

Министерство образования и науки Украины
Восточноукраинский национальный университет им.В.Даля

Факультет естественных наук
Кафедра «Прикладная физика»

Выпускная работа на степень магистра
Специальности 8.070203 «Прикладная физика»

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОГО ФОНА МАТЕРИАЛОВ ШАХТНЫХ ОТВАЛОВ

Студент группы ПН-241м. _____ Креденцер Сергей Викторович

Научный руководитель _____ Кудленко Василий Григорьевич

к. ф.-м. н., доцент

Работа принята к защите

Заведующий кафедрой _____ Бранспиз Юрий Адольфович

д. т. н., профессор

Луганск 2009

РЕФЕРАТ

Выпускная работа на степень магистра:

96 с., 17 рис., 10 табл., 3 прилож.

Рассмотрена степень негативного воздействия материалов породных отвалов на окружающую среду и здоровье населения, проживающего в исследуемом регионе.

Применив лабораторный метод для определения удельной эффективной активности естественных радионуклидов, используя спектро-дозиметрическую установку «РИТМ-С», определена мощность эквивалентной дозы, удельная активность, удельная эффективная активность, установлен класс радиационных параметров материалов исследуемых терриконов.

Обнаружены различные причины и закономерности изменения радиационного фона материалов породных отвалов.

ШАХТНЫЙ ПОРОДНЫЙ ОТВАЛ, ДОЗИМЕТР, УДЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ, УДЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ, СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА.

Випускна робота на ступінь магістра:

96 с., 17 мал., 10 табл., 3 додатки.

Розглянуто ступінь негативного впливу матеріалів породних відвалів на навколишнє середовище й здоров'я населення, що проживає в досліджуваному регіоні.

Застосувавши лабораторний метод для визначення питомої ефективної активності природних радіонуклідів, використовуючи спектро-дозиметричну установку «РИТМ-С», визначена потужність еквівалентної дози, питома активність, питома ефективна активність, встановлено клас радіаційних параметрів матеріалів досліджуваних терриконів.

Виявлено різні причини й закономірності зміни радіаційного фону матеріалів породних відвалів.

ШАХТНИЙ ПОРОДНИЙ ВІДВАЛ, ДОЗИМЕТР, ПИТОМА АКТИВНІСТЬ, ПИТОМА ЕФЕКТИВНА АКТИВНІСТЬ, СПЕКТРОМЕТРИЧНА УСТАНОВКА.

Final work on master's degree:

98 pp., 17 fig., 10 tabl., 3 ad.

The degree of negative influence of materials of waste banks on an environment and health of population, resident in the explored region is considered.

Applying a laboratory method for determination of specific effective activity of natural radionuclide, using the spectro-dosimetria setting of «RITM-S», power of equivalent dose, specific activity, specific effective activity, is certain, the class of radiation parameters of materials of the explored waste banks is set.

Found out different reasons and conformities to the law of change of radiation background of materials of waste banks.

MINE WASTE BANKS, DOSIMETER, SPECIFIC ACTIVITY, SPECIFIC EFFECTIVE ACTIVITY, SPECTROMETRY SETTING.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. ТЕХНОГЕННАЯ ОПАСНОСТЬ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ ДОНБАССА	8
1.1. Происхождение породных отвалов.....	8
1.2. Уран – источник радиации угольных терриконов.....	11
1.3. Неконтролируемая миграция радионуклидов и тяжелых металлов.....	17
1.4. Воздействие радиоактивного излучения материалов породных отвалов на человека.....	23
2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ В МАТЕРИАЛАХ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ	34
2.1. Экспрессный метод.....	34
2.2. Лабораторный метод.....	39
2.3. Радиохимический и другие методы.....	45
3. АППАРАТУРА, ИСПОЛЬЗУЕМАЯ В ИССЛЕДОВАНИЯХ	46
3.1. Дозиметр гамма-излучения поисковый ДБГ-02 «РИТМ-1М».....	47
3.2. Спектрометр-дозиметр гамма-излучения «РИТМ-С».....	48
3.2.1. Блок-схема установки.....	51
3.2.2. Программное обеспечение «РИТМ-С».....	53
4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ	55
4.1. Мощность эквивалентной дозы породных отвалов.....	55
4.2. Экспериментальные данные спектрометрических исследований пород шахтных отвалов.....	69
4.3. Удельная эффективная активность проб материалов породных отвалов.....	71
4.4. Обсуждение полученных результатов.....	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	84
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	86
ПРИЛОЖЕНИЯ	89

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. На современном этапе развития цивилизации обеспечение радиационной безопасности человека и окружающей среды становится актуальной проблемой в связи с возрастающей потребностью общества в наращивании энергетических мощностей и в связи с сопутствующим этому процессу выбросом в окружающую среду радиоактивных элементов [1]. В Украине существует радиоэкологическая проблема, воздействия материалов породных отвалов на здоровье человека. На территории Донбасса уже более 200 лет производится подземная добыча угля. Шахтные комплексы изменяют до неузнаваемости естественные ландшафты. На месте природных, пусть и не очень богатых растительностью, степных ландшафтов образуются техногенные, изобилующие прудами-отстойниками, производственными зданиями, террикониками. Последних на территории региона более 1300. В загрязненной породными отвалами атмосфере присутствуют: соли, оксиды, соединения азота, серы, различные металлы и радионуклиды, алюминий, кальций, углерод, железо, калий, натрий, кремний, медь, свинец, титан и цинк, бериллий, висмут, хром, кобальт, цезий, литий, магний, никель, рубидий, селен, стронций, ванадий. Дети уже к 7 годам имеют 5 % запыленности легких. Это вызывает снижение роста, болезни сердца, заболевания центральной нервной системы, сказывается на умственных способностях. Люди в Донбассе умирают не от старости, а от заболеваний жизненно важных органов, которые дают оценку состояния окружающей среды [2]. Достоверная информация об уровнях радиоактивного загрязнения окружающей среды является необходимым условием для оценки дозовых нагрузок на население и для принятия решений о проведении мероприятий по обеспечению радиационной безопасности.

Цель работы предполагает оценку радиационной обстановки породных отвалов, с последующим мониторингом и созданием карты радиационных аномалий для установления состояния окружающей среды данного региона.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- разработка физической модели для оценки радиационного состояния породных отвалов.
- выбор комплекса ядерно-физических методов анализа и определения удельной эффективной активности исследуемых веществ.
- создание базы данных по радиоактивности, аккумулированной в отходах угольных предприятий, с построением карты радиационных аномалий данного объекта.
- определение гамма-спектрометрическим методом источников естественной природной и техногенной радиоактивности, их относительных вкладов в эффективную эквивалентную дозу внешнего облучения населения.

Объект наблюдения – гамма-излучение материалов породных отвалов.

Метод наблюдения – мониторинг и экспериментальное обнаружение МЭД породных отвалов с помощью дозиметра ДБГ-02 «РИТМ-1М»; определение энергетических спектров источников излучений спектрометром «РИТМ-С».

Научная новизна полученных результатов состоит в том, что впервые показана возможность глубоко исследования радиационного фона материалов породных отвалов и воздействия терриконов на исследуемую местность.

Практическое значение полученных результатов состоит в том, что дозиметр ДБГ-02 «РИТМ-1М», спектрометр гамма-излучения «РИТМ-С», а также программное обеспечение «РИТМ-С» можно применять: для обнаружения МЭД, удельной эффективной активности материалов породных отвалов, идентификации нуклидов по их энергетическим спектрам.

Личный вклад студента состоит в разработке методики проведения исследований, радиационного мониторинга породных отвалов и реализации ее на практике, определении удельной эффективной активности проб терриконов, а также обработке экспериментальных данных.

1. ТЕХНОГЕННАЯ ОПАСНОСТЬ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ ДОНБАССА

1.1. Происхождение породных отвалов

При разработке угольных месторождений подземным способом наряду с добычей угля на поверхность из шахт выдается порода, получаемая при проведении подготовительных, а также очистных выработок. Периодически в отвалы направляются шлам и ил от очистки капитальных выработок и водосборников, а также порода от работ по восстановлению аварийных выработок. В отвалы шахт направляются также отходы обогащения. Количество выдаваемой из шахт породы зависит от горно-геологических условий залегания угольных пластов (мощности, угла падения, наличия геологических нарушений, сближенности пластов), способов их разработки (взрывным способом, отбойными молотками или комбайнами) и систем разработки. Количество породы, извлекаемой углеобогащательными фабриками, колеблется в широких пределах и зависит от зольности угля, а также от глубины обогащения. При обогащении малозольных коксовых углей отходы составляют 5-15% [3].

На угольных шахтах порода складывается в отвалы разных типов: рельсовые терриконики, канатные отвалы, автомобильные и железнодорожные отвалы; отвалы, образуемые ленточными конвейерами, и гидроотвалы.

Самыми распространенными являются рельсовые терриконики с однопутевой и двухпутевой доставкой породы в вагонетках или скипах. Отличительной особенностью рельсовых терриконов является доставка породы в вагонетках и скипах и разгрузка их на вершине с самотечным движением отвальной массы по поверхности отвала [3].

В настоящее время 74,3% шахтных отвалов Донбасса представлены рельсовыми террикониками с отсыпкой породы в форме конуса высотой до 50-100 и более метров, и каждый из них занимает площадь от 2 до 10 га, чаще всего ценных городских земель, поскольку 80% всех терриконов региона расположены в

городах и поселках. Например, в Луганской области г. Свердловска, один из породных отвалов «пос. ш-ты №1-2» имеет характеристику:

Таблица 1. Характеристика породного отвала «пос. ш-ты №1-2»

№ п/п	Наименование характеристик	Един. измер.	Конический отвал
1	Год пуска в эксплуатацию	год	1923
2	Год остановки	год	1994
3	Форма отвала		конус
4	Максимальная высота отвала	м	83
5	Площадь основания	м ²	61610
6	Объем	м ³	1663400
7	Зольность	%	81,1
8	Содержание серы	%	0,8
9	Плотность	т/м ³	2,50
10	Влажность	%	н.д.
11	Характер горения		горящий
12	Деформация отвала		нет

Исходя из эндогенных и экзогенных факторов образования (в качестве эндогенных факторов выступают геологические условия, экзогенных - выветривание отвальной породы на поверхности земли), все терриконики Донбасса можно поделить на 3 группы [4]:

- Терриконики, образованные из породы при проходке стволов и полевых штреков.** Состоят они из неметаморфизированных или слабометаморфизированных осадочных пород без примеси горючих включений или с малым количеством их. Порода, измельченная или малопрочная и быстро измельчается. Эти терриконики имеют малые размеры (высота их 10-25 м), не горят и составляют 2% от количества всех

терриконики. Заращение начинается через 10-12 лет после отсыпки. Порода нетоксична или слаботоксичная.

2. **Терриконики из отвальных пород шахт неантрацитовых углей.**

Состоят из умеренно метаморфизированного глинистого сланца малой прочности, отличающегося низкой морозостойкостью, высокой пористостью и сравнительно быстрым выветриванием. Рухляк имеет пластинчатую или чешуйчатую форму, что способствует образованию сильноувлажненной прослойки породы на глубине 0,8 - 5 м, возможны явления оползневого характера. На вершине терриконика в результате сегрегации скапливается большое количество измельченной породы. Горение на вершине терриконика медленное и длительное (15 - 35 лет). Угля в породе 5 - 10 %. В расщелинах и пустотах породы накапливаются значительные запасы солей серной и соляной кислот, которые во время дождей частично растворяются стоковыми водами и разносятся, по всей поверхности терриконика, довольно равномерно подкисляя породу. Кислотность рН 2,3 - 3,5, а на отдельных участках — до 0,6. Концентрация подвижной формы алюминия 10 - 30 мг на 100 г, изредка 80 мг на 100 г породы. При затухании очагов горения раскисление породы и вымывание легкорастворимых солей происходит за 3-5 лет, начинаются массовое заращение терриконика травянистой растительностью и почвообразовательный процесс. Терриконики 2 группы около 73% от общего числа в Донбассе.

3. **Терриконики шахт, добывающих антрацитовые угли,** состоят из

сильно метаморфизированного прочного монолитного глинистого сланца. При разработке и выветривании порода разрушается на обломки неправильной формы, морозостойкие с низкой пористостью. При отсыпке обломки породы укладываются рыхло, поверхность терриконика не заплывает. Продукты горения с очагов горения не разносятся, по поверхности стоковыми водами, а фильтруются вглубь породы.

Так, например, на рис. 1. показан литологический состав одного из породных отвалов «пос. ш-ты №1-2»:

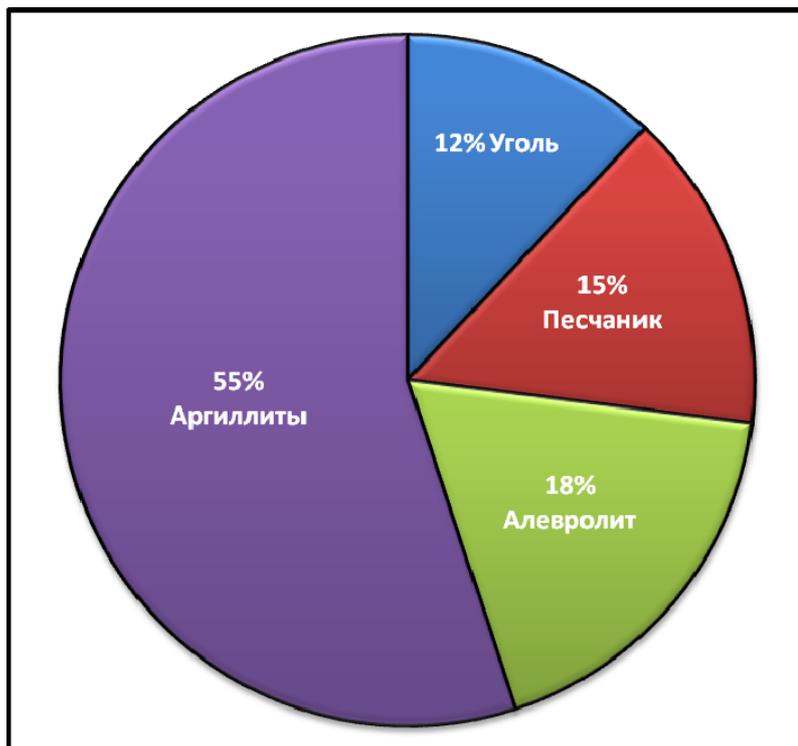


Рис. 1. Литологический состав породного отвала «пос. ш-ты №1-2»

1.2. Уран – источник радиации угольных терриконов

В пределах Донбасса отмечены ряд поперечных поднятий, а также поперечные разломы древнего заложения, которые омолаживались в различные тектономагматические эпохи. В углах пересечения поперечных разломов с главными зонами субширотных складчатых и разрывных структур отмечаются урановые, полиметаллические, ртутные, флюоритовые, а также другие месторождения и рудопроявления.

Установлено, что угли и вмещающие их породы содержат высокие концентрации урана [5]. И наиболее богаты им те, которые содержат сульфидную серу в виде пирита. Именно к таким относятся угли и сланцы Донбасса.

Так, например известняки содержат до $3 \cdot 10^{-3}\%$ урана. В терригенных образованиях терригенно-угленосной формации урана содержится до $(3-17) \cdot 10^{-4}\%$,

в галогенно-красноцветной формации в пределах $(1,75 - 5,8) \cdot 10^{-4}\%$. В пестроцветных песчаниках пестроцветной формации урана содержится от $(5,3 - 10,75) \cdot 10^{-4}\%$ (Северо-Запад Донбасса).

В Донбассе пять месторождений, десять рудопроявлений, более 100 пунктов повышенного содержания урана.

Уран имеет элементы-спутники в первичных и вторичных ореолах рассеивания уранорудных тел: для броннеритовой и уранитосмолковой формации—Ti, As, W, Nb, Mo, Pb, Ag, Au и др.; для тортовой формации— Pb, Bi, W, Nb, Ta, Mo, Yb, Zn [7]. Из этих элементов наибольшее химическое сходство к урану имеет молибден, в водах урановых проявлений его содержится до 2 г/л [6]. 60% урана идет совместно с K и Na, следовательно, с калийными удобрениями уран может попадать на поля.

В северном обрамлении Днепровско-Донецкой впадины и в Припятском прогибе широко распространены скопления урана в углях и углистых песчано-глинистых отложениях карбонов. Такие скопления установлены в пластах зольного угля и в углисто-глинистых пропластах, залегающих среди толщи известняков башкирского яруса Старобельско-Миллеровской моноклинали. Уран во всех этих рудных скоплениях присутствует в основном в виде сорбции на органическом материале; подчиненное значение имеют окислы.

Значительное количество скоплений урана приурочено к кровле углистых пластов и имеет, по-видимому, инфильтрационный характер образования. Как правило, эти скопления отмечаются на протяжении всего нескольких метров по простиранию к падению пластов, что не исключает возможности выявления и более крупных скоплений.

Заслуживают внимания в Донбассе скопления урана, приуроченные к углистым песчано-глинистым осадкам намюра в западной закрытой части бассейна, и некоторые скопления в зоне мелкой складчатости в северном обрамлении бассейна. Все эти скопления связаны с углистыми породами, иногда приурочены к кровле пластов.

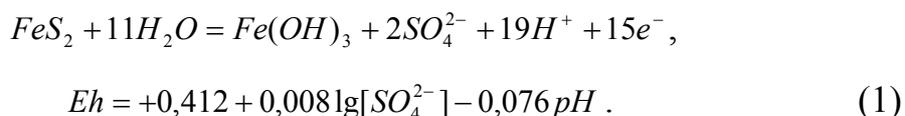
Повышенное содержание урана отмечено также в карбоне и в переходных слоях от девона к карбону в Припятском прогибе.

Общей закономерности геологического строения, зональности метаморфизма и гидротермальной деятельности соответствует распределение радиоактивных проявлений.

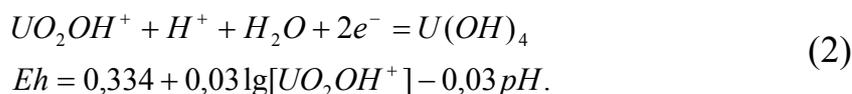
Большинство крупных аномалий расположено, в непосредственной близости от различных нарушений. Выявленные проявления повышенной радиоактивности связаны с наличием обуглившихся растительных включений в осадках, с прослоями угля, с битуминозными породами, с участием ожелезненных пород, с участками геотермальной минерализации пород, с желнаковыми фосфаритами.

Накопление урана, находящегося в настоящее время в отвальной породе, происходило в восстановительных условиях глубинных осадочных пород. Подробно изучен учеными также тип концентрации, с которым связано образование урановых руд в водоносных горизонтах. Уран осаждается здесь из инфильтрующихся вод с помощью пирита [4]. Вступая во взаимодействие с компонентами инфильтрующихся вод, пирит сначала восстанавливает растворенный свободный кислород, а затем, растворяясь, служит источником ионов HS^- и S^{2-} .

С другой стороны, окисление сульфидов сопровождается гидролизом и повышением кислотности растворов, которая оказывает свое действие на окислительно-восстановительные равновесия согласно уравнению:



На рис.2, показан график зависимости pH-Eh для пирита, рассчитанный по (1) уравнению [5]. Там же нанесено семейство графиков равновесия между ураном в растворе и твердой фазой $U(OH)_4$ при условии отсутствия комплексообразования для различных концентраций урана согласно уравнению:



Пересечение графиков этого семейства с кривой пирита показывает условия восстановления урана этим минералом. При концентрации урана 10^{-3} г/л и выше восстановление урана происходит во всем интервале рН больше 5. При концентрации урана 10^{-5} г/л восстановление его пиритом происходит только при рН выше 6,25, а при 10^{-7} г/л — выше 7,5.

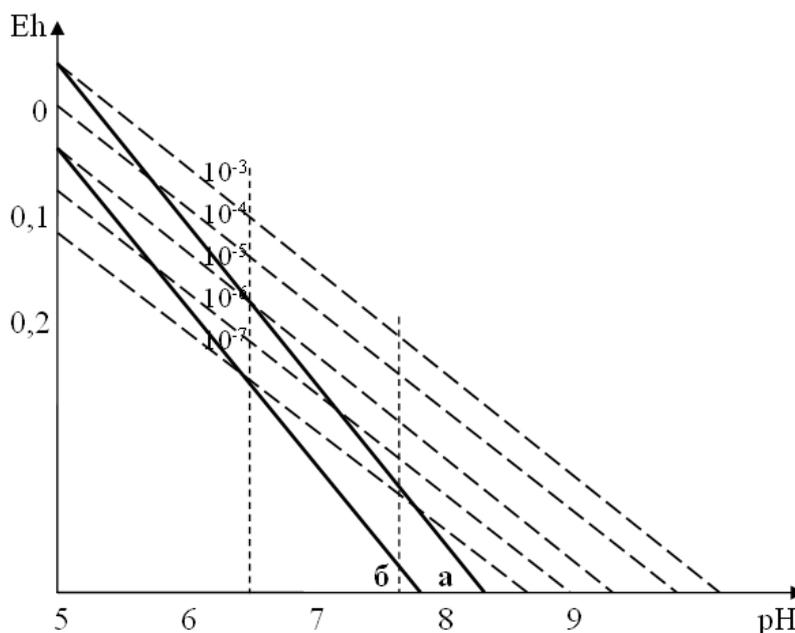


Рис. 2. Семейство графиков равновесия $UO_2OH^+ - U(OH)_4$ в координатах рН-Eh для различных концентраций урана: а – график потенциалов пирита; б – график потенциалов $H_2S \{H_2S(\sum S_4^{2-} = 10^{-2})\}$

Иначе говоря, отрезки кривых, лежащие ниже кривой пирита, характеризуют присутствие шестивалентного урана в равновесии с пиритом; отрезки, лежащие выше линии пирита, характеризуют область неустойчивости шестивалентного урана, причем в процессе восстановления концентрация его в растворе будет понижаться до пересечения с линией пирита.

Таким образом, воды, имеющие повышенную концентрацию урана, при попадании в пиритоносный пласт осадочных пород осаждали часть мигрирующего урана. При этом концентрация урана в растворе понижалась до величины, определяемой кислотностью раствора: при рН - 7 - 7,5 концентрация урана падала до 10^{-6} - 10^{-7} г/л.

Важную роль в процессе накопления урана в карбоне играла сульфидная сера, то есть пирит.

Значительная часть естественной радиоактивности пород в отвалах связана с радиоизотопами (радионуклидами) тяжелых элементов с порядковыми номерами более 82, которые образуют три радиоактивных семейства - урана, актиния и тория (таблица.2) [8].

Таблица 2. Характеристики нуклидов семейства ^{238}U

Нуклиды и цепочки распада	Историческое название	$T_{1/2}$	Энергия излучения, МэВ		
			α	β	γ
$^{238}_{92}\text{U}$	Уран I	$4,47 \cdot 10^9$ лет	4,15(25%) 4,20(75%)	-	-
↓ α					
$^{234}_{90}\text{Th}$	Уран X ₁	24,1 сут	-	0,103(21%) 0,193(79%)	0,063(3,5%) 0,093(4%)
↓ β					
$^{234}_{91}\text{Pa}$	Уран X ₂	1,17 мин	-	2,29(98%)	0,765(0,30%) 1,001(0,60%)
↓ β					
$^{234}_{92}\text{U}$	Уран II	$2,45 \cdot 10^5$ лет	4,72(28%) 4,77(72%)		0,053(0,2%)
↓ α					
$^{230}_{90}\text{Th}$	Ионий	$7,7 \cdot 10^4$ лет	4,62(24%) 4,68(76%)	-	0,068(0,6%) 0,142(0,07%)
↓ α					
$^{226}_{88}\text{Ra}$	Радий	1600 лет	4,60(5%) 4,78(95%)	-	0,186(4%)
↓ α					
$^{222}_{86}\text{Rn}$	Радон	3,823 сут	5,49(100%)	-	0,510(0,07%)
↓ α					
$^{218}_{84}\text{Po}$	Радий A	3,05 мин	6,00(100%)	0,33(0,019%)	-
↓ α					
$^{214}_{82}\text{Pb}$	Радий B	26,8 мин	-	0,65(50%) 0,71(40%) 0,98(6%)	0,295(19%) 0,352(36%)
↓ β					
$^{214}_{83}\text{Bi}$	Радий C	19,9 мин	5,45(0,012%) 5,51(0,008%)	1,0(23%) 1,51(40%)	0,669(47%) 1,120(17%)
↓ β					
$^{214}_{84}\text{Po}$	Радий C'	0,164 мкс	7,69(100%)	-	0,799(0,014%)

$\downarrow \alpha$						
$^{210}_{81}Tl$	Радий C''	1,3 мин	-	1,3(25%) 1,9(56%) 2,3(19%)	0,296(80%) 0,795(100%) 1,32(21%)	
$\downarrow \beta$						
$^{210}_{82}Pb$	Радий D	22,3 года	3,72(0,000002%)	0,016(85%) 0,061(15%)	0,047(4%)	
$\downarrow \beta$						
$^{210}_{83}Bi$	Радий E	5,01 сут	4,65(0,000007%) 4,69(0,0005%)	1,61(100%)	-	
$\downarrow \beta$						
$^{210}_{84}Po$	Радий F	138,4 сут	5,305(100%)		0,803(0,0011%)	
$\downarrow \alpha$						
$^{206}_{81}Tl$	Радий E''	4,19 мин	-	1,571(100%)	-	
$\downarrow \beta$						
$^{206}_{82}Pb$	Радий G	Стабильный	-	-	-	

Эти семейства включают соответственно 17, 14 и 12 радиоактивных изотопов, распадающихся в основном с испусканием альфа-частиц (ядер гелия); некоторые из членов семейств относятся к бета и гамма-излучателям.

При распаде родоначальных радиоактивных элементов - ^{226}Ra ThX (^{224}Ra) и AcX (^{223}Ra) - в почвенный воздух поступают инертные и радиоактивные газы-эманации: радой (^{222}Rn), торой (^{220}Rn) и актинон (^{219}Rn). Из них ^{222}Rn имеет период полураспада 3,825 дня, торон и актинон - короткоживущие радиоэлементы. У торона период полураспада 54,5 с, у актинона – 3,92 с.

В ненарушенных горных породах в каждом радиоактивном семействе наблюдается состояние радиоактивного равновесия, при котором количество радиоактивности каждого члена данного семейства одинаково. В отвалах радиоактивное равновесие нарушается вследствие разной миграционной подвижности различных элементов, образующих радиоактивные семейства [9].

При выветривании сульфидсодержащих пород, которое сопровождается повышением температуры, серная кислота, образующаяся при окислении пирита, переводит первичные урановые минералы в подвижную форму, то есть в раствор. При этом они переходят в раствор в

виде сульфатов четырех- и шестивалентного урана. $U(SO_4)_2$ в присутствии сульфата окисного железа в кислой среде немедленно окисляется до шестивалентного: $U^{4+} + 2Fe^{3+} \rightarrow U^{6+} + 2Fe^{2+}$ или, если эту же реакцию изобразить в виде солей [5]:



Фактически нарушается радиоактивное равновесие. Оно характеризуется повышением ионизирующего излучения.

1.3. Неконтролируемая миграция радионуклидов и тяжелых металлов

Сухой чистый воздух в нижних слоях атмосферы на всей планете характеризуется постоянством состава. В нем содержится азот, кислород, аргон, углекислый газ, неон, гелий, криптон, водород, ксенон, озон и некоторые другие газы. В природных условиях в воздухе, кроме упомянутых газов, содержится водяной пар, различные газовые примеси, а также мельчайшие твердые и жидкие частицы, как природного происхождения, так и попавшие в атмосферу в результате хозяйственной деятельности человека. Эти частицы, находящиеся в воздухе во взвешенном состоянии, называются аэрозолем [10]. В одних местах его меньше, в других, например, в промышленных центрах, больше. К таким центрам относится Донбасс.

Наиболее активно загрязняет атмосферный воздух угольная промышленность. Объектов-загрязнителей здесь много. Свой вклад в запыленность атмосферы вносят и шахтные отвалы. Только с 1 м^2 незакрепленной поверхности террикоников в зависимости от скорости ветра сдувается от 1 до 50 мг/с и более пыли. Ее содержание в воздухе даже на расстоянии 500 м от отвалов превышает санитарные нормы [11, 12] (таблица 3):

Таблица 3. Исследование воздуха населенных мест г.Свердловска пос.ш.1-2 на пыль

Дата замера	Точка замера	Обнаружено, мг/м ³	ПДК	Превышение ПДК, раз
2 апр 08	ул.Северная. 60	1,30	0,5	2,6
10 апр 08	ул. Водопьянова, 76	0,55	0,5	1,1
15 авг 08	ул.Северная	0,43	0,5	0,86
28 авг 08	ул. Северная	0,55	0,5	1,1
12 сен 08	ул. Северная	0,69	0,5	1,38
5 окт 08	ул. Северная	0,40	0,5	0,8
24 окт 08	ул. Северная	0,64	0,5	1,28
4 ноя 08	ул. Северная	0,25	0,5	0,5
13 ноя 08	ул. Северная	0,40	0,5	0,8
27 ноя 08	ул. Северная	0,51	0,5	1,02
10 июн 08	Пор.отв. 1-2; АЗС	0,60	0,5	1,2
24 июн 08	Пор.отв. 1-2; АЗС	0,60	0,5	1,2
2 июл 08	Пор.отв. 1-2; АЗС	0,60	0,5	1,2
2 июл 08	ул.Гагарина, мг.«Авто- стоп»	0,80	0,5	1,6
2 июл 08	ул.Чкалова , 82	0,80	0,5	1,6
8 июл 08	ул.Гагарина, мг.«Авто- стоп»	0,50	0,5	1
10 июл 08	Пор.отв. 1-2	0,60	0,5	1,2
10 июл 08	Пор.отв. 1-2 ;ул Чкалова,46	0,80	0,5	1,6
29 июл 08	Пор.отв. 1-2; АЗС	0,42	0,5	0,84
29 июл 08	ул. Нахимова	0,56	0,5	1,12
29 июл 08	ул.Чкалова	0,56	0,5	1,12
1 авг 08	ул. Гагарина	0,56	0,5	1,12
1 авг 08	ул. Нахимова, 3	0,41	0,5	0,82
1 авг 08	Пор.отв. 1-2; АЗС	0,41	0,5	0,82
3 авг 08	пер. Гвардейский,	0,68	0,5	1,36
3 авг 08	Пор.отв. 1-2; АЗС	0,69	0,5	1,38

7 авг 08	ул. Нахимова,3	0,77	0,5	1,54
7 авг 08	ул. Гагарина	0,77	0,5	1,54
7 авг 08	Пор.отв. 1-2; АЗС	0,77	0,5	1,54
11 авг 08	ул. Нахимова,3	0,67	0,5	1,34
11 авг 08	ул. Гагарина,147	0,72	0,5	1,44
11 авг 08	Пор.отв. 1-2; АЗС	0,72	0,5	1,44
15 авг 08	Пор.отв. 1-2; АЗС	0,42	0,5	0,84
15 авг 08	ул.Чкалова	0,42	0,5	0,84
18 авг 08	пер. Гвардейский,	0,58	0,5	1,16
18 авг 08	ул. Чкалова, 82а	0,57	0,5	1,14
18 авг 08	Пор.отв. 1-2; АЗС	0,58	0,5	1,16
26 авг 08	ул. Нахимова	0,56	0,5	1,12
26 авг 08	пер. Гвардейский,	0,58	0,5	1,16
26 авг 08	Пор.отв. 1-2; АЗС	0,56	0,5	1,12
8 сен 08	ул. Нахимова,3	0,71	0,5	1,42
8 сен 08	ул. Гагарина,151	0,85	0,5	1,7
8 сен 08	Пор.отв. 1-2; АЗС	0,71	0,5	1,42
12 сен, 08	Пор.отв. 1-2; АЗС	0,96	0,5	1,92
12 сен, 08	ул.Чкалова	0,69	0,5	1,38
17 сен, 08	пер. Гвардейский,	0,67	0,5	1,34
17 сен, 08	ул.Чкалова	0,53	0,5	1,06
17 сен, 08	Пор.отв. 1-2; АЗС	0,67	0,5	1,34
2 окт, 08	ул. Гагарина,151	0,52	0,5	1,04
2 окт, 08	ул. Нахимова,3	0,53	0,5	1,06
2 окт, 08	Пор.отв. 1-2; АЗС	0,53	0,5	1,06
3 окт, 08	ул. Чкалова, 82а	0,66	0,5	1,32
3 окт, 08	пер. Гвардейский,	0,67	0,5	1,34
7 окт, 08	ул. Нахимова,3	0,59	0,5	1,18
7 окт, 08	ул. Гагарина,151	0,59	0,5	1,18
7 окт, 08	Пор.отв. 1-2; АЗС	0,60	0,5	1,2
15 окт, 08	Пор.отв. 1-2; АЗС	0,39	0,5	0,78
15 окт, 08	ул. Нахимова	0,40	0,5	0,8

15 окт, 08	ул. Гагарина	0,53	0,5	1,06
24 окт, 08		0,51	0,5	1,02
24 окт, 08	ул. Гагарина	0,51	0,5	1,02
3 ноя, 08	ул. Нахимова	0,43	0,5	0,86
3 ноя, 08	ул. Гагарина	0,57	0,5	1,14
3 ноя, 08	Пор.отв. 1-2; АЗС	0,43	0,5	0,86
4 окт, 08	ул.Чкалова	0,38	0,5	0,76
4 окт, 08	пер. Гвардейский,	0,38	0,5	0,76
10 окт, 08	Пор.отв. 1-2; АЗС	0,41	0,5	0,82
10 окт, 08	пер. Гвардейский,	0,55	0,5	1,1
10 окт, 08	ул.Чкалова	0,55	0,5	1,1
13 ноя, 08	ул. Нахимова	0,53	0,5	1,06
26 ноя, 08	Пор.отв. 1-2; АЗС	0,43	0,5	0,86
27 ноя, 08	пер. Гвардейский,	0,51	0,5	1,02
27 ноя, 08	ул.Чкалова	0,51	0,5	1,02

Так как движение горизонтальных воздушных масс в густо застроенном регионе по сравнению с прилегающей территорией снижено в среднем на 25%, все загрязняющие вещества во взвешенном состоянии длительное время находятся в воздухе, способствуя конденсации водяного пара (частицы пыли выступают в качестве ядер конденсации) с образованием туманов, облаков. Поэтому количество туманов в 2 - 5 раз, а количество осадков на 5 - 10% больше по сравнению с прилегающей территорией [13].

Средняя минерализация атмосферных осадков в регионе высокая и достигает 60 мг/л [14]. Это объясняется тем, что достигая земли в виде дождя, снега или града, осадки на своем пути растворяют аэрозоли и обогащаются солями. Содержание солей находится в прямой зависимости от запыленности атмосферы и в обратной - от суммы выпадающих осадков.

Так, например, приведем химический состав и минералогический анализ материалов породных отвалов ГП «Свердловантрацит» (таблица 4):

Таблица 4. Химический состав и минералогический анализ материалов породных отвалов ГП «Свердловантрацит».

Состав элементов	Ед. измерения	Наименование шахты				
		Ш.Д. Капитальная	Ш. Свердловва	Ш. Центросоюз	Ш. Харьковская	Ш. Красный партизан
Фосфор	мг/кг	100	700	1000	1000	1000
Свинец	мг/кг	50	70	15	50	50
Медь	мг/кг	10	50	50	70	50
Титан	мг/кг	1500	700	1000	700	700
Ванадий	мг/кг	100	50	30	50	100
Марганец	мг/кг	300	100	700	150	150
Галлий	мг/кг	50	50	20	30	30
Вольфрам	мг/кг	3	3	3	3	5
Никель	мг/кг	30	50	20	50	50
Хром	мг/кг	100	150	100	150	100
Германий	мг/кг	7	5	3	5	7
Кобальт	мг/кг	10	10	10	20	10
Висмут	мг/кг	2	2	2	2	3
Барий	мг/кг	100	200	300	200	-
Бериллий	мг/кг	2	2	2	2	1
Ниобий	мг/кг	3	3	3	3	2
Молибден	мг/кг	3	3	3	5	3
Олово	мг/кг	10	15	7	10	10
Литий	мг/кг	30	100	70	50	100
Иттрий	мг/кг	10	10	10	10	10
Цирконий	мг/кг	100	50	70	70	30
Серебро	мг/кг	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	-	$5 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$

Лантан	мг/кг	15	10	15	-	-
Цинк	мг/кг	150	15	100	150	200
Скандий	мг/кг	3	2	3	2	-
Фтор	мг/кг	-	500	700	500	500

Коническая форма отвалов, большая крутизна их склонов (до 45°) способствует катастрофическим эрозионным процессам. С 1га поверхности терриконигов ежегодно смывается от 86 до 900 м³ породы [11]. По данным В.И. Бакланова, эти цифры еще больше (300 - 1200 м³) [4].

Смываемая порода очень токсична, так как окисление пирита, который является основной составной частью пород, способствует тому, что свежесыпанная нейтральная порода терриконигов с течением времени становится сернокислой. Серная кислота, образующаяся в результате окисления пирита, растворяет различные металлы, в том числе и уран [15]. Растворение урана приводит к повышению радиоактивности породы терриконигов [16].

Факторами, определяющими направление и интенсивность миграции радионуклидов, являются:

- распространение в атмосфере Земли при перемешивании воздушных масс;
- осаждение на поверхность почвы, водоемов, растительный покров, диффузии, вымывания и других процессов;
- перемещение по земной поверхности со стоком, фунтовыми водами, под действием ветра, хозяйственной деятельности человека (обработка почвы и др.) и перемешиванием толщи воды;
- биогенная миграция при включении в биологические и пищевые цепи [17,18].

Значительную роль в формировании радиационной обстановки играют ландшафтно-геохимические особенности миграции радионуклидов, обусловленные дефляцией и стоком поверхностных вод терриконов в

гидрологическую сеть и в бессточные понижения. Ветровой перенос поднятого с поверхности радиоактивного вещества может привести к вторичному загрязнению более чистой территории в результате дефляции. В зависимости от величины состава породных частиц они или держатся в воздухе под действием турбулентных сил, превышающих гравитационные, или перекатываются по поверхности почвы. Вторичный ветровой перенос осуществляется в нижних слоях атмосферы на сравнительно небольших расстояниях (1-2 км), однако может резко возрастать в случае пожаров, смерчей и пыльных бурь.

Поверхностные воды переносят большое количество взвесей, представленных в основном тонкодисперсными иловатыми частицами, содержащими значительное количество радионуклидов в поглощенном состоянии. Вынесенные химические элементы и радионуклиды поступают в нижерасположенные по рельефу геохимически подчиненные ландшафты. Наблюдается повышение концентрации радионуклидов у подножия терриконов в почвах депрессий и продуктах водной эрозии, перемещаемых вниз по стоку, особенно в замкнутых, непроточных депрессиях с распаханymi склонами породных отвалов, где происходит осаждение частиц твердого стока, вследствие падения скорости водного потока. Велика роль искусственных и естественных барьеров местности в перераспределении радионуклидов. Так, лесные насаждения способны практически полностью задерживать поверхностный сток радионуклидов. Поэтому, последние не только прочно удерживаются на залесенных водоразделах, но и на залесенных склонах терриконов [17,18].

1.4. Воздействие радиоактивного излучения материалов породных отвалов на человека

Все живые организмы на Земле, в том числе и человек в естественной среде своего обитания, подвергаются действию космического излучения и естественных

радионуклидов, содержащихся в окружающей среде. Радионуклиды всегда существовали и существуют в природе, постоянно находятся в организме всех живых существ и человека [19,17,20].

В результате хозяйственной деятельности человека в окружающей среде появились искусственные радионуклиды», увеличилось количество естественных радионуклидов, извлекаемых из недр Земли с нефтью, углем, газом, минеральными удобрениями, строительными материалами [21,22,23,24,18].

В углях и породных терриконах радионуклиды содержатся в несгораемой минеральной фракции. При сгорании угля органический компонент выгорает, в результате чего концентрация природных радионуклидов в золе и шлаке становится выше, чем в самом угле.

Основными источниками дополнительного облучения населения, проживающего вокруг ТЭЦ, шахтных породных отвалов, связанные с процессом горения угля, являются: ингаляционное поступление во время прохождения шлейфа выброса, внешнее излучение, ингаляционное и пероральное поступление в организм человека радионуклидов, отложившихся на поверхности Земли [8].

С 1969г. в СССР были установлены нормы радиационной безопасности НРБ-76/87 для трех категорий облучаемых лиц:

- 1. А (персонал);**
- 2. Б (ограниченная часть населения);**
- 3. В (население).**

С 1 января 1998 года в Украине введены в действие нормы радиационной безопасности НРБУ-97. НРБУ-97 распространяется на ситуации облучения человека источниками ионизирующего излучения (ИИИ) в условиях:

- нормальной эксплуатации промышленных ИИИ;
- медицинской практики;
- радиационной аварии;
- облучение техногенно-усиленными источниками природного происхождения.

НРБУ-97 включают 4 группы радиационно-гигиенических регламентированных величин:

I группа.

1. Пределы доз и допустимые уровни (пределы доз облучения мЗв/год).

А	Б	В
20	2	1

2. Облучение персонала категории А.
3. Повышенное планируемое облучение персонала.
4. Облучение персонала категории Б.
5. Облучение населения категории В.
6. Ограничение облучения беременных женщин и женщин детородного возраста.
7. Контрольные уровни (разработка администрацией учреждения по согласованию с СЭС).

II группа.

1. Медицинское облучение населения.

III группа.

1. Вмешательства в условиях радиоактивной аварии.

IV группа.

1. Уменьшение доз хронического облучения человека от техногенно-усиленных источников природного происхождения в быту и на производстве (мин. сырье, стройматериалы, быт. химия, изделия из стекла и т.д.).
2. Радиационная защита персонала. Безопасность труда при эксплуатации ИИИ[25].

Биологическое действие ионизирующих излучений

Биологическое действие ионизирующего излучения условно можно подразделить на:

1) первичные физико-химические процессы, возникающие в молекулах живых клеток и окружающего их субстрата;

2) нарушения функций целого организма как следствие первичных процессов.

В результате облучения в живой ткани, как и в любой среде, поглощается энергия, и возникают возбуждение и ионизация атомов облучаемого вещества. Поскольку у человека (и млекопитающих) основную часть массы тела составляет вода (около 75%), первичные процессы во многом определяются поглощением излучения водой клеток, ионизацией молекул воды с образованием высокоактивных в химическом отношении свободных радикалов типа OH или H и последующими цепными каталитическими реакциями (в основном окислением этими радикалами молекул белка). Это есть косвенное (непрямое) действие излучения через продукты радиолиза воды. Прямое действие ионизирующего излучения может вызвать расщепление молекул белка, разрыв наименее прочных связей, отрыв радикалов и другие денатурационные изменения.

Необходимо заметить, что прямая ионизация и непосредственная передача энергии тканям тела не объясняют повреждающего действия излучения. Так, при абсолютно смертельной дозе, равной для человека 6 Гр на все тело, в 1 см^3 ткани образуется 10^{15} ионов, что составляет одну ионизованную молекулу воды из 10 млн. молекул.

В дальнейшем под действием первичных процессов в клетках возникают функциональные изменения, подчиняющиеся уже биологическим законам жизни и гибели клеток.

Наиболее важные изменения в клетках: а) повреждение механизма митоза (деления) и хромосомного аппарата облученной клетки. Причем самые ранние эффекты в клетках вызываются не митотической гибелью, а обычно связаны с повреждением мембран; б) блокирование процессов обновления и дифференцировки клеток; в) блокирование процессов пролиферации и последующей физиологической регенерации тканей.

Наиболее радиочувствительными являются клетки постоянно обновляющихся (дифференцирующихся) тканей некоторых органов (костный мозг, половые железы, селезенка и т. п.) Причем стволовые и пролиферативные клетки, претерпевающие множество делений, наиболее радиочувствительны. Изменения на клеточном уровне, гибель клеток приводят к таким нарушениям в тканях, в функциях отдельных органов и в межорганных взаимосвязанных процессах организма, которые вызывают различные последствия для организма или гибель организма [8].

Биологическое действие радионуклидов, попавших внутрь организма

Повышенная опасность радионуклидов, попавших внутрь организма, обусловлена несколькими причинами. Одна из них — способность некоторых нуклидов избирательно накапливаться в отдельных органах тела, называемых критическими (например, до 30% йода депонируется в щитовидной железе, которая составляет только 0,03 % массы тела), и, таким образом, отдавать свою энергию относительно небольшому объему ткани. Другая причина — значительная продолжительность облучения до момента выведения нуклида из органа или уменьшения активности вследствие радиоактивного распада нуклида. Скорость биологического выведения (при допущении, что выведение радиоактивных веществ из органов происходит по экспоненциальному закону) характеризуется постоянной λ_6 , а эффективная скорость — суммой постоянных $\lambda_{эф} = \lambda_6 + \lambda_p$, где λ_p — постоянная радиоактивного распада. Тогда эффективный период полувыведения нуклида из организма равен:

$$T_{y\delta} = 0,693 / \lambda_{y\delta} = T_{\alpha} \cdot T_{1/2} / T_{\alpha} + T_{1/2} , \quad (4)$$

Третья причина — рост опасности воздействия высокоионизирующих α и β излучений, которые не действенны или малодейственны для внутренних органов при внешнем облучении ввиду низкой проникающей способности.

Рассматриваются три пути проникновения радиоактивных веществ в организм: через органы дыхания, через ЖКТ и через кожу или повреждения кожи. Этими

путями нуклиды вначале попадают в кровь, а затем потоком крови разносятся по всему телу или преимущественно в критические органы.

В некоторых случаях критическим органом становится ЖКТ, его отдельные участки, а также легкие.

Наиболее опасен первый путь, поскольку за рабочую смену человек, как это рекомендуют принимать в расчетах НРБ — 76/87, вдыхает за 6 рабочих часов 9 м^3 воздуха (в целом за 1 сут 20 м^3), а с пищей потребляет только 2,2 л воды.

Кроме того, усвоение и отложение в организме нуклидов, попадающих через органы дыхания, как правило, выше, чем при заглатывании. Усвоение через неповрежденную кожу в 200—300 раз меньше, чем через ЖКТ, и не имеет существенного значения по сравнению с первыми двумя путями. Только оксид трития, а также нитрат уранила и изотопы йода легко проникают через кожу и всасываются в кровь.

Крупные частицы (более 5 мкм) эффективно (до 75 %) задерживаются верхними дыхательными путями (носоглоткой), 8 % достигают альвеол легких. В общем случае, согласно рекомендациям МКРЗ [26], для расчетов принимается аэродинамический диаметр аэрозолей 1 мкм и следующее распределение вдыхаемого вещества: выдыхается 35%; осаждается в верхних путях 30 %; осаждается в альвеолах легких 25 %; около 8 % откладывается в трахеях легких. В этой дыхательной системе наиболее критичными с точки зрения радиационной защиты являются альвеолы и трахеи в виде одного составного органа массой 1000 г, условно называемого легкими. Для описания очищения легких от вдыхаемых радиоактивных веществ и выведения их из собственно легочной области последние разделяются на классы Д, Н, Г с периодом полувыведения $T_{\alpha} = 10$, от 10 до 100 и более 100 сут. Биологические периоды полувыведения нуклидов из критических органов и тканей различаются от десятков суток (^3H , ^{14}C , ^{24}Na) до (практически) бесконечности (полное усвоение: ^{90}Sr , ^{239}Pu).

Возможные последствия облучения людей

Соматические (телесные) эффекты — это последствия воздействия облучения на самого облученного, а не на его потомство. Соматические эффекты облучения делят на стохастические (вероятностные) и нестохастические.

К нестохастическим соматическим эффектам относят поражения, вероятность возникновения и степень тяжести которых растут по мере увеличения дозы облучения и для возникновения которых существует дозовый порог. К таким эффектам относят, например, локальное незлокачественное повреждение кожи (лучевой ожог), катаракта глаз (потемнение хрусталика), повреждение половых клеток (кратковременная или постоянная стерилизация) и др. Время появления максимального эффекта также зависит от дозы: после более высоких доз он наступает раньше.

Классификация возможных последствий облучения людей показана на рис.3.:



Рис. 3. Классификация возможных последствий облучения человека

Нестохастические эффекты проявляются при достаточно высоком или аварийном облучении всего тела или отдельных органов.

К соматико-стохастическим эффектам относят злокачественные новообразования и опухоли, индуцированные излучением. Вероятность их появления зависит от дозы облучения и не исключается при малых дозах, так как условно полагают, что соматико-стохастические эффекты не имеют дозового порога.

Генетические эффекты — врожденные уродства — возникают в результате мутаций и других нарушений в половых клеточных структурах, ведущих наследственностью. Генетические эффекты так же, как соматико-стохастические, не исключаются при малых дозах и так же условно не имеют порога.

Выход обоих эффектов мало зависит от мощности дозы, а определяется суммарной накопленной дозой независимо от того, получена она за 1 сут или за 50 лет. Соматико-стохастические и генетические эффекты должны учитываться при оценке ущерба в результате действия малых доз на большие группы людей, насчитывающие сотни тысяч человек. Выход этих эффектов определяется коллективной дозой, если она составляет не менее 100 чел-Зв, а выявление эффекта у отдельного индивидуума практически непредсказуемо. Если коллективная доза составляет несколько человеко-Зиверт, то наиболее вероятно нулевое количество эффектов.

Для целей радиационной защиты, согласно рекомендациям МКРЗ [27—30], принято допущение, что стохастические эффекты имеют беспороговую линейную зависимость вероятности возникновения при обычно встречающихся условиях профессионального, медицинского и фонового облучения. Однако коэффициенты этой зависимости доза — эффект были установлены на основе имеющихся данных о стохастическом воздействии больших кратковременных доз (больше 1 Гр). Поэтому перенос их в обычные условия облучения на основе беспороговой линейной концепции вдвое завышает реальный риск малых доз по данным МКРЗ 1990 г.

Для оценки вероятности возникновения соматико-стохастических эффектов облучения были использованы стохастические данные числа случаев смертельного

заболевания лейкемией и другими видами рака японцев, перенесших взрыв атомных бомб в Хиросиме и Нагасаки, данные по последствиям рентгенотерапии и др.

Было установлено, что выход этих заболеваний (со смертельным исходом) зависит не только от коллективной дозы, чел·Зв, а также от возраста и пола и составляет в среднем 125 случаев в год на 10^4 чел·Зв при однородном облучении всего тела. Соответствующий риск облучения выражается значением $125/10^4 = 1,25 \cdot 10^{-9} (\text{чел} \cdot \text{Зв})^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Если к этому риску добавить риск генетических радиационных повреждений, равный $0,4 \cdot 10^{-2} (\text{чел} \cdot \text{Зв})^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ у первых двух поколений потомства облученных лиц, то общий риск составляет $1,65 \cdot 10^{-2} (\text{чел} \cdot \text{Зв})^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Это значение риска принято МКРЗ за номинальное. Следует отметить, что генетические последствия облучения так же, как стохастические, изучены весьма приближенно и постоянно уточняются [31] и по данным МКРЗ 1990 г. составляют соответственно $5 \cdot 10^{-2} (\text{чел} \cdot \text{Зв})^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$, а общий риск $6 \cdot 10^{-2} (\text{чел} \cdot \text{Зв})^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

Среднее значение $1,25 \cdot 10^{-2} \text{Зв}^{-1}$ получено из вероятности канцерогенного эффекта для мужчин $1,0 \cdot 10^{-2} \text{Зв}^{-1}$ и женщин $1,5 \cdot 10^{-2} \text{Зв}^{-1}$. Более высокое значение риска у женщин обусловлено большей вероятностью рака грудной железы при облучении [32].

Имеется падение риска возникновения соматико-стохастических и генетических эффектов при увеличении возраста от **18 до 65 лет**, отнесенное к его среднему (номинальному) значению ($1,65 \cdot 10^{-2} \text{Зв}^{-1}$). Риск уменьшается с 1,2 до $0,15 \cdot 10^{-2} \text{Зв}^{-1}$ для мужчин и с 1,5 до $0,35 \cdot 10^{-2} \text{Зв}^{-1}$ у женщин. Это связано с существованием латентного периода развития раковой опухоли после облучения, равного примерно 7—12 годам для лейкемии и 25 годам для остальных злокачественных новообразований. Таким образом, чем больше возраст человека в момент облучения, тем больше вероятность того, что раковая опухоль не успеет развиться до наступления его естественной смерти.

Среднее значение риска за период трудовой деятельности от 18 до 65 лет при постоянном облучении с учетом возрастной зависимости риска составляет 0,61

номинального значения у мужчин и 0,85 — у женщин, соответственно только $1,0 \cdot 10^{-2} \text{Зв}^{-1}$ и $1,4 \cdot 10^{-2} \text{Зв}^{-1}$ (табл.5):

Таблица 5. Зависимость уровня риска от возраста и пола, 10^{-4}Зв^{-1} .

Пол и заболевание	В возрасте, лет					Среднее значение	Номинальное значение
	20	30	40	50	60		
Мужчины							
Лейкемия	20	20	20	19	11	18	20
Рак	80	82	60	38	16	53	105
Генетические повреждения	97	41	7	1	0	29	40
Всего	197	133	87	58	27	100	165 (100:165=0,61)
Женщины							
Лейкемия	20	20	20	20	16	19	20
Рак	130	125	109	82	44	98	105
Генетические повреждения	89	23	2	0	0	23	40
Всего	239	168	131	102	60	140	165 (140:165=0,85)

Так, например, активистами общественной организации «Эко-регион» был проведен мониторинг заболеваемости детей в возрасте от 0 до 14 лет в одном из поселков города Свердловска, в центре которого находится горящий террикон в поселке ш. 1-2 Свердлова. Мониторинг проведен на основании заболеваемости детей в зависимости от наличия зоба (на 1000 детей). Дети, проживающие в районе поселка ш. 1-2 Свердлова и квартала Пролетариат Донбасса, чаще всего страдают болезнями эндокринной системы, нарушением обмена веществ, снижением иммунитета, психическими расстройствами и болезнями нервной системы (ДЦП),

болезнями системы кровообращения (ВСД), болезнями органов дыхания, болезнями органов пищеварения. На фоне йодной недостаточности у жителей указанного района (осмотрено 1000 чел.) обнаружен эндемический зоб, который особенно опасен для детей, так как на его фоне возрастает уровень распространения большинства социально значимых заболеваний. Помимо клинически очерченных болезней дети с зобом имеют повышенную чувствительность к холоду, сухость кожи, ломкие волосы и ногти, снижение интеллекта в легкой степени до тяжелых форм эндемического кретинизма и двигательных нарушений. У детей отмечаются пониженные способности к обучению, выполнению школьных заданий или конкретной работе руками, нарушение концентрации внимания, уменьшение объема кратковременной памяти, появление двигательных расстройств. Из 50 детей 30 имеют снижение гемоглобина. Кислородное голодание проявляется замедленной реакцией, сонливостью, головными болями, апатией. 40 из 100 детей имеют астму. 70 из 100 детей - вегетососудистую дистонию, проблемы с давлением. На 100 родившихся детей в период с 2005 по 2007 год - 5 умерших до года от врожденных пороков сердца, 35 - родившихся с тяжелыми заболеваниями, 7 - ДЦП.

2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ В МАТЕРИАЛАХ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ

Для установления, а также определения удельной активности, удельной эффективной активности естественных радионуклидов (ЕРН) в строительных материалах и изделиях существует несколько методов:

1. Экспрессный метод;
2. Лабораторный метод.

Естественные радионуклиды (ЕРН) - основные радиоактивные нуклиды природного происхождения, содержащиеся в строительных материалах: радий (^{226}Ra), торий (^{232}Th), калий (^{40}K).

Удельная активность радионуклида (А) - отношение активности радионуклида в образце к массе образца, Бк/кг.

Удельная эффективная активность ЕРН ($A_{эфф}$) - суммарная удельная активность ЕРН в материале, определяемая с учетом их биологического воздействия на организм человека по формуле:

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,31A_{Th} + 0,085A_K \quad (5)$$

где A_{Ra} , A_{Th} , A_K - удельные активности радия, тория, калия соответственно, Бк/кг.

2.1. Экспрессный метод

1. Назначение метода:

Экспрессный метод предназначен для проведения:

- периодического и входного контроля сыпучих строительных материалов и отходов промышленного производства (далее - сыпучих материалов), а также строительных изделий в соответствии с действующими нормативными документами;
- предварительной оценки разрабатываемых горных пород в карьере.

Условием применения экспрессного метода является отсутствие загрязнения материалов и изделий техногенными радионуклидами.

2. Средства контроля

Переносные радиометры удельной эффективной активности ЕРН, использующие **гамма-спектрометрический метод измерений** (например, типа РКП-305МС), со следующими техническими характеристиками:

- нижний предел определения величины $A_{эфф}$ не более 100 Бк/кг;
- относительная погрешность определения величины $A_{эфф}$ не более 30%.

Контрольный радионуклидный источник активностью от 100 до 1000 Бк для проверки воспроизводимости показаний радиометра.

Применяемая радиометрическая аппаратура должна подвергаться обязательным государственным метрологическим испытаниям в соответствии с ГОСТ 8.326 и ГОСТ 8.513, подтверждаемым свидетельством о государственной метрологической аттестации, и комплектоваться аттестованными в установленном порядке методиками выполнения измерений, обеспечивающими введение необходимых поправок и оценку погрешности результатов в условиях реальных измерений.

Гамма-спектрометрический метод измерений

В некоторых научно-исследовательских задачах, связанных с мониторингом радиационного состояния окружающей среды, требуется определить присутствие и удельную активность радионуклидов уран-ториевого ряда. Для этого в основном применяется метод гамма-спектрометрического анализа. Суть его состоит в том, что идентифицировать радиоактивные элементы и рассчитать их активность можно по форме энергетического спектра гамма-излучения пробы. Нуклидный состав определяется по наличию характеристических пиков, а расчет активности радионуклидов проводится по площади пика и пиков его дочерних продуктов[12].

Измерения, проводимые на гамма-спектрометрических комплексах, обычно подразделяются на три группы:

- Исследование соответствия объекта тем или иным критериям или нормам. Это относится к измерению содержания $C - 137$, $C_s - 134$, измерению радиоактивности строительных материалов, исследованию на принадлежность произвольных материалов к радиоактивным отходам, исследованию радиоактивности почв на предмет допустимости проживания людей на указанной территории и т. д.
- Определение значения активностей радионуклидов в объектах с максимальной возможной точностью. Проводится с целью получения информации, наиболее полно характеризующей объект. Может проводиться при сертификации объектов или метрологической аттестации образцовых мер.
- Измерения, проводимые с исследовательскими целями. Проводятся с целью получения некоторой специальной информации, например наличия или отсутствия в объекте какого-либо радионуклида, определения отношений активностей нуклидов и т. д.

3. Порядок подготовки аппаратуры к проведению измерений и контроль ее работоспособности:

Подготовку аппаратуры к проведению измерений проводят в соответствии с инструкцией по ее эксплуатации.

Для проверки работы аппаратуры перед началом и после выполнения рабочих измерений проводят измерения с помощью контрольного источника. Разница показаний между этими измерениями не должна превышать 5%.

4. Порядок проведения контроля:

При контроле сыпучих материалов на складе контрольные точки выбирают:

- на конусах или штабелях - по периметрам горизонтальных сечений с интервалом не более 10 м, высота нижнего сечения от подошвы конуса или штабеля должна быть не менее 1 м;
- на карте намыва - в узлах прямоугольной сети 10x10 м.

При входном контроле сыпучих строительных материалов контрольные точки выбирают в каждом транспортном средстве на расстоянии не менее 1 м от бортовой стенки:

- в железнодорожном транспорте (полувагоне и платформе) - не менее двух точек;
- в автомобильном транспорте - одну точку в центре кузова;
- на водном транспорте (на барже - площадке или бункерных судах) - не менее двух точек, расположенных вдоль оси судна.

При проведении контроля строительных изделий из них формируют прямоугольную призму с основанием не менее 1,2 x 1,2 м и высотой 0,5 м или выбирают поддон (пакет) изделий, уложенных не в "елочку", с размерами не менее указанных и в центре верхней плоскости изделий выбирают контрольную точку.

Измерения проводят путем установки блока детектирования радиометра в контрольной точке на ровной поверхности материала. За ровную принимают поверхность, на которой размеры выступов (впадин) не превышают диаметр блока детектирования.

В каждой контрольной точке проводят не менее трех последовательных измерений.

Для снижения влияния бокового излучения на результаты измерения должны проводиться на расстоянии не менее 20 м от зданий, сооружений, массивов горных пород и строительных материалов и изделий.

5. Правила обработки результатов измерений:

За результат определения величины $A_{эфф}$ в контрольной точке принимают значение, определяемое по формуле:

$$A_{эфф.m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{эфф.i} + \Delta \quad (6)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$ – номер измерения в данной точке; n – количество измерений в данной точке; $A_{эфф.i}$ – значение величины $A_{эфф}$ при i -м измерении; Δ - абсолютная погрешность измерения, оцениваемая в соответствии с методикой выполнения измерений.

За результат определения величины удельной эффективной активности ЕРН в партии материала ($A_{эфф.п}$) принимают максимальное из значений, полученных при измерениях в контрольных точках данной партии.

6. Правила оформления результатов контроля

Показания прибора и результаты контроля заносят в журнал. В журнале регистрируют дату проведения контроля, наименование материала (изделия), привязку контрольных точек измерения, особенности условий измерений (расстояние от источника бокового излучения, температура воздуха и др.), показания прибора (значения удельной активности каждого радионуклида или удельной эффективной активности ЕРН в материале) с оценкой погрешности, результат определения величины $A_{эфф.п}$, предварительное заключение о классе материала.

В случае, если определенная при контроле величина $A_{эфф.п}$ равна верхнему граничному значению, установленному для соответствующего класса, материал необходимо относить к следующему классу.

2.2. Лабораторный метод

1. Назначение метода:

Лабораторный метод предназначен для:

- установления класса строительного материала (изделия);
- уточнения класса строительного материала (изделия) в случае получения граничных значений по экспрессному методу;
- сертификации продукции.

2. Средства контроля:

Радиометрическая установка на основе стационарного гамма-спектрометра со следующими техническими характеристиками:

- диапазон энергии регистрируемого гамма-излучения от 0,1 до 3 МэВ;
- нижний предел определения удельной активности каждого ЕРН не более 50 Бк/кг;
- относительная погрешность определения удельной активности ЕРН не более 20% при доверительной вероятности 0,95.
- комплект аттестованных мер (стандартных образцов) удельной активности ЕРН.

3. Вспомогательное оборудование:

- набор контейнеров для навесок материала установленного объема с крышками;
- лабораторная дробилка;
- контрольное сито с круглыми отверстиями диаметром 5 мм;
- сушильный шкаф;

- весы настольные циферблатные по ГОСТ 29329 или лабораторные по ГОСТ 24104.

Радиометрическая установка должна иметь свидетельство о государственной метрологической аттестации и аттестованную в установленном порядке методику выполнения измерений удельной активности ЕРН.

4. Порядок подготовки аппаратуры к проведению контроля:

Подготовку радиометрической установки к измерениям и измерения проводят в соответствии с методикой выполнения измерений.

5. Порядок проведения контроля

Отбор и подготовка проб:

Определение удельных активностей ЕРН в сыпучих материалах проводят на навесках, отобранных из представительной пробы.

Представительную пробу получают путем перемешивания и квартования не менее 10 точечных проб, отобранных из контрольных точек. Отбор проб производят в соответствии с требованиями действующих нормативных документов. Представительную пробу с размером зерен более 5 мм измельчают до размеров зерен менее 5 мм. В зависимости от объема, применяемого в радиометрической установке контейнера, пробу массой от 2,5 до 10 кг упаковывают в двойной мешок, между стенками которого помещают паспорт пробы с наименованием материала, адреса предприятия, направившего пробу, места и даты отбора пробы.

Определение удельных активностей ЕРН в строительных изделиях и облицовочных материалах из природного камня проводят также на навесках, отобранных из представительной пробы.

Представительную пробу массой от 2,5 до 10 кг получают путем измельчения изделий (кирпича, плит, околос природного камня, полученных при производстве облицовочных материалов), отобранных при приемке партии согласно

действующим нормативным документам. Допускается использование материала, полученного при определении предела прочности при сжатии, растяжении или изгибе изделий, или специально приготовленных образцов.

Представительную пробу с размером зерен менее 5 мм упаковывают в двойной мешок, как указано выше.

Для определения удельных активностей ЕРН полученные представительные пробы высушивают до постоянной массы, затем заполняют пять контейнеров и контейнеры взвешивают. Насыпную плотность определяют путем деления массы навески в каждом контейнере на объем контейнера.

Контейнеры герметично закрывают, маркируют и выдерживают в комнатных условиях в течение времени, установленного методикой выполнения измерений для получения радиоактивного равновесия ЕРН.

Контейнеры с навесками последовательно устанавливают в радиометрическую установку и проводят измерения в соответствии с методикой выполнения измерений.

6. Правила обработки и оформления результатов измерений и контроля:

Обработку результатов и оценку погрешности измерений производят в соответствии с методикой выполнения измерений отдельно для каждой навески и для каждого из ЕРН.

В качестве результатов измерений удельных активностей ЕРН в представительной пробе принимают средние арифметические значения удельных активностей каждого радионуклида (A_j) по пяти навескам:

$$A_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{ij}, \quad (7)$$

где $i=1, 2, \dots, n$ - номер навески.

Абсолютную погрешность определения величины A_j вычисляют по формуле:

$$\Delta_j = 1,7 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n A_{ij}^2 - nA_j^2}{n-1}} \pm \alpha_j, \quad (8)$$

где α_j - абсолютная погрешность определения удельной активности j -го радионуклида в навесках пробы, оцениваемая в соответствии с методикой выполнения измерений на радиометрической установке.

Значение удельной эффективной активности ЕРН ($A_{эфф}$) для представительной пробы вычисляют в соответствии с формулой (5) с использованием значений A_j для каждого радионуклида.

Абсолютную погрешность определения значений $A_{эфф}$ вычисляют по формуле:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{Ra}^2 + 1,7 \cdot \Delta_{Th}^2 + 0,007 \cdot \Delta_K^2}. \quad (9)$$

За результат определения удельной эффективной активности ЕРН в контролируемом материале и установления класса материала принимают значение, определяемое по формуле:

$$A_{эфф.м} = A_{эфф} \pm \Delta. \quad (10)$$

Результаты определения удельной эффективной активности ЕРН в материалах заносят в журнал, в котором должны быть указаны:

- наименование материала;
- наименование предприятия-изготовителя или предприятия-потребителя;
- местоположение точек отбора пробы;
- даты отбора пробы и проведения измерений;
- удельные активности радия, калия, тория с погрешностями;
- удельная эффективная активность с погрешностью;
- фамилия, должность и подпись лица, проводившего измерения.

Результаты испытания материала оформляют в виде протокола испытаний.

7. Радиационные параметры на сырье и строительные материалы подразделяют на 3 класса (таблица 6):

Таблица 6. Классы радиационных параметров на сырье и строительные материалы.

Удельная эффективная активность ($A_{эфф}$), Бк/кг	Класс материала	Область применения
До 370	I	Все виды строительства
Св. 370 до 740	II	Дорожное строительство в пределах населенных пунктов и зон перспективной застройки, строительство производственных сооружений
От 740 до 2800	III	Дорожное строительство вне населенных пунктов
Св. 2800	IV	Вопрос об использовании материала решается по согласованию с Госкомсанэпиднадзором

8. Определение удельной эффективной активности горных пород в карьере

Контрольные точки по дну карьера располагают в узлах прямоугольной сети 10x10 м.

Контрольные точки на кровле и подошве уступа располагают вдоль профиля с интервалом не более 10 м. Расстояние между профилями должно быть от 5 до 10 м, расстояние профиля от края уступа - от 1 до 5 м.

Для учета влияния бокового излучения от уступов высотой более 1 м измеренную величину $A_{эфф}$ следует разделить на приведенный ниже поправочный коэффициент (таблица 7):

Таблица 7. Поправочные коэффициенты учета влияния бокового излучения.

Расстояние между контрольной точкой и откосом уступа, м	0	1	5	10	20
Поправочный коэффициент	1,5	1,45	1,28	1,1	1,0

Контрольные точки на откосе уступа располагают по профилю вдоль фронта работ с интервалом не более 10 м при высоте профиля от подошвы уступа не менее 1 м. Поправочный коэффициент при высоте 1 м равен 1,45.

При значениях $A_{эфф} > 370$ Бк/кг интервал опробования следует уменьшить для оконтуривания аномальных участков с целью отнесения пород ко II, III или IV классам строительных материалов в соответствии с требованиями.

2.3. Радиохимический и другие методы

Радиохимическое определение техногенных радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs .

При определении удельной активности ^{90}Sr необходимо провести предварительное концентрирование этого элемента, включающее кислотное разложение пробы, осаждение стронция и ряда других элементов в виде оксалатов и последующее отделения стронция от мешающих элементов путём их осаждения с гидроокислами железа и марганца. ^{90}Sr , остающийся в растворе, осаждают в виде карбоната; при этом происходит дополнительная очистка стронция от мешающих элементов. После этого выполняют определение ^{90}Sr по активности его дочернего радионуклида ^{90}Y , который необходимо померить на малофоновом бета-радиометре.

^{137}Cs выделяют из той же навески пробы после оксалатного осаждения мешающих элементов путём осаждения в форме двойной соли с ферроцианидом никеля и последующим переводом ее в сурьмяно-иодидный цезий. Радиометрический препарат цезия измеряется также на малофоновой установке.

Этот метод также является относительным, поэтому для расчета активностей ^{90}Sr и ^{137}Cs использовались стандартные образцы с известными активностями этих нуклидов. Описанные методики позволяют определять удельные активности стронция-90 и ^{137}Cs в образцах проб в диапазоне от 0,3 до 1000 Бк/кг с относительной погрешностью не более 30%.

3. АППАРАТУРА, ИСПОЛЬЗУЕМАЯ В ИССЛЕДОВАНИЯХ

Приборы и средства, установки, используемые для измерения или контроля ионизирующих излучений, по функциональному назначению делятся на дозиметрические, радиометрические, спектрометрические, сигнализаторы и многоцелевые приборы (универсальные), блоки детектирования, устройства детектирования.

Дозиметры - приборы, измеряющие экспозиционную или поглощенную дозу излучения или мощность этих доз, интенсивность излучения, перенос энергии или передачу энергии объекту, находящемуся в поле излучений.

Радиометры - приборы, измеряющие излучения для получения информации об активности нуклида в радиоактивном источнике, удельной, объемной активности, потоке ионизирующих частиц или квантов, радиоактивном загрязнении поверхностей, флюенсе ионизирующих частиц.

Спектрометры - приборы, измеряющие распределение ионизирующих излучений по энергии, времени, массе и заряду элементарных частиц и т. д.; по одному и более параметрам, характеризующим поля ионизирующих излучений.

Универсальные приборы совмещают функции дозиметра и радиометра, радиометра и спектрометра и пр.

Блоки детектирования представляют собой конструктивные объединения детектора излучения, электронных устройств, выполняющих функции преобразования, усиления, дискриминации, формирования сигнала детектора и согласования выхода блока детектирования или непосредственно детектора с волновым сопротивлением линии связи. В зависимости от типа блока детектирования в нем может быть использовано от одного до четырех детекторов.

Для того чтобы достоверно провести экспериментальные исследования, спектро-дозиметрическая аппаратура должна обладать такими качествами:

- высокая эффективность регистрации, особенно γ - лучей большой энергии, в десятки раз превышающая эффективность газоразрядных счетчиков;
- высокая разрешающая способность, достигающая 10^{-9} - 10^{-10} с;
- чувствительность регистрации детектора.

3.1. Дозиметр гамма-излучения поисковый ДБГ-02 «РИТМ-1М»

1. Основные сведения об изделии:

- 1.2. Дозиметр внесен в Государственный реестр средств измерительной техники, допущенных к применению в Украине. Государственный реестр № У 1546-01.
- 1.3. Изготовитель - Научно-производственное малое совместное предприятие (НПМСП) "ОПЫТ".



Рис. 4. Дозиметр гамма-излучения поисковый ДБГ-02 «РИТМ-1М».

2. Дозиметр может применяться:

- при ликвидации радиационных аварий;
- при контроле грузов и транспортных средств на государственной границе;
- при радиационном контроле объектов строительства, партий металлолома и другой продукции;
- для организации непрерывного контроля радиационной ситуации на контрольно-пропускных пунктах и в системах радиационной безопасности особо важных объектов;
- для пешеходной и автомобильной гамма-съемки при геологическом картировании;
- для гамма-каротажа неглубоких скважин;
- для дозиметрического мониторинга окружающей среды;
- в службах радиационного контроля управлений экологической безопасности, научных, промышленных и других учреждений и организаций;
- на предприятиях сферы обращения с радиоактивными отходами и атомной энергетики;
- для радиационного контроля при осуществлении деятельности в сфере использования ядерной энергии;

20. Материалом для регистрации гамма-излучения является:

Сцинтилляционный кристалл $\text{CsI}(\text{Na})$ (йодистый цезий, активированный натрием) диаметром 40 мм и высотой 48 мм.

3.2. Спектрометр-дозиметр гамма-излучения «РИТМ-С»

Назначение спектрометра:

- регистрация спектров гамма-излучения и идентификация радионуклидов;
- измерение активности радионуклидов в строительных материалах, минеральном сырье, отходах производства, продуктах питания и других

веществах.

- определение активности обнаруженных радионуклидов;
- определение активности естественных радионуклидов.

Структура спектрометрической установки (рис. 5.):

- дозиметр гамма-излучения поисковый «Ритм-1М»;
- блок детектирования со сцинтилляционным детектором;
- низкофоновая защита блока детектирования;
- сосуды Маринелли;
- преобразователь спектрометрический;
- портативный компьютер;
- специализированное программное обеспечение;
- блок питания для зарядки аккумуляторов, миниатюрный головной телефон, принадлежности, комплект эксплуатационной документации.

Применение:

- при ликвидации радиационных аварий;
- при контроле транспортных средств на государственной границе;
- при радиационном контроле объектов строительства, партий металлолома и другой продукции.

Технические характеристики:

- Относительное энергетическое разрешение по гамма-линии ^{137}Cs (0.662 МэВ) - 9,2 %.
- Рабочий диапазон энергий гамма-излучения: 0,05...3 МэВ.
- Интегральная нелинейность в диапазоне энергий гамма-излучения 200-2700 кэВ – 0,5 %.
- Долговременная нестабильность градуировочной характеристики за 8 часов работы – 1,0 %.
- Диапазон измерения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения от 0,01 до 19990 мкЗв/ч.

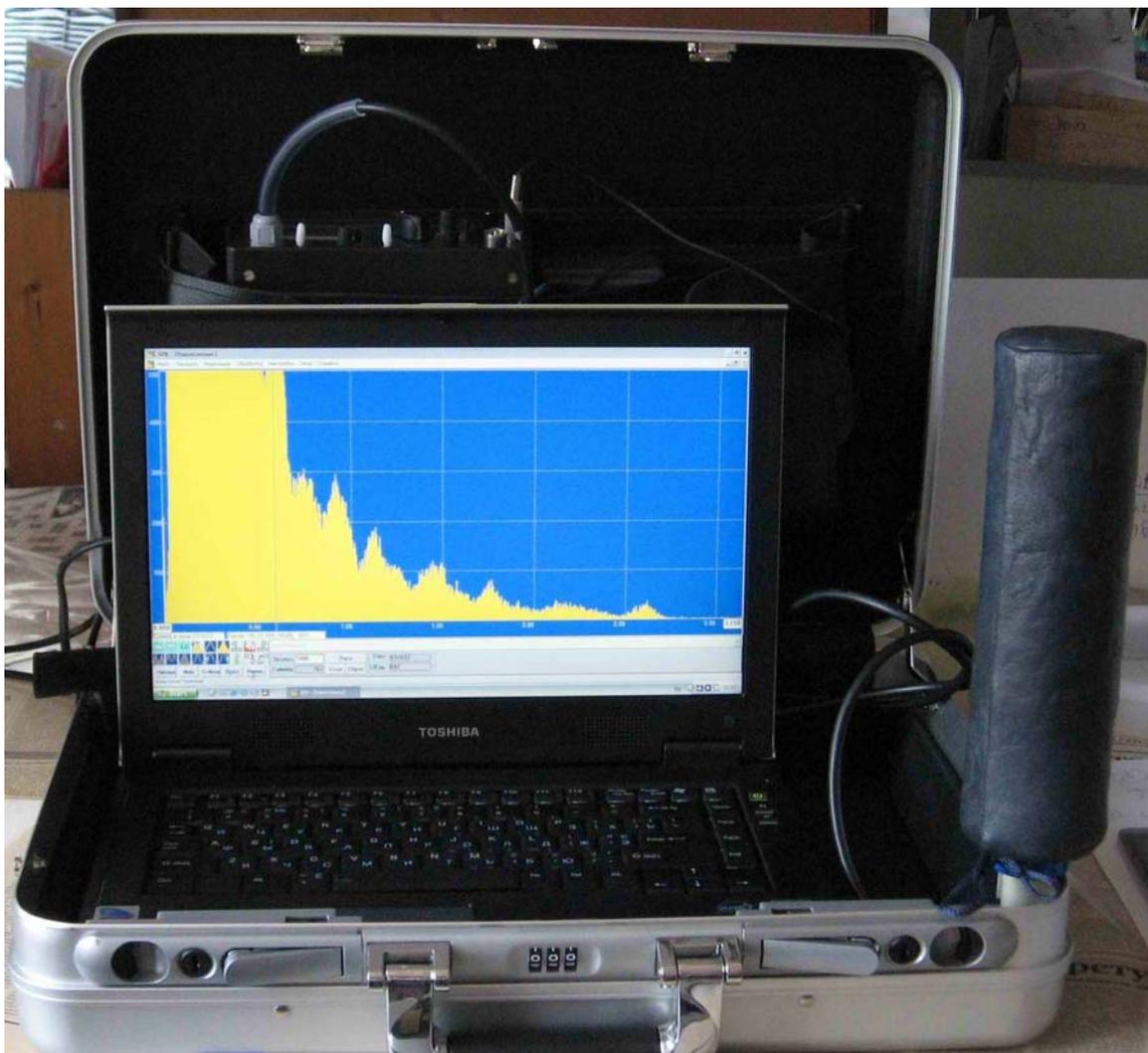


Рис. 5. Спектрометр-дозиметр гамма-излучения «РИТМ-С»

- Границы допустимой основной относительной погрешности измерения активности для объемной геометрии, $P = 0,95: \pm 30\%$.
- Минимальная активность, которую можно промерять в геометрии «Маринелли 1л» за 7200 с, $P = 0,95; \delta = 50\%$, Бк:
 - $^{137}\text{Cs} = 1,8;$
 - $^{40}\text{K} = 22;$
 - $^{226}\text{Ra} = 4;$
 - $^{232}\text{Th} = 4.$
- Энергетическая зависимость $\pm 20\%$.

- Чувствительность – 36000 имп./мкР.
- Время установления показаний переключаемое: 0,5; 1; 2; 10; 50 сек.
- Материал детектора – NaI(Tl) Ø63x63.
- Исполнение блока детектора – герметичное.
- Рабочий диапазон температур: -20...+50 °С.

Дозиметр «Ритм-1М» ДБГ- 02 прошел Государственные приемочные испытания
Спектрометр-дозиметр гамма-излучения «РИТМ-С» метрологически аттестован
[Приложение 1].

3.2.1. Блок-схема установки

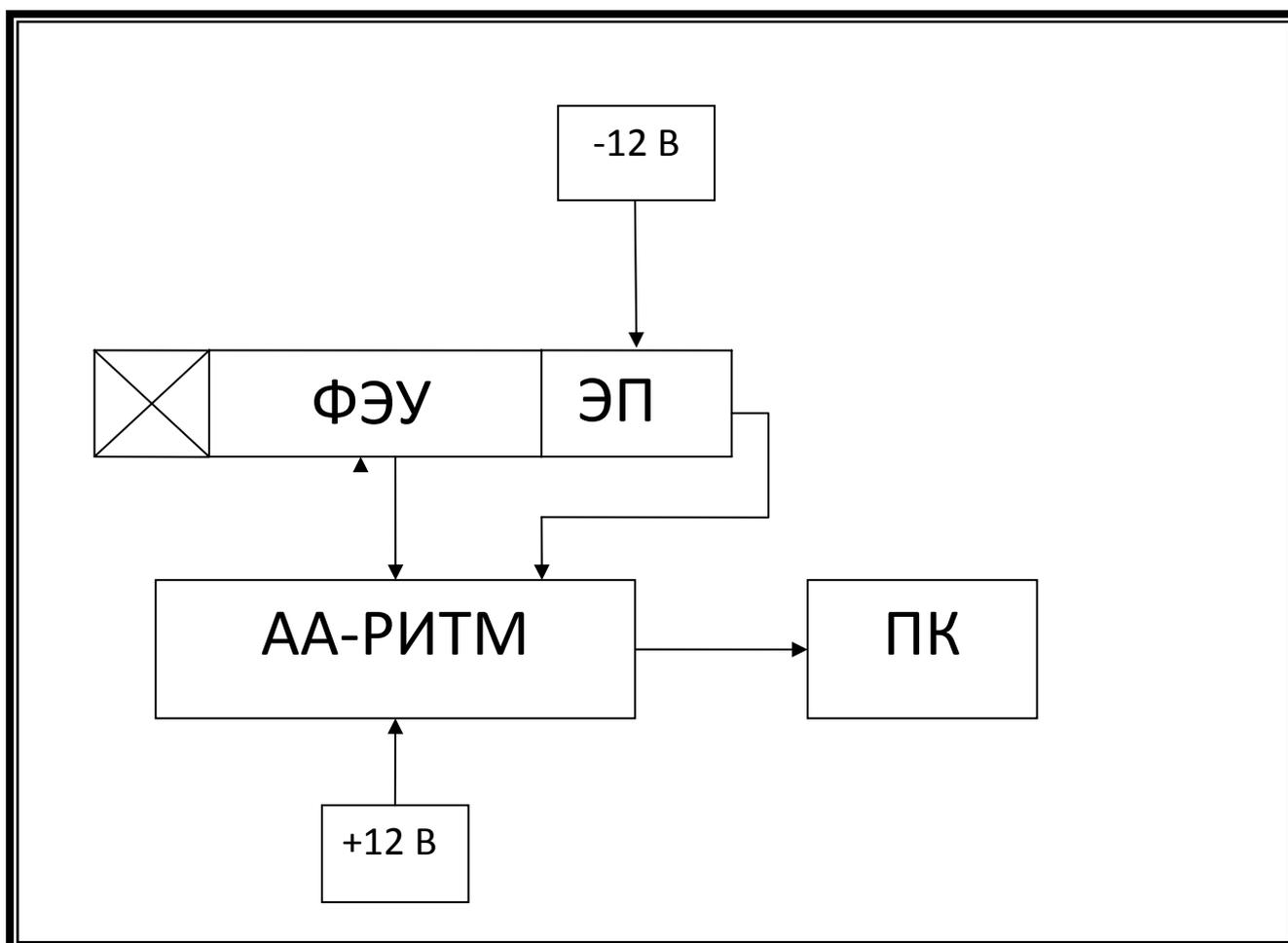


Рис. 6. Блок-схема спектрометрической установки

На блок-схеме спектрометрической установки расположены:

- Сцинтилляционный кристалл NaI(Tl) Ø63x63;
- Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ);
- Эмиттерный повторитель;
- Источники питания +12 В и -12 В;
- Портативный компьютер;
- Амплитудный анализатор АА-РИТМ.

Важной составной частью установки является амплитудный анализатор АА-РИТМ. Рассмотрим более детально технические характеристики этого амплитудного анализатора.

Техническое описание амплитудного анализатора АА-РИТМ

1. Амплитудный анализатор (АА) принимает и преобразовывает в цифровой код сигналы от сцинтилляционной сборки.
2. Минимальная измеряемая амплитуда, мВ – 8.
3. Максимальная измеряемая амплитуда, мВ – 800.
4. Рабочий диапазон, мВ – 8...800.
5. Параметры входного сигнала:
 - форма – квазигауссовская;
 - полярность – отрицательная.
6. Число каналов – 512.
7. Ширина канала, мВ – 1,56.
8. Нестабильность начальной точки, мВ, не более ± 2 .
9. Интегральная нелинейность, %, не более $\pm 0,5$.
10. Дифференциальная нелинейность, %, не более ± 1 .
11. Максимальная загрузка, c^{-1} , не менее 10^5 .
12. Входное сопротивление АА, кОм, 10.
13. Габаритные размеры, мм, не более $180 \times 150 \times 70$.
14. Масса, кг, не более – 0,5.

15. Условия эксплуатации:

- температура окружающей среды – 0...35 °С;
- атмосферное давление – от 86 до 106 кПа;
- относительная влажность при +20 °С до 98.

16. Технические характеристики высоковольтного блока питания:

- высоковольтный источник питания имеет внешнюю регулировку напряжения в пределах от 260 до 1560 В.
- Сопротивление нагрузки, не менее 1 МОм.

17. Требования по электропитанию:

- Входное напряжение питания, В: 12В ± 10% .
- Потребляемая мощность, Вт, не более: 6.

3.2.2. Программное обеспечение «РИТМ-С»

Программа «РИТМ-С» предназначена для управления спектрометрической аппаратурой, производимой НПМСП «ОПЫТ».

Программа предоставляет возможность производить накопление и обработку энергетических спектров источников излучений, вычисление активности и удельной активности радионуклидов, а также удельной эффективной активности по активности естественных радионуклидов (ЕРН ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) и цезия -137.

Обработка спектров содержит операции разметки спектра, локализации, обсчета параметров и идентификации пиков, суммирование и вычитание спектров, умножение спектра на константу.

Расширенный набор команд управления графическим представлением энергетических спектров обеспечивает наглядность и гибкость в управлении обработкой спектрометрической информации.

Поддерживается архивирование накопленных спектров, ведение протокола результатов обработки, сохранение в файле и вывод на принтер графиков спектра и протокола.

От оператора программного обеспечения «РИТМ-С» требуется знание основ интерфейса Windows.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

4.1. Мощность эквивалентной дозы породных отвалов

В Донбассе, как было отмечено ранее, расположены 1257 терриконов, из них для 355 характерны процессы самовозгорания угля. По загрязнению окружающей среды Луганская область находится на третьем месте в Украине после Донецка и Днепропетровска.

На территории г. Свердловска Луганской области 45 породных отвалов, 12 из которых горят. Практически возле каждого из них проживают люди.

Установлено, что угли и вмещающие их породы содержат высокие концентрации урана [5]. Значительная часть естественной радиоактивности пород в отвалах связана с радиоизотопами (радионуклидами) тяжелых элементов с порядковыми номерами более 82, которые образуют три радиоактивных семейства - урана, актиния и тория (таблица.2) [8]. Эти семейства включают соответственно 17, 14 и 12 радиоактивных изотопов, распадающихся в основном с испусканием альфа-частиц (ядер гелия); некоторые из членов семейств относятся к бета и гамма-излучателям.

Для того чтобы дать достоверную оценку о состоянии окружающей среды, породных шахтных отвалов и их воздействие на здоровье населения, проживающего в местах скопления и расположения этих породных отвалов, необходимо провести детальный радиационный мониторинг.

С помощью дозиметра ДБГ-02 «РИТМ-1М», который соответствует требованиям технических условий ТУ У 33.2-13386722-001-2001 и внесен в Государственный реестр средств измерительной техники, допущенных к применению в Украине (Государственный реестр - № У 1546-01) был проведен радиационный мониторинг материалов породных шахтных отвалов в количестве 9-ти терриконов.

Внешний вид исследованных породных отвалов можно найти в [Приложение 2].

Измерялась мощность эквивалентной дозы (МЭД) шахтных отвалов в (нЗв/час). Исследуемые отвалы были разбиты на локальные участки с шагом 10×10 м по всему описываемому контуру для каждого из терриконов. В свою очередь, для упрощения процесса исследований, терриконы были разделены на 4 географические стороны: Северная, Южная, Западная, Восточная. Погрешность обнаружения каждого из локальных участков составляла $\Delta = \pm 20 \text{ м}^2$.

Массив данных по радиационному мониторингу материалов породных отвалов был представлен в виде табличных значений МЭД исследуемых терриконов (таблица 8):

Таблица 8. Значения МЭД исследуемых терриконов г. Свердловска.

Высота от подножия террикона, м	Цвет породы	МЭД, нЗв/час
ШАХТА №68		
(внешний вид террикона: красная-горелая, местами черная порода)		
Западная сторона террикона		
	черная	148
20	черная	147
20	черная	152
	черная	166
	красная	170
	красная	172
Южная сторона террикона		
20	черная	150
	-	161
	-	170

	-	165
	-	162
	-	164
	-	160
	-	163
	-	160
	-	165
27	-	157
	-	155
Северная сторона террикона		
	красная	145
	-	147
10	-	153
	-	170
	-	177
Восточная сторона террикона		
	красная	140-160
$\Delta_{МЭД} = \pm 13$		
ШАХТА №13/1 (внешний вид террикона: красная, горелая порода)		
Западная сторона террикона		
4	красная	191
	-	195
	-	192
	-	189

	-	190
	-	194
	-	200
	-	202
	-	200
	-	205
	-	204
	-	195
	-	191
Южная сторона террикона		
	красная	180-195
Северная сторона террикона		
3	красная	183
	-	189
Восточная сторона террикона		
1	красная	158
	-	160
4	-	157
5	-	158
10	-	154
15	-	155
20	-	150
30	-	156
	-	160
	-	162
	-	165
	-	153

40	-	164
	-	167
	-	169
	-	173
$\Delta_{МЭД} = \pm 13$		
ЗАМЕТКИ:		
<ul style="list-style-type: none"> ❖ у подножия террикона с восточной стороны – 90 нЗв/час; ❖ у подножия террикона с северной стороны - 178; 180; 170 нЗв/час; ❖ канава на северной стороне (0,5 метров глубина) – 230 нЗв/час. 		
ШАХТА №13/2		
(внешний вид террикона: черная, несгоревшая порода)		
Западная сторона террикона		
	черная	170
	-	166
20	-	170
Южная сторона террикона		
	черная	173-196
Северная сторона террикона		
	черная	170-200
Восточная сторона террикона		
10	черная	189
	-	187
25	-	190
	-	195

	-	200
	-	196
	-	190
	-	192
	-	194
	-	200

$$\Delta_{МЭД} = \pm 14$$

ЗАМЕТКИ:

- ❖ У подножия черного террикона возле дороги – 160 нЗв/час (южная сторона);
- ❖ В канаве восточной стороны – 205 нЗв/час;
- ❖ Между терриконом №13/1 и №13/2 мощность эквивалентной дозы высокая, составляет: от 192 до 205 нЗв/час (по всему периметру западной и восточной сторон терриконов №13/1 и №13/2);
- ❖ на высоте 6 метров юго-восточной стороны террикона №13/2, МЭД составляет: 170-185 нЗв/час;
- ❖ на высоте 5 метров юго-западной стороны террикона №13/1, МЭД составляет: 210 нЗв/час;
- ❖ у подножия южной стороны террикона №13/1, МЭД составляет: 160 нЗв/час;
- ❖ на южной стороне террикона №13/1 найдена выработка красной горевшей породы (площадью $S = 15 \times 20 \text{ м}^2$) с МЭД:
 - 1) 225 нЗв/час (подножие);
 - 2) 232 нЗв/час (высота 1,5 метра);
 - 3) 235 нЗв/час (высота 2,5 метра);
 - 4) 250 нЗв/час (высота 3 метра);

5) 253 нЗв/час (высота 4 метра);

4) 240 нЗв/час (высота 6 метров).

❖ Рядом возле террикона №13/1 находится предприятие. Возле ограждения предприятия, на расстоянии 30 метров от террикона, МЭД составляет: 140 нЗв/час.

❖ Скальное образование спекшейся горелой красной породы (где-то 120 кв.метров), МЭД составляет: 270 нЗв/час.

ШАХТА №13/3

(внешний вид террикона: красная, горевшая порода, очень старый)

Западная сторона террикона

7 (скалистое образование)	красная	225
3	красная	240

Южная сторона террикона

1	красная	205
3	-	204
1,5	-	190

Северная сторона террикона

подножие	красная	200
1	-	203
3 (скалистое образование)	-	236
7	-	207
10	-	193
подножие		200

Восточная сторона террикона

1	красная	200
	-	202
3	-	199
	-	200
5	-	205
8	-	206
10	-	213
	-	210
	-	196
	-	198

$$\Delta_{МЭД} = \pm 15$$

ЗАМЕТКИ:

- ❖ на восточной стороне, скалистое образование спекшейся красной породы, МЭД составляет: 272 нЗв/час (проба террикона №13/3);
- ❖ на терриконе №13/3 нет растительности;
- ❖ на западной стороне у подножия террикона №13/3, МЭД составляет: 195 нЗв/час;
- ❖ У подножия северо-западной стороны террикона №13/3, МЭД составляет: 204 нЗв/час;
- ❖ северо-западная сторона, спекшееся скальное образование красной породы (на высоте 10 метров), МЭД составляет: 290 нЗв/час и 270 нЗв/час;
- ❖ северо-восточная сторона, подножие террикона №13/3, спекшееся скальное образование красной породы, МЭД составляет: 260-280 нЗв/час.

ШАХТА №67

(внешний вид террикона: красная, горевшая порода)		
Западная сторона террикона		
	красная	260-290
Южная сторона террикона		
скалистое образование	красная	295
2 (скалистое образование)	-	265
2,5	-	274
Северная сторона террикона		
подножие	красная	200
1	-	203
(скалистое образование)	-	262
3	-	206
	-	198
Восточная сторона террикона		
	цементного цвета	173
скалистое образование	красная	240
2	красная	235
	-	240
$\Delta_{МЭД} = \pm 15$		
ЗАМЕТКИ:		
<ul style="list-style-type: none"> ❖ на юго-восточной стороне у подножия террикона, скалистое образование спекшейся красной породы, МЭД составляет: 251 нЗв/час; ❖ рядом с терриконом насыпи черной свежей породы, МЭД составляет: 210-225 нЗв/час; 		

ШАХТА №63 (С. АЛЕКСАНДРОВКА)

(внешний вид террикона: черная порода)

Западная сторона террикона

подножие	черная	178
	-	175
20	-	182
	-	215
	-	183
	-	185
	-	162

Южная сторона террикона

	черная	160-190
--	--------	---------

Северная сторона террикона

	черная	172-188
--	--------	---------

Восточная сторона террикона

	черная	175-180
--	--------	---------

$$\Delta_{МЭД} = \pm 14$$

ШАХТА №1-2 (ПОС. ШАХТЫ 1-2)

(внешний вид террикона: черная, местами красная порода, находится в процессе горения)

Западная сторона террикона

	черная	197
40	-	208
	-	197

Южная сторона террикона		
	Порода горит	183
2,5	Порода горит	195
		191
		188
	Горелая местами красная порода	220
	горелая	228
Спекшееся скальное образование красной породы		250
		201
Северная сторона террикона		
подножие	черная	194
4	-	213
	Горелая порода	235
Восточная сторона террикона		
1	у подножия возле глины	190
2,5	черная	204
2	черная	207
$\Delta_{МЭД} = \pm 14$		
ЗАМЕТКИ:		
<ul style="list-style-type: none"> ❖ на юго-востоке у подножия террикона, МЭД составляет: 210 нЗв/час. ❖ Южная сторона (подножие террикона), МЭД: 188 нЗв/час. ❖ Сгоревшая красная порода, перемешанная с черной (свежеотсыпанной), МЭД составляет: 196 нЗв/час. 		

- ❖ Прорытая верхушка террикона, МЭД составляет: 197 нЗв/час.
- ❖ Порода на верхушке террикона местами белого цвета (процессы окисления).

ШАХТА №42

(внешний вид террикона: красная, горевшая порода)

Западная сторона террикона

	красная	180
	-	194
	-	247

Южная сторона террикона

	Смесь красной породы с глиной	184
3	-	160
	-	165
4	-	167

Северная сторона террикона

	красная	226
	-	181
	-	186
Скалистое образование спекшейся красной породы	-	232
	-	234
	-	250

	-	232
Восточная сторона террикона		
	красная	188
Скалистое образование спекшейся красной породы	-	220
	-	246
	-	225
$\Delta_{МЭД} = \pm 14$		
ЗАМЕТКИ:		
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Мощность эквивалентной дозы на расстоянии 10-15 метров от террикона составляет: 160 нЗв/час. ❖ Местами на терриконе идет чередование красной и черной породы. 		
ШАХТА №42/1		
(террикон красной, сгоревшей породы, скалистого образования)		
Западная сторона террикона		
карьерное образование	красная	331±18
	-	348±19
	-	339±18
Южная сторона террикона		
Скалистое образование с углублением 0,5м в террикон, трещиной	красная	351±19
	-	332±18
Северная сторона террикона		

5	красная	236±15
	-	216±14
1	-	185±14
	-	188±14
Скалистое образование спекшейся красной породы	-	313±18
	-	249±16
	-	304±17
	-	339±18
	-	291±17
Восточная сторона террикона		
	красная	262±16
1 (скалистое образование)	-	307±18
Скалистое образование с углублением в террикон 0,5 метра	-	342±18
	-	296±17
$\Delta_{МЭД} = \pm 17$		
ЗАМЕТКИ:		
❖ Зонд дозиметра, просунутый вглубь террикона на 0,5 метра, показывает МЭД: 339 нЗв/час.		

4.2. Экспериментальные данные спектрометрических исследований пород шахтных отвалов

Программное обеспечение спектрометра-дозиметра гамма-излучения «РИТМ-С», как было отмечено ранее, предоставляет возможность производить накопление и обработку энергетических спектров источников излучений, вычисление активности и удельной активности радионуклидов, а также определение активности естественных радионуклидов (ЕРН ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) и цезия -137.

Используя расширенный набор команд программы, таких как: «Накопление», «Сигнал», «Фон», «Сигнал-Фон», «Локализация пиков», «Расчет активности по пикам», «Расчет активности по ЕРН», «Протокол», можно получить детальное представление о характере энергетических спектров, а также осуществить процесс всевозможной спектрометрической информации.

Исследовав пробы материалов породных отвалов спектрометрической установкой «РИТМ-С» на наличие в них естественных радионуклидов, а также других источников гамма-излучения, было обнаружено несколько гамма-линий естественных радионуклидов: ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{137}Cs .

Наглядный вид полученных спектров ЕРН можно увидеть на (рис.7,8,9,10):

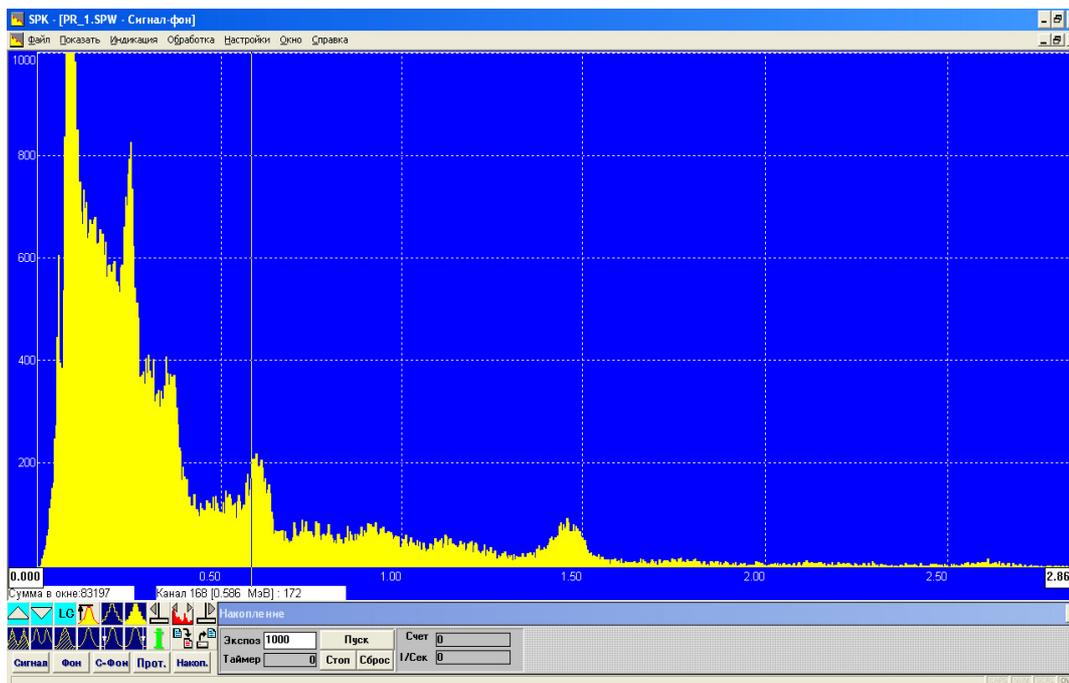


Рис. 7. Полный внешний вид спектра.

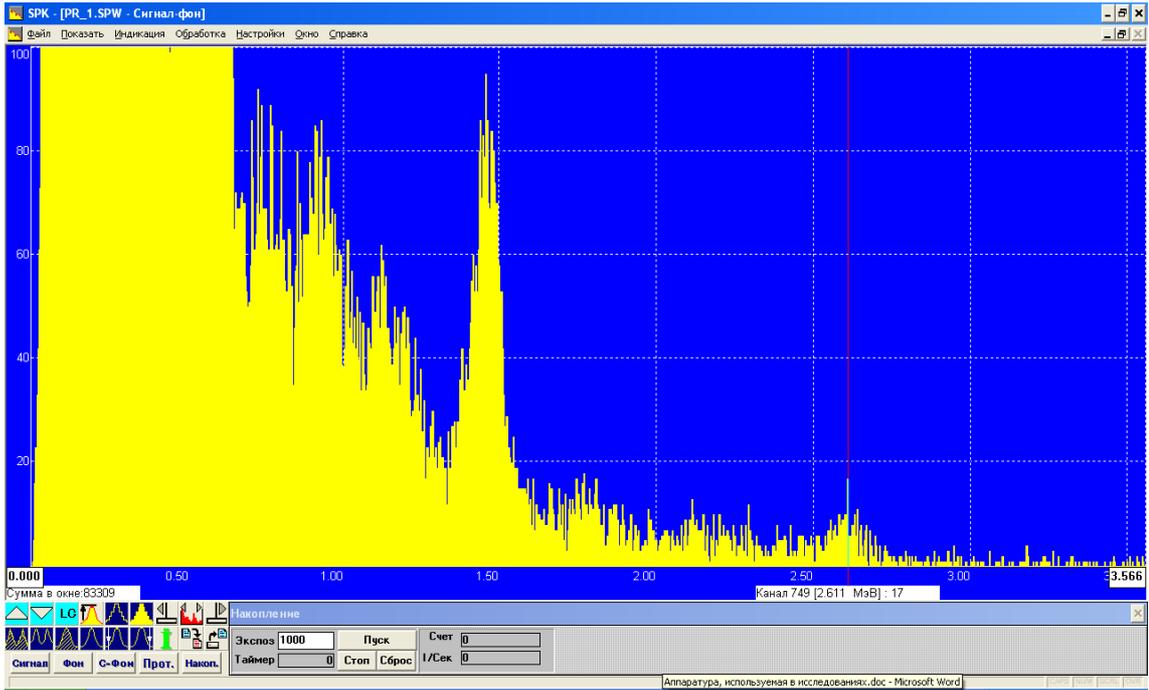


Рис. 8. Пик ^{232}Th на спектре.

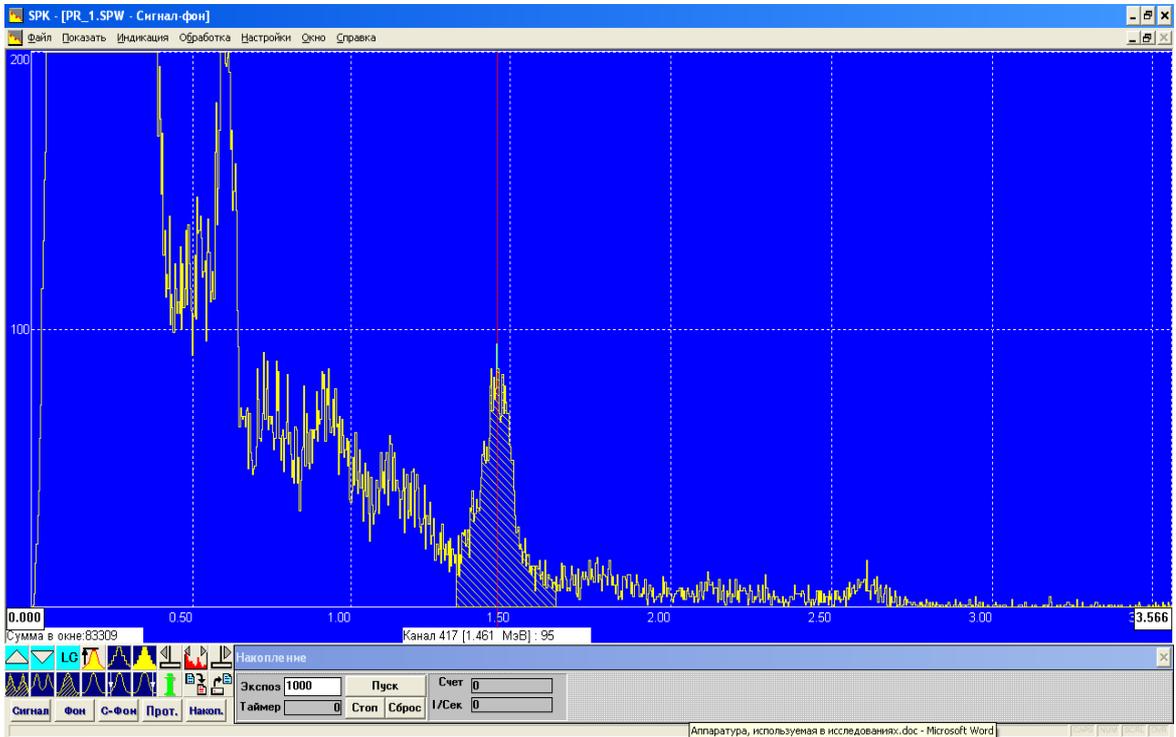


Рис. 9. Пик ^{40}K на спектре.

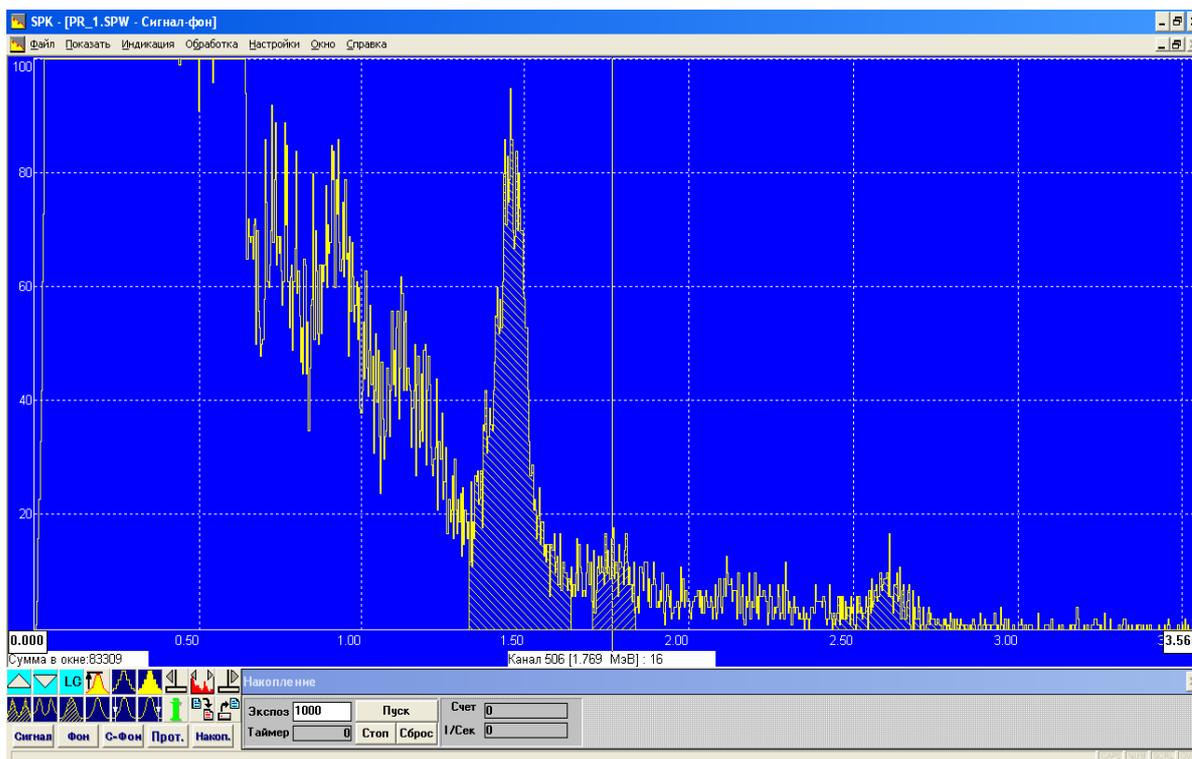


Рис. 9. Локализация всех пиков на спектре в виде штрихованной области

4.3. Удельная эффективная активность проб материалов породных отвалов

В ходе экспериментальных исследований шахтных терриконов, была проведена апробация проб материалов породных отвалов. Апробация проводилась по соответствующей методике для строительных материалов, сырья, породных отходов и т.д. в соответствии с действующими нормативными документами для лабораторного метода определения удельной эффективной активности ЕРН.

В свою очередь, использовался гамма-спектрометрический метод измерения определения удельной активности, удельной эффективной активности естественных

радионуклидов (ЕРН) для строительных материалов, сырья, минеральных веществ и т.д.

Пробы материалов породных отвалов, в количестве 4-х штук, объем 1 л каждая «Сосуд Маринелли», исследовались на спектрометрической установке «РИТМ-С» (спектрометр-дозиметр гамма-излучения «РИТМ-С» метрологически аттестован [Приложение 1]).

Было обнаружено, что исследуемые пробы материалов породных отвалов, пройдя гамма-спектрометрический анализ определения удельной активности, удельной эффективной активности, соответствуют I классу радиационных параметров для строительных материалов, породных отходов и т.д.

Полученные значения удельных активностей, удельных эффективных активностей естественных радионуклидов исследуемых проб, можно представить в виде протоколов измерений (соответствуют методике измерений для лабораторного метода определения ЕРН в строительных материалах, породных отходах) (Таблица 9):

Таблица 9. Протокол обработки спектра гамма-излучения проб:

террикон № пос. шахты 1-2; террикон № 13/3; террикон № 67; террикон № 42/1.

ПРОТОКОЛ ОБРАБОТКИ СПЕКТРА ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ПРОБЫ: ТЕРРИКОН № ПОС. ШАХТЫ 1-2						
№ п/п	Нуклид	Активность		Удельная активность		Погрешность активности, %
		Бк	мкКи	Бк/кг	мкКи/кг	
1	²³² Th	80.8	0.0022	56.8	0.0015	13.2
2	²²⁶ Ra	96	0.0026	67.4	0.0018	17.1
3	⁴⁰ K	1190.8	0.0322	836.2	0.0226	7.7
4	¹³⁷ Cs	19.6	0.0005	13.8	0.0004	68.9

Объем пробы, см ³	Масса пробы, кг	Удельная эффективная активность, Бк/кг	Время измерения (экспозиция), сек
1000	1.424	212.9	1587

**ПРОТОКОЛ ОБРАБОТКИ СПЕКТРА ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ПРОБЫ:
ТЕРРИКОН № 13/3**

№ п/п	Нуклид	Активность		Удельная активность		Погрешность активности, %
		Бк	мкКи	Бк/кг	мкКи/кг	
1	²³² Th	62.5	0.0017	63.6	0.0017	14.3
2	²²⁶ Ra	99.5	0.0027	101.3	0.0027	14.5
3	⁴⁰ K	826	0.0223	841.2	0.0227	9.3
4	¹³⁷ Cs	20	0.0005	20.3	0.0005	58.7
Объем пробы, см ³		Масса пробы, кг		Удельная эффективная активность, Бк/кг		Время измерения (экспозиция), сек
1000		0.982		256.1		1990

**ПРОТОКОЛ ОБРАБОТКИ СПЕКТРА ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ПРОБЫ:
ТЕРРИКОН № 67**

№ п/п	Нуклид	Активность		Удельная активность		Погрешность активности, %
		Бк	мкКи	Бк/кг	мкКи/кг	
1	²³² Th	82	0.0022	57.8	0.0016	13.9
2	²²⁶ Ra	88.3	0.0024	62.2	0.0017	19.6
3	⁴⁰ K	1105.4	0.0299	778.4	0.021	8.6
4	¹³⁷ Cs	<МЗА	<МЗА			
Объем пробы, см		Масса пробы, кг		Удельная эффективная активность, Бк/кг		Время измерения (экспозиция), сек
1000		1.42		204.1		1383

**ПРОТОКОЛ ОБРАБОТКИ СПЕКТРА ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ПРОБЫ:
ТЕРРИКОН № 41/1**

№ п/п	Нуклид	Активность		Удельная активность		Погрешность активности, %
		Бк	мкКи	Бк/кг	мкКи/кг	
1	²³² Th	60.9	0.0016	57.2	0.0015	16.4
2	²²⁶ Ra	73.3	0.002	68.9	0.0019	21.1
3	⁴⁰ K	830.1	0.0224	779.4	0.0211	10.2
4	¹³⁷ Cs	21	0.0006	19.7	0.0005	60.7
Объем пробы, см		Масса пробы, кг		Удельная эффективная активность, Бк/кг		Время измерения (экспозиция), сек
1000		1.065		210.1		1505

4.4. Обсуждение полученных результатов

Проверка удельной эффективной активности проб другой спектрометрической установкой

В научно-исследовательской лаборатории «Мюонная обсерватория» на гамма-спектрометрической установке была проведена проверка показаний удельной активности, удельной эффективной активности 4-х ранее исследованных проб материалов породных отвалов.

Структура спектрометрической установки состоит:

- блок детектирования со сцинтилляционным детектором (материал детектора – NaI(Tl) Ø63x63);

- низкофоновая защита блока детектирования;
- фотоэлектронный умножитель (ФЭУ-85);
- амплитудный анализатор АА-РИТМ;
- эмиттерный повторитель;
- портативный компьютер;
- специализированное программное обеспечение «РИТМ-С»;

Измерения показали, что значения удельной активности нескольких естественных радионуклидов, намного меньше допустимых пороговых значений (<МЗА) по удельной активности для каждого из радионуклидов установленных программой. Удельная эффективная активность для естественных радионуклидов 4-х проб оказалась в пределах от 90 до 110 Бк/кг.

Причина такого заметного уменьшения удельной эффективной активности для каждой из проб состояла в следующем:

- в первом случае, определение удельной эффективной активности проб материалов породных отвалов происходило на спектрометрической установке «РИТМ-С», в которой использовалась объемная детектируемая геометрия 1л «Сосуд Маринелли» (показания удельной активности, удельной эффективной активности можно считать эталонными значениями) [Приложение 1.].
- во втором случае, определение удельной эффективной активности проб материалов породных отвалов происходило уже на спектрометрической установке мюонной обсерватории, где детектируемая кристаллом поверхность имела плоскую, не объемную геометрию. Поэтому, разница между значениями телесных углов детектируемых поверхностей сцинтилляционных кристаллов приводила к столь заметным заниженным показаниям удельной эффективной активности во втором случае (рис.10).

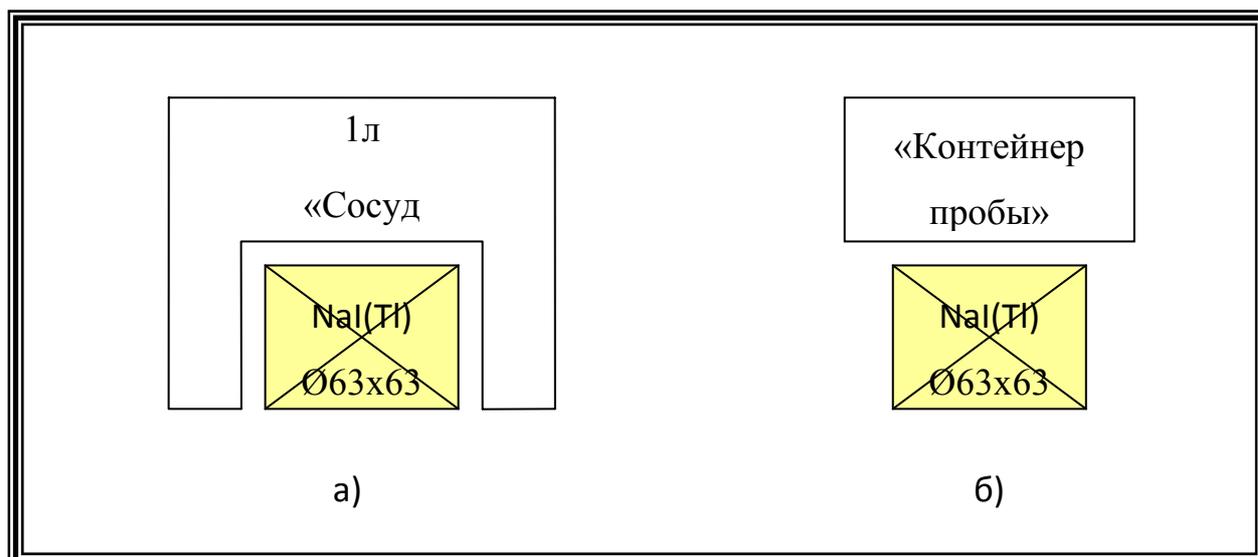


Рис. 10. а) объемная детектируемая поверхность 1л «Сосуд Маринелли» спектрометрической установки «РИТМ-С»; б) плоская детектируемая поверхность спектрометрической установки мюонной обсерватории.

Экспериментально, можно определить k «коэффициент пересчета» показаний удельной эффективной активности:

$$k = \frac{A_{\text{уд. сум. лаб.}}}{A_{\text{уд. эфф. эт.}}} \quad (11)$$

где $A_{\text{уд. сум. лаб.}}$ - удельная суммарная активность проб материалов породных отвалов, определенная на спектрометрической установке в мюонной обсерватории; $A_{\text{уд. эфф. эт.}}$ - удельная эффективная активность проб материалов породных отвалов, определенная на спектрометрической установке «РИТМ-С» (значения, которой можно принять как эталонные).

С помощью программы «РИТМ-С» экспериментально были определены значения $A_{\text{уд. сум. лаб.}}$ 4-х исследуемых проб: 29 Бк/кг, 44 Бк/кг, 36 Бк/кг, 33 Бк/кг. Подставив полученные значения в (11), получили k «коэффициент пересчета» равный $k=5,8$.

По найденному коэффициенту k можно теперь определить значения удельной эффективной активности проб, а также установить класс радиационных параметров

для строительных материалов, отходов промышленного производства, строительных изделий и т.д.

Существующие закономерности и графические зависимости радиационного фона шахтных терриконов

Полный обзор радиационного фона терриконов шахтных отвалов можно представить в виде гистограммы (рис. 11.):

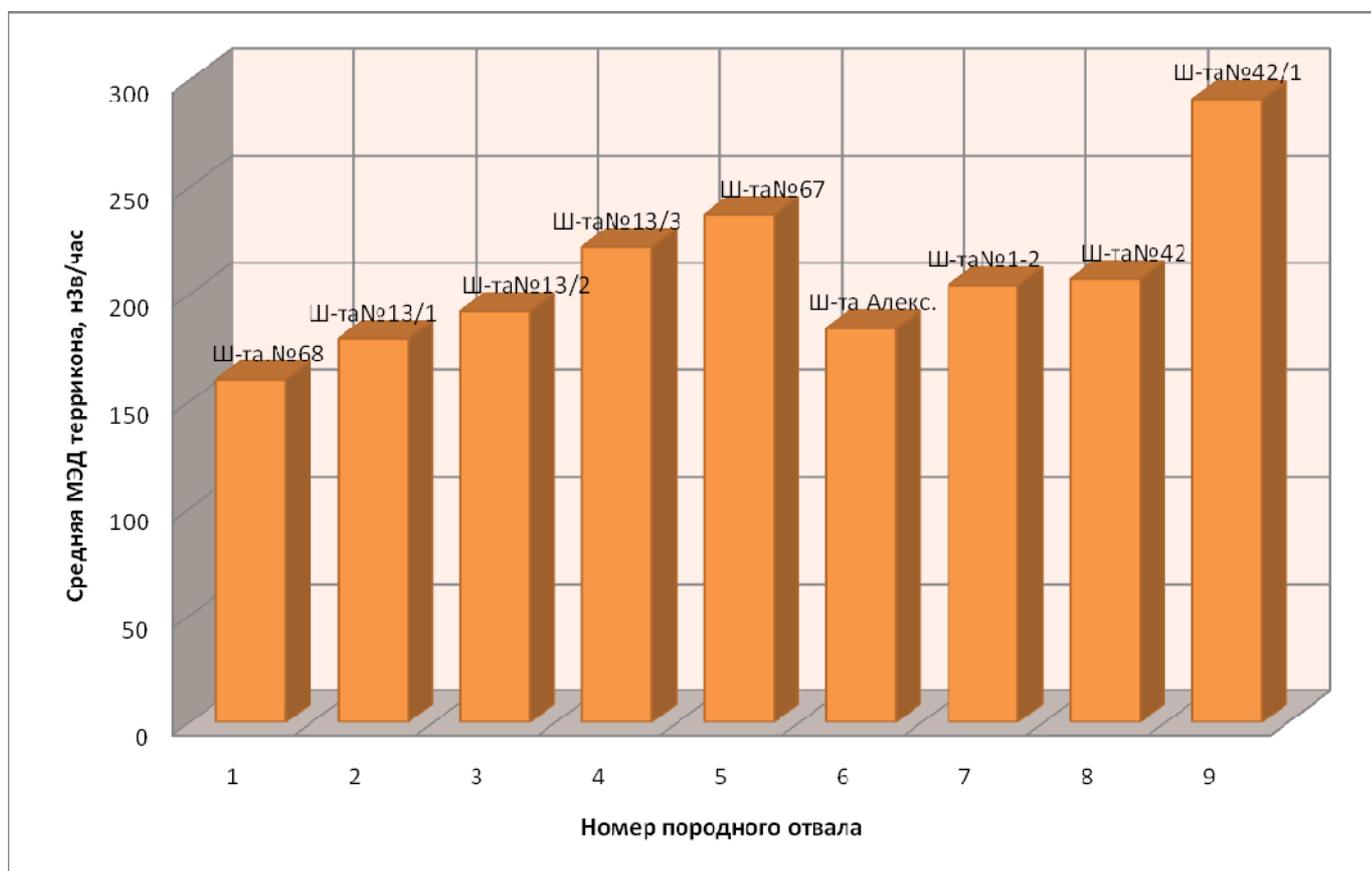


Рис. 11. Среднее значение МЭД для исследуемых породных отвалов.

На гистограмме видно, значения средних МЭД породных отвалов превышают нормы радиационной безопасности НРБУ-97, установленные для населения (категория **B**) – 110нЗв/час.

В ходе научно-исследовательской работы также было обнаружено, что с понижением высоты терриконов МЭД породных отвалов возрастает (рис. 12.):

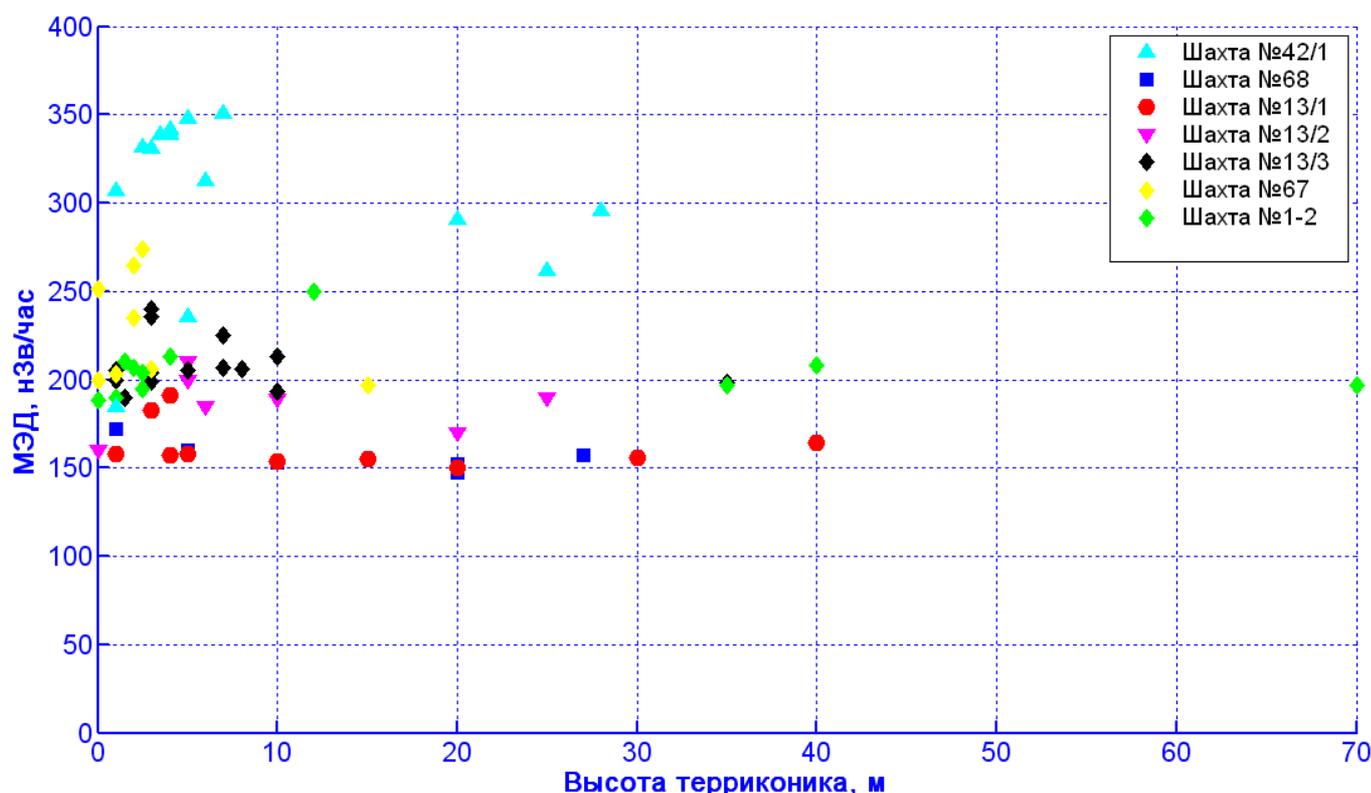


Рис. 12. Зависимость МЭД от высоты породного отвала.

Объяснить данную закономерность можно так:

- В ненарушенных горных породах в каждом радиоактивном семействе наблюдается состояние радиоактивного равновесия, при котором количество радиоактивности каждого члена данного семейства одинаково. В отвалах радиоактивное равновесие нарушается вследствие разной миграционной подвижности различных элементов, образующих радиоактивные семейства. При выветривании сульфидсодержащих пород, которое сопровождается повышением температуры, серная кислота, образующаяся при окислении пирита, переводит первичные урановые минералы в подвижную форму, то есть в раствор. При этом они переходят в раствор в виде сульфатов четырех- и шестивалентного урана. $U(SO_4)^2$ в

присутствии сульфата окисного железа в кислой среде немедленно окисляется до шестивалентного: $U^{4+} + 2Fe^{3+} \rightarrow U^{6+} + 2Fe^{2+}$. Растворение урана приводит к повышению радиоактивности у подножия породных отвалов.

- В результате водной миграции (выпадение осадков, таяние снежного покрова) происходит смыв тяжелых металлов и радионуклидов к подножию отвалов. Наблюдается повышение концентрации радионуклидов, перемещаемых вниз по стоку к подножию терриконов, особенно в замкнутых, непроточных депрессиях с распаханными склонами породных отвалов, где происходит осаждение частиц твердого стока, вследствие падения скорости водного потока.

На поверхности терриконов шахтных отвалов существуют места, где МЭД очень высокая в пределах от 240 до 350 нЗв/час (рис.13.):

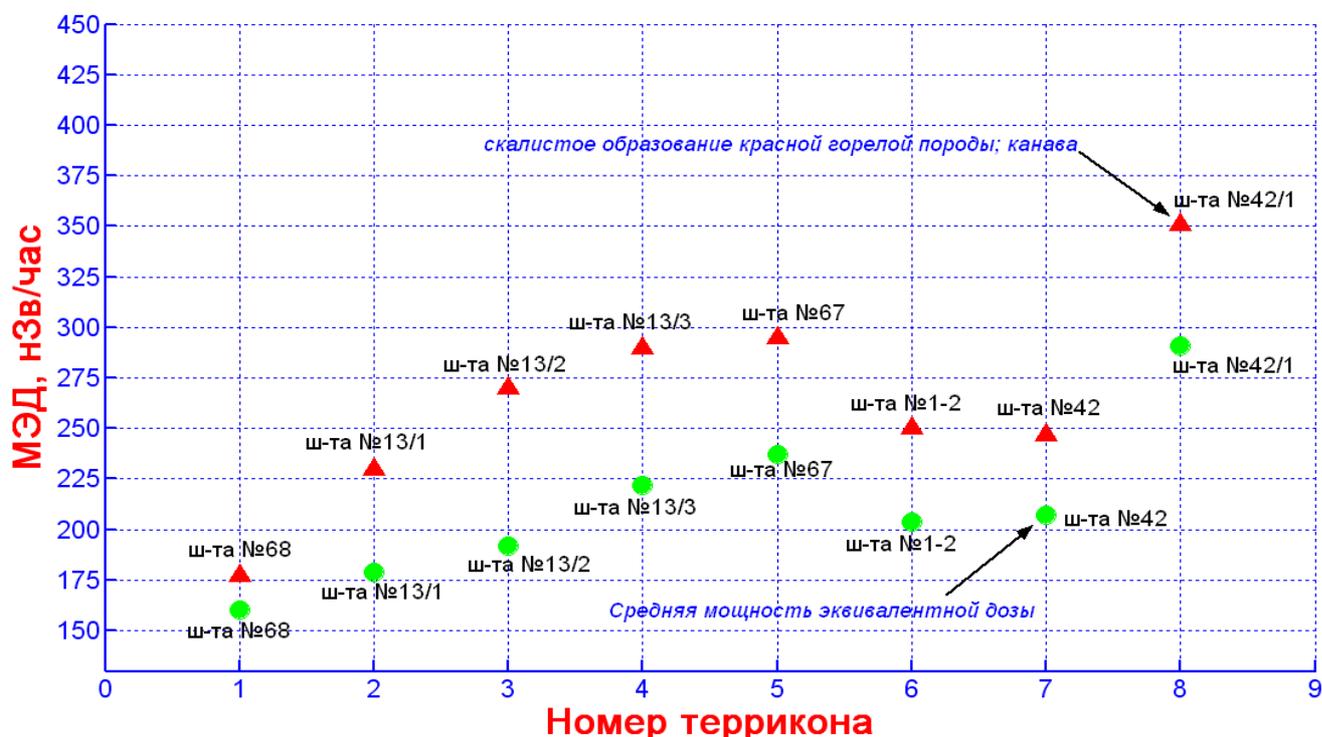


Рис. 13. Средняя МЭД и ее максимальное значение для исследуемых отвалов.

Места с повышенным радиационным фоном, преимущественно имеют вид спекшихся скалистых образований красной горелой породы [Приложение 3].

Пронаблюдать также зависимость изменения средней мощности эквивалентной дозы от возраста породных отвалов можно, рассмотрев данную таблицу 10:

Таблица 10. Паспортные характеристики параметров 5-ти породных отвалов.

№ п/п	Породный отвал	Введен в эксплуатацию, год	Остановлен, год	Отсыпая, лет	Период времени с момента образования до настоящего времени, лет	Период времени с момента останова до настоящего времени, лет	Средняя МЭД породного отвала, нЗв/час
1	шахта №67 (плоский)	1954	1984	30	55	25	237±15
2	шахта (пос.1-2) (плоский)	1923	1994	71	86	15	204±14
3	шахта №42/1 (плоский)	1927	1951	24	82	58	291±17
4	шахта №13/3 (плоский)	1921	1948	27	88	61	222±15
5	шахта №13/2 (конусный)	1949	1963	14	60	46	192±14

Увеличение периода времени с момента образования отвалов до настоящего времени, дает основание считать, что радиационный фон материалов породных отвалов зависит от:

- состава пород терриконов (аргиллиты, алевролиты, песчаники, угленосные пласты и т.д.);
- концентрации урана в этих породах;

- процесса геохимических окислительно-восстановительных реакций, происходящих в терриконах;
- миграции радионуклидов водным путем;
- доля органического компонента в минеральной фракции пород: негорящего, горящего, перегоревшего терриконов;
- вид террикона: плоский или конусный.

Детально изучив всевозможные причины повышения радиоактивности материалов породных отвалов, построим карту поверхности «радиационных аномалий» 3-х выбранных терриконов (рис. 14, 15,16):

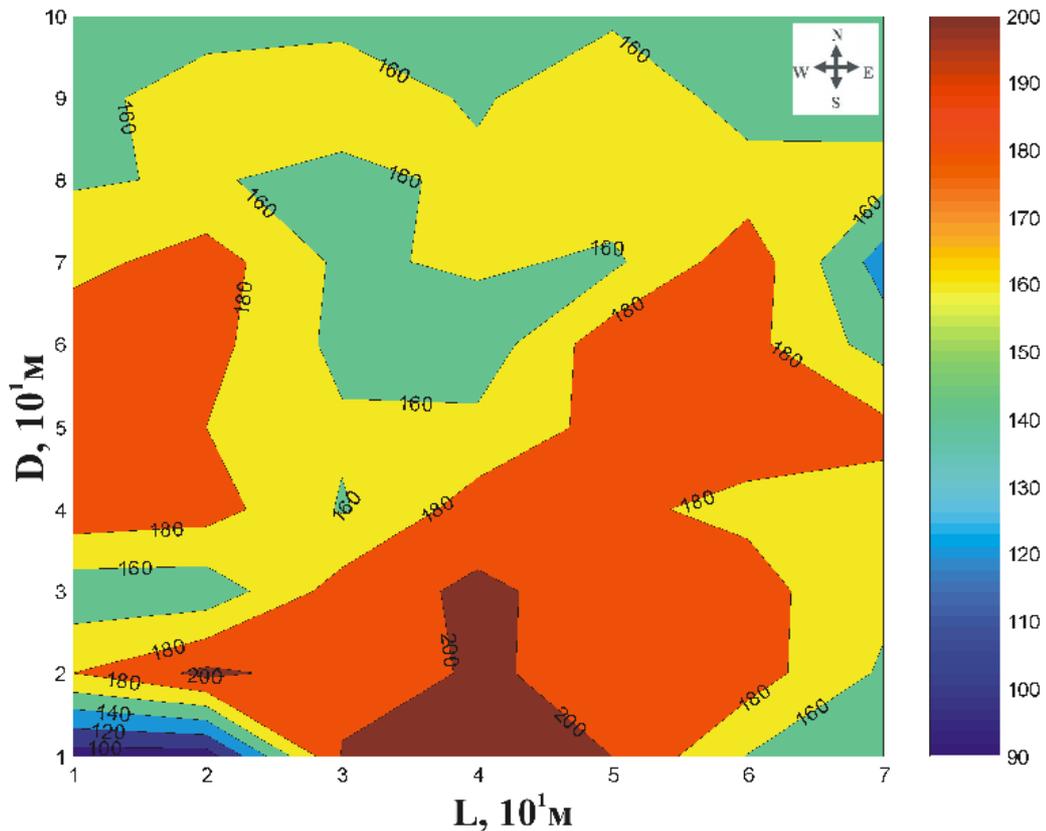


Рис. 14. Карта поверхности «радиационных аномалий» породного отвала шахты №68.

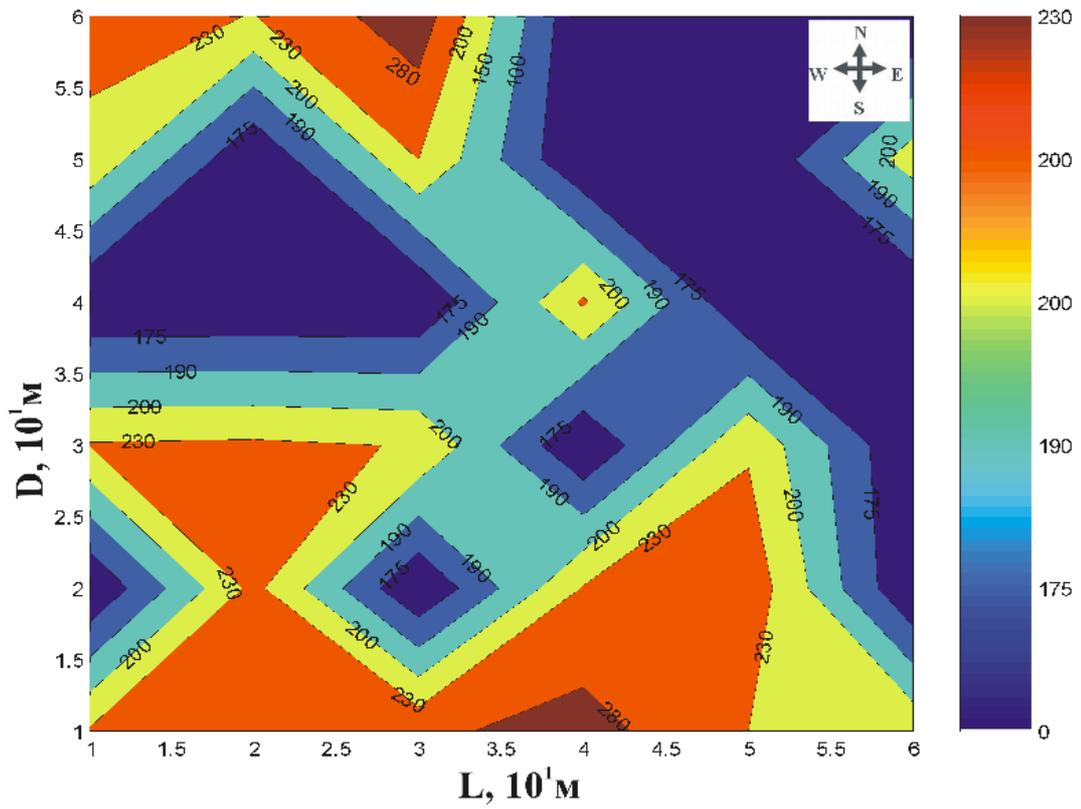


Рис. 15. Карта поверхности «радиационных аномалий» породного отвала шахты №13/2.

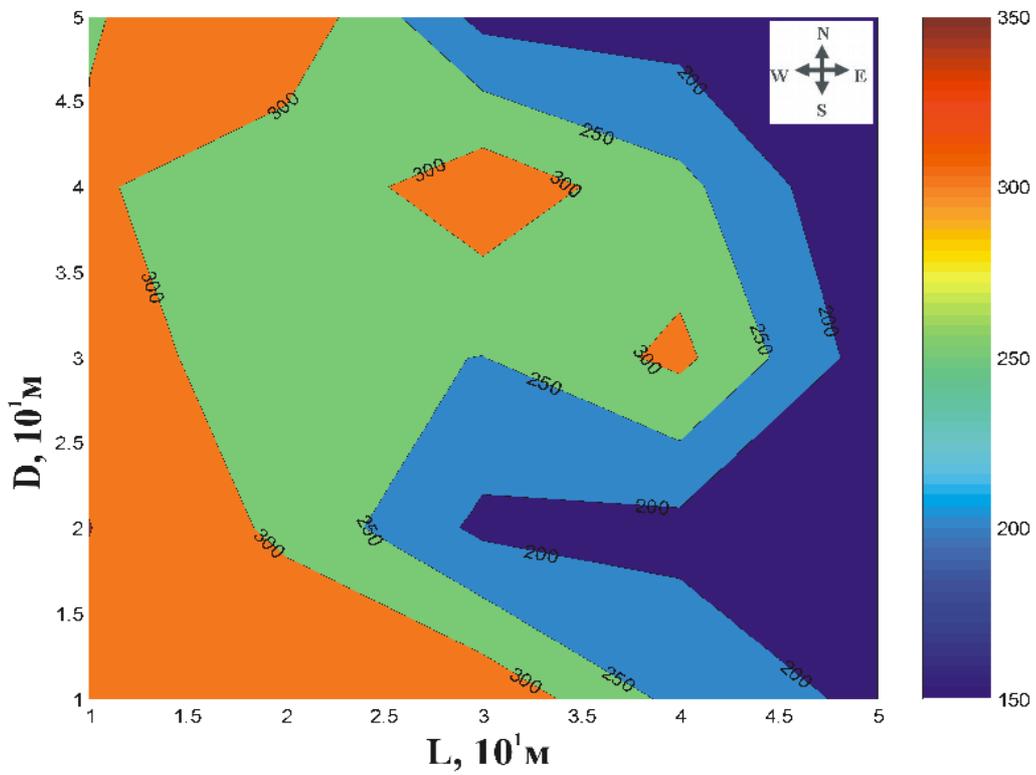


Рис. 16. Карта поверхности «радиационных аномалий» породного отвала шахты №42/1.

На (рис.16.) наглядно видно, что с восточной стороны террикона в процессе свала свежедобытой черной породы МЭД заметно меньше, чем радиационный фон всего породного отвала.

В заключение раздела, обобщая все ранее полученные результаты и закономерности, построим карту исследованных породных отвалов г. Свердловска (рис. 17.). Нанесенные на карте терриконы составляют лишь 5-ю часть всех породных отвалов данного региона [Приложение 4].



Рис. 17. Карта исследованных породных отвалов г. Свердловска

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В Украине существует радиоэкологическая проблема, воздействия материалов породных отвалов на здоровье человека. Воздушная и водная миграции радионуклидов с породных терриконов, способствуют заметному увеличению радиационного фона Донбасского региона.
2. Для идентификации радионуклидов, их спектральных характеристик, удельной активности, удельной эффективной активности, класса радиационных параметров в данной работе применен лабораторный метод измерения.
3. В дозиметрических и спектрометрических исследованиях радиационного фона породных отвалов использовали спектрометрическую установку «РИТМ-С», спектрометрическую установку лаборатории «Мюонная обсерватория», дозиметр гамма-излучения поисковый ДБГ-02 «РИТМ-1М».
4. Детально исследовав радиационный фон 9-ти породных отвалов, определили:
 - МЭД для каждого из терриконов;
 - спектральные характеристики 4-х проб материалов шахтных отвалов;
 - удельную активность ЕРН;
 - удельную эффективную активность ЕРН;
 - класс радиационных параметров для строительных материалов;
 - коэффициент «пересчета», характеризующий изменение телесного угла детектирования сцинтилляционным кристаллом.
5. Обнаружили возможные причины и закономерности изменения радиационного фона материалов породных отвалов:

- литологический состав пород терриконов (аргиллиты, алевролиты, песчаники, угленосные пласты и т.д.);
- концентрация урана в этих породах;
- процесс геохимических окислительно-восстановительных реакций, происходящих в терриконах;
- миграция радионуклидов водным путем;
- доля органического компонента в минеральной фракции пород: негорящего, горящего, перегоревшего терриконов;
- вид террикона: плоский или конусный.
- изменение МЭД с высотой породного отвала;
- изменение МЭД с возрастом терриконов;

6. Создана карта исследованных породных отвалов г. Свердловска и цветовая карта поверхности «радиационных аномалий» 3-х из них.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Копоненко Н.А. Научно-техническая стратегия экологической работы в угольной промышленности // Уголь Украины.- 2000.- №7.- С. 3 - 7.
2. Куракова Л.И. Современные ландшафты и хозяйственная деятельность.- М.: Просвещение, 1983.- 159с.
3. Леонов П.А., Сурначев Б. А. Породные отвалы угольных шахт.- М.: Недра, 1970.- 110 с.
4. Бакланов В.И. Классификация террикоников шахт и обогатительных фабрик Донбасса в целях их озеленения // Зеленое строительство в степной зоне УССР.- К.: Наук, думка, 1970.- С. 75 - 83.
5. Основные черты геохимии урана.- М.: Изд-во Акад. наук СССР. 1963.- 590 с.
6. Методическое пособие по оценке радиоактивных аномалий, выявленных при проведении массовых поисков. - М: Мингеологии СССР» 1970. - 45 с.
7. Прусс А. К. Процессы уранового рудообразования и общие закономерности размещения оруденения в пределах одного из докембрийских щитов. //ИIFORM. бюл. по массовым поискам. - № 3. - К.: Мингеологии СССР, 1970. - С. 4 -12.
8. Козлов В. Ф. Справочник по радиационной безопасности. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1991.— 352 с.
9. Почвоведение / Под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова.- М.: Высшая школа, 1988.- Т. 1.-400 с.
10. Ильин В.Б. Почвообразование и элементы - биофилы. //Химические элементы в системе почва - растение. - Новосибирск: Наука, 1982. - С. 4 -17.

11. Буевский Н.М., Зорин Л.Ф. Рекультивация земель, нарушенных горными работами- Донецк: Донбасс, 1969.- 226 с.
12. Средоулучшающая роль защитно-декоративных насаждений шахт и обогащительных фабрик в Донбассе / Ю.Н. Попа, А.В. Козак, Б.Н. Моисеенко и др. // Республиканская конф. по программе «Лес».- Винница, 1985.- С. 34 - 35.
13. Кучерявый В.А. Зеленая зона города,- К<: Наук, думка, 1981,- 247 с.
14. Горев Л.П., Пелешенко В.И. Унифицированная методика оптимизации мелиоративно-водохозяйственных систем.- К,: Лыбидь, 1991.-295 с.
15. Краткий толковый словарь по рекультивации земель.- Новосибирск: Наука, 1980.-35 с.
16. Беседа И.И., Яковенко П.И., Бент О.И, Состояние окружающей среды в Донбассе и предложения по ее охране // Уголь Украины.-1996.- №.5- С. 22 - 25.
17. Пристер Б.С., Лоцинов Н,А., Нещец О.Ф., Поярков В,А. Основы сельскохозяйственной радиологии. К.: Урожай. —1988. - 256 с.
18. Б.С Пристер, Н.А. Лоцинов, О.Ф. Нещец. Сельскохозяйственная радиология. - 2-е изд., перераб. и доп. -К.: Урожай, 1991. - 472 с.
19. Гусев Н.Г., Дмитриев П.ГТ. Радиоактивные цепочки: Справочник. -2-е изд. Перераб. и допол. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 112 с.
20. Холл Э.Д. Радиация и жизнь. Пер. с англ. М.: Медицина, 1989. - 256 с.
21. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества: Справ, изд. /ВЛ. Бажанов, Л.А. Булдаков, ИЛ. Василенко. - Л.: Химия, 1990. - 464 с.
22. Антонов В.Г. Уроки Чернобыля: радиация, жизнь, здоровье. Изд-во «Знание» УССР, 1989,-112 с.

23. Радиобиология растений /Гродзинский Д.М., отв. ред. Гудков ИД./ АН УССР. Ин-т ботаники им. Н.Г. Холодного. — Киев: Наукова думка, 1989. - 384 с.
24. Г.Г. Воккен. Радиобиология. М.: Высшая школа, 1967. - 231 с.
25. Комплекс тезисов лекций для слушателей курсов повышения квалификации Радиологического центра «Стакс». – Мариуполь, 2007г.
26. Пределы поступления радионуклидов для работающих с ионизирующим излучением: Публикация 30 МКРЗ: Пер. с англ./Под ред. А. А. Моисеева и П. В. Рамзаева. М.: Энергоиздат, 1982. Ч. 1; Энергоатомиздат, 1983. Ч. 2; Энергоатомиздат, 1984. Ч. 3.
27. Радиационная защита: Публикация 26 МКРЗ: Пер. с англ./Под ред. А. А. Моисеева и П. В. Рамзаева М.: Атомиздат, 1978.
28. Дозовые зависимости нестохастических эффектов: Публикация 41 МКРЗ: Пер с англ./Под ред. А. А. Моисеева. М.: Энергоатомиздат. 1987.
29. Генетические и соматические эффекты ионизирующего излучения: Доклад НКДАР. Изд. ООН, 1986.
30. Защита населения в случае крупной радиационной аварии: принципы планирования: Публикация 40 МКРЗ: Пер. с англ./Под ред. А. А. Моисеева и Р. М. Алексахина. М.: Энергоатомиздат, 1987.
31. Ionizing radiation: Sources and biological effects, UNSCEAR. N.Y.: UN, 1988.
32. Проблемы, связанные с разработкой показателя вреда от воздействия ионизирующего излучения: Публикация 27 МКРЗ: Пер. с англ./Под ред. А. А. Моисеева и П. В. Рамзаева. М.: Энергоиздат, 1981.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

Метрологические характеристики спектрометра-дозиметра гамма-излучения «РИТМ-С».



ДЕРЖАВНИЙ КОМІТЕТ УКРАЇНИ З ПИТАНЬ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА СПОЖИВЧОЇ ПОЛІТИКИ

Національний науковий центр «Інститут метрології»
(ННЦ «Інститут метрології»)
61002, Харків, вул. Мироносицька, 42

СВІДОЦТВО

про перевірку _____ робочого засобу вимірювальної техніки
(робочого еталона або робочого засобу вимірювальної техніки)

Чинне до 24.06.2009 р.

№ 3506 _____ Спектрометр-дозиметр гамма-випромінювань "РИТМ-С" №005

(назва робочого еталона або робочого засобу вимірювальної техніки, умовне позначення, заводський №)

Виробник _____ Науково-виробниче мале спільне підприємство "Опыт", м. Луганськ

Власник _____ Науково-виробниче мале спільне підприємство "Опыт", м. Луганськ

Повірений із застосуванням: _____
ДЕТУ 12-02-98

(назва еталона, що був використаний під час перевірки)

На підставі результатів перевірки визнається придатним і допускається до застосування згідно з _____

ДСТУ 3743-98

(назва документу, що містить вимоги до метрологічних характеристик, та (або) значення

метрологічних характеристик)

Генеральний директор _____

/Г.С.Сидоренко/
(ініціали, прізвище)

Вчений зберігач еталона _____

/В.Р.Євсєєв/
(ініціали, прізвище)



Місце печатки

"24" 06 2009р.

Результати повірки (протокол № 221 от 24.06.2008 р.):

Призначення: - Ідентифікація нуклідів (Cs-137, Co-60, Ir-192, I-131, Am-241, K-40, Ra-226, Th-232 та інш.);
- Вимірювання активності нуклідів Cs-137, K-40, Th-232, Ra-226 у пробах об'єктів навколишнього середовища, будматеріалів в геометрії "Марінеллі 1л"

ОСНОВНІ МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Назва метрологічної характеристики	Одержане значення метрологічної характеристики
Діапазон енергій гамма-випромінювання, МеВ	0,05-3,0
Енергетична роздільна здатність по лінії 662 кеВ, %	9,2
Інтегральна нелінійність у діапазоні енергій гамма-випромінювання 200-2700 кеВ, %	0,5
Довгочасна нестабільність градувальної характеристики за 8 годин роботи, %	1,0
Границі допустимої основної відносної похибки вимірювання активності для об'ємної геометрії, P=0,95, %	± 30
Мінімальна активність, яку можна виміряти у геометрії "Марінеллі 1л" за 7200с, P=0,95, δ=50%, Бк:	
Cs-137	1,8
K-40	22
Ra-226	4
Th-232	4

Вчений зберігач еталона



(підпис)

/В.Р.Євсєєв/

(ініціали, прізвище)

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

Внешний вид породного отвала – «Шахта №68»



Внешний вид породного отвала – «Шахта №13/1»



Внешний вид породного отвала – «Шахта №13/2»



Внешний вид породного отвала – «Шахта №13/3»



Внешний вид породного отвала – «Шахта №42/1»



Внешний вид породного отвала – «Шахта №42»



Внешний вид породного отвала – «Шахта №1-2»



Внешний вид породного отвала – «Шахта №67»



ПРИЛОЖЕНИЕ 3.

Скалистое образование спекшейся красной горелой породы





ПРИЛОЖЕНИЕ 4.

Полная карта г. Свердловска

