

***In situ* сцинтилляционный гамма-спектрометр с принципиально новыми возможностями.**

Некоторые результаты исследования содержания естественных и техногенных радионуклидов в грунте.

В.В. Дровников, М.В. Егоров, Н.Ю. Егоров, В.М. Живун, А.В. Кадушкин, В.В. Коваленко
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» - НИЯУ МИФИ.
Лаборатория «Ядерно-физические технологии радиационного контроля» - НИЛ ЯФТРК.

В.В. Жбанников, А.П. Маматов
Нововоронежская АЭС

Для контактов: Тел.: (903) 210-23-59, (495) 788-56-99 доб. 8463
Адрес электронной почты: egorov@radiation.ru web-адрес: www.radiation.ru

Представлены результаты разработки сцинтилляционного *In situ* гамма-спектрометра с принципиально новыми возможностями определения характеристик экранированных источников гамма-излучения.

Созданные методы обработки данных, в отличие от существующих, обеспечивают возможность определять характеристики экранированных источников непосредственно по измеренному за экраном спектру гамма-излучения. При этом никакая априорная информация о характеристиках экранирующего слоя, отбор проб этого слоя или вспомогательные измерения, в т.ч. предварительные измерение спектра без поглощающего слоя, не требуются.

В основе методов обработки лежит разработанный в НИЛ ЯФТРК гамма-спектрометрический метод определения кратности ослабления гамма-излучения в расположенном между источником и детектором слое материала непосредственно по спектру гамма-излучения источника, измеренному за этим слоем – «Метод G-фактора» [1].

Применительно к *In situ* определению характеристик радиоактивного загрязнения местности созданные методы позволяют определять активности техногенных радионуклидов в грунте без использования предварительно созданных шаблонов, описывающих заглубливание радионуклидов в грунт, и априорной информации о характеристиках грунтов, а также без отбора и последующего лабораторного радионуклидного анализа проб грунта.

Приводятся результаты экспериментальных исследований, выполненных с помощью спектрометра в Московской области, в Калужской области на местности с чернобыльским загрязнением и на полях фильтрации Нововоронежской АЭС.

В *In situ* исследованиях загрязнения местности характеристики спектрометра позволяют:

- определять активности радионуклида ^{137}Cs на уровне ~ 5 Бк/кг с погрешностью не более 30% в присутствии радионуклидов ^{40}K ~ 300 Бк/кг, ^{232}Th ~ 20 Бк/кг, ^{226}Ra ~ 20 Бк/кг за ~ 60 минут;
- определять активности радионуклида ^{137}Cs на уровне ~ 300 Бк/кг и более с погрешностью не более 15% в присутствии радионуклидов ^{40}K ~ 300 Бк/кг, ^{232}Th ~ 20 Бк/кг, ^{226}Ra ~ 20 Бк/кг за ~ 5 минут;
- определять активности естественных радионуклидов на уровне ^{40}K ~ 200 Бк/кг, ^{232}Th ~ 10 Бк/кг, ^{226}Ra ~ 10 Бк/кг с погрешностью не более 30% за ~ 15 минут.

Представляется перспективным использование разработанного *In situ* гамма-спектрометра при решении следующих задач:

- проведение комплексного инженерно-радиационного обследования объектов;
- определение характеристик радиоактивного загрязнения местности;
- контроль реабилитации загрязненной территории;
- обращение с РАО различного происхождения;
- контроль состояния приповерхностных могильников РАО и т.д.

Разработанные методы и программы анализа экспериментальных данных «SAS Na In Situ» и «SAS HPGe In Situ» могут быть также использованы в уже существующих сцинтилляционных и HPGe *In situ* гамма-спектрометрах.

***In situ* gamma spectroscopy with basically new abilities.
Some results of *In situ* determination of artificial and natural radionuclides concentrations in soils.**

V.V. Drovnikov, M.V. Egorov, N.Y. Egorov, V.M. Zhivun, A.V. Kadushkin, V.V. Kovalenko
National Research Nuclear University «Moscow Engineering Physics Institute».
Nuclear Radiation Monitoring Laboratory.

A.P. Mamatov, V.V. Zhbannikov
Novovoronezhskaya NPP.

For contacts:

Phone: +7 (903) 210-23-59, +7 (495) 788-56-99 ext. 8463

E-mail: egorov@radiation.ru

Web-address: www.radiation.ru

Abstract. The results of development of basically new method for *in situ* gamma spectroscopy data processing are presented. The method developed is based on "G-factor method" for shield attenuation factor value determination [1].

In "G-factor method" no priori information about the shield or shield material sampling is used. The gamma spectrum of the unshielded source is not used too. The shield attenuation factor value is excerpted from shielded gamma source spectrum directly and the only one peak in the spectrum is enough to calculate the shield attenuation value.

The novelty of the *in situ* gamma spectroscopy data processing method developed is that ***no priori assumptions about the distribution of nuclides in the soil and no soil sampling are needed.*** Only *in situ* spectra measured over the territory of interest are used.

The results of *In situ* determination of artificial and natural radionuclides concentrations in different soils, including the soils with Chernobyl contamination, are presented.

Being applied to *in situ* gamma spectroscopy data obtained with Ø 3" x 3" Na(Tl) detector based spectrometer the method developed makes it possible:

- to determine ^{137}Cs ~ 5 Bq/kg specific activity mixed with ^{40}K ~ 300 Bq/kg, ^{232}Th ~ 20 Bq/kg and ^{226}Ra ~ 20 Bq/kg specific activities during ~ 60 minutes with 30% error;
- to determine ^{137}Cs ~ 300 Bq/kg specific activity mixed with ^{40}K ~ 300 Bq/kg, ^{232}Th ~ 20 Bq/kg and ^{226}Ra ~ 20 Bq/kg specific activities during ~ 5 minutes with 15% error;
- to determine ^{40}K ~ 200 Bq/kg, ^{232}Th ~ 10 Bq/kg, ^{226}Ra ~ 10 Bq/kg specific activities during ~ 15 minutes with 30% error.

Технологии *In situ* гамма-спектрометрии могут весьма эффективно использоваться при определении характеристик радиоактивного загрязнения местности для оценки степени ее опасности, планирования реабилитационных мероприятий и контроля их проведения, определения объема и характеристик образующихся при реабилитации РАО [2,3,4]. В *In situ* гамма-спектрометрических измерениях для получения количественных оценок загрязнения – удельные активности, запас активности, карта загрязнения и т.д. – необходимо введение поправок на поглощение гамма-излучения заглубленных в грунт радионуклидов. Эти поправки особо значимы для старых загрязнений, характеризуемых достаточно сильным, в смысле поглощения гамма-излучения, заглублением радионуклидов в грунт. Некорректный учет поглощения может приводить к занижению истинной величины активности радионуклидов в десятки раз.

Существующие и предназначенные для решения таких задач *In situ* гамма-спектрометры, в частности, **ISOCS-CANBERRA** и **ISOCART-ORTEC**, позволяют определять характеристики загрязнения местности **только с использованием предварительно созданных шаблонов, описывающих профили заглубления радионуклидов и дающих возможность сделать поправки на поглощение гамма-излучения в грунте.**

Шаблоны «изготавливаются» по результатам лабораторного гамма-спектрометрического радионуклидного анализа достаточно большого числа проб загрязненного грунта (нескольких десятков и более – в зависимости от размера и характеристик участка местности), отобранных на обследуемой территории. Количество и вид отбираемых проб должны корректно описывать распределение радионуклидов по площади и глубине, т.е. необходимо обеспечивать: представительность, отсутствие артефактов, количественную достаточность и т.д. При этом необходимо доставить пробы в лабораторию, провести их соответствующую подготовку и утилизировать после измерений. Описанные действия занимают достаточно много времени, дорогостоящи, требуют наличия квалифицированного персонала и соответствующего оборудования, и т.д.

При описанном выше способе решения задачи вполне логичным представляется вопрос: «В чем же, в таком случае, состоит целесообразность самих спектрометрических *In situ* измерений на местности при наличии отбора проб?»

Действительно, пробы должны быть обязательно отобраны и измерены в лаборатории для построения шаблонов-профилей! Эти пробы в той или иной степени описывают загрязнение территории, т.е. сами спектрометрические измерения на местности уже выглядят сомнительной ценности добавкой к отбору проб, приводящей к дополнительным временным и материальным затратам. Кроме того, традиционные методики определения характеристик загрязнения местности посредством отбора проб с последующим их лабораторным радионуклидным анализом соответствующим образом утверждены и аттестованы.

Для российских специалистов к перечисленным выше негативным моментам следует добавить достаточно высокую стоимость портативных HPGe спектрометров, в особенности при их нерегулярном использовании. Заметим, что сколь-нибудь внятной информации о корректных результатах, полученных с помощью сцинтилляционных *In situ* гамма-спектрометров, найти не удалось.

Таким образом, использование *In situ* спектрометрического метода для контроля загрязненных территорий было бы во всех смыслах оправдано, целесообразно и существенно более востребованным, если бы он позволял определять характеристики загрязнения **без отбора проб**. Из сказанного выше следует, что для этого необходим метод вычисления поправок на поглощение

гамма-излучения в грунте непосредственно из *In situ* спектров, измеренных на обследуемой территории.

В связи со сказанным выше НИЛ ЯФТРК была разработана новая технология *In situ* гамма-спектрометрического определения характеристик радиоактивного загрязнения местности. От существующих она отличается тем, что позволяет на практике определять значения параметров загрязнения непосредственно из измеряемых спектров без использования какой-либо априорной информации об исследуемой местности и загрязнении, а также без отбора проб и построения шаблонов. Технология особенно эффективна для местности с достаточно сильным заглублением радионуклидов в грунт, приводящим к существенному поглощению гамма-излучения и делающим обязательным учет поглощения при вычислении значений активности.

В основе технологии лежит разработанный НИЛ ЯФТРК метод определения кратности ослабления гамма-излучения непосредственно по спектру экранированного источника - метод G-фактора [1]. При этом никакая априорная информация о веществе и геометрии поглощающего слоя не требуется. Метод G-фактора позволяет вычислять кратность ослабления непосредственно из спектра гамма-излучения экранированного источника при наличии в этом спектре хотя бы одного пика полного поглощения. Уточним, что для определения кратности ослабления не требуется также проводить предварительные измерения спектра источника без экранирующего слоя.

Для практической отработки технологии были разработаны *In situ* сцинтилляционные спектрометры с детекторами NaI(Tl) и CsI(Na). Спектрометры оформлены в виде моноблоков, содержащих сцинтилляционный детектор, цифровой процессор, одноплатный компьютер PC-104, системы навигации, термостабилизации, аккумуляторного питания и беспроводной интерфейс связи с внешним управляющим компьютером или смартфоном. Приборы могут функционировать как под управлением внешнего компьютера или смартфона, так и в полностью автономном режиме под управлением компьютера PC-104. Спектрометрическая информация накапливается в виде синхронизованного с остальными данными списка «амплитуда-время», что позволяет формировать спектры оптимальным образом и всесторонне автоматизировать и упростить работу с прибором в полевых условиях. Полноценная обработка экспериментальных данных может проводиться с помощью программно-методического обеспечения «Sas Na In Situ» [4] как непосредственно в процессе измерений, так и в лабораторных условиях. Для формирования отчетных материалов применяется сервис Google Maps/Earth.

На рисунках 1 и 2 представлены внешний вид и «начинка» этих спектрометров, а на рисунке 3 – размещение NaI(Tl) спектрометра на местности при практических измерениях.

В Таблице 1 представлены основные функциональные характеристики *In situ* спектрометров.

Таблица 1. Основные функциональные характеристики *In situ* гамма-спектрометров.

Характеристика спектрометра	Значение
Тип сцинтилляционного детектора	NaI(Tl) / CsI(Na)
Размер сцинтилляционного детектора	Ø 3"x3" / Ø 2"x2"
Энергетическое разрешение спектрометра	6.9% / 5.8%
Тип спектрометра	Цифровой процессор
Масса спектрометра	не более 10 кг

Время автономной работы	не менее 8 часов
Потребляемая мощность	не более 12 Вт
Предельная дальность передачи данных	не менее 70 м
Габаритные размеры	не более 0.4x0.3x0.2 м
Точность определения координат на местности	не хуже 10 м
Температурный диапазон эксплуатации прибора	от -20 °С до +40 °С

К аппаратурно-программным и методическим решениям, реализованным для эффективности и удобства работы на загрязненной местности, следует отнести:

- аккумуляторное питание спектрометров и беспроводной интерфейс управления и передачи данных Wi-Fi обеспечивают возможность работы без соответствующих кабелей, что во всех смыслах существенно упрощает работу на загрязненной местности, устраняет необходимость контроля состояния кабелей и их дезактивации, и т.д.;
- совместное применение не старт-стопного режима накопления спектрометрической информации, встроенного приемника GPS, сервиса Google Maps/Earth, работы без внешнего управляющего компьютера, а также отмеченное выше отсутствие кабелей, позволяют обходиться без ведения журнала измерений и комфортно проводить измерения силами одного человека;
- возможность полноценной обработки данных в процессе измерений позволяет строить карту загрязнения по мере накопления результатов непосредственно в процессе же измерений, оптимизировать, уточнять схему измерений и т.д., что существенно повышает эффективность исследований в целом;
- устройство обогрева детектора обеспечивает возможность работы при отрицательных температурах окружающей среды.

Технология отработывалась в рамках исследования содержания в грунте естественных и техногенных радионуклидов. Корректность *In situ* результатов определялась путем их сравнения с «паспортными» результатами HPGe низкофонового радионуклидного анализа образцов грунта, отобранных соответствующим образом в местах *In situ* измерений.

Измерения проводились в Московской области, в Калужской области в зоне чернобыльского загрязнения и на полях фильтрации НВ АЭС. На рисунке 1 показано размещение точек *In situ* измерений и отбора проб грунта в Калужской области. В лесу спектрометр размещался в точке 1, а отбор проб проводился в точках 1-5; на поле спектрометр размещался в точке 6, а отбор проб проводился в точках 6-10. Пробы отбирались на глубину 30 см, полученные «столбы» делились на слои толщиной 5 см, каждый из которых измерялся на HPGe низкофоном гамма-спектрометре. Определенные таким образом значения удельных активностей использовались для получения «паспортных» значений характеристик загрязнения: профилей заглупления радионуклидов, удельных активностей и запаса активностей. Уточним, что **для определения характеристик загрязнения по результатам *In situ* измерений эта информация не использовалась.**

Аналогично проводились измерения и отбор проб в Московской области. На полях фильтрации Нововоронежской АЭС было отобрано пять обобщающих проб на глубину ~ 20 см.

Полученные в ходе исследований значения G-фактора для неэкранированного источника ^{137}Cs , для различных типов заглупления радионуклида ^{137}Cs в грунте и

для источника ^{137}Cs , находящегося за слоем щебня толщиной 30 см представлены в таблице 2. Значимые различия величин G-фактора для различных типов источников обеспечивает возможность идентификации типа источника, а вычисленные из измеренных в разных условиях спектров значения G-фактора – возможность вычисления соответствующих этим условиям кратностей ослабления. Два значения G-фактора в графе «Нововоронежская АЭС. Поля фильтрации» соответствуют двум измерениям: до регламентной перепашки аккумулирующего слоя и после нее. Из увеличения значения G-фактора следует, что в результате перепашки произошло перераспределение активности, а именно ее заглубление. В таблице 3 представлены значения G-фактора для радионуклидов ^{137}Cs и ^{60}Co , определенные для полей фильтрации Нововоронежской АЭС. Хорошо видно, что изменения значений G-фактора в зависимости от типа источника (до регламентной перепашки и после) и энергии гамма-излучения соответствуют физическому смыслу G-фактора, а именно – кратность ослабления гамма-излучения.

Таблица 2. К определению типа источника методом G-фактора.

Условия измерений	Значение G-фактора для ^{137}Cs
Источник ^{137}Cs без поглотителя	4.2 ± 0.1
Калужская область. Чернобыльское загрязнение. Лес.	9.7 ± 0.1
Калужская область. Чернобыльское загрязнение. Поле.	14.0 ± 0.1
Нововоронежская АЭС. Поля фильтрации до и после перепашки.	$12.2 \pm 0.2 / 18.4 \pm 0.2$
Источник ^{137}Cs под слоем щебня толщиной 30 см.	42.9 ± 0.9

Таблица 3. Определение G-фактора для радионуклидов ^{137}Cs и ^{60}Co для полей фильтрации Нововоронежской АЭС.

Тип детектора Дата измерения	G-фактор для ^{60}Co		G-фактор для ^{137}Cs	
	Без поглотителя	На полях фильтрации	Без поглотителя	На полях фильтрации
NaI Ø 3"×3" 31.03.2009 г. до перепашки	2.0 ± 0.1	7.9 ± 1.0	4.2 ± 0.1	12.2 ± 0.2
CsI Ø 2"×2" 29.09.2009 г. после перепашки		9.7 ± 0.5		18.4 ± 0.2

В таблицах 4 и 5 сравниваются результаты определения удельной активности и запаса активности содержащихся в грунте естественных и техногенных радионуклидов, полученные в Московской и Калужской областях *In situ* методом и методом лабораторного HPGe низкофонового радионуклидного анализа проб. Результаты *In situ* определения удельных активностей и запаса

активности хорошо согласуются с результатами, полученными методом отбора проб.

Таблица 4. Сравнение результатов определения удельной активности содержащихся в грунте естественных и техногенных радионуклидов.

Место проведения измерений	Метод определения активности	Удельная активность, Бк/кг			
		^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs
г. Новогорск, Московская область.	HPGe анализ проб	19.0±0.8	28.8±0.6	395 ± 7	3.9±0.1
	<i>In situ</i> NaI	17.9±1.1	24.7±0.8	441±7	3.2±0.3
Калужская область. Лес.	HPGe анализ проб	8.4±0.4	8.8±0.3	186 ± 6	=
	<i>In situ</i> NaI	8.2±0.9	7.4±0.6	175 ± 6	=
Калужская область. Поле.	HPGe анализ проб	8.5 ± 0.2	8.1 ± 0.4	192 ± 3	404±11
	<i>In situ</i> NaI	8.8 ± 1.2	7.1±0.6	217 ± 5	451±32

Таблица 5. Сравнение результатов определения запаса активности содержащихся в грунте естественных и техногенных радионуклидов.

Номер точки	Запас активности радионуклида ^{137}Cs		
	HPGe анализ проб		<i>In situ</i> NaI
	Кюри/км ²	Бк/м ² × 10 ⁴	Бк/м ² × 10 ⁴
1	9.8±0.3	36.1±1.1	16.5±0.5
2	3.8±0.1	14.2±0.5	
3	4.6±0.1	17.1±0.5	
4	3.7±0.1	13.7±0.5	
5	4.3±0.1	15.9±0.5	
Среднее / разброс	5.2 / 2.3	19 / 8	

Представленная в таблице 3 и на рисунке 5 информация, кроме того, весьма убедительно демонстрирует проблемы, возникающие при определении характеристик загрязнения местности по результатам отбора проб грунта и построении шаблонов.

Значения запаса активности в точках 1-5, полученные по результатам измерения проб, имеют значительный разброс (до ~ 3 раз), что приведет к неприемлемо большой погрешности в определении величины запаса радионуклида ^{137}Cs на исследуемой площадке, т.е. пяти отобранных проб явно недостаточно для корректного описания загрязнения этой площадки. Самым неприятным в этой ситуации является то, что понимание необходимости отбора дополнительных проб возникает только после лабораторного анализа проб. При *In situ* же измерениях происходит автоматическое усреднение по измеряемой площади и определение запаса оказывается более точным.

Проведенные оценки показали, что в реальных условиях измерений *In situ* гамма-спектрометр с детектором NaI(Tl) Ø3" x 3" обеспечивает возможность:

- определять активность радионуклида ^{137}Cs на уровне 5 Бк/кг с погрешностью не более 30% в присутствии радионуклидов ^{40}K ~ 300 Бк/кг, ^{232}Th ~ 20 Бк/кг, ^{226}Ra ~ 20 Бк/кг за ~ 60 минут;

- определять активность радионуклида ^{137}Cs на уровне 400 Бк/кг и более с погрешностью не более 15% в присутствии радионуклидов $^{40}\text{K} \sim 300$ Бк/кг, $^{232}\text{Th} \sim 20$ Бк/кг, $^{226}\text{Ra} \sim 20$ Бк/кг за ~ 5 минут;
- определять активность естественных радионуклидов на уровне $^{40}\text{K} \sim 200$ Бк/кг, $^{232}\text{Th} \sim 10$ Бк/кг, $^{226}\text{Ra} \sim 10$ Бк/кг с погрешностью не более 30% за ~ 15 минут.

На полях фильтрации НВ АЭС обрабатывались элементы *In situ* технологии определения бюджета активности находящихся в аккумулярующем слое радионуклидов, а также поиска и исследования характеристик локальных участков с активностью, превышающей допустимые уровни.

На рисунке 6 показана схема измерений, а на рисунках 7 - 9 – пространственное распределение полной скорости счета, G-фактора для радионуклида ^{137}Cs , удельной активности и запаса радионуклидов ^{137}Cs и ^{60}Co на обследованном участке карты полей фильтрации. В таблице 6 сравниваются результаты определения удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{60}Co *In situ* методом и методом лабораторного HPGe радионуклидного анализа проб. Результаты *In situ* определения удельных активностей хорошо согласуются с результатами, полученными методом отбора проб.

Участки поля фильтрации со значением G-фактора ~ 20 (рисунок 7 и таблица 2) идентифицируются на основании значений G-фактора как слой грунта с равномерно распределенной по нему активностью. В смысле контроля активности локальных максимумов и определения бюджета активности на всем поле эти участки корректно описываются величинами удельных активностей радионуклидов ^{137}Cs и ^{60}Co , определяемыми непосредственно из *In situ* спектров.

Участки поля со значением G-фактора ~ 25 и более (два максимума на рисунке 7), также по значению G-фактора, идентифицируются как источник, находящийся под слоем грунта, активность которого пренебрежимо мала по сравнению с активностью расположенного под ним источника. Описывать эти участки с помощью величины удельной активности без учета ее изменения по глубине, как это было сделано для участков со значением G-фактора ~ 20 , уже не корректно, т.к. активность в этом случае будет «размазана» по дополнительному чистому грунту, т.е. ее значения будут занижены (рисунок 8). Это, в свою очередь, приведет к занижению оценок бюджета активности и необнаружению локальных максимумов. Действительно, скорости счета в этих зонах поля падают (рис. 7), т.е. при дозиметрическом контроле они будут признаны чистыми и заглубленная под ними активность обнаружена не будет. Использование вычисляемого с помощью метода G-фактора параметра «запас активности», т.е. активности, приходящейся на единицу площади, позволяет учесть поглощение гамма-излучения источника, находящегося под слоем чистого грунта. На рисунках 8 и 9 хорошо видна «коррекция» профилей запаса активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{60}Co относительно профилей их удельных активностей.

Оценки показывают, что использование разработанных спектрометров позволяет силами одного человека за один рабочий день получить информацию о характеристиках одной карты полей фильтрации НВ АЭС.

Удельная активность и запас активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{60}Co в этих экспериментах определялись с помощью программно-методического обеспечения «SAS Na In Situ».

Таблица 6. Сравнение результатов определения удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{60}Co на полях фильтрации Нововоронежской АЭС.

Номер точки измерений	Метод определения удельной активности	Удельная активность, Бк/кг	
		^{60}Co	^{137}Cs
2	HPGe анализ проб	41.7 ± 1.3	1060 ± 20
	<i>In situ</i> Csl	46 ± 21	985 ± 68
3	HPGe анализ проб	58.9 ± 2.0	1230 ± 30
	<i>In situ</i> Csl	60 ± 24	1300 ± 90
4	HPGe анализ проб	43.3 ± 3.9	722 ± 17
	<i>In situ</i> Csl	39 ± 14	674 ± 46
7	HPGe анализ проб	69.7 ± 3.4	920 ± 20
	<i>In situ</i> Csl	52 ± 13	866 ± 54

Представленные выше результаты позволяют считать, что авторам разработки удалось принципиально улучшить *In situ* спектрометрический метод исследования загрязненных территорий, полностью исключив необходимость использования априорной информации о загрязнении и вспомогательный отбор проб грунта.



Рисунок 1. Внешний вид *In situ* сцинтилляционных NaI(Tl) и CsI(Na) гамма-спектрометров.

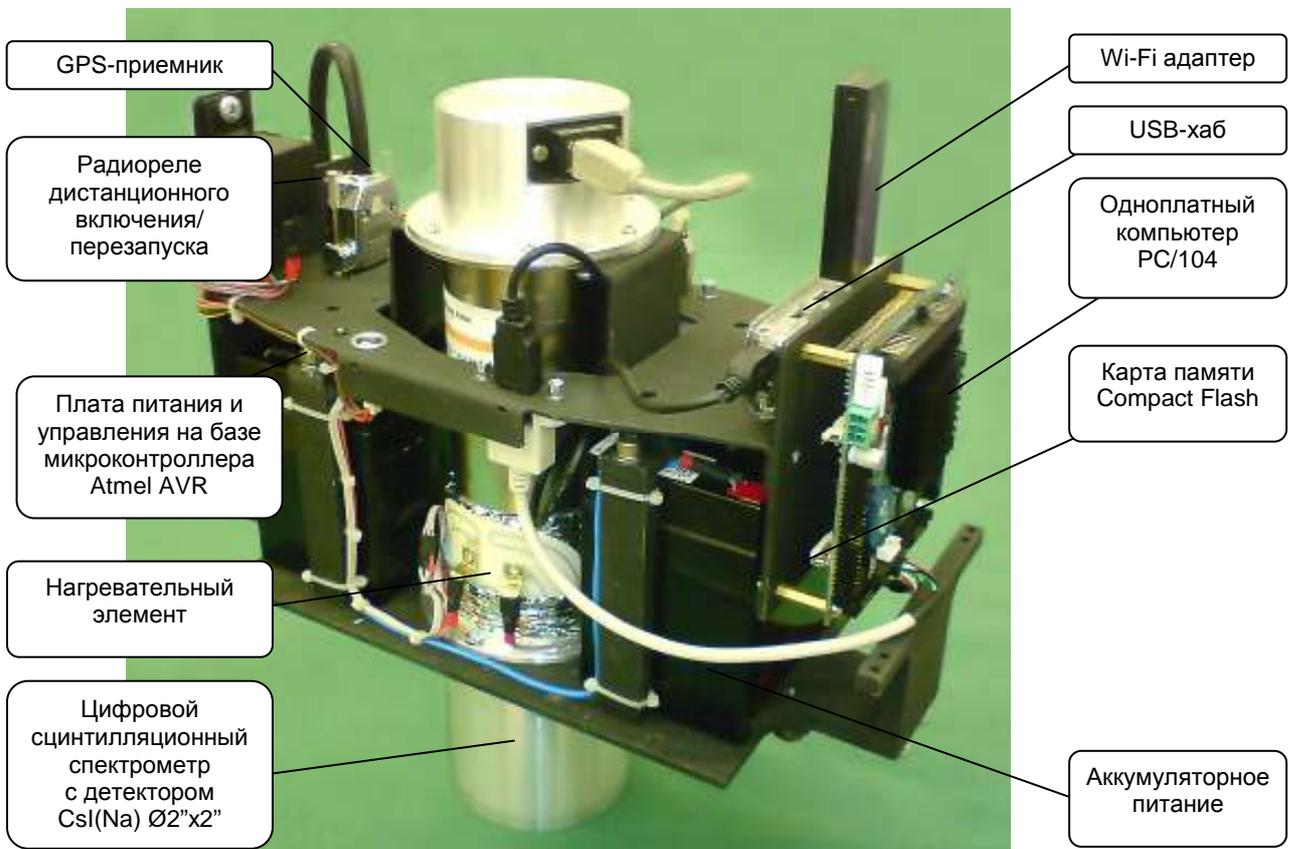


Рисунок 2. «Начинка» *In situ* сцинтилляционного гамма-спектрометра.



Рисунок 3. Размещение *In situ* сцинтилляционного гамма-спектрометра на местности при проведении измерений. Берег Москвы-реки.

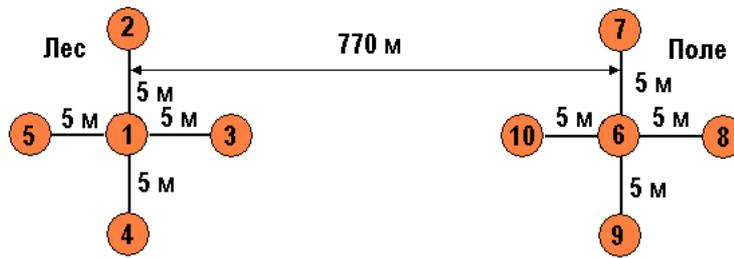


Рисунок 4. Схема измерений и отбора проб в районе станции Судимир Калужской области

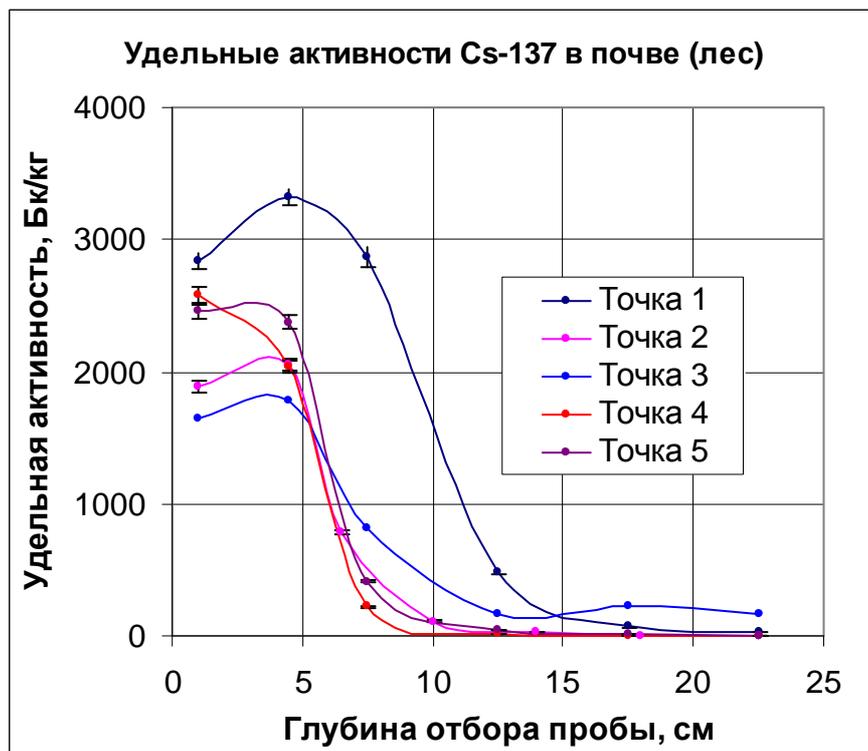


Рисунок 5. Распределение по глубине удельной активности радионуклида ^{137}Cs в грунте. Лес в районе станции Судимир Калужской области.

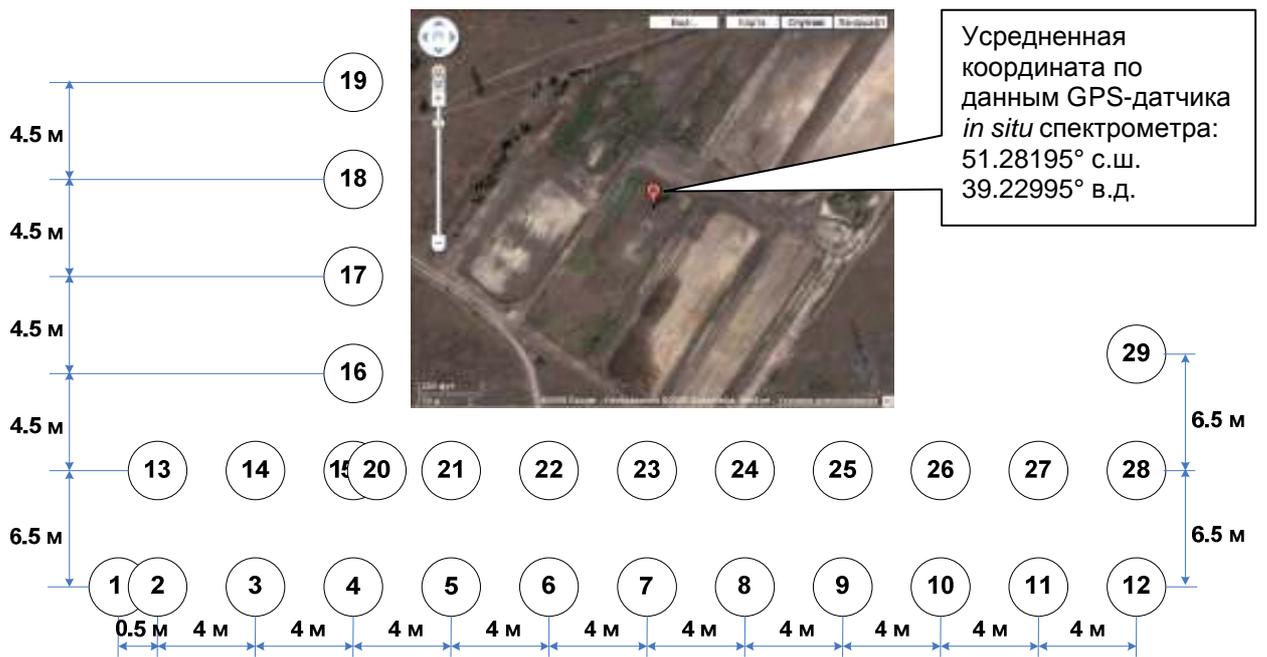


Рисунок 6. Схема измерений и отбора проб на полях фильтрации Новovoroneжской АЭС.

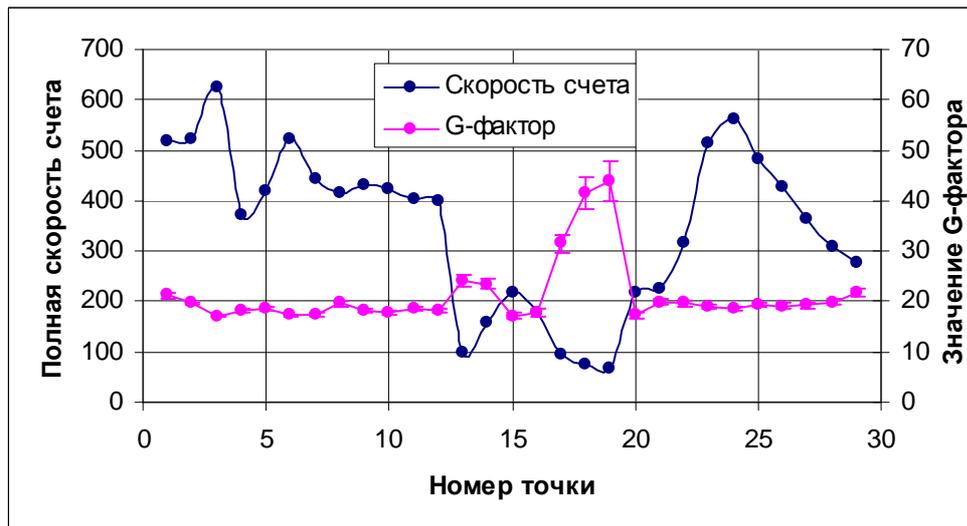


Рисунок 7. Пространственное распределение полной скорости счета и G-фактора для радионуклида ^{137}Cs на полях фильтрации Новovoroneжской АЭС.

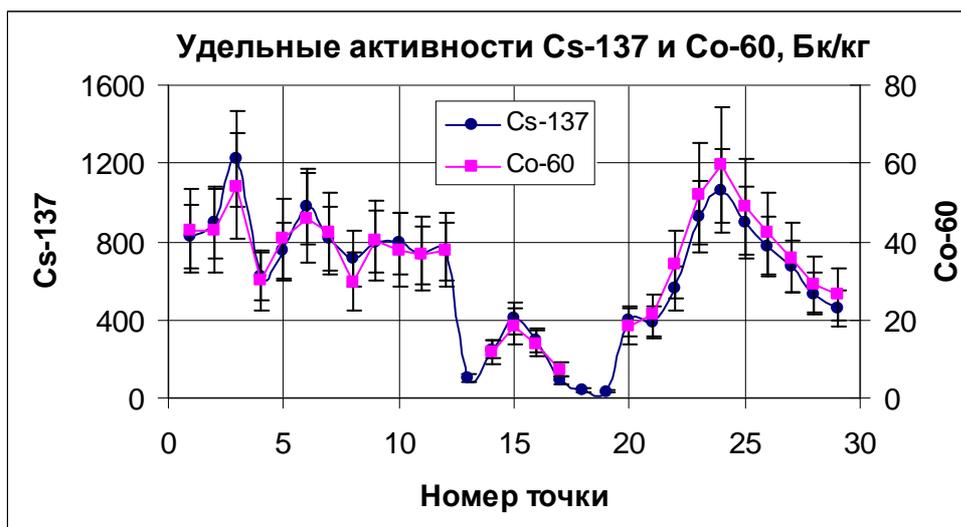


Рисунок 8. Пространственное распределение удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{60}Co на полях фильтрации Нововоронежской АЭС.

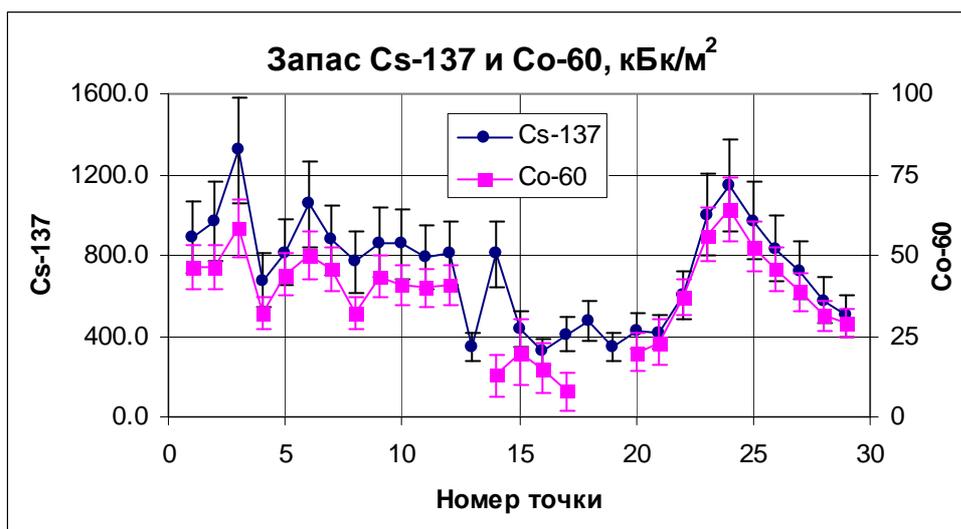


Рисунок 9. Пространственное распределение запаса активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{60}Co на полях фильтрации Нововоронежской АЭС.

Ссылки.

1. В.В. Дровников, М.В. Егоров и др. Новый метод определения активности источников гамма-излучения, находящихся за слоем поглотителя с априорно неизвестными свойствами - Метод G-фактора. АНРИ, № 3 (62), стр. 9 – 15, 2010 г.

2. Cristina Nuccetelli. *In situ* gamma spectroscopy in environmental research and monitoring. Applied Radiation and Isotopes Volume 66, Issue 11, November 2008, Pages 1615-1618.

Environmental Radioactivity: From Measurements and Assessments to Regulation.

3. Lenka Trnková, Tomáš Trojeka and Lenka Thinová. Gamma spectrometric measurements of depth-related radionuclide distribution in walls. Applied Radiation and Isotopes Volume 68, Issues 4-5, April-May 2010, Pages 832-835. The 7th International Topical Meeting on Industrial Radiation and Radio isotope Measurement Application (IRRMA-7).
4. A. Baeza and J.A. Corbacho. *In situ* determination of low-level concentrations of ¹³⁷Cs in soils. Applied Radiation and Isotopes Volume 68, Issues 4-5, April-May 2010, Pages 812-815. The 7th International Topical Meeting on Industrial Radiation and Radio isotope Measurement Application (IRRMA-7).