород 23, вул. Гагаріна, 101.

