

**ГАММА-СПЕКТРОМЕТР МКС-АТ6101ДР ДЛЯ  
РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ПОЧВ МЕТОДОМ "IN SITU"  
КАК РЕЗУЛЬТАТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БЕЛАРУСИ И ЯПОНИИ  
В ПРЕОДОЛЕНИИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА АЭС  
«ФУКУСИМА»**

*Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ», Минск, Беларусь;*

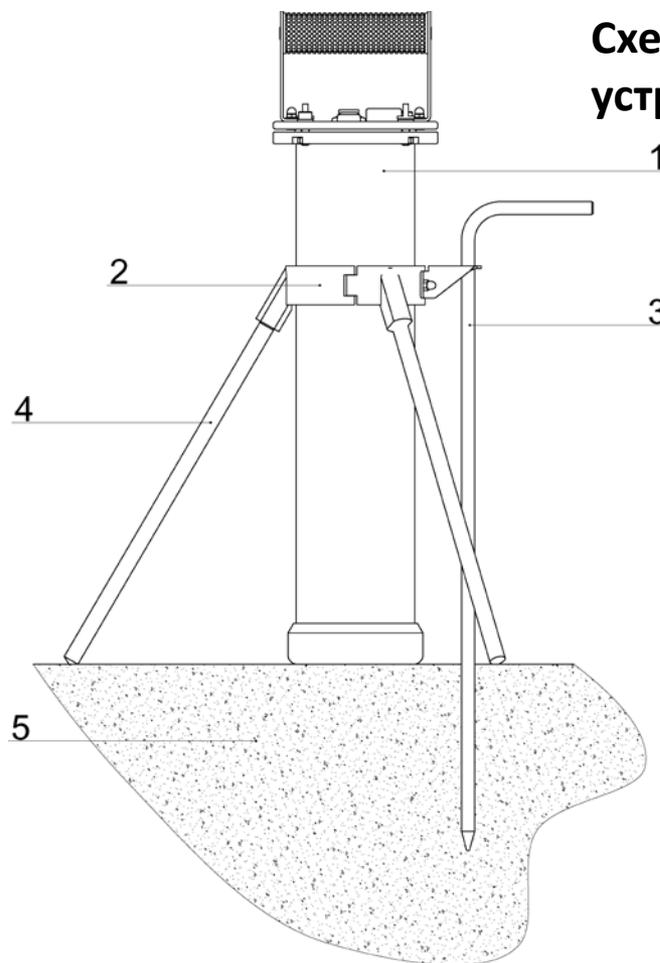
*Научно-исследовательский институт ядерных проблем, Минск, Беларусь;*

*Rad-Solutions Co., Ltd., Sendai, Japan ;*

*Advanced Fusion Technology Co., LTD, Tokyo, Japan ;*

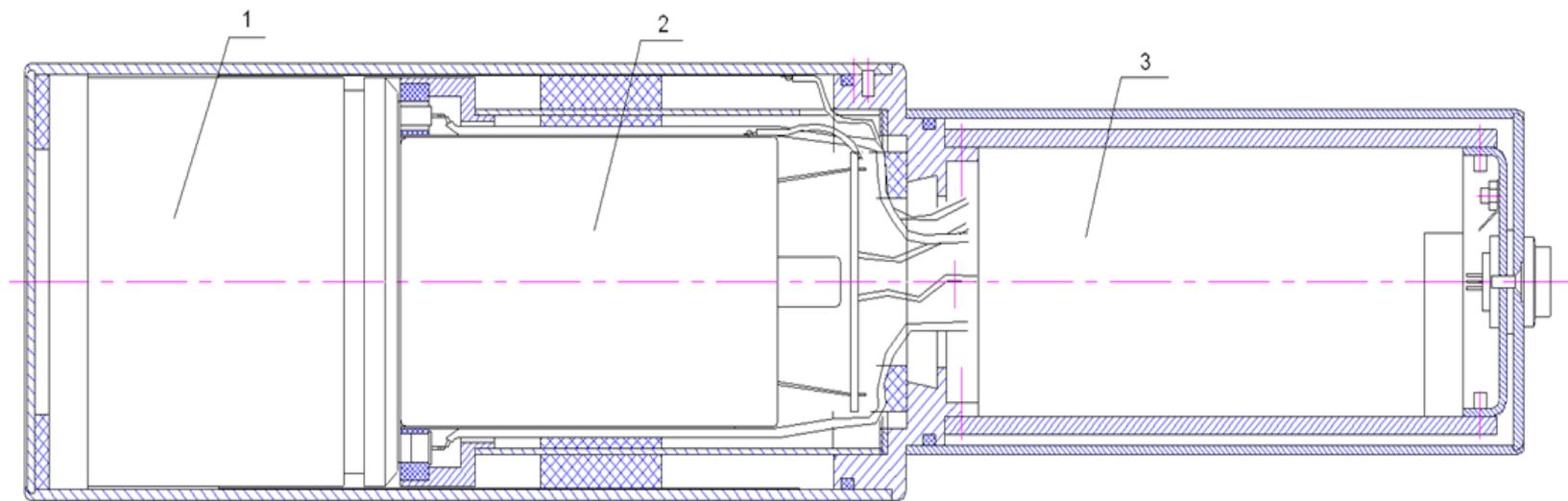
*Учреждение образования «Международный государственный экологический университет им. А.Д. Сахарова», Минск, Беларусь*

## Общий вид прибора с портативным компьютером



**Схема размещения опорного устройства на корпусе УД:**

- 1 – УД;
- 2 – основание;
- 3 – штырь;
- 4 – ножка;
- 5 – почва.



1 – детектор NaI(Tl); 2 – фотоэлектронный умножитель; 3 – электронные узлы

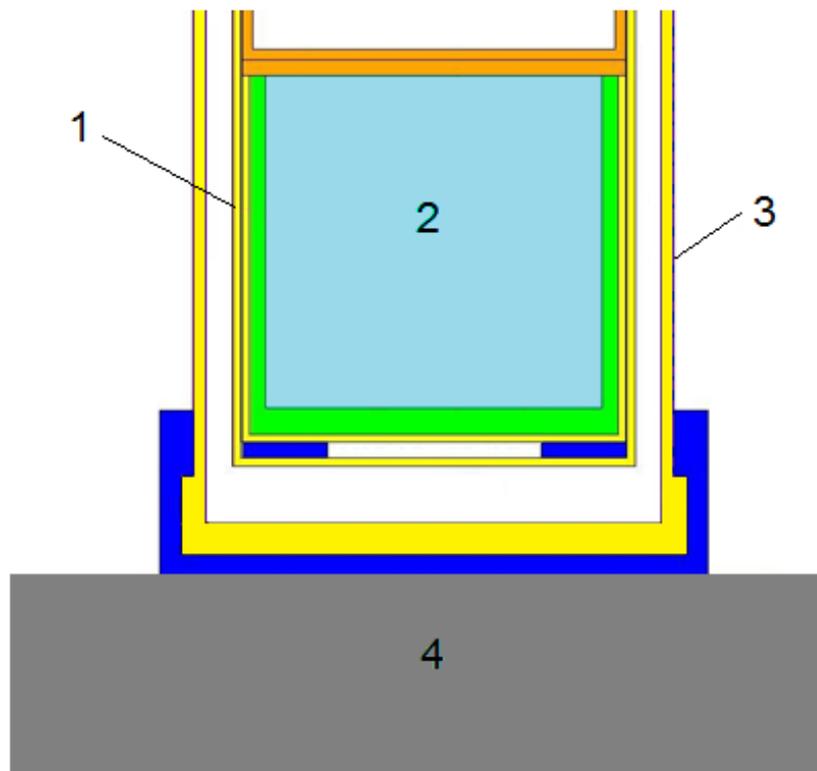
## Технические характеристики спектрометра

Энергетический диапазон измерения	50-3000кэВ
Число каналов	512, 1024
Пределы допускаемой основной относительной погрешности характеристики преобразования	±1 %
Относительное энергетическое разрешение по линии 662 кэВ <sup>137</sup> Cs	не более 8,5%
Эффективность регистрации в ППП для энергии гамма-излучения 662 кэВ радионуклида <sup>137</sup> Cs	(5,00 ± 1,00) %.
Диапазон измерений мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения	0,01-100 мкЗв/ч
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения	±20 %.
Максимальная входная статистическая нагрузка	не менее 5·10 <sup>4</sup> с <sup>-1</sup>
Интерфейс	Bluetooth, RS-485

## Назначение:

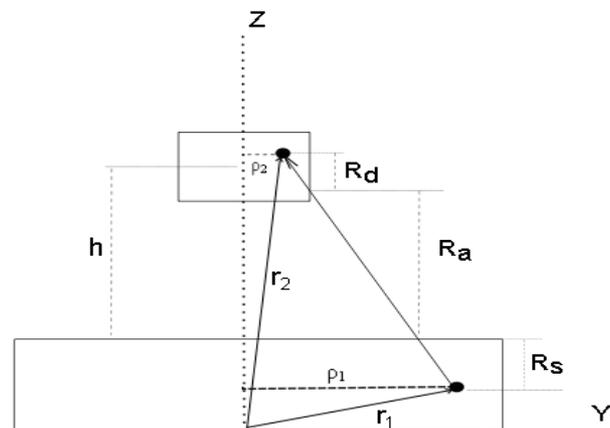
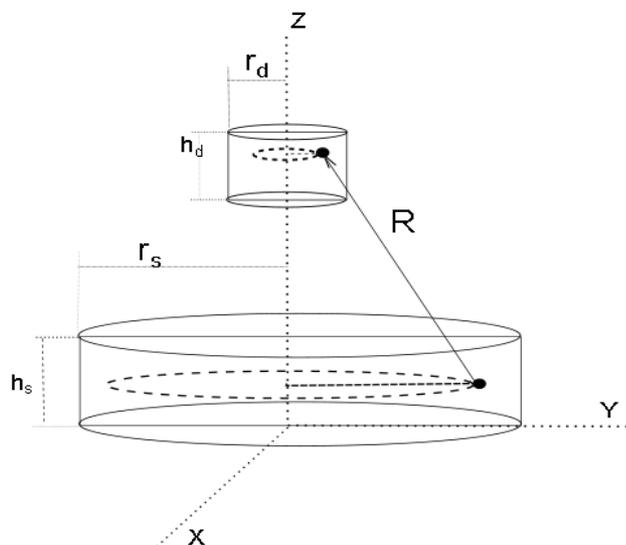
- Измерение энергетического распределения гамма-излучения, мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения;
- идентификация радионуклидов  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и др.;
- определение содержания естественных радионуклидов  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  в месте естественного залегания;
- измерение удельной активности (или плотности загрязнения)  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и других гамма-излучающих техногенных радионуклидов в почве без отбора проб;
- измерения удельной активности радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{134}\text{Cs}$  в воде, продуктах питания, продукции агропромышленного комплекса и лесного хозяйства без предварительного отбора проб.

Радионуклид	Диапазон измерений удельной активности, Бк/кг
$^{137}\text{Cs}$ , $^{134}\text{Cs}$	От 50 до $10^6$
$^{40}\text{K}$ , $^{226}\text{Ra}$ , $^{232}\text{Th}$	От 50 до $10^4$



## Модель геометрии измерения «*in situ*»

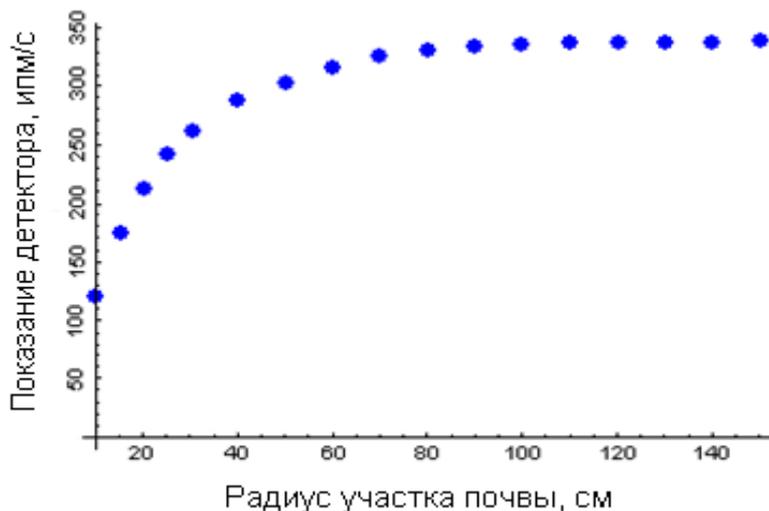
1 – корпус блока детектирования; 2 – детектор NaI(Tl); 3 – термоударопрочный контейнер;  
4 – участок почвы.



Детектор (цилиндр высотой  $h_d$  и радиусом  $r_d$ ), расположенный на высоте  $h$  над загрязненной почвой, которая представлена слоем цилиндрической формы (высота  $h_s$ , радиус  $r_s$ ) в цилиндрической системе координат с проекцией на плоскость  $zy$

Допустимое относительное отклонение  $\beta$  показаний детектора  $I_{det}(r)$  для заданного радиуса участка почвы  $r$  относительно показаний детектора  $I_{det}(\infty)$

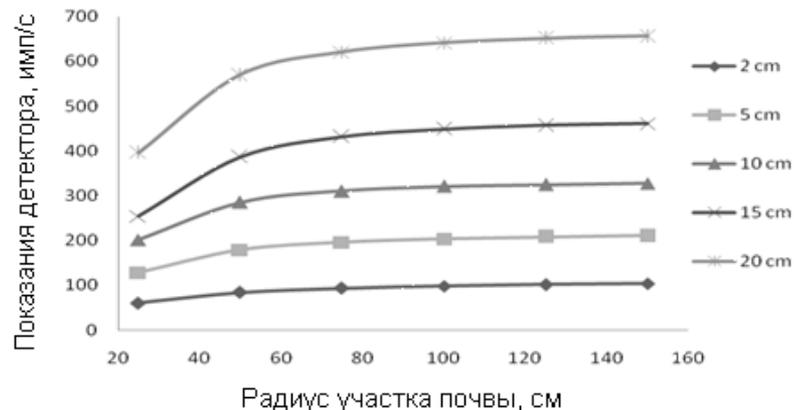
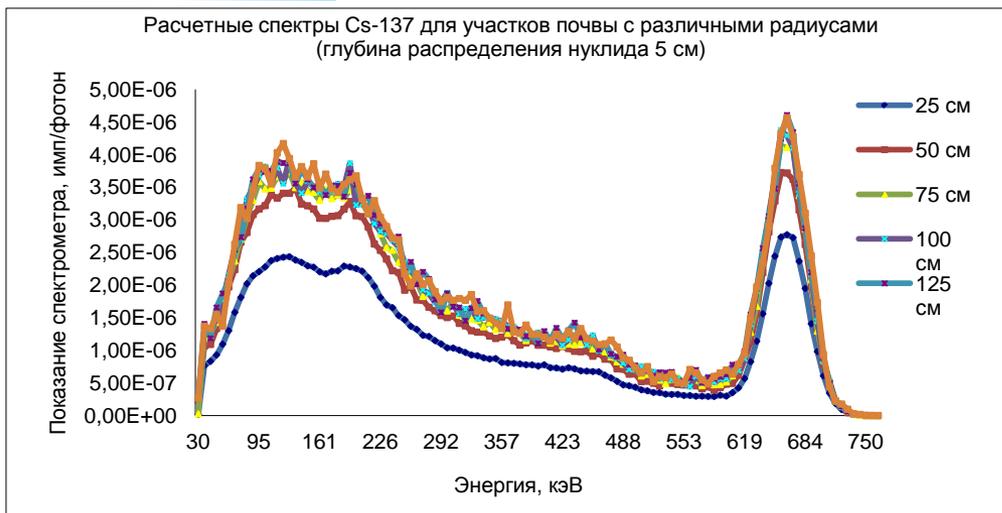
$$\beta = \frac{I_{det}(\infty) - I_{det}(r)}{I_{det}(\infty)}$$



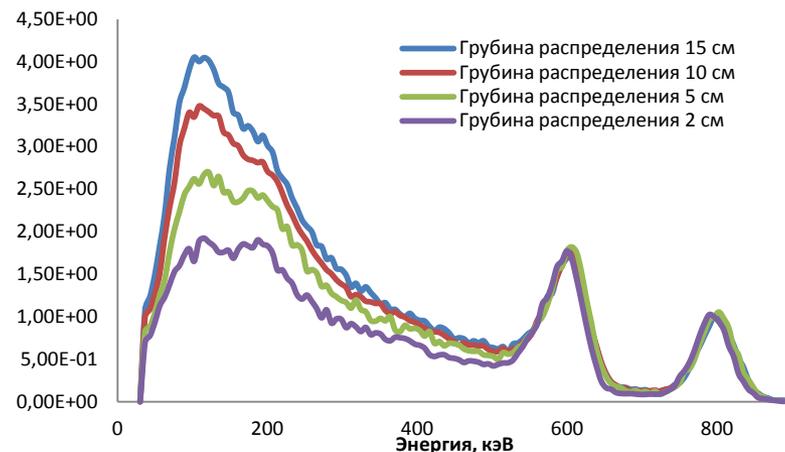
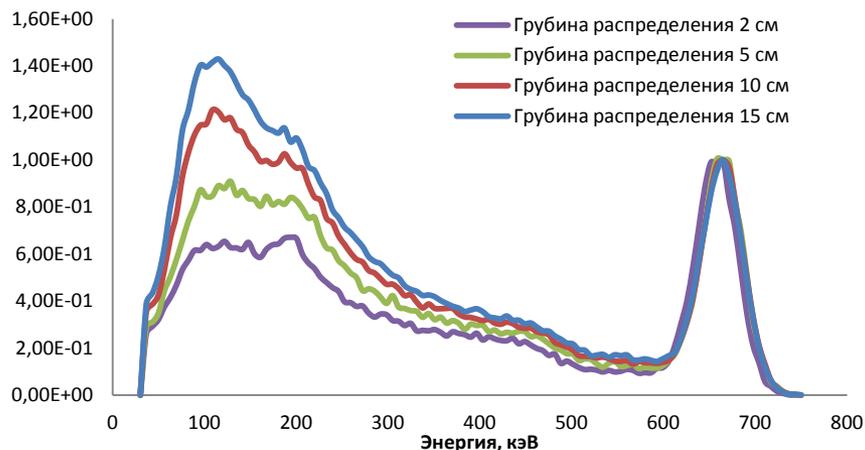
Зависимость показаний детектора от радиуса участка почвы с равномерным распределением  $^{137}\text{Cs}$  по глубине до 10 см

## Критический радиус участка почвы региона Тохоку для различных глубин залегания радионуклидов $^{137}\text{Cs}$ и $^{134}\text{Cs}$

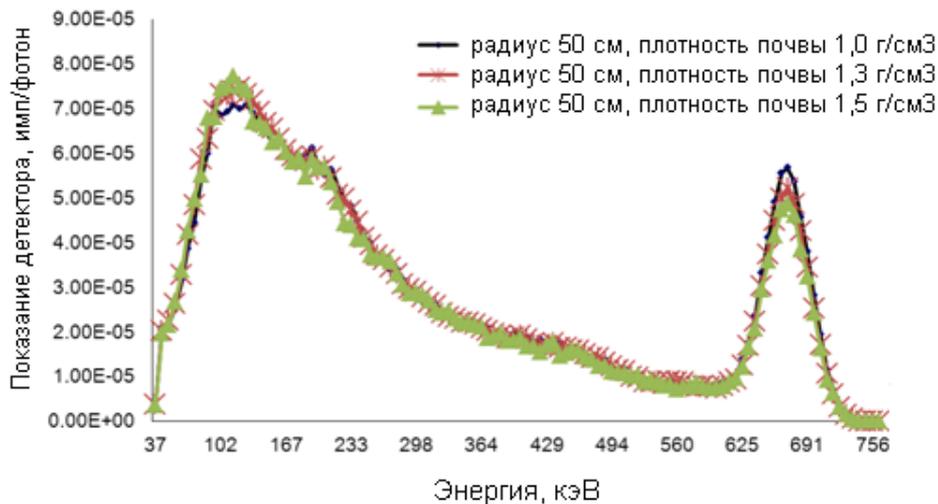
	Относительное отклонение показаний детектора от истинного значения, $\beta$ %		
	3 %	5 %	10 %
Глубина распределения нуклида, см	Критический радиус участка почвы, см		
2	115	98	76
5	83	71	55
10	71	60	47
15	64	55	42



Зависимости показаний детектора от радиуса почвы для различных глубин распределения Cs<sup>134</sup> и Cs<sup>137</sup>



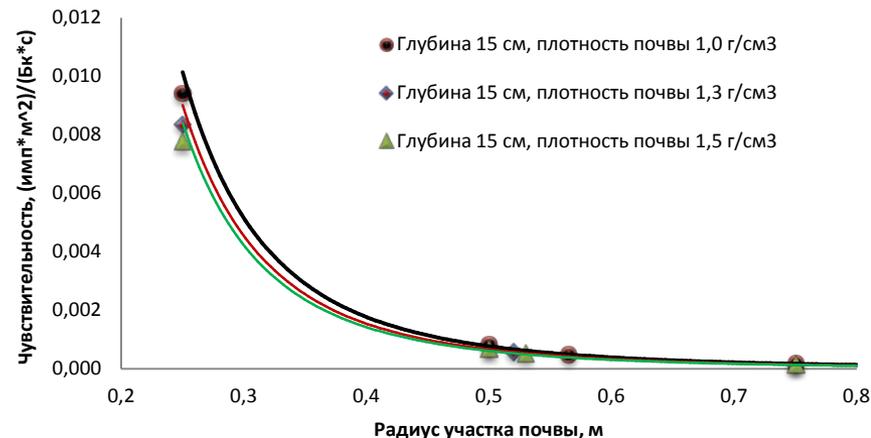
Расчетные аппаратные спектры для различных глубин распределения Cs<sup>137</sup> и Cs<sup>134</sup> в почве с учетом критического радиуса



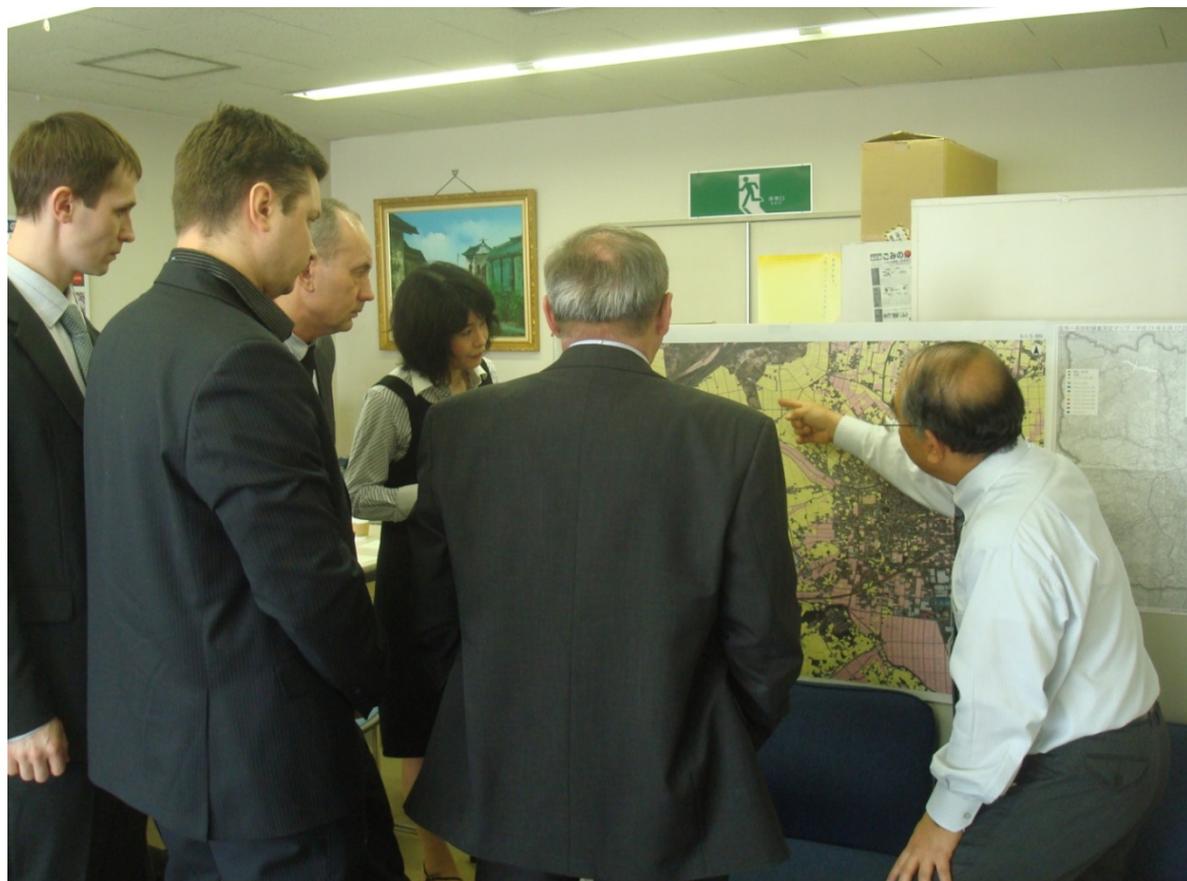
Расчетные аппаратные спектры для математической модели участка почвы с радиусом 50 см с различной плотностью

При уменьшении или увеличении плотности почвы критический радиус соответственно возрастает или уменьшается. Для данного случая находится на уровне  $\pm 5\%$  (равномерное распределение Cs-137 в 15-ти сантиметровом слое почвы)

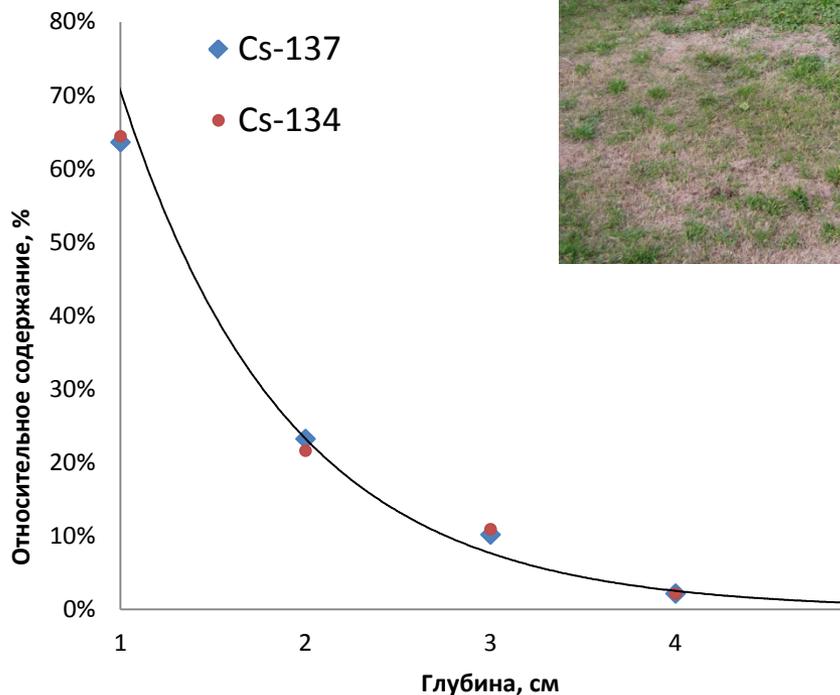
Отклонение высот ППП с энергией гамма-излучения 662кэВ для математических моделей почв с плотностями 1.0 г/см<sup>3</sup> и 1.5 г/см<sup>3</sup> относительно плотности 1.3 г/см<sup>3</sup> составляет  $\pm 7\%$



Чувствительность спектрометра к <sup>137</sup>Cs в зависимости от радиуса математической модели участка почвы





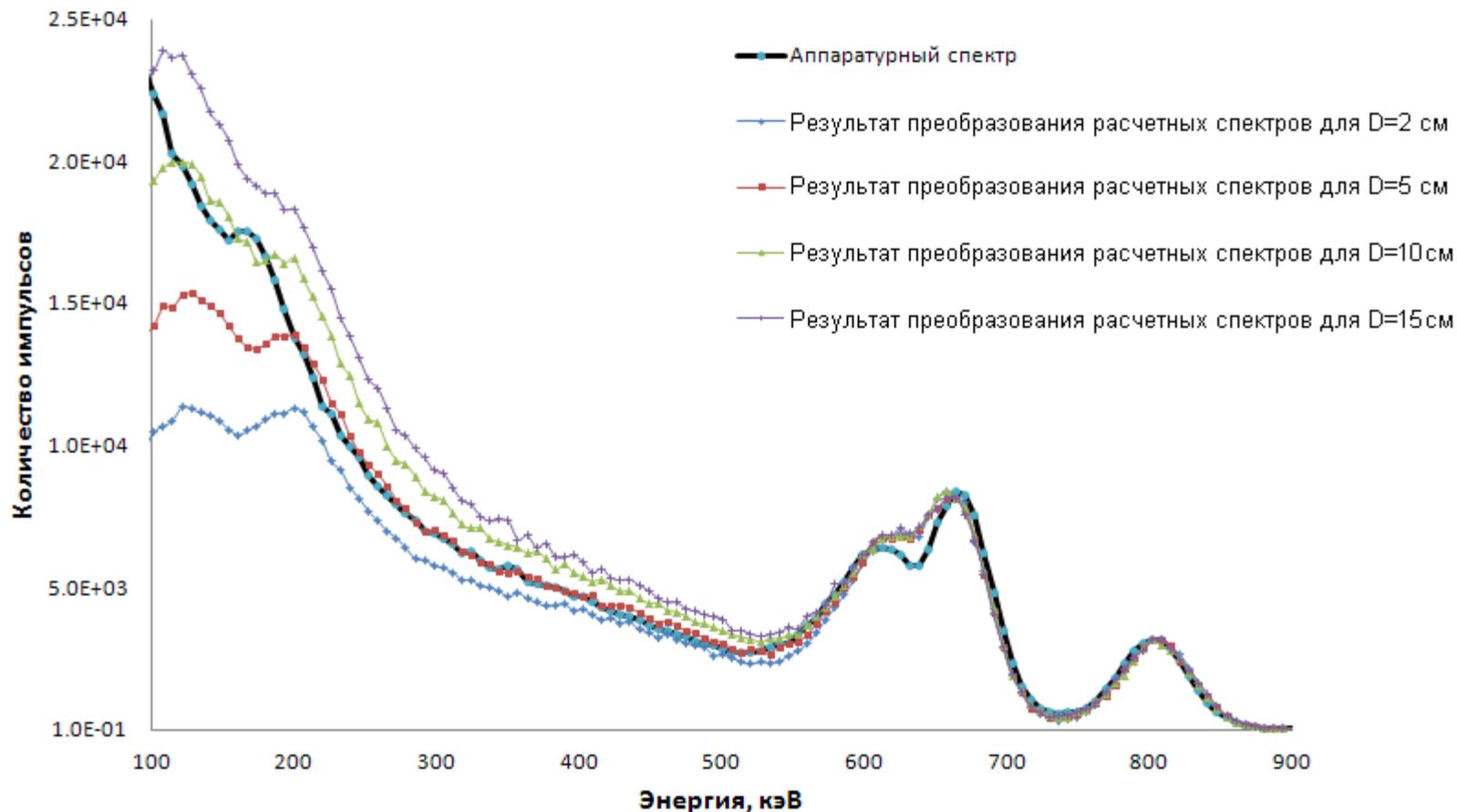


Глубинное распределение техногенных радионуклидов  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в не паханной почве



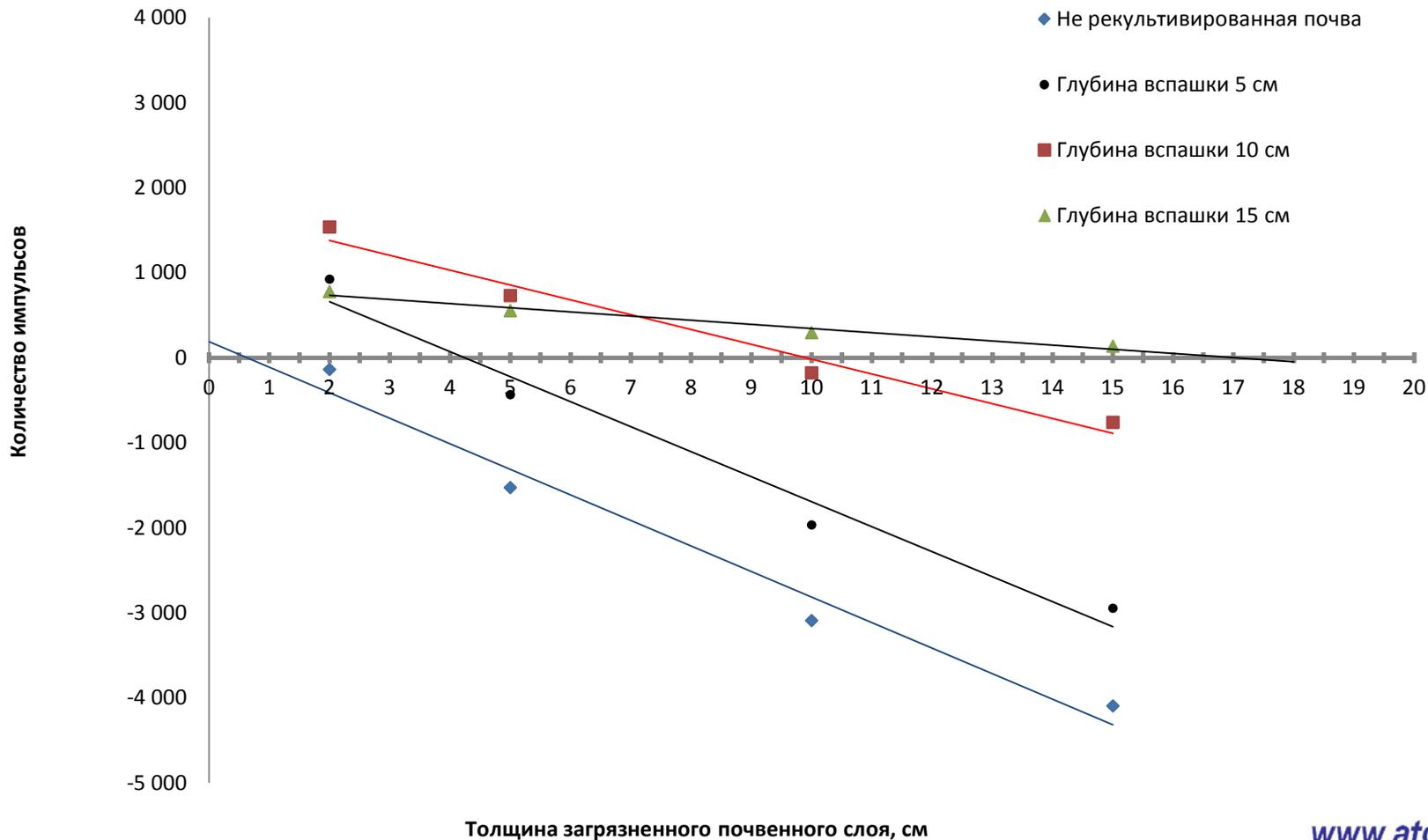
Испытания и отбор проб на реперных площадках с глубиной вспашки 5 и 10 см



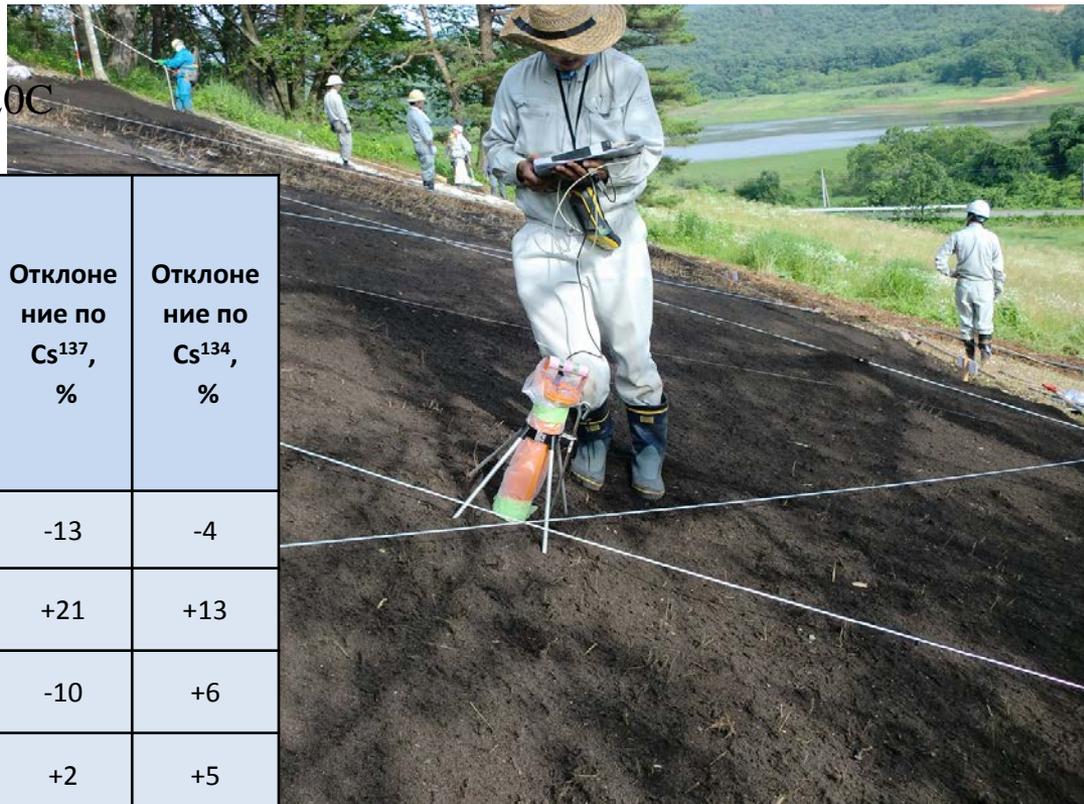


Аппаратурный спектр, измеренный на участке почвы с распределением радионуклидов  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в 5 см слое с результатами преобразования расчетных спектров для глубин распределения радионуклидов  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  D=2 см, D=5 см, D=10 см и D=15 см.

### Оценка толщины почвенного слоя, загрязненного радионуклидами $^{134}\text{Cs}$ и $^{137}\text{Cs}$



Сравнение показаний спектрометра МКС-АТ6101ДР и радиометра РКГ-АТ1320С



Глубина вспашки почвы	Удельная активность в 15-ти сантиметровом слое, Бк/кг				Отклонение по $Cs^{137}$ , %	Отклонение по $Cs^{134}$ , %
	Показания гамма-радиометра РКГ-АТ1320С (с пробоотбором)		Показания спектрометра МКС-АТ6101ДР (без отбора проб)			
	$Cs^{137}$	$Cs^{134}$	$Cs^{137}$	$Cs^{134}$		
Невспаханная	595±167	280±80	517±155	268±81	-13	-4
Вспаханная на 5 см	282±94	158±47	342±103	178±53	+21	+13
Вспаханная на 10 см	309±103	122±45	279±84	129±39	-10	+6
Вспаханная на 15 см	300±100	164±50	367±110	173±52	+2	+5

МКС-АТ6101ДР автоматически в процессе измерения аппаратного спектра определял глубину залегания радионуклидов  $^{134}Cs$  и  $^{137}Cs$ . Значение глубины распределения радионуклидов использовалось при пересчете удельной активности изотопов Cs-134 и Cs-137 на 15-ти сантиметровый слой почвы

## Реперная площадка возле деревни Сивица (лесной массив) (Воложинский район)



# Реперная площадка

Размер реперной площадки 50x50 м

# 10	# 11	# 30	# 31	# 50	# 51	# 70	# 71	# 90	# 91
# 9	# 12	# 29	# 32	# 49	# 52	# 69	# 72	# 89	# 92
# 8	# 13	# 28	# 33	# 48	# 53	# 68	# 73	# 88	# 93
# 7	# 14	# 27	# 34	# 47	# 54				
# 6	# 15	# 26	# 35	# 46	# 55				
# 5	# 16	# 25	# 36	# 45	# 56				
# 4	# 17	# 24	# 37	# 44	# 57				
# 3	# 18	# 23	# 38	# 43	# 58				
# 2	# 19	# 22	# 39	# 42	# 59				
# 1	# 20	# 21	# 40	# 41	# 60				



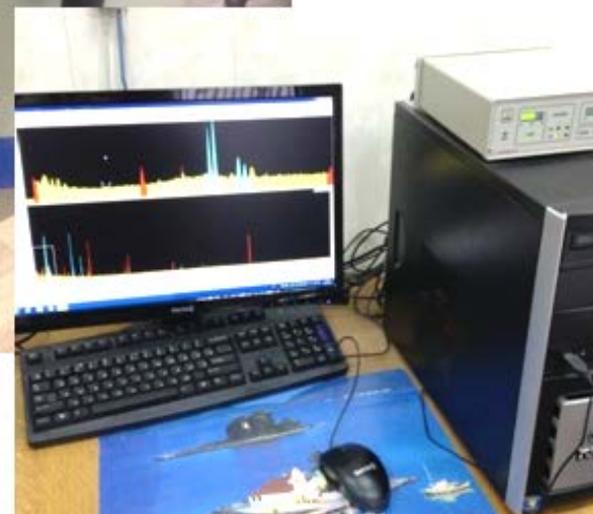
100 ячеек  
Размер пробной площадки  
5x5м





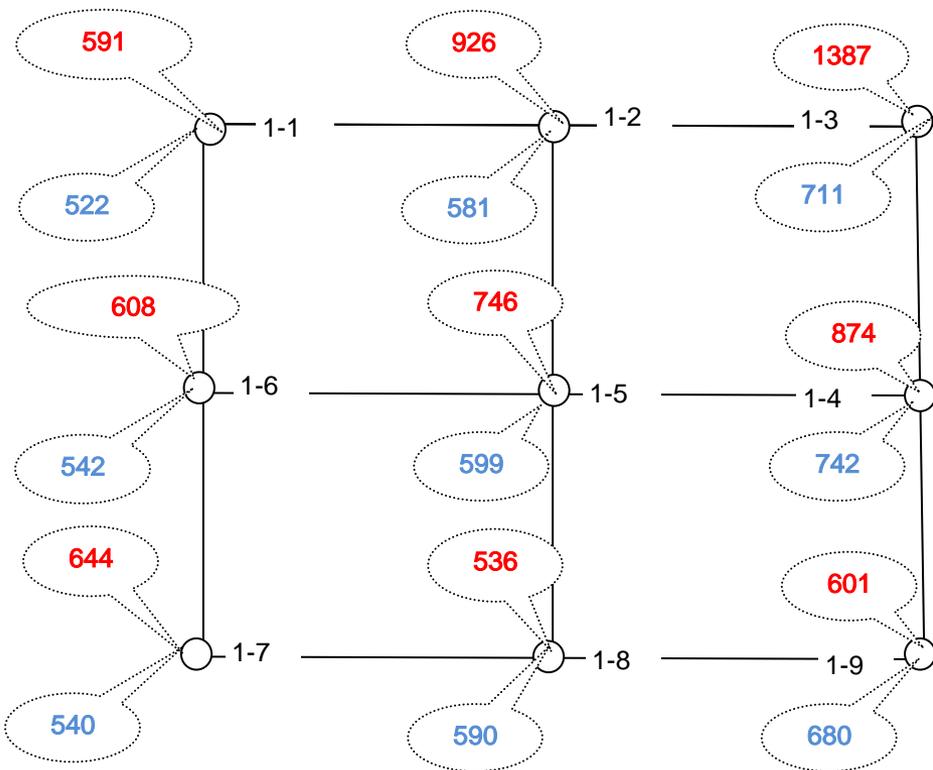
Диаметр бура 40 мм

Пробы измерены на ОЧГ-спектрометре



## Сличение результатов измерений МКС-АТ6101ДР и ОЧГ-спектрометрии

1-ая пробная площадка № 60



Мощность дозы – **0.21 мкЗв/ч**

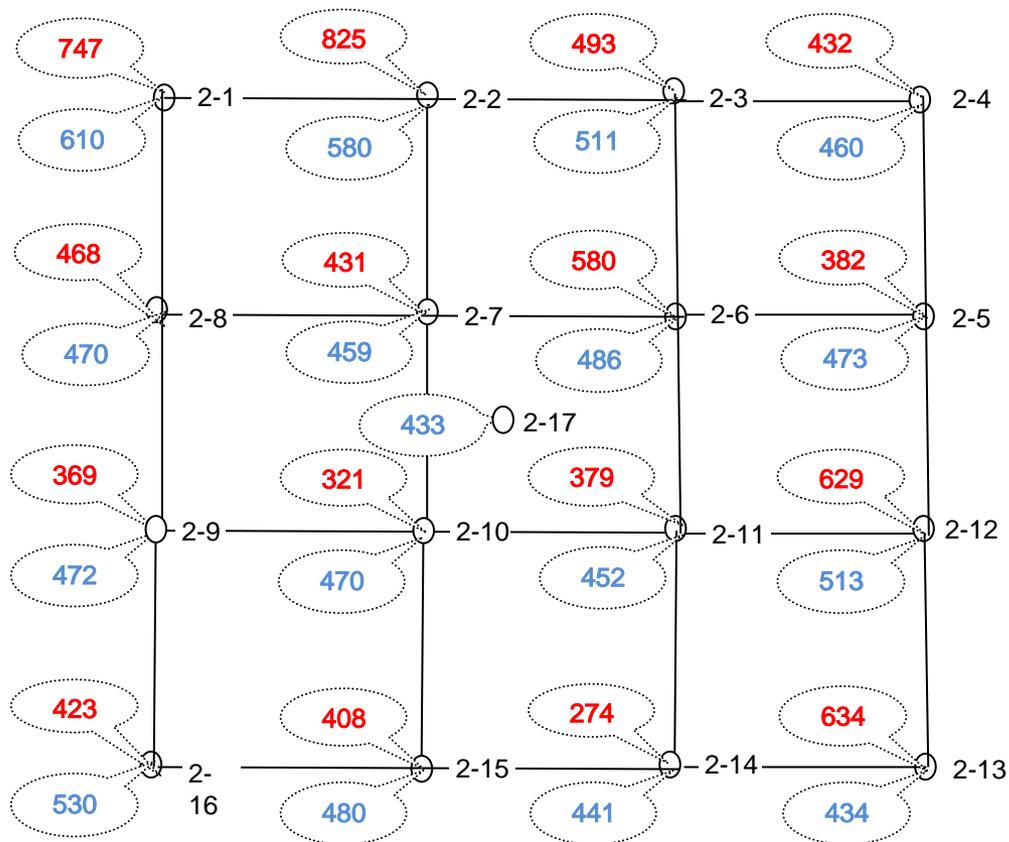
Глубина залегания Cs-137 – **2-3 см**

Расстояние между точками измерения – **0.3 м**

Удельная активность Cs-137 в 10-см слое почвы			
	ОЧГ (красный)	МКС- АТ6101ДР (синий)	Отклонение
измерение	Бк/кг	Бк/кг	
1-1	591	522	-11.7%
1-2	926	581	<b>-37.3%</b>
1-3	1387	711	<b>-48.7%</b>
1-4	874	742	-15.1%
1-5	746	599	-19.7%
1-6	608	542	-10.9%
1-7	644	540	-16.1%
1-8	536	590	10.1%
1-9	601	680	13.1%
<b>СКО</b>	<b>268</b>	<b>80</b>	
Медиана	644	590	
<b>МКС-АТ6101ДР/ ОЧГ</b>		<b>0.92</b>	

## Сличение результатов измерений МКС-АТ6101ДР и ОЧГ-спектрометрии

2-ая пробная площадка № 22



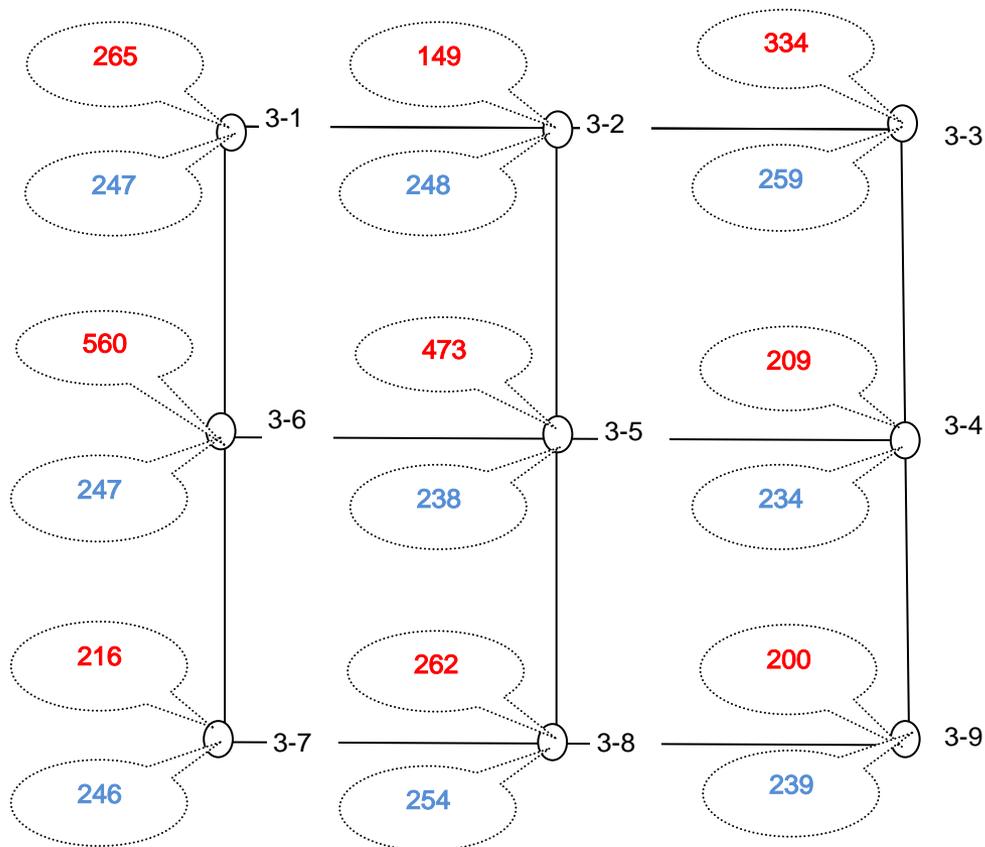
Мощность дозы – **0.185 мкЗв/ч**

Глубина залегания Cs-137 – **2-3 см**

Расстояние между точками измерения – **0.3 м**

Удельная активность Cs-137 в 10-см слое почвы			
	ОЧГ (красный)	АТ6101ДР (синий)	Отклонение
измерение	Бк/кг	Бк/кг	
2-1	747	610	-18.3%
2-2	825	580	-29.7%
2-3	493	511	3.7%
2-4	432	460	6.5%
2-5	382	473	23.8%
2-6	580	486	-16.2%
2-7	431	459	6.5%
2-8	468	470	0.4%
2-9	369	472	27.9%
2-10	321	530	<b>65.1%</b>
2-11	379	452	19.3%
2-12	629	513	-18.4%
2-13	634	434	<b>-31.5%</b>
2-14	274	441	<b>60.9%</b>
2-15	408	480	17.6%
2-16	423	530	25.3%
<b>СКО</b>	<b>155</b>	<b>50</b>	
Медиана	432	473	
<b>МКС-АТ6101ДР/ОЧГ</b>	<b>1.1</b>		

## Сличение результатов измерений МКС-АТ6101ДР и ОЧГ-спектрометрии 3-ья пробная площадка № 80



Мощность дозы – **0.135 мкЗв/ч**

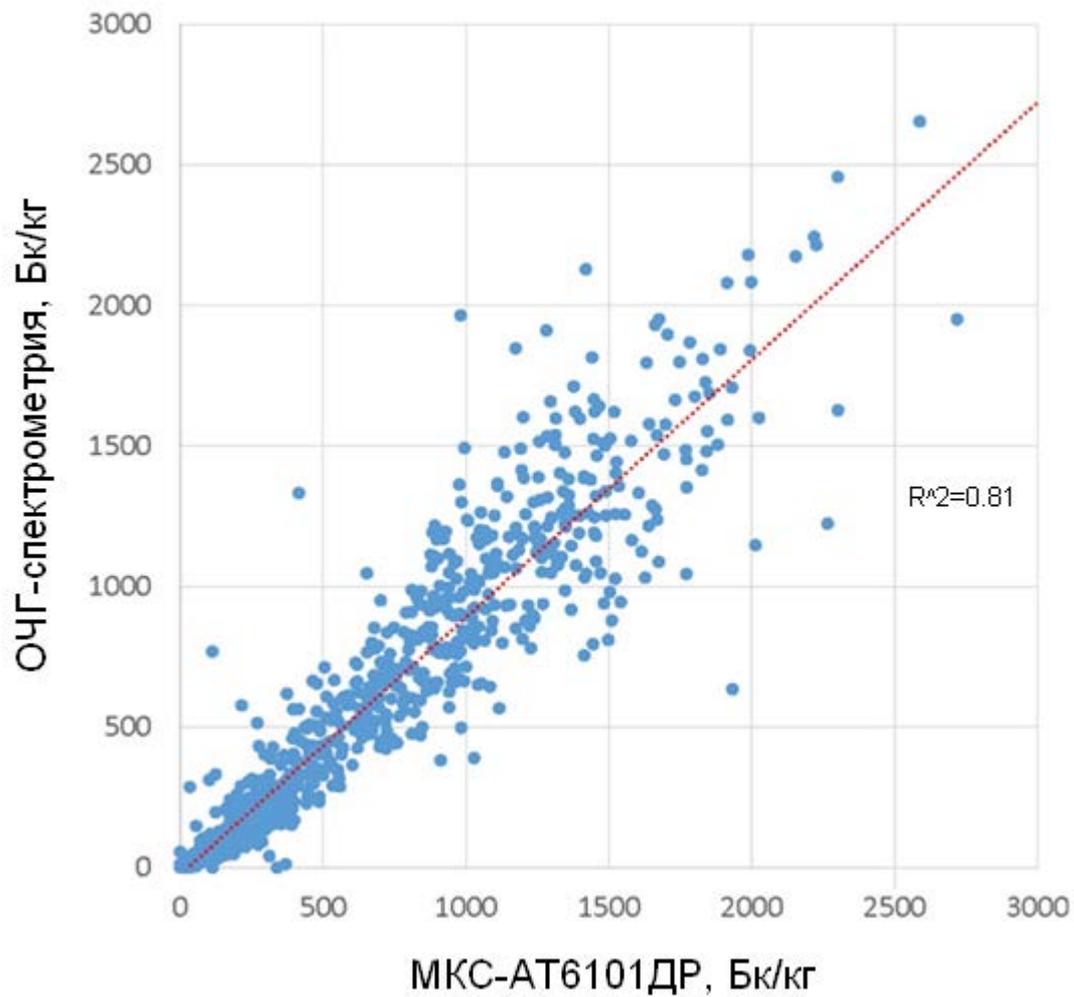
Глубина залегания Cs-137 – **2-3 см**

Расстояние между точками измерения – **0.3 м**

Удельная активность Cs-137 в 10-см слое почвы			
ОЧГ (красный)		АТ6101ДР (синий)	Отклонение
измерение	Бк/кг	Бк/кг	
1-1	265	247	-6.8%
1-2	149	248	<b>66.4%</b>
1-3	334	259	-22.5%
1-4	209	234	12.0%
1-5	473	238	<b>-49.7%</b>
1-6	560	247	<b>-55.9%</b>
1-7	216	246	13.9%
1-8	262	254	-3.1%
1-9	200	239	19.5%
<b>СКО</b>	<b>137</b>	<b>8</b>	
Медиана	262	247	
МКС-АТ6101ДР/ ОЧГ			<b>0.94</b>







**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**