

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИИ УГЛЕЙ  
В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

О. А. Бешейко<sup>1</sup>, С. А. Карпенко<sup>2</sup>, И. А. Малюк<sup>3</sup>, О. И. Насвит<sup>4</sup>,  
В. Н. Приймак<sup>2</sup>, Э. Е. Петросян<sup>3</sup>, К. А. Тищенко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

<sup>2</sup>Концерн «СоюзЭнерго», Днепропетровск

<sup>3</sup>Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

<sup>4</sup>Совет национальной безопасности и обороны Украины, Киев

С помощью метода Монте-Карло сгенерированы аппаратурные гамма-спектры для модели усредненной по физико-химическим свойствам угольной массы и размещенных в ней детекторов на базе сцинтилляционных кристаллов NaI и LaBr<sub>3</sub>. В результате обработки сгенерированных гамма-спектров с использованием стандартных программ определены возможности гамма-спектрометрического метода измерения естественной радиоактивности углей в полевых условиях.

**Введение**

Возрастающая озабоченность мирового общества в связи с усилением техногенного воздействия человека на окружающую среду обуславливает повышенный интерес к вопросам экологической безопасности промышленного производства. Одним из важных факторов загрязнения окружающего пространства является топливная энергетика, в особенности тепловые станции, работающие на угле. Из всех основных видов ископаемого органического топлива (нефть, газ, уголь) только уголь имеет запасы, дающие топливной энергетике долговременную перспективу. По некоторым оценкам, не менее 75 % всего добываемого объема угля расходуется для этой цели. Уголь по-прежнему остается доступным и экономичным сырьем, а стоимость тепловых электростанций (ТЭС) и в отдаленном будущем будет значительно ниже стоимости атомных электростанций (АЭС). Однако наряду с очевидными экономическими выгодами, которые дает рост теплоэнергетики, становятся очевидными и экологические проблемы, связанные не только с ростом объема сжигаемого топлива, но и с заметным ухудшением его качества.

Наряду с вредными химическими элементами и соединениями, такими как SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, тяжелые металлы, при сжигании угля в атмосферу выносятся и радиоактивные вещества, содержащие радионуклиды урановых и ториевого рядов, а также <sup>40</sup>K, которые в основном определяют естественную радиоактивность земной коры [1]. Особенно неприятен тот факт, что альфа-активные радионуклиды, которые присутствуют в урановых и ториевом рядах, попадают в атмосферу в мелкодисперсной форме и могут накапливаться в легких при ингаляционном поступлении в организм человека.

С учетом вышеизложенного становится очевидной необходимость контроля содержания радионуклидов в углях с целью минимизации попадания радиоактивных веществ в окружающую среду в процессе их сжигания. Этот контроль необходимо производить на всех стадиях производственного цикла – во время геологоразведочных работ (для предотвращения добычи углей с повышенной радиоактивностью), непосредственно в забое, на обогатительных предприятиях и, наконец, на ТЭС. Проведение такого контроля в лабораторных условиях потребует выполнения целого комплекса мероприятий, таких как отбор образцов, их доставка в лабораторию, пробоподготовка, измерение удельной активности, и, соответственно, займет значительное количество времени и средств. Поэтому представляется более предпочтительным проведение такого контроля в полевых условиях с помощью портативного прибора, который позволил бы за сравнительно небольшое время измерять величины содержания радионуклидов в углях с необходимой погрешностью.

По некоторым оценкам [2], средние концентрации радионуклидов в углях Украины и СНГ находятся в диапазонах: 30 - 170 Бк/кг для <sup>40</sup>K; 18 - 70 Бк/кг для <sup>226</sup>Ra; 6 - 40 Бк/кг для <sup>232</sup>Th. Наибольшей радиоактивностью обладают угли шахт Подмосковского (Россия), Донецкого (Украина), Львовско-Волынского (Украина) бассейнов, Березовского (Россия), Азейского (Россия), Харанорского (Россия) месторождений.

Целью настоящей работы являлось исследование возможностей измерения удельных активностей <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th и <sup>40</sup>K в ископаемых и обогащенных углях в полевых условиях с использованием гамма-спектрометрического метода. Для оценки этих возможностей были выбраны и оптимизированы следующие составляющие мето-

дики проведения измерений: тип и размеры детектора гамма-излучения; способ проведения измерений («геометрия» измерений); набор аналитических гамма-линий.

После оптимизации расчетным методом (с использованием метода Монте-Карло, реализованного в программном пакете MCNP-4C) были оценены толщины «насыщенных» слоев для выбранных аналитических гамма-линий, сгенерированы парциальные аппаратурные спектры для каждого из рядов и  $^{40}\text{K}$ , на основе которых были вычислены суммарные аппаратурные спектры для различных соотношений удельных активностей рядов  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$  в угле. Далее полученные спектры обрабатывались с использованием стандартной программы обработки гамма-спектров для оценки погрешностей измерений и пределов детектирования удельных активностей.

### Тип и размеры детектора гамма-излучения

Совершенно очевидно, что наилучшим с точки зрения получения качественных гамма-спектров является использование полупроводникового детектора, обладающего высоким энергетическим разрешением. Однако германиевые детекторы дороги, громоздки и требуют постоянного охлаждения во время работы (азотного или электрического), а кристаллы на основе CdTeZn имеют малые геометрические размеры и, соответственно, невысокую эффективность регистрации гамма-излучения.

Из существующих детекторов наиболее перспективными для создания сравнительно недорогой портативной спектрометрической системы являются неорганические сцинтилляционные кристаллы. В настоящей работе в качестве детектора рассматривались сцинтилляционный кристалл NaI(Tl), недорогой и обладающий хорошими энергетическим разрешением и эффективностью регистрации гамма-излучения, а также новый перспективный сцинтилляционный кристалл LaBr<sub>3</sub>(Ce) (коммерческое название BriLanCe 380), имеющий уникальные спектрометрические характеристики, однако в настоящее время пока еще малодоступный. С помощью детекторных систем на основе LaBr<sub>3</sub>(Ce) достигается разрешение 2,6 % на линии 662 кэВ  $^{137}\text{Cs}$  [3] (против 7 % у NaI(Tl)). Эти кристаллы показывают лучшую линейность световых выходов и очень слабую зависимость световых выходов от температуры (изменение менее 5 % в диапазоне температур от -65 до +140 °С и менее 1 % в диапазоне температур от 0 до +55 °С). Кроме того, эффективность регистрации гамма-излучения у кристалла LaBr<sub>3</sub>(Ce) на 10 - 70 % (в зависимости от энергии) выше, чем у аналогичного по размеру

кристалла NaI(Tl). Единственным существенным недостатком кристалла LaBr<sub>3</sub>(Ce) является наличие небольшой собственной радиоактивности, обусловленной присутствием в естественной смеси изотопов лантана 0,09 % радиоактивного изотопа  $^{138}\text{La}$ , а также активностью примесного изотопа  $^{227}\text{Ac}$  (совместно с дочерними радионуклидами), который является членом радиоактивного ряда  $^{235}\text{U}$ , по химическим свойствам идентичен лантану и всегда в небольших количествах содержится в нем. За последнее время производителями достигнут значительный прогресс в очистке лантана от примесей  $^{227}\text{Ac}$ , однако избавиться от радиоактивности  $^{138}\text{La}$  практически невозможно. Оценка возможности применения сцинтилляционных кристаллов LaBr<sub>3</sub>(Ce) в качестве детекторов гамма-излучения для измерения естественной радиоактивности углей также является одной из задач, решаемых в данной работе.

Что касается размеров детектора, то в портативных спектрометрических системах обычно используются сцинтилляционные кристаллы размером от 1 до 3".

### Способ проведения измерений («геометрия» измерений)

Известно, что в гамма-спектрометрии наименьшие пределы детектирования активности достигаются при измерениях в так называемой 4л-геометрии, когда детектор со всех сторон окружен исследуемым веществом. Эти пределы тем ниже, чем толще (до определенных пределов) слой этого вещества. Кроме того, чем толще слой анализируемого вещества вокруг детектора, тем меньше мешающего фонового излучения попадает в детектор, поскольку само вещество экранирует сцинтилляционный кристалл от внешнего фона. Исходя из этого, представляется выгодным размещение детектора в толще угля. Поскольку насыпная плотность углей невелика (в среднем от 0,65 до 0,85 г/см<sup>3</sup>), то доставка детектора небольшого диаметра на некоторую глубину (0,5 - 1,0 м) представляется возможной. Для того чтобы получать количественные результаты в такой геометрии измерений, необходимо обеспечить вокруг детектора наличие «насыщенного» слоя, т.е. слоя измеряемого вещества такой толщины, дальнейшее увеличение которого не влияло бы (в результате самоэкранирования) на скорость счета импульсов в детектирующей системе.

### Набор аналитических гамма-линий

Как известно, основная дозовая нагрузка в результате воздействия на живой организм объектов, имеющих естественную радиоактивность,

определяется радиоактивностью рядов  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и радионуклидом  $^{40}\text{K}$ . Радиоактивность ряда  $^{235}\text{U}$  при обычно встречающемся в природе соотношении изотопов урана примерно в 20 раз ниже, чем радиоактивность ряда  $^{238}\text{U}$ . Кроме того, гамма-излучение радионуклидов-членов ряда  $^{235}\text{U}$  дает очень малый вклад в общую дозовую нагрузку, поэтому определение удельной активности  $^{235}\text{U}$  в углях с точки зрения оценки радиологического воздействия является непринципиальным.

Для измерения активности ряда  $^{232}\text{Th}$  удобно использовать гамма-линию 2,6145 МэВ радионуклида  $^{208}\text{Tl}$ , который завершает ряд. Эта гамма-линия имеет высокий квантовый выход (35,7 % относительно равновесной активности ряда) и удобна для анализа, поскольку находится в высокоэнергетической части гамма-спектра и не интерферирует с гамма-линиями урановых рядов и  $^{40}\text{K}$ .  $^{40}\text{K}$  имеет одну гамма-линию с энергией

1,4607 МэВ и квантовым выходом 10,7 %, которая в гамма-спектрометрии всегда используется в качестве аналитической. И, наконец, в ряду  $^{238}\text{U}$  при условии радиоактивного равновесия часто в качестве аналитической выбирают гамма-линию 1,7645 МэВ  $^{214}\text{Bi}$  с квантовым выходом 15,4 % [4].

### Расчет толщины «насыщенного» слоя

Расчет толщины «насыщенного» слоя угля для аналитических гамма-линий 1,4607, 1,7645 и 2,6145 МэВ производился методом Монте-Карло с использованием программного пакета MCNP-4C. Для расчета использовалась математическая модель усредненного по элементному составу угля [5, 6] с насыпной плотностью сухой угольной массы 0,8 г/см<sup>3</sup>, содержанием влаги 12 % и зольностью 15 % (табл. 1).

Таблица 1. Элементный состав усредненной угольной массы

Сухая угольная масса		Влажная угольная масса (содержание влаги 12 %)	
Элемент (соединение)	Содержание, %	Элемент	Содержание, %
Горючая масса		Углерод	59,84
Углерод	68,0	Водород	4,33
Водород	3,4	Кислород	26,74
Кислород	11,9	Азот	0,75
Азот	0,9	Сера	0,75
Сера	0,9	Железо	2,55
Зольные примеси		Кремний	1,53
FeO + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4	Алюминий	2,93
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10	Магний	0,22
MgO + CaO	1	Кальций	0,37

Угольная масса (излучающий и поглощающий слой одновременно) моделировалась в виде шара, в центре которого находилось пустое пространство в виде цилиндра размером 1,5 × 1,5". Рассчитывались количества гамма-квантов с энергиями 1,4607, 1,7645 и 2,6145 МэВ, попавших в пустое пространство за одинаковое время при одинаковой объемной активности угольной массы, но при разных толщинах поглощающего слоя. На рис. 1 представлены результаты расчета. Можно видеть, что метровый слой угля вокруг детектора с определенной долей уверенности можно считать «насыщенным», поэтому дальнейшие расчеты производились с использованием модели угольной массы в виде шара радиусом 100 см.

### Моделирование аппаратурных гамма-спектров

Для получения реальных аппаратурных гамма-спектров в вышеописанную модель добавлялись наборы наиболее существенных гамма-

квантов (с вероятностями выхода более 1 %) для каждого из рядов и  $^{40}\text{K}$ . Также пустое пространство в центре угольной массы заменялось моделями сцинтилляционных кристаллов NaI и LaBr<sub>3</sub> размером 1,5 × 1,5". Расчет выделенной в кристаллах энергии велся для 512 равномерных энергетических интервалов, имитирующих каналы аналогово-цифрового преобразователя. Полученные физические спектры затем с помощью отдельной программы трансформировались в аппаратурные с учетом гауссовского распределения и известных зависимостей энергетического разрешения кристаллов от энергии гамма-квантов. Расчеты проводились отдельно для каждого из рядов и  $^{40}\text{K}$ . Удельная активность модельного угля: 12 Бк/кг для ряда  $^{232}\text{Th}$ , 30 Бк/кг для ряда  $^{238}\text{U}$  и 100 Бк/кг для  $^{40}\text{K}$ . Время набора спектров составляло 20 мин. Для сцинтиллятора LaBr<sub>3</sub>(Ce) спектр собственного излучения кристалла не учитывался. На рис. 2 и 3 представлены полученные в результате расчетов спектры. Рассчитанные интегральные скорости счета (в

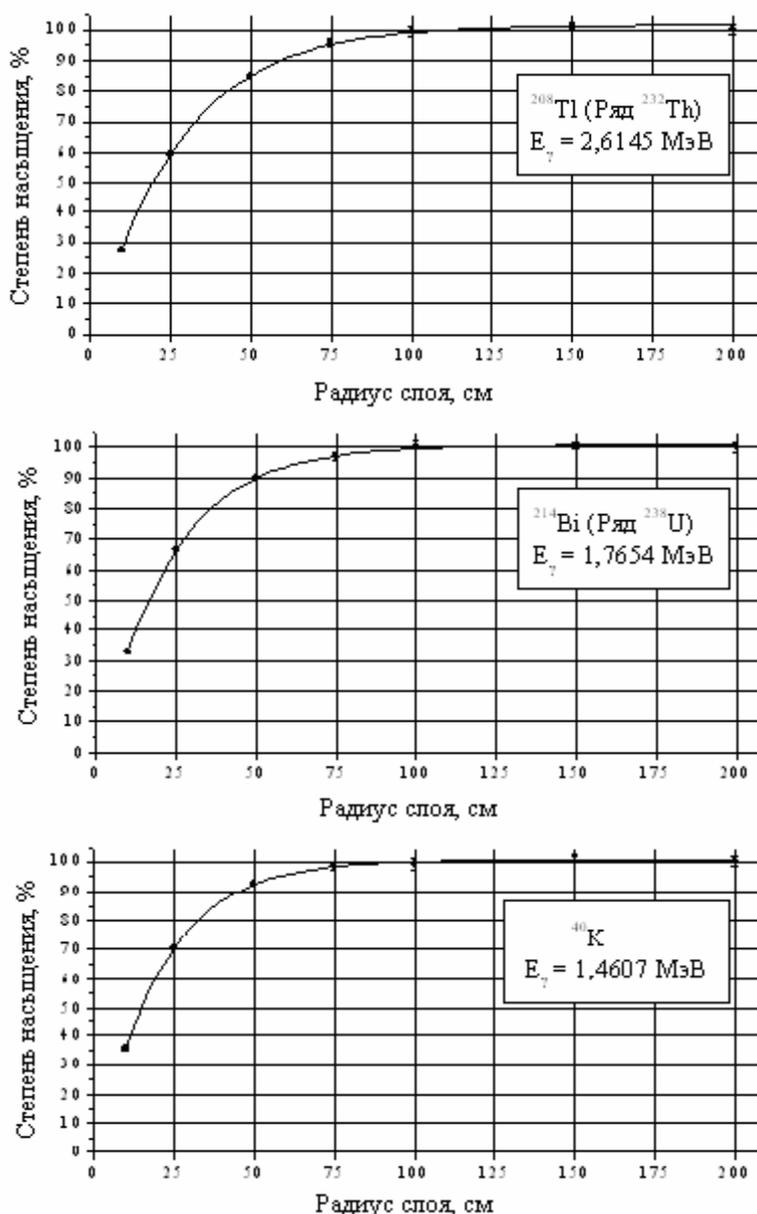


Рис. 1. Зависимость степени «насыщенности» слоя от его толщины.

интервале  $0 \div 3 \text{ МэВ}$ ) оказались практически одинаковыми для обоих кристаллов и в среднем составили:  $42 \text{ имп.}\cdot\text{с}^{-1}$  для ряда  $^{232}\text{Th}$ ,  $87 \text{ имп.}\cdot\text{с}^{-1}$  для ряда  $^{238}\text{U}$  и  $17 \text{ имп.}\cdot\text{с}^{-1}$  для  $^{40}\text{K}$ .

После этого полученные суммарные гамма-спектры для сцинтилляционных кристаллов NaI и  $\text{LaBr}_3$  обрабатывались с помощью стандартной программы обработки гамма-спектров, входящей в программный пакет GENIE-2000 фирмы CANBERRA. В табл. 2 приведены площади гамма-линий, полученные в результате расчетов (истинные) и в результате обработки смоделированных гамма-спектров. Хорошо видны явные преимущества лучшего разрешения по энергии для детектора на основе сцинтиллятора  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  – в полтора-два раза лучшая статистическая точность, четкое разделение всех аналитических линий. К сожалению, эти улучшения сводятся на

нет собственным фоновым излучением кристалла  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ .

На рис. 4 представлена схема распада  $^{138}\text{La}$  [7], а на рис. 5 – спектр собственного излучения кристалла  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  размером  $1,5 \times 1,5$ ", измеренный авторами работы [3] в низкофоновой камере в течение 3 сут.

Как можно видеть, спектр имеет сложную структуру, связанную с регистрацией в кристалле бета-излучения с максимальной энергией  $255 \text{ кэВ}$  (без совпадения и в совпадении с регистрацией гамма-кванта с энергией  $789 \text{ кэВ}$   $^{138}\text{Ce}$ ), гамма-излучения с энергией  $1436 \text{ кэВ}$   $^{138}\text{Ba}$  (в совпадении с рентгеновскими квантами различных серий) и их комптоновских распределений. Высокоэнергетическая часть спектра обусловлена регистрацией альфа-излучения примесного  $^{227}\text{Ac}$  с дочерними радионуклидами. Скорости

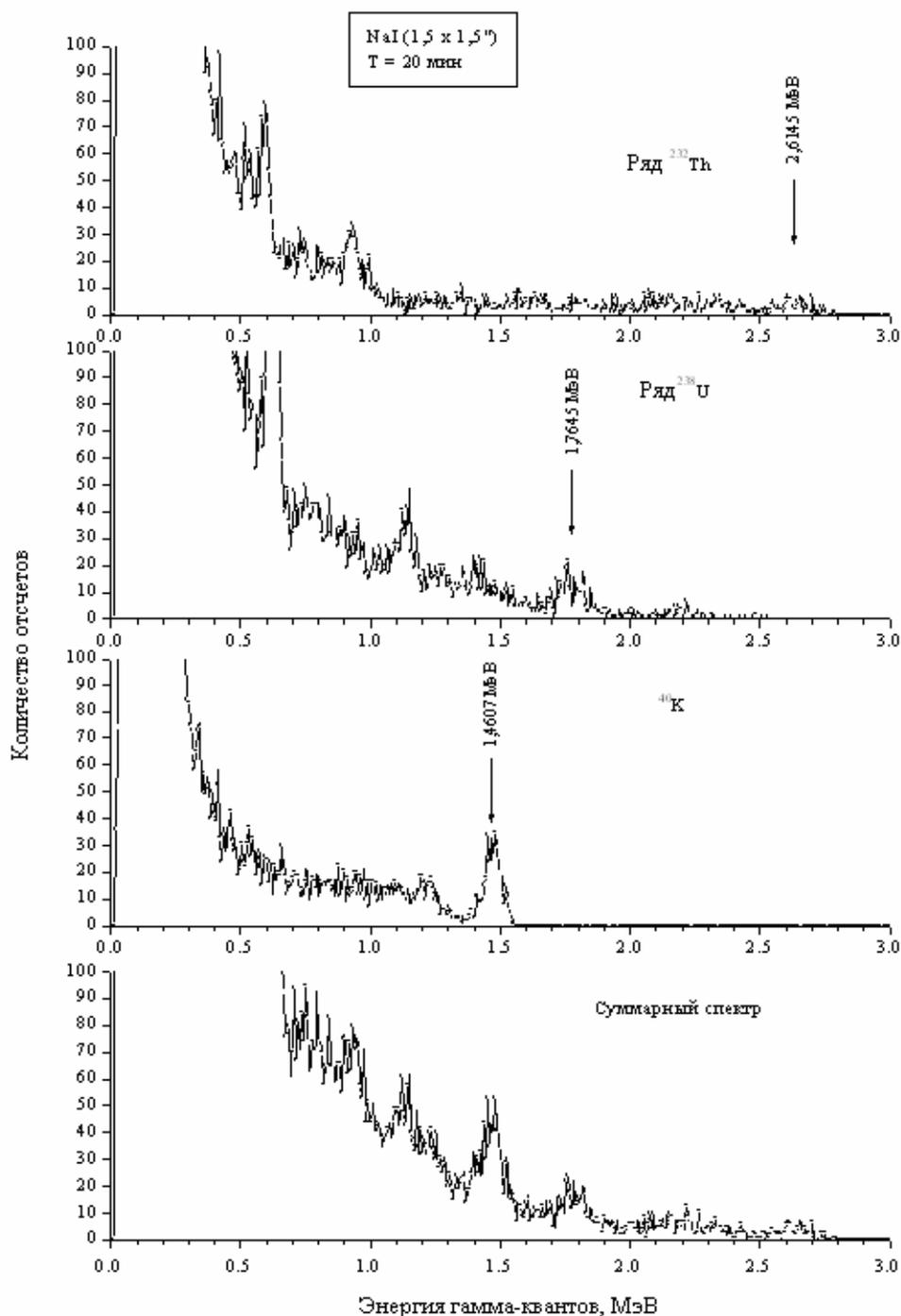


Рис. 2. Парциальные и суммарный гамма-спектры рядов  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  и радионуклида  $^{40}\text{K}$ , смоделированные для сцинтилляционного кристалла NaI с размерами  $1,5 \times 1,5''$  и энергетическим разрешением 7,0 % на линии 662 кэВ  $^{137}\text{Cs}$ .

счета в различных энергетических интервалах, приведенные к объему кристалла, составили:  $0,226 \text{ имп}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{см}^{-3} - 0 \div 255 \text{ кэВ}$  (бета-континуум);  $0,065 \text{ имп}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{см}^{-3} - 790 \text{ кэВ} \div 1000 \text{ кэВ}$  (гамма + бета);  $0,068 \text{ имп}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{см}^{-3} - 1468 \text{ кэВ}$  (гамма-пики);  $0,034 \text{ имп}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{см}^{-3} - \text{свыше } 1600 \text{ кэВ}$  (альфа-излучение).

Если умножить эти значения на объем кристалла  $1,5 \times 1,5''$  ( $43 \text{ см}^3$ ), то получится, что «фоновая» скорость счета в районе гамма-линии

$1,4607 \text{ кэВ } ^{40}\text{K}$  составит  $2,9 \text{ имп}\cdot\text{с}^{-1}$ , а в районе с  $1,600 \text{ кэВ}$  по  $2,700 \text{ кэВ} - 1,5 \text{ имп}\cdot\text{с}^{-1}$ .

Для оценки погрешностей, связанных с различием поглощающих свойств углей в различных физико-химических состояниях, были проведены аналогичные расчеты для двух крайних возможных случаев угольных масс: легкого малозольного (5 %) абсолютно сухого угля с насыпной плотностью  $0,6 \text{ г}/\text{см}^3$  и тяжелого зольного (60 %) угля с насыпной плотностью сухой

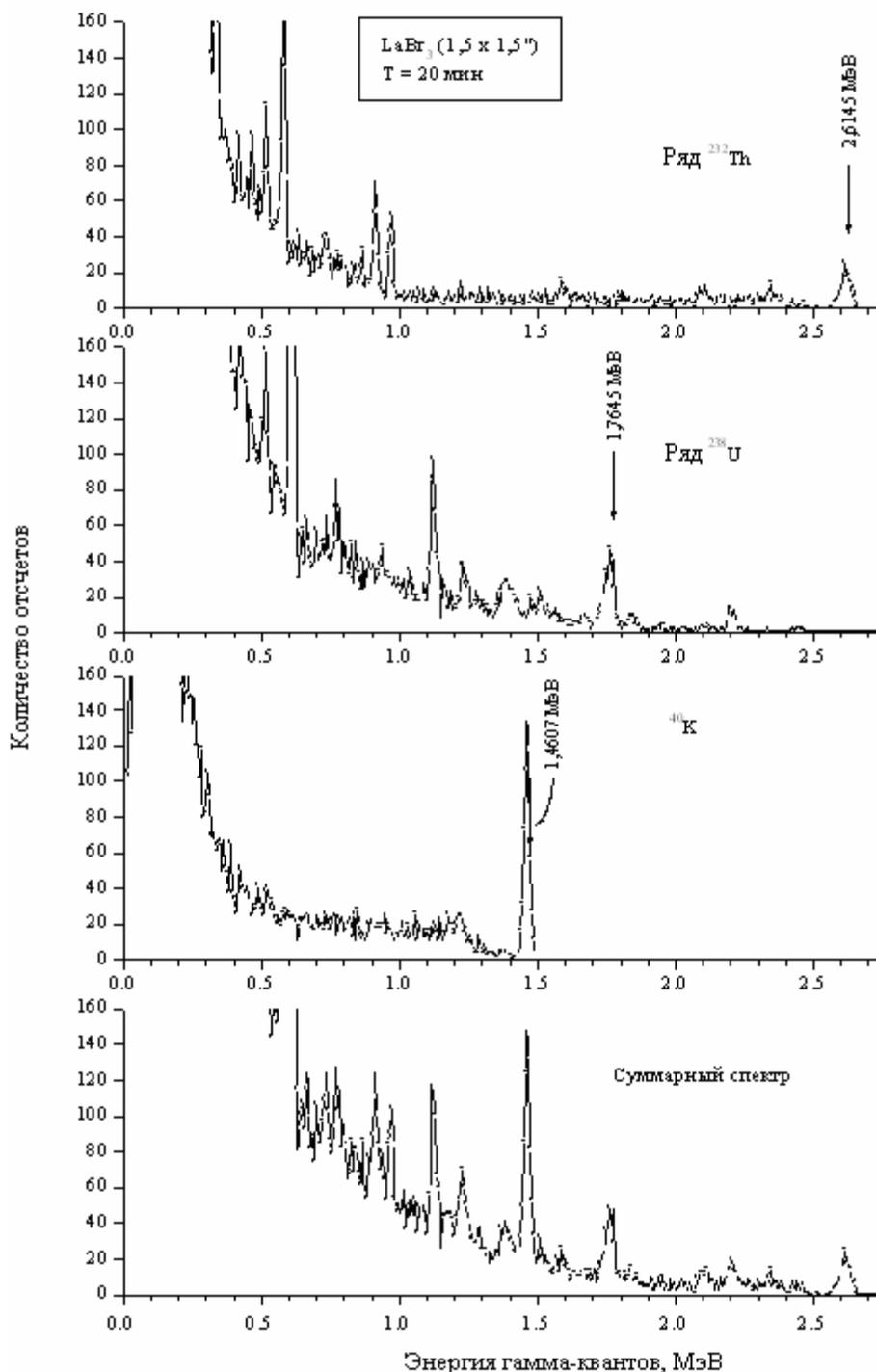


Рис. 3. Парциальные и суммарный гамма-спектры рядов <sup>232</sup>Th, <sup>238</sup>U и радионуклида <sup>40</sup>K, смоделированные для сцинтилляционного кристалла LaBr<sub>3</sub> с размерами 1,5 × 1,5" и энергетическим разрешением 2,6 % на линии 662 кэВ <sup>137</sup>Cs (без учета спектра собственного фонового излучения).

массы 0,85 г/см<sup>3</sup>, пропитанного водой (общая плотность 1,35 г/см<sup>3</sup>). Расчеты показали, что, несмотря на существенные различия в плотности и в элементном составе, различия в интенсивности регистрации гамма-квантов при одинаковых значениях удельных активностей для всех аналитических гамма-линий не превышают 40 % от максимальных величин, т. е. погрешность метода,

связанная с неопределенностью эффективностей регистрации, не превышает 25 %. Это связано с тем, что возрастание активности «насыщенного» слоя с увеличением насыпной плотности компенсируется уменьшением эффективности регистрации гамма-излучения детектором в результате поглощения в самом слое.

Таблица 2. Результаты обработки гамма-спектров

Радио- нуклид	Энергия гамма- линии, МэВ	Кристалл NaI (1,5 × 1,5")				Кристалл LaBr <sub>3</sub> (1,5 × 1,5")			
		Исходные данные		Обработка сгенерированного аппаратурного спектра		Исходные данные		Обработка сгенерированного аппаратурного спектра	
		Площадь (скорость счета, имп·с <sup>-1</sup> )	σ, %	Площадь (скорость счета, имп·с <sup>-1</sup> )	σ, %	Площадь (скорость счета, имп·с <sup>-1</sup> )	σ, %	Площадь (скорость счета, имп·с <sup>-1</sup> )	σ, %
<sup>40</sup> K	1,4607	404 (0,34)	5,0	473 (0,39)	9,1	583 (0,49)	4,1	600 (0,50)	4,8
<sup>214</sup> Bi (ряд <sup>238</sup> U)	1,7645	162 (0,135)	7,9	138 (0,115)	15	237 (0,198)	6,5	239 (0,199)	8,3
<sup>208</sup> Tl (ряд <sup>232</sup> Th)	2,6145	111 (0,093)	9,5	111 (0,093)	12	156 (0,130)	8,0	151 (0,126)	8,4

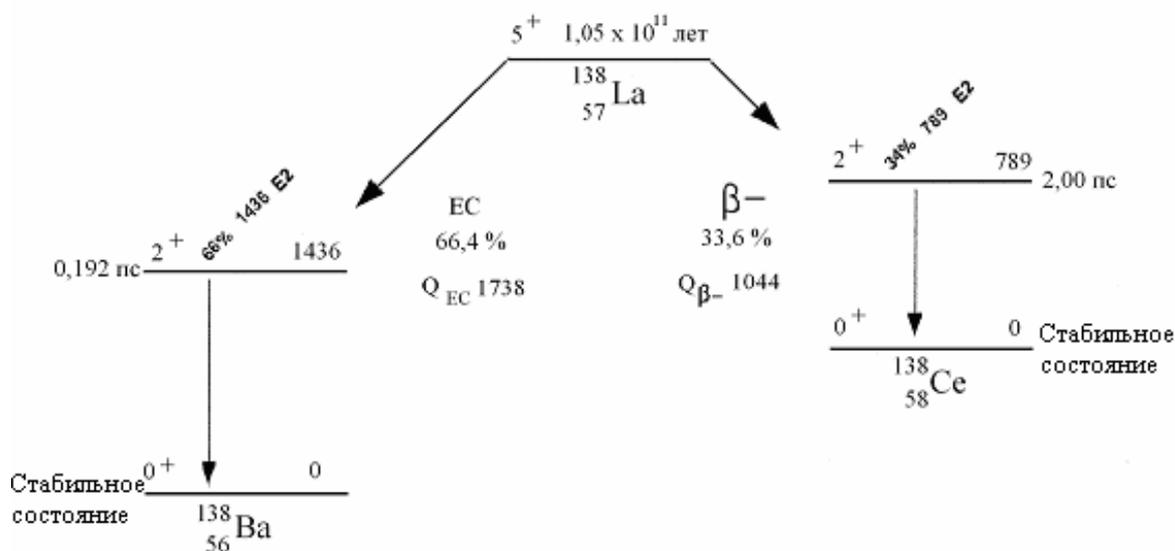


Рис. 4. Схема распада <sup>138</sup>La [7].

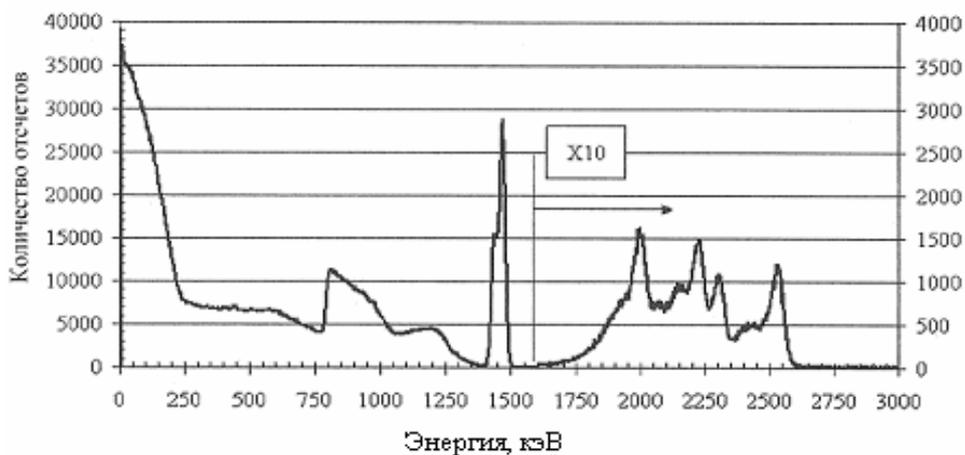


Рис. 5. Спектр собственного излучения кристалла LaBr<sub>3</sub>(Ce) размером 1,5 × 1,5".

**Выводы**

1. При временах набора спектров в пределах 10 - 20 мин статистическая погрешность метода, связанная с обработкой измеренных гамма-спектров, не должна превышать 10 - 15 % (для углей Украины и СНГ).

2. С учетом оценки погрешности эффективности регистрации гамма-излучения для конкретного сцинтилляционного кристалла, общая погрешность метода не должна превышать 30 % в широком диапазоне типов углей и может быть уменьшена за счет дискретизации расчетной или экспериментально полученной эффективности регистрации гамма-излучения для различных по физико-химическим свойствам углей.

3. Размещение детектора гамма-излучения внутри анализируемой угольной массы на глубине 1 м позволяет производить измерения в наиболее выгодных с точки зрения гамма-спектрометрии условиях, поскольку при этом достигаются наибольшие эффективности регист-

рации при исключении мешающего воздействия внешнего фонового излучения.

4. Несмотря на уникальные спектрометрические свойства сцинтилляционного детектора на основе кристалла  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ , его использование в задаче определения естественной радиоактивности в углях представляется малоперспективным ввиду наличия собственной радиоактивности, которая будет давать существенно больший вклад в гамма-спектры в районах аналитических гамма-линий, чем радиоактивность измеряемых углей. Скорее всего, данное заключение относится ко всему спектру задач, связанных с измерением естественной радиоактивности объектов окружающей среды.

Коллектив авторов выражает благодарность академику НАН Украины, д-ру физ.-мат. наук И. Н. Вишневному и канд. физ.-мат. наук В. В. Тришину за ценные советы и обсуждения результатов работы.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Кизильштейн Л.Я.* Методическое пособие по оценке экологически опасных концентраций элементов-примесей в углях на стадии геологоразведочных работ. - Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. гос. ун-та, 2002.
2. *Волостнов А.В.* Уран и торий в углях Центральной Сибири: Дис. ... канд. геол.-минер. наук. - Томск, 2004.
3. *BrilLanCe™* Scintillators Performance Summary // Revision: April, 2008, [www.detectors.saint-gobain.com](http://www.detectors.saint-gobain.com)
4. *Рудык А.Ф., Казимиров А.С.* Методическое пособие по определению активности естественных радионуклидов в объектах окружающей среды. - К., 1992.
5. *Филиппов Е.М.* Ядерная разведка полезных ископаемых: Справочник. - К.: Наук. думка, 1978.
6. *Русчев Д. Д.* Химия твердого топлива. - Л.: Химия, 1976.
7. *Firestone Richard B., Shirley Virginia S.* Table of Isotopes / Ed. John Wiley & Sons. Eighth Edition. - 1996.

**ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРІЇ ВУГІЛЛЯ В ПОЛЬОВИХ УМОВАХ**

**О. А. Безшийко, С. А. Карпенко, І. А. Малюк, О. І. Насвіт,  
В. М. Приймак, Е. Є. Петросян, К. А. Тищенко**

За допомогою методу Монте-Карло згенеровано апаратурні гамма-спектри для моделі усередненої за фізико-хімічними властивостями вугільної маси та розміщених у ній детекторів на основі сцинтиляційних кристалів  $\text{NaI}$  і  $\text{LaBr}_3$ . У результаті обробки гамма-спектрів, які були згенеровані, з використанням стандартних програм визначено можливості спектрометричного методу вимірювання природної активності вугілля в польових умовах.

**RESEARCH OF POSSIBILITY OF GAMMA-SPECTROMETRY OF COALS  
IN FIELD ENVIRONMENT**

**O. A. Bezshyyko, S. A. Karpenko, I. A. Maliuk, O. I. Nasvit,  
V. M. Pryymak, E. E. Petrosian, K. A. Tyschenko**

By the method of Monte Carlo apparatus gamma-spectrums were generated for the model of coal mass averaged on physical and chemical properties and detectors located in it on the base of scintillation crystals of  $\text{NaI}$  and  $\text{LaBr}_3$ . As a result of processing of the generated gamma-spectrums using of the standard programs possibilities of gamma-spectrometry method of measuring of natural radio-activity of coals in field environment were defined.

Поступила в редакцію 30.01.09,  
после доработки – 13.03.09.