

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГРУНТОВ ПРОМПЛОЩАДКИ ОБЪЕКТА “УКРЫТИЕ”

А. К. Калиновский, А. В. Филиппов Э. М. Пазухин

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

Представлены результаты гамма-спектрометрических исследований в скважинах локальной зоны объекта «Укрытие», позволяющие идентифицировать ^{137}Cs и ^{154}Eu . Показано, что для горизонтов, приуроченных к уровням доаварийных техногенных и естественных грунтов, характерно поверхностное загрязнение обсадных труб скважин. Отношение активности ^{137}Cs и ^{154}Eu близко к среднетопливному для 4-го блока ЧАЭС, что указывает на перенос «горячих» частиц из активного слоя при бурении скважин.

Введение

Осуществление мероприятий по преобразованию объекта “Укрытие” в экологически безопасную систему и строительство нового безопасного конфаймента (НБК) будет способствовать повышению радиационной безопасности и снижению выбросов радиоактивных аэрозолей.

Однако не следует забывать, что в грунтах, слагающих геологический разрез промплощадки объекта “Укрытие”, сосредоточен значительный объем радиоактивных материалов (РМ) и около 0,5 т облученного ядерного топлива [1]. Особенно радиоактивен слой грунта, приуроченный к уровню дневной аварийной поверхности, - ”активный“ слой. Поэтому вопросы по уточнению пространственного расположения, радионуклидного состава РМ, локализованных в грунтах вокруг объекта “Укрытие”, и прогнозирование их экологической опасности и трансформации под действием как природных, так и техногенных факторов сохраняют свою актуальность и после строительства НБК.

Постановка задачи

Для изучения этих вопросов на территории промплощадки объекта “Укрытие” пробурены десятки исследовательских и наблюдательных скважин. Изучение кернов, полученных при бурении скважин, и анализ результатов гамма-каротажа позволили создать вертикальный разрез участков промплощадки [1, 2]. Кроме того, было выделено четыре зоны (слоя) грунтов, которые содержат РМ или могут быть загрязнены радионуклидами чернобыльского генезиса: зона 1 - послеаварийный техногенный слой; зона 2 - “активный” слой; зона 3 - доаварийные техногенные грунты; зона 4 - естественные грунты.

Особый интерес вызывает радиационное состояние грунтов, приуроченных к интервалам доаварийных техногенных грунтов и аллювиальных отложений, так как через них проходит миграция радионуклидов из ”активного“ слоя в грунтовые воды. По результатам анализа данных гамма-каротажа на уровне их залегания выявлено аномальное увеличение интенсивности гамма-поля, в десятки и сотни раз превосходящее фоновые уровни [1, 2]. Если принять во внимание, что радиоактивные частицы размером менее 10 мкм практически полностью растворятся в течение пяти лет в условиях, характерных для ближней зоны ЧАЭС [3], то наблюдаемое увеличение интенсивности гамма-поля может быть результатом миграции радионуклидов из ”активного“ слоя. В конечном счете, это может привести к попаданию радионуклидов в грунтовые воды и выходу их за пределы контролируемой зоны отчуждения и загрязнению бассейнов рек Припяти и Днепра.

Увеличение мощности экспозиционной дозы (МЭД) можно объяснить с помощью следующих механизмов (рис. 1). Во-первых, нарушением технологии бурения и обустро-

йства скважин и механическим переносом радиоактивного грунта (топливных частиц) из “активного” слоя на уровень нижележащих грунтов вдоль внешних стенок обсадных труб. Такое загрязнение ствола скважины приведет к формированию в скважине гамма-поля со спектром фотонов, характерным для поверхностного источника излучения.

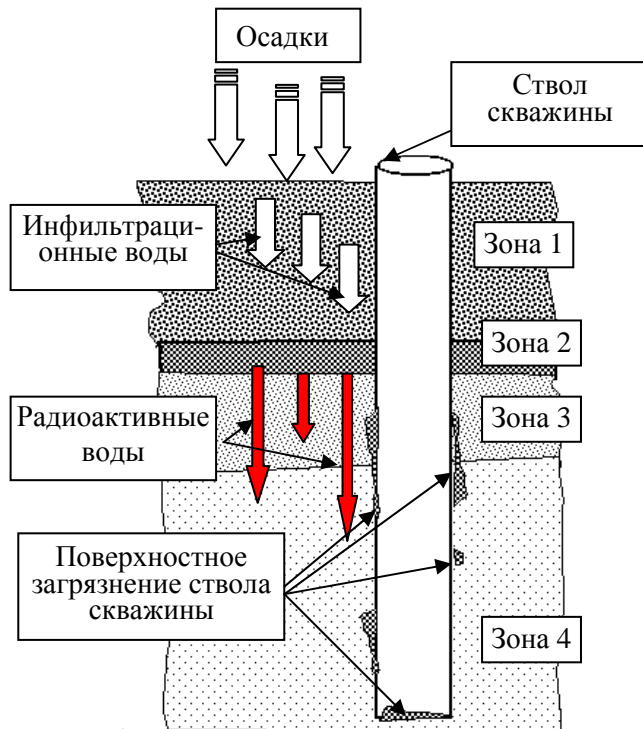


Рис. 1. Механизмы радиоактивного загрязнения доаварийных техногенных и естественных грунтов промплощадки объекта “Укрытие”.

Во-вторых, выходом радионуклидов из “активного” слоя за счет выщелачивания из топливных частиц. При этом топливная матрица разрушается и радионуклиды, входящие в состав облученного ядерного топлива, ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{154}Eu , ^{241}Am , $^{238+239+240}\text{Pu}$ и др. переходят в подвижное состояние [4] и мигрируют в нижележащие грунты в результате процессов ионного обмена, диффузии в межпоровую влагу, конвективного переноса при просачивании инфильтрационных вод. Следует учитывать, что подвижность радионуклидов зависит как от сорбционных свойств, подстилающих «активный» слой грунтов, и их пористости, так и от химической формы радионуклида, pH, грунтовых вод и др. Поэтому в процессе вертикальной миграции через толщу доаварийных техногенных и естественных грунтов будет происходить фракционирование радионуклидов в зависимости от их химических свойств. Грунты будут представлять собой радиоактивные пласты, а спектр в скважине будет соответствовать объемному загрязнению.

Кроме того, нельзя исключать возможность формирования зон ускоренного переноса радионуклидов как вдоль обсадных труб при нарушении технологии обустройства скважины или в результате технологической деятельности на промплощадке, так и на отдельных участках, где в грунтах захоронены строительные конструкции или технологическое оборудование. При этом загрязнения окружающих скважину грунтов носит локальный характер.

Дифференцировать механизмы радиоактивного загрязнения доаварийных техногенных и естественных грунтов можно с учетом того, что радионуклиды, имеющие различные химические свойства, будут вертикально перемещаться под действием разных механизмов с различными скоростями.

На данное время основным радионуклидом, определяющим спектр гамма-излучения внутри скважины, является ^{137}Cs . При этом 85 % гамма-излучения приходится на линию с энергией 662 кэВ. С учетом этой особенности радиоактивного загрязнения, был разработан метод определения структуры загрязнения грунтов ^{137}Cs по данным гамма-спектрометрических исследований (ГСИ) [5, 6]. Применяя этот метод, можно по форме спектрального распределения фотонов (аппаратурной линии спектрометра) оценить пространственное расположение ^{137}Cs в грунтах, окружающих скважину, но определить состояние радиоактивного цезия, находится ли он в топливной матрице или в составе других соединений, нельзя.

Практически, кроме ^{137}Cs , на данном этапе в скважинах с помощью полевой сцинтилляционной спектрометрии при определенных условиях среди гамма-излучающих изотопов, входящих в состав топлива, можно определить только ^{154}Eu (по фотопику гамма-квантов с

энергией 1274 кэВ). Учитывая то, что ^{137}Cs и ^{154}Eu являются элементами разных химических групп, обладают различными химическими свойствами и имеют отличные скорости миграции, то, анализируя отношения их активности, можно оценить механизм радиоактивного загрязнения пласта, на уровне которого производилось измерение. Затруднения при идентификации радионуклидов связаны с тем, что отношение гамма-квантов с энергиями 662 (^{137}Cs) и 1274 (^{154}Eu) кэВ в потоке фотонов, создаваемом радиоактивными частицами с содержанием радионуклидов, близким к среднетопливному, в настоящее время составляет порядка четырехсот к одному.

Описание измерительной аппаратуры

Для выполнения ГСИ в скважинах локальной зоны совместно с НПП «АтомКомплексПрибор», после рассмотрения различных схемных решений, был создан полевой спектрометрический измерительный комплекс в составе анализатора импульсов «АБА-П» и сменных блоков детектирования. Зонд № 1 собран на базе кристалла NaI(Tl) размером $\varnothing 63 \times 63$ мм, а зонд № 2 – на базе кристалла $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{13}$ (БГО) размером $\varnothing 15 \times 5$ мм. Эффективный телесный угол регистрации фотонов этих зондов близок к 4π. Зонд № 3 собран на базе кристалла NaI(Tl) размером $\varnothing 16 \times 20$ мм, помещенный в защитный свинцовый коллиматор толщиной 8 мм.

Оценка разрешающей способности применяемых измерительных зондов была произведена по спектрам изотопа ^{137}Cs . При анализе калибровочных спектров определено, что энергетическое разрешение для гамма-линии 662 кэВ ^{137}Cs составляет не более 10 и 7 % для зондов № 1 и № 3 на базе кристалла NaI(Tl) и 17 % на базе кристалла ВГО.

Линейность спектрометрических трактов определялась по одновременно снятым спектрам ^{137}Cs и ^{60}Co от эталонных источников. Отклонение расчетной величины фотопика ^{60}Co (1173 кэВ) от истинного значения менее 2 %. При проведении калибровочных измерений также выполнена оценка эффективности регистрации фотонов в измерительном диапазоне.

Результаты ГСИ в скважинах промплощадки объекта «Укрытие»

Скважины, расположенные на промплощадке объекта «Укрытие», были пробурены в разные послеаварийные периоды и предназначены для различных целей. Общее практически для всех скважин - это технология проходки. На рис. 2 приведено расположение скважин 8180А, 8178А, 3-3Д, 7982, 10-2Д, 10-1А, 8179, 1Г - 6Г, 7-Б и др., в которых были выполнены ГСИ [7, 8]. По результатам спектрометрических измерений были установлены следующие особенности структуры радиоактивного загрязнения грунтов, окружающих скважины и слагающих геологический разрез промплощадки объекта «Укрытие»:

1. Для интервалов грунтов, находящихся на глубине ниже «активного» слоя и выше уровня грунтовых вод и имеющих аномальное увеличение МЭД, как правило, спектр гамма-излучения соответствует поверхностному загрязнению. Учитывая, что скважины пробурены в различных местах промплощадки по одной методике и имеют подобное поверхностное загрязнение, можно предположить, что увеличение МЭД связано с недостатками технологии проходки.

2. Слои грунтов, лежащие выше «активного» слоя, практически всегда имеют спектр гамма-излучения, характерный для равномерного объемного загрязнения.

3. Для «активного» слоя чаще всего характерен спектр гамма-излучения равномерного объемного загрязнения. Однако иногда встречается спектр неравномерного загрязнения, но, исходя из консервативного подхода при оценке радиационной опасности грунтов, эти грунты следует отнести к равномерному объемному загрязнению.

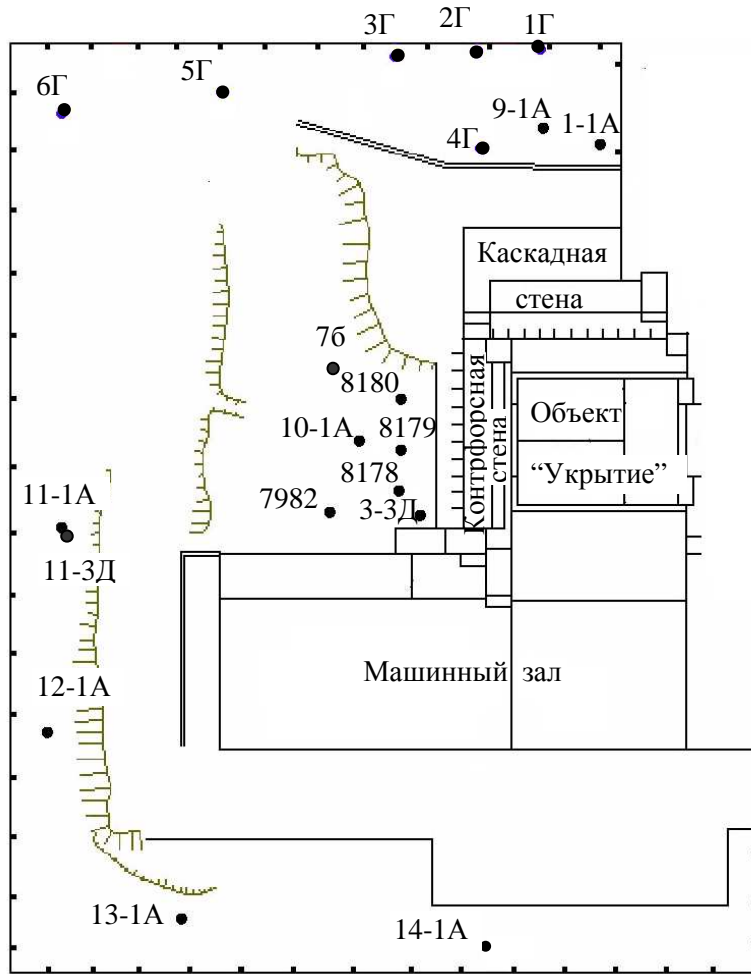


Рис. 2. Схема расположения обследованных скважин на промплощадке объекта «Укрытие».

Кроме того, установлены некоторые особенности поверхностного загрязнения ствола скважин.

Во-первых, протяженное загрязнение представляет собой участки, где радиоактивные частицы, относительно близкие по активности, примерно равномерно распределены по внешней поверхности обсадной трубы. В этом случае важен учет конструктивных особенностей скважины, так как при определенных условиях форма регистрируемого спектра может быть близка к спектру, характерному для объемного источника.

Во-вторых, точечное загрязнение, когда активность топливной частицы, находящейся за обсадной трубой, более чем в тысячи раз превосходит удельную активность окружающего скважину грунта.

В-третьих, внутреннее загрязнение скважины (например, забоя скважины) наблюдается, когда недостаточно хорошо выбран из скважины радиоактивный грунт из "активного"

слоя или он был привнесен после обустройства в процессе эксплуатации скважины.

С целью определения характеристик радиоактивного загрязнения в ряде скважин были выполнены дополнительные исследования по определению состава гамма-излучателей и их соотношений. Так, в скважине 7б, расположенной в районе контрфорсной стены объекта «Укрытие», при проведении ГСИ ниже активного слоя выявлены интервалы, в которых спектры в скважине характерны для поверхностного загрязнения. Места проведения измерений указаны стрелками на рис. 3. На аппаратном спектре, полученном зондом № 3 на глубине (рис. 4), видны пики полного поглощения, соответствующие гамма-квантам с энергиями 662 кэВ (^{137}Cs) и 1274 (^{154}Eu). При совместном анализе каротажной кривой и результатов ГСИ можно предположить, что на этом интервале глубин имеет место точечное загрязнение. Затем, используя данные калибровочной кривой по эффективности, по аппаратному спектру определили отношение активности ^{137}Cs и ^{154}Eu . Рассчитанное значение близко к экспериментальным соотношениям для ядерного топлива со средним выгоранием 11 МВт · сут/кг [9]. Расхождение значений менее 20 %. С учетом того, что погрешность измерений более 15 % для данного измерительного зонда, можно полагать, что гамма-поле в скважине сформировано радионуклидами, находящимися в топливной матрице. Отношение $^{137}\text{Cs}/^{154}\text{Eu}$ практически совпадает с результатами лабораторных гамма-спектрометрических анализов проб керна этой же скважины из интервала "активного" слоя [6]. Следовательно, радиоактивное загрязнение этого интервала связано с перемещением радиоактивного грунта из «активного» слоя в процессе бурения.

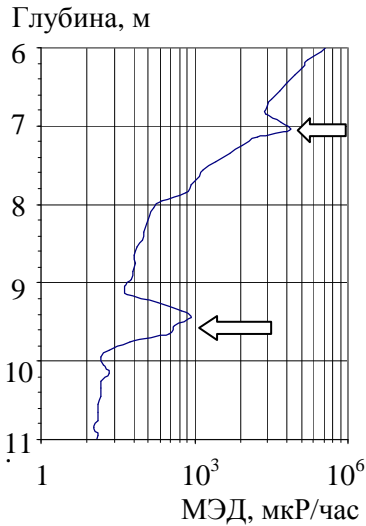


Рис. 3. Фрагмент каротажной кривой скважины 76 с указанием точек выполнения ГСИ.

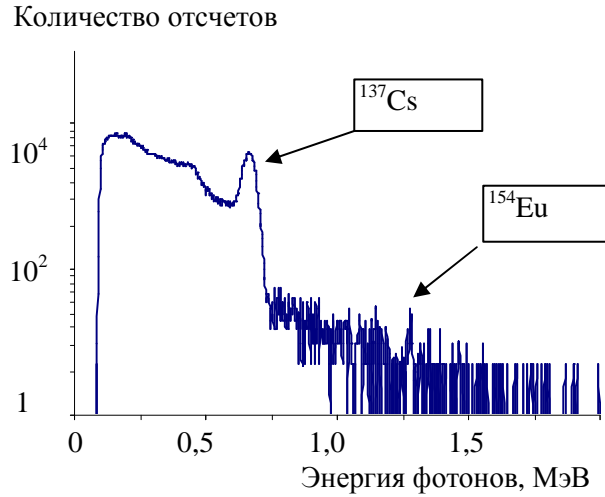


Рис. 4. Аппаратурный спектр в скважине 76 на глубине 9,4 м.

Аналогичные измерения были выполнены в скважине 11-3Д, расположенной на западе локальной зоны (см. рис. 2). На рис. 5 представлен аппаратурный спектр, полученный с помощью измерительного зонда № 1 практически на дне скважины. На нем также можно идентифицировать фотопики ^{137}Cs и ^{154}Eu .

Особенности определения ^{154}Eu при объемном загрязнении грунтов наглядно демонстрирует спектр, полученный на модели скважины с радиоактивным слоем мощностью 20 см и известной удельной активностью [4], приведенный на рис. 6. Фотопик ^{154}Eu (1274 кэВ) слабо различим на фоне непрерывного аппаратурного спектра, формируемого суммарными пиками рассеянных фотонов. Это способствует существенному увеличению погрешности определения отношения активности ^{137}Cs и ^{154}Eu . При этом отношение гамма-квантов ^{137}Cs (662 кэВ) и ^{154}Eu (1274 кэВ), в первичном потоке фотонов на момент регистрации спектра, порядка трехсот к одному.

Следует отметить, что уверенно идентифицировать гамма-кванты ^{154}Eu на аппаратурном спектре, полученном в скважине, можно лишь при определенных условиях.

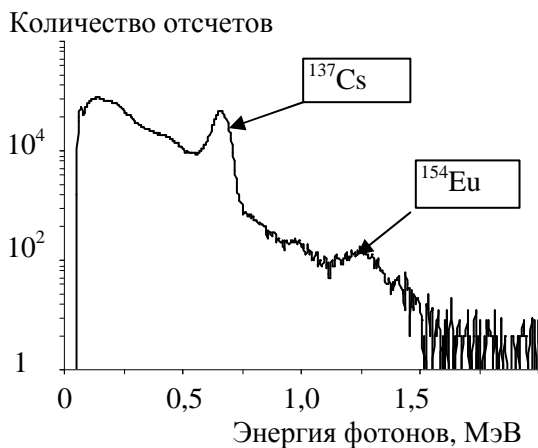


Рис. 5. Аппаратурный спектр фотонов измерительного зонда № 1 на уровне забоя скважины 11-3Д.

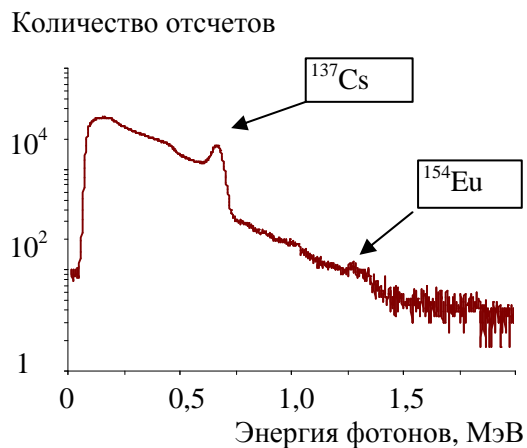


Рис. 6. Аппаратурный спектр фотонов измерительного зонда № 3 в центре модели активного слоя.

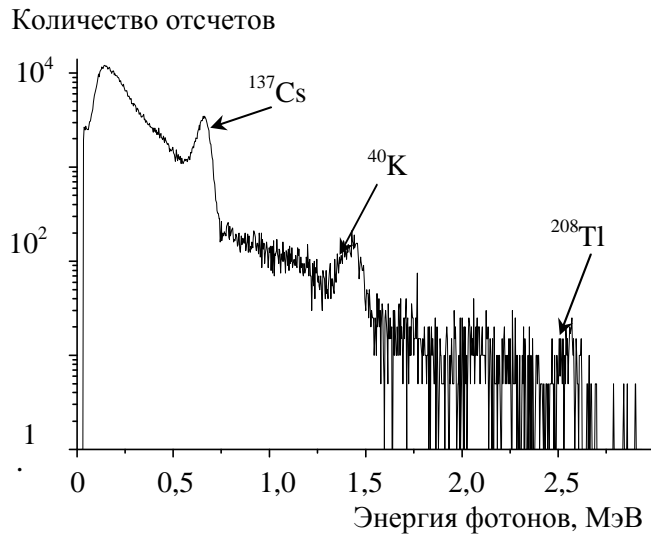


Рис. 7. Аппаратурный спектр фотонов на уровне залегания естественных грунтов.

Нижнюю границу детектирования определяет активность, присутствующих в грунтах естественных гамма-излучателей. В этом можно убедиться на примере анализа аппаратного спектра (рис. 7), полученного в скважине 8019, расположенной за территорией промплощадки. На глубине более двух метров, где проводились измерения, гамма-поле внутри скважины формируется радионуклидами уранового и ториевого рядов, а также ^{40}K . Хотя на аппаратном спектре (см. рис. 6) отчетливо различим пик полного поглощения фотонов с энергией 662 кэВ, определить фотопик ^{154}Eu (1274 кэВ) не удалось. Это связано со значительным влиянием рассеянных фотонов

от изотопов, при распаде которых образуются гамма-кванты более высоких энергий, например ^{40}K (1460 кэВ) и ^{208}Tl (2615 кэВ).

Верхняя граница детектирования определяется как конструктивными особенностями измерительного зонда и свойствами сцинтилляционного кристалла, так и активностью ^{137}Cs . Это связано с тем, что в кристалле одновременно могут зарегистрироваться, например, два фотона и в результате на аппаратном спектре образуется непрерывный спектр выше энергии 662 кэВ. Известен факт наличия на аппаратных спектрах, полученных как с помощью полупроводниковой, так и сцинтилляционной спектрометрии, суммарного пика 1324 кэВ при измерении образцов с высоким удельным содержанием ^{137}Cs . А если учесть, что разрешение сцинтилляционного кристалла NaI при "плохой геометрии" практически выше 10 %, то на аппаратном спектре пики от фотонов с энергиями 1274 и 1324 кэВ будут перекрываться. Кроме того, при значительной активности ^{137}Cs плотность потока фотонов в точке измерения может превосходить пределы, при которых сцинтилляционные кристаллы блоков детектирования сохраняют свои спектрометрические свойства.

Выводы

По результатам анализа ГСИ определено, что для скважин промплощадки объекта "Укрытие" характерно поверхностное загрязнение следующих видов: «протяженное», точечное и загрязнение забоя.

Разработанная методика анализа результатов ГСИ в скважинах, позволяет определять содержания ^{154}Eu и ^{137}Cs в грунтах, слагающих геологический разрез промплощадки объекта «Укрытие». Показаны ограничения при идентификации ^{154}Eu .

В большинстве случаев в обследуемых скважинах основным механизмом загрязнения горизонтов, приуроченных к доаварийным и естественным грунтам, являются недостатки технологии проходки и обустройства скважин, способствующие переносу почвы из "активного" на нижележащие слои. Следовательно, вынос из "активного" слоя ^{137}Cs несущественен, а послеаварийный техногенный слой, в основном, обладает достаточно хорошими гидроизолирующими свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анализ имеющихся данных и изучение распределения и содержания радионуклидов в грунтах ближней зоны ОУ: (Отчет) / МНТЦ "Укрытие" НАН Украины. - Чернобыль, 1996.*

2. *Характеризация* радиоактивных отходов, локализованных на промплощадке объекта “Укрытие”. Проект № в7-5200/97/000077/МАСЗ: (Отчет. Задача 5. Проведение измерений на промплощадке объекта “Укрытие”). - Чернобыль, 1998.
3. *К вопросу* о выщелачивании и миграции радионуклидов из грунтов района ЧАЭС: (Отчет) / РИ им. В. Г. Хлопина. - Арх. № 031516, 1986.
4. *Авдеев В.А., Кривохатский А.С., Совоненков В.Г., Смирнова* Выщелачивание радионуклидов из частиц ядерного топлива // Радиохимия. - 1990. - № 2. - С. 55 - 59.
5. *Калиновский А.К., Малюк И.А., Панасюк Н.И. и др.* Использование результатов гамма-спектрометрических исследований при интерпретации данных гамма-каротажа скважин локальной зоны объекта «Укрытие» // Проблемы Чернобиля. - 2001. - Вип. 8. - С. 15 - 20.
6. *Калиновский А. К., Малюк И. А., Правдивый А. А.* Исследование характеристик гамма-излучения ¹³⁷Cs на моделях скважин // Там же. – 2003. - Вип. 13. - С. 142 - 148.
7. *Характеризация* радиоактивных отходов, локализованных на промплощадке объекта “Укрытие”. Проект № в7-5200/97/000077/МАСЗ: (Отчет. Задача 14. Итоговый отчет по фазе 3). - Чернобыль, 1999.
8. *Отчет* по определению характеристик РАО западной зоны / Международный консорциум «Чернобыль» - ИСС (МК) JV, SIP Пакет А. Дополнительные исследования, наряд на услуги № 4. Дополнение 1. – Киев – Чернобыль, 2002.
9. *Бегичев С.Н., Боровой А.А., Бурлаков Е.В. и др.* Топливо реактора 4-го блока ЧАЭС (Краткий справоч.). - Москва, 1990. - 21 с. - (Препр./ Ин-т атомной энергии им. И. В. Курчатова; 5268/3).

Поступила в редакцию 14.06.06

16 ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ГРУНТІВ ПРОММАЙДАНЧИКА ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ»**О. К. Калиновський, О. В. Філіппов, Е. М. Пазухін**

Представлено результати експериментальних гамма-спектрометричних досліджень у свердловинах локальної зони об'єкта «Укриття», за якими можна ідентифікувати ^{137}Cs і ^{154}Eu . Показано, що для горизонтів, приурочених до рівнів доаварійних техногенних і природних ґрунтів характерне поверхнєве забруднення обсадних труб свердловин. При цьому відношення активності ^{137}Cs і ^{154}Eu близьке до середньопаливного для 4-го блоку ЧАЕС, що вказує на перенесення «гарячих» частинок з активного шару при бурінні свердловин.

16 SOME FEATURES OF RADIOACTIVE CONTAMINATION OF SITE SOILS OF OBJECT "UKRYTTYA"**A. K. Kalynovsky, A. V. Philippov, E. M. Pazuchin**

Results of experimental gamma - spectrometer researches in site boreholes of object "Ukryttya" are presented. They are shown, that surface contamination of casing pipes in investigated boreholes is typical of the horizons dated for levels preaccident manhand and natural soils. Besides the ratio of activity ^{137}Cs and ^{154}Eu are identified at the gamma-spectra is close to nuclear fuel with average burn-out for 4 blocks ChNPP that are pointed at carrying down of "hot" particles from an active layer at drilling boreholes