

ИСМАРТ-2018

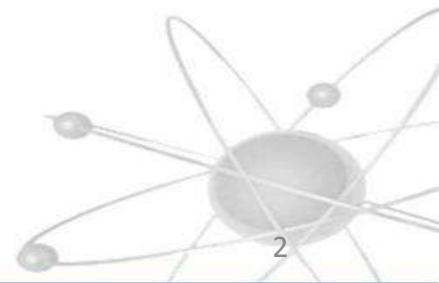
**СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ БЛОКИ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ГАММА ИЗЛУЧЕНИЯ И
АППАРАТУРА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СОСТАВЕ ДИСТАНЦИОННО
УПРАВЛЯЕМЫХ БЕСПИЛОТНЫХ СРЕДСТВ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА**

Кожемякин В. А.

Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»
Республика Беларусь, г. Минск

Назначение

- дистанционная разведка и контроль радиационной обстановки на радиоактивно зараженной местности;
- контроль радиационной обстановки на местности в зоне АЭС и промышленных предприятий по переработке и хранению радиоактивных отходов;
- поиск, обнаружение и локализация точечных источников гамма-излучения, радиоактивно загрязненных конструкций и их элементов, радиоактивных пятен на местности;
- геофизика в части поиска месторождений урановых руд.



Задача поиска, обнаружения и локализации

Касается точечного или ограниченного источника гамма-излучения

Цель: обнаружение и определение местоположения гамма-источников, оценка максимальных уровней радиации

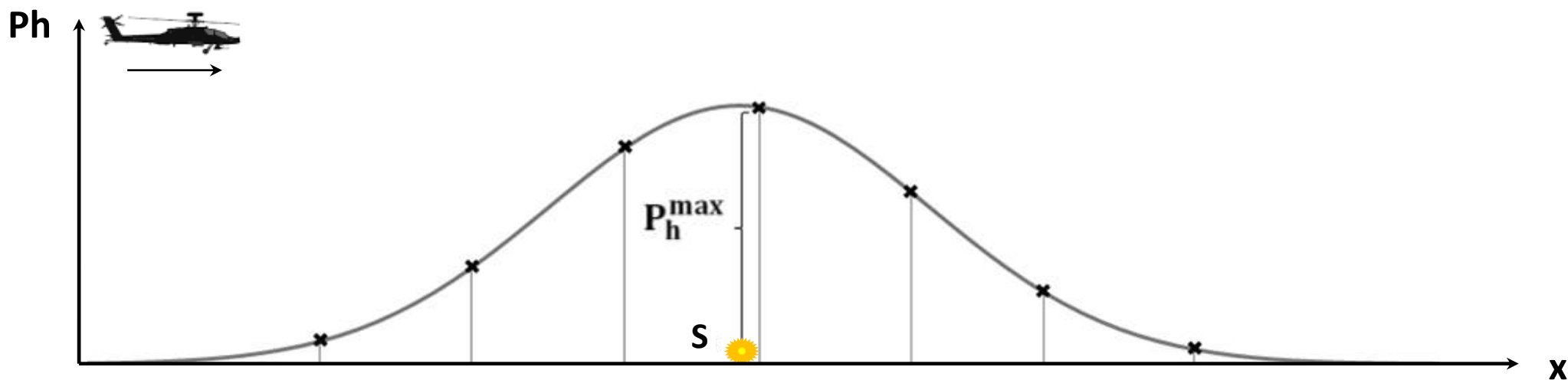
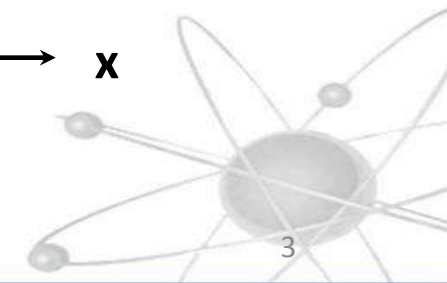


Рис. 1.

S - «точечный» источник гамма-излучения

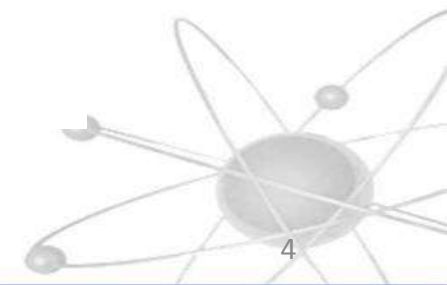


Основная измерительная задача

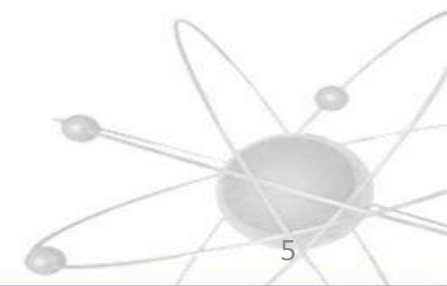
Касается площадного источника гамма-излучения условно бесконечного или больших радиоактивных пятен



Рис. 2. Территория, загрязненная радиоактивными выпадениями



- измерение уровней радиации на высоте полета;
- приведение измеренных значений мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения на высоте полета к уровню 1 метр над поверхностью радиоактивно загрязненной местности;
- оценка плотности поверхностного загрязнения территорий гамма-излучающими радионуклидами;
- определение границ зоны радиоактивного загрязнения.



Задача спектрометрии и идентификации радионуклидов

Цель: Оценка радиоизотопного состава

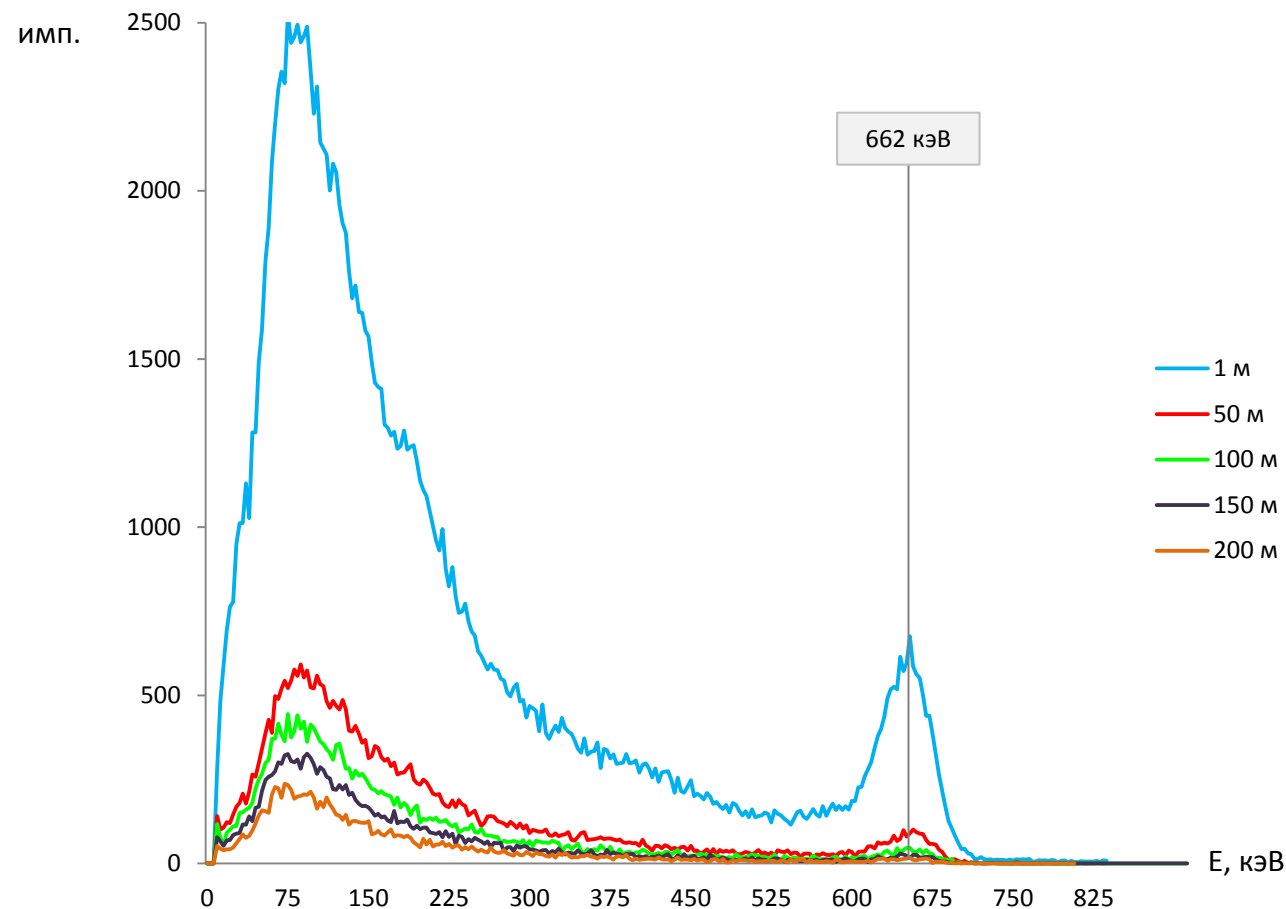
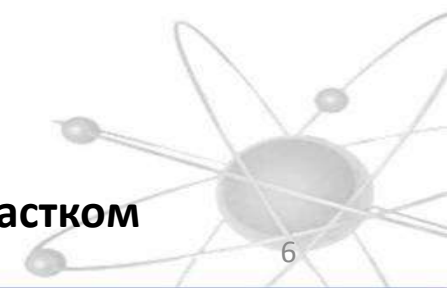
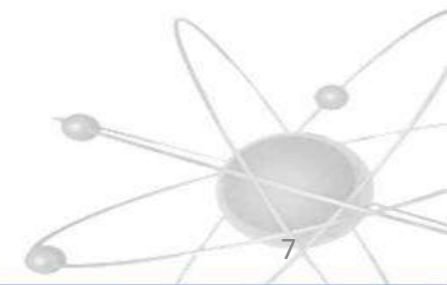


Рис. 3. Аппаратурные спектры гамма-излучения на высотах 1, 50, 100, 150 и 200 м над участком местности, загрязненной радионуклидом ^{137}Cs

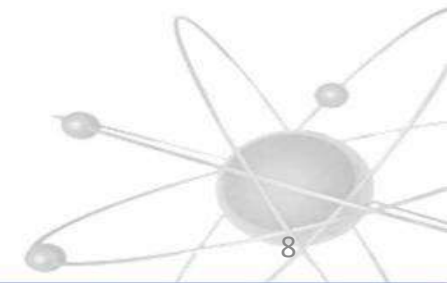


Высотный коэффициент пересчета K_h

Важнейшим элементом в задаче дистанционных измерений является определение и аппаратная реализация алгоритма пересчета результатов измерений на высоте полета к уровню 1 м от поверхности земли



В этой связи проведены обширные теоретические исследования, а именно: математическое моделирование процесса переноса гамма-излучения от источников гамма-излучения (точечных, ограниченных, площадных), расположенных на границе раздела «воздух-земля» с учетом множества факторов, влияющих на процесс переноса (размеры источника, высота, температура, давление, энергия гамма-квантов, толщина активного почвенного слоя, растительный покров и пр.)



В результате исследований установлен аппроксимирующий алгоритм для высотных коэффициентов пересчета к уровню 1 м от поверхности земли с учетом вышеупомянутых факторов в общем виде представляемый для площадных и ограниченных гамма-излучателей в виде:

$$K_h^{теор} = \exp(k_0 + k_1 h + k_2 h^2 + k_3 h^3 + k_4 h^4)$$

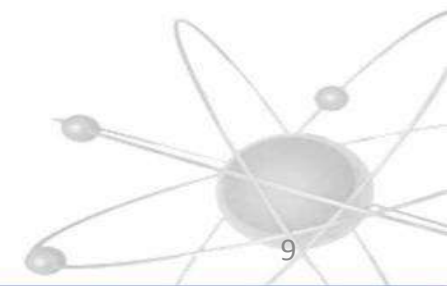


Таблица 1. Факторы, влияющие на достоверность данных аэрогамма-съемки

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ	ХАРАКТЕР ПОГРЕШНОСТИ		
	случайная	неисключенный остаток систематической погрешности	систематическая
МЕТОДИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ $\delta_{мет}$		$\delta_{K_h} \left\{ \begin{array}{l} \delta_{K_h} (h) \\ \delta_{K_h} (P) \\ \delta_{K_h} (t^{\circ}C) \\ \delta_{K_h} (d) \end{array} \right.$	$\delta_{K_h} (E_0)$
АППАРАТУРНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ δ_{app}	$\delta_{осн}$ $\delta_{стат}$	$\delta_{внф}$ $\delta_{\eta (E)}$ $\delta_{t^{\circ}C}$	$\delta_{анз}$
ВЛИЯНИЕ РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ, ОТЛИЧАЮЩИХСЯ ОТ ИДЕАЛЬНОЙ МОДЕЛИ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫПАДЕНИЙ НА МЕСТНОСТИ $\delta_{пу}$	δ_{xy} δ_{grad}	$\delta (K_{nn})$	$\delta_{МКРФ}$

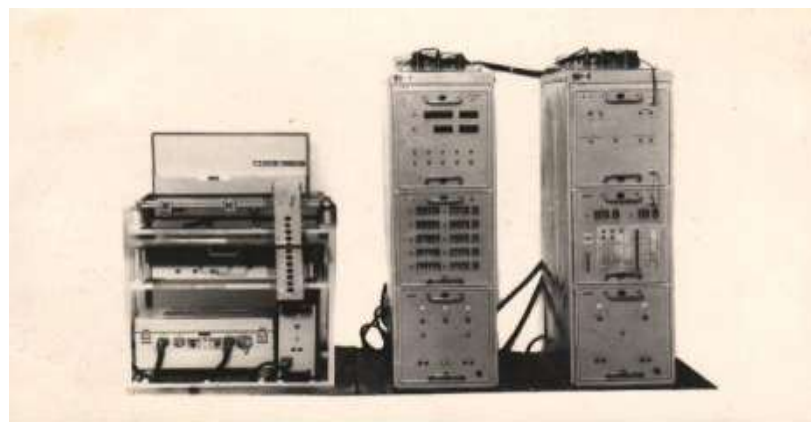


**Аппаратура для беспилотных самолетов-разведчиков:
Ту-143, Ту-243, Ту-141, Ту-300 и др.**

Создавалась в различных модификациях



Бортовая аппаратура



**Наземная аппаратура обработки
данных**



**Контрольно-
поверочная аппаратура**



Tu-243 Reis-D



Tu-300 Korshun



Tu-143 Reis



Tu-141 Strizh

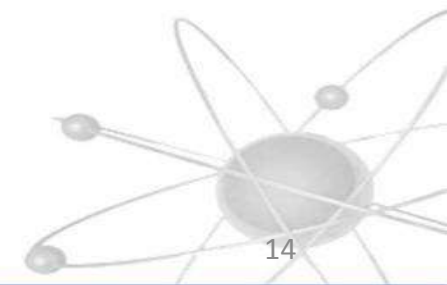


Блок детектирования полупроводниковый
для ДПЛА «Шмель», «Пчела-1Т», «Пчела-1М»





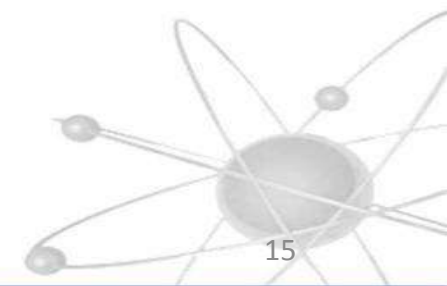
Воздушный комплекс радиационной разведки ВКР





Возвращение к проектированию аппаратуры аэрогамма-съемки состоялось в 2011 г. благодаря заказу на аэрогамма-спектрометр-дозиметр, сделанному Международной организацией СТВТО (г. Вена)

Тема получила свое дальнейшее развитие в плане создания многофункциональной гамма-нейтронной аппаратуры с гибким «наращиванием» по чувствительности, предназначенной для применения в составе как любых пилотируемых авиационных, так и мобильных наземных средств





Мобильный комплекс радиационного сканирования МКС-АТ6103



Управление с планшетного ПК
Беспроводная связь
GPS
Возможность наращивания
до 18 измерительных каналов



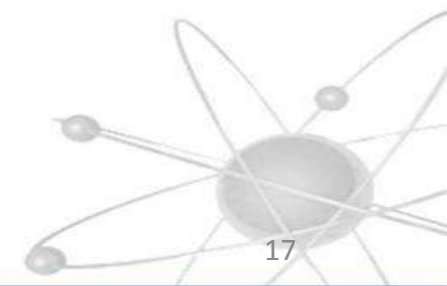
Измеритель высокочувствительный
гамма-излучения



Измеритель гамма- и
нейтронного излучения



Начиная с 2000 г. предприятием создается и выпускается постоянно расширяемая номенклатура приборов и аппаратуры для ядерных измерений и радиационного контроля, охватывающая дозиметрическое, спектрометрическое и радиометрическое направление





Основу этих средств измерений составляет семейство интеллектуальных блоков и устройств детектирования (более 50 наименований), значительная часть из которых может эффективно использоваться в составе современных беспилотных средств воздушной радиационной разведки, а также в роботизированных системах наземного и морского базирования

Блоки детектирования имеют различные технические характеристики, что позволяет осуществлять оптимальный выбор для конкретного беспилотного средства

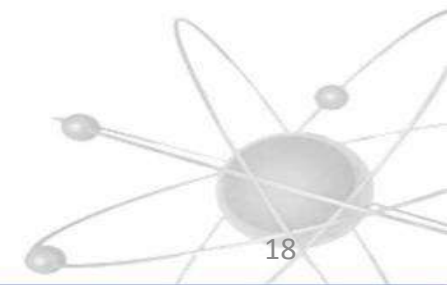


Таблица 2 . Дозиметрические блоки детектирования на основе сцинтилляционной пластмассы

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	БДКГ-04 БДКГ-204	БДКГ-24 БДКГ-224	БДКГ-30 БДКГ-230	БДКГ-32 БДКГ-232	БДКГ-35	БДКГ-103
ДЕТЕКТОР НА ОСНОВЕ ТКАНЕЭКВИВАЛЕНТНОЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОЙ ПЛАСТМАССЫ	Ø30x15 мм	Ø50x40 мм	Ø50x40 мм	Ø70x80 мм	Ø70x150 мм	200x180x70 мм
ДИАПАЗОН ЭНЕРГИЙ	15 кэВ – 3 МэВ 20 кэВ – 3 МэВ	25 кэВ – 3 МэВ	50 кэВ – 3 МэВ	35 кэВ – 3 МэВ	20 кэВ – 3 МэВ	80 кэВ – 3 МэВ
ДИАПАЗОН ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ АМБИЕНТНОГО ЭКВИВАЛЕНТА ДОЗЫ	50 нЗв/ч – 10 Зв/ч	30 нЗв/ч – 1 Зв/ч	–	30 нЗв/ч – 500 мЗв/ч	Диапазон индикации скорости счета: 0 – 1,5·10 ⁵ с ⁻¹	30 нЗв/ч – 50 мЗв/ч
ДИАПАЗОН ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ	–		30 нГр/ч – 1 Г/ч	–		
ПРЕДЕЛ ОСНОВНОЙ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ	±20%	±20% ±15%	±20% ±15%	±20%	±20%	±20%
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К ГАММА- ИЗЛУЧЕНИЮ ¹³⁷ Cs, имп·с ⁻¹ /мкЗв·ч ⁻¹	70	530	600 имп·с ⁻¹ / мкГр·ч ⁻¹	1700	3200	15000
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНО ЭНЕРГИИ 662 кэВ	БДКГ-04: ±35%(15-60 кэВ) ±20%(60 кэВ-3 МэВ) БДКГ-204:-45%...+35%(20-60 кэВ) ±25%(60 кэВ-3 МэВ)	±25%	±25%	±25%	–	±40%
ВРЕМЕННАЯ ДИСКРЕТНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ	0,1 с	0,1 с	0,1 с	0,1 с	от 0,1 с до 1 с на выбор	0,1 с
СТЕПЕНЬ ЗАЩИТЫ	IP64 IP57	IP64 IP67	IP64 IP67	IP64 IP67	IP64	IP64
ИНТЕРФЕЙС	RS232 RS485	RS232 RS485	RS232 RS485	RS232 RS485	RS232	RS232 RS485
ДИАПАЗОН РАБОЧИХ ТЕМПЕРАТУР	-40...+50°C -40...+60°C	-40...+50°C -40...+55°C	-40...+50°C -40...+55°C	-40...+50°C -40...+55°C	-40...+50°C	-40...+55°C
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА (≤35°C БЕЗ КОНДЕНСАЦИИ ВЛАГИ)	≤98%	≤98%	≤98%	≤95% ≤98%	≤95%	≤95%
ГАБАРИТНЫЕ РАЗМЕРЫ, МАССА	Ø60x205мм, 0,45 кг Ø60x230мм, 0,55 кг	Ø60x200мм, 0,5 кг Ø60x250мм, 0,6 кг	Ø60x200мм, 0,6 кг Ø60x250мм, 0,6 кг	Ø76x245мм, 0,8 кг Ø76x245мм, 0,9 кг	Ø76x320 мм, 1,2 кг	19 360x220x80 мм, 5 кг

Таблица 3. Спектрометрические блоки детектирования на основе сцинтилляторов NaI(Tl)

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	БДКГ-201М	БДКГ-203М	БДКГ-205М	БДКГ-11М БДКГ-211М	БДКГ-19М БДКГ-219М
ДЕТЕКТОР NaI(Tl)	Ø25x16 мм	Ø25x40 мм	Ø40x40 мм	Ø63x63 мм	Ø63x160мм
ДИАПАЗОН ЭНЕРГИЙ	20 кэВ – 3 МэВ				
ДИАПАЗОН ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ АМБИЕНТНОГО ЭКВИВАЛЕНТА ДОЗЫ (мД)	50 нЗв/ч – 1 мЗв/ч	30 нЗв/ч – 500 мкЗв/ч	30 нЗв/ч – 300 мкЗв/ч	30 нЗв/ч – 150 мкЗв/ч	0,03 – 50 мкЗв/ч
ПРЕДЕЛ ОСНОВНОЙ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ мД	±20%				
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНО ЭНЕРГИИ 662 кэВ	±20% (40 кэВ – 3 МэВ)				
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К ГАММА- ИЗЛУЧЕНИЮ ¹³⁷ Cs, (имп·с ⁻¹ /мкЗв·ч ⁻¹)	165	400	800	2450	6000
ВРЕМЕННАЯ ДИСКРЕТНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ	1/3 с	1/3 с	1/3 с	1/3 с	1/3 с
ТИПОВОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ РАЗРЕШЕНИЕ ДЛЯ ЭНЕРГИИ 662 кэВ (¹³⁷ Cs)	8,5 %	8 %	7,5 %	7,5 %	8 %
СТЕПЕНЬ ЗАЩИТЫ	IP68	IP68	IP68	IP54 IP68	IP54 IP68
ИНТЕРФЕЙС	USB / RS232 / RS485 / Bluetooth (через адаптер интерфейсный)				
ДИАПАЗОН РАБОЧИХ ТЕМПЕРАТУР	-35...+55°C	-35...+55°C	-35...+55°C	-20...+50°C -35...+55°C	-20...+50°C -35...+55°C
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА (≤35°C БЕЗ КОНДЕНСАЦИИ ВЛАГИ)	≤98%	≤98%	≤98%	≤95% ≤98%	≤95% ≤98%
ГАБАРИТНЫЕ РАЗМЕРЫ, МАССА	Ø63x313мм, 1 кг	Ø63x333мм, 1 кг	Ø63x333мм, 1 кг	Ø78x320мм, 1,7 кг Ø90x350мм, 2 кг	Ø76×422мм, 3 кг Ø90x430мм, 3,3 кг

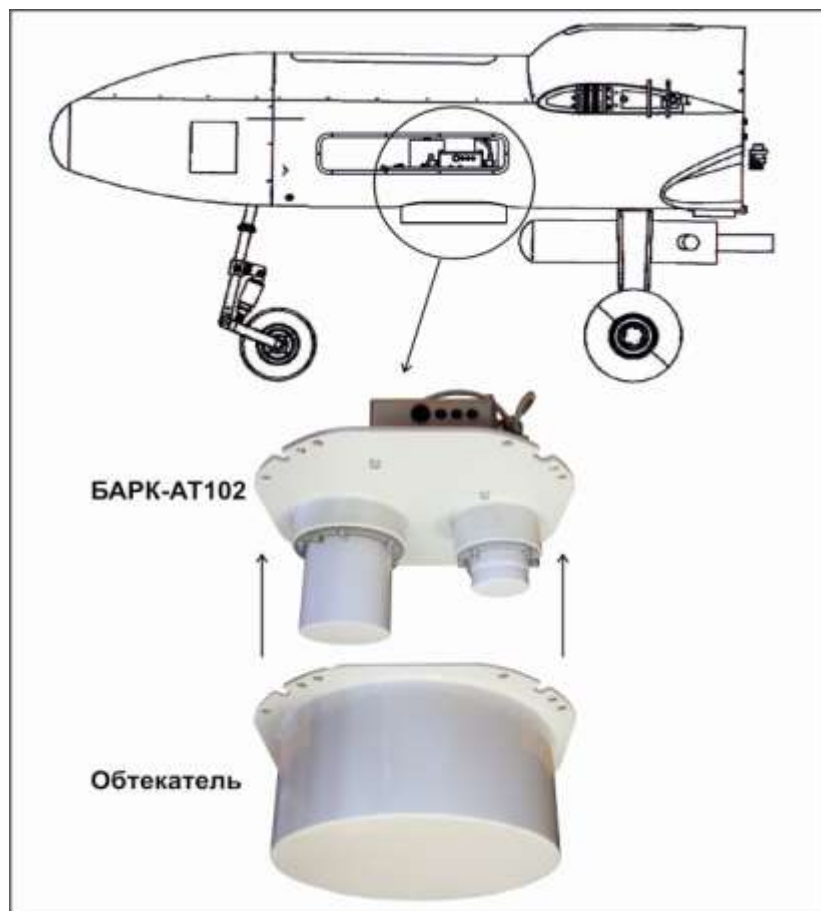


Таблица 4. Внешний вид некоторых БД

БДКГ-201М	БДКГ-203М	БДКГ-205М	БДКГ-211М	БДКГ-219М
				
БДКГ-04 БДКГ-204	БДКГ-24 БДКГ-224	БДКГ-30 БДКГ-230	БДКГ-32	БДКГ-35
				



Аппаратура радиационного контроля для беспилотных летательных аппаратов:

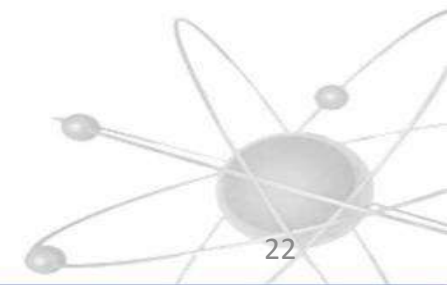


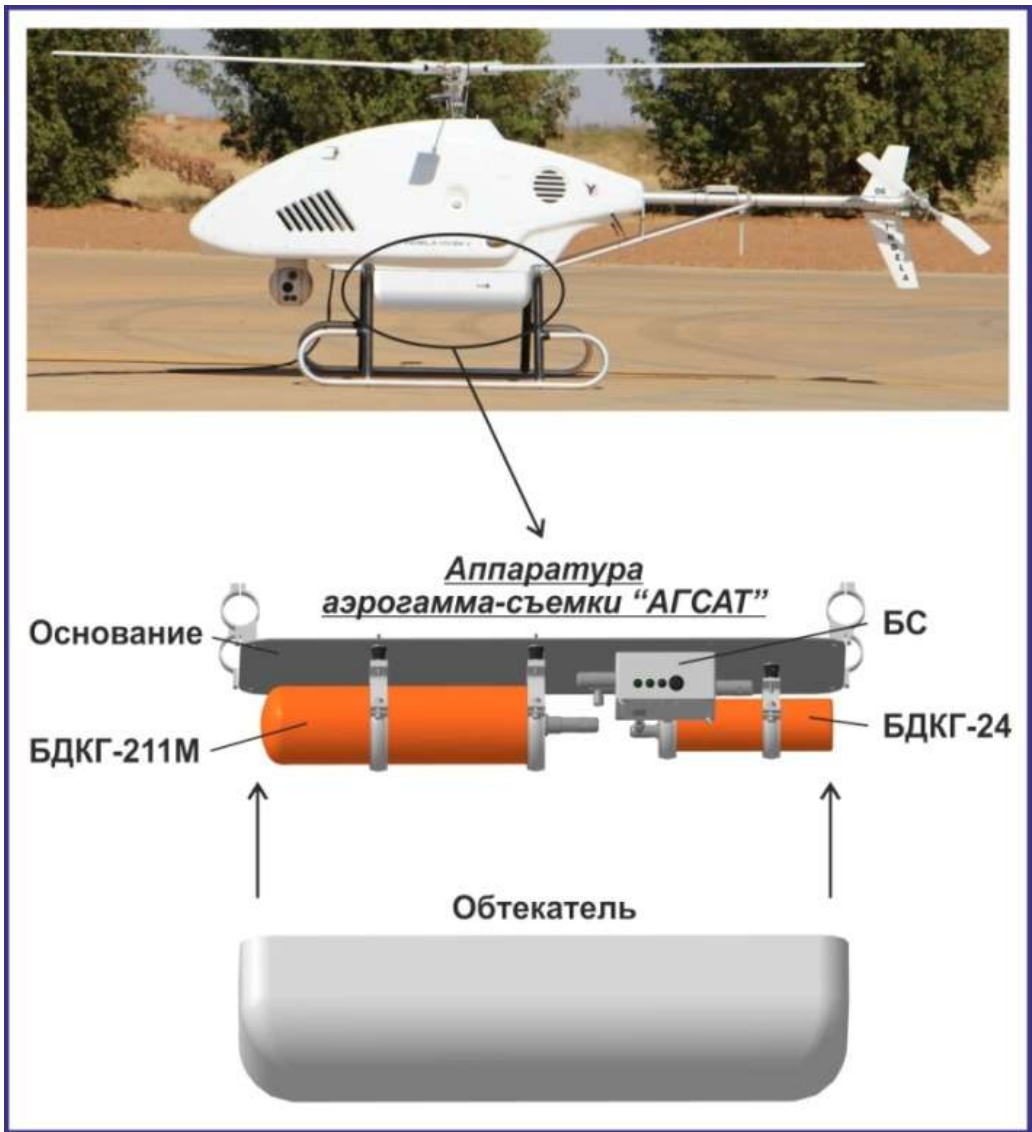
«Гриф-100»



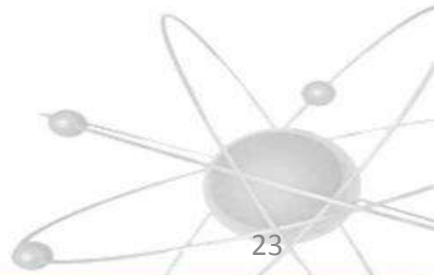
«Буревестник»

БДКГ-111
БДКГ-104





Аппаратура радиационного контроля для беспилотного вертолета «INDELLA»





а)



б)



в)



Аппаратура радиационного контроля

а) дозиметр-спектрометр БДКГ-11М для октокоптера «БАС» (Болгария);

б) дозиметрические блоки детектирования БДКГ-24 для БМЛА планерного типа («ZALA AERO GROUP», концерн «Калашников»; НПО «Тайфун», Росгидромет);

в) БДКГ-24 для октокоптера «ZALA AERO GROUP».



Натурные испытания над площадным источником радиоактивных выпадений

Условия испытаний:

Местность, радиоактивно загрязненная в результате аварии на ЧАЭС, находящаяся в 30-км зоне от станции на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ), Республика Беларусь, Гомельская обл.

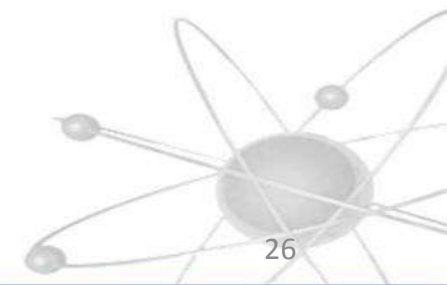
Характеристика местности: песчано-луговая, с плотным и высоким травяным покровом, редким кустарником, верхний слой почвы на глубину 5 см «пропитан» достаточно однородно радиоизотопом ^{137}Cs чернобыльского происхождения





Объект испытаний:

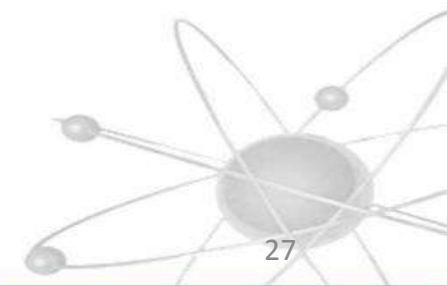
Опытные образцы блоков детектирования БДКГ-11М (высококчувствительный) и БДКГ-04 (широкодиапазонный) интеллектуального типа, размещенные на борту вертолета Ми-2, карманный защищенный персональный компьютер «Nautiz», специально разработанное программное обеспечение - геолокационное приложение «GARM» для целей мобильного радиационного мониторинга, позволяющее получить карту радиационной обстановки.





Цель натурных испытаний:

экспериментальное определение значений высотных коэффициентов пересчета мощности дозы гамма-излучения, измеряемой на высоте полета (от 50 до 300 м), к уровню 1 м от поверхности земли и их сопоставление с данными расчетного моделирования методом Монте-Карло





Спектрометр МКС-АТ6101С

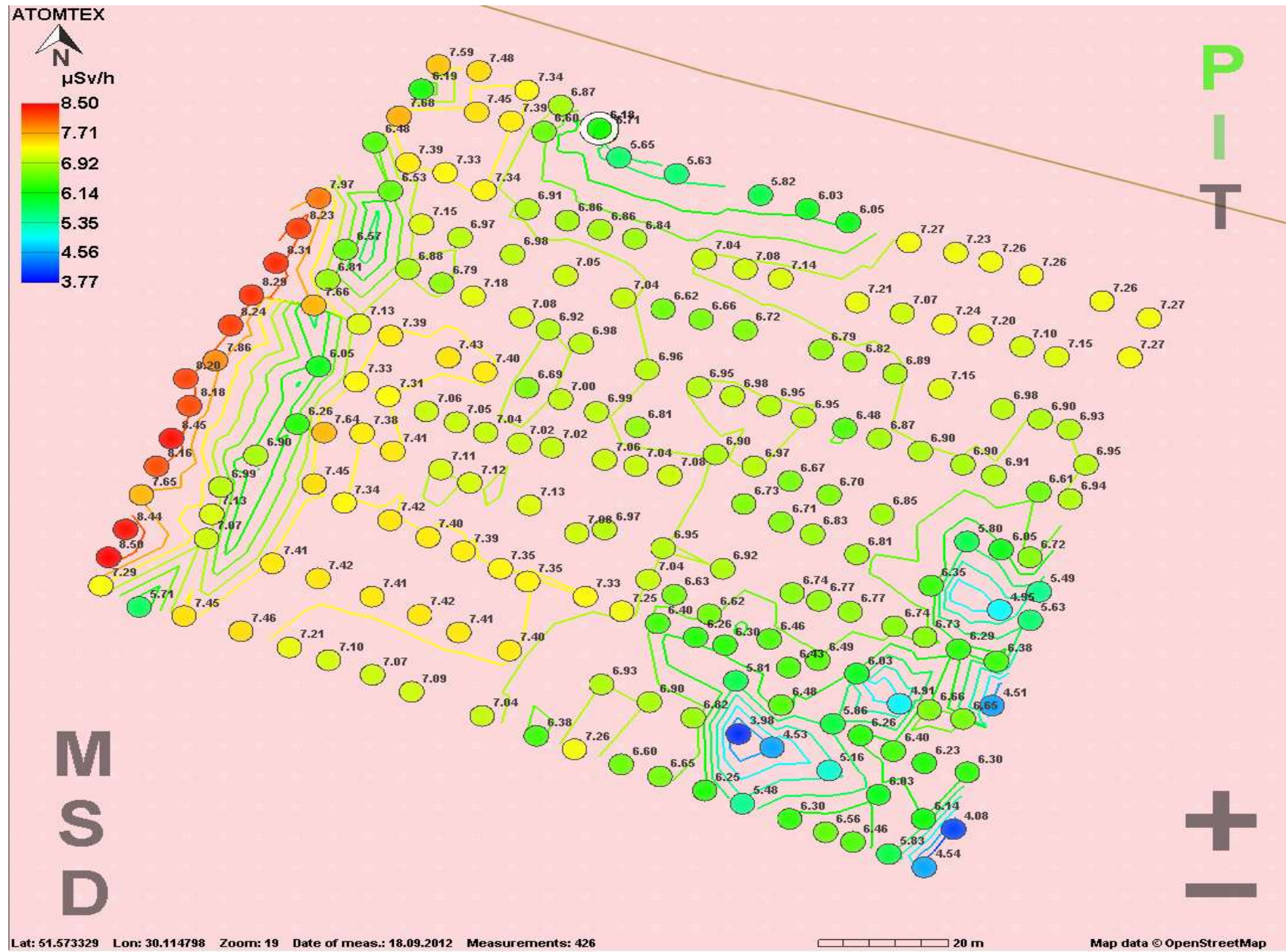


(поиск, измерение МД, идентификация
радионуклидов)

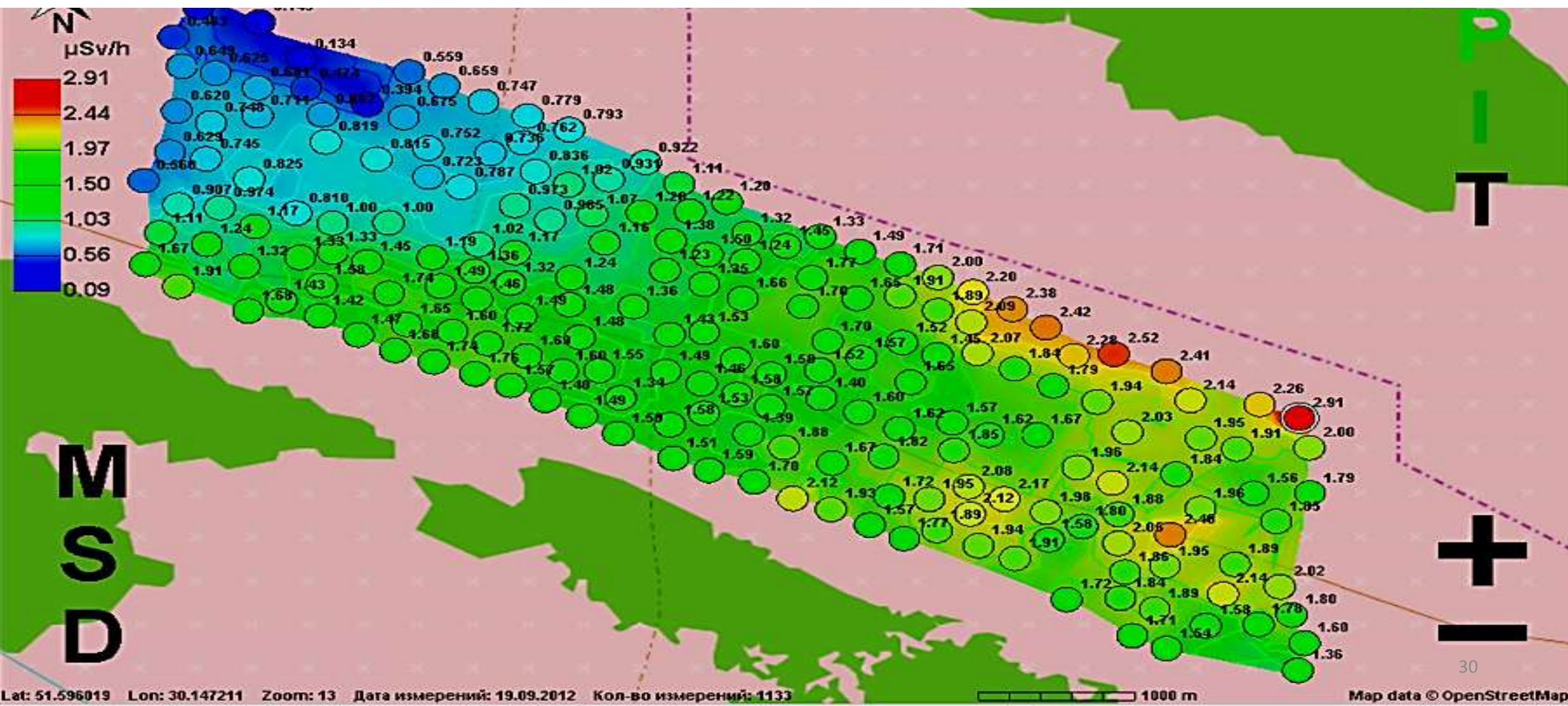


Результаты пешеходного сканирования

Карта мощности дозы гамма-излучения на уровне 1 м от поверхности земли (ПО «GARM»)



Проверка однородности радиоактивного загрязнения протяженного участка местности.
Данные аэрогамма-съемки в ПГРЭЗ. Мощность дозы гамма-излучения на высоте 100 м
над поверхностью земли. Размер площадки 8 км на 2 км (ПО «GARM»)



Данные по оценке мощности дозы гамма-излучения на высоте 1 м по результатам измерений на высоте 100 м (ПО «GARM»)

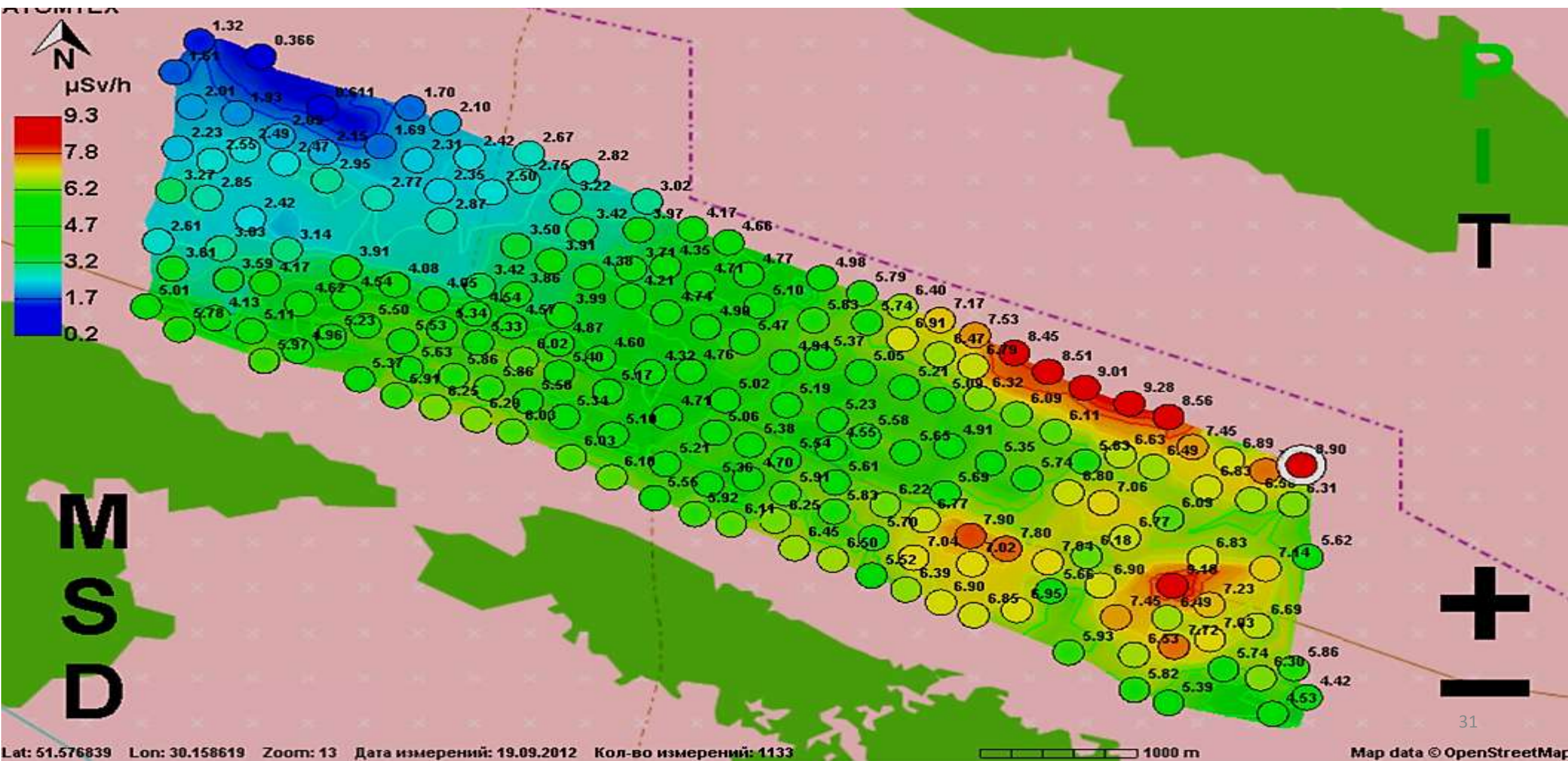




Таблица 5. Относительное отклонение расчетных значений высотных коэффициентов пересчета мощности дозы к уровню 1 м над поверхностью земли от экспериментально полученных значений

Высота, м	50	100	150	200
Относительное отклонение, %	+6,5	+3,0	-9,1	-5,8

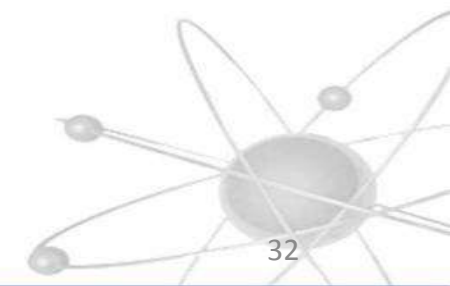
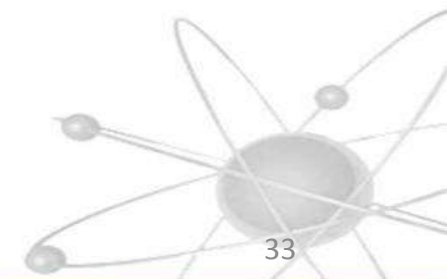


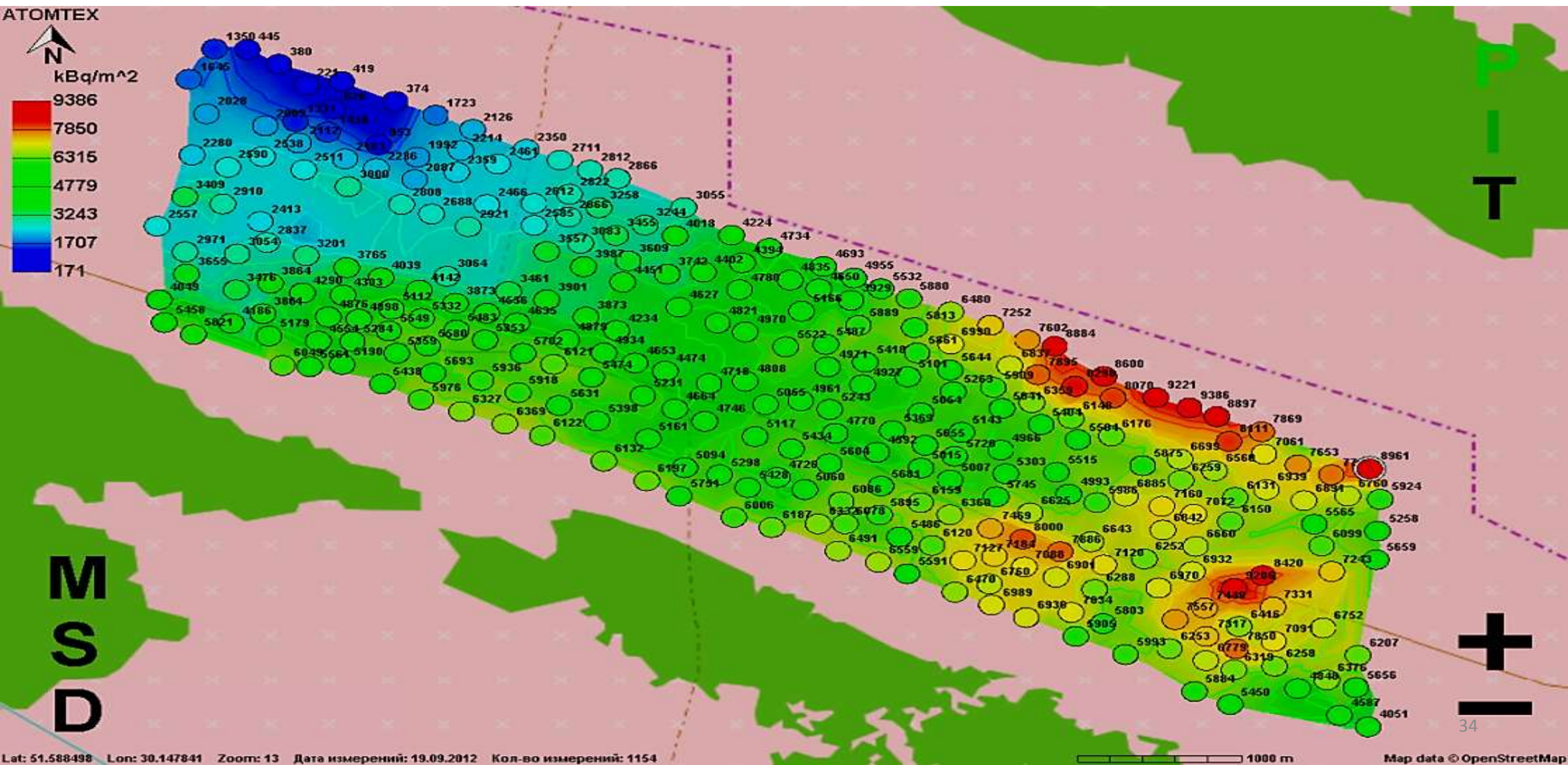


Таблица 6. Суммарная погрешность дистанционных измерений

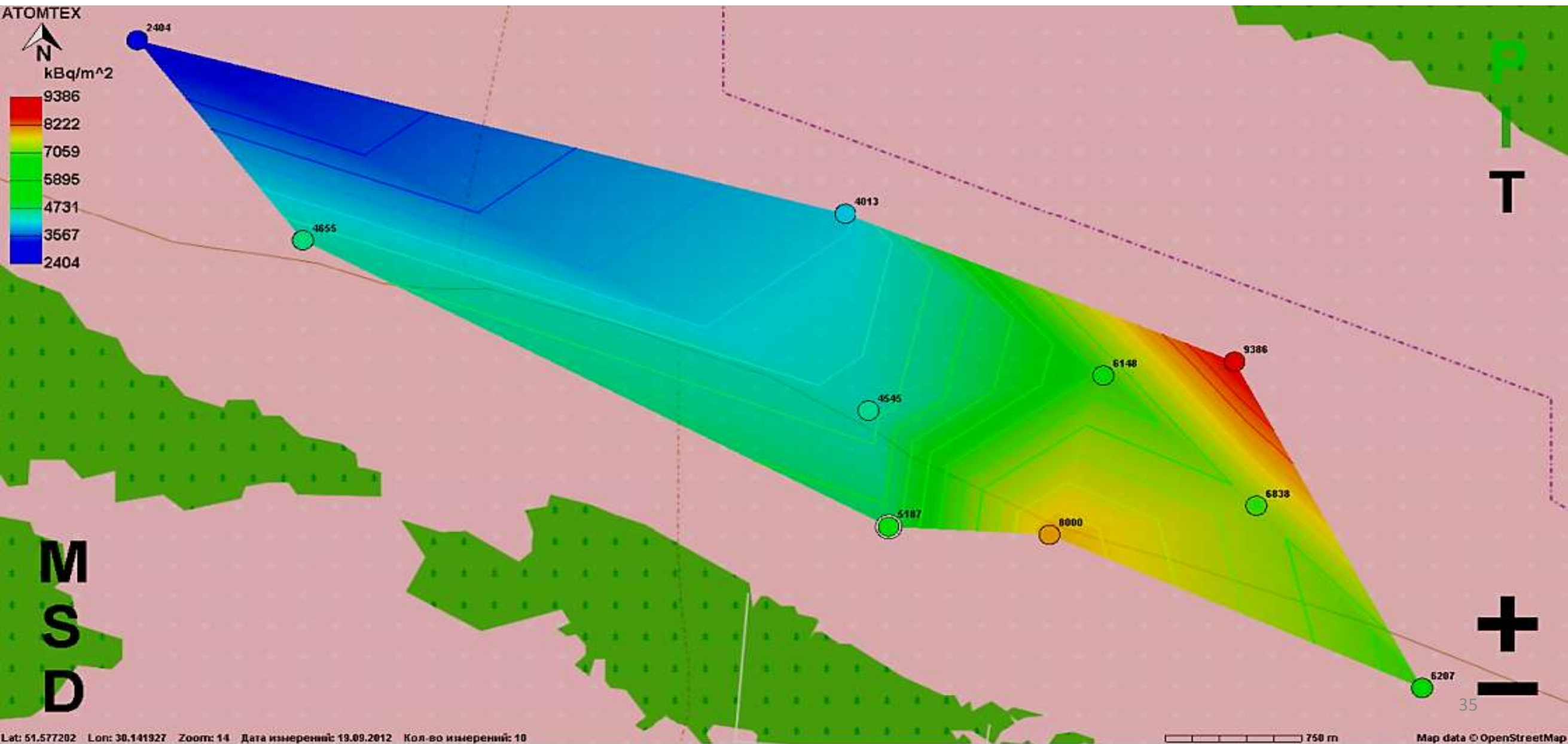
Суммарная погрешность, %	Высота h, м			Энергия первичного гамма-излучения E ₀ , МэВ
	50	150	300	
Суммарная погрешность $\Delta_{осн}$ (при P=0,95)	46,39	46,68	47,69	0,662
$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{осн} + \Delta_{доп}$	45,30	50,78	72,52	0,5 – 0,9



Оценка плотности загрязнения местности радионуклидом ^{137}Cs (средняя глубина залегания ^{137}Cs в почве на всей территории составляет 5 см, средняя плотность почвы 1,26 г/см³) по результатам аэрогамма-съемки



Сопоставление данных по оценке плотности поверхностного загрязнения дистанционным методом и методом пробоотбора (лабораторным анализом) Точки аэрогамма-съёмки, совпадающие с точками пробоотбора



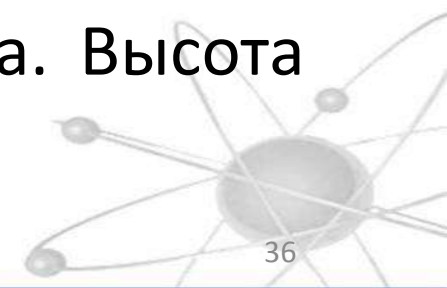


Натурные испытания по обнаружению и локализации точечных гамма-источников

Объект испытаний: аппаратура БАРК-АТ102 (БДКГ-111, БДКГ-104)

Условия испытаний:

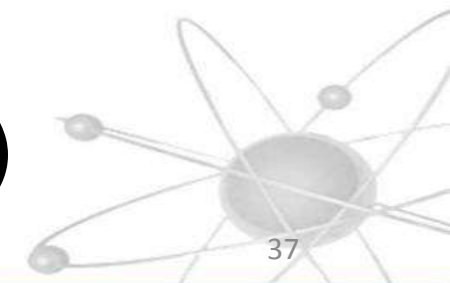
Площадка, на которой установлены 2 облучателя из войскового комплекса ПРХМ, из облучателей извлечены и установлены на земле по одному гамма-источнику с радионуклидом ^{137}Cs активностью порядка 3 Кюри каждый. Расстояние между гамма-источниками около 150 м, размещены вдоль полетного курса. Высота полета – 200 м





БДКГ-24

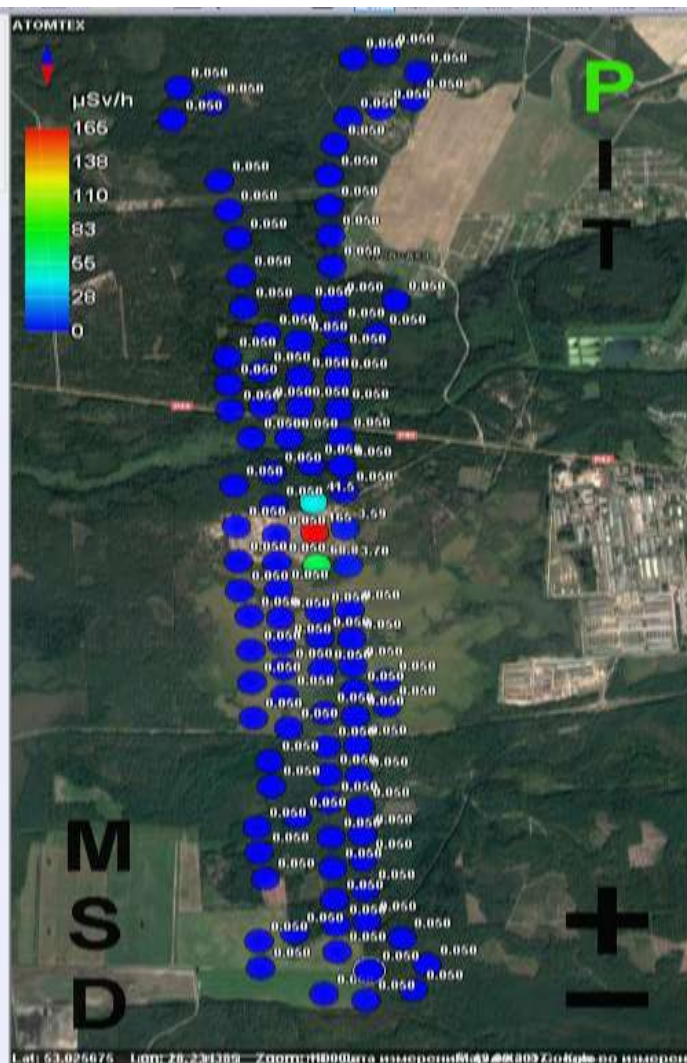
**Дозиметр-радиометр МКС-АТ117М (в составе с КПК)
для наземной пешеходной гамма-съемки**



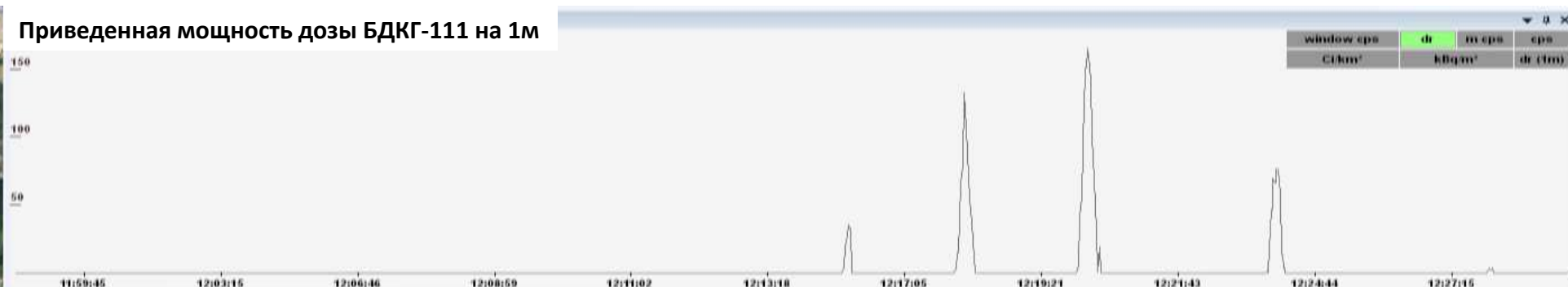
Мощность дозы гамма-излучения в мкЗв/ч на высоте 1 м от точечных источников, измеренная дозиметром-радиометром МКС-АТ1117М



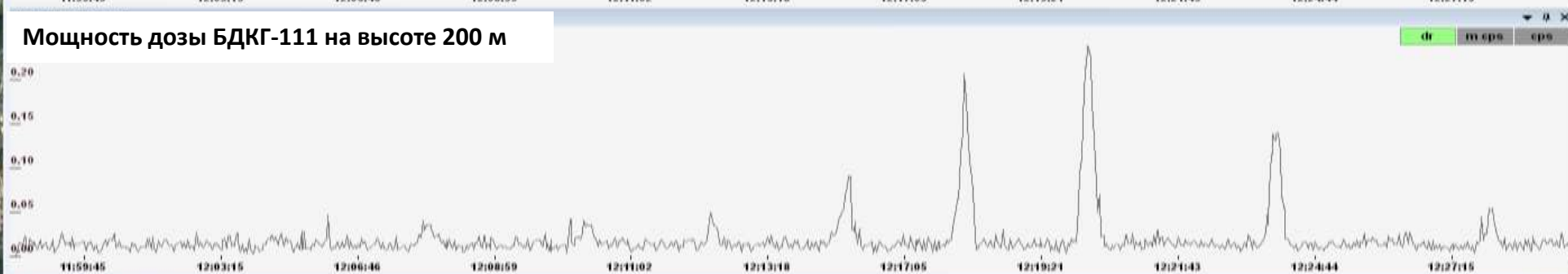
Данные аэрогамма-съемки точечных источников для высоты полета 200 м (ПО «GARM»)



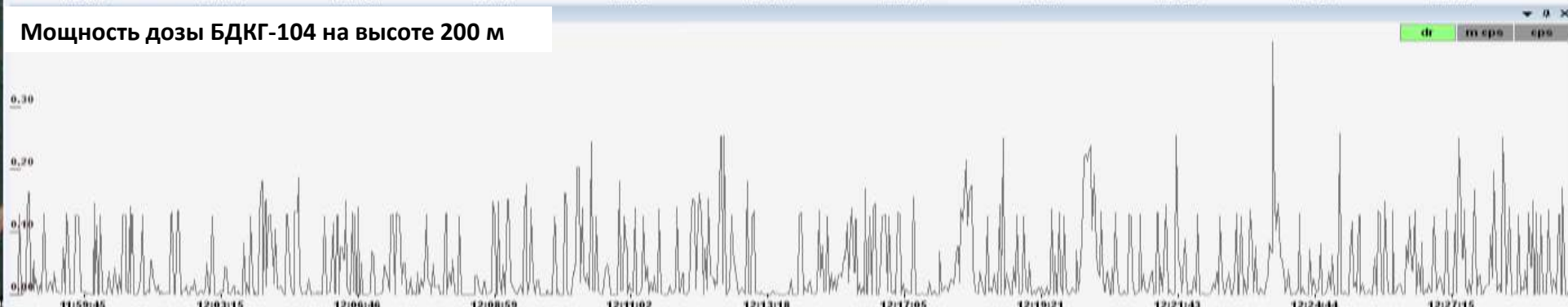
Приведенная мощность дозы БДКГ-111 на 1м



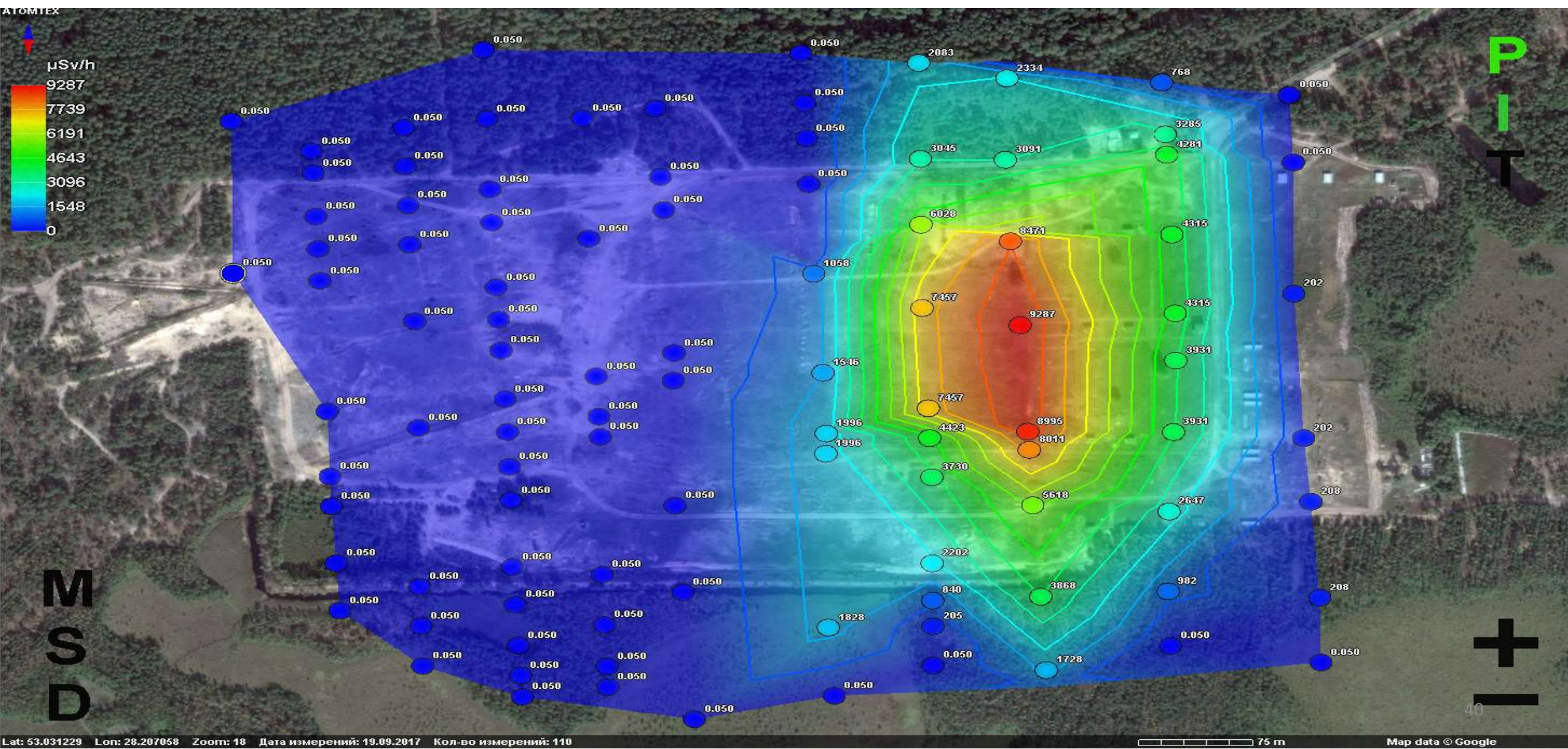
Мощность дозы БДКГ-111 на высоте 200 м



Мощность дозы БДКГ-104 на высоте 200 м



Обнаружение, определение местоположения и оценка МД. Карта радиационных уровней от точечных источников для высоты 1 м по результатам аэрогамма-съемки на высоте 200 м (ПО «GARM»)





Эксперимент в условиях неоднородного радиоактивного загрязнения территории

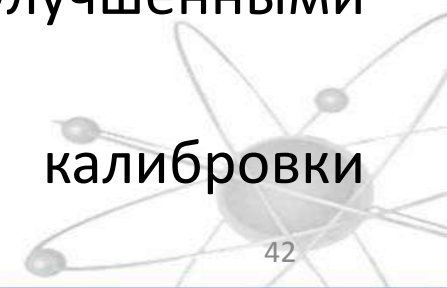
Блок детектирования БДКГ-24 в составе октокоптера компании «ZALA AERO GROUP» (концерн «Калашников») по инициативе компании испытан специалистами ВНИИТФ (ГК «Росатом») на одном из объектов ГК «Росатом» над радиоактивно-загрязненной территорией и объектами, т. е. в условиях высоких градиентов мощности дозы. Получены хорошие результаты для неоднородного излучателя, дополнившие ранее приведенные данные для случаев однородного протяженного и точечного излучателей



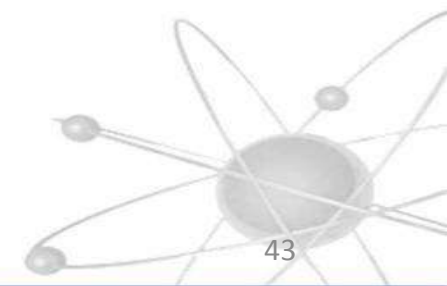


При разработке и выпуске используется современная метрологическая база, созданная своими силами на предприятии, а именно, автоматизированные поверочные установки:

- Установка дозиметрическая гамма-излучения УДГ-АТ110 (до 35 Ки), 4% – 5 %;
- Установка дозиметрическая гамма-излучения УДГ-АТ130 (до 2600 Ки), 2% – 4%;
- Установка поверочная нейтронного излучения УПН-АТ140, 5% – 7%;
- Установка поверочная рентгеновского излучения УПР-АТ300, 5% – 7%;
- Установка дозиметрическая бета-излучения УДБ-АТ200;
- Метрологический стенд для калибровки дозиметрических и спектрометрических БД в энергетическом диапазоне до 10 МэВ;
- Эталонный дозиметр рентгеновского и гамма-излучения ДКС-АТ5350, менее 3 % (завершается разработка новой модификации ДКС-АТ5351 с улучшенными параметрами);
- Комплект высокочувствительных блоков-компараторов для калибровки низкоинтенсивных полей гамма-излучения.



На предприятии создана и функционирует полноценная база для испытаний создаваемой аппаратуры на электромагнитную совместимость и безопасность на соответствие требованиям регламента Таможенного союза ЕАЭС, а также классам безопасности 4 и 3 по регламентам атомной отрасли





Заключение

- Разработана и освоена в производстве линейка конкурентоспособных сцинтилляционных блоков детектирования гамма-излучения, которые могут быть использованы в составе БМЛА для целей радиационного мониторинга
- Проведена апробация и внедрение отдельных блоков детектирования в состав БМЛА различных типов
- Организованы и проведены натурные испытания блоков детектирования
- В результате натурных испытаний определены экспериментально и сопоставлены с расчетными значениями высотные коэффициенты пересчета, установлена высокая степень их согласия
- Ведутся работы по совершенствованию спектрометрических блоков детектирования с использованием сцинтилляционных детекторов высокой разрешающей способности





АТОМТЕХ[®]

Спасибо за внимание!

Республика Беларусь
220005, Минск, ул. Гикало, 5
Тел./Факс: +375-17-292-81-42

info@atomtex.com
www.atomtex.com



EAC

EN