

## Проблемы вычитания фона при индивидуальном дозиметрическом контроле и радиационном контроле на открытой местности

А.И. Григорьев<sup>1</sup>, Л.В. Панкратов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Федеральное бюджетное учреждение здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае», Красноярск

<sup>2</sup> Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Красноярскому краю, Красноярск

*В статье обсуждена проблема адекватной оценки индивидуальных доз облучения персонала, обусловленных совместным действием техногенных (профессиональных) и природных факторов. Приведены результаты и показаны проблемы измерения мощности дозы внешнего гамма-излучения на открытой местности при использовании профессиональных дозиметров с различным уровнем «нулевого фона». Показано, что для корректного учёта природного фона, исключения неверных выводов при дозиметрическом контроле, обеспечения единства измерений при радиационном контроле на открытой местности необходимо подготовить новые методические указания на федеральном или ведомственном уровне.*

Ключевые слова: вычитание фона, индивидуальная доза, Красноярский край, нулевой фон, природный фон, радиационный контроль.

В практике индивидуальной дозиметрии и радиационного контроля часто встречаются ситуации, когда мощность дозы внешнего гамма-излучения близка к фоновым значениям. Такие ситуации требуют учёта как фоновых (природных) значений, так и ряда параметров измерительного прибора, которые не приводятся в технической документации и метрологически не обеспечены. В настоящей статье рассмотрены и обсуждены проблемы вычета природной составляющей радиационного фона при индивидуальном дозиметрическом контроле (ИДК) и сопоставления данных, полученных дозиметрическими приборами с различным откликом на космическое излучение и собственным фоном (так называемый нулевой фон).

### Вычитание природного фона при ИДК

Индивидуальный дозиметрический контроль персонала в большинстве организаций, работающих с источниками ионизирующего излучения (ИИИ), ведётся с использованием термолюминесцентной дозиметрии (ТЛД). При этом при определении индивидуальных доз в рамках проведения дозиметрического контроля сложилось явное противоречие между устоявшейся практикой и действующими методическими указаниями: указания предписывают вычитать природную составляющую фона, а на практике это вычитание не производится.

В методических указаниях МУ 2.6.1.16-2000 «Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в контролируемых условиях обращения с источниками излучения. Общие требования» [1] нет отдельного прямого указания на необходимость вычитания из показаний дозиметров величины природного фона. Однако при описании нормируемых величин профессионального облучения, сказано: «...нормируемые величины характеризуют воздействие техногенных источников на работника вследствие его производственной деятель-

ности в контролируемых условиях обращения с источниками излучения и не включают в себя дозы природного облучения, обусловленные природным радиационным фоном в месте расположения организации».

В соответствии с методическими указаниями МУ 2.6.1.2118-06 «Организация и проведение индивидуального дозиметрического контроля. Персонал медицинских учреждений» [2] для расчётов эффективных доз внешнего облучения персонала показания фоновых дозиметров должны вычитаться из показаний индивидуальных дозиметров. Фоновые дозиметры во время экспонирования рабочих дозиметров необходимо хранить на территории учреждения, где производится индивидуальный дозиметрический контроль, но в помещении, удалённом от любых источников излучения. Пути решения возникающих при таком вычитании фона проблем в настоящем документе не описаны.

Сложившаяся практика индивидуального дозиметрического контроля часто игнорирует вклад природного облучения. При исследовании доз профессионального облучения молчаливо предполагается, что этот вклад ничтожен по сравнению с техногенным облучением.

Оценку ожидаемой величины природного вклада фона при ИДК легко произвести на основании многолетних измерений мощности поглощённой дозы (накопленной дозы) в зданиях различного типа. Такие измерения в Красноярском крае проводятся ежегодно в рамках радиационно-гигиенического мониторинга и составления формы № 4-ДОЗ. Мощность дозы внешнего облучения в зданиях различного типа колеблется от 0,06 мкЗв/час до 0,10 мкЗв/час. Если учесть, что персонал группы А работает не более 11 месяцев (330 дней) в году, а также то, что индивидуальный дозиметр фиксирует природное облучение все 24 часа в сутки, в отличие от техногенного облучения, величина природного вклада в облучение человека на производстве будет находиться в интервале 0,5–0,8 мЗв/год.

Для оценки реальной величины природного вклада фона были выбраны две организации: ОАО «Красноярский машиностроительный завод» («Красмаш»), на котором используются рентгеновские и гамма-дефектоскопы, спектрометры с закрытыми радионуклидными источниками, а также ООО «Добрый Доктор» – медицинское учреждение, использующее стоматологические рентгеновские аппараты – визиографы и ортопантомографы. На «Красмаше» к группе А отнесено 64 человека, в ООО «Добрый Доктор» – 2 человека. В обоих случаях в организациях устанавливалось по 3 фоновых дозиметра. Для определения накопленных доз использовались аппаратные комплексы АКЖДК-201 и ДТУ-01, которые предназначены для интегральных измерений накопленной дозы гамма-излучения при продолжительности измерения от нескольких дней до нескольких месяцев. Они позволяют измерять дозы в диапазоне от 0,05 мЗв до 10 Зв при энергии гамма-излучения 0,03–1,25 МэВ. В таблице 1 приведены итоговые результаты исследований в ООО «Добрый Доктор» и ОАО «Красноярский машиностроительный завод». Время экспонирования дозиметров – 3 месяца.

Таблица 1

**Результаты измерений накопленной дозы (время экспонирования – 3 месяца)**

Организация	Доза персонала (Д), мЗв	Фоновая доза (Ф), мЗв	Д-Ф, мЗв
ОАО «Красмаш»	0,31±0,03	0,18±0,02	0,13±0,04
ООО «Добрый Доктор»	0,32±0,03	0,14±0,02	0,18±0,04

Из данных, приведенных в таблице 1, следует, что вклад природной компоненты в суммарную дозовую нагрузку персонала составляет 40–60%. Таким образом, игнорирование природной компоненты может привести (и приводит) к непропорциональному завышению доз техногенного облучения персонала практически в 2 раза.

По нашим оценкам, среднегодовой вклад природного облучения в суммарную профессиональную дозу составляет по Красноярскому краю ~ 0,6 мЗв.

По данным радиационно-гигиенического паспорта (РГП) Красноярского края за 2009 г., более чем 2300 профессионалов (из организаций, подведомственных Роспотребнадзору), работая с ИИИ, получили годовую коллективную дозу 2,67 чел.-Зв. Это означает, что около 1,6 чел.-Зв коллективной дозы обусловлено природными факторами, а не профессиональной деятельностью. Радиационные риски профессионалов, приведенные в заключении управления Роспотребнадзора по Красноярскому краю на РГП, естественно, несколько завышены.

Для сравнения в таблице 2 приведены значения среднегодовой дозы персонала 3 предприятий госкорпорации «Росатом», функционирующих в Красноярском крае, и персонала всех стоматологических организаций Красноярского края, эксплуатирующих дентальные рентгеновские аппараты. Сведения о дозовых нагрузках персонала предприятий «Росатома» взяты из радиационно-гигиенических паспортов Российской Федерации за 2008 и 2009 гг. [3, 4]. Дозы персонала предприятий «Росатома» определялись с вычитанием природного фона, а дозы

персонала стоматологических организаций – без вычитания; в региональные банки данных по дозам облучения, во все аналитические материалы вплоть до радиационно-гигиенического паспорта региона эти сведения входят (и войдут) именно так, без необходимой поправки.

Таблица 2

**Среднегодовые дозы персонала предприятий «Росатома» и стоматологических организаций Красноярского края, мЗв/год**

Организации	2008 г.		2009 г.	
	группа А	весь персонал	группа А	весь персонал
«Росатом»	1,16	0,97	0,93	0,75
Стоматологические	1,10	1,11	1,04	1,02

Около 30% профессионалов, работающих с ИИИ в Красноярском крае, получают годовые дозы 1–2 мЗв. Учитывая реальный вклад природной компоненты, необходимо часть этих профессионалов перевести в другой диапазон – 0–1 мЗв/год.

Вычитание природной компоненты можно проводить несколькими способами – применением дополнительного фонового дозиметра, периодическим измерением мощности дозы (МД), применением заранее известных величин МД в зданиях различного типа. Разумеется, последнее два способа существенно менее точны и, как правило, не употребляются в ИДК. Но при любом способе присутствует проблема слишком малых (менее технического предела измерения) или отрицательных значений получаемых разностей при вычитании.

В настоящее время мы внедряем в практику организаций, проводящих ИДК своего персонала, в основном, первый способ – применение фонового дозиметра. При этом мы рекомендуем следующий алгоритм действий:

1. Провести суммирование накопленных в течение отчетного года доз за все периоды экспозиции для всех лиц, отнесенных к персоналу группы А (и группы Б, если для них организован инструментальный ИДК), используя данные, приведенные в протоколах. Пусть эти суммарные индивидуальные дозы обозначаются так –  $E_{\Sigma i}$ ,  $i$  – меняется от 1 до N, где N – число лиц предприятия, для которых организован ИДК.

2. Провести суммирование показаний фоновых дозиметров за период контроля. Обозначим полученную сумму –  $E_{\Phi}$ .

3. Определить вклад техногенной составляющей для каждого специалиста:

$$E_{\Sigma 1} - E_{\Phi} = E_1,$$

$$E_{\Sigma 2} - E_{\Phi} = E_2,$$

$$\dots\dots\dots$$

$$E_{\Sigma N} - E_{\Phi} = E_N.$$

4. При выполнении вычитания возможны ситуации, когда результат получается нулевым или отрицательным. Это возможно, так как вклад техногенной составляющей обычно невелик, а во многих случаях статистически неотличим от фона. В таком случае необходимо за результат вычитания принять величину 0,05 мЗв, которая (в случае использования дозиметрического комплекса АКЖДК-201) является статистическим пределом определения величины накопленной эффективной дозы.

5. Такую же величину – 0,05 мЗв – надо приписать тому специалисту, для которого процедура вычитания даёт результат  $0,05 > E > 0$ .

Полученные величины  $E_i$  будут корректно оценивать годовые эффективные дозы, полученные персоналом при работе с техногенными ИИИ, и могут быть внесены в РГП и форму № 1-ДОЗ предприятия.

Некоторые организации отказываются брать дополнительный дозиметр каждый квартал и предпочитают определять вклад природной составляющей по ежегодным измерениям МД в местах нахождения персонала при неработающей аппаратуре (если это генерирующий источник). Но при этом возникают те же проблемы с вычитанием, а также с переводом показаний используемых дозиметров в эффективную дозу и учётом сезонных изменений МД.

Вот почему необходим, по нашему мнению, единый подход к вычитанию природного вклада. Необходим новый нормативный документ, обязательный для применения всеми поднадзорными организациями, в котором будет чётко и однозначно прописано следующее:

- какой способ учёта из 3 упомянутых можно применять, и если можно применять все три, то каковы условия их применения;
- как оценивать величину дозы при отрицательных результатах вычитания;
- как оценить минимальную величину дозы – из технических условий дозиметрического прибора (установки) или из статистики измерений.

Только подготовка и издание нового нормативного документа обеспечит единство измерений и расчётов индивидуальных доз персонала по всей Российской Федерации.

### Проблема нулевого фона при радиационных измерениях на открытой местности

При измерении МД на открытой местности дозиметрами различного типа неучёт так называемого нулевого фона дозиметров может существенно исказить оценки доз внешнего гамма-излучения. Как известно, нулевой фон – это сумма собственного фона прибора и его отклика на космическое излучение. Разумеется, для ряда исследований эта проблема неактуальна – например, нет необходимости точно знать нулевой фон дозиметра при отдельном обследовании типовых земельных участков. Но для получения единой картины, характеризующей радиационную обстановку в большом регионе (таком, например, как Красноярский край), когда измерения в разных частях региона делаются разными приборами, эта проблема чрезвычайно актуальна.

Показательный пример – использование двух различных дозиметров – МКС-АТ 1125 и ДРГ-01Т1 при измерении мощности дозы по одному маршруту в городе Красноярске. На рисунке 1 изображено изменение МД вдоль маршрута, измеренное этими дозиметрами, причём показания последнего переводились в мкГр/час (мощность поглощённой дозы) умножением на известный коэффициент 0,0088 (мкГр/мкР).

На рисунке 2 показания ДРГ-01Т1 переведены в единицы амбиентного эквивалента мощности дозы (мкЗв/час) домножением ещё на один известный коэффициент – 0,7 (мкЗв/мкГр) [5, 6]. Как видно из рисунков, мультипликативное приведение значений не убирает систематическую разницу, которая в данном случае остаётся существенной.

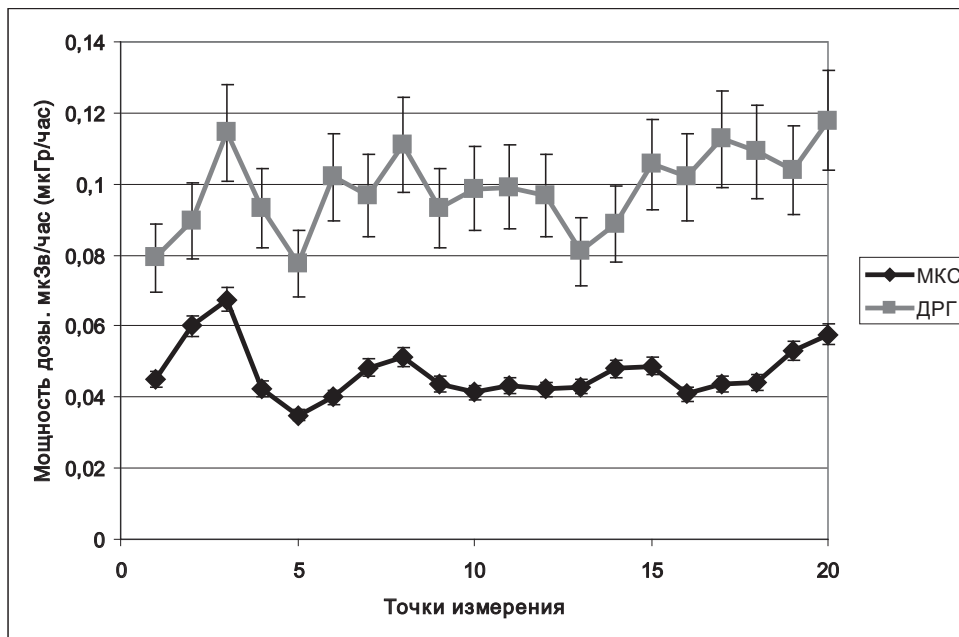


Рис. 1. Мощность дозы вдоль маршрута, измеренная двумя разными дозиметрами, с применением одного коэффициента приведения

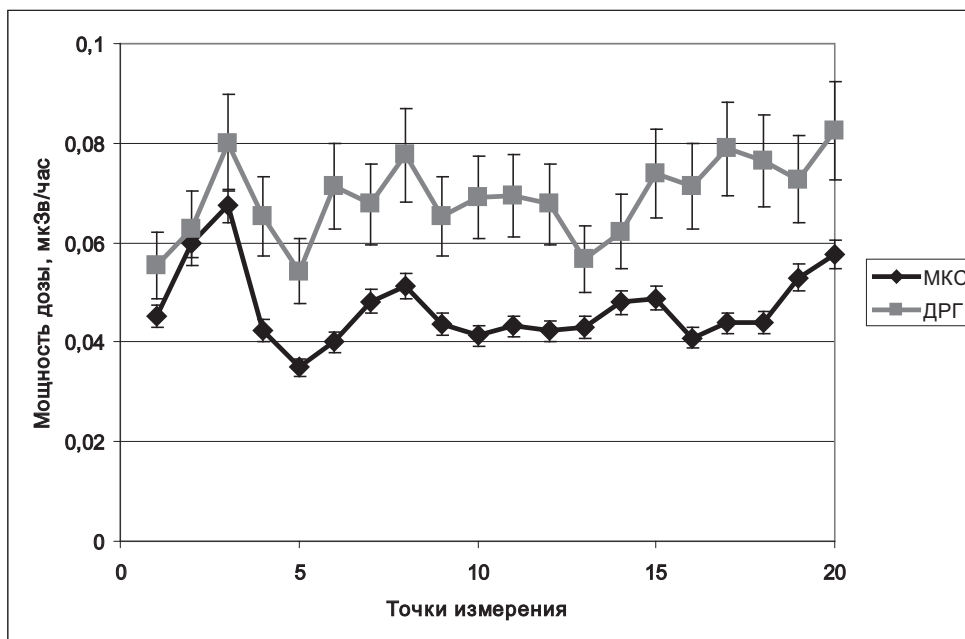


Рис. 2. Мощность дозы вдоль маршрута, измеренная двумя разными дозиметрами, с применением двух коэффициентов приведения

С учётом вышеизложенного давно назрела необходимость вычитания или собственного фона дозиметров, или так называемого нулевого фона. Есть несколько нормативных документов, в которых описывается процедура такого действия. Однако эти документы или специальные, т.е. обязательны для применения только на загрязнённых территориях («Радиационный мониторинг доз облучения населения территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС») [7], или поверхностно описывают такое действие (МР «Форма федерального государственного статистического наблюдения № 4-ДОЗ») [6].

Так как заводы-изготовители не утруждают себя необходимостью хотя бы оценить величину собственного или нулевого фона, в каждом регионе такие исследования необходимо проводить самостоятельно. В Красноярском крае ведущие организации, заинтересованные в таких измерениях, осуществили совместный эксперимент. Красноярский филиал ФГУП «Госцентр «Природа», ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае», ФГУП «Горнохимический комбинат» и геолого-экологическое предприятие «ГеоЛа» собрали дозиметры 10 различных типов, используемые в радиоэкологической практике, и оценили их нулевой фон на Красноярском море (при глубине не менее 200 м, а удалении от берегов – не менее 400 м). Количество измерений – не менее 100 для каждого прибора.

В таблице 3 и на рисунке 3 приведены полученные в эксперименте значения нулевого фона для этих приборов. Как видно, диапазон весьма велик: от 0,011 до 0,083 мкЗв/час. Его условно можно разбить на 4 части: от 0 до 0,03 мкЗв/ч; от 0,03 до 0,05 мкЗв/ч; от 0,05 до 0,08 мкЗв/ч и выше 0,08 мкЗв/ч. Эти части изображены разной штриховкой на рисунке 3.

После возвращения на берег всеми приборами была измерена мощность дозы в одном и том же месте.

Результаты изображены на рисунке 4. Как видно, средние значения МД для различных групп приборов разные: 0,047 мкЗв/ч, 0,069 мкЗв/ч, 0,095 мкЗв/ч.

Для получения истинных (или хотя бы сравнимых) значений МД при одновременном измерении различными приборами необходимо из береговых показаний вычесть нулевой фон, а затем добавить некоторое среднее значение МД, обусловленной космическим излучением. В соответствии с данными Научного комитета по действию атомной радиации (НКДАР ООН) [8] эта величина равна 0,32 мкЗв/ч, в соответствии с российскими документами [6] она равна  $400/8800 = 0,045$  (мкЗв/ч). На рисунке 5 изображён реконструированный истинный фон на берегу. Как видно из рисунка 5, эти данные уже могут быть отнесены к одной генеральной совокупности.

Таблица 3

Нулевой фон различных дозиметров

Дозиметр	Тип датчика	Нулевой фон, мкЗв/ч
МКС-АТ 6101С	Сцинтиллятор	0,011±0,002
МКС-АТ 6101Д	Сцинтиллятор	0,012±0,001
МКС-АТ 6101	Сцинтиллятор	0,012±0,002
МКС-АТ 1125	Сцинтиллятор	0,015±0,002
МКС-1117	Сцинтиллятор	0,022±0,004
МКС-6130	Газоразрядный	0,036±0,020
GammaTRACER	Газоразрядный	0,055±0,007
МКС/СРП-08А	Сцинтиллятор	0,065±0,022
ДРГ-01 Т1	Газоразрядный	0,075±0,015
ДРБП-03	Газоразрядный	0,083±0,018

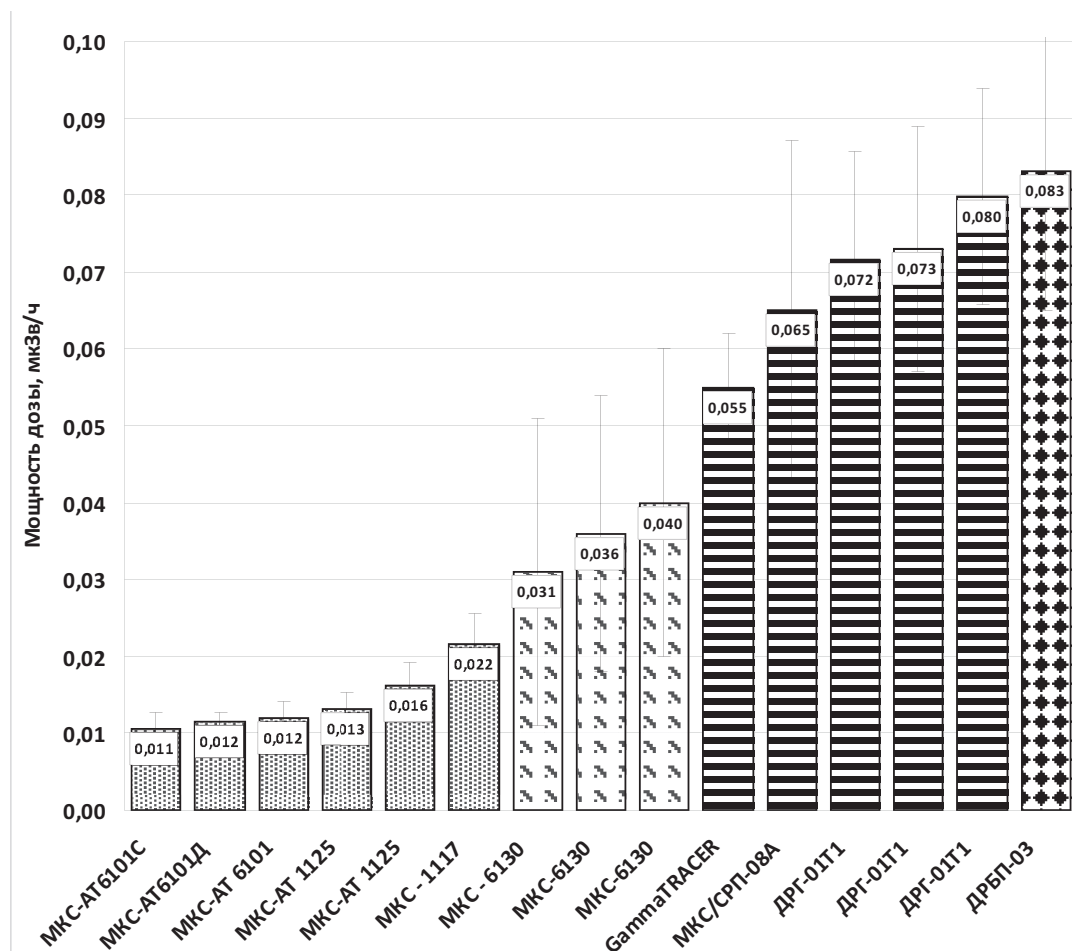


Рис. 3. Нулевой фон различных дозиметрических приборов

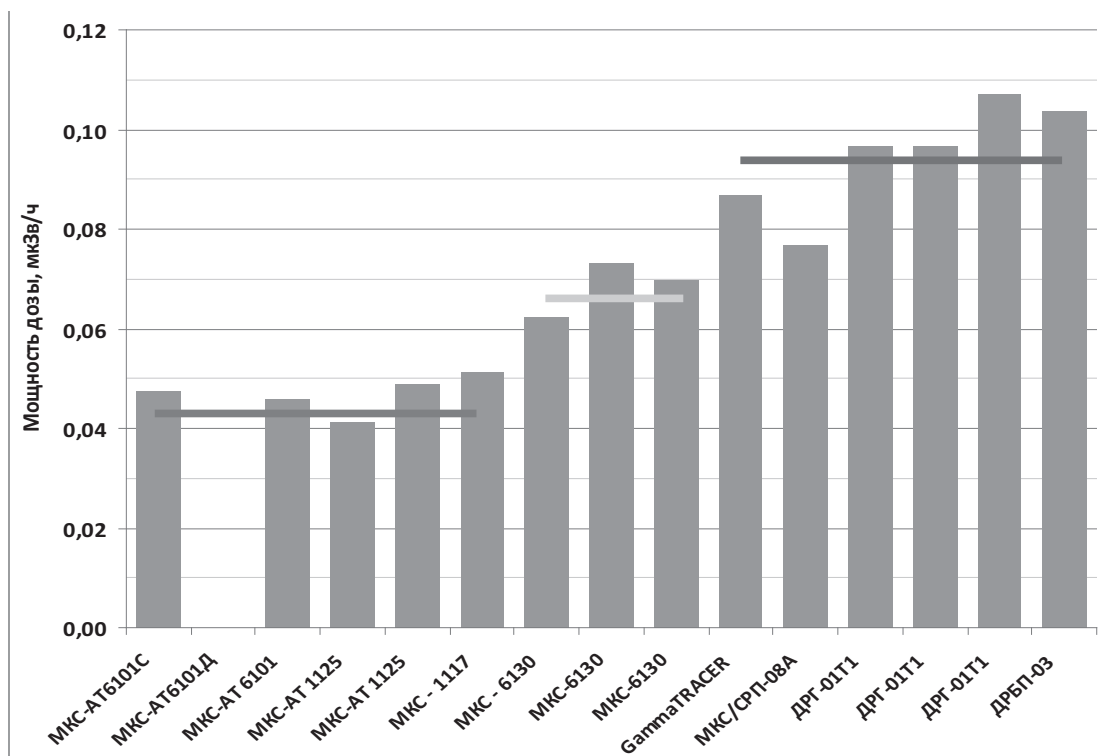
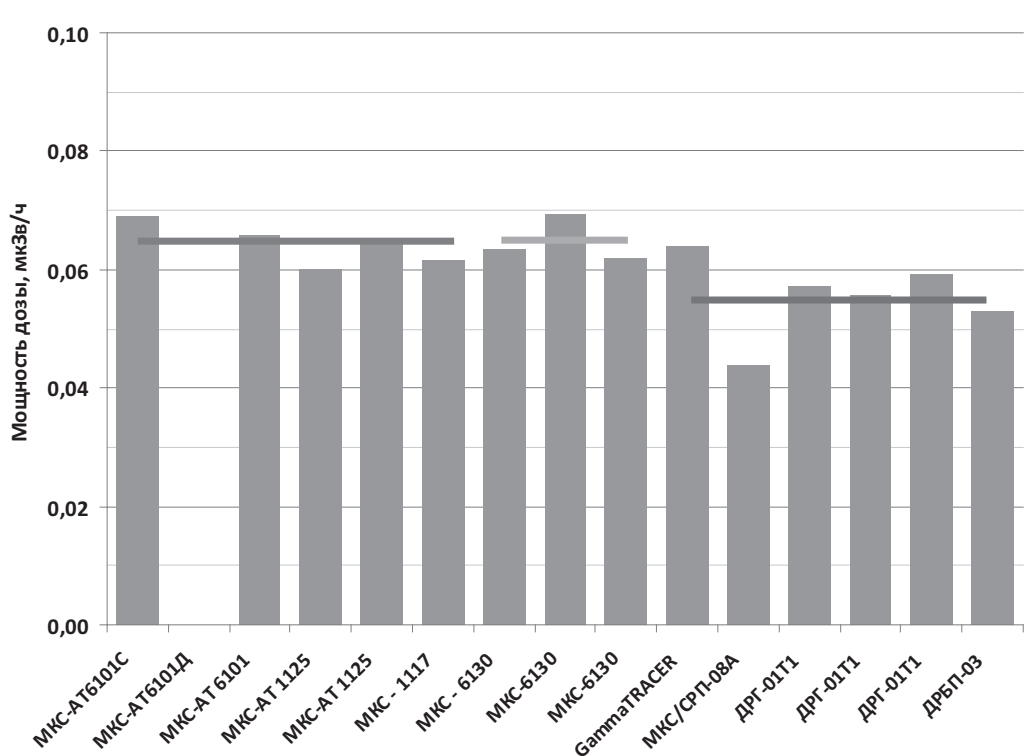


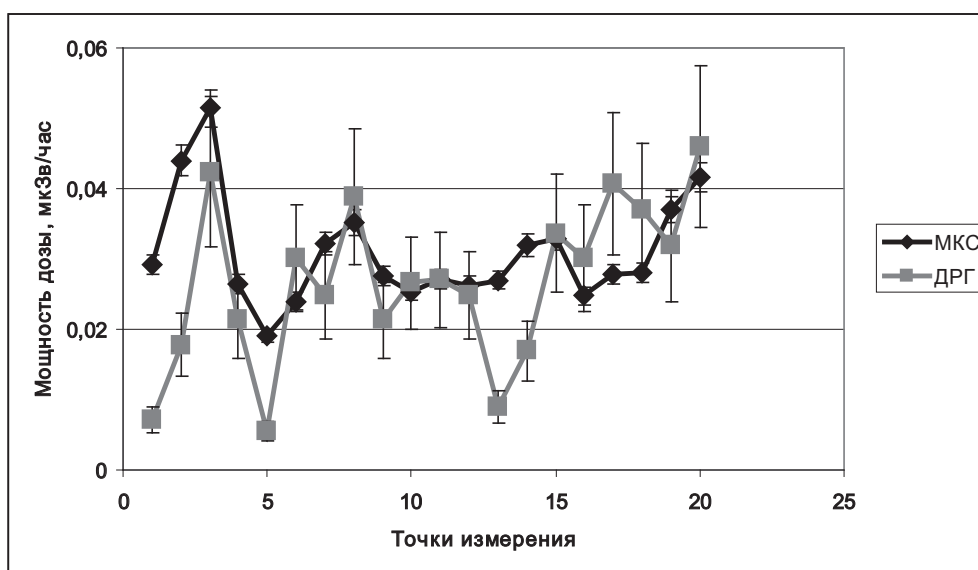
Рис. 4. Результаты измерения МД на берегу  
(усредняющие линии слева направо: 0,047 мкЗв/ч, 0,069 мкЗв/ч, 0,095 мкЗв/ч)



**Рис. 5.** «Истинный» гамма-фон на берегу  
(усредняющие линии слева направо: 0,064 мкЗв/ч, 0,065 мкЗв/ч, 0,056 мкЗв/ч)

Полученные по выше описанному алгоритму данные позволяют уверенно использовать дозиметры различных типов для сравнительных измерений МД внешнего гамма-излучения на открытой местности как в рамках радиационно-гигиенического мониторинга территории, так и при радиационном обследовании земельных участков.

Теперь вернёмся к примеру, изображённому на первых двух рисунках, где было показано, что с помощью применения мультипликативных коэффициентов не всегда возможно объединить измерения, сделанные разными дозиметрическими приборами. Используем полученные значения нулевого фона и просто вычтем их из графиков (рис. 6).



**Рис. 6.** Мощность дозы вдоль маршрута, измеренная двумя разными дозиметрами, с вычитанием нулевого фона

Если на рисунке 1 средние значения по маршруту составляли 0,099 и 0,047 мкЗв/ч для ДРГ и МКС соответственно, то на рисунке 6 средние значения составляют 0,027 и 0,031, что статистически неотличимо.

В свете вышесказанного понятно, что для унификации измерений, для корректного объединения данных, получаемых в рамках радиационно-гигиенического мониторинга, необходимо на всей территории Российской Федерации применять идентичный подход для обязательного учёта различного нулевого фона используемых приборов.

И вновь необходима инструкция, обязательная для применения хотя бы в системе Роспотребнадзора, в которой должно быть предусмотрено следующее:

– чёткий порядок и условия определения нулевого фона приборов, используемых в радиационно-гигиеническом мониторинге и оценке доз;

– периодичность таких определений и ответственные организации;

– учёт широтного и высотного эффектов при планировании и проведении поверочных действий.

Таким образом, для корректного учёта фоновых (природных) значений и ряда параметров измерительного прибора, чтобы избежать неверных выводов при дозиметрическом контроле и обеспечить единство измерений при радиационном контроле на открытой местности, необходимо, по нашему мнению, подготовить новые методические указания на федеральном или ведомственном уровне. Важно, чтобы новые методические указания применялись в практике большинства лабораторий радиационного контроля по всей территории Российской Федерации.

## Литература

1. Методические указания «Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в контролируемых условиях обращения с источниками излучения. Общие требования»: (МУ 2.6.1.16-2000): утв. и введ. в действие 28.09.00.
2. Методические указания «Организация и проведение индивидуального дозиметрического контроля. Персонал медицинских учреждений»: МУ 2.6.1.2118-06, утв. 14.08.06, введ. в действие с 01.10.06.
3. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2008 г. (радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 112 с.
4. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2009 год (радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 132 с.
5. Сахаров, В.К. Радиоэкология: учебное пособие / В.К. Сахаров. – СПб.: Издательство «Лань», 2006. – 320 с.
6. Методические рекомендации «Форма федерального государственного статистического наблюдения № 4-ДОЗ. Сведения о дозах облучения населения за счёт естественного и техногенно измененного радиационного фона»: утв. 19.04.07. – Взамен МР № 11-2/283-09. – М., 2007. – 30 с.
7. Методические рекомендации «Радиационный мониторинг доз облучения населения территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС»: утв. 27.12.07, введ. в действие с 27.12.07.
8. Источники и эффекты ионизирующей радиации : отчёт Научного комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР) Генеральной ассамблеи (6 июня 2000 г.). – ООН, НКДАР. – 154 с.

A.I. Grigorev<sup>1</sup>, L.V. Pankratov<sup>2</sup>

### Problems of Subtraction of the Background in the Process of the Individual Radiation Control and Radiating Control on Open Air

<sup>1</sup> Federal Organization for Health Protection «Center of Hygiene and Epidemiology in Krasnoyarsk region», Krasnoyarsk

<sup>2</sup> Administration of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being in Krasnoyarsk region, Krasnoyarsk

*Abstract. In article the problem of an adequate estimation of individual doses of the personnel exposure, caused by the combined action of artificial (professional) and natural factors, is discussed. Results and problems of measurement of a dose rate of external gamma radiation on the open air are shown at the use of professional dosimeters with various levels of the «zero background». It is shown that for the correct account of the natural background, an exception of incorrect conclusions at a radiation control, maintenance of unity of measurements at radiating control on open air, it is necessary to prepare new methodical instructions of the Federal or departmental level.*

*Key words: background subtraction, an individual dose, Krasnoyarsk region, «zero» background, natural background, radiation control.*

Поступила: 05.11.2011 г.

А.И. Григорьев  
Тел.: (812)233-42-83