

**Н. А. МЕЛЬНИК**

**РАДИОАНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ  
И ОБЪЕКТОВ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»  
(ФИЦ КНЦ РАН)

ИНСТИТУТ ХИМИИ И ТЕХНОЛОГИИ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ  
И МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ им. И.В.ТАНАНАЕВА  
(ИХТРЭМС КНЦ РАН)

**Н. А. МЕЛЬНИК**

**РАДИОАНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ  
И ОБЪЕКТОВ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

Апатиты  
2018

УДК 543:546.79  
ББК 51.26  
М 48

Рецензенты:

А.М. Калинин, Глав. науч. сотр., зав. ОТСМ ИХТРЭМС КНЦ РАН, докт. хим. наук.  
В.И. Костюк, Вед. науч. сотр. ПАБСИ КНЦ РАН, докт. биол. наук

М48 Мельник, Н. А. Радиоаналитические методы анализа технологических продуктов и объектов природной среды. / Н. А. Мельник – Апатиты: КНЦ РАН, 2018. – 273 с.: ил.

ISBN 978-5-91137-379-5

В книге представлены радиоаналитические методы анализа технологических продуктов и объектов природной среды. Методики, разработанные автором, аттестованы в Центре метрологии ионизирующих излучений «ВНИИФТРИ».

Методики применялись для радиационной оценки химических технологий, строительных материалов, горных пород, промышленных отходов и других продуктов. Методики использовались при проведении инженерно-радиологических изысканий и радиологических исследований наземных экосистем для оценки воздействия ионизирующего излучения на окружающую среду. Публикация монографии позволит расширить область радиологических исследований, сертификации различной продукции по радиационному фактору и области их применения. Ил. – 55, табл. – 35, библиогр. – 308 назв.

Монография предназначена для специалистов, работающих в области обеспечения радиационной безопасности и радиационного контроля; может быть использована в качестве учебного пособия для курсов повышения квалификации по этим специальностям.

**УДК 543:546.79**  
**ББК 51.26**

Научное издание

Технический редактор: В. Ю. Жиганов

Подписано к печати 29.10.2018. Формат бумаги 70×108 1/16.  
Усл. печ. л. 23,9. Заказ № 30. Тираж 500 экз.  
Издательство ФГБУН ФИЦ КНЦ РАН  
184209, г. Апатиты, Мурманская область, ул. Ферсмана, 14  
www.naukaprint.ru

**ISBN 978-5-91137-379-5**

© Мельник Н.А., 2018  
© ИХТРЭМС ФИЦ КНЦ РАН, 2018

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES  
KOLA SCIENCE CENTRE

**I. V. Tananaev Institute of Chemistry and Technology  
of Rare Elements and Mineral Raw Materials  
of (FITS KSC RAS) KSC RAS (INTREMS KSC RAS)**

**N. A. MELNIK**

**RADIOANALYTICAL METHODS OF ANALYSIS  
OF TECHNOLOGICAL PRODUCTS AND OBJECTS  
OF THE NATURAL ENVIRONMENT**

Apatity  
2018

UDC 543:546.79  
BBC 51.26  
M 48

#### Reviewers

A.M. Kalinkin, chief researcher, IHTREMS KNC of RAS, Dr.Sci.Chem.  
V.I. Kostiuk, Leading researcher of PABSI KNC of RAS, Dr.Sci.Biol.

Melnik, N. A. Radioanalytical methods of the analysis of technological products and objects of the environment / N. A. Melnik - Apatity: Publ. KSC RAS, 2018. – 273 p., Il.

ISBN 978-5-91137-379-5

Radioanalytical methods of the analysis of technological products and objects of the environment are presented in the book. The techniques developed by the author are certified in the Center of metrology of ionizing radiation VNIIFTRI. Techniques were applied to radiation assessment of chemical technologies, building materials, rocks, industrial wastes and other products. Techniques were used when carrying out engineering and radiological researches and radiological researches of land ecosystems for assessment of impact of ionizing radiation on the environment. The publication of the monograph will allow to broaden area of radiological researches, certifications of various production on a radiation factor and the field of their application. Il – 55, tabl. – 35, bibl. – 308 titles, app.

The monograph is intended for professionals working in the field of radiation safety and radiation control; it can be used in quality of the manual for advanced training courses on these specialties.

**UDC 543:546.79**  
**BBC 51.26**

**ISBN 978-5-91137-379-5**

© Melnik N.A., 2018  
© IHTREMS KNC of RAS, 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Принятые сокращения .....	7
Термины и определения .....	8
ВВЕДЕНИЕ .....	11
1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ (АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР).....	13
1.1. Современное состояние методов определения природных радионуклидов	13
1.2. Общие требования к радиационному контролю .....	21
Список литературы .....	25
2. РАДИОАНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И ПРОДУКТОВ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ .....	29
2.1. Определение естественных радионуклидов на бета-альфа-радиометре «Спутник» .....	29
2.2. Определение радиационно-гигиенических характеристик строительных материалов .....	47
2.3. Экспрессное определение диоксида титана в продуктах обогащения перовскитового концентрата гамма-спектрометрическим методом .....	61
2.4. Экспрессное определение структуры цирконатов и титанатов калия гамма-спектрометрическим методом .....	73
2.5. Определение радиационно-гигиенических характеристик минеральных удобрений и мелиорантов .....	85
2.6. Метод радиационного контроля радиоактивных отходов .....	93
2.7. Метод дозиметрического контроля радиоактивного загрязнения металлолома.....	110
3. РАДИОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ	120
3.1. Определение радиационно-гигиенических характеристик снежного покрова и водных объектов .....	121
3.2. Метод радиохимического анализа атмосферных осадков и аэрозолей ....	138
3.3. Определение радиационно-гигиенических характеристик почвы и донных отложений.....	148
3.4. Определение радиационно-гигиенических характеристик растительных объектов .....	166
3.5. Метод радиационного контроля лекарственных препаратов на растительной основе .....	179
Выводы.....	184
4. МЕТОДЫ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ .....	187
4.1. Методика измерения гамма-фона в городах и населенных пунктах, на территориях застройки (пешеходным методом) .....	187
4.2. Методика радиологического обследования жилых и общественных зданий	200
4.3. Определение концентраций радона и торона в атмосфере при инженерных изысканиях .....	218
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	228
Перечень оригинальных публикаций .....	233
<b>Приложение 1.</b> Список действующих нормативно-правовых документов по радиационной безопасности и радиационному контролю.....	239
<b>Приложения 2.</b> Инструкция по технике безопасности при работе с радиоактивными веществами и источниками ионизирующего излучения .....	241
<b>Приложение 3.</b> Аттестат аккредитации и область аккредитации РЛРК ИХТРЭМС КНЦ РАН .....	258

## CONTENTS

	Page
Abbreviations adopted.....	7
Terms and definition .....	8
INTRODUCTION .....	11
1. CURRENT STATUS OF METHODS FOR THE DETERMINATION OF NATURAL RADIONUCLIDES (ANALYTICAL REVIEW) .....	13
1.1. Current state of methods for determining natural radionuclides.....	13
1.2. General requirements for radiation control .....	21
Literature.....	25
2. RADIOANALYTICAL METHODS OF ANALYSIS OF MINERAL RAW MATERIALS AND PRODUCTS OF ITS PROCESSING.....	29
2.1. Determination of natural radionuclides on beta-alpha-radiometer «Sputnik».....	29
2.2. Determination of radiation and hygienic characteristics of building materials....	47
2.3. Express determination of titanium dioxide in the products of perovskite concentrate enrichment by gamma-spectrometry method .....	61
2.4. Express determination of the structure of zirconate and potassium titanate by gamma-spectrometry method .....	73
2.5. Determination of radiation and hygienic characteristics of mineral fertilizers and meliorants .....	85
2.6. Method of radiation control of radioactive waste .....	93
2.7. Method of radiation control of radioactive pollution of scrap metal .....	110
3. RADIOCHEMICAL METHODS OF THE ANALYSIS OF LAND ECOSYSTEMS .....	120
3.1. Determination of radiation-hygienic characteristics of snow cover and water objects .....	121
3.2. Method of radiochemical analysis of atmospheric precipitation and aerosols ....	138
3.3. Determination of the radiation-hygienic characteristics of the soil and sediment.....	148
3.4. Determination of the radiation and hygienic characteristics of plant objects.....	166
3.5. Methods of radiation control of medicines plant .....	179
Conclusion .....	184
4. METHODS OF RADIOECOLOGICAL RESEARCHES WHEN PERFORMING ENGINEERING-ECOLOGICAL RESEARCHES .....	187
4.1. A technique of measurement of a gamma background in the cities and settlements, in territories of building (a pedestrian method) .....	187
4.2. Technique of radiological inspection of residential and public buildings ...	200
4.3. Definition of concentration of radon and toron in the atmosphere at engineering researches .....	218
CONCLUSION.....	228
List of original publications .....	233
<b>Annex 1.</b> List of existing legal documents in the field of nuclear energy use.....	239
<b>Annex 2.</b> Safety instructions for working with radioactive substances and sources of ionizing radiation .....	241
<b>Annex 3.</b> Certificate of accreditation and scope of accreditation RLRC ICTREMS KSC RAS.....	258

## ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

АЭС	– атомная станция;
ДПР	– дочерние продукты распада;
ЕРН	– естественные радионуклиды (природные – ПРН);
ЗН	– зона наблюдения
ИИ	– ионизирующее излучение;
ИИИ	– источник ионизирующего излучения;
КИ	– контрольный источник;
МВИ	– методика выполнения измерений;
МАЭД	– мощность амбиентной эквивалентной дозы (Н, Д);
МЗА	– минимально значимая активность;
МЗУА	– минимально значимая удельная активность;
МЭД	– мощность эквивалентной дозы;
ОА	– объемная активность;
ОИАЭ	– область использования атомной энергии;
ПДД	– предельно допустимая доза;
РА	– радиационная авария;
РБ	– радиационная безопасность;
РВ	– радиоактивное вещество (ОРнИ);
РИ	– радиационный источник;
РК	– радиационный контроль;
РО	– радиационный объект (РОО – радиационно опасный объект);
РАО	– радиоактивные отходы (ТРО – твердые, ЖРО – жидкие);
СИ	– средство измерений;
СЗЗ	– санитарно-защитная зона;
СИЗ	– средства индивидуальной защиты;
СО	– стандартный образец;
СП	– санитарные правила;
УВ <sub>нас</sub>	– уровень вмешательства для населения;
ЦМИИ «ВНИИФТРИ»	– Центр метрологии ионизирующих излучений Всероссийского научно-исследовательского института физико-технических и радиотехнических измерений
ЭРОА Rn	– эквивалентная равновесная объемная активность радона
ЭРОА Tn	– эквивалентная равновесная объемная активность торона

## ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

*Вмешательство* — мероприятие (действие), направленное на предотвращение либо снижение неблагоприятных последствий облучения или комплекса неблагоприятных последствий радиационной аварии, применимое, как правило, не к источнику излучения, а к окружающей среде и/или человеку.

*Дезактивация* — удаление радиоактивного загрязнения с какой-либо поверхности или из какой-либо среды или его снижение. Одно из мероприятий по ликвидации последствий применения ядерного оружия, аварий ядерных реакторов и др.

*Допустимый уровень удельной активности (H)* — установленное содержание в различных продуктах растительного происхождения ведущих радионуклидов техногенного происхождения, определяющих дозы внутреннего (при пищевом пути поступления) и внешнего облучения —  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ .

*Естественные (природные) радионуклиды (ЕРН)* — основные радионуклиды природного происхождения, содержащиеся в исследуемых материалах: радионуклиды семейств урана-238(радий-226) и тория-232, калий-40.

*Контроль с отбором проб* — способ получения информации о контролируемом параметре, при котором в установленном порядке происходит предварительный отбор и (или) подготовка пробы (отбор жидкости в кювету, прокачивание воздуха через фильтр, выпаривание, концентрирование, радиохимическое выделение нуклида и т. п.).

*Космическое излучение* — излучение, приходящее от Солнца и из космического пространства, изменяющееся в зависимости от географической широты и высоты местности.

*Космогенные радионуклиды* (в основном  $^{14}\text{C}$  и  $^7\text{Be}$ ), образующиеся в результате взаимодействия космического излучения с атомами атмосферного воздуха (азота, кислорода и др.).

*Минимально-значимая активность (МЗА, Бк)* — активность открытого источника ионизирующего излучения в помещении или на рабочем месте, при превышении которой требуется разрешение органов государственной санитарно-эпидемиологической службы на использование этих источников, если при этом также превышено значение минимально значимой удельной активности.

*Минимально-значимая удельная активность (МЗУА, Бк/г)* — удельная активность открытого источника ионизирующего излучения в помещении или на рабочем месте, при превышении которой требуется разрешение органов государственной санитарно-эпидемиологической службы на использование этих источников, если при этом также превышено значение минимально значимой активности.

*Мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МАЭД, в дальнейшем – мощности дозы гамма-излучения)* — доза внешнего гамма-излучения от содержащихся в образце радионуклидов за единицу времени, единицы измерения – Зв (Зиверт) и ее производные (мЗв/ч, мкЗв/ч).

*Объемная активность радионуклида (A)* — отношение активности радионуклида в образце к его объему (V), Бк/м<sup>3</sup>:  $A_v = A/V$ .

*Обращение с радиоактивными отходами* — все виды деятельности, связанные со сбором, транспортированием, переработкой, хранением и захоронением радиоактивных отходов.

*Плотность загрязнения почвы техногенными радионуклидами (S)* — удельная радиоактивность почвы на определяемой площади, кБк/м<sup>2</sup> (Ки/км<sup>2</sup>).

*Радиоактивность* — самопроизвольное превращение неустойчивых атомных ядер в ядра других элементов, сопровождающееся испусканием частиц или  $\gamma$ -кванта.

*Радиационно-гигиенические характеристики радионуклидов (РГХ):*

- концентрации естественных (природных (ЕРН), мас. %) радионуклидов,
- удельная радиоактивность наиболее радиотоксичных нуклидов рядов урана-238 и тория-232 (Ки/кг, Бк/кг);
- удельная активность (Бк/кг) техногенных радионуклидов (в первую очередь — <sup>90</sup>Sr, <sup>134,137</sup>Cs),
- удельная активность (Бк/кг) космогенного <sup>7</sup>Be и др.;
- суммарные альфа-бета-активности исследуемых объектов (Ки, Бк);
- эффективная удельная активность (Бк/кг);
- мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МАЭД, мЗв/ч или мкЗв/ч, мкР/ч) и др.

*Радиационная безопасность* — состояние защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения.

*Радиоактивное загрязнение* — отходы, вблизи которых плотность потока альфа-излучения более 0.04  $\alpha$ -частицы/(см<sup>2</sup>·с), или плотность потока бета-излучения более 0.4  $\beta$ -частицы/(см<sup>2</sup>·с).

*Радиационный контроль* — контроль за соблюдением норм радиационной безопасности и основных санитарных правил работы с радиоактивными веществами и иными источниками ионизирующего излучения, а также получение информации об уровнях облучения людей и о радиационной обстановке на объекте и в окружающей среде (включает в себя дозиметрический и радиометрический контроль).

*Радиоактивные отходы* — не предназначенные для дальнейшего использования вещества в любом агрегатном состоянии, в которых содержание радионуклидов превышает уровни, установленные настоящими Нормами и Правилами.

*Суммарная удельная альфа-активность препарата*, Ки/кг (Бк/кг) — удельная активность альфа-радионуклидов.

*Суммарная удельная бета-активность препарата*, Ки/кг (Бк/кг) — удельная активность бета-радионуклидов.

*Счетный образец* — определенное количество вещества массой  $M_{сч}$ , предназначенное для измерения радиоактивности в условиях, предусмотренных методикой выполнения измерений. Вещество счетного образца получают из вещества пробы согласно методике приготовления счетных образцов.

*Техногенные радионуклиды* — долгоживущие искусственные радионуклиды, которые попадают в окружающую среду в результате радиационных аварий, потери источников ионизирующего излучения, испытаний ядерного оружия: цезий-134,137, стронций-90, йод-131 и др.

*Удельная активность радионуклида (A)* — отношение активности радионуклида в образце к его массе, Бк/кг:  $A_m = A/m$

*Уровень вмешательства (УВ)* — уровень радиационного фактора, при превышении которого следует проводить определенные защитные мероприятия.

*Уровень собственного фона прибора* — показания прибора для измерения ионизирующих излучений в нормальных условиях эксплуатации, обусловленные собственным фоном прибора и естественным фоном при отсутствии источника, излучение которого должно измеряться.

*Эффективность регистрации альфа- и бета-излучений* — вероятность того, что частица или квант, проникшие в чувствительный объем детектора, вызовут в нем процессы, позволяющие осуществить регистрацию этой частицы или кванта. Ее определяют по образцовым источникам излучения: для альфа-излучения — Pu-238, для бета-излучения — Sr-90, гамма-излучения — ОСГИ.

*Эффективная удельная активность ЕРН ( $A_{эфф}$ )* — суммарная удельная активность ЕРН в материале, определяемая с учетом их биологического воздействия на организм человека. Эффективная удельная активность ( $A_{эфф}$ ) рассчитывается по формуле (НРБ-99/2009, п. 5.3.4.):

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1.3 A_{Th} + 0.09 A_K \text{ (Бк/кг)} \quad (1),$$

где  $A_{Ra}$  и  $A_{Th}$  — удельные активности радия-226 и тория-232, находящихся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов;  $A_K$  — удельная активность К-40 (Бк/кг).

*Эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) дочерних продуктов распада радона ( $^{222}Rn$ ) и торона ( $^{220}Rn = ^{220}Tn$ )* — взвешенная сумма объемных активностей короткоживущих дочерних продуктов распада радона —  $^{218}Po$  ( $RaA$ ),  $^{214}Pb$  ( $RaB$ ),  $^{214}Bi$  ( $RaC$ ),  $^{212}Pb$  ( $ThB$ ),  $^{212}Bi$  ( $ThC$ ) соответственно:

$$\begin{aligned} (ЭРОА)_{Rn} &= 0.1 A_{RaA} + 0.52 A_{RaB} + 0.38 A_{RaC} \\ (ЭРОА)_{Tn} &= 0.91 A_{ThB} + 0.09 A_{ThC}, \end{aligned}$$

где  $A_i$  — объемные активности дочерних продуктов распада радона.

## ВВЕДЕНИЕ

По образному выражению выдающегося ученого, основателя радиоэкологии, В. И. Вернадского «радиоактивность была, есть и будет...» [1], из которого следует, что проблема определения радионуклидов в различных объектах всегда актуальна. С увеличением применения радионуклидов в 50–80 гг. XX века в атомной промышленности, в военной технике, в науке и индустрии возросла необходимость радиационного контроля. В течение этого времени были разработаны многие методы определения природных и техногенных радионуклидов [2–7].

В связи с опасностью радиоактивного загрязнения окружающей среды и требований к «чистоте» технологических продуктов совершенствовалась нормативно-правовая база обеспечения радиационной безопасности. С развитием науки и техники, приборостроения совершенствовались и радиологические методы анализа. В данной работе представлены результаты разработок радиоаналитических методов анализа, выполненных автором в 2000–2012 гг. в Региональной лаборатории радиационного контроля (РЛРК) ИХТРЭМС КНЦ РАН с использованием современной сертифицированной аппаратуры. Большая часть методик была аттестована в 2008 г. в Центре метрологии ионизирующих излучений «ВНИИФТРИ» и использовалась при аккредитации лаборатории.

Методики прошли тщательную апробацию на различных объектах в течение 10–15 лет и используются в практике лаборатории и ЦКП ИХТРЭМС КНЦ РАН.

Методики апробированы на практике, а также во время участия в межлабораторных сличениях (интеркалибрации), организованных Управлением ядерной и радиационной безопасности Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» в области измерений активности радионуклидов в 2008–2011 гг. По результатам интеркалибрации РЛРК была включена в референтную группу, имеющую право проводить арбитражные измерения.

Методики применялись для количественного определения природных и техногенных радионуклидов в различных объектах, для радиационной оценки химических технологий, строительных материалов, горных пород, промышленных отходов и других продуктов, а также при проведении радиологических исследований наземных экосистем с целью оценки воздействия ионизирующего излучения на окружающую среду. В книге подробно изложены методы организации и проведения радиационного контроля природных объектов. Изложены основные принципы пробоподготовки различных объектов природной среды и основные методы их анализа с учетом нормативно-гигиенических и метрологических требований, мер радиационной безопасности при проведении исследований.

Применение методик позволяет планировать мероприятия по защите рабочих, служащих и населения от воздействия опасных радиохимических веществ, образующихся при гидрометаллургической переработке минерального сырья с повышенным содержанием природных радионуклидов, разрушении геологических пород; воздействия техногенных и природных радионуклидов при проведении работ с использованием ИИ и РВ, при радиационных авариях.

Методики используются для радиационного мониторинга территорий и объектов, при проведении инженерно-изыскательских работ и геологических исследований, оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС).

Методики были использованы в практике лаборатории и ЦКП ИХТРЭМС КНЦ РАН при радиологических исследованиях окружающей среды и технологических процессов. Результаты исследований были представлены на российских и международных конференциях. Методики применялись при подготовке дипломных работ студентами-дипломниками экологического факультета КФ ПетрГУ (Власюк Н., Жукова А., Столярова А. и др.) и АФ МГТУ (Усатова Е., Вишневская О., Петельчук К. и др.). За высокое качество выполненных научных исследований, представленных на конференциях разного уровня, студенты были награждены Дипломами, Почетными Грамотами; на международной выставке «Лаборатория Экспо-2007» (г. Москва) РЛРК награждена Дипломом и медалью.

Выражаю благодарность заведующей Радиологическим отделом Апатитско-Кировского филиала Роспотребнадзора по Мурманской области Райских А. А., принимавшей участие в отборе и исследовании проб (р. 3.1-3.3); инженеру-технологу РЛРК ИХТРЭМС КНЦ РАН Аниховской Г. П., принимавшей участие в апробации методик пробоподготовки исследуемых объектов (р. 2.1, 2.2; р. 3.1-3.3); сотрудникам ИППЭС КНЦ РАН Сандимирову С. С. и Макогонюку С. Н., инженерам РЛРК ИХТРЭМС КНЦ РАН Икконену П. В. и Смирнову А. А., принимавшим участие в выполнении инженерно-изыскательных работ; руководителям Центра коллективного пользования (ЦКП) института, и лично зам. директора Громову П. Б., за постоянное внимание к результатам работы и содействие в ее выполнении.

Особую признательность и благодарность приношу начальнику Центра метрологии ионизирующих излучений ФГУП «ВНИИФТРИ» В. П. Ярыне за ценные советы и рекомендации, данные при рецензировании и аттестации методик.

Исследования и разработка методик выполнялись в соответствии с Уставом научно-исследовательской деятельности института по тематическим планам НИР, Грантам РФФИ и ЦКП, Интеграционным проектам с институтами Кольского научного центра — ПГИ, ПАБСИ, ИППЭС, ГоИ. Публикация монографии позволит расширить область радиологических исследований, сертификации по радиационному фактору различной продукции и области их применения.

Книга будет полезна инженерам и ученым, работающим в области использования атомной энергии и научных исследований с использованием источников ионизирующего излучения, сотрудникам лабораторий по охране окружающей среды и проведению радиационного мониторинга. Книгу можно использовать в качестве учебного пособия для студентов, специализирующихся в области ядерной физики, радиохимии и экологии.

## **1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ (АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)**

Многие минералы, руды, горные породы содержат природные (естественные) радиоактивные элементы — уран, торий и продукты их распада от кларковых количеств до массовых значений [9–15]. В процессе их переработки радиоактивные вещества могут концентрироваться, создавая радиационно-опасные участки производства, загрязнять конечные продукты, попадать в окружающую среду.

Как показывает анализ радиогеохимических исследований горных пород, на территории Мурманской области выделяются радиационные аномалии, приуроченные к массивам гранитов и нефелиновых сиенитов, и связанных с ними месторождений редкометалльного сырья. Обзор состояния проблемы комплексного использования минерального и техногенного сырья Кольского и Карельского регионов показал, что продукты, содержащие естественные радионуклиды, вносят дополнительный вклад в техногенный радиационный фон. Радиационную опасность могут представлять, в первую очередь, крупные горные предприятия, добывающие минеральное сырье с повышенным содержанием природных радионуклидов. Однако локальные повышенные содержания ЕРН могут иметь место и вне этих объектов [15,16].

Поэтому, необходимо проводить контроль за распределением радиоактивности в процессе переработки минерального сырья, содержащего природные радионуклиды. Кроме того, для использования конечных продуктов в науке, технике, промышленности, строительстве, медицине и других отраслях нужно знать степень их загрязнения радиоактивными веществами.

В связи с этим необходимо было разработать методы радиационного контроля процессов переработки редкометалльного сырья на различных стадиях производства, для полной радиационной оценки разрабатываемых технологических схем, а также объектов природной среды, попадающих в зону техногенного воздействия [15–19].

### **1.1. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ**

Большой вклад в разработку радиоаналитических методов анализа естественных радионуклидов внесли И. К. Хайд, К. Бегнал, А. П. Виноградов, В. К. Марков, Д. И. Рябчиков, Е. К. Гольбрайх, Г. В. Остроумов, А. А. Немодрук, А. Л. Якубович, Е. И. Железнова, Б. Я. Юфа, М. И. Пруткина, В. Л. Шашкин, Е. И. Зайцев, Б. Ф. Мясоедов, З. К. Каралова, М. А. Божичко и др. [3–7, 40, 42]. В литературе опубликовано много работ, посвященных методам определения и разделения радиоактивных элементов. Методы выделения их из минералов зависят от природы руды и содержания в ней макроосновы и микропримесей, в том числе радионуклидов. Для определения весовых количеств урана и тория обычно применяются химические и радиометрические методы анализа.

Радиоактивность многих природных материалов обусловлена в основном присутствием в них естественных радионуклидов, а именно — урана-238 и 235,

тория-232 и продуктов их распада. Определение этих радионуклидов имеет большое значение для геологов, геохимиков, технологов, химиков, океанологов и других специалистов. Знание содержания урана и тория в горных породах, рудах, минералах и других геологических объектах позволяет определить возраст пород, их структуру, изучить многие геологические и геохимические процессы, включая миграцию элементов. Изучение распределения радионуклидов в земных, лунных и метеоритных материалах служит обогащению теории ядерного синтеза и ядерной космической хронологии.

Определение содержания естественных радионуклидов (ЕРН) в природных материалах помогает установить новые сырьевые источники ядерного топлива, которое с развитием атомной энергетики приобретает все большее значение. Например, возможность извлечения урана и тория из бедных руд и морской воды.

Знание содержания урана, тория, радия в различных биологических объектах позволяет определить распределение их в почве, природных водах, растениях, а также установить возможные источники загрязнений и принять своевременные меры для снижения степени вредного воздействия радиоактивности на окружающую среду.

В связи с этим большое значение имеет выбор методов определения радионуклидов, которые должны обладать хорошей точностью, надежностью и высокой чувствительностью. Поэтому большое значение имеет правильный выбор метода исследований, метода определения ЕРН в различных объектах с учетом современных требований.

Известные физические и химические методы определения, такие как флюорометрические, спектрофотометрические, изотопное разбавление с последующей масс-спектрометрией, потенциал-колориметрией, радиометрией, используются в основном для количеств радионуклидов порядка  $10^{-1}$ – $10^{-5}$  мас. %. Эти методы требуют предварительного концентрирования исследуемых радионуклидов из больших навесок (1–100 г) или больших объемов (5–60 л). Кроме этого, методы должны предусматривать отделение радионуклидов от сопутствующих элементов, если они содержатся в макроколичествах.

Мешающее влияние различных ионов на определение радионуклидов было подтверждено многими работами, в том числе работами Коркиша с сотрудниками [20, 21] и других авторов [22–24]. В этих работах было изучено влияние катионов различных металлов (Fe, Mn, Si, Cd, Zn, Na, Cu, Mo и др.) и анионов ( $F^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $ClO_4^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ) на спектрофотометрическое и флюорометрическое определение урана и тория. В работах [25–27] авторы изучали влияние сопутствующих радионуклидов на радиометрическое определение урана, радия и тория. Во всех случаях для отделения исследуемых элементов авторы рекомендуют использовать методы, основанные на ионном обмене, экстракции растворителями, соосаждении. В аналитической практике полное отделение исследуемых элементов часто не достигается применением одного из перечисленных методов и в этом случае целесообразнее использовать сочетание их.

Методы осаждения подробно описаны в работах [5–7], в которых даны схемы химического анализа радиоактивных минералов и горных пород. По этой схеме 1 г образца сплавляется с перекисью натрия, выщелачивается водой и разбавленной соляной кислотой. После этого из раствора последовательно осаждаются висмут-214,212 и полоний-210 на сульфиде висмута, торий-232,230

и 228 — на фосфате циркония, радий-226,224,223 — на сульфате бария и сульфате цинка. Выделенные осадки радионуклидов дополнительно очищали от примесей повторным осаждением и затем измеряли альфа-активность полученных препаратов с помощью сцинтилляционных счетчиков. При расчете активности и содержания радионуклидов в образцах вносили поправки на естественный распад и образование дочерних продуктов.

Метод осаждения был использован также в работах [25, 31] для определения радия-226 в объектах окружающей среды (золе растений, костей и овощей; в почве и воде). Для определения химического выхода радий-226 соосаждали с барием-133, осадок смешивали с 22 мл сцинтиллирующего раствора (4 г РРО и 0.1 г РОРОР в 1 л толуола). Затем по радону-222 методом интегрального счета определяли содержание радия в исследуемых объектах. На жидком сцинтилляционном счетчике типа ТГТ-Carb3320 определяемая концентрация радия, при 100 % его выходе, равнялась  $5 \times 10^{-13}$ – $5 \times 10^{-15}$  Ки. Ошибка определения была равна 2–7 %. Измерение проводилось в течение трех часов, перед измерением для установления радиоактивного равновесия образцы выдерживали в камере прибора в течение месяца.

В настоящее время методы осаждения самостоятельно практически не применяются из-за длительности и сложности операций, а также наличия более эффективных и селективных методов разделения элементов — ионного обмена и экстракции. В сочетании с ними метод осаждения часто использовался на практике, особенно при последующем радиометрическом анализе выделенных радионуклидов. Так в работе [27] предложено использовать для получения радия-225 из тория-229 и урана-233 метод анионного обмена с последующим соосаждением радия с барием. Выделенный радий-225 ( $\beta^-$ ,  $T_{1/2} = 14.8$  дн.) использовали в качестве носителя для определения радия-226 и радия-228 в почве и растениях. Для получения радия-225 10 мг урана-233 (срок хранения не менее 3.5 лет) растворяли в 11 М HCl и пропускали через колонку 60x4 мм со смолой De-Acidite FF. Торий-229, радий-225 и актиний-225 элюировали 5 мл 11 М HCl, в то время как уран сорбировали на колонке. Полученный раствор выпаривали досуха и растворяли в 7 М азотной кислоте, затем раствор переносили на вторую колонку, обработанную 7 М HNO<sub>3</sub>. Радий-225 и актиний-225 элюировали 5 мл этого же раствора, торий сорбировался на колонке, а затем вымывался 10 мл 0.5 М HNO<sub>3</sub>. При анализе растворов радий сначала соосаждали с барием и свинцом, затем отделяли барий от радия на колонке 250x13 мм со смолой Zeoкарб в NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-форме из азотнокислого раствора. Барий элюировали 40 мл деионизированной воды; радий вымывали 50 мл 6 М HNO<sub>3</sub>, из этого элюата радий соосаждали с 10 мг свинца. Нитраты растворяли в 2 М HCl и пропускали через колонку ViO-Rad AG 1 x 8, 80 x 6 мм с водяной рубашкой (60 °C). Свинец сорбировался на колонке, радий проходил в раствор, из которого электроосаждался на подложке для альфа-спектрометрии продуктов распада радия-225. Этим методом было определено содержание радия в почве порядка 0.03–0.3 пКи/г и 0.001–6.3 пКи/г — в растениях.

При определении радионуклидов другими методами (спектрофотометрическими, флюорометрическими и т.д.) многие авторы рекомендуют использовать для отделения урана, тория методы ионного обмена и экстракции. Коркиш с сотрудниками [20, 21] предложил использовать для этой цели сильноосновную анионообменную смолу Dowex 1.

В связи с тем, что уран и торий часто находятся в одних и тех же рудах, удобно использовать метод параллельного их определения. Метод, предложенный для этой цели Поллоком [23], заключается в растворении образца смесью соляной и азотной кислот и экстракции смесью тиокилфосфина для отделения урана и тория. Затем были использованы селективные и чувствительные хроматографические агенты для колориметрических определений радионуклидов.

Эффективным методом разделения считается метод ионообменной хроматографии. В литературе известно большое количество разнообразных методик по хроматографическому разделению урана и тория, отделению их от посторонних примесей. Наиболее распространены методы разделения радионуклидов на катионообменных и анионообменных смолах. Для достижения полного разделения ионов урана и тория, а также отделения их от примесей, анионообменный метод разделения обычно сочетаются с последующим разделением на катионах. Большинство из этих сообщений носят общий характер и требуют дополнительных исследований.

Метод катионного обмена удобен, когда торий и примеси присутствуют в малых концентрациях, а также, когда необходимо отделить торий от макроколичеств других элементов.

Механизм сорбции и элюирования урана и тория на ионообменных смолах изучался многими авторами. Было установлено, что четырехзарядный ион тория на катионитах адсорбируется значительно сильнее, чем большинство других ионов. Причем, прочность связи тория со смолой уменьшается, если он находится в форме простых ионов с невысоким зарядом. Гидролизованые ионы тория —  $\text{Th}[(\text{OH})_3\text{Th}]_n^{+(4+n)}$ , и прочие удерживаются на колонке, поэтому сорбция тория зависит от pH исследуемого раствора. Сорбируемость урана на ионообменных смолах также зависит от кислотности раствора. Исследования преимущественно проводили на катионообменных смолах дауэкс-50 [23] и КУ-2 [25, 40, 41]. В отдельных случаях для разделения урана и тория использовали амберлит IR-I и вофатит KS [27]. Неорганические ионообменники для этой цели практически не использовались.

На катионообменной смоле дауэкс-50 изучалось в основном поведение искусственных смесей радиоизотопов. Для элюирования тория из колонки применяли различные комплексообразователи — буферную, лимонную или молочную кислоту, цитрат диамония и другие. Но эти элюенты очень часто усложняли аналитическую работу при ионообменных разделениях, т.к. вымывание их из колонки проводили при повышенной температуре. В работе [4, 7, 28, 29] в качестве элюента были предложены растворы соляной кислоты различной концентрации, но объемы растворов были большими, а необходимая чистота отделения от редких земель и циркония не достигалась. В работах [31–37] авторы рекомендуют для десорбции тория сульфат- и карбонатсодержащие ионы.

В работах [10, 27] указывается, что в солянокислых и азотнокислых растворах уран находится в форме уранила ( $\text{UO}_2^{2+}$ ) и в интервале pH от 3.8 до 4.5 сульфокатионит поглощает их, а при pH от 0.5 до 1.0 тот же катионит избирательно поглощает ионы тория. По другим данным [17, 19] шестивалентный уран до значения pH = 2.5 сорбируется смолой КУ-2 в виде ионов  $\text{UO}_2^{2+}$  за счет образования внутрикомплексных соединений со смолой. Учитывая поведение урана и тория в растворах, можно выбрать подходящие условия их разделения на

катионитах. Большинство других элементов при этом должны проходить в проскок или незначительно сорбироваться. Для десорбции их в практике используются различные растворы солей, кислот и комплексообразователей.

Из рассмотренных методов особый интерес представляет изучение условий выделения урана и тория из растворов, содержащих большие количества ионов других металлов, на отечественной смоле КУ-2. Для разделения достаточны весьма малые количества веществ. Метод использовался для определения радиоактивных элементов в воде, монацитовых концентратах, бедных рудах [13, 16]. Сорбция из солянокислых сред повышала чистоту отделения от других элементов. Было установлено, что полной сорбции тория на смоле препятствуют ионы фосфатов, нитратов, сульфатов и фторидов. При работе с индикаторными количествами тория следует избегать растворов, содержащих вышеназванные ионы, так как наличие их в растворе приводит к потерям тория на этапах разделения. О влиянии этих ионов на хроматографическое поведение других радионуклидов данные отсутствуют.

Для хроматографического отделения тория от сопутствующих элементов использовался метод, основанный на сорбции тория и сопутствующих элементов на колонке со смолой КУ-2 в Н-форме [41]. После сорбции радиоэлементы легко удаляются из колонки каким-либо раствором, а смола может быть регенерирована и неоднократно использоваться в работе. Метод рекомендуется применять при анализе любых пород, содержащих большие количества титана, циркония и редкоземельных элементов. В качестве элюента для тория в последнее время часто применяются растворы щавелевой кислоты и оксалата аммония, благодаря образованию ими оксалатных комплексов  $[\text{Th}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{2-}$  и  $[\text{Th}(\text{C}_2\text{O}_4)_4]^{4-}$ , неустойчивых по отношению к смоле.

Таким образом, метод разделения тория и урана на смоле КУ-2 является перспективным методом за счет большой динамической обменной емкости катиона и селективности анализа. В связи с тем, что разделение на катионите КУ-2 успешно применяется при анализе силикатных пород и минералов с большим содержанием кальция, титана, циркония и редкоземельных элементов. Этот метод успешно разрабатывался, совершенствовался и использовался автором для анализа продуктов переработки редкометалльного сырья (перовскита, лопарита [32–34]). Причем, этот метод позволяет исключить первоначальные операции отделения макроколичеств мешающих элементов, необходимых в других методах анализа.

В литературе опубликовано много работ, посвященных методам определения и разделения радиоактивных элементов. Методы выделения их из минералов зависят от природы руды и содержания в ней радионуклидов. Для определения весовых количеств урана и тория обычно применяются химические и радиометрические методы анализа [25, 41, 43].

Содержание естественных радионуклидов в исходных продуктах (минералах или их концентратах) во много раз меньше, чем других элементов (макроколичеств титана, кальция, железа и др.), что создает некоторые трудности при радиохимических методах их определения. Все известные химические методы выделения и разделения радионуклидов имеют большое число операций, длительны по времени и не всегда обеспечивают необходимую чувствительность анализа. Электрохимические и экстракционные методы применяют в основном для анализа продуктов с небольшим содержанием примесей, обычно после концентрирования в растворе урана, тория и других элементов.

Конечное определение радионуклидов после радиохимических операций часто осуществлялся высокочувствительными методами: фотоколориметрическим, люминесцентным и спектральным. Современное состояние аналитической химии естественных радиоактивных элементов позволяет находить большое количество достаточно гибких методов, пригодных для решения разнообразных аналитических задач, связанных с их отделением и определением за счет поливалентности, способности к комплексообразованию и ряда других специфических свойств. Но разнообразие в составе анализируемых материалов не позволяет дать точные схемы комплексного анализа; каждый конкретный объект требует дополнительных исследований по применимости известных методик, разработки индивидуальных методов и изучения условий определения радионуклидов.

В течение многих лет радиационный контроль осуществляли обычно по суммарной бета- и альфа-активности естественных радионуклидов, присутствующих в исследуемых образцах [24, 38–41, 43]. Этого контроля достаточно для общей радиационной оценки технологии переработки минерального сырья и концентратов, полученных при обогащении руд. Но этого недостаточно для радиационно-гигиенической оценки получаемой продукции, особенно для той, которая предназначена для использования в производстве строительных материалов, пищевой, лакокрасочной, медицинской, косметологической и других отраслях.

В ряде случаев для технологических целей, например, для выделения радиоэлементов из продуктов, для регулирования процессов технологии необходимо знать, каким элементом обусловлена радиоактивность продукта, какой элемент вносит вклад в суммарную активность переделов и какова степень его радиотоксичности. В этом случае для того, чтобы точнее определить степень радиационной опасности всех процессов технологии, нужно использовать методики количественного определения содержания в пробе наиболее радиотоксичных элементов. В общем случае применяемые методики должны обеспечивать предельную чувствительность обнаружения радионуклидов: радий-226 – 37 Бк/кг, тория-232 – 26 Бк/кг, уран-238 – 40 Бк/кг. Такая чувствительность необходима для оценки возможности использования в промышленности конечных продуктов производства. Для анализа исходного сырья, ряда промпродуктов такая чувствительность не требуется, однако повышаются требования к экспрессности метода.

Радиометрические методы анализа пригодны для определения общей активности технологических продуктов по их бета- и альфа-излучению. Метод также широко используется для определения техногенных радионуклидов. Причем, при наличии необходимой аппаратуры методы могут быть применены к исследуемым образцам и с низкой активностью без дополнительной их обработки. Этими методами можно определить содержание естественных радионуклидов до  $10^{-2}$ - $10^{-4}$  мас. %. Для определения следовых количеств радионуклидов используются радиометрические методы, которые в зависимости от условий и задач сочетают с осаждением, экстракцией, ионным обменом и другими методами. Большинство радиохимических методов обладает хорошей чувствительностью, точностью. Но они не обладают экспрессностью, что особенно важно при работе с высокорadioтоксичными веществами.

Для образцов простого состава с низким содержанием радионуклидов широко применялся в 70–80-е годы XX в. метод активационного анализа [26–29]. Для образцов сложного состава метод не пригоден из-за трудности последующей обработки материалов, обладающих высокой активностью примесей. В последние годы метод используется в основном только для анализа высокочистых веществ, метод дорогостоящий и требует высококвалифицированных специалистов для выполнения анализа.

В советской и зарубежной литературе описывается широкий комплекс методов анализа урана, тория и продуктов их распада, основанных на разнообразных физических и химических свойствах этих нуклидов. Из табл. 1.1 видно, что наиболее чувствительными методами определения урана и тория являются радиометрические методы анализа, а после радиохимического выделения их из анализируемых объектов, фотометрический, нейтронно-активационный и рентгеноспектральный методы. Во всех случаях радий определяют только по радиоактивности.

Таблица 1.1

Чувствительность определения ЕРН различными методами [7, 12–15, 37, 38]

Методы анализа	Нижняя граница определения, мас. %		
	Торий	Уран	Радий
Спектральный после концентрирования	0,1–0,01 до $10^{-3}$	0,0n–0,n	-
Эмиссионно-спектральный	-	-	-
Атомно-адсорбционный	-	-	-
Рентгеноспектральный	$(3-5) \cdot 10^{-4}$ $5 \cdot 10^{-3}$	$(3-5) \cdot 10^{-4}$ $5 \cdot 10^{-3}$	
После концентрирования	до $5 \cdot 10^{-5}$	$(3-5) \cdot 10^{-5}$	
Гравиметрический	-	-	-
Титриметрический	-	-	-
Фотометрический	0,0001–10	$2 \cdot 10^{-4}$ $(3-5) \cdot 10^{-4}$	-
Нейтронноактивационный		$2 \cdot 10^{-4}$ ( $1 \cdot 10^{-6}$ после выделения)	-
Радиометрический: Гамма-спектрометрический	$1-1,5 \cdot 10^{-4}$ (100 г)	$(1-2) \cdot 10^{-4}$ (150–200 г)	$2 \cdot 10^{-8}$ г
По $\beta$ - $\gamma$ -излучению	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$ (300 г)	-
По $\beta$ - $\alpha$ -излучению	$10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-5}$ (10–20 г)	$1 \cdot 10^{-9}$
Эманационный по торону, родону	0,002		$10^{-10}$ - $10^{-11}$ ( $3 \cdot 10^{-13}$ Ки)
Микрорадиографический		$5 \cdot 10^{-4}$	-
Люминесцентный		n $10^{-5}$	-

Для анализа горных пород, руд и других твердых продуктов широко используются радиометрические методы, основанные на измерении интенсивности альфа-бета-гамма-излучений [2–8, 38–41]. В большинстве случаев при этом не требуется предварительная химическая подготовка анализируемых образцов.

Для определения урана и тория использовали также фотоколориметрический метод, предельная чувствительность которого для определения элементов составляет от 1 до 25 мкг (0.01 мкг/мл). Фотоколориметрический метод использовался также в качестве контроля при радиометрических измерениях [34, 40, 41]. При использовании дополнительных операций чувствительность методов может быть повышена примерно до 0.5–1 мкг. Обычно, перед непосредственным фотометрированием проб в зависимости от их состава рекомендуется проводить фторидное, оксалатное, экстракционное или хроматографическое отделение мешающих примесей.

Анализ отечественной и зарубежной литературы по методам определения естественных радионуклидов (ЕРН) в различных объектах показал, что для определения содержания ЕРН широко используются радиометрические методы анализа. Метод пригоден для определения удельной активности продуктов, содержащих естественные радионуклиды от весовых до следовых количеств. Метод удобен как для определения суммарной активности радионуклидов, так и для определения активности, обусловленной тем или иным элементом. В качестве объектов этими методами исследовались в основном горные породы, руды, почва.

Данные по методам анализа конкретных продуктов, которые получаются при гидрометаллургической переработке минерального сырья, отсутствовали. Поэтому для определения содержания радионуклидов в твердых и жидких продуктах переработки концентрата в РЛРК ИХТРЭМС Кольского научного центра АН СССР разрабатывались и совершенствовались радиометрические и радиохимические методы определения урана, тория и продуктов их распада.

Особую актуальность и важность приобретает защита от вредных воздействий природных радионуклидов, обладающих наибольшей опасностью, так как с течением времени они создают суммарную дозу облучения для человека значительно большую, чем получаемая от искусственных радионуклидов, что в конечном результате приводит к отдаленным отрицательным последствиям для здоровья человека. Поэтому для промышленных предприятий и регионов актуально своевременное проведение мониторинга по всей технологической цепочке от месторождений до конечной продукции по выявлению вредных воздействий природных радионуклидов, обеспечение надежной защиты от них работников предприятий и населения, проживающего на прилегающих территориях.

Проведенный литературный обзор по методам анализа и чувствительности определения ЕРН показал, что существующие стандартные методы анализа имеют ограничения, поэтому при исследовании техногенного сырья необходима разработка специфических методов анализа и модификация известных радиометрических методов применительно к различным объектам.

Современное состояние аналитической химии естественных радиоактивных элементов позволяет находить большое количество достаточно гибких методов, пригодных для решения разнообразных аналитических задач, связанных с их отделением и определением за счет поливалентности, способности к комплексообразованию и ряда других специфических свойств. Но разнообразие в составе анализируемых материалов не позволяет дать точные схемы комплексного анализа; каждый конкретный объект требует дополнительных исследований по применимости известных методик, разработки индивидуальных методов и изучения условий определения радионуклидов.

Новые гигиенические нормативы требуют расширения исследований по радиационному составу различной продукции. В связи с этим радиационно-гигиеническая оценка всех технологических продуктов и объектов природной среды является актуальной задачей.

В работе представлены разработанные в лаборатории методики определения радиационно-опасных техногенных и природных радионуклидов, необходимые для полного и экспрессного анализа продуктов переработки редкометалльного сырья Кольского полуострова и объектов природной среды. Для каждой пробы необходимо определять интегральную альфа-, бета-, гамма-активность. В товарной продукции и исходном концентрате необходимо определять также содержание радионуклидов. Определение нескольких показателей можно проводить из одной и той же аналитической навески.

Внедрение комплексных методов исследований даст возможность повысить экологическую безопасность горнопромышленного комплекса Мурманской области, и будет способствовать своевременной и надежной защите от вредных воздействий природных радионуклидов.

В данной работе представлены в основном методики, которые прошли полную метрологическую оценку и аттестацию. Комплексное использование разработанных методик давало возможность определить содержание радионуклидов в различных продуктах.

Исследования выполнялись в соответствии с гигиеническими нормативами (НРБ-99/2009), в которые включены требования по ограничению облучения населения природными источниками, и требования, предъявляемые к измерениям. При проведении исследований использована сертифицированная аппаратура и оборудование аккредитованной в Госстандарте России Региональной лаборатории радиационного контроля (ПРИЛОЖЕНИЕ 3): гамма-спектрометр «Прогресс», радиометры «Спутник», УМФ-1500Д, УМФ-2000, МКС-А03-1Н, ДРГ-01Т и др. В качестве эталонов использовали государственные и отраслевые стандарты – ГСО СГ-1А, СГ-3; ОСО-6с, а также техногенные продукты с известным содержанием радионуклидов.

## ***1.2. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К РАДИАЦИОННОМУ КОНТРОЛЮ***

Радиационный контроль — это контроль за соблюдением Норм радиационной безопасности, Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности, Санитарных правил проектирования и эксплуатации атомных станций (АС), исследовательских реакторов, ускорителей заряженных частиц, рентгеновских и других установок, а также получение информации об уровнях облучения людей и о радиационной обстановке в учреждении и в окружающей среде (ФЗ № 170 от 21 нояб. 1995 г.; ФЗ № 3 от 09 янв. 1996г.).

Объектами радиационного контроля являются: персонал групп А и Б при воздействии на них ионизирующего излучения в производственных условиях; пациенты при выполнении медицинских рентгенорадиологических процедур; население при воздействии на него природных и техногенных источников излучения; среда обитания человека.

Радиационный контроль при работе с техногенными и природными источниками излучения является составной частью производственного контроля

и должен осуществляться за всеми основными показателями, определяющими уровни облучения персонала и населения.

Организация и проведение радиационного контроля обязательны на всех этапах обращения с радиоактивными веществами и ИИИ, а также для изучения радиационной обстановки на территории радиационного объекта и прилегающих к нему территориях.

Программа радиационного контроля в организации, где планируется обращение с источниками излучения РАО, разрабатывается на стадии проектирования. В проекте радиационного объекта должны быть определены виды, объем, контролируемые параметры, сеть точек радиационного контроля, периодичность радиационного контроля и порядок проведения контроля, перечень технических средств и штат работников, необходимых для его осуществления.

Виды и объём радиационного контроля могут уточняться в зависимости от конкретной радиационной обстановки в данной организации и на прилегающей территории (МУ 2.6.1.14-2001).

Технические средства радиационного контроля должны обеспечивать осуществление:

- радиационного технологического контроля;
- радиационного дозиметрического контроля;
- радиационного контроля помещений и промплощадки радиационного объекта;
- радиационного контроля за нераспространением радиоактивных загрязнений;
- радиационного контроля окружающей среды.

Радиационный контроль помещений и промплощадки радиационного объекта осуществляется путем измерений:

- мощности дозы гамма-излучения;
- объемной активности в воздухе помещений;
- оценки радиологического состояния окружающей среды.

Объектами окружающей среды являются минеральное сырье, материалы и изделия на его основе, продукты, отходы производства, технологические процессы; строительные материалы, условия проживания и производственной деятельности и пр.

Организации необходимо иметь оборудование и средства, предназначенными для отбора проб объектов окружающей среды, а также проведения радиометрических, дозиметрических и гамма-спектрометрических измерений как в лабораторных условиях, так и непосредственно на местности.

Контроль за объектами окружающей среды должен включать в себя:

- контроль мощности дозы гамма-излучения и годовой дозы на местности;
- контроль загрязнения атмосферного воздуха, почвы, растительности, воды открытых водоемов;
- контроль загрязнения продуктов питания и кормов местного производства.
- оценки радиологического состояния окружающей среды.

Целью радиационного контроля является получение информации о радиационно-гигиенических характеристиках исследуемых объектов, характеризующих радиационную обстановку, о состоянии радиационной

безопасности на исследуемых территориях, а также в районах предполагаемого строительства или другой хозяйственной деятельности.

На территории радиационного объекта отбор проб окружающей среды производится в санитарно-защитной зоне (СЗЗ) и зоне наблюдения (ЗН) (в зависимости от категории объекта). Постоянные пункты наблюдения выбирают преимущественно в населенных пунктах и местах, доступных для подъезда автомашин и обслуживания в течение всего года. Пункты наблюдения располагаются относительно радиационного объекта по четырем основным направлениям: в направлении от объекта, совпадающем с господствующим направлением ветров в данной местности и, соответственно, в противоположном и перпендикулярном направлениях.

Кроме того, необходимо проводить наблюдения в контрольном пункте, который должен быть расположен с наветренной стороны от радиационного объекта за пределами зоны наблюдения объекта (АЭС и др. объекты). Обязательной составной частью является измерение гамма-фона в районе расположения радиационного объекта, на территориях его СЗЗ, ЗН и в контрольном пункте (СанПиН 2.6.1.07-03, СП 47.13330.2016, СанПиН 2.6.1.24-03).

Результаты радиационного контроля используются для оценки радиационной обстановки, установления контрольных уровней, разработки мероприятий по снижению доз облучения и оценки их эффективности, оценки радиологического состояния окружающей среды.

Радиационный контроль осуществляется в аккредитованных в системе Федеральной службы технологического регулирования и метрологии лабораториях радиационного контроля (ФЗ № 3 от 09 янв. 1996 г.). Для радиационного контроля используются дозиметрические, радиометрические, спектрометрические, радиографические и радиохимические методы.

Оперативный радиационный контроль выполняется инструментальными методами с использованием дозиметрической и радиометрической аппаратуры.

Спектрометрические методы чаще всего использовались в стационарных условиях для определения радионуклидного состава. В настоящее время этот метод применяется в различных условиях и для анализа всех видов излучений, благодаря развитию и совершенствованию детекторов нового поколения, но стоимость приборов гораздо выше стоимости приборов дозиметрического и радиометрического контроля.

Радиохимические и радиографические методы используются при специальных исследованиях радионуклидного состава исследуемого материала или вещества.

#### Основные требования, предъявляемые к разработке методик.

Радиологические исследования должны проводиться по соответствующим методикам, разработанных на основании нормативных документов: федеральных законов, норм и правил работы с ИИИ и РВ, ГОСТов и других документов, приведенных в ПРИЛОЖЕНИИ 1.

Методики радиационного контроля устанавливают совокупность операций и правил выполнения радиационных измерений и обработки их результатов для контролируемого объекта, необходимых для получения полной и адекватной измерительной информации о состоянии объекта в соответствии с требованиями нормативных документов.

В методиках приводятся характеристики точности измерений искомой величины с помощью используемого средства измерения (СИ) и Методики выполнения измерений (МВИ) или Методики радиационного контроля (МРК).

Все методики должны соответствовать метрологическим параметрам, которые включают неопределенность измерений (контроля) и оцениваются как интервал вокруг измеренного значения величины, внутри которого с заданной вероятностью находится ее истинное значение (расширенная неопределенность). При радиационном контроле для оценки результатов используется доверительная вероятность  $P = 0,95$  (коэффициент охвата  $K = 2$ ). Неопределенность измерений может выражаться как абсолютная (в единицах измеряемой величины), так и относительная (по отношению к измеренному значению величины).

Приборы и аппаратура для радиационного контроля должны быть сертифицированы и поверены в установленном порядке (ФЗ № 102 от 11.06. 2008 г., ГОСТ 27451-87, ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2000).

Для проверки работоспособности и калибровки аппаратуры используются контрольные и эталонные источники для каждого вида излучения (типа ОСГИ — образцовые спектрометрические гамма-источники, ГОИ — государственные образцовые источники, СО — стандартные образцы и др.).

### **Требования к квалификации операторов**

К выполнению измерений допускаются высококвалифицированные специалисты (персонал: инженеры-физики, инженеры-технологи, научные сотрудники, лаборанты высокой квалификации), изучившие используемые методики, инструкции по эксплуатации используемых средств измерений, основные требования ОСПОРБ-99/2010, прошедшие обязательное обучение практическому применению методик (удостоверение или сертификат на право проведения радиационного контроля), инструктаж по технике безопасной работы в химической лаборатории, с источниками ионизирующих излучений, на электроустановках с напряжением до 1000 В, пожарной безопасности (сдавшие экзамен на право допуска к самостоятельной работе), не имеющие медицинских противопоказаний для работы с ИИИ.

### **Обеспечение радиационной безопасности**

При выполнении радиометрических, радиологических исследований, радиационного контроля необходимо соблюдать правила техники безопасной работы с контрольными закрытыми источниками ионизирующих излучений, требования при работе с вредными веществами, пожарной безопасности, электробезопасности, соблюдать меры индивидуальной защиты и личной гигиены (ПРИЛОЖЕНИЕ 2).

Организация обучения персонала безопасности труда производится в соответствии с «Программой обучения и проверки знаний сотрудников, работающих с источниками ионизирующих излучений, по вопросам охраны труда и радиационной безопасности», утвержденной руководителем организации (учреждения) и согласованной с Управлением регионального территориального округа Госатнадзора России.

Исполнители должны быть проинструктированы о мерах безопасности при работе с открытыми источниками ионизирующего излучения и контрольными закрытыми источниками ионизирующих излучений, работе на радиологическом комплексе «Прогресс-Г» и другой аппаратуре в соответствии с инструкциями по их эксплуатации.

Для предотвращения распространения радиоактивного загрязнения выполнение таких операций, как пересыпание, сушка, отбор проб неизвестного радионуклидного состава, дробление, рассеивание на фракции, взятие навески для счетного образца необходимо проводить на эмалированных или пластмассовых поддонах в вытяжных шкафах.

Необходимым условием при отборе проб является предохранение их от вторичных загрязнений на всех этапах подготовки.

Помещение лаборатории должно соответствовать требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 и иметь средства пожаротушения по ГОСТ 12.4.009-83.

При проведении дезактивации посуды, оборудования необходимо соблюдать правила техники безопасности при работе с химическими реактивами (требования к системе вентиляции) по ГОСТ 12.4.021-75 и 12.1.021, требования к воздуху рабочей зоны по ГОСТ 12.1.005-88 и требования при работе с вредными веществами по ГОСТ 12.1.007-76.

**Контроль за радиационной обстановкой** в зависимости от характера проводимых работ включает:

- измерение мощности дозы рентгеновского, гамма- и нейтронного излучений, плотности потоков частиц ионизирующего излучения на рабочих местах, в смежных помещениях, на территории радиационного объекта в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения;

- измерение уровней загрязнения радиоактивными веществами рабочих поверхностей, оборудования, транспортных средств, средств индивидуальной защиты, кожных покровов и одежды персонала;

- определение объемной активности газов и аэрозолей в воздухе рабочих помещений, их нуклидного состава;

- измерение или оценку активности выбросов и сбросов радиоактивных веществ;

- определение уровней радиоактивного загрязнения объектов окружающей природной среды в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения.

Учитывая требования действующих нормативно-правовых документов и гигиенических нормативов [44–48], следует не только определять содержание радионуклидов в различных объектах, но и давать радиационную оценку исследуемых продуктов и технологий. Поэтому любой радиоаналитический метод исследования должен обеспечивать надежность определения концентраций радионуклидов, правильность интерпритации полученных значений. Все исследования должны сопровождаться радиационным контролем и выполнением правил работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений (ПРИЛОЖЕНИЕ 2).

### **Список литературы**

1. Вернадский, В. И. Труды по философии естествознания / В. И. Вернадский. – М.: Наука, 2000. – 504 с.
2. Вернадский, В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения / В. И. Вернадский. – М.: Наука, 1965. – 374 с.
3. Железнова, Е. И. Радиометрические методы анализа естественных радиоактивных элементов / Е. И. Железнова, И. Н. Шумилин, Б. Я. Юфа – М.: Недра, 1968. – 520 с.

4. Якубович, А.Л. Ядернофизические методы анализа минерального сырья / А. Л. Якубович, Е. И. Зайцев, С. М. Пржияговский. – М.: Атомиздат, 1973. – 215 с.
5. Ровинский, Ф. Я. Методы анализа загрязнения окружающей среды. Токсические металлы и радионуклиды / Ф. Я. Ровинский, С. Б. Иохельсон, Е. И. Юшкан // под ред. Ровинского Ф. Я. – М.: Атомиздат, 1978. – 264 с.
6. Россман, Г. И. Экологическая оценка рудных месторождений / Г. И. Россман, Н. В. Петрова, Б. Г. Самсонов // Минеральное сырье, № 9 – М.: ВИМС, 2000. – 150 с.
7. Определение редких и радиоактивных элементов в минеральном сырье / Под ред. Г. В. Остроумова. – М.: Недра, 1987. – 252 с.
8. Смыслов А. А. Уран и торий в земной коре. – Л.: Недра, 1974. – 231 с.
9. Лаверов, Н. П. Зарубежные месторождения урана / Н. П. Лаверов, А. О. Смилькстын, М. В. Шумилин / под ред. Н. П. Лаверова – М.: Недра, 1983. – 320 с.
10. Минералогия и геохимия редких и радиоактивных металлов / В. Я. Терехов и др. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 360 с.
11. Месторождения урана и редких металлов / под ред. Н. П. Лаверова – М.: Атомиздат, 1976. – 288 с.
12. Титаева, Н. А. Ядерная геохимия / Н. А. Титаева – М.: МГУ, 1992. – 272 с.
13. Химия и технология редких и рассеянных элементов / под ред. К. А. Большакова. – М.: Высшая школа, 1969., Т. 2. – 639 с.
14. Исследование сорбции тория из отходов процесса хлорирования лопаритового концентрата / Ю. П. Кудрявский, А. В. Белкин // Радиохимия, 1986., Т. 28. вып. 4. – С. 486–489.
15. Радиогеохимические исследования. Методические рекомендации / под ред. А. А. Смыслова – Министерство геологии СССР, 1974. – 144 с.
16. Современные тенденции развития гидрометаллургических процессов извлечения урана из руд / Д. И. Скороваров, Э. А. Семенова, И. Р. Яхонин // Атомная энергия, 1986., Т. 61. № 2. – С. 181–186.
17. Радиогеоэкологические проблемы эксплуатации редкометалльных месторождений / Н. А. Мельник // Инновационный потенциал Кольской науки. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2005. – С. 229–233.
18. Радиоактивные элементы в горных породах / Материалы 1-го всесоюзного радиогеохимического совещания, Новосибирск, 15–19 мая 1972 г. / под ред. В. А. Кузнецова – Новосибирск: СО «Наука», 1975. – 296 с.
19. Проблемы обращения с радиоактивными отходами гидрометаллургических производств Кольского региона / Н. А. Мельник // Сб. докл. Всерос. научно-технич. конф. с междунар. участием, посвященной 50-летию Горного института КНЦ РАН. – Апатиты; СПб., 2011. – С. 1481–1485.
20. Determination of uranium in minerals and rocks. / Y. Korkish, Y. Hubner // Talanta, 1976, v. 23, n. 4, p. 283–288.
21. Determination of uranium and thorium after anion-exchange separation / Y. Korkish, Y. Steffan, G. Arrhenius, M Fisk and J. Frazen // Anal. Chim. Acta., 1977, v. 90, p.151–158.
22. The effect of anions in the fluorimetric determination of uranium after extraction from calcium nitrate salting-out solution / P. Pakalns and Lois E. Ismay // microchimica Acta, 1976, 1, p. 297–306.

23. The spectrophotometric determination of uranium and thorium in ores. / E. N. Pollack // *Anal. Chim. Acta.*, 1977, v. 88, n. 2. p. 399–401.
24. Determination of thorium and uranium isotopes in ores and mill tailings by alpha-spectrometry / Claude W. Siil // *Anal. Chem. Acta.*, 1977, v. 49, n. 4, p. 618–621.
25. Quantitative radiochemical methods for determination of the sources of natural radioactivity / Yohn. N. Rosholt, Jr. // *Anal. Chem.*, 77, v. 29, n. 10. p. 1398–1408.
26. Determination of ten trace elements in meteorites and lunar materials by radiochemical neutron activation analysis. / Sundberg L. L. and Boynton W. V. // *Anal. Chim. Acta.*, 1977, v. 89, n. 1, p. 127–140.
27. Determination of uranium in natural water by preconcentration on anion-exchange resin and dilated-neutron counting // Brits R.J. N., Smit M.C.B. / *Anal. Chem.*, 1977, b.49, n. 1. p. 67–69.
28. A neutron activation method for determination of thorium in rocks and minerals using the 22-minute Th-233 activity / Norton E. F., Stoenner R. W. // *Anal. Chem. Acta.*, 1971, v. 55, n. 1, p. 1–11.
29. Степанов, С. И. Экстракция редких металлов солями четвертичных аммониевых оснований / С. И. Степанов, А. М. Чекмарев. М.: ИздАТ, 2004. – 347 с.
30. Соосаждение урана и тория с сульфатом бария / Kimura T., Kobayashi Y. // *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 1985. – v. 91. – n. 1. – P.
31. Разделение урана, тория, радия и полония на КУ-2 / Х. Б. Авсарагов, Н. А. Мельник // *Анализ минерального сырья и продуктов его переработки. – Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1974. – С. 203–206.*
32. Определение урана и тория в продуктах переработки редкометалльного сырья / Н. А. Мельник, Х. Б. Авсарагов // *Исследования по химии и технологии редкоземельного сырья. – Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1983. – С. 109–116.*
33. Влияние титана, кальция, железа и редкоземельных элементов на спектрофотометрическое определение урана с Арсеназо-III / Н. А. Мельник – Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1987. – С. 85–88.
34. Максимов, М. Т. Радиоактивные загрязнения и их измерения / М. Т. Максимов, Г. О. Оджагов – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 304 с.
35. Маргулис, У. Я. Радиационная безопасность. Принципы и средства ее обеспечения. / У. Я. Маргулис, Ю. И. Брегадзе, К. Н. Нурлыбаев. – М.: Изд-во, 2010. – 320 с.
36. Вопросы разработки и аттестации методик определения радионуклидов в технологических и природных объектах / Н. А. Мельник // *Радиохимия–2009: Тез. докл. Шестой Российской конф. по радиохимии, Москва, 12–16 октября 2009 г. – Озерск: ФГУП «ПО «Маяк», 2009. – С. 200–201.*
37. Радиометрические методы анализа продуктов гидрометаллургической переработки редкометалльного сырья / Н. А. Мельник // *Благородные и редкие металлы: Сб. информ. материалов 3-й Международной конф. «БРМ-2000», Донецк, 19–22 сентября 2000 г. – Донецк, 2000. – С. 224.*
38. Чувствительность определения урана и тория радиометрическим методом / Н. А. Мельник // *Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности: Труды Четвёртой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – С-Пб, 1999. – т. 3. – С. 530.*
39. Современные методы разделения и определения радиоактивных элементов. – М.: Наука, 1989. – 312 с.

40. Спектрометрический анализ: аппаратура и обработка данных на ПЭВМ, 22-26 ноября 2004 г.; в 2-х ч. – Обнинск: ГОУ «ГЦИПК», 2005. 1 ч. – 304 с., 2 ч. – 136 с.
41. Руководство по методам контроля за радиоактивностью окружающей среды / под ред. И. А. Соболева, Е. Н. Беляева. – М.: Медицина, 2002. – 432 с.
42. Метрологические характеристики радиометрического метода определения естественных радионуклидов / Н. А. Мельник // Аналитика Сибири и Дальнего Востока: Тез.докл. VI Международной конференции, Новосибирск, 2000. – С. 278–279.
43. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Гигиенические нормативы: СанПин 2.6.1.2563-09 – М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
44. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: СП 2.6.1.2800-10 – М.: Минздрав России, 2010. – 58 с.
45. Марей А. Н., Радиационная коммунальная гигиена. / А. Н. Марей, А. С. Зыкова, М. М. Сауров – М: Энергоатомиздат, 1984. – 176 с.
46. Козлов В. Ф. Справочник по радиационной безопасности. – М.: Изд-во Энергоатомиздат, 1991. – 352 с.
47. Архангельский, В. И. Радиационная гигиена. Практикум. / В. И. Архангельский, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. – 352 с.
48. Мельник, Н. А. Радиационно-безопасное использование отходов Кольского горнопромышленного комплекса в производстве строительных материалов. / Н. А. Мельник – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. – 114 с.

## **2. РАДИОАНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И ПРОДУКТОВ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ**

В данном разделе рассматриваются методы, разработанные в 2006–2008 гг. для радиационного анализа технологических продуктов и усовершенствованные в 2009–2012 гг. В последующие годы методы только корректировались в связи с изменениями законодательного характера, не влияющими на суть метода определения исследуемых объектов. Радиоаналитические методы разрабатывались на сертифицированном, поверенном оборудовании Региональной лаборатории радиационного контроля ИХТРЭМС КНЦ РАН.

Методы анализа были использованы для радиационной оценки минерального сырья (руд, горных пород, нерудного сырья и др.); технической продукции, полученной при обогащении и гидрометаллургической переработке руд (концентраты, промышленные отходы, шлаки, шламы и др.); технологических продуктов различного назначения (титановые пигменты и белила; материалы, используемые для производства сварочных электродов; сырье для строительных материалов [1–16].

### **2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ НА БЕТА-АЛЬФА-РАДИОМЕТРЕ «СПУТНИК»**

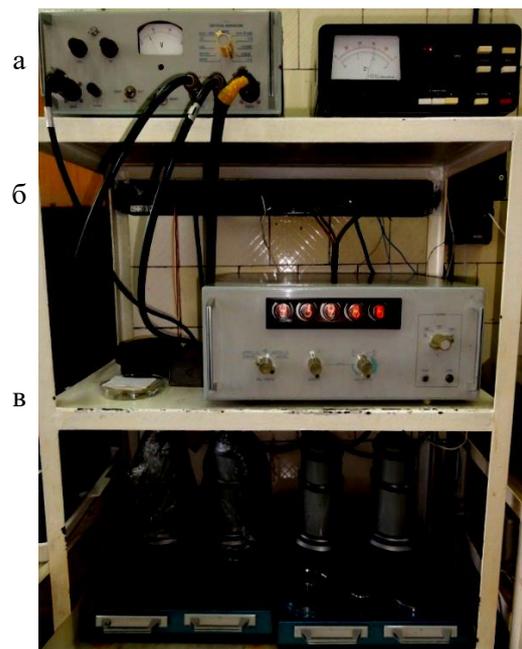
#### **Назначение и область применения**

Радиометрический метод разрабатывался для определения содержания урана и тория с уровнем концентрации не ниже  $5 \cdot 10^{-5}$  мас. % в порошковых пробах горных пород, руд и технологических продуктов. Метод анализа основан на измерении интенсивности альфа-бета-излучений радиометром «Спутник» с временной селекцией ионизирующих излучений [1]. Общий вид прибора представлен на рис. 2.1.

Методика распространяется на минеральное и техногенное сырье, технологические порошковые материалы массой до 20 г и устанавливает методы определения радиационно-гигиенических характеристик исследуемых материалов для их радиационной оценки в соответствии с требованиями Федерального закона «О радиационной безопасности населения (ФЗ № 3 от 09.01.1996 г.) и действующих Норм радиационной безопасности (НРБ-99/2009).

#### **Основные положения**

1. Метод анализа основан на использовании альфа- и бета-излучения проб вызывать световые вспышки комбинированного сцинтиллятора радиометра «Спутник», состоящего из сцинтиллятора альфа-частиц (сернистый цинк, активированный серебром) и сцинтиллятора бета-частиц (сцинтиллирующая пластмасса — полистирол с добавками р-терфенила), который поглощает альфа-частицы и преобразует энергию ионизации во вспышку люминесценции длительностью от  $1 \times 10^{-6}$  до  $2 \times 10^{-6}$  с. Одновременно сцинтиллятор детектирует бета-частицы, производя люминесценцию в виде коротких световых вспышек (до  $3 \times 10^{-9}$  с) [1-4].



Контрольная тарелка для КИ (слева) и подставка для тарелочки Ø 5 см (справа)



Измерительные тарелки из свинца Ø 10 см и 5 см для порошковых проб

Рис. 2.1. Универсальный альфа-бета радиометр «Спутник»: а — блок высокого напряжения; б — пульт (пересчетное устройство с автоматическим таймером); в — детекторы

Кванты света от альфа- и бета-излучений преобразуются фотоэлектронным умножителем в электрические импульсы тока. Импульсы от альфа-частиц имеют амплитуду не более 1 В и среднюю длительность от 1 до 2 мкс, а от бета-частиц — амплитуду не более 0.5 В и среднюю длительность 0.1 мкс. Таким образом, импульсы, обусловленные альфа- и бета-излучением, отличаются друг от друга по амплитуде и по длительности, что используется для раздельной регистрации альфа- и бета-излучения.

Тарелочки, используемые в качестве подложки для анализируемых проб, имеют свинцовую подложку, которая является отражателем бета-частиц, поэтому потери при обратном рассеивании их отсутствуют.

2. Измерения по бета-альфа-излучению проводятся в промежуточных и насыщенных слоях (“двухслойные” измерения), толщина которых не влияет на результаты измерений в пределах заданной точности анализа. Для учета этого фактора вводятся поправочные коэффициенты приведения к насыщенному по  $\beta$ -излучению слоя пробы и стандартного образца (СО). Излучение насыщенного слоя пропорционально массовой доле в нём радионуклидов. Концентрации радионуклидов рассчитываются по полученным результатам измерений в четырех каналах: А — альфа-канал, В — бета-канал, МС — канал регистрации медленных задержанных бета-альфа-совпадений радия-С (Bi-214), БС — канал регистрации быстрых задержанных бета-альфа-совпадений тория-С (Bi-212).

3. Процесс измерений состоит из четырех этапов:

- Подготовка счетных образцов.
- Настройка и градуировка измерительной аппаратуры.
- Проведение измерений.
- Обработка полученных данных и расчёт содержания радиоактивных

элементов в анализируемых объектах по заданному алгоритму.

4. Методика анализа позволяет определять содержание природных радионуклидов на уровне  $5 \times 10^{-5}$  мас. % или 2 Бк/кг, что достаточно для ее использования при радиационно-гигиенической оценке техногенного и минерального сырья, технологических продуктов, полученных при гидрометаллургической переработке этого сырья, а также объектов природной среды – почвы, донных осадков и др. Уровень измерений технический.

### **Средства измерений, вспомогательное оборудование, материалы и реактивы**

1. Бета-альфа-радиометр «Спутник» с временной селекцией ионизирующих излучений, разработан и создан в Научно-производственном объединении «Геофизика» Министерства геологии СССР [1], предназначен для измерения:

- концентрации урана, находящегося в равновесии с продуктами распада путем регистрации бета-альфа-излучений в диапазоне от  $5 \cdot 10^{-3}$  до  $5 \cdot 10^{-1}$  мас. % с погрешностью 10 %.

- концентрации радия-С (Bi-214) в диапазоне от  $5 \cdot 10^{-3}$  до  $5 \cdot 10^{-1}$  мас. % с погрешностью 15 %.

- концентрации урана в равновесии: путем регистрации медленных задержанных бета-альфа-совпадений в диапазоне от  $5 \cdot 10^{-3}$  до  $5 \cdot 10^{-1}$  мас. % с погрешностью 15 %.

- концентрации тория в равновесии: путем регистрации быстрых задержанных бета-альфа-совпадений тория-С (Bi-212) в диапазоне от  $1 \cdot 10^{-2}$  до 1 мас. % с погрешностью 15 %.

- концентрации урана и тория в диапазоне до  $5 \cdot 10^{-5}$  мас. % с погрешностью не более 25 % при доверительной вероятности 0.95.

2. В комплект радиометра входят пульт, блок детектирования и блок питания. Пульт прибора предназначен для селекции альфа- и бета-излучения, усиления, формирования, запоминания и вывода импульсов информации на цифровые индикаторы. Блок детектирования состоит из ФЭУ-82 и сцинтилляционного комбинированного детектора: сцинтиллятор  $\beta$ -частиц — полистирол с Р-терфенилом; сцинтиллятор  $\alpha$ -частиц — сернистый цинк, активированный серебром (ZnS (Ag)). Интервалы времени измерения, определяемые таймером, составляют 60, 300, 600, 1800 с погрешностью  $\pm 0.1$  %.

3. Бета-альфа-радиометр «Спутник» имеет следующие метрологические характеристики: основная погрешность измерения в диапазоне от  $5 \cdot 10^{-3}$  до  $5 \cdot 10^{-1}$  мас. % урана и от  $1 \cdot 10^{-2}$  до 1 мас. % тория составляет 10–15 %; дополнительная погрешность измерения при изменении температуры окружающей среды от 16 °С до 21 °С составляет  $\pm 2.5$  % отн; дополнительная погрешность измерения при изменении напряжения в сети  $220 \pm 22$  В – не более  $\pm 5$  %. Т.о. суммарная дополнительная погрешность  $\pm 7.5$  %, распределена по нормальному закону.

- Фон установки:  $\alpha$ -канал —  $3.4 \cdot 10^{-3}$  имп/с,  $\beta$ -канал — 3.2 имп/с; МС- и БС-каналы — 1 имп/ч.

- Эффективность регистрации альфа- и бета-излучений ( $\epsilon$ , %): 85 % и 70 % по Pu-239 и Sr-90 соответственно.

- Чувствительность прибора к излучению урана и тория ( $\eta$ , имп/г): для U — 85, 1000, МС — 6.6; для Th — 33.3, 165, БС — 1. Чувствительность детектора к излучению урана и тория определяется по Государственным стандартным образцам (ГСО).

4. Комплект аттестованных мер (стандартных образцов) удельной активности ЕРН — Государственные и отраслевые стандартные образцы (ГСО, ОСО) — ГСО СГ-1А, СВТ-16А, СГ-3, ОСО-6с, ОСО-7с, Sr-90, Pu-238 и др. стандартные образцы, аттестованные на уран и торий в диапазоне концентраций  $2 \cdot 10^{-4} \div 9 \cdot 10^{-1}$  мас. %, с различным соотношением Th/U и химическим составом, а также техногенные продукты с известным содержанием радионуклидов.

5. Контрольные источники альфа- и бета-излучения: Sr-90, Pu-238, U-естеств. (активная площадь  $78.5 \text{ см}^2$ ), применяют для определения чувствительности детекторов и определения эффективности регистрации альфа-бета излучения в соответствующих каналах, контроля за сохранностью параметров радиометрической установки.

6. Входной контроль исследуемых материалов проводят с помощью радиометров и дозиметров типа СРП-88Н, ДРГ-01Т, МКС-04Н, ДКГ-07.

7. Применяемые приборы подлежат государственной метрологической аттестации (поверке) в установленном порядке.

#### Вспомогательное оборудование:

- Набор свинцовых тарелочек (мишеней) установленного образца: диаметр 10 см (площадь —  $S = 78.5 \text{ см}^2$ ) и 5 см ( $S = 17.34 \text{ см}^2$ ), глубиной 0.6–1 мм, для размещения навесок исследуемого материала.

- Сушильный шкаф по ОСТ 16.0.801.307 (или аналогичный) для пробоподготовки — приведение проб к одинаковым условиям, сушка при температуре  $100 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- Весы лабораторные типа ВЛР-200 и WA-33 и др., диапазон: 0.0001 г — 200 г, погрешность не более 1 %.

#### Реактивы, материалы

Вода дистиллированная.

Дезактивирующие средства — ОП-7/10, дезактивирующие порошки «Защита», «РАДДЕЗ»; поверхностно-активные вещества (ПАВ — стиральные порошки «Лотос», «Новость» и др.); щавелевая, лимонная и борная кислоты, этилендиамин-тетрауксусная кислота (ЭДТА), каустическая сода, 1–3 М растворы минеральных кислот (соляная, серная), калия марганцовокислого и др. — для дезактивации оборудования, посуды.

Аварийный комплект дезактивирующих растворов — по 1 л.

Калий хлористый, хч — для контроля правильности результатов.

Спирт ректификат этиловый для удаления радиоактивного загрязнения с поверхностей устройства подачи счетных образцов, рабочей поверхности детектора, протирки тарелок, разубоживания проб и др.

Сиолит (смесь формовочная на основе диоксида кремния, выпуск — «Ленмедполимер»), порошок для разубоживания проб с повышенным содержанием ЕРН.

Кварцевые или фторопластовые чашки емкостью 50–100 мл для разубоживания проб.

Лампа Соллюкс для сушки проб, обработанных спиртом при разубоживании.

Банки полиэтиленовые или полипропиленовые, вместимостью 10, 20, 50, 100, 500 и 1000 см<sup>3</sup> для хранения проб.

Калька, полиэтиленовая пленка — «салфетки» размером 30х30 см, используемые при пробоподготовке.

Кисточки для очистки весов от загрязнений пробами и для удаления проб с тарелок.

Перчатки хирургические.

Пинцет для переноса контрольных источников.

Притирочное стекло для разравнивания поверхности пробы на тарелке.

Протирочный материал (бязь, вата, марля, фланель).

Стеклянные бюксы на 50 и 100 мл для хранения эталонов.

Фильтровальная бумага, полиэтиленовые пакеты для сбора радиоактивных отходов.

Шпатели и лопатки, пластмассовые и металлические, для взятия навесок и разравнивания их на поверхности тарелок.

*Примечание.* Допускается применение других вспомогательных устройств, материалов и реактивов, в том числе импортных, с техническими и метрологическими характеристиками не хуже указанных.

### **Подготовка счетных образцов и выбор условий измерения**

1. Пробы, поступившие на анализ, проходят входной контроль с помощью переносных дозиметров или радиометров СРП-88Н, ДРГ-01Т, МКС-04Н, ДКГ-07. Мощность экспозиционной дозы определяют на поверхности исследуемого материала, который затем сортируют в зависимости от показаний приборов на пробы с низким содержанием природных радионуклидов (МЭД до 25 мкР/ч, содержание урана в диапазоне от  $5 \cdot 10^{-5}$  до  $5 \cdot 10^{-3}$  мас. % и тория в диапазоне от  $1 \cdot 10^{-4}$  до  $1 \cdot 10^{-2}$  мас. %) и пробы с повышенным содержанием природных радионуклидов (МЭД > 25 мкР/ч, содержание урана и тория от 0.1 до 0.5 мас. %). Для проб с МЭД > 100 мкР/ч проводят разубоживание их неактивным материалом, близким по составу к исследуемому (или сиолитом).

2. Для анализа отбирают представительные навески из порошковых проб, измельченных до 0.08–0.25 мм, что позволяет получить наиболее точные сведения о концентрации ЕРН. Крупные размеры частиц снижают точность анализа.

3. Влажные пробы сушат в сушильном шкафу при температуре  $100 \pm 5$  °С в течение 1–2 ч. Технологические продукты должны быть прокалены при 300–600 °С и растерты в пудру.

4. Воздушно-сухую пробу с низким содержанием природных радионуклидов помещают на две свинцовые тарелки  $\varnothing 10$  см с активной площадью (S) равной 78.5 см<sup>2</sup> (или  $\varnothing 5$  см.  $S = 17.34$  см<sup>2</sup> для проб с повышенным содержанием природных радионуклидов). Для проведения измерений в промежуточных слоях глубина тарелки равна 0.60 мм (P<sub>1</sub>) и 1 мм (P<sub>2</sub>) для

насыщенных слоев («двухслойные» измерения). Масса образцов для тарелок Ø10 см находится в пределах 4–25 г, для тарелок Ø5 см — 0.5–6 г. Всегда должно выполняться условие:  $P_1 < P_2$ .

Поверхность проб разравнивают шпателем или притирочным стеклом, чтобы порошок занял весь объем тарелки. Поверхность порошковой пробы должна быть ровной, т.к. зазор между детектором и поверхностью пробы в режиме измерения составляет 0.5 мм.

Тарелки с пробами взвешивают на тех же весах, что и при предварительном взвешивании тарелок. Допускается предварительное взятие навесок проб на аналитических весах с последующим размещением их без потерь на тарелках.

5. В том случае, когда требуется разубоживание материала, берут навеску исследуемой пробы, помещают ее в кварцевую или фторопластовую чашку (агатовую или фарфоровую ступку) емкостью 50–100 мл, добавляют 5–10-кратное количество неактивного материала (сиолит или другой, близкий по составу к исследуемому и не содержащий радионуклиды). Для равномерного распределения радионуклидов в смеси компоненты тщательно перемешивают с добавлением спирта и высушивают на воздухе или под лампой Соллюкс, растирают и готовят счетные образцы согласно п. 4.

6. После окончания измерения пробы удаляют с тарелки кисточкой, тарелки подвергают дезактивации и проверке на отсутствие радиоактивного загрязнения.

7. При выборе интервала времени измерения определяющими требованиями являются: необходимая статистическая точность измерения и предел памяти по каналам  $\alpha$ - $\beta$ -5 разрядов (99999), МС-4 разряда (9999) и БС - 3 разряда (999). Интервал времени измерения ( $T$ ) определяют величиной, заданной статистической погрешностью измерения интенсивности и ионизирующего излучения пробы и рассчитывают по формуле:

$$T = \frac{N_{np} \cdot t_{tm}}{t_{tm} \cdot \sigma^2 \cdot (N_{np} - N_{tm})^2 - N_{tm}}, \quad (2)$$

где  $N_{np}$  — скорость счёта импульсов, регистрируемая прибором при измерении пробы, имп/с;  $N_{\phi}$  — скорость счёта импульсов фона, регистрируемая прибором, имп/с;  $t_{\phi}$  — интервал времени измерения фона, с;  $\sigma$  — относительное среднее квадратичное отклонение результата измерения скорости счёта импульсов.

Таблица 2.1

Интервалы времени измерения для RaC (канал МС)

Диаметр измерительной тарелочки	Интервал концентраций, мас. % урана	Количество импульсов за 60 с по каналу МС	Погрешность измерений, %	Интервал времени измерений, с
10 см	$5 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-2}$	2–4	10	2x1800
-«-	$1 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-2}$	4–20	10	3x600
-«-	$1 \cdot 10^{-1} - 1 \cdot 10^{-2}$	20–40	5	2x600
5 см	$1 \cdot 10^{-1} - 5 \cdot 10^{-1}$	10–50	5	4x600

## Настройка и градуировка измерительной аппаратуры

1. Перед замером каждой пробы измеряется уровень фона — показания прибора в отсутствие источников излучения в измерительной камере, экранированной свинцовой защитой от внешнего излучения. Фон обусловлен темновым током ФЭУ, т.е. током в отсутствие световых импульсов. Фоновые значения определяют по всем четырем каналам  $\alpha$  (А),  $\beta$  (В), МС (канал «медленных совпадений»), БС (канал «быстрых совпадений») в течение интервалов времени 60, 300, 600, 1800 с соответственно. Количество измерений — 10. Скорость счета импульсов фона не должна отличаться от величины, указанной в паспорте более чем на  $\pm 10\%$ .

2. Эффективность регистрации по всем каналам определяют по образцовым источникам излучений 2-го разряда (ОИИ). Сначала измеряют с контрольной тарелкой среднее значение фона  $N_{\phi}$  по 5 наблюдениям в течение 60 с. Затем аналогичным образом определяют скорость счета  $N_{\text{эт}}$  для образцового источника бета-излучения — Sr-90. Повторяют измерение фона и проводят измерения образцового источника альфа-излучения — Pu-238. Эффективность регистрации ( $\varepsilon$ , %) рассчитывают одинаково для обоих ОИИ:

$$\varepsilon = (N_{\text{эт}} - N_{\phi}) \cdot 100 / G_{(\alpha, \beta)} \cdot 60 \quad (3),$$

где  $G_{(\alpha, \beta)}$  — количество бета- или альфа-частиц, излучаемых соответствующим ОИИ в секунду.

Таблица 2.2

Эффективность регистрации излучения ( $\varepsilon$ ) радиометром «Спутник»

По паспорту		Эксперимент	Образцовый источник излучения
$\varepsilon$ , по $\alpha$ -каналу	> 85 %	98.5 $\pm$ 35.3 %	Pu-238, 33.8 $\pm$ 7.44 частиц/с (22 %)
$\varepsilon$ , по $\beta$ -каналу	> 70 %	75.0 $\pm$ 40.8 %	Sr-90, 87 $\pm$ 19.14 частиц/с (22 %)

3. Чувствительность прибора к излучению урана и тория ( $\eta$ , имп/с) определяют ежедневно по ГСО СГ-1А (эталон) или другому СО. Сначала измеряют фон  $N_{\phi}$ , как среднее по 3–5 наблюдениям за 600 с. Порошок эталона взвешивают ( $P_{\text{со}}$ ), помещают на тарелку и измеряют скорость счета  $N_{\text{эт}}$  за 600 с по 3–5 наблюдениям. Чувствительность для каждого канала рассчитывают по формулам:

– чувствительность к излучению урана измеряют в имп/с на 1 % урана в равновесии, и рассчитывают по альфа-излучению ( $A\eta$ ), бета-излучению ( $B\eta$ ), и радио-С ( $MC\eta$ ):

$$A\eta = (N_{\text{эт}} - N_{\phi}) / G_{(\alpha)} \quad (4)$$

$$B\eta = (N_{\text{эт}} - N_{\phi}) / G_{(\beta)} \quad (5)$$

$$MC\eta = (N_{\text{эт}} - N_{\phi} - N_{\text{сл.МС}}) / G_{\text{РаС=U}} \quad (6)$$

– чувствительность к излучению тория (имп/с на 1 мас. % тория в равновесии) определяют по формуле:

$$BC\eta = (N_{\text{эт}} - N_{\phi} - N_{\text{сл.БС}}) / G_{\text{ТнС=Th}} \quad (7)$$

где  $G_{\text{РаС=U}}$ ,  $G_{\text{ТнС=Th}}$  — концентрации урана и тория в СО;  $N_{\text{сл.МС(БС)}}$  — скорости счета случайных совпадений (имп/с) в канале МС и БС соответственно, рассчитанные по формулам:

$$N_{\text{сл.МС}} = A(N_{\text{эт}} - N_{\phi}) \cdot B(N_{\text{эт}} - N_{\phi}) \cdot \tau_{\text{МС}} \quad (8)$$

$$N_{\text{сл.БС}} = A(N_{\text{эт}} - N_{\phi}) \cdot B(N_{\text{эт}} - N_{\phi}) \cdot \tau_{\text{БС}}, \quad (9)$$

где  $\tau_{\text{МС}} = 600 \cdot 10^{-6}$  с, а  $\tau_{\text{БС}} = 5 \cdot 10^{-6}$  с — паспортные данные.

Таблица 2.3

Значения чувствительности ( $\eta$ ) к излучению урана и тория (по ГСО 262-72 СГ-1А)

Наименование величин	$\alpha$ -	$\beta$ -	МС	БС	Условия измерения
$N_c$ , имп/600 с имп/с	424±57 0.71±0.10	5226±680 8.72±1.13	30±4 0.050±0.007	6±1 0.010±0.002	S = 78.5 см <sup>2</sup> , P <sub>co</sub> = 5.7 г T = 600 с
Концентрация, мас. %	0.0102	0.0166	0.0063±0.0004	0.013±0.001	
$\eta$ , имп/г	69.28±22.52	524.7±150.1	7.35±1.68	0.767 0.226	

*Примечание.*  $N_c$  ( $N_\alpha$ ,  $N_\beta$ ,  $N_{MC}$ ,  $N_{BC}$ ) — средние арифметические скорости счета импульсов в соответствующих каналах без фона и погрешности их определения. Концентрация, мас. % — по Свидетельству ГСО 262-72.

Изменение чувствительности  $\beta$ -каналов за 8 часов непрерывной работы — не более 3 %.

Нелинейность градуировочных графиков прибора при измерении скорости счёта импульсов по  $\alpha$ - $\beta$ -каналам от образцовых источников — не более 10 %.

4. Определение взаимного влияния каналов: относительную величину вклада (%) рассчитывают по формулам:

$$R_{\alpha \rightarrow \beta} = \frac{100 \cdot N_\beta}{N_\alpha}, \quad R_{\beta \rightarrow \alpha} = \frac{100 \cdot N_\alpha}{N_\beta}, \quad (10)$$

где  $R_{\alpha \rightarrow \beta}$  — относительная величина вклада альфа-излучения в  $\beta$ -канал (при измерении образцового источника альфа-излучения плутония-239);  $R_{\beta \rightarrow \alpha}$  — относительная величина вклада бета-излучения в  $\alpha$ -канал (при измерении образцового источника бета-излучения стронция-90);  $N_\alpha$ ,  $N_\beta$  — среднее арифметическое значение скорости счёта импульсов (за вычетом фона) по  $\alpha$ - и  $\beta$ -каналам соответственно, имп/с.

Интервал времени измерения 600 с, число измерений — 3. Величина взаимного влияния излучения на работу регистрирующих каналов должны соответствовать указанным величинам: погрешность взаимного влияния альфа-бета-излучений на работу измерительных каналов составляет:

- вклад бета-излучения в  $\alpha$ -канал — не более 0.15 %.
- вклад альфа-излучения в  $\beta$ -канал — не более 0.5 %.
- вклады альфа-бета-излучения в МС-, БС-каналы отсутствуют.

Если взаимное влияние незначительно (в 5–6 раз меньше погрешности), этими показателями при расчетах можно пренебречь.

5. Определение отношения длительности импульсов управления  $\tau_{MC}/\tau_{BC}$  производят путём измерения скорости счёта импульсов по каналам МС и БС от образцового источника 2-го разряда с ураном естественным, излучающего некоррелированные во времени альфа- и бета-частицы.

Интервал времени измерения 600 с. Количество измерений 10. Измерение производят согласно п. 2. настоящей методики.

Отношение длительностей импульсов управления каналов МС и БС рассчитывают по формуле:

$$C = \frac{N_{MC}}{N_{BC}}, \quad (11)$$

где  $N_{MC}$ ,  $N_{BC}$  — средние арифметические значения скоростей счёта импульсов, обусловленные случайными совпадениями по каналам МС и БС соответственно,

имп/с. В формуляре прибора указано значение  $\tau_{MC}$  ( $\sim 600 \cdot 10^{-6}$  с) и  $\tau_{BC}$  ( $\sim 5 \cdot 10^{-6}$  с), что даёт значение отношения  $\tau_{MC} / \tau_{BC} = C = 120$ .

6. Оценка погрешности градуировки и измерений.

При оценке погрешности измерений учитывают погрешность измерения фона (инструментальная погрешность измерения фона равна геометрической сумме основной и дополнительной погрешностям радиометра, для каналов А и В она равна 13 %, для каналов МС и ВС — 17 %), статистическую погрешность измерений для времени измерения ( $T = 60-1800$  с), погрешность измерения эффективности (для альфа-канала — 13 %, бета-канала — 16 %), погрешность измерения чувствительности — 10 %.

Определение погрешности градуировки и измерений:  $n$  — количество наблюдений;

$N_{\phi c} = \sum N_{\phi i} / n$  — среднее арифметическое скорости счета импульсов в соответствующих каналах при  $n$  наблюдениях фона;

$d = N_{\phi c} - N_{\phi i}$  — отклонения скорости счета импульсов от  $N_{\phi c}$ ;

$S_n^2 = (\sum d^2) / [n(n-1)]$  — среднеквадратичное отклонение среднего;

$\Delta$  — погрешность измерения (абсолютная величина),  $\Delta = \pm t_{pn} S_n$ ;

$\delta$  — относительная погрешность,  $\delta = \Delta / N_{\phi}$ ;

$t_{p,n}$  — коэффициент Стьюдента для  $P = 0.95$ .

#### Расчет погрешности определения эффективности регистрации излучения

$$\delta_{N_{ЭГ} - N_{\phi c}} = \sqrt{\delta_{N_{ЭГ}}^2 + \delta_{N_{\phi}}^2} \quad \delta_{\varepsilon} = \delta_{N_{ЭГ} - N_{\phi c}} + \delta_G$$

Погрешность взвешивания на аналитических весах  $\pm 1\%$ , относительная погрешность измерения при взвешивании ГСО СГ-1А и проб — менее 0.4 %.

Точность измерения можно снизить до  $\pm 0.01$  г и даже в этом случае погрешность измерения будет очень мала. Это значит, что систематической составляющей неисключенных погрешностей измерения можно пренебречь.

7. Оценка метрологических характеристик каналов (фон, эффективность регистрации и чувствительность к излучению) показывает, что на межповерочном интервале его погрешности не ниже, чем по паспортным данным  $\approx \pm 10 \div 15$  %.

8. Величина относительной ошибки скорости счёта эталона переносится на активность измеряемого препарата, поэтому можно определять низкие концентрации урана и тория с допустимой погрешностью для радиометрического метода анализа.

#### **Порядок выполнения радиометрических измерений**

1. Включить прибор в сеть нажатием кнопки «пуск» на пакетнике и тумблера «сеть» на панели прибора.

2. Тумблер «выс.напр.» поставить в положение «вкл.» (показание вольтметра М4200 умножить на 250).

3. Прогреть прибор в течение 30 мин (экспозиция — 60 с – поверка).

4. Проверить фон, экспозиция: 60-300-600-1800 с, не менее 3-5-10 раз. При превышении фона на 10 % от формулярных значений провести чистку блоков детектирования и сцинтилляторов.

5. С помощью образцовых источников проверить метрологические параметры прибора. Проверить показания и правильность работы радиометра по контрольным источникам — плутонию-238, стронцию-90, урану естественному.

6. Проверить мишени на степень радиоактивного загрязнения («чистоту»). Мишени «чистые», если показания прибора меньше фонового ( $N_{\phi}$ ) или равны фону. При превышении фона в 2 и более раз необходимо провести дезактивацию их соответствующими дезактивирующими средствами (порошок «Защита» и «РАДДЕЗ», ПАВ, Оп-7/10, ЭДТА, лимонная, щавелевая кислоты, калий марганцовокислый, спирт и др.).

7. Провести измерение подготовленных счетных образцов.

8. После окончания работы снять высокое напряжение, отключить питание.

### **Проведение измерений и обработка полученных данных**

1. Тарелку с пробой (последовательное измерение —  $P_1$  и  $P_2$ ) устанавливают в отверстие каретки блока детектирования и вводят в измерительную камеру бета-альфа радиометра «Спутник». Положение тарелки фиксированное, поэтому анализируемые и стандартные пробы измеряются в одинаковых геометрических условиях.

2. Установить необходимую экспозицию на 60 или 300, 600, 1800 с и измерить скорость счета А-Б-излучения от счетного образца 3-5-10 раз. Показания прибора записать в Журнал регистрации анализа проб, рассчитать среднее значение скорости счета фона.

Во всех случаях условия измерений (размер подложки и т.п.) идентичны. Время измерения определяется по табл. 2.1. Для проб с меньшими концентрациями определяемых величин интервал времени измерения может быть увеличен до 5400 с.

3. Показания прибора записать в Журнал регистрации анализа проб, рассчитать среднее значение скорости счета счетного образца — пробы ( $N_{прА,Б} = \Sigma N/k$ , где  $N_{пр}$  — скорости счета пробы за время  $T$ , имп/с;  $k$  — количество измерений;  $\Sigma N$  — сумма показаний скорости счета для  $k$ -измерений за  $T$ , имп/с для каждого вида излучения).

4. Аналогично измерить скорость счета А-Б-излучения от эталонного источника — СГ-1А, ПК-эт, ЛК-эт и др., с известным содержанием радионуклидов или активности ( $N_{эт}$  — скорость счета эталона за время  $T$ , имп/с;  $G$  — известное содержание альфа-бета-активных веществ, Бк/кг) и рассчитать среднее значение скорости счета эталона по каждому виду излучения (имп/с).

5. После снятия показаний пробу высыпать обратно в пакетик или бюкс, а мишень подвергнуть дезактивации, высушить и снова проверить на «чистоту».

6. После выполнения 3-5 наблюдений по всем каналам в рабочий журнал записывают все средние значения измеряемых параметров, и из них вычитают среднее значение скорости счета фона ( $N_{\phi}$ ).

7. По данным радиометрических "двухслойных" измерений в течение  $3 \times (300-1800)$  с определяют состояние радиоактивного равновесия в исследуемых образцах и в зависимости от этого рассчитывают содержание урана, тория, калия (мас. %).

Методика расчета содержания естественных радионуклидов основана на решении уравнений баланса, которые описывают зависимость общей активности данного излучения от суммарных активностей рядов урана и тория [1-4]:

$$Q_{\alpha(\beta)} = \sum_{i=1}^N \alpha_i A_i + \sum_{j=1}^M \beta_j \beta_j \quad (12)$$

где  $Q_{\alpha(\beta)}$  — общая активность  $\alpha$ - или  $\beta$ -излучения;  $\alpha_i$  — коэффициенты пропорциональности, удовлетворяющие условию:  $\alpha_i = 1$ ;  $A_i$  — активность радионуклидов ряда урана;  $\beta_j$  — урановые эквиваленты радионуклидов ряда тория;  $B_j$  — активности радионуклидов ряда тория.

На основе его в ТО выведены формулы косвенных измерений концентраций урана и тория. Для  $\beta$ -излучения добавляется урановый эквивалент  $^{40}\text{K}$ . Расчет суммарной активности зависит от наличия эманации и содержания  $^{214}\text{Bi}$  и  $^{212}\text{Bi}$ . Рассматривается восемь вариантов расчета. В каждом варианте вклад отдельных радионуклидов в суммарную активность различен. В результате вычислений определяется концентрация  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{212}\text{Bi}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  и  $^{238}\text{U}$ .

Основные формулы расчета, которые используются для определения концентраций урана и тория:

а) вычисление концентрации тория по ThC (мас. %):

$$Q_{BC1} = \frac{N_{npBC1}}{1.1 \cdot \eta_{BC} \cdot T} \quad Q_{BC2} = \frac{N_{npBC2}}{\eta_{BC} \cdot T} \quad Q_{ThC} = \frac{Q_1 + Q_2}{2}, \text{ мас. \%}, \quad (13)$$

$$A_{ThC} = 1.1 \times 10^{-6} \times 10 \times Q_{ThC}, \text{ Ки/кг};$$

б) вычисление концентрации урана по RaC (мас. % урана):

$$Q_{MC1} = \frac{N_{npMC1}}{\eta_{MC} \cdot T} \quad Q_{MC2} = \frac{N_{npMC2}}{\eta_{MC} \cdot T} \quad Q_{RaC} = \frac{Q_1 + Q_2}{2}, \text{ мас. \% урана}, \quad (14)$$

$$A_{RaC} = Q_{RaC} \times 10 \times 4.7 \times 10^{-6} \text{ Ки/кг};$$

в) вычисление содержания радионуклидов по альфа-излучению (мас. % урана в равновесии):

$$A_{\alpha 1} = \frac{N_{np\alpha 1}}{\eta_{\alpha} \cdot T} \quad A_{\alpha 2} = \frac{N_{np\alpha 2}}{\eta_{\alpha} \cdot T} \quad A_{\alpha} = \frac{A_{\alpha 1} + A_{\alpha 2}}{2}, \text{ \% равен U}, \quad (15)$$

$$(A_{\alpha} \times 10 \times 2.61 \times 10^{-6}) \text{ Ки/кг};$$

г) вычисление поправочных коэффициентов приведения к насыщенному по бета-излучению слою для пробы ( $b_{C1}$ ,  $b_{C2}$ ) и CO ( $b_{CO}$ ) (16):

$$b_{CO} = 1 - e^{-6.034 \cdot \frac{P_{CO}}{S}} + e^{-10.768 \cdot \frac{P_{CO}}{S}} - e^{-15.45 \cdot \frac{P_{CO}}{S}}$$

$$b_{C1} = 1 - e^{-6.034 \cdot \frac{P_1}{S}} + e^{-10.768 \cdot \frac{P_1}{S}} - e^{-15.45 \cdot \frac{P_1}{S}}$$

$$b_{C2} = 1 - e^{-6.034 \cdot \frac{P_2}{S}} + e^{-10.768 \cdot \frac{P_2}{S}} - e^{-15.45 \cdot \frac{P_2}{S}}$$

5) вычисление содержания радионуклидов по бета-излучению (мас. % урана в равновесии) с поправкой к насыщенному слою: контроль! (17):

$$N_{\beta 1} < N_{\beta 2} \quad A_{\beta 1} = \frac{(N_{np\beta 1} - N_{\phi\beta}) \cdot b_{C0}}{\eta_{\beta} \cdot T \cdot b_{C1}}; \quad A_{\beta 2} = \frac{(N_{np\beta 2} - N_{\phi\beta}) \cdot b_{C0}}{\eta_{\beta} \cdot T \cdot b_{C2}}; \quad A_{\beta} = \frac{A_{\beta 1} + A_{\beta 2}}{2}, \text{ \% равн. U};$$

$$(A_{\beta} \times 10 \times 2.01 \times 10^{-6}) \text{ Ки/кг}.$$

д) Для приведения единиц измерения в системные, необходимо умножить их на соответствующие коэффициенты:  $1 \text{ Ки} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Бк}$ .

ж) Для определения области использования и класса материала исследуемого материала выполняют расчет эффективной удельной активности ( $A_{\text{эф}}$ ) согласно формулы (1).

8. Математическая обработка результатов радиометрических измерений, полученных на радиометре “Спутник”, состоит из расчета концентраций естественных радионуклидов и статистического анализа эксперимента. Обработку результатов измерений проводят в режиме "off-line" на IBM PC по разработанной и представленной авторами в работах [9-15] программе "Спутник". Программа SP включает проверку корректности входной информации, определение состояния радиоактивного равновесия в рядах урана и тория и выбор варианта расчёта, определение коэффициентов эманации в случае нарушения равновесия между группами уран — радон и торий — торон, вычисление поправочных коэффициентов приведения к насыщенному по  $\beta$ -излучению слоя пробы и стандартного образца, вычисления средних концентраций урана, тория, радия, расчёт содержания интегральных альфа-, бета-активных веществ и их среднего значения, корректирует единицы измерения.

9. Результаты, получаемые в эксперименте, по своему характеру являются случайными. Это связано, как со статистической природой самого исследуемого объекта, так и с различными случайными воздействиями, которые неконтролируемо могут вноситься в процесс измерений. Для выяснения достоверности результата проводится статистический анализ [14–17]. Для каждого содержания рассчитывается доверительный интервал:

$$\tilde{h} - \frac{\tilde{\sigma}}{\sqrt{h}} t_1 - \varepsilon/2 < \eta < \tilde{\eta} + \frac{\tilde{\sigma}}{\sqrt{n}} t_1 - \varepsilon/2 \quad (18)$$

#### Форма представления результатов

Все показания и расчеты записывают в Журнал регистрации анализа проб: дата поступления проб, наименование проб и их физико-химическая характеристика, паспортные данные (время отбора проб, Акт отбора. Заказчик — организация, фамилия и т.д.), дата измерения, фамилия исполнителя, температурные условия и др.

**Общая запись результатов измерений** имеет следующий вид:

- общие данные (наименование пробы, дата измерения, исполнитель, заказчик и др.);
- условия измерения ( $S = 78.5$  или  $17.34$  см<sup>2</sup>,  $T$  — время измерения в с, тип ГСО;  $P_1, P_2, P_{co}$ ; чувствительность —  $\eta_A, \eta_B, \eta_{MC}, \eta_{BC}$ );
- рассчитывают средние значения фона в каждом канале ( $N_\phi$ );
- рассчитывают средние значения скорости счета эталона и исследуемой пробы для  $P_1$  и  $P_2$  ( $N_{эт}, N_{пр-1}, N_{пр-2}$ ) в каждом канале;
- рассчитывают средние значения скорости счета эталона и исследуемой пробы для  $P_1$  и  $P_2$  по всем каналам без фона ( $AN_1, AN_2, BN_1, BN_2, MCN_1, MCN_2, BCN_1, BCN_2$ ), А-альфа, В-бета, МС, ВС – каналы.

Запись полученных данных в журнале:

Исходные данные:  $S = 78.5$  см<sup>2</sup>, ( $\varnothing 10$  см) или  $17.34$  см<sup>2</sup> ( $\varnothing 5$  см)

$P, \gamma$  — вес от 0.5 до 25.0 г,  $P_1, P_2, P_{co}$

$T$  — время измерения, сек (60–1800)

$N_\phi$  — количество импульсов фона за время измерения

$N_{пр}$  — количество импульсов от пробы с фоном  
 $N_{эт}$  — количество импульсов от эталона с фоном  
 $\alpha, \beta, MC, BC$  — повторить запись для всех каналов.

Расчет выполняют, если выполняется условие:  $N_{\beta 1пр} < N_{\beta 2пр}$ . Если это условие не выполняется, проводят повторные измерения счетных образцов для других навесок.

Полную обработку результатов радиометрических измерений проводят по программе SP [14-18].

**Алгоритм пакета включает в себя следующую последовательность решения задач:**

- Проверка корректности входной информации.
- Выбор варианта расчета.
- Вычисление поправочных коэффициентов.
- Решение уравнений баланса.
- Проведение статистического анализа.

Пакет программ SP проводит предварительный анализ содержания естественных радионуклидов и реализует сервисные сообщения о корректности постановки эксперимента. Результаты выводятся на цифropечатающее устройство в виде таблиц и сообщений для рядов урана и тория.

Оформление и выдача заказчику результатов исследований выполняют в виде Протокола или Свидетельства радиационного качества, Акта радиационного контроля, Отчета (по договоренности с заказчиком).

Радиационная оценка исследуемого материала определяется по критериям, представленных в табл. 2.4, в соответствии с действующими нормативными документами и в зависимости от области использования и класса материала [5–9].

Таблица 2.4

Критерии для принятия решения об использовании материалов

$A_{эфф}$ , Бк/кг	Область использования материалов	Класс материалов	
		[5]	[6, 18]
До 300	Все виды строительства, отсутствие ограничений	–	–
$\leq 370$	Вновь строящиеся и реконструируемые жилые и общественные здания	I	I
$\leq 740$	1. Дорожное строительство в пределах территории населенных пунктов и зон перспективной застройки, возведение производственных сооружений. 2. Обращение с материалами в производственных условиях осуществляется без ограничений	II	I
$\leq 1500$	1. Дорожное строительство вне населенных пунктов. 2. Обращение с материалами в производственных условиях осуществляется с учетом характера их использования	III	II
$1500 < A_{эфф} \leq 4000$	1. При согласовании с федеральным органом Роспотребнадзора. 2. Обращение с материалами в производственных условиях осуществляется с учетом характера их использования и при оценке дозы облучения работников и населения	IV	III
$> 4000$	1. Использование в строительстве запрещено. 2. Вопрос об использовании решается Департаментом Минздрава России	–	IV

### Обеспечение качества измерений

1. Точность и правильность определения естественных радионуклидов на бета-альфа-радиометре «Спутник» оценивают по величине расхождения между данными первичного и повторного определения и между данными радиометрического и аттестованного анализа – гамма-спектрометрического с автоматизированной обработкой результатов. Оценка точности и контроль качества метода проверяется контрольным анализом пробы другим методом. Это позволяет выявить методическую ошибку (случайную и систематическую).

Повторное определение выполняют для проверки стабильности работы аппаратуры и качества работы оператора.

2. Контроль правильности проводят периодически, в соответствии с планами внутрилабораторного контроля. В качестве контрольных проб следует использовать государственные стандартные образцы, в которых аттестовано содержание элементов в соответствии со Свидетельством.

Модуль отклонения результата измерений массовой доли элемента ( $\Delta_{\text{ГСО}}$ ) от аттестованного значения государственного стандартного образца, отнесённый к аттестованному значению ( $C_{\text{ГСО}}$ ), не должен превышать норматив контроля правильности ( $K$ ), вычисляемый по формуле:

$$K = [\delta^2 + (100 \Delta_{\text{ГСО}}/C_{\text{ГСО}})^2]^{1/2}, \quad (19)$$

где  $C_{\text{ГСО}}$  — массовая доля элемента в стандартном образце, % (аттестованное значение, указанное в паспорте ГСО).

### Метрологическое обеспечение метода анализа

В данной работе были изучены метрологические характеристики радиометрического определения естественных радионуклидов (ЕРН) на радиометре «Спутник», возможности повышения чувствительности и точности их определения. Исследования были проведены с использованием различных стандартных образцов (ГСО, ОСО, СО), аттестованных на уран и торий в диапазоне концентраций  $1 \times 10^{-1}$ – $2 \times 10^{-6}$  мас. %, с различным соотношением U/Th и химическим составом. Исследования проводили также на СО, не аттестованных на определяемые элементы — серия пород региональных дальневосточных СО, разработанных сотрудниками ДВГИ ДВО РАН (ДВМ-1, ДВР-1, ДВХ-1 и др.), на стандартных образцах предприятия (СОП) и лабораторных СО (ЛСО), приготовленных в лабораторных условиях на основе препаратов урана-238 и тория-232, необходимых для анализа редкометалльного сырья.

Проверка правильности результатов анализа проводилась по Государственным стандартным образцам (ГСО). Относительное стандартное отклонение, рассчитанное по 10–25 параллельным определениям урана, было равно 15 %, тория — 10 % для всего диапазона концентраций. Правильность метода оценивали по степени близости полученных средних содержаний [10–13]  $C_x$  с аттестованным значением  $C_0$ . Результаты анализа некоторых СО представлены в табл. 2.5–2.7. Получено хорошее совпадение результатов анализа с аттестованными значениями урана и тория. Результаты нормально распределены – чётко выраженных тенденций к завышению или к занижению значений концентраций для обоих элементов не выявлено.

Значимые систематические расхождения с действительными концентрациями урана и тория в СО не наблюдаются. Предел обнаружения выше, чем минимальные значения концентраций урана и тория в исследованных стандартных образцах. Это дало возможность аттестовать лабораторные СО и СОП с целью использования их для радиометрического анализа редкометалльного, техногенного и минерального сырья.

Таблица 2.5

Сравнительные данные результатов определения ЕРН в СО  
(Содержание мас. % и погрешность определения для P = 0.95)

Наименование СО	ГОСТ №	Уран-238, 10 <sup>-4</sup> мас.%		Торий-232, 10 <sup>-4</sup> мас.%	
		по ГОСТу	обнаружено	по ГОСТу	обнаружено
ГСО СГ-1А	520-8411	63±6.4	63.2±4.5	120±7.7	117±15.2
ГСО СИ-1	813-8911	Не обнаружены	1.87±0.4	1.1±0.3	1.5±0.6
СТ СЭВ СО	2294-80	Данные отсутствуют	6.95±2.4	37.4±13.5	36±6.8
СНС-2					
ДВМ-1	30108-94	-«-	1.4±0.4	Не обнаружены	2.2±0.6
ДВР-1	30108-94	-«-	14.1±5.2	Данные отсутствуют	36.6±11.3
ДВХ-1	30108-94	-«-	2.4±0.3	-«-	11.5±6.9

Таблица 2.6

Метрологические характеристики радиометрического анализа СОП  
на основе продуктов обогащения лопаритовой руды

Шифр пробы СОП -2	Торий, мас. %				Уран, мас. %			
	n	C <sub>x</sub>	S <sub>r</sub>	S <sub>n</sub>	n	C <sub>x</sub>	S <sub>r</sub>	S <sub>n</sub>
1-88, руда	12	0.0122	4.0x10 <sup>-6</sup>	0.0020	6	0.0015	1.8x10 <sup>-7</sup>	0.0004
2-88	15	0.0221	4.4x10 <sup>-7</sup>	0.0067	15	0.0023	1.6x10 <sup>-7</sup>	0.0004
3-88	12	0.1879	8.3x10 <sup>-4</sup>	0.0287	9	0.0204	1.1x10 <sup>-5</sup>	0.0033
4-88,	12	0.4334	5.6x10 <sup>-3</sup>	0.0745	6	0.0394	1.4x10 <sup>-5</sup>	0.0037
концентрат								
5-88, хвосты	12	0.0045	2.0x10 <sup>-6</sup>	0.0014	12	0.0012	6.8x10 <sup>-8</sup>	0.0003

Примечания. \* S<sub>r</sub> — дисперсия, S<sub>n</sub> — стандартное отклонение

Результаты анализа СОП хорошо совпадали с результатами, полученными разными методами в других лабораториях КНЦ РАН и Ловозерского ГОКа.

Таблица 2.7

Результаты радиометрического анализа лабораторных СО

Наименование СО	U : Th	Содержание урана-238, мас. % и погрешность определения			Содержание тория-232, мас. % и погрешность определения		
		введено	найдено	% отн.	введено	найдено	% отн.
ЛСО -1	1:1	0.0010	0.00107	11.7	0.0100	0.0095	3.6
ЛСО -2	1:2	0.00025	0.000224	7.8	0.0045	0.00437	9.1
ЛСО - 2-1	1:2	0.0063	0.0064	4.3	0.0120	0.0113	5.8
ЛСО - 3	1:4	0.0027	0.0024	11.1	0.0109	0.0108	0.9
ЛСО - 4	1:5	0.0150	0.0132	12.0	0.0780	0.0775	0.6
ЛСО - 5	1:8	0.0650	0.0656	0.9	0.5370	0.546	1.7
ЛСО - 6	1:27	0.0007	0.0008	14.3	0.0190	0.018	5.3
ЛСО - 7	7: 1	0.0250	0.0265	6.0	0.0034	0.0031	8.8

При различных соотношениях и концентрациях определяемых элементов в ЛСО отклонение найденного значения (средние значения по 5–15 пробам) от истинного, выраженное в относительных процентах не превышает 15 % и 9 % соответственно, что удовлетворяет требованиям радиометрического анализа [2–4].

Таким образом, радиоаналитический метод с использованием альфа-бета-радиометра «Спутник» позволяет надёжно определять содержание радионуклидов на уровне  $2 \times 10^{-6}$  мас. % или 0.08 Бк/кг, что является достаточным для использования этого метода при радиационно-гигиенической оценке не только техногенного и минерального сырья, но и объектов природной среды. Полученные данные полезны как изготовителям СО для последующей их аттестации, так и для аналитиков, использующих СО в аналитической практике.

Разработанная методика была дополнена и усовершенствована, утверждена директором института ИХТРЭМС КНЦ РАН 14.09.2008 г. как МВИ ЛРК ИХ 2.6.1.-01-2006-2008, а затем аттестована как МВИ ЛРК-01-2008 (рис. 2.2). В 2009-2012 г. методика откорректирована в связи с применением новых нормативных документов.



Рис. 2.2. Титульный лист методики МВИ ЛРК ИХ 2.6.1.-01-2006-2008

Методика применяется при геолого-разведочных и поисковых работах для определения прогнозных запасов месторождений, при проведении научно-исследовательских работ в геологии, геофизике, обогащении руд, химической технологии и др.; для определения класса материала и сертификации горнопромышленной, горнодобывающей, горно-металлургической продукции с повышенным содержанием природных радионуклидов.

Радиометрический метод определения урана и тория широко использовался в практике лаборатории. Его применяли при разработке гидromеталлургических технологий редкометалльного сырья различных месторождений: Африкандского (перовскит), Ловозерского (лопарит, эвдиалит, сфен), Ковдорского (бадделейт, пирохлор) и др. [18–23].

По этой методике в 80–90-е годы выполнялась радиационная оценка химических технологий, строительных материалов, горных пород, промышленных отходов и других продуктов [19–24]. Выполненные радиологические исследования позволили сертифицировать различную продукцию по радиационному фактору и расширить области ее применения.

### Список литературы

1. Бета-альфа-радиометр «Спутник» с временной селекцией ионизирующих излучений. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ТО. 1.530.008 – Л.: НПО «Геофизика», 1975. – 105 с.
2. Железнова, Е. И. Радиометрические методы анализа естественных радиоактивных элементов / Е. И. Железнова, И. Н. Шумилин, Б. Я. Юфа – М.: Недра, 1968. – 520 с.
3. Якубович, А. Л., Ядернофизические методы анализа минерального сырья / А. Л. Якубович, Е. И. Зайцев, С. М. Пржияговский – М.: Атомиздат, 1973. – 215 с.
4. Определение редких и радиоактивных элементов в минеральном сырье / Под ред. Г. В. Остроумова. – М.: Недра, 1987. – 252 с.
5. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Гигиенические нормативы: СанПин 2.6.1.2563-09 – М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
6. Обращение с минеральным сырьем и материалами с повышенным содержанием природных радионуклидов: Санитарные правила. СП 2.6.1.798-99 – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2000. – 16 с.
7. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): СП 2.6.1.2612-10. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2010. – 83 с.
8. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: СП 2.6.1.2800-10 – М.: Минздрав России, 2010. – 58 с.
9. ГОСТ 12.0.004-2015 ССБТ. Организация обучения безопасности труда. Общие положения. – 15 с. – Режим доступа: <https://www.consultant>
10. Гришин, В. К. Статистические методы анализа и планирования экспериментов / В. К. Гришин – М.: Изд-во МГУ, 1975. – 127 с.
11. Доерфель, К. Статистика в аналитической химии / К. Доерфель – М.: Мир, 1969. – 223 с.
12. Первичная статистическая обработка аналитических данных. – М.: Министерство геологии СССР, ВИМС, 1977. – 50 с.

13. Румшинский, Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л. З. Румшинский. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
14. Разработка программного обеспечения радиометрического метода анализа / Н. А. Мельник, П. Н. Корнилов // Химия и химическая технология в освоении природных ресурсов Кольского полуострова. – Апатиты: КНЦ РАН, 1998. – С. 167–169.
15. Чувствительность определения урана и тория радиометрическим методом / Н. А. Мельник // Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности: Труды Четвёртой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – С-Пб, 1999. – т. 3. – С. 530.
16. Автоматизация обработки результатов определения естественных радионуклидов в геологических объектах / Н. А. Мельник, П. Н. Корнилов // Химический анализ веществ и материалов: Тез.докл. Всероссийской конференции, М., 2000. – С. 186.
17. Программное обеспечение радиометрического метода анализа / Н. А. Мельник, П. Н. Корнилов // Аналитика Сибири и Дальнего Востока: Тез.докл. VI Международной конференции, Новосибирск, 2000. – С. 280–281.
18. Метрологические характеристики радиометрического метода определения естественных радионуклидов / Н. А. Мельник // Аналитика Сибири и Дальнего Востока: Тез.докл. VI Международной конференции, Новосибирск, 2000. – С. 278–279.
19. Распределение радиоактивности при обогащении эвдиалитовых луювритов и радиационная оценка технологической схемы / Н. А. Мельник, Х. Б. Авсарагов // Химико-металлургическая переработка минерального и техногенного сырья Кольского полуострова – Апатиты: Изд-во КНЦ АН СССР, 1988. – С. 25–28.
20. Радиационная характеристика минерального сырья Кольского региона / Н. А. Мельник, Х. Б. Авсарагов // Химия и металлургия редких и цветных металлов – Апатиты: Изд-во КНЦ АН СССР, 1988. – С. 76–79.
21. Распределение радиоактивности при экстракционной конверсии редкоземельного концентрата / В. И. Белокосков, Е. Н. Якубович, Н. А. Мельник, Е. Н. Малнацкая // Химия и металлургия редких металлов и сплавов – Апатиты: Изд-во КНЦ АН СССР, 1989. – С. 51–53.
22. Распределение радиоактивности при сернокислотной переработке лопаритового концентрата и ее радиационная оценка / Н. А. Мельник, Х. Б. Авсарагов // Вопросы технологии редких элементов – Апатиты: Изд-во КНЦ АН СССР, 1989. – С. 23–26.
23. Радиационная оценка технологии переработки бадделеитового концентрата с получением антипирена / Н. А. Мельник // Химическая технология и металлургия минерального сырья Кольского полуострова – Апатиты: Изд-во КНЦ АН СССР, 1991. – С. 63–70.
24. Изучение радиационно-гигиенических характеристик строительных материалов на основе техногенного и минерального сырья / Н. А. Мельник // Химия и технология переработки комплексного сырья Кольского полуострова: Тез. докл. Научной конф. ИХТРЭМС, 22–24 апреля 1996 г. Апатиты – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1996. – С. 119–120.

## 2.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Одним из основных источников дозы облучения населения является естественная радиоактивность строительных материалов. Поэтому сырье для производства строительных материалов требует радиационно-гигиенической оценки и разработки специальных методов исследования.

### Назначение и область применения

Метод разрабатывался на основе базовой методики измерения активности радионуклидов в счетных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения «Прогресс». Методическое дополнение разрабатывалось для использования в аккредитованной лаборатории радиационного контроля для определения радиационно-гигиенических характеристик строительных материалов и изделий, а также минерального и техногенного сырья в диапазоне концентраций радионуклидов:  $^{137}\text{Cs}$  3-10000 Бк/кг,  $^{226}\text{Ra}$  8-10000 Бк/кг,  $^{232}\text{Th}$  7-10000 Бк/кг,  $^{40}\text{K}$  40-10000 Бк/кг, с погрешностью 10–25 % ( $P = 0.95$ ); диапазон измерений мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения: 0.1–10000 мк<sup>3</sup>в/ч, погрешность 15–50 %.

Разработанная методика распространяется на неорганические сыпучие строительные материалы (щебень, гравий, песок, цемент, гипс, и др.) и строительные изделия (плиты облицовочные, декоративные и другие изделия из природного камня, кирпич и камни стеновые), а также на отходы промышленного производства, используемые непосредственно в качестве строительных материалов или как сырье для их производства (золы, шлаки, шламы, вскрышные горные породы, цементное и кирпичное сырье, минеральное и техногенное сырье и др.).

Метод определения радиационно-гигиенических характеристик исследуемых материалов распространяется на широкий диапазон концентраций определяемых радионуклидов. Это позволяет дать строительным материалам и изделиям радиационную оценку в соответствии с требованиями Федеральных законов «О радиационной безопасности населения (ФЗ № 3 от 09.01.1996 г.), «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (ФЗ № 52 от 30.03.1999 г.) и действующих норм радиационной безопасности (НРБ-99/2009), ОСПОРБ-99/2010, МИ 2453-2000 и др. [1-6, ПРИЛОЖЕНИЕ 1].

Методика применяется для определения класса строительного материала, сертификации строительной продукции, которая должна удовлетворять требованиям ГОСТ 30108-94 [7-9] и ГОСТов на строительную продукцию (табл. 2.8).

Таблица 2.8

Перечень ГОСТов и ТУ на строительные материалы, сырье и методы их испытаний по радиационному фактору

№ п/п	Наименование	№ ГОСТ	Кем и когда утвержден документ	Дата введения в действие
1	2	3	4	5
1	Гравий, щебень и песок искусственные пористые. Технические условия.	9757-90	Госстрой СССР Пост. 75 30.08.90	01.01.91

1	2	3	4	5
2	Камень брусчатый для дорожных покрытий. Технические условия	23668-79	Госстрой СССР Пост.73 22.05.79	01.07.80
3	Камень гипсовый и гипсо-ангидритовый для производства вяжущих материалов. Технические условия	4013-82	Госстрой СССР Пост.220 27.09 82	01.07.83
4	Камни бортовые из горных пород. Технические условия	6666-81	Госстрой СССР Пост.24 24.02.81	01.01.82
5	Кирпич и камни керамические. Технические условия	530-95	Госстрой России Пост.18-103 05.12.95	530-95
6	Кирпич и камни силикатные. Технические условия	379-95	Минстрой России Пост.18-102 04.12.95	01.07.96
7	Материалы нерудные для щебеночных и гравийных оснований и покрытий автомобильных дорог. Технические условия	25607-94	Госстрой России Пост.18-45 20.06.94	
8	Панели гипсобетонные для перегородок. Технические условия	9574-90	Госстрой СССР Пост.72 20.08.90	01.01.92
9	Песок для строительных работ. Технические условия	8736-93	Минстрой России Пост.18-29 28.11.94	
10	Сырье глинистое для керамической промышленности. Классификация	9169-75	Госстрой СССР Пост.2782 05.11.75	01.07.76
11	Смеси песчано-гравийные для строительных работ. Технические условия	23735-79	Госстрой СССР Пост.92 22.06.79	01.07.80
12	Смесь золошлаковая тепловых электростанций для бетона. Технические условия	25592-91	Госстрой СССР Пост.4 04.02.91	01.07.91
13	Сырье глинистое. Методы анализа	21216.0-12-91	Госстрой России Пост.18-45 20.06.94	
14	Щебень и песок декоративные из природного камня. Технические условия	22856-89	Госстрой России Пост.18-45 20.06.94	
15	Щебень из природного камня, гравий и щебень из гравия для строительных работ. Методы испытаний	8269-87	Госстрой СССР Пост.109 03.06.87	01.07.87
16	Щебень из природного камня для балластного слоя железнодорожного пути. Технические условия.	7392-85	Госстрой СССР Пост.234 29.12.84	
17	Щебень и песок из шлаков тепловых электростанций для бетона. Технические условия	26644-85	Госстрой СССР Пост.153 19.09.85	01.01.87
18	Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цемента	3476-74	Госстрой СССР Пост.30 28.02.74	01.01.75

## Принцип контроля

1. *Измерение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения* на поверхности образцов проводится с целью выявления превышения дозы (25 мкР/ч) с помощью поверенного дозиметра (ДРГ-01Т, МКС-04Н). Результаты измерений используются в качестве входного контроля материала и для выбора времени экспозиции при выполнении измерений.

2. *Определение радиационно-гигиенических характеристик (РГХ)* материалов включает определение удельной радиоактивности радия-226(урана), тория-232 и калия-40 гамма-спектрометрическим методом.

Согласно базовой Методики определение РГХ выполняется в зависимости от состояния радиоактивного равновесия в режиме «равновесные ЕРН» (сырье без технологической обработки или длительного хранения) или режиме «нестандартные измерения, неравновесные ЕРН» (технологические продукты, полученные при гидрометаллургической переработке минерального сырья).

В 1-м случае определение удельной радиоактивности  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$ , находящихся в состоянии радиоактивного равновесия с дочерними продуктами распада, проводят матричным способом обработки сцинтилляционных гамма-спектров в энергетических интервалах (кэВ):  $380 \div 520 \div 630 \div 720 \div 800 \div 1300 \div 1600 \div 1950 \div 2800$  в основном по энергетическим линиям  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{212,214}\text{Pb}$  и  $^{228}\text{Ac}$ , так как максимальное выделение излучений для равновесных ториевых образцов наблюдается в линиях тория-С'' (Тl-208), тория-В (Pb-212) и мезотория ( $\text{MsTh}_2$ , Ac-228), для урановых образцов – уран-Х<sub>1</sub> (Th-234), радий-В (Pb-214), радий-С (Bi-214) [10-13].

Оптимальные энергетические интервалы измерений были выбраны по спектрам гамма-излучения эталонной насыпной меры активности ЕРН и уран-ториевых редкометалльных руд.

Во 2-м случае исследуемые пробы герметизируют в измеряемом сосуде и перед повторным измерением выдерживают в течение 1-30 суток (не менее 2 недель). Обработка сцинтилляционных гамма-спектров выполняется генераторным способом, который позволяет определять любой радионуклидный состав. Для определения радия этим способом используют его энергетическую линию 350 кэВ (фотопик RaВ — Pb-214), для определения тория — энергетическую линию 240 кэВ (фотопик ThВ — Pb-212), для калия-40 — 1461 кэВ, уран определяют по энергетической линии  $^{234}\text{Pa}$  — 1000 кэВ (фотопик ИХ<sub>2</sub>), с которым он почти всегда находится в равновесии.

Определение удельной радиоактивности (Бк/кг)  $^{40}\text{K}$  в обоих случаях проводят по энергетической линии  $E_\gamma = 1461$  кэВ.

Регистрация излучения и обработка спектров, полученных на гамма-спектрометре, расчет значений удельной и эффективной активности, погрешности проводят с использованием программно-аппаратурного комплекса "ПРОГРЕСС" [1-3]. Средние значения погрешности определения радионуклидов гамма-спектрометрическим методом в зависимости от концентрации радионуклидов, геометрии измерения и экспозиции равны 12-15 % для  $^{40}\text{K}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , 14-25 % — для  $^{226}\text{Ra}$ , 12-17 % — для  $^{232}\text{Th}$  при доверительной вероятности 0.95.

Определение эффективной удельной активности материала и ее соответствие нормативным требованиям выполняется по формуле (1) и критериям для принятия решений, приведенных в документах [5, 6–10] (табл. 2.4).

### Средства измерений, вспомогательное оборудование, материалы и реактивы

1. Входной контроль исследуемых материалов проводят с помощью радиометров и дозиметров типа ДРГ-01Т, МКС-04Н. Погрешность определения МЭД с учетом неопределенности измерения определяют с применением коэффициентов 0.3 для радиометра МКС-04Н и 0.4 — для дозиметра ДРГ-01Т1.

2. Для определения РГХ применяют радиологический комплекс «Прогресс-АБрГ», в состав которого входит гамма-спектрометрическая установка со сцинтилляционным датчиком NaI/Tl размером 63х63 мм (рис. 2.3), или полупроводниковым детектором. Энергетическое разрешение по линии 662 кэВ для сцинтилляционного датчика NaI/Tl равно 8 %.

3. Применяемые приборы подлежат государственной метрологической аттестации (поверке) в установленном порядке [2, 3, 7].

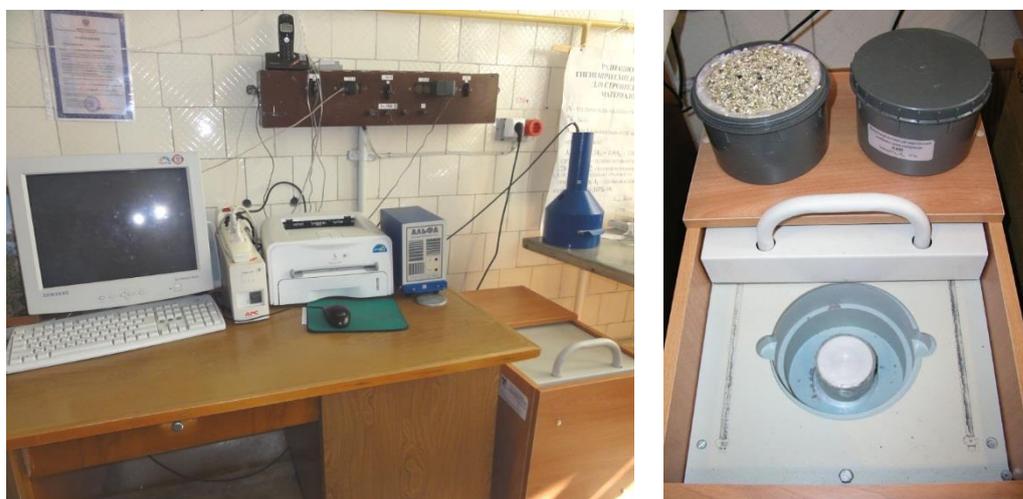


Рис. 2.3. Внешний вид компьютеризированного радиологического комплекса «Прогресс» и гамма-устройство с сосудами Маринелли (справа)

Гамма-спектрометр имеет следующие технические характеристики:

- Диапазон энергии регистрируемого гамма-излучения от 150 до 3000 кэВ;
- Минимальная измеряемая активность:  $^{137}\text{Cs}$  – 3 Бк,  $^{226}\text{Ra}$  – 8 Бк,  $^{232}\text{Th}$  – 7 Бк,  $^{40}\text{K}$  – 40 Бк (геометрия «Маринелли»);
- Энергетическое разрешение по линии 662 кэВ — не менее 8 %.
- Контрольная скорость счета от калибровочного источника № Д-55 (Cs-137 + K-40) в диапазоне 600-720 кэВ равна  $78 \pm 10$  %.
- Относительная погрешность определения удельной активности ЕРН не более 25 % при доверительной вероятности 0.95. Погрешность измерения активности  $^{137}\text{Cs}$  в диапазоне  $(3 \div 10000)$  Бк — 10–60 %.

4. Комплект аттестованных мер (стандартных образцов) удельной активности ЕРН:

– Государственные и отраслевые стандартные образцы (ГСО, ОСО) - ГСО СГ-1А, СВТ-16А, СГ-3, ОСО-6с, ОСО-7с, ОСГИ, Sr-90, Pu-238 и др. стандартные образцы, аттестованные на уран и торий в диапазоне концентраций  $2 \cdot 10^{-4} \div 9 \cdot 10^{-1}$  мас. %, с различным соотношением Th/U и химическим составом, а также техногенные продукты с известным содержанием радионуклидов;

– контрольные источники: точечный источник — Свидетельство № Д-55 (Cs-137 + K-40), насыпная мера активности — Свидетельство № 420/70158 (Ra-226, Th-232, K-40) и др. Контрольные источники применяют для калибровки гамма-спектрометра по энергии и контроля за сохранностью параметров спектрометрической установки и радиометров.

#### Вспомогательное оборудование:

- Набор контейнеров для навесок исследуемого материала установленного объема с крышками — сосуды Маринелли, емкость 1 л; чашки «Петри», диаметр 80 мм, глубина — 1 см.

- Лабораторная дробилка.

- Контрольное сито с круглыми отверстиями диаметром 5 мм.

- Сушильный шкаф по ОСТ 16.0.801.307.

- Весы электронные с выборкой тары на 2 кг, погрешность — 0.1 г

Весы лабораторные типа ВЛР-200, ГОСТ 24104-88 Е

#### Реактивы, материалы:

Вода дистиллированная.

Дезактивирующие растворы и реагенты (ОП-7, порошок «Защита», растворы борной и щавелевой кислот, калия марганцовокислого, этилендиаминтетрауксусной кислоты и др.).

Калий хлористый, хч.

Кислота азотная, осч.

Кислота соляная, осч.

Кислота уксусная осч.

Натрий уксуснокислый, хч.

Спирт ректификационный.

Протирочный материал (бязь, вата, марля, фланель).

Шпатели и лопатки, пластмассовые и металлические.

Банки полиэтиленовые или полипропиленовые вместимостью 500 и 1000 см<sup>3</sup>.

Полиэтиленовые пакеты.

Эмалированные или пластмассовые поддоны разных размеров.

*Примечание.* Допускается применение других средств измерений, вспомогательных устройств, материалов и реактивов, в том числе импортных, с техническими и метрологическими характеристиками не хуже указанных.

#### **Условия выполнения измерений**

1. Определение РГХ осуществляют в лабораторных условиях при температуре воздуха в помещении не менее 20 °С и влажности  $60 \pm 15$  %; напряжении питания сети (220 +22/-33) В; частота питающей сети ( $50 \pm 1$ ) Гц.

2. Подготовка счетных образцов

- Пробы должны иметь Паспорт, в котором указывают данные минералогического и химического состава, время, дата и место отбора проб, заказчик (адрес, предприятие, фамилия, должность) и другие данные (влажность, плотность, зернистость и т.п.); Акт отбора представительных проб.

- Заказчик несет ответственность за отбор представительных проб, согласно ГОСТов.

- На сертификационный анализ берется 5 проб одного образца (партии), весом от 0.1 до 1.5 кг (объем — 1 л для геометрии «Маринелли» и 0.1 л — для геометрии «Петри»), на текущий (плановый) — 1–3 пробы (количество и объем — по договоренности с заказчиком).

- Сыпучие материалы или крупные образцы должны быть измельчены или растерты до размера зерен не более 5 мм, для хранения — упакованы в двойную маркированную тару (полиэтиленовые мешки или банки). Пакеты с пробами должны быть герметично упакованы.

- Для гамма-спектрометрического анализа пробы массой до 1.5 кг помещают в чистые сосуды Маринелли, определяют вес пробы на электронных весах. При небольшом количестве пробы (до 0.2 кг) допускается измерение в геометрии «Петри».

- После проведения измерений емкости с пробами освобождают и подвергают дезактивации с помощью дезактивирующих средств согласно Инструкции по работе с радиоактивными веществами.

Инструменты, используемые для отбора проб, должны быть изготовлены из материала, легко поддающихся дезактивации и не сорбирующих на своей поверхности радиоактивных веществ – твёрдая пластмасса или другие полимеры.

### **Порядок выполнения измерений**

1. Выполнить входной контроль – определить МАЭД гамма-излучения на поверхности пробы (3–5 измерений) с помощью дозиметров ДРГ-01Т или МКС-04Н в режиме «измерение». Подготовку к работе и проверку работоспособности дозиметра выполняют согласно инструкции по эксплуатации. Результаты контроля регистрируют в Журнале по установленной в ЛРК форме с указанием фонового значения радиометра. За результат принимают среднее арифметическое значение с погрешностью, указанной в Свидетельстве о поверке и учетом коэффициентов неопределенности измерений 0.3 для МКС-04Н и 0.4 — для ДРГ-01Т.

2. Подготовить счетный образец.

3. Подготовить гамма-устройство радиологического комплекса «Прогресс» к измерениям, которые проводят в соответствии с методикой выполнения измерений удельной активности ЕРН по аттестованной базовой Методике [1]: выполнить калибровку установки по энергии (перед каждым измерением активности или фона), измерить фон (один раз в день, экспозиция — 3600 с), установить счетный образец в измерительную камеру и выполнить по заданному алгоритму измерение активности счетного образца (экспозиция — 1000–5400 с). В процессе измерения программа автоматически проводит обработку спектрограммы в соответствии с выбранным алгоритмом и заносит результаты в Журнал. После окончания измерений оформляют Протокол измерений (испытаний) по образцу:

**ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ**  
по определению эффективной удельной активности ЕРН  
в строительных материалах (изделиях) (образец)

1. Наименование организации и подразделения, проводившего измерения, номер аттестата аккредитации.
2. Дата проведения измерения, оператор.
3. Метод измерения и используемая аппаратура с указанием номера Свидетельства о поверке, срока действия его.
4. Наименование материала (ГОСТ, ТУ, Акт отбора проб (представляет организация-заказчик), количество, объем, физико-химическое состояние и другие характеристики).
5. Наименование предприятия-изготовителя или предприятия-потребителя, заказчика.
6. Результаты измерений представительной пробы (номер протокола испытаний по рабочему журналу) оформляются по форме, приведенной в табл. 2.9.

*Таблица 2.9*

Радиационно-гигиенические характеристики строительных материалов  
(образец формы)

Номер пробы	Вес пробы, г	Удельная активность, Бк/кг			A <sub>эфф</sub> , Бк/кг	МЭД, мкР/ч
		<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K		
1						
...						
5						

*Примечание.* Результаты измерений приводятся с погрешностью для доверительной вероятности 0.95 (Бк/кг и % отн.) с учетом неопределенности измерений.

*Результат определения эффективной активности ЕРН в строительных материалах (изделиях) A<sub>эфф</sub>*

*Заключение о классе материала (радиационная оценка)*

Руководитель ЛРК \_\_\_\_\_ (подпись) /ФИО/  
Исполнитель \_\_\_\_\_ (подпись) /ФИО/

Дата, МП

**Форма представления результатов и принятие решения  
об использовании строительных материалов**

1. Согласно НРБ-99/2009 (п. 5.3.4.) эффективная удельная активность (A<sub>эфф</sub>) для материалов, в которых природные радионуклиды находятся в состоянии радиоактивного равновесия, рассчитывается по формуле:

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1.3 A_{Th} + 0.09 A_K \text{ (Бк/кг)}, \quad (1)$$

где A<sub>Ra</sub> и A<sub>Th</sub> — удельные активности радия-226 и тория-232, находящихся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов, A<sub>K</sub> — удельная активность К-40 (Бк/кг).

Расчет A<sub>эфф</sub> и погрешности определения ЕРН осуществляется автоматизированной компьютерной программой «Прогресс» в соответствии с базовой методикой (матричный метод).

В качестве результата партии материала для принятия решений принимается значение:  $A_{эфф} = A_{эфф} + \Delta$ , где  $\Delta$  — неопределенность измерений для доверительной вероятности 0.95.

Критерии качества строительных материалов по радиационному фактору приведены в табл. 2.4.

2. При выполнении условия  $A_{эфф} \leq 370$  Бк/кг партия материала признается пригодной для последующего использования и на нее оформляется сертификат установленной формы (Свидетельство радиационного качества) с указанием значений РГХ и  $\Delta$ , заключением о соответствии установленным нормам безопасности.

3. При  $A_{эфф} > 370$  Бк/кг, решение об использовании строительных материалов принимается в соответствии с классом материала (НРБ-99/2009, п.5.3.4.). В этом случае по результатам радиационного контроля (РК) партии сырья для строительных материалов и изделий оформляется Акт радиационного контроля. Формы документов установлены в «Руководстве по качеству испытаний РЛРК».

4. При наличии в пробах техногенных радионуклидов эффективная удельная активность рассчитывается с учетом концентрации наиболее распространенного долгоживущего радионуклида цезия-137 по формуле (2):

$$A_{эфф} = A_{Cs-137} + A_{Ra} + 1.3 A_{Th} + 0.09 A_K \text{ (Бк/кг)}, \quad (2)$$

Расчет  $A_{эфф}$  и погрешности определения ЕРН осуществляется автоматизированной компьютерной программой «Прогресс», расчет средних значений результатов измерений и погрешности – по программе Excel или Statistica 6.0.

5. При неизвестном характере нарушения радиоактивного равновесия, особенно в пробах производственных отходов, используемых для производства строительных материалов, определение удельной радиоактивности осуществляется генераторным методом, согласно базовой методике. Критерием достоверности результатов обработки спектра генераторным методом является совпадение расчетной и обрабатываемой спектрограмм.

При этом значение  $A_{эфф}$  для ториевого ряда оценивается по наибольшему из значений удельных активностей  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  ( $^{228}\text{Ac}$ , определение по энергии гамма-квантов — 340 и 911 кэВ),  $^{224}\text{Ra}$  (определение по энергии гамма-квантов — 240, 583 и 2614 кэВ), которое подставляется в формулу (1) [16].

При отсутствии равновесия в рядах урана и тория  $A_{эфф}$  рассчитывается с учетом возраста отходов по формуле (3) [12, 14, 15]:

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1.3 \cdot k \cdot A_{228Ra} + 0.09 \cdot A_K, \text{ Бк/кг}, \quad (3)$$

в которой  $A_{228Ra}$  — удельная активность  $^{228}\text{Ra}$  в отходах (Бк/кг), а численное значение коэффициента  $k$  определяется в зависимости от возраста отходов по табл. 2.10.

Таблица 2.10

Коэффициенты для расчета  $A_{эфф}$  промышленных отходов в зависимости от времени их хранения

№ п/п	Возраст отходов	Коэффициента $k$ , отн. ед.
1	Менее 100 дней	0.6
2	От 100 дней до 2 лет	0.7
3	От 2 до 5 лет	0.9
4	От 5 до 10 лет	1.0
5	Более 10 лет	1.3

При неизвестном возрасте производственных отходов значение поправочного коэффициента должно приниматься равным 1.3.

Если возраст отходов больше 3 лет, то значение  $A_{эфф}$  рассчитывается по формуле:

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1.3 \cdot A_{224Ra} + 0.09 \cdot A_K, \text{ Бк/кг}, \quad (4)$$

в которой  $A_{224Ra}$  — удельная активность  $^{224}\text{Ra}$  в отходах, Бк/кг.

4. Расчет средних значений результатов измерений нескольких образцов одной пробы и другие метрологические характеристики, в том числе погрешности, осуществляется по программе статистики Excel или Statistica 6.0. Полученные результаты оформляются в Протоколе испытаний по определению эффективной удельной активности ЕРН.

Разработанный метод определения РГХ строительных материалов и изделий как методическое дополнение к базовой методике измерения активности радионуклидов в счетных образцах [1–3] на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения «Прогресс» был представлен в форме МВИ ЛРК ИХ 2.6.1.-02-2006. (рис. 2.4).

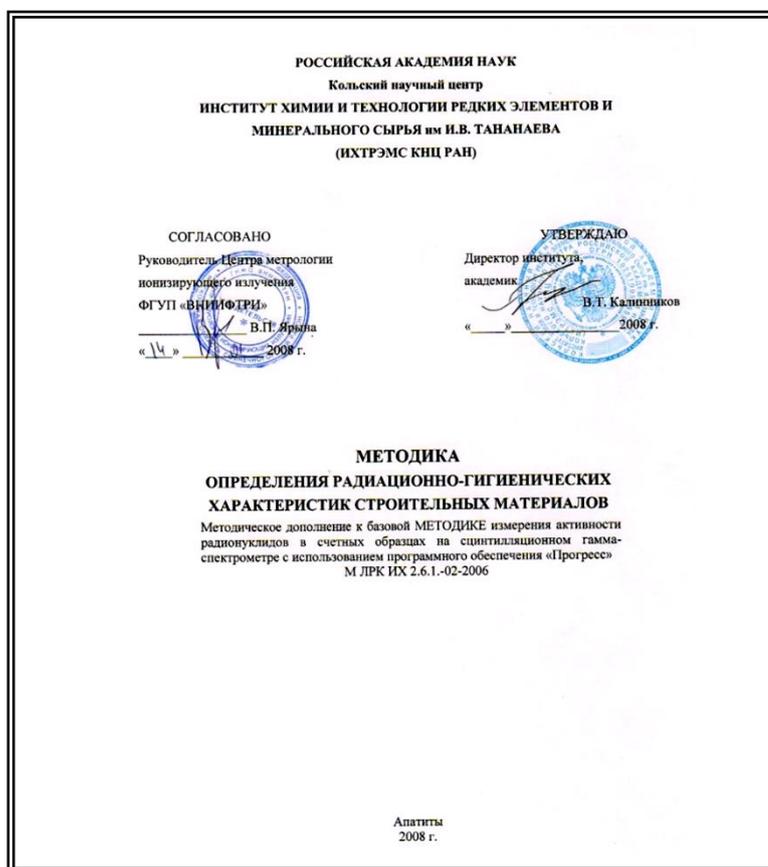


Рис. 2.4. Титульный лист методики МВИ ЛРК ИХ 2.6.1.-02-2006-2008

Затем методика была дополнена и усовершенствована, утверждена директором института, аттестована в 2008 г. как МВИ № 40090.8A094-1 от 14.01.2008 г. (рис. 2.5). В 2009–2012 г. методика откорректирована в связи с применением новых нормативных документов.

<b>МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭНЕРГЕТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ</b>	
<b>ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ</b>	
	<b>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений</b>
<b>«ЦЕНТР МЕТРОЛОГИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ»</b>	
141570, п.о. Менделеево Солнечногорского р-на, Московской обл.	Тел.-факс: (095) 535-9305 E-mail: yarina@vniiftri.ru
<b>СВИДЕТЕЛЬСТВО № 40090.8A094-1 об аттестации МВИ</b>	
<p>Методика определения радиационно-гигиенических характеристик строительных материалов, разработанная ИХТРЭМС КНЦ РАН и изложенная в одноименном документе М ЛРК ИХ 2.6.1-02-2006-08, аттестована в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.594.</p> <p>Методика предназначена для использования в ЛРК ИХТРЭМС как дополнение к «Методике измерения активности радионуклидов в счетных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения «ПРОГРЕСС» и конкретизирует требования к пробоотбору, входному дозиметрическому контролю проб, приготовлению счетных образцов, а также методику расчета эффективной удельной активности материалов по результатам измерений активности счетных образцов на гамма-спектрометре.</p> <p>При выполнении оговоренных условий методика обеспечивает контроль радиационно-гигиенических характеристик строительных материалов в соответствии с требованиями НРБ-99.</p> <p>Аттестация МВИ выполнена по результатам метрологической экспертизы материалов по разработке методики.</p>	
Дата аттестации: 14 января 2008 г.	
Руководитель ЦМИИ (НИО-4)	<b>В.П. Ярына</b>

Рис. 2.5. Свидетельство об аттестации МВИ № 40090.8A094-1

По данной методике были исследованы природные материалы, используемые в строительстве (песок, щебень, гравий и др.), представленные различными организациями Мурманской области [12–14]. Например, было установлено, что в пробах гравия месторождения «Ладейное» (Териберка)

содержатся природные радионуклиды рядов урана-238 и тория-232, К-40, распределение их неравномерное; техногенные радионуклиды отсутствуют (Cs-137 и др.). Эффективная удельная активность исследуемых проб с учетом неопределенности измерений находилась в пределах 160–290 Бк/кг в зависимости от места отбора проб; причем, в некоторых пробах основной вклад в  $A_{эфф}$  вносил калий-40 (50–60 % отн.), в других пробах – торий-232 (45-50 % отн.). Гравий месторождения «Ладейное» (гранит) относится к I классу материалов по радиоактивности и согласно НРБ-99/2009 (п. 5.3.4.) был рекомендован к использованию в качестве строительного материала или для производства строительных изделий без ограничений по радиационному фактору.

Обобщенные результаты многочисленных исследований, выполненных по разработанной методике, приведены в табл. 2.11. (горные и вскрышные породы, не связанные с рудными месторождениями; природнокаменного сырья (облицовочный камень и др.). В табл. 2.12. приведены результаты радиационной оценки природного минерального сырья, редкометального сырья Кольского региона и уран-ториевых концентратов, полученных из них [15–21]. На основании проведенных исследований выполнена классификация горных пород Кольского региона по радиоактивности (табл. 2.13).

Таблица 2.11

Радиационная оценка природного минерального сырья Кольского региона

Материал	Колебание значений, Бк/кг	Среднее, Бк/кг	Класс материала
Горные породы (1)*	10–375	220	I-II
Нерудное сырье	15–260	130	I
Горные породы (2)**	150–705	310	I-II
Вскрышные породы (1)*	15–220	115	I
Руды металлов	150–755	420	I-III
Хвосты обогащения	65–920	310	I-III
Концентраты	25–3880	520	I-IV

Примечания: 1. \*Горные (1) и вскрышные (1) породы, не связанные с рудными месторождениями. 2. \*\*Горные породы (2) — природнокаменное сырье — облицовочный камень и др.

Таблица 2.12

Радиационная оценка редкометального сырья Кольского полуострова

Материал	Колебание значений, Бк/кг	Среднее, Бк/кг	Класс материала по [НРБ-99/2009]
Руды	105–2035	1000	I-IV
Вскрышные породы:			
а) ловозерские	195–4600	840	I-IV, IV>
б) хибинские	65–2215	870	I-IV
Хвосты обогащения	225–3690	1495	I-IV
Концентраты из торийсодержащего сырья	620–84000	26000	II-IV, IV>
Концентраты из уран-содержащего сырья	865–1100000	37000	III-IV, IV>

Таблица 2.13

## Классификация горных пород Кольского региона по радиоактивности

Класс материала	Подгруппа класса материала	Виды природнокаменного сырья	Содержание радионуклидов, Бк/кг		
I (0–370)	Ia (0–100)	Ийолит ковдорский, габброноритенский, ийолит коашвинский, габбро пильгуярвинское, фенит ковдорский	0–70	0–18	50–950
	Iб (100–200)	Пироксенит кирикованский, пироксенит ковдорский, хлоритовый сланец	10–80	10–100	300–1400
	Iв (200–370)	Гранит кузреченский, хибинит ловчоррский, гранит одъяврский и вальсеяврский, глинистый сланец	50–180	30–60	1200–1600
II (370–740)		Ювит ловозерский, уртит и ювит коашвинский, фойяит и уртит ловозерский, мигматит-диорит ловненский, рисчоррит расвумчоррский	20–800	70–280	500–6000
III (740–1500)		Нефелиновые сиениты куэльпоррские	150–350	400–750	1200–5000
IV (< 4000)		Луяврит и малиньит ловозерские	1100–2800	150–270	400–750

На основе проведенных исследований по разработанной методике создана база данных по радиоактивности горных пород, руд, минералов, горнопромышленных отходов (вскрышные породы, золошлаки, шламы, шлаки, отсеы дробления и т.д.), нерудного сырья, облицовочного природного камня и др. материалов, используемых в производстве строительных материалов и изделий (бетоны, жаростойкие материалы, огнеупоры, керамика, наполнители и т.д.). Результаты исследований используются при разработке новых строительных материалов на основе сырья Мурманской области [22–25].

**Список литературы**

1. Методика измерения активности радионуклидов в счётных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения «ПРОГРЕСС» – М.: ГП «ВНИИФТРИ», 1999. – 27 с.
2. Методики радиационного контроля. Основные положения. Рекомендация. МИ 2453-2000 – М.: ФГУП ГНМЦ «ВНИИФТРИ», 2000. – 16 с.
3. Метрологическое обеспечение радиационного контроля. Основные положения. ГОСТ Р 8.638-2013 – Режим доступа: <https://www.consultant>

4. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Гигиенические нормативы: СанПин 2.6.1.2563-09 – М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
5. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): СП 2.6.1.2612-10. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2010. – 83 с.
6. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения : СП 2.6.1.2800-10 – М.: Минздрав России, 2010. – 58 с.
7. Обращение с минеральным сырьем и материалами с повышенным содержанием природных радионуклидов: Санитарные правила. СП 2.6.1.798-99 – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2000. – 16 с.
8. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов. ГОСТ 30108-94. – М.: Госстрой России, 1995. – 12 с.
9. Эффективная удельная активность природных радионуклидов в материалах / Э. М. Крисюк // Ж. АНРИ, 2001. – № 4 – С. 45–53.
10. Санитарно-гигиеническая оценка стройматериалов с добавлением промотходов: Методические указания МУ 2.1.674-97. – М.: Минздрав России, 1997. – 40 с.
11. Определение редких и радиоактивных элементов в минеральном сырье / Под ред. Г. В. Остроумова. – М.: Недра, 1987. – 252 с.
12. Мельник, Н. А. Радиогеоэкологические аспекты безопасности использования горнопромышленных отходов Кольского региона в производстве строительных материалов / Н. А. Мельник – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. – 114 с.
13. Специфические особенности минерального сырья Кольского региона для производства строительных материалов / Н. А. Мельник // Строительные материалы, 2006. – № 4. – С. 57–60.
14. Сертификация сырья для строительных материалов по радиационному фактору как метод управления его качеством / Н. А. Мельник // Фундаментальные проблемы комплексного использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных материалов: Тез.докл. Международной конф., Апатиты, 01-04.04.2003 г. – Апатиты, 2003. – С. 211–213.
15. Радиационный контроль – необходимое условие качества строительных работ / Н. А. Мельник // Север промышленный. – 2011. – № 4. – С. 16–19.
16. Радиационно-экологические аспекты использования уррита и ричоррита в производстве бетона / Н. А. Мельник, Т. П. Белогурова, О. Н. Крашенинников, В. В. Лащук // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Материалы международной конференции, 31 августа-3 сентября 2004 г., г. Апатиты – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. – ч. 1. – С. 153–154.
17. Оценка вскрышных пород титано-ильменитового месторождения «Юго-Восточная Гремяха» в качестве сырья для производства щебня / В. В. Лащук, Н. А. Мельник, В. Н. Орлов, Т. Т. Усачева // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Материалы международной конференции, 31 августа-3 сентября 2004 г., г. Апатиты – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. – ч. 2. – С. 119–120.

18. Оценка вскрышных пород Кировогорского железорудного месторождения Мурманской области в качестве сырья для производства строительного щебня / В. В. Лащук, Т. П. Белогурова, Н. А. Мельник, Т. Т. Усачёва // «Минералогия техногенеза - 2003»: сб. докладов IV семинара, 27–29 мая 2003 г., Миасс, Челябинская обл.: – Миасс: Институт минералогии УрО РАН, 2003. – С. 99–105.
19. Характеристика гнейсов Кировогорского железорудного месторождения Мурманской обл. в качестве сырья для производства строительного щебня / В. В. Лащук, Т. П. Белогурова, Н. А. Мельник, Т. Т. Усачёва // Окружающая природная среда и экологическое образование и воспитание: Труды Научно-техн. семинара, Пенза. – Пенза: Изд-во Пензенского Дома Знаний, 2004. – С. 45–49.
20. Особенности радиоактивности гранитов месторождений облицовочного камня Кольского полуострова // В. В. Лащук, Н. А. Мельник, Т. Т. Усачева // Горный журнал. – 2001. – вып.3. – С. 89–93.
21. Особенности гранулометрического и минерального составов, инженерно-геологических и радиационно-гигиенических свойств лежалых хвостов вермикулитовой обогатительной фабрики ОАО «Ковдорслюда» / В. В. Лащук, Н. А. Мельник, О. В. Суворова, А. В. Лёвкин, А. В. Мотина // Научные основы химии и технологии переработки комплексного сырья и синтеза на его основе функциональных материалов: Сб. докл. Всероссийской конф. с международным участием, Апатиты, 08-11 апреля 2008 г. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2008. – Ч. 2. – С. 163–167.
22. Радиоэкологические исследования глинистых сланцев Мурманской области / О. С. Величко, Н. А. Мельник // Химия и химическая технология в XXI веке: Труды VI Всероссийской студ. научно-практич. конф., 11–13 мая, Томск – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – С. 51–56.
23. Радиогеоэкологическая оценка сланцев полуостровов Рыбачий и Средний / Н. А. Мельник, О. С. Величко, В. Н. Крашенинников, Т. П. Белогурова // Минералогия во всем пространстве сего слова: Труды II Ферсмановской научной сессии Кольского отделения Российского минералогического общества, посвященной 140-летию со дня рождения В. Рамзая, Апатиты, 18–19 апреля 2005 г. – Апатиты: Изд-во «К & М», 2005. – С. 126–128.
24. Радиационно-гигиеническая характеристика гранитоидов Мурманского побережья как сырья для производства строительного щебня / В. В. Лащук, Н. А. Мельник, Т. В. Беляева, Т. Т. Усачёва // Петрология и минералогия Кольского региона: Труды V Всероссийской (с международным участием) Ферсмановской научной сессии, посвященной 90-летию со дня рождения д.г-м.н. Е.К. Козлова, г. Апатиты, 14-15 апреля 2008 г. – Апатиты, Изд-во КНЦ РАН, 2008. – С. 311–313.
25. Радиационно-технические основы использования сланцев Кольского полуострова для получения пористых заполнителей / Н. А. Мельник, Т. П. Белогурова, О. Н. Крашенинников // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов: Материалы 2-ой Международной конф., 12–16 сентября 2005 г., Петрозаводск. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. – С. 136–138.

### **2.3. ЭКСПРЕССНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИОКСИДА ТИТАНА В ПРОДУКТАХ ОБОГАЩЕНИЯ ПЕРОВСКИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

#### **Обоснование метода**

Прогнозные запасы перовскит-титаномагнетитовых руд на Кольском полуострове превышают 10 млрд т., а в пяти наиболее легкодоступных месторождениях разведанные запасы оценены в 4 млрд т., что значительно превышает запасы всех других титановых месторождений России. Причем, в перечне таких месторождений Африкандское месторождение перовскита, пригодное для открытой добычи, занимает первое место [1]. Руды Африкандского месторождения представлены следующими основными типами руд: амфиболизированным пегматоидным рудным пироксенитом, крупнозернистым рудным пироксенитом, рудным оливинитом и в небольшом количестве нефелин-пироксеновым рудным пегматитом.

Перовскиту соответствует химическая формула  $\text{CaTiO}_3$ . По данным полного химического и спектрального анализа следует, что перовскит наряду с титаном (52–57 %  $\text{TiO}_2$ ) и кальцием (40 %  $\text{CaO}$ ) содержит (%):  $\text{SrO}$  — 1–2.62,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  — 0.17–2.5;  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  — 0.03–0.11;  $\text{ZrO}_2$  — до 0.07;  $\text{ThO}_2$  — 0.03–0.18;  $\text{Tr}_2\text{O}_3$  — 2–10;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 1.5–2.32;  $\text{FeO}$  — 0.3–1.44. Кристаллохимическая формула перовскита —  $(\text{Ca}, \text{Th}, \text{Fe}^{2+}, \text{Sr}, \text{Na}, \text{K})_{0.9} + (\text{Ti}, \text{Ta}, \text{Nb}, \text{Zr}, \text{Fe}^{3+}, \text{Si})_{1.1} [\text{O}(\text{OHF})]_{3.0}$ . Перовскит является ценным сырьем для получения титана.

Современные технологии переработки руд, созданные в Горном институте Кольского научного центра РАН и ИХРЭМС КНЦ РАН, дают возможность получать концентраты, содержащие не только титан и железо, но и ниобий, тантал, редкоземельные элементы [2–4]. Кроме этих ценных компонентов, перовскитовые руды и концентраты содержат природные радионуклиды рядов урана и тория, которые могут концентрироваться в промпродуктах и создавать на отдельных переделах радиационно-опасные участки. Для обеспечения радиационной безопасности технологического процесса и предотвращения загрязнения окружающей среды необходимо было разработать методику экспрессного анализа основного ценного компонента — диоксида титана.

Исходная руда с валовым содержанием  $\text{TiO}_2$  11–13 % или 21–26 % перовскита обогащалась в условиях водооборота с применением в качестве депрессора смеси жидкого стекла и карбоксиметилцеллюлозы и в качестве собирателя — реагент ИМ-50 [3, 4] на Африкандской обогатительной фабрике.

Радиологические исследования проводили на сухих продуктах обогащения одинаковой крупности ( $< 0.075$  мм), с известным содержанием диоксида титана, установленным химическим методом.

Удельную радиоактивность исследуемых продуктов определяли на радиометрах "Спутник", УМФ-1500. Одновременно в этих продуктах определяли содержание урана и тория радиометрическими и радиохимическими методами после выделения их на катионите КУ-2, т.е. для исследований использовался весь комплекс методов анализа редкометалльного сырья [5–8].

В процессе обогащения радиоактивные вещества концентрировались на протяжении всей технологической цепочки и извлекались на 70–80 %

в перовскитовый концентрат, имеющий состав (мас.%)  $\text{TiO}_2 - 50$ ;  $\text{Nb}_2\text{O}_5 + \text{Ta}_2\text{O}_5 - 1.16$ ;  $\text{Ln}_2\text{O}_3 - 4.0$ ;  $\text{CaO} - 34.2$ ;  $\text{SiO}_2 - 4.20$ .

Среднее значение удельной радиоактивности перовскитового концентрата, полученного при флотации в условиях водооборота, равно 50 кБк/кг и соответствует ~ 48.5 мас.% содержанию диоксида титана.

Проведенные исследования и минералогические данные показали, что радионуклиды, содержащиеся в руде, связаны в основном с минералом — перовскитом ( $\text{CaTiO}_3$ ). При комплексном обогащении перовскитовых руд извлечение диоксида титана составляло 65–70 % в зависимости от условий проведения процессов. Содержание диоксида титана в концентрате колеблется от 40 до 58 мас. %. С увеличением содержания диоксида титана в анализируемых концентратах удельная радиоактивность возрастала от 30 до 60 кБк/кг. Установлено, что концентрация урана во всех продуктах находилась на одном уровне, равном, 0.013 мас. %; а концентрация тория возрастала от 0.04 до 0.1 мас. %. При проведении корреляционного анализа была установлена линейная зависимость между содержанием диоксида титана и удельной радиоактивностью [8], а также между содержанием диоксида титана и содержанием тория. Коэффициент корреляции в первом случае был равен 0.856, во втором — 0.912. Проверка значимости коэффициентов корреляции указывала на наличие коррелированности рассматриваемых величин даже при заданной надежности 0.999.

Установленная зависимость позволяла применить экспрессный метод определения диоксида титана в технологических продуктах [9], что особенно важно во время освоения новой технологической схемы и, в случае необходимости, делать ориентировочную радиационную оценку технологических продуктов по результатам радиологического анализа титана.

Методика разрабатывалась на пробах перовскитовой руды Африкандского месторождения при опытно-промышленных испытаниях технологии обогащения руды с извлечением перовскитового концентрата [1–3] и на пироксените Жидойского месторождения Иркутской области с извлечением перовскита при опытно-лабораторных испытаниях технологии получения титановой соли.

В 1-м случае объектом исследования были перовскитовая руда Африкандского месторождения и продукты ее обогащения с получением концентратов в заводских условиях. Радиометрические исследования проводили на радиометре УМФ-1500 [1, 2] по суммарной бета-активности, когда впервые была установлена корреляционная зависимость между радиоактивностью и содержанием титана в пробах. Позже исследования проводили на альфа-бета-радиометре «Спутник» [3] и эта зависимость была подтверждена. Методика использовалась для экспрессного определения извлечения титана при различных режимах обогащения [2, 4, 5, 18].

Во 2-м случае образцы концентрата с различным содержанием диоксида титана анализировали гамма-спектрометрическим методом с использованием программного обеспечения «Прогресс» (МВИ ЛРК ИХ 2.6.1.-12-2009) [6–8], в результате которых были получены аналогичные данные. Это позволило рекомендовать методику для экспрессного определения извлечения титана из руд при их обогащении.

Исследования проб перовскитового концентрата, полученных методом обогащения пироксенитовых руд Жидойского месторождения Иркутской области, показали, что они отличаются по химическому составу основных компонентов:

1) 1ПКЖ, 95 % перовскитового концентрата, (черный цвет; фракция — 2 мкм; химический состав, мас. %: TiO<sub>2</sub> — 55.6, CaO — 37.85, SiO<sub>2</sub> — 2.12, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 0.82).

2) 2ПКЖ, 70 % перовскитового концентрата, (черный цвет; химический состав, мас. %: TiO<sub>2</sub> — 50.14, CaO — 44.5, TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 1.68, Fe — 0.60).

3) 3ПКЖ, 80 % перовскитового концентрата, (черный цвет с вкраплениями пустых пород, и большим количеством пироксена; химический состав, мас. %: Fe — 0.98, TiO<sub>2</sub> — 54.47, CaO — 37.1, SiO<sub>2</sub> — 1.13, TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 2.43).

4) 4ПКЖ, 74 % перовскитового концентрата, (черный цвет; размолот, пудра; химический состав, мас. %: TiO<sub>2</sub> — 48.57, CaO — 30.6, SiO<sub>2</sub> — 6.37, Fe<sub>общ</sub> — 5.22, MgO — 3.73, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 0.63).

Сравнивая анализы проб содержащих 70 % (№ 1) и 80 % (№ 2) проб, можно сделать вывод, что при обогащении происходит отделение минералов, содержащих кальций и фосфор. Вследствие этого содержание CaO уменьшается, а титана растет. В пробах ПКЖ с содержанием TiO<sub>2</sub> 70–95 % основным минералом является перовскит.

Исследования радиационно-гигиенических характеристик перовскитовых концентратов с различным содержанием диоксида титана, полученных из рудных пироксенитов Жидойского месторождения Иркутской области, показали, что исследуемые пробы содержат природные радионуклиды рядов урана-238 и тория-232, а также калий-40; техногенные радионуклиды отсутствуют. Средние значения радиационно-гигиенических показателей приведены в табл. 2.14. Удельная радиоактивность природных радионуклидов находилась в пределах 500–1210 Бк/кг для радия-226 и 900–2300 Бк/кг для тория-232 с учетом неопределенности измерений (рис. 2.6).

Мощность экспозиционной дозы (МАЭД, ДРГ-01Т, зав. № 3910, поверен), измеренная на поверхности образцов весом 0.8-0.2 кг, находилась на уровне 20–40 мкР/ч (фон — 10 мкР/ч).

Таблица 2.14

Радиационно-гигиенические характеристики перовскитовых концентратов, полученных из рудных пироксенитов Жидойского месторождения (Иркутская обл.)

Шифр проб	Удельная активность, Бк/кг			Содержание элемента, мас. %		A <sub>эфф</sub> , Бк/кг	МЭД, мкР/ч	Th/U
	K-40	Ra-226	Th-232	U-238	Th-232			
ПКЖ-1 (95 %)	< 150	1090 ± 120	1254 ± 140	0.0087 ± 0.0008	0.0308 ± 0.0030	2730 ± 120	40±3	3.54
ПКЖ-2 (70 %)	< 240	740 ± 74	1018 ± 110	0.0059 ± 0.0006	0.0250 ± 0.0030	2060 ± 127	21±2	4.24
ПКЖ-3 (80 %)	< 275	918 ± 100	2078 ± 220	0.0073 ± 0.0008	0.0510 ± 0.0056	3630 ± 196	26±4	7.0
ПКЖ-4 (74 %)	< 130	596 ± 90	1320 ± 170	0.0048 ± 0.0007	0.0357 ± 0.0046	2320 ± 300	30±4	7.44

Примечания: расчет A<sub>эфф</sub> выполнен по НРБ-99/2009, п. 5.3.4. В графах, содержащих значения удельных активностей, после знака ± приводится величина среднеквадратичного отклонения по исследованной выборке. Неопределенность измерений не превышает 10 %.

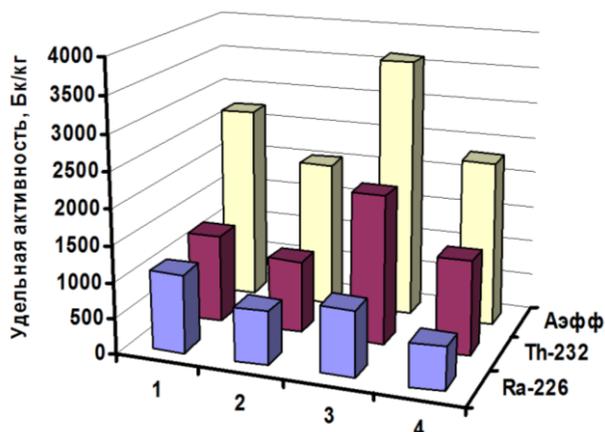


Рис. 2.6. Распределение радионуклидов и  $A_{эфф}$  в концентратах с различным содержанием  $TiO_2$ .

Обозначение: 1 — 1ПКЖ (95 %); 2 — 2ПКЖ (70%); 3 — 3ПКЖ (80 %); 4 — 4ПКЖ (74 %)

Результаты корреляционного анализа экспериментальных данных свидетельствуют о том, что между концентрациями тория-232, урана-238 и содержанием  $TiO_2$  существует зависимость [5]. Установлено, что эта зависимость для тория-232 носит линейный характер (рис. 2.7.) и выражается уравнением:

$$Th = -0.0923 + 0.00245 \cdot TiO_2 \quad (R = 0.742). \quad (1)$$

Корреляции для урана-238 (рис. 2.8) описывается следующим уравнением:

$$U = -0.0189 + 0.0005 \cdot TiO_2 \quad (R = 0.97). \quad (2)$$

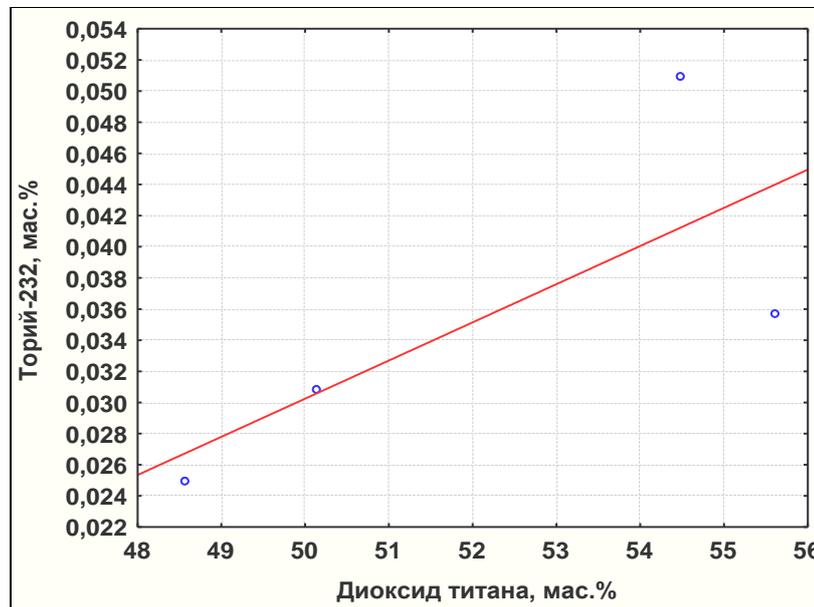


Рис. 2.7. Корреляционная зависимость концентрации тория-232 от содержания диоксида титана в концентрате

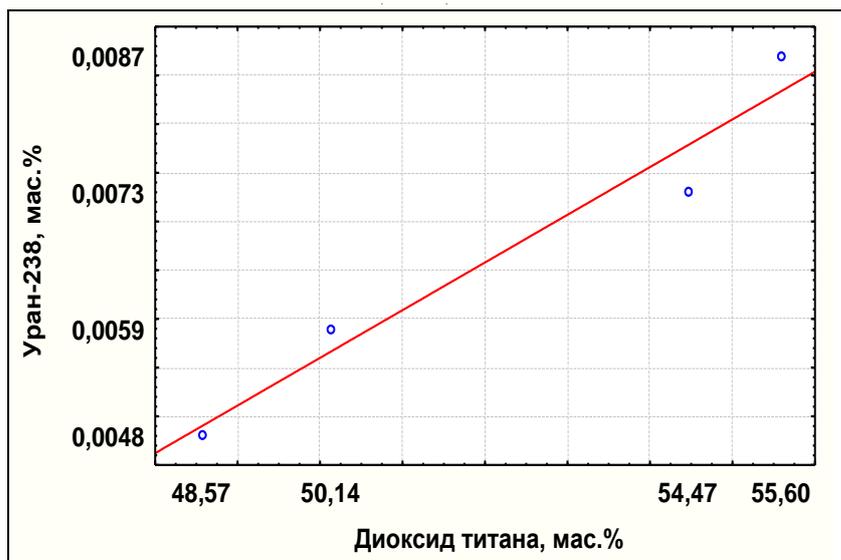


Рис. 2.8. Корреляционная зависимость концентрации урана-238 от содержания диоксида титана в концентрате

В обоих случаях коэффициенты корреляции достоверны – значимы. Выводы о корреляционной зависимости между концентрациями урана, тория и содержанием титана подтверждают полученные ранее данные на перовските Африкандского месторождения [5]. Полученные уравнения могут быть использованы для экспрессного анализа технологических продуктов обогащения [14–19]. Эти данные свидетельствуют также о том, что уран-238 и торий-232 входят в структуру соединений титана.

Таким образом, между содержанием диоксида титана в концентрате и удельной радиоактивностью продукта, и содержанием тория и урана выявлена корреляционная зависимость, что позволяет применять экспрессный метод определения содержания титана.

### Назначение и область применения

Метод обеспечивает определение диоксида титана в продуктах обогащения перовскитовых руд с неопределенностью измерения 25–10 % ( $P = 0.95$ ).

На основе проведенных исследований разработан метод экспрессного определения диоксида титана в продуктах обогащения перовскитовых руд МРК ЛРК 2.6.1.-13-2009. Методика утверждена директором института 24.10.2009 г. и предназначена для использования в аккредитованной лаборатории радиационного контроля.

Настоящая методика распространяется на перовскитовые руды различных месторождений в широком диапазоне концентраций природных радионуклидов. Методика применяется для радиационной оценки продуктов обогащения, для контроля качества продуктов в соответствии с требованиями Федеральных законов «О радиационной безопасности населения (ФЗ № 3 от 09.01.1996 г.), «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (ФЗ № 52 от 30.03.1999 г.) и действующих норм радиационной безопасности (НРБ-99/2009), ОСПОРБ-99/2010, МИ 2453-2000 и др. (ПРИЛОЖЕНИЕ 1).

Методика применяется для определения класса радиационной опасности получаемых продуктов и сертификации ее, удовлетворяет требованиям радиационного контроля.

Исследования радиационно-гигиенических характеристик перовскитовых концентратов с различным содержанием диоксида титана, полученных методом обогащения из перовскитовых руд Африкандского месторождения и рудных пироксенитов Жидойского месторождения Иркутской области, показали, что исследуемые пробы содержат природные радионуклиды рядов урана-238 и тория-232, а также калий-40. Удельная радиоактивность природных радионуклидов находилась в пределах 500–1210 Бк/кг для радия-226 и 900–2300 Бк/кг для тория-232 с учетом неопределенности измерений. Результаты корреляционного анализа экспериментальных данных показали, что между концентрациями тория-232, урана-238(радия-226), находящихся в состоянии радиоактивного равновесия, определенных различными радиометрическими и гамма-спектрометрическим методами и содержанием  $TiO_2$  существует зависимость. Установлено, что эта зависимость носит линейный характер, коэффициент корреляции (R) для тория-232 равен 0.742, для урана-238 -  $R = 0.975$ . Эти данные свидетельствуют также о том, что уран-238 и торий-232 входят в структуру соединений титана.

В обоих случаях коэффициенты корреляции достоверны — значимы. Выводы о корреляционной зависимости между концентрациями урана, тория и содержанием диоксида титана подтверждают полученные ранее данные на перовските Африкандского месторождения. Полученные уравнения корреляции могут быть использованы для экспрессного анализа технологических продуктов обогащения, что благоприятно скажется на обеспечении радиационной безопасности персонала.

### Принцип контроля

1. Определение РГХ концентратов включает измерение удельной активности радия-226, урана-238, тория-232 и калия-40 гамма-спектрометрическим методом с использованием гамма-спектрометра «Прогресс» (рис. 2.9).

Согласно базовой Методики [1] определение РГХ выполняется в режиме «равновесные ЕРН». Определение удельной радиоактивности  $^{226}Ra$  и  $^{232}Th$ , находящихся в состоянии радиоактивного равновесия с дочерними продуктами распада, проводят матричным способом обработки сцинтилляционных гамма-спектров в энергетических интервалах (кэВ):  $380 \div 520 \div 630 \div 720 \div 800 \div 1300 \div 1600 \div 1950 \div 2800$  в основном по энергетическим линиям  $^{226}Ra$ ,  $^{212,214}Pb$  и  $^{228}Ac$ , так как максимальное выделение излучений для равновесных ториевых образцов наблюдается в линиях тория-С'', тория-В и мезотория ( $MsTh_2$ ), для урановых образцов – уран-Х<sub>1</sub>, радий-В, радий-С.

Оптимальные энергетические интервалы измерений были выбраны по спектрам гамма-излучения эталонной насыпной меры активности ЕРН и уран-ториевых редкометалльных руд (ГСО).

Определение удельной радиоактивности (Бк/кг)  $^{40}K$  проводят по энергетической линии  $E_\gamma = 1461$  кэВ.

2. Регистрацию излучения и обработку спектров, полученных на гамма-спектрометре, расчет значений удельной и эффективной активности,

неопределенности измерений проводят с использованием программно-аппаратурного комплекса "ПРОГРЕСС".

Неопределенность определения радионуклидов гамма-спектрометрическим методом при доверительной вероятности 0.95 равны 12–15 % для  $^{40}\text{K}$ , 14–25 % – для  $^{226}\text{Ra}$ , 12–17 % – для  $^{232}\text{Th}$  в зависимости от концентрации радионуклидов, геометрии измерения и экспозиции.

Определение эффективной удельной активности материала и его соответствия нормативным требованиям выполняется по формуле (3).

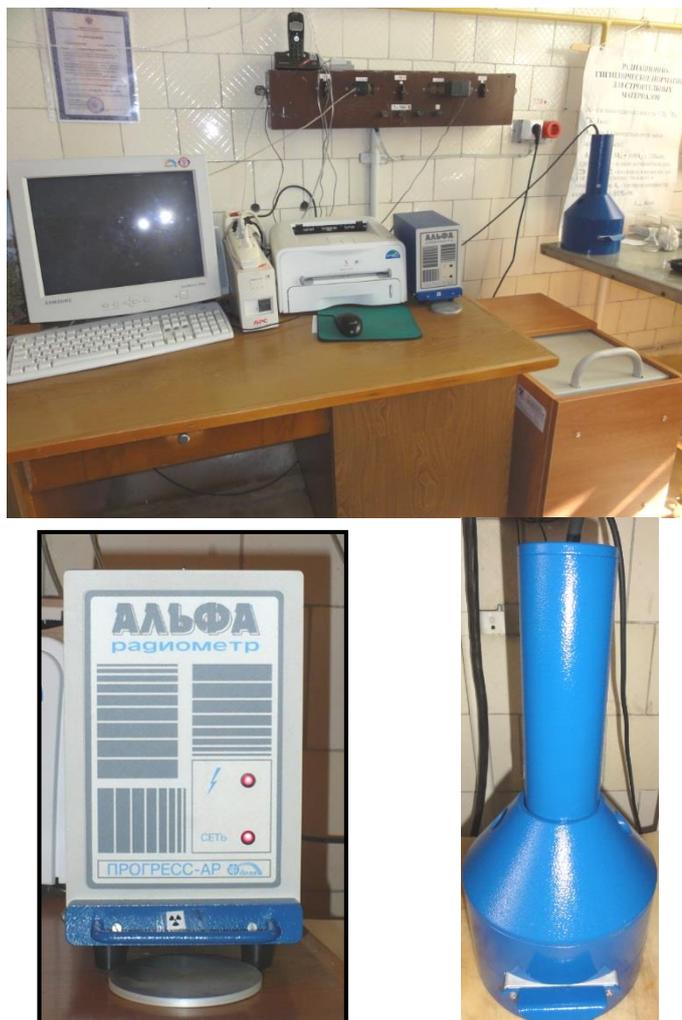


Рис. 2.9. Внешний вид компьютеризированного радиологического комплекса «Прогресс» с альфа-бета-радиометрами

3. Измерение мощности дозы гамма-излучения на поверхности образцов проводят с целью выявления превышения дозы ( $0.25 \text{ мк}^3/\text{ч}$ ) с помощью радиометров-дозиметров ДРГ-01Т или МКС-04Н, ДКГ-07. Результаты измерений используются в качестве входного радиационного контроля материала и для выбора времени экспозиции при выполнении измерений.

### **Средства измерений, вспомогательное оборудование, материалы, реактивы**

1. Для входного радиационного контроля исследуемых материалов применяют радиометры-дозиметры типа ДРГ-01Т, МКС-04Н. Неопределенность измерения МЭД оценивают с применением коэффициентов 0.3 для радиометра МКС-04Н и 0.4 — для дозиметра ДРГ-01Т1.

2. Для определения РГХ применяют радиологический комплекс «Прогресс-АБрГ», в состав которого входит гамма-спектрометрическая установка со сцинтилляционным датчиком NaJ/Tl размером 63x63 мм (или полупроводниковый детектор). Энергетическое разрешение по линии 662 кэВ для сцинтилляционного датчика NaJ/Tl равно 8 %.

Гамма-спектрометр имеет следующие технические характеристики:

- Диапазон энергии регистрируемого гамма-излучения от 150 до 3000 кэВ;
- Минимальная измеряемая активность:  $^{137}\text{Cs}$  – 3 Бк,  $^{226}\text{Ra}$  – 8 Бк,  $^{232}\text{Th}$  – 7 Бк,  $^{40}\text{K}$  – 40 Бк (геометрия сосудов «Маринелли»);
- Контрольная скорость счета от калибровочного источника № Д-55 (Cs-137 + K-40) в диапазоне 600-720 кэВ равна 78 отсчетов/с  $\pm$  10 %.
- Неопределенность измерения удельной активности ЕРН не более 25 % при доверительной вероятности 0.95. Неопределенность измерения активности  $^{137}\text{Cs}$  в диапазоне (3÷10000) Бк – 60–10 %.

3. Для определения массы проб и счетных образцов используются:

- весы электронные типа НЛ-2000 с выборкой тары на 2 кг, погрешность – 1 г.
- весы лабораторные типа ВЛР-200 (2 класс, погрешность — 0.5 г) или WA-33 (максимальная масса — 200 г, погрешность — 0.01 г), ГОСТ 24104-88 Е.

4. Для калибровки гамма-спектрометра по энергии и контроля за сохранностью параметров спектрометрической установки и радиометров применяют: комплект аттестованных мер (стандартных образцов) удельной активности ЕРН — Государственные и отраслевые стандартные образцы (ГСО, ОСО) — ГСО СГ-1А, СВТ-16А, СГ-3, ОСО-6с, ОСО-7с, ОСГИ и др. стандартные образцы, аттестованные на уран и торий в диапазоне концентраций  $2 \cdot 10^{-4}$ – $9 \cdot 10^{-1}$  мас. %, с различным соотношением Th/U и химическим составом, а также техногенные продукты с известным содержанием радионуклидов; контрольные источники (КИ): точечный источник — Свидетельство № Д-55 (Cs-137+K-40), насыпная мера активности — Свидетельство № 420/70158 (Ra-226, Th-232, K-40) и др.

*Не допускается использование КИ и ГСО с истекшим сроком службы.*

5. Применяемые приборы подлежат поверке в установленном порядке.

### Вспомогательное оборудование:

- Набор контейнеров для навесок исследуемого материала установленного объема с крышками — сосуды Маринелли, емкость 1 л; чашки «Петри», диаметр 80 мм, глубина — 1 см.
- Шпатели и лопатки (пластмассовые и металлические).
- Банки полиэтиленовые или полипропиленовые по ТУ 6-19-45, вместимостью 500 и 1000 см<sup>3</sup>.
- Полиэтиленовые пакеты.
- Эмалированные или пластмассовые поддоны разных размеров.

### Реактивы, материалы:

Вода дистиллированная.

Дезактивирующие растворы и реагенты (ОП-7, порошок «Защита», растворы борной и щавелевой кислот, калия марганцовокислого, этилендиаминтетрауксусной кислоты и др.).

Натрий уксуснокислый, хч.

Спирт ректификационный.

Протирочный материал (бязь, вата, марля, фланель).

*Примечание.* Допускается применение других вспомогательных устройств, материалов и реактивов, в том числе импортных.

### **Условия выполнения измерений**

Определение РГХ осуществляется в лабораторных условиях при температуре воздуха в помещении не менее 20°C и влажности 60±15 %; напряжении питания сети (220+22/-33) В; частоте питающей сети (50±1) Гц.

### **Порядок выполнения измерений**

1. Выполнить входной контроль: определить МАЭД гамма-излучения на поверхности пробы (3-5 измерений) с помощью дозиметров ДРГ-01Т или МКС-04Н в режиме «измерение». Подготовку к работе и проверку работоспособности дозиметра выполняют согласно инструкции по эксплуатации. Результаты контроля регистрируют в Журнале по установленной в РЛРК форме с указанием значения измеренного фона помещения (Приложение 2.3.-1). За результат принимают среднее арифметическое значение с учетом коэффициентов неопределенности измерений 0.3 для МКС-04Н и 0.4 – для ДРГ-01Т.

2. Подготовка счетных образцов:

- Пробы должны иметь Паспорт, в котором указывают данные минералогического и химического состава, время, дата и место отбора проб, заказчик (адрес, предприятие, фамилия, должность) и другие данные (влажность, плотность, зернистость и т.п.); Акт отбора представительных проб.

- Заказчик несет ответственность за отбор представительных проб согласно соответствующих ГОСТов или других документов.

- На анализ необходимо взять 3-5 проб одного образца (партии), массой от 0.1 до 1.5 кг (объем — 1 л для геометрии «Маринелли» и 0.1 кг — для геометрии «Петри»), на текущий (плановый) — 1-3 пробы (количество и объем — по договоренности с заказчиком).

- Сыпучие материалы или крупные образцы измельчить или растереть в ступке до размера зерен не более 5 мм. При хранении пробы должны быть герметично упакованы в двойную маркированную тару (полиэтиленовые мешки или банки).

Для гамма-спектрометрического анализа пробы массой до 1.5 кг поместить в чистые сосуды Маринелли, определить массу пробы на электронных весах с выборкой тары. При небольшом количестве пробы (0.3-0.5 кг) допускается измерение в геометрии «половина Маринелли» или в геометрии «чашка Петри» — навеска пробы в пределах 50–150 г.

При отборе проб использовать инструменты, изготовленные из материала, легко поддающегося дезактивации и не сорбирующего на своей поверхности радиоактивных веществ – твёрдая пластмасса или другие полимеры.

3. Подготовить гамма-канал радиологического комплекса «Прогресс» к измерениям, которые проводят в соответствии с методикой выполнения измерений удельной активности ЕРН по аттестованной базовой Методике (п. 5,6) [1]: выполнить калибровку установки по энергии (перед каждым измерением активности или фона), измерить фон (один раз в день, экспозиция — 3600 с), установить счетный образец в измерительную камеру и выполнить по заданному алгоритму измерение активности счетного образца (экспозиция — 1000–5400 с). В процессе измерения программа автоматически проводит обработку спектрограммы в соответствии с выбранным алгоритмом и заносит результаты в журнал. После окончания измерений оформляется протокол измерений.

4. После проведения измерений емкости освободить от проб и подвергнуть дезактивации с помощью дезактивирующих средств согласно «Инструкции по работе с радиоактивными веществами» (ПРИЛОЖЕНИЕ 2).

### **Форма представления результатов**

1. Согласно НРБ-99/2009 (п. 5.3.4.) эффективная удельная активность ( $A_{эфф}$ ) для материалов, в которых природные радионуклиды находятся в состоянии радиоактивного равновесия, рассчитывается по формуле:

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1.3 A_{Th} + 0.09 A_K \text{ (Бк/кг)}, \quad (1)$$

где  $A_{Ra}$  и  $A_{Th}$  — удельные активности радия-226 и тория-232, находящихся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов,  $A_K$  — удельная активность К-40 (Бк/кг).

Расчет  $A_{эфф}$  и неопределенность измерения ЕРН осуществляется автоматизированной компьютерной программой «Прогресс» в соответствии с базовой методикой (матричный метод).

2. Полученные результаты оформляются в Протоколе испытаний по определению эффективной удельной активности ЕРН (Приложение 2.3-2, 2.3-3).

3. В качестве результата партии материала для принятия решений принимается значение:

$$A_{эфф} = A_{эфф} + U, \text{ где } U \text{ — неопределенность измерения.}$$

По формулам (2) и (3) рассчитывается содержание диоксида титана:

$$Th = -0.0923 + 0.00245 \cdot TiO_2 \text{ (R = 0.742)} \quad (2)$$

$$U = -0.0189 + 0.0005 \cdot TiO_2 \text{ (R = 0.975)} \quad (3)$$

По результатам РК на партию сырья оформляется Акт радиационного контроля. Формы документов установлены в «Руководстве по качеству испытаний РЛРК».

### **Обеспечение радиационной безопасности**

Исполнители должны быть проинструктированы о мерах безопасности при работе с открытыми источниками ионизирующего излучения и контрольными закрытыми источниками ионизирующих излучений, работе на радиологическом комплексе «Прогресс-Г» в соответствии с инструкцией по его эксплуатации.

ЖУРНАЛ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Измеряемый материал \_\_\_\_\_,  
партия \_\_\_\_\_,  
транспортное средство \_\_\_\_\_  
Дата \_\_\_\_\_  
Оператор \_\_\_\_\_  
Прибор \_\_\_\_\_

Номер контрольной точки	Привязка контрольной точки	Условия измерений, t °С, влажность воздуха	Результаты измерения в точке			Aэфф, Бк/кг
			Номер измерения, i	Показания радиометра	Погрешность	
			1			
			2			
			3			
			i			

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ  
по определению эффективной удельной активности ЕРН  
(образец)

1. Наименование организации и подразделения, проводившего измерения, номер аттестата аккредитации
2. Дата проведения измерения, оператор.
3. Метод измерения и используемая аппаратура с указанием номера Свидетельства о поверке, срока действия его.
4. Наименование материала (ГОСТ, ТУ, Акт отбора проб, количество, объем, физико-химическое состояние и другие характеристики).
5. Наименование предприятия-изготовителя или предприятия-потребителя, заказчика.
6. Результаты измерений представительной пробы (номер протокола испытаний по рабочему Журналу).

Радиационно-гигиенические характеристики исследуемых материалов  
(образец)

Номер пробы	Вес пробы, г	Удельная активность, Бк/кг			A <sub>эфф</sub> , Бк/кг	МЭД, мкР/ч
		<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K		
1						
2						
3						
4						
5						

*Примечание.* Результаты измерений приводятся с погрешностью для доверительной вероятности 0.95 (Бк/кг и % отн.) с учетом неопределенности измерений.

Расчет A<sub>эфф</sub> и погрешности определения ЕРН осуществляется автоматизированной компьютерной программой «Прогресс», расчет средних значений результатов измерений и погрешности – по программе Excel или Statistica 6.0.

**Список литературы**

1. Промышленно-экономические кадастры природных и техногенных месторождений: теория и практика разработки / Под ред. Ю. М. Арского, Е. А. Каменева и др. – Апатиты, 1990. – 91 с.
2. Найфонов, Т. Б. Флотация титановых минералов при обогащении комплексных титансодержащих руд. / Т. Б. Найфонов. – Л.: Наука, 1979. – 165 с.
3. Найфонов, Т. Б. Флотационное обогащение комплексных титановых и циркониевых руд. / Т. Б. Найфонов, В. И. Белобородов, И. Б. Захарова. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1994. – 156 с.
4. Метрологические характеристики радиометрического метода определения естественных радионуклидов. / Н. А. Мельник // Аналитика Сибири и Дальнего Востока: Тез.докл. VI Международной конф., Новосибирск, 21–24 ноября 2000 г. – Новосибирск, СО РАН, 2000. – С. 278–279.
5. Экспрессная методика определения извлечения диоксида титана при обогащении перовскитовых руд / Н. А. Мельник // В кн. «Технология минерального сырья и свойства соединений редких элементов», Апатиты, Изд-во КНЦ РАН, ИХТРЭМС, 1997. – С. 90–94.
6. Методика измерения активности радионуклидов в счётных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения «ПРОГРЕСС» – М.: ГП «ВНИИФТРИ», 1999. – 27 с.
7. Метрологическое обеспечение радиационного контроля. Основные положения ГОСТ Р 8.638-2013. – Режим доступа: <https://www.consultant>
8. МИ 2453-2000 Рекомендация. Методики радиационного контроля. Общие требования. – М.: ФГУП ГНМЦ «ВНИИФТРИ», 2000. – 16 с.

9. Определение редких и радиоактивных элементов в минеральном сырье. / Под ред. Г. В. Остроумова. – М.: Недра, 1987. – 252 с.
10. Железнова, Е. И. Радиометрические методы анализа естественных радиоактивных элементов / Е. И. Железнова, И. Н. Шумилин, Б. Я. Юфа. – М.: Недра, 1968. – 520 с.
11. Якубович, А. Л. Ядерно-физические методы анализа минерального сырья / А. Л. Якубович, Е. И. Зайцев, С. М. Пржияговский. – М.: Атомиздат, 1973. – 215 с.
12. Методика определения радиационно-гигиенических характеристик строительных материалов (М ЛРК ИХ 2.6.1.-02-2006-08), утв. 27.09.2006 г. / Н. А. Мельник // Свидетельство об аттестации МВИ № 40090.8А094-1 от 14.01.2008 г. – Апатиты: ИХТРЭМС КНЦ РАН, 2008 г. – 17 с.
13. Использование естественных радиоактивных элементов для экспрессного анализа технологических продуктов. / Н. А. Мельник // Химия и технология переработки комплексного сырья Кольского полуострова: Тез. докл. научной конф. ИХТРЭМС, 22–24 апреля 1996 г. Апатиты - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1996. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1996. – С. 127–128.
14. Распределение радиоактивности при гидрометаллургической переработке перовскитового концентрата различными методами / Н. А. Мельник // Цветная металлургия. – 2003. – № 3. – С. 20–26.
15. Радиометрические методы анализа продуктов гидрометаллургической переработки редкометалльного сырья / Н. А. Мельник // Благородные и редкие металлы: Сб. информ. материалов 3-й Международной конф. «БРМ-2000», Донецк, 19–22 сентября 2000 г. – Донецк, 2000. – С. 224.
16. Радиационная оценка комплексной переработки перовскитовых руд Африкандского месторождения / Н. А. Мельник // Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья Кольского научного центра РАН – Апатиты, 2002. – 27 с., деп. ВИНТИ 27.08.2002, № 1521-В-2002.
17. Распределение природных радионуклидов при переработке титано-редкометалльного сырья Кольского региона / Н. А. Мельник // Ресурсопроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр: Тез. докл. 2-й международ. конф. 15–18 сентября 2003 г., Москва. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – С. 339–341.
18. Зависимость между содержанием диоксида титана и природных радионуклидов в перовските Жидойского месторождения / Мельник Н. А. // Исследования и разработки в области химии и технологии функциональных материалов: Сб. докл. Всероссийской конф. с международным участием, 27–30 ноября 2010 г., Апатиты – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2010. – С. 149–152.

#### **2.4. ЭКСПРЕССНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ ЦИРКОНАТОВ И ТИТАНАТОВ КАЛИЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ КАЛИЯ-40**

Метод экспрессного определения структуры цирконатов и титанатов калия разрабатывался на основе исследований, выполненных в лаборатории при исследовании фторсодержащих соединений, содержащих калий. Исследования проводили радиометрическим методом, которые показали возможность определения структуры новых синтезированных соединений на основе цирконатов и титанатов калия.

При синтезировании новых комплексных фтористых соединений элементов четвертой группы периодической системы – гафнатов, цирконатов, титанатов [1] — при отработке технологии получения препаратов с заданными свойствами большое значение имеет быстрое определение химического состава полученного соединения. Как правило, определение химического состава нового соединения требует больших производственных затрат и времени.

При синтезе указанных соединений технологи используют калий фтористый. Известно, что калий обладает естественной радиоактивностью за счет присутствия в природной смеси изотопов радионуклида калия-40 [2–4]. В связи с этим была исследована возможность определения химического состава новых соединений по содержанию калия, определяемого радиометрическим методом. Нами изучалась зависимость между удельной радиоактивностью препаратов и содержанием калия.

В природной смеси изотопов содержание калия-40 составляет 0.0119 %, но радиоактивность его достаточно высокая для регистрации излучения. При распаде калия-40 его атом (11 %) излучают гамма-кванты с энергией 1.46 МэВ, а остальные 89 % атомов подвергаются бета-распаду. Один грамм природного калия испускает в среднем 27.2 бета-частиц в 1 с и 3.31 гамма-кванта. Из литературных источников следует, что удельная активность естественного калия равна  $8 \cdot 10^{-10}$  Ки/г калия. Так как калий содержится практически во всех известных биологических, геологических и других объектах, то все они имеют определенный уровень радиоактивности. Например, содержание его в биосфере находится на уровне  $1.6 \cdot 10^{-9}$  Ки/кг, в почве —  $1.9 \cdot 10^{-8}$  Ки/кг, в пищевых продуктах —  $1 \cdot 10^{-8}$  Ки/кг [5–8].

Период полураспада калия-40 равен  $1.3 \cdot 10^9$  лет. Нормами радиационной безопасности не регламентируются предельно допустимые концентрации его в воде, воздухе, а также на рабочих местах. Все это позволяет работать с ним как со стабильным изотопом без ограничений по радиационному фактору. Определение калия предлагаемым методом не представляет радиационной опасности.

Установлено, что бета-радиоактивность препаратов калия намного превышает уровень интегральной гамма-активности, поэтому предпочтение было отдано бета-радиометрическому анализу. При этом значительно увеличилась производительность труда, сократилось время анализа одной пробы, уменьшилась погрешность измерений.

Для исследований брали различные химические реактивы, содержащие калий и выпущенные в 1968–1990 гг., марок «чистый», «чистый для анализа», «химически чистый», а также синтезированные технологами фторсульфатоцирконаты калия (ФСЦМ), фторсульфатогафнаты калия и фтортитанаты калия, имеющие практическое значение [7].

Все соединения калия перед исследованием сушили в сушильном шкафу при температуре  $100 \pm 5^\circ$  в течение 2 ч и охлаждали на воздухе. Приготовленные препараты анализировали по бета-радиоактивности калия-40 на радиометрах «Спутник» и УМФ-1500М с датчиком МС-17. Для анализа брали 0.5–1 г исследуемого вещества. В качестве эталона использовали подготовленный таким же образом реактив калия хлористого, активность которого равна  $3.87 \cdot 10^{-7}$  Ки/кг [4]. По скорости счета бета-частиц (имп/мин) эталона и исследуемого препарата рассчитывали удельную радиоактивность (Ки/кг) и содержание калия (мас. %). Относительная погрешность определения не превышал 5 % для исследуемого диапазона концентраций.

Установлено, что на величину удельной радиоактивности исследуемых препаратов практически не влияют ни чистота реактива, ни срок хранения его (табл. 2.15), если препарат устойчив во времени и не разлагается. непригодными оказались соединения, которые при сушке плавилась или становились влажными при охлаждении на воздухе. Это калий пироксернистокислый, калий фтористый, алюмокалиевые квасцы и другие (табл. 2.15 — образцы №№ 4, 8, 10, 13, 20). Результаты анализа для них занижены на 6–10 %. В остальных случаях расхождения между теоретическим значением (рассчитанным по формуле) и определяемым содержанием калия незначительные и находятся в пределах ошибки радиометрического метода анализа [14].

Таблица 2.15

Удельная радиоактивность химических препаратов калия

№ п/п	Наименование, химическая формула	ГОСТ или ТУ	Марка, год выпуска	Содержание калия, мас. %, расчетное	Удельная активность, Ки/кг $\times 10^{-7}$	Калий мас. % экспериментальное значение	Погрешность определения, отн. %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Азотнокислый, $\text{KNO}_3$	4217-77	хч, 1988 1990	38.57 38.57	2.78 2.77	37.67 37.50	-2.78 -2.78
2	Бромистый, $\text{KBr}$	4160-65	ч.д.а. 1973 1990	32.77 32.77	2.48 2.49	33.56 33.70	+2.41 -2.76
3	Бромноватокислый, $\text{KBrO}_3$	4457-74	хч, 1980	23.35	1.67	22.59	-3.25
4	Гексафтортитанат, $\text{K}_2\text{TiF}_6$	ТУ 6-09-420-76	ч., 1990	32.56			
5	Двуххромовокислый, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	4220-65 4220-65 4220-65	хч, 1968 1978 1985	26.53 26.53 26.53	1.92 1.93 1.96	26.06 26.19 26.50	-1.77 -1.28 -0.11
6	Двууглекислый, $\text{KHCO}_3$	4143-69 4143-78	хч, 1977 ч 1987	38.95 38.95	2.84 2.91	38.37 39.45	-1.49 -1.27
7	Железосинеродистый, $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$		ч, 1980	35.53	2.56	34.61	-2.59
8	Йодистый, $\text{KI}$	4232-74	хч, 1987 1977	23.51 23.51	1.62 1.63	21.93 22.07	-6.72 -6.13
9	Йодноватокислый, $\text{KJO}_3$	4202-65	1975	18.23	1.30	17.67	-3.07
10	Лимоннокислый однозамещенный, $\text{KC}_6\text{H}_7\text{O}_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	9179-73	чда, 1983	14.66	1.00	13.53	-7.71
11	Натрий виннокислый, $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	5845-65	чда, 1971	13.83	1.04	14.05	+1.57
12	Надсернокислый, $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$	4146-77	1985	28.85	2,04	27.59	-4.37

1	2	3	4	5	6	7	8
13	Пиросернокислый, $K_2S_2O_7$	7172-76	1978 ч, 1986	30.71 30.71	2.04 2.11	27.64 28.56	-10.0 -7.0
14	Пирофосфорнокислый, $K_4P_2O_7$	ТУ 6-09- 4689-76	чда, 1982	47.22	3.36	45.48	+3.68
15	Роданистый, KSCN	Импорт	ч, 1987	40.13	2.86	39.12	-2.52
16	Сернокислый, $K_2SO_4$	4145-74	хч, 1987 1990	44.83	3.24 3.30	43.88 44.69	+2.12 -0.31
17	Сернистокислый, $K_2S_2O_5$		ч, 1990	35.08	2.49	33.74	-3.82
18	Фосфорнокислый однозамещенный $KH_2PO_4$	4198-75	чда, 1979 ч, 1987	28.68 28.68	2.12 2.09	28.74 28.28	+0.21 -1.39
19	Фосфорнокислый (мета), $KPO_3$	ТУ 6-09- 2209-65	1971	33.04	2.40	32.47	-1.73
20	Углекислый, $K_2CO_3$	4221-76	чда, 1988	56.44	3.80	51.5	-8.75
21	Хлористый, KCl	4234-69	хч, 1978	52.38	3.87	52.38	-

График зависимости содержания калия от удельной радиоактивности препаратов, представленный на рис. 2.10, носит линейный характер и отвечает формуле:  $A = \alpha P$ , где  $A$  — удельная радиоактивность препарата, Ки/кг;  $P$  — содержание калия, мас. %;  $\alpha$  — пересчетный коэффициент.

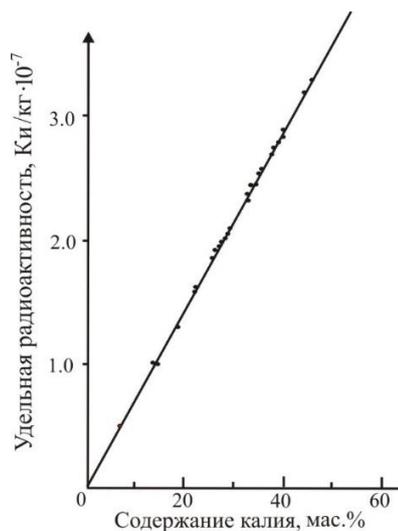


Рис. 2.10. Зависимость содержания калия от удельной радиоактивности препаратов

Расчетным путем установлено, что среднее значение  $\alpha$  равно  $0.074 \cdot 10^{-7}$ . По этому графику определяли содержание калия в технологических и синтезированных продуктах — фторотитанатах, фторсульфатоцирконатах, фтороцирконатах, фторогафнатах. Экспериментальное значение сравнивали

с известным или расчетным содержанием калия и химической формулой соединения. Результаты исследований синтезированных материалов, полученных в разных условиях, и содержание калия в них, представлены в табл. 2.16.

Таблица 2.16

Удельная радиоактивность синтезированных материалов  
и содержание в них калия

Продукт, состав соединения	Удельная бета- радиоактивность, Ки/кг $\times 10^{-7}$	Содержание калия, мас. %	
		Экспериментальное	Расчетное
Из химических реактивов			
$K_2ZrF_6$	2.19	29.64	27.54
$K_2ZrF_6$ с примесью $K_2SO_4$	2.87	38.85	35.36
$K_2ZrF_6$ с примесью KF	2.53	34.24	34.29
$K_3Zr_2F_9SO_4$	1.46	19.76	20.66
$K_3Zr_2F_9SO_4$ с примесью $K_2ZrF_6$	1.68	22.74	22.95
Синтезированные соединения из бадделеитового концентрата			
KF, $K_2ZrF_6$	2.49	33.73	
KF, $K_2ZrF_6$	2.51	33.97	
$K_2ZrF_6$	2.08	28.07	
$K_2ZrF_6$	1.98	26.75	
$K_2ZrF_6$	2.03	27.41	
$K_2ZrF_6$	2.10	28.40	
$K_2ZrF_6$	2.05	27.67	

Как видно из табл. 2.16, фтороцирконатам калия с содержанием калия 26.7–30.4 мас. % соответствует состав, отвечающий химической формуле  $K_2ZrF_6$ , у фторсульфатоцирконатов (ФСЦМ) содержание калия 18.9–20.7 мас. %, что соответствует формуле  $K_2ZrF_6SO_4$ . Превышение содержания калия над приведенными значениями указывает на то, что в синтезированных продуктах присутствуют примеси калия фтористого (при  $P = 34.3$  мас. %) или калия сернокислого ( $P = 35$ – $38.9$  мас. %), или они имеют другой состав, например такой, как  $K_2ZrF_6SO_4$  с примесью  $K_2ZrF_6$ . Эти продукты не имеют практического значения и поэтому могут быть возвращены в технологический цикл без сложного структурного анализа.

Из бадделеитового концентрата в различных условиях (табл. 2.16) были получены соединения нужного химического состава, с близкими значениями содержания калия. Для ФСЦМ при содержании калия 27.54 мас. % среднеквадратичное отклонение равно 0.684. При доверительной вероятности 0.95 погрешность определения калия составляла 2.3 отн. %. Аналогичные данные были получены на фторотитанатах калия ( $K_3TiOF_5$ ,  $K_2TiF_6$ ) и фторсульфатогафнатах калия ( $K_{1.5}Hf_{4.5}(SO_4)_{0.5}$ ).

Таким образом, предлагаемый метод определения калия является эффективным и надежным для анализа вновь синтезированных соединений.

Метод позволяет быстро определить как содержание калия, так и примерный химический состав соединения; кроме того, он не требует большого количества исследуемого продукта. Измерение удельной активности исследуемых проб можно проводить радиометрическим методом по бета-активности или гамма-спектрометрическим методом на гамма-спектрометре.

Препарат не претерпевает физических и химических изменений и может быть вновь использован в работе. На анализ одной пробы, в зависимости от содержания калия, с заданной точностью определения требуется от 5 до 30 мин. Это особенно удобно при выборе условий синтеза соединений с требуемыми свойствами.

Этот метод может быть использован в качестве экспрессного для определения содержания калия, контроля за составом синтезированных комплексных соединений калия, для корректировки технологических операций с целью получения продукта нужного качества [15].

На основе проведенных исследований была разработана Методика экспрессного определения структуры цирконатов и титанатов калия с использованием программного обеспечения «Прогресс» как МВИ ЛРК ИХ 2.6.1.-13-2009), утверждена директором института 23.10.2009 г.

### **Назначение и область применения**

Настоящая методика предназначена для использования в аккредитованной лаборатории радиационного контроля. Методика обеспечивает экспрессное определение структуры цирконатов и титанатов калия методом гамма-спектрометрии по калию-40.

Настоящая методика распространяется на синтезированные материалы с заданными свойствами на основе цирконатов и титанатов калия. Методика применяется при оперативном сопровождении технологических работ и контроле качества опытных партий синтезируемых материалов в соответствии с требованиями Федеральных законов «О радиационной безопасности населения» (ФЗ № 3 от 09.01.1996 г.), «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (ФЗ № 52 от 30.03.1999 г.) и действующих норм радиационной безопасности (НРБ-99/2009), ОСПОРБ-99/2010, МИ 2453-2000 и др. (ПРИЛОЖЕНИЕ 1).

### **Принцип контроля**

1. Определение структуры синтезированных материалов цирконатов и титанатов калия может выполняться разными способами на основе ядерно-физических свойств К-40.

1.1. В 1-м случае измерение удельной активности калия-40 (Бк/кг) выполняется гамма-спектрометрическим методом по энергетической линии гамма-излучения  $E_{\gamma} = 1461$  кэВ согласно базовой Методики [6].

Оптимальный энергетический интервал измерений выбран по спектрам гамма-излучения эталонной насыпной меры активности ЕРН и ГСО на основе цезия-137 и калия-40.

Исследуемые пробы помещают в измеряемый сосуд Маринелли или «чашку Петри» в зависимости от количества исследуемого материала.

Регистрацию излучения и обработку спектров, полученных на гамма-спектрометре, расчет значений удельной и эффективной активности,

неопределенности измерений проводят с использованием программно-аппаратурного комплекса «ПРОГРЕСС».

1.2. Во 2-м случае определяется суммарная удельная бета-активность калия-40, содержащегося в исследуемом веществе на бета-радиометрах разного типа («Прогресс» (рис. 2.11), РУБ-01П (рис. 2.12), УМФ-1500М или 2000).

2. Измерение мощности дозы гамма-излучения на поверхности образцов проводят с целью выявления превышения дозы ( $0.25 \text{ мк}^3/\text{ч}$ ) с помощью радиометров-дозиметров ДРГ-01Т или МКС-04Н. Результаты измерений используются в качестве входного радиационного контроля материала и для выбора времени экспозиции при выполнении измерений.

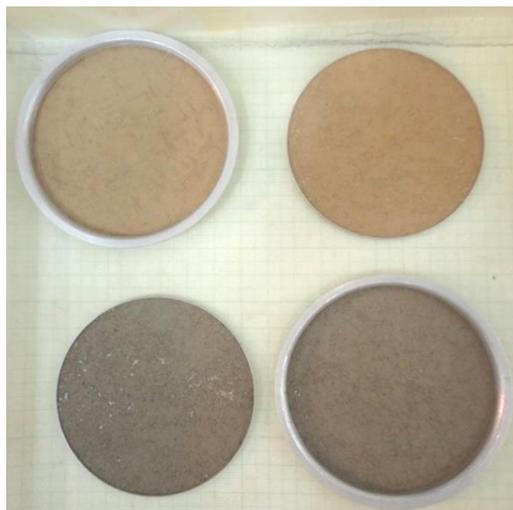
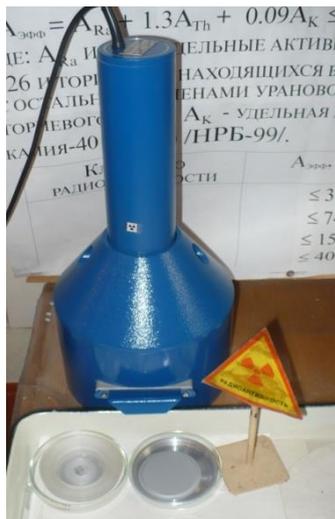


Рис. 2.11. Бета-радиометр «Прогресс» и счетные образцы на подложках



Блок детектирования



измерительное устройство

Рис. 2.12. Бета-радиометр РУБ–01П

### **Средства измерений, вспомогательное оборудование, материалы и реактивы**

1. Для входного радиационного контроля исследуемых материалов применяют радиометры-дозиметры типа ДРГ-01Т, МКС-04Н. Неопределенность измерения МЭД оценивают с применением коэффициентов 0.3 для радиометра МКС-04Н и 0.4 — для дозиметра ДРГ-01Т1.

2. Для определения К-40 применяют бета-радиометры типа «Прогресс», УМФ-1500М, УМФ-2000, РУБ-01П, радиологический комплекс «Прогресс-БрГ», в состав которого входит гамма-спектрометрическая установка со сцинтилляционным датчиком NaJ/Tl размером 63x63 мм (или полупроводниковый детектор) и бета-радиометр. Энергетическое разрешение по линии 662 кэВ для сцинтилляционного датчика NaJ/Tl равно 8%.

Гамма-спектрометр имеет следующие технические характеристики:

- Диапазон энергии регистрируемого гамма-излучения от 150 до 3000 кэВ;
- Минимальная измеряемая активность:  $^{40}\text{K}$  – 40 Бк (геометрия сосуд «Маринелли»).

- Контрольная скорость счета от калибровочного источника № Д-55 (Cs-137 + K-40) в диапазоне 600–720 кэВ равна 78 отсчетов/с  $\pm 10\%$ .

- Неопределенность измерения удельной активности ЕРН не более 25 % при доверительной вероятности 0.95.

3. Для определения массы проб и счетных образцов используют:

– весы электронные типа НЛ-2000 с выборкой тары на 2 кг, погрешность – 1 г.

– весы лабораторные типа ВЛР-200 (2 класс, погрешность — 0.5 г) или WA-33 (максимальная масса — 200 г, погрешность — 0.01 г).

4. Для калибровки гамма-спектрометра по энергии и контроля за сохранностью параметров спектрометрической установки и радиометров применяют: комплект аттестованных мер (стандартных образцов) удельной активности ЕРН — Государственные и отраслевые стандартные образцы (ГСО, ОСО), ОСГИ и др. стандартные образцы, аттестованные на калий-40, уран и торий в диапазоне концентраций  $2 \cdot 10^{-4} \div 9 \cdot 10^{-1}$  мас. %, а также техногенные продукты с известным содержанием радионуклидов.

5. Контрольные источники (КИ): точечный источник — Свидетельство № Д-55 (Cs-137+K-40), насыпная мера активности — Свидетельство № 420/70158 (Ra-226, Th-232, K-40) и др.

Не допускается использование КИ и ГСО с истекшим сроком службы.

6. Применяемые приборы подлежат поверке в установленном порядке.

### Вспомогательное оборудование и химические реактивы:

- Набор контейнеров для навесок исследуемого материала установленного объема с крышками — сосуды Маринелли, емкость 1 л; чашки «Петри», диаметр 80 мм, глубина — 1 см; мишени из алюминия  $\varnothing$  3 см.

- Шпатели и лопатки (пластмассовые и металлические).

Банки полиэтиленовые.

Дезактивирующие растворы и реагенты (ОП-7, порошок «Защита», растворы борной и щавелевой кислот, калия марганцовокислого, этилендиаминтетрауксусной кислоты и др.).

Калий хлористый, хч.

Натрий уксуснокислый, хч.

Спирт ректификационный.

Протирочный материал (бязь, вата, марля, фланель).

*Примечание.* Допускается применение других вспомогательных устройств, материалов и реактивов, в том числе импортных.

### **Условия выполнения измерений**

Определение калия осуществляется при температуре воздуха в помещении не менее 20 °С и влажности 60±15 %; напряжении питания сети 220 +22/-33 В; частоте питающей сети 50±1 Гц.

### **Принцип измерения**

#### *1. По гамма-активности*

- выполнить калибровочное измерение с помощью контрольного источника; измерить скорость счета импульсов фона при экспозиции 600–1800 с; измерить активность счетного образца пробы (рис. 2.9). Обработка результатов измерения проводится по компьютеризированной программе "Прогресс-2000" с учетом неопределенности измерений. В журнале или в протоколе испытаний сделать необходимые расчеты и записи.

Неопределенность определения <sup>40</sup>К гамма-спектрометрическим методом при доверительной вероятности 0.95 равна 8–12 % в зависимости от концентрации радионуклида, геометрии измерения и экспозиции.

#### *2. По суммарной бета-активности*

(на бета-радиометрах типа УМФ-1500М, УМФ-2000, РУБ-01П)

Измерить последовательно скорость счета импульсов фона при экспозиции 100 с; измерить скорость счета импульсов контрольных источников β-излучения на основе калия-40 (КИ); измерить скорость счета импульсов исследуемых препаратов калия; рассчитать средние значения скорости счета фона, КИ и препаратов калия (имп/с); рассчитать значения суммарной β-активности исследуемых проб и погрешности их измерения.

Паспортные данные контрольных источников: КА№ 53 – 25.6 Бк, К40 – 50 Бк.

### **Алгоритм выполнения работы:**

#### **Порядок выполнения измерений — 1 вариант**

##### **1.1. Подготовка счетных образцов:**

- Пробы должны иметь Паспорт, в котором указывают данные минералогического и химического состава, время, дата и место отбора проб, заказчик (адрес, предприятие, фамилия, должность) и другие данные (влажность, плотность, зернистость и т.п); Акт отбора представительных проб.

- На анализ необходимо взять 3 пробы одного образца (партии), массой от 0.1 до 1.5 кг (объем — 1 л для геометрии «Маринелли» и 0.1 кг — для геометрии «Петри»), на текущий (плановый) — 1–3 пробы (количество и объем — по договоренности с заказчиком).

- Сыпучие материалы или крупные образцы измельчить или растереть в ступке до размера зерен не более 5 мм. При хранении пробы должны быть герметично упакованы в двойную маркированную тару (полиэтиленовые мешки или банки).

1.2. Для гамма-спектрометрического анализа пробы массой до 1.5 кг поместить в чистые сосуды Маринелли, определить массу пробы на электронных весах с выборкой тары. При небольшом количестве пробы (0.3–0.5 кг) допускается измерение в геометрии «половина Маринелли» или в чашках «Петри».

При отборе проб использовать инструменты, изготовленные из материала, легко поддающегося дезактивации и не сорбирующего на своей поверхности радиоактивных веществ — твёрдая пластмасса или другие полимеры.

1.3. Подготовить гамма-канал радиологического комплекса «Прогресс» к измерениям, которые проводят в соответствии с методикой выполнения измерений удельной активности ЕРН по аттестованной базовой Методике (п. 5,6) [6]: выполнить калибровку установки по энергии (перед каждым измерением активности или фона), измерить фон (один раз в день, экспозиция — 3600 с), установить счетный образец в измерительную камеру и выполнить по заданному алгоритму измерение активности счетного образца (экспозиция — 600–1800 с). В процессе измерения программа автоматически проводит обработку спектрограммы в соответствии с выбранным алгоритмом и заносит результаты в Журнал. После окончания измерений оформляют Протокол измерений.

1.4. После проведения измерений емкости освободить от проб и подвергнуть дезактивации с помощью дезактивирующих средств согласно «Инструкции по работе с радиоактивными веществами» (ПРИЛОЖЕНИЕ 2).

#### **Порядок выполнения измерений — 2-й вариант**

- проверить исправность проводов, установить в измерительную кювету контрольную тарелку Ø 3 см; последовательно включить "сеть", пересчетное устройство, установить кнопку экспозиции в положение "∞", прогреть прибор в течение 15–20 мин;
- кнопку экспозиции перевести в положение К, нажимая кнопку "пуск", выполнить 5–7 измерений; среднее значение К должно быть равно  $7680 \pm 2$ ;
- перевести экспозицию в положение "100 с", измерить скорость счета импульсов фона в выдвигной кассете (каретке) с нужным держателем 3–5 раз;
- выполнить измерения КИ на основе К-40 при экспозиции 100 с; записать показания пересчетного прибора в Журнал или Протокол, рассчитать средние значения скорости счета (имп/с) и погрешность измерения; сравнить полученные результаты с паспортными данными;
- выполнить измерения исследуемых препаратов калия, помещенных в мишени из алюминия (Ø 3 см, навески 0.5–1 г), при экспозиции 100 с; записать показания пересчетного прибора в Журнал или Протокол, рассчитать средние значения скорости счета (имп/с) и погрешность измерения; сравнить полученные результаты с паспортными данными;
- при извлечении КИ или мишени с пробой из измерительной кюветы необходимо каждый раз **отключать и включать прибор!**

#### **Форма представления результатов**

1. Расчет неопределенности измерения ЕРН осуществляется автоматизированной компьютерной программой «Прогресс» в соответствии с базовой методикой (матричный метод).

3. Полученные результаты оформляются в Протоколе испытаний по определению удельной радиоактивности калия-40 (приложение 2.3-1 к МВИ).

4. В качестве результата партии материала для принятия решений принимается значение:

$$A_{K-40} = A_{K-40} + U, \quad (2)$$

где  $U$  — неопределенность измерения  $K-40$ . По концентрации  $K-40$  с учетом данных, представленных на графике или в таблице, определяется состав исследуемой пробы.

### Обеспечение радиационной безопасности

Исполнители должны быть проинструктированы о мерах безопасности при работе с открытыми источниками ионизирующего излучения и контрольными закрытыми источниками ионизирующих излучений, работе на радиологическом комплексе «Прогресс-Г» и бета-радиометрах в соответствии с инструкциями по эксплуатации.

Приложение 2.4-1 к МВИ

## ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ по определению содержания калия-40 (образец)

Наименование организации и подразделения, проводившего измерения,  
номер аттестата аккредитации

Дата проведения измерения, оператор.

Метод измерения и используемая аппаратура с указанием номера Свидетельства о поверке, срока действия его.

Наименование материала (ГОСТ, ТУ, Акт отбора проб, количество, объем, физико-химическое состояние и другие характеристики).

Наименование предприятия-изготовителя или предприятия-потребителя, заказчика.

Результаты измерений представительной пробы (номер протокола испытаний по рабочему журналу).

Определение калия-40 по графику и химической формы соединения по формулам (1) и (2).

Таблица

### Радиационно-гигиенические характеристики синтетических материалов

Номер пробы	Вес пробы, г	Удельная активность, Бк/кг			К, мас. %	Химическая формула
		<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K		
1						
2						
3						
Среднее значение						

*Примечание.* Результаты измерений приводятся с неопределенностью измерения при доверительной вероятности 0.95 (Бк/кг).

Расчет неопределенности измерений ЕРН осуществляется автоматизированной компьютерной программой «Прогресс», расчет средних значений результатов измерений – по программе Excel или Statistica 6.0.

8. Заключение \_\_\_\_\_

Руководитель ЛРК \_\_\_\_\_ (подпись) /ФИО/

Исполнитель \_\_\_\_\_ (подпись) /ФИО/

Дата, МП

### Список литературы

1. Годнева, М. М. Химия подгруппы титана: фториды, фосфаты, фторофосфаты из водных сред / М. М. Годнева – Апатиты: КНЦ РАН, 2015. – 222 с.
2. Моисеев, А. А, Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. / А. А. Моисеев, В. И. Иванов. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 286 с.
3. Козлов, В. Ф. Справочник по радиационной безопасности. / В. Ф. Козлов. - М.: Энергоатомиздат, 1987. – 192 с.
4. Пруткина, М. И. Справочник по радиометрической разведке и радиометрическому анализу. / М. И. Пруткина, В. Л. Шишкин – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 168 с.
5. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Гигиенические нормативы: СанПин 2.6.1.2563-09 – М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
6. Методика определения радиационно-гигиенических характеристик строительных материалов (М ЛРК ИХ 2.6.1.-02-2006-08), утв. 27.09.2006 г. / Н. А. Мельник // Свидетельство об аттестации МВИ № 40090.8A094-1 от 14.01.2008 г. – Апатиты: ИХТРЭМС КНЦ РАН, 2008 г. – 17 с.
7. Использование естественных радиоактивных элементов для экспрессного анализа технологических продуктов / Н. А. Мельник // Химия и технология переработки комплексного сырья Кольского полуострова: Тез. докл. научной конф. ИХТРЭМС, 22–24 апреля 1996 г. Апатиты - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1996. – С. 127–128.
8. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ–99/2010): СП 2.6.1.2612–10. – М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 83 с.
9. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений», ФЗ № 102 от 11 июня 2008г. (с изменениями на 02 дек. 2013г. №338) – Режим доступа: <https://www.consultant>
10. Метрологическое обеспечение радиационного контроля. Основные положения. ГОСТ Р 8.638-2013. – Режим доступа: <https://www.consultant>
11. МИ 2453-2000 Рекомендация. Методики радиационного контроля. Основные положения. – М.: ФГУП ГНМЦ «ВНИИФТРИ», 2000. – 16 с.
12. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: СП 2.6.1.2800-10 – М.: Минздрав России, 2010. – 58 с.
13. Определение калия во фторосодержащих соединениях радиометрическим методом. / Н. А. Мельник, Р. А. Высланко // Методы анализа минерального сырья и технологических продуктов Кольского полуострова – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1996. – С. 57–62.
14. Экспрессная методика определения извлечения диоксида титана при обогащении перовскитовых руд. / Н. А. Мельник // Технология минерального сырья и свойства соединений редких элементов – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1997. – С. 90–94.

## **2.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И МЕЛИОРАНТОВ**

Метод определения радиационно-гигиенических характеристик (РГХ) минеральных удобрений и мелиорантов предназначен для использования в аккредитованной лаборатории радиационного контроля и разрабатывался как методическое дополнение к Базовой методике «Методика измерения активности радионуклидов в счетных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения «Прогресс» [1].

### **Область применения**

Метод обеспечивает определение в минеральных удобрениях и мелиорантах концентраций радионуклидов в диапазоне:  $^{226}\text{Ra}$  8-10000 Бк/кг,  $^{232}\text{Th}$  7-10000 Бк/кг, с погрешностью 10–25 % ( $P = 0.95$ ).

Метод распространяется на все виды минеральных удобрений и мелиорантов (известковая и доломитовая мука, фосфорные удобрения и другие агрохимикаты; минеральное и техногенное сырье, используемое в качестве удобрений) и устанавливает методы определения радиационно-гигиенических характеристик исследуемых материалов в широком диапазоне концентраций.

Радиационная оценка исследуемых материалов проводится в соответствии с требованиями Федеральных законов «О радиационной безопасности населения (ФЗ № 3 от 09.01.1996 г.), «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (ФЗ № 52 от 30.03.1999 г.) и действующих норм радиационной безопасности (НРБ-99/2009), ОСПОРБ-99/2010 и требований по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения.

Методическое дополнение составлено с учетом рекомендаций ГОСТ Р 8.563-96, ГОСТ Р 8.638-2013, МИ 2552-99, МИ 2453-2000, СП 2.6.1.1292-03 [8-11].

### **Принцип контроля**

1. Определение РГХ минеральных удобрений и мелиорантов включает определение удельной радиоактивности урана-238 (радия-226) и тория-232 (тория-228) гамма-спектрометрическим методом.

Согласно базовой Методики [1] определение удельной активности ЕРН выполняется в зависимости от состояния радиоактивного равновесия в режиме «равновесные ЕРН» или режиме «нестандартные измерения, неравновесные ЕРН».

В 1-м случае определение удельной радиоактивности  $^{238}\text{U}$  ( $^{226}\text{Ra}$ ) и  $^{232}\text{Th}$ , находящихся в состоянии радиоактивного равновесия с дочерними продуктами распада, проводится матричным способом обработки сцинтилляционных гамма-спектров в энергетических интервалах (кэВ): 380 ÷ 520 ÷ 630 ÷ 720 ÷ 800 ÷ 1300 ÷ 1600 ÷ 1950 ÷ 2800. Оптимальные энергетические интервалы измерений были выбраны по спектрам гамма-излучения эталонной насыпной меры активности ЕРН.

Во 2-м случае обработка сцинтилляционных гамма-спектров выполняется генераторным способом, который позволяет определять любой радионуклидный состав и состояние радиоактивного равновесия. Для определения радия этим способом используют его энергетическую линию 350 кэВ (фотопик RaВ), для определения тория – энергетическую линию 240 кэВ (фотопик ThВ), уран определяют также по энергетической линии  $^{234}\text{Pa}$  – 1000 кэВ (фотопик IX<sub>2</sub>),

с которым он почти всегда находится в равновесии. После измерения исследуемые счетные образцы герметизируют в измеряемом сосуде выдерживают не менее 2 недель для установления равновесия в ряду  $^{238}\text{U}$ ( $^{226}\text{Ra}$ ) и повторяют измерение в режиме «равновесные ЕРН».

Регистрация излучения и обработка спектров, полученных на гамма-спектрометре, расчет значений удельной активности, погрешности проводят с использованием программно-аппаратурного комплекса "ПРОГРЕСС". Средние значения погрешности определения радионуклидов гамма-спектрометрическим методом при доверительной вероятности 0.95 равны 14–25 % – для  $^{238}\text{U}$  ( $^{226}\text{Ra}$ ), 12–17 % — для  $^{232}\text{Th}$  в зависимости от концентрации радионуклидов, геометрии измерения и экспозиции.

Определение удельной активности минеральных удобрений и мелиорантов и их соответствия нормативным требованиям [2] выполняется по формуле (1):

$$A_{\text{U}} + 1.5A_{\text{Th}} \leq 1.0 \text{ кБк/кг}, \quad (1)$$

где,  $A_{\text{U}}$  и  $A_{\text{Th}}$  — удельные активности урана-238 (радия-226) и тория-232 (тория-228), находящихся в радиоактивном равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов, соответственно. Допустимое содержание К-40 в минеральных удобрениях и агрохимикатах не устанавливается.

### **Средства измерений, вспомогательное оборудование, материалы и реактивы**

1. Для определения РГХ применяется радиологический комплекс «Прогресс-АБРГ», в состав которого входит гамма-спектрометрическая установка со сцинтилляционным датчиком NaI/Tl размером 63х63 мм (или полупроводниковый детектор). Энергетическое разрешение по линии 662 кэВ ( $\text{Cs-137}$ ) для сцинтилляционного датчика NaI/Tl равно 8 %.

2. Применяемые приборы подлежат государственной метрологической аттестации (поверке) в установленном порядке.

Гамма-спектрометр имеет следующие технические характеристики:

- Диапазон энергии регистрируемого гамма-излучения от 100 до 3000 кэВ;
- Минимальная измеряемая активность за время измерения 1 час в геометрии «Маринелли»:  $^{226}\text{Ra}$  – 8 Бк,  $^{232}\text{Th}$  – 7 Бк; в геометрии «Петри» —  $^{226}\text{Ra}$  – 6 Бк,  $^{232}\text{Th}$  – 5 Бк.
- Энергетическое разрешение по линии 662 кэВ — не менее 8 %.
- Контрольная скорость счета от калибровочного источника № Д-55 ( $^{137}\text{Cs} + ^{40}\text{K}$ ;  $A_{\text{Cs137}} = 1000 \text{ Бк/кг}$ ) в диапазоне 600-720 кэВ равна  $78 \pm 10 \%$ .
- Неопределенность измерений при определении удельной активности ЕРН не более 25 % при доверительной вероятности 0.95.

3. Комплект аттестованных мер (стандартных образцов) удельной активности ЕРН: Государственные стандартные образцы (ГСО) – ОСГИ; контрольные источники: точечный источник – Свидетельство № Д-55 ( $^{137}\text{Cs} + ^{40}\text{K}$ ), насыпная мера активности — Свидетельство № 420/70158 ( $^{226}\text{Ra} + ^{232}\text{Th} + ^{40}\text{K}$ ) и др. Контрольные источники применяют для калибровки гамма-спектрометра по энергии и контроля за сохранностью параметров спектрометрической установки и радиометров.

#### Вспомогательное оборудование:

- Набор контейнеров для навесок исследуемого материала установленного объема с крышками — сосуды Маринелли, емкость 1 л; чашки «Петри», диаметр 80 мм, глубина — 1 см (емкость 75 мл).
- Весы электронные НЛ-2000 с выборкой тары на 2 кг, погрешность — 1 г. Весы лабораторные типа ВЛР-200 (2 класс, погрешность — 0.5 г) или WA-33 (максимальный вес — 200 г, погрешность — 0.01 г), ГОСТ 24104-88 Е.

#### Реактивы, материалы:

Вода дистиллированная.

Дезактивирующие растворы и реагенты (ОП-7, порошки «Защита» и «РАДДЕЗ»), растворы борной и щавелевой кислот, калия марганцовокислого, этилендиаминтетрауксусной кислоты и др.).

Калий хлористый, хч.

Натрий уксуснокислый, хч.

Спирт ректификационный.

Противочный материал (бязь, вата, марля, фланель).

Шпатели и лопатки, пластмассовые и металлические.

Банки полиэтиленовые или полипропиленовые вместимостью 500 и 1000 см<sup>3</sup>.

Полиэтиленовые пакеты.

Эмалированные или пластмассовые поддоны разных размеров.

*Примечание.* Допускается применение других средств измерений, вспомогательных устройств, материалов и реактивов, в том числе импортных, с техническими и метрологическими характеристиками не хуже указанных.

#### **Условия выполнения измерений**

Определение РГХ минеральных удобрений и мелиорантов осуществляется в лабораторных условиях при температуре воздуха в помещении не менее 20 °С и влажности  $60 \pm 15$  %; напряжении питания сети (220 +22/-33) В; частота питающей сети ( $50 \pm 1$ ) Гц.

#### Подготовка счетных образцов

1. Пробы должны иметь Паспорт, в котором указывают время, дата и место отбора проб, их происхождение, состав, заказчик (адрес, предприятие, фамилия, должность) и другие данные (влажность, плотность, зернистость и т.п.); Акт отбора представительных проб. Заказчик несет ответственность за отбор представительных проб.

2. На сертификационный анализ берется 5 проб одного образца (партии), весом от 0.1 до 1.5 кг (объем — 1 л для «Маринелли» и до 0.1 л — для «Петри»), на текущий (плановый) — 1–3 пробы (количество и объем — по договоренности с заказчиком).

3. Сыпучие материалы должны быть измельчены или растерты до размера зерен не более 5 мм, для хранения — упакованы в двойную маркированную тару (полиэтиленовые мешки или банки). Пакеты с пробами должны быть герметично упакованы.

4. Для гамма-спектрометрического анализа пробы массой до 1.5 кг помещают в чистые сосуды Маринелли; при небольшом количестве пробы

(до 0.2 кг) допускается измерение в геометрии «Петри». Вес пробы определяют на электронных весах с выборкой тары или аналитических весах.

5. После проведения измерений емкости с пробами освобождают и подвергают дезактивации с помощью дезактивирующих средств согласно «Инструкции по работе с радиоактивными веществами» (ПРИЛОЖЕНИЕ 2).

### **Порядок выполнения измерений**

Подготовить гамма-устройство радиологического комплекса «Прогресс» к измерениям, которые проводят в соответствии с методикой выполнения измерений удельной активности ЕРН по аттестованной базовой Методике [1, 9, 11]: выполнить калибровку установки по энергии (перед каждым измерением активности или фона), измерить фон (один раз в день, экспозиция — 3600 с), установить подготовленный счетный образец исследуемого материала в измерительную камеру и выполнить по заданному алгоритму измерение активности счетного образца (экспозиция – 1000-5400 с). В процессе измерения программа автоматически проводит обработку спектрограммы в соответствии с выбранным алгоритмом базовой Методики и заносит результаты в Журнал. После окончания измерения счетного образца оформляется Протокол измерений.

Определение удельной активности минеральных удобрений и мелиорантов выполняется по формуле (1).

После измерения 3–5 счетных образцов по программе Excel или Statistica 6.0. выполняется статистическая обработка результатов определения РГХ: расчет средних значений результатов измерений, погрешности и других метрологических показателей (неопределенность измерений, стандартная ошибка, медиана, мода, стандартное отклонение, дисперсия выборки и др).

Полученные результаты оформляются в Протоколе испытаний по определению удельной активности ЕРН.

Протокол испытаний по определению РГХ минеральных удобрений и агрохимикатов должен содержать следующие данные:

1. Наименование организации и подразделения, проводившего измерения, номер аттестата аккредитации.
2. Дата проведения измерения, оператор.
3. Метод измерения и используемая аппаратура с указанием номера Свидетельства о поверке, срока действия его.
4. Наименование материала (ГОСТ, ТУ, Акт отбора проб, количество, объем, физико-химическое состояние и другие характеристики).
5. Наименование предприятия-изготовителя или предприятия-потребителя, заказчика.
6. Результаты измерений представительной пробы в форме таблицы (образец — табл. 2.17; номера протоколов измерений по рабочему Журналу).
7. Заключение.
8. Подписи руководителя и исполнителя.

Таблица 2.17

Радиационно-гигиенические характеристики минеральных и органических удобрений  
(образец)

Номер Пробы	Вес пробы, г	Удельная активность, Бк/кг		А, Бк/кг
		$^{238}\text{U}(^{226}\text{Ra})$	$^{232}\text{Th}$	
1				
2				
3				
4				
5				
Среднее значение				
Стандартная ошибка				
Минимум				
Максимум				
Медиана				
СКО				
Уровень надежности (95.0%)				

*Примечание.* Результаты измерений приводятся с погрешностью для доверительной вероятности 0.95 (Бк/кг и % отн.) с учетом неопределенности измерений.

#### Форма представления результатов

1. За результат принимается среднее значение РГХ по 3-5 измерениям с учетом неопределенности измерений.

2. В качестве результата партии исследуемого материала для принятия решений принимается значение:  $A = A + \Delta$ , где  $\Delta$  – неопределенность измерений.

При выполнении условия  $A \leq 1.0$  кБк/кг партия минеральных удобрений или агрохимикатов признается пригодной для использования (НРБ-99/2009, п.5.3.6.) и на нее оформляется сертификат установленной формы (Свидетельство радиационного качества) с указанием значений РГХ и  $\Delta$  и заключением о соответствии установленным нормам безопасности.

3. При  $A_{эфф} > 1.0$  кБк/кг, на партию минеральных удобрений или агрохимикатов оформляют Акт радиационного контроля. Формы документов установлены в «Руководстве по качеству испытаний РЛРК».

Методика определения РГХ минеральных удобрений и мелиорантов разработана в 2007–2008 гг., оформлена как МВИ ЛРК ИХ 2.6.1.-06-2007-08, утверждена директором института 10.01.2008 г. (рис. 2.13), аттестована ЦМПИ ФГУП «ВНИИФТРИ» 14.01.2008 г. как МВИ № 40090.8А094-2 (рис. 2.14).



Рис. 2.13. Титульный лист методики МВИ ЛРК ИХ 2.6.1.-06-2007-08

По разработанной методике были проведены исследования минеральных и органических удобрений отечественного и зарубежного производства, чаще всего используемых на практике, выпущенных в разные годы (табл. 2.18). Как видно из табл. 2.18, наибольший вклад в  $A_{эфф}$  вносит  $^{40}\text{K}$ , кроме фосфорита, в котором преобладает  $^{226}\text{Ra}$ . Однако во всех случаях значения эффективной удельной активности исследуемых образцов намного меньше нормируемого значения и они могут использоваться без ограничений по радиационному фактору. Результаты исследований были представлены на конференциях по методам анализа (Обнинск, 2004, 2008), экологии (Томск, 2008, 2009; Апатиты, 2011, 2013) [12, 13].

МИНИСТЕРСТВО  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭНЕРГЕТИКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ  
И МЕТРОЛОГИИ



Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Всероссийский научно-исследовательский институт  
физико-технических и радиотехнических измерений»



«ЦЕНТР МЕТРОЛОГИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ»

141570, п.о. Менделеево  
Солнечногорского р-на, Московской обл.

Тел.-факс: (095) 535-9305  
E-mail: yarina@vniiftri.ru

**СВИДЕТЕЛЬСТВО № 40090.8A094-2  
об аттестации МВИ**

Методика определения радиационно-гигиенических характеристик минеральных удобрений и мелиорантов, разработанная ИХТРЭМС КНЦ РАН и изложенная в одноименном документе М ЛРК ИХ 2.6.1-06-2006-08, аттестована в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.594.

Методика предназначена для использования в ЛРК ИХТРЭМС как дополнение к «Методике измерения активности радионуклидов в счетных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения «ПРОГРЕСС» и конкретизирует требования к пробоотбору, входному дозиметрическому контролю проб, приготовлению счетных образцов, а также методику расчета эффективной удельной активности материалов по результатам измерений активности счетных образцов на гамма-спектрометре.

При выполнении оговоренных условий методика обеспечивает контроль радиационно-гигиенических характеристик минеральных удобрений и мелиорантов в соответствии с требованиями НРБ-99.

Аттестация МВИ выполнена по результатам метрологической экспертизы материалов по разработке методики.

Дата аттестации: 14 января 2008 г.

Руководитель ЦМИИ (НИО-4)



В.П. Ярына

Рис. 2.14. Свидетельство аттестации МВИ № 40090.8A094-2

Таблица 2.18

## Содержание природных радионуклидов в минеральных и органических удобрениях

Наименование пробы	Характеристика	Удельная радиоактивность, Бк/кг				A <sub>эфф</sub> , Бк/кг
		K-40	Ra-226	Th-232	Cs-137	
<b>Кемира универсал-2</b> (ТУ 2387-01-001-40300350-99, производитель — ЗАО «КЕМИРА АГРО»)	Комплексное бесхлорное удобрение для овощных, садовых и ягодных культур с микроэлементами (состав, мас. %: K <sub>2</sub> O – 14, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 8.0, Mg – 2.0, S – 8, Азот – 12, NH <sub>4</sub> -N – 9, NO <sub>3</sub> -N – 3; Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, B – по 0.1).	3765 ± 680	17±9	11±8	6±3	350±58
<b>Кемира картофельная-5</b> (ТУ 2387-01-001-40300350-99, производитель — ЗАО «КЕМИРА АГРО»)	Комплексное безхлорное удобрение НРК, содержащее магний и серу (масс. %: K <sub>2</sub> O – 16, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 8.7, Mg – 2.7, S – 2.7, Азот – 10.7, NH <sub>4</sub> -N – 5.7, NO <sub>3</sub> -N – 5.0).	3830 ± 696	8.7 ± 3.7	22±10	< 5.5	364±60
<b>Нитроаммофоска</b> , марка НРК (МОР), ТУ 2186-039-00203789-2003	Гранулированное, состав, мас. %: (NH <sub>4</sub> +NO <sub>3</sub> ), K <sub>2</sub> O, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – по 16%. (15 ± 2 мас. % K)	4610 ± 720	<3.6	55.1 ± 8.3	3±2	464±60
<b>Исполин, ягодный</b> (Биогумус, ТУ 9896-014-11158098-99, марка «Г», Предприятие-изготовитель: ЗАО МНПП «Фарт», Россия) С-Петербург, 2003 г.	Органическое натуральное гранулированное удобрение с повышенным содержанием гуминовых веществ. Состав, мас. %: K <sub>2</sub> O - 0.9-12.0, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 5.0-7.5, (NH <sub>4</sub> +NO <sub>3</sub> ) - 3.5-4.5, CaO - 1.0-2.0, MgO - 0.2-0.3, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 0.1-0.2.	490 ± 140	5±3	0.9 ± 0.2	-	46±15
<b>Fullgjodsel @ 15-4-12, Granulert</b> , Норвегия, фирма HYDRO	Гидро-гранулят, состав, мас. %: 11.6% K, 14.6% N, 3.6% P, 2.5% Mg.	2270 ± 350	19±5	15±3	отсутст.	250±60
<b>Аммиачная селитра</b>	Гранулированная	20±40	3±1	< 4	-	8±5
<b>Фосфорит</b>	Вскрышные породы, Тамбовского Центрального месторождения; состав, мас. %: SiO <sub>2</sub> – 40-45, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 19.	210 ± 95	460 ± 60	46±18	< 2	535±65

## Список литературы

1. Методика измерения активности радионуклидов в счётных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения "ПРОГРЕСС" – М.: ГП "ВНИИФТРИ", 1999. – 27 с.
2. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Гигиенические нормативы: СанПин 2.6.1.2563-09 – М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
3. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): СП 2.6.1.2612-10. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2010. – 83 с.
4. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения : СП 2.6.1.2800-10 – М.: Минздрав России, 2010. – 58 с.
5. «Об охране окружающей природной среды»: закон РСФСР № 320060 от 19 дек. 1991 г., ФЗ № 7 от 10 янв. 2002 г.
6. Федеральный закон «О радиационной безопасности населения», ФЗ № 3 от 09.01.1996 г.
7. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», ФЗ № 52 от 30.03.1999 г.
8. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений, ФЗ № 102 от 11 июня 2008г. (с изменениями на 02 дек. 2013г. №338).
9. Метрологическое обеспечение радиационного контроля. Основные положения. ГОСТ Р 8.638-2013. – Режим доступа: <https://www.consultant>
10. Методики радиационного контроля. Общие требования. Рекомендация. МИ 2453-2000. – М.: ФГУП ГНМЦ «ВНИИФТРИ», 2000. – 16 с.
11. Организация обучения безопасности труда. Общие положения ГОСТ 12.0.004-2015. – Режим доступа: <https://www.consultant>
12. Практика использования гамма-спектрометрического комплекса «Прогресс» для анализа природных объектов / Н. А. Мельник // Сб. «Спектрометрический анализ. Аппаратура и обработка данных на ПЭВМ» в 2-х ч. – Обнинск, ФГОУ «ГЦИПК», 2005. – ч. 1. – С. 216–221.
13. Содержание радионуклидов в наземных частях земляники садовой / Н. А. Мельник, А. А. Мартынова // Интродукция и перспективы использования генетических ресурсов растений на Крайнем севере: Материалы междунаро. конф., Апатиты, 12-13 августа 2008г. – С-Петербург: ВИР, 2009. – С. 67–73.

## 2.6. МЕТОД РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Метод радиационного контроля радиоактивных отходов (МРК ЛРК ИХ 2.6.1.-05-2008) разработан в 2008 г. Методика утверждена директором института 12.06.2008 г. (рис. 2.15.); в 2009-2012 г. в нее внесены изменения согласно нормативных документов [1–3, 10], используется в практике радиационного объекта (РЛРК).

### Назначение и область применения

Метод используется для радиационного контроля (РК) радиоактивных отходов (РАО) с целью их учета и контроля за расходом радиоактивных веществ, определения степени их радиационной опасности и класса РАО. Метод РК разрабатывался согласно требований, предъявляемых действующими правилами и нормами по радиационной безопасности [1-9], в том числе документами, в наибольшей степени отражающие ее суть:

1. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): СП 2.6.1.2612-10. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2010. – 83 с.

2. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002): СП 2.6.6.1168-02 – М.: Минздрав России, 2003. – 62 с.

3. О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов: Постановление Правительства РФ от 19 окт. 2012 г. № 1069.

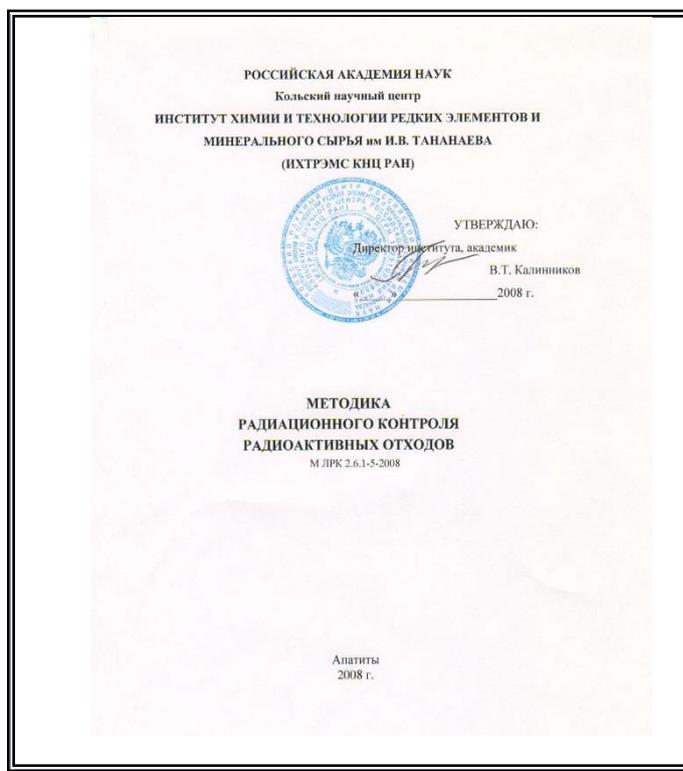


Рис. 2.15. Титульный лист методики МРК ЛРК ИХ 2.6.1.-05-2008

Метод устанавливает порядок выполнения измерений при входном и выходном контроле РАО (при приеме и сдаче их на хранение и захоронение) с помощью дозиметрических и радиометрических приборов, определение радионуклидного состава гамма-спектрометрическим методом [13–15]. Система сбора, хранения и транспортировки радиоактивных отходов, образующихся на

радиационном объекте при работе с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений, определяется нормативными документами [1, 2, 10] соответствующими инструкциями, принятыми и утвержденными на радиационном объекте [12].

Радиационный контроль РАО, подготовленных к сдаче на хранение и последующее захоронение (длительное хранение), осуществляет организация, аккредитованная в установленном порядке. Этот контроль является обязательным для индивидуальных предпринимателей и юридических лиц, работающих в области использования атомной энергии [5–8].

Методика радиационного контроля РАО содержит Приложения по оформлению результатов радиологических исследований:

- 2.6-1. Акт по удалению жидких радиоактивных отходов в общую канализацию.
- 2.6-2. Журнал учета радиоактивных отходов на радиационном объекте.
- 2.6-3. Акт на партию радиоактивных отходов, сдаваемых на захоронение.
- 2.6-4. Журнал учета радиоактивных отходов, поступивших на захоронение.

### Термины и определения

*Мощность амбиентного эквивалента дозы (МАЭД)* — доза гамма-излучения содержащихся в РАО радионуклидов за единицу времени (секунду, минуту, час); единицы измерения — Зв (Зиверт) и ее производные (мЗв/ч, мкЗв/ч). Мощность экспозиционной дозы — Р/ч (производные — мР/ч, мкР/ч).  $0.01 \text{ мкЗв} = 1 \text{ мкР}$ .

*Радиоактивное загрязнение* — отходы, вблизи которых плотность потока альфа-излучения более  $0.04 \alpha\text{-частицы}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ , или плотность потока бета-излучения более  $0.4 \beta\text{-частицы}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ .

### **Принцип контроля**

1. Принцип радиационного контроля РАО заключается в определении мощности дозы гамма-излучения на поверхности упаковок, обследовании транспортных контейнеров и средств транспортировки с помощью радиометров-дозиметров, определении радионуклидного состава и удельной активности радионуклидов на гамма-устройстве радиологического комплекса «Прогресс-АБРГ» [13].

2. Радиационный контроль включает:

- измерение МАЭД гамма-излучения на поверхности упаковок с РАО;
- выявление активности партии РАО и сортировка их на слаборадиоактивные, низкоактивные, среднеактивные и высокоактивные;
- выборочную проверку наличия поверхностного загрязнения упаковок с РАО альфа- и бета-активными радионуклидами;
- проведение радиационного обследования порожнего транспортного средства, предназначенного для перевозки партии РАО, а также измерение МЭД гамма-излучения на поверхности загруженного транспортного средства.

3. Радиационный контроль проводится:

- при сортировке и сборе РАО;
- при кондиционировании РАО (методами осаждения, сорбции, выпаривания, цементирования, бетонирования, прессования и др.);
- при приемке РАО, в т.ч. на пунктах их сбора;
- при подготовке партии отходов к захоронению;
- перед загрузкой транспортных средств.

### **Основные стадии обращения с РАО:**

Сбор и сортировка РАО осуществляется в местах их образования и / или переработки с учетом радиационных, физических и химических характеристик в соответствии с системой классификации отходов и с учетом методов последующего обращения с ними [1, 2].

Первичная сортировка отходов включает в себя их разделение на радиоактивные и нерадиоактивные составляющие.

Сортировка первичных жидких и твердых РАО направлена на разделение отходов по различным категориям и группам (в зависимости от их активности, вида излучения, периода полураспада радионуклидов, физико-химических свойств, агрегатного состояния и др.) для переработки по принятым технологиям (кондиционирование, бетонирование, цементирование, сжигание, прессование, осаждение, упаривание и др. методы) и для подготовки к последующему хранению и захоронению.

Хранение РАО осуществляется отдельно для отходов разных категорий и групп в колодцах хранилища, обеспечивающем безопасную изоляцию отходов в течение всего срока хранения и возможность последующего их извлечения.

Транспортирование РАО предусматривает их безопасное перемещение между местами их образования, переработки, хранения и захоронения с использованием специальных контейнеров и грузоподъемных средств.

Захоронение РАО направлено на их безопасную изоляцию от человека и окружающей его среды.

На каждой стадии обращения с РАО необходимо проводить радиационный контроль мощности дозы на всех участках работы, на поверхности упаковок с РАО, при обязательном дозиметрическом контроле персонала, выполняющего эту работу.

### **Средства измерений**

1. Для контроля РАО применяют сертифицированные и поверенные дозиметрические и радиометрические приборы, приведенные в табл. 2.19, а также аналогичные им дозиметры и радиометры новой модификации (рис. 2.16, 2.17).



Поисковой радиометр СРП-88Н



Радиометр МКС-А03

Рис. 2.16. Приборы для радиационного контроля РАО

Таблица 2.19

Характеристики рекомендуемой аппаратуры, применяемой  
для радиационного контроля РАО

Наименование прибора	Назначение, пределы измерения	Геометрия измерения
Поисковой радиометр — дозиметр: СРП-88Н (рис. 2.16)	Обнаружение и оконтуривание радиоактивного загрязнения. Пределы измерения: 0–30000 1/с; погрешность: 10 %. Пределы измерения: 0–3000 мкР/ч; погрешность: 15–30 %	В месте размещения датчика
Дозиметр гамма-излучения типа ДРГ -01Т1, ДКГ-07Д (рис. 2.17)	Измерение мощности экспозиционной дозы фотонного излучения, пределы измерений: 0.010 мР/ч — 9.999 Р/ч, погрешность: 15–20 %	В месте размещения датчика. На поверхности объекта измерений
Универсальный радиометр МКС-А-03Н с блоками детектирования альфа-, бета-, гамма-, нейтронного излучения (рис. 2.16)	Измерение плотности потока альфа-, бета-частиц от загрязнённых поверхностей, потоков быстрых и тепловых нейтронов; измерение мощности эквивалентной дозы рентгеновского и гамма-излучения — пределы измерений: $\beta$ - $10^{-5} \times 10^4 \text{ см}^{-2} \cdot \text{мин}^{-1}$ , $\gamma$ - $0.2 \cdot 10^3 \text{ мкР/с}$ , погрешность — 20 %	В месте размещения датчика. На поверхности объекта измерений
Радиологический комплекс “Прогресс-АБРГ” (рис. 2.3)	Определение радионуклидного состава на гамма-устройстве. Определение удельной активности и радионуклидного состава. Минимальная измеряемая активность составляет по гамма-тракту — 3 Бк Cs-137, 40 Бк K-40, 8 Бк Ra-226, 7 Бк Th-232 на счетный образец в геометрии Маринелли. Определение суммарной удельной альфа-активности на альфа-радиометре «ПрогрессА». Минимальная измеряемая активность составляет: по альфа-тракту — 0.18 Бк/г на счетный образец; Определение суммарной удельной бета-активности на бета-радиометре «ПрогрессБ». Минимальная измеряемая активность составляет: по бета-тракту — 1.4 Бк Sr (Y)-90 на счетный образец; фоновая неопределенность измерения нулевой активности радионуклидов составляет 0.7 Бк Sr (Y)-90 на счетный образец.	Сосуд Маринелли, чашка Петри

2. Весы напольные и электронные для определения массы партии РАО на 2–100 кг.

3. Применяемые приборы подлежат метрологической аттестации (поверке) в установленном порядке.



Дозиметр ДРГ-01Т1

Дозиметр ДКГ-07Д

Рис. 2.17. Внешний вид дозиметров (передняя панель)

Вспомогательные средства, материалы:

Деактивирующие средства — ОП-7, порошки «Защита» и «РАДДЕЗ», поверхностно-активные вещества (ПАВ — стиральные порошки «Лотос», «Новость» и др.), щавелевая кислота, лимонная кислота, этилен-диамин-тетрауксусная кислота (ЭДТА), каустическая сода, 1-3 М растворы минеральных кислот (соляная, серная), калия марганцовокислого и др.

Аварийный комплект дезактивирующих растворов – по 1 л.

Спирт ректификат этиловый ТУ 6-09-1710 для удаления радиоактивного загрязнения с рабочей поверхности детекторов используемых приборов.

Протирочный материал (бязь, вата, марля, фланель).

Спецодежда (халаты, комбинезоны, головной убор (берет, пилотка, косынка, каска и др), защитные фартуки, нарукавники, перчатки; бахилы, резиновые сапоги, спецобувь и др.)

Дистанционные инструменты (пинцеты, манипуляторы и др.)

Защитные маски из оргстекла, экраны из оргстекла, просвинцованного стекла, свинца и др.

Полиэтиленовые пакеты и контейнеры (из оргстекла, свинца и др.) для сбора радиоактивных отходов.

Пластмассовые и эмалированные поддоны.

Песок, опилки, ветошь.

### **Условия выполнения измерений**

1. Дозиметрический контроль осуществляется в натуральных условиях при значениях параметров внешней среды, оговоренных условиями эксплуатации используемых приборов:

- температуры окружающей среды от минус 10 до плюс 40 °С;
- влажность воздуха до 80 %.

2. В случае необходимости выполнения дозиметрического контроля РАО при более низких температурах необходимо использовать утепляющие покрытия приборов и сокращать время пребывания приборов в условиях низких температур.

3. Гамма-спектрометрический анализ выполняется в лабораторных условиях при температуре 25 °С, напряжении в сети 220 в.

### **Требования к квалификации операторов**

К работе допускаются операторы, изучившие данную методику, инструкцию по эксплуатации используемых средств измерений, основные требования ОСПОРБ-99/2010 и СПОРО-2002, прошедшие инструктаж по технике безопасности и сдавшие экзамен на право допуска к самостоятельной работе [16], а также имеющие сертификат (Разрешение уполномоченных органов) и удостоверение на право проведения радиационного контроля.

### **Порядок измерений**

1. *Жидкие радиоактивные отходы*, содержащие короткоживущие радионуклиды ( $T_{1/2}$  — до 15 суток), сдаются в хранилище отходов, где выдерживаются в течение времени, обеспечивающего снижение активности до необходимых уровней, после чего удаляются в хозяйственно-бытовую канализацию. Радиационный контроль сточных вод должен давать информацию о поступлении активности в окружающую среду.

Слабоактивные жидкие отходы поступают в отстойники-усреднители, откуда после опробования сбрасываются в хозяйственно-бытовую канализацию.

1.1. При опробовании отстойников-усреднителей из каждого бака через узел отбора проб перепускается 50 л жидкости, из которой отбирается средняя проба объемом 1.5 л. Перед началом опробования впускной вентиль открывается и начинается заполнение емкости только после перекрытия выпускного вентиля.

1.2. Из средней пробы отбирают аликвоты по 100 мл переносят в стеклянные стаканы, в которых упариваются до 2–3 мл под инфракрасной лампой. После чего содержимое стаканов переносят в мишени для измерения альфа- и бета-активности — по три мишени для каждого вида излучения и упаривание продолжают. Стаканы обмывают дистиллированной водой, которая переносится в соответствующую мишень. Содержимое мишеней упаривают до сухого остатка. Измерение активности проб проводится на УМФ-1500Д (по альфа- и бета-активности) или на радиологическом комплексе «Прогресс-АБРГ», в этом случае обработка результатов проводится по компьютеризированной программе «Прогресс» [13].

1.3. Жидкость считается готовой к сбросу, если удельная альфа- и бета-активность, определенная по максимальным значениям активностей мишеней, меньше допустимого значения на три среднеквадратических ошибки измерения,

а удельная радиоактивность нуклидов не превышает МЗУА более, чем в 10 раз (НРБ-09/2009, П4).

В случае превышения допустимой величины содержимое бака следует разбавить водой до нужных пределов и повторить опробование.

1.4. Каждый сброс очищенных сточных вод оформляется соответствующим актом (образец Акта — Приложение 2.6-1 к МРК ЛРК 2.6.1-5-2006-08).

**2. Радиационный контроль твердых РАО** выполняется с помощью поискового радиометра СРП-88Н в режиме цифрового отсчета показаний. Измерения мощности эквивалентной дозы в точке контроля осуществляется с помощью дозиметров ДРГ-01Т или МКС-04Н, ДБГ-06Т, ДКГ-07 и др.

Для гамма-излучения при переходе от мощности экспозиционной дозы (показания дозиметра в мкР/ч) к мощности эквивалентной дозы в мкЗв/ч следует использовать множительный коэффициент 0.01 мкЗв/мкР.

2.1. Контроль производится в следующем порядке:

- подготовка радиометра к работе;
- определение фонового показания радиометра;
- установление уровня реагирования;
- выбор точек контроля упаковки с РАО или контейнера, транспортного средства (по периметру, сверху, снизу и по бокам);
- выполнение измерений в контрольных точках;
- регистрация результатов контроля.

2.2. Подготовку к работе и проверку работоспособности радиометров выполняют согласно Инструкций по их эксплуатации.

2.3. Фоновое показание ( $\Phi$ ) радиометра определяют как среднее арифметическое значение для многократных ( $n = 5\div 7$ ) наблюдений фона:

- в месте контроля перед поступлением туда РАО

$$\Phi = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Phi_i,$$

где  $i$  — номер наблюдения;  $\Phi_i$  — показание радиометра при  $i$ -м наблюдении.

2.4. Уровень реагирования определяется из условия:

$$P = 1.15 \cdot \Phi,$$

что соответствует превышению фонового показания приблизительно на трехкратное значение среднего квадратичного отклонения показаний СРП-88Н при таких измерениях.

2.5. Измерение МАЭД на поверхности упаковки с РАО. Если размер упаковки превышает 20x20 см, измерение проводится в нескольких точках с целью выявления равномерности распределения активности или выявления максимальных и минимальных значений.

Измерения в контрольных точках выполняются как одноразовые наблюдения, точки контроля располагаются друг от друга на расстоянии не более 20 см.

Выборочно проводится проверка наличия поверхностного загрязнения альфа- и бета-активными радионуклидами с помощью радиометра МКС-04 Н или МКС-03-Н, ДКГ-07 и др.

2.6. Результаты контроля регистрируют в Журнале по установленной форме с указанием фонового значения радиометра (Образец Журнала — Приложение 2.6.-2 к МРК). После окончания измерений и расчетов оформляют Протокол измерений.

## Порядок принятия решения

1. **Жидкие отходы считаются радиоактивными**, если удельная активность радионуклидов, содержащихся в них, более чем в 10 раз превышает значения уровней вмешательства при поступлении с водой, приведенные в НРБ-99/2009, приложение П-2 ( $УВ_{\text{вода}}$ , Бк/кг).

К жидким радиоактивным отходам относятся:

- радиоактивные растворы, не пригодные по каким-либо причинам для дальнейшего использования;
- обмывочные стоки, образовавшиеся после дезактивации путем смыва радиоактивных загрязнений какими-либо растворами или водой.

С учетом десятикратного разбавления нерадиоактивными сточными водами в канализационном коллекторе учреждения (предприятия), где проводится работа с ИИИ и РВ, активность жидких отходов любого происхождения не должна превышать значения  $УВ_{\text{вода}}$  более чем в 10 раз.

2. **Для партии твердых РАО** в качестве результата контроля для принятия решений принимается значение:  $D_K = D + \Delta$ , где  $D_K$  — МАЭД исследуемого материала;  $D$  — измеренные значения МАЭД;  $\Delta$  — неопределенность измерения. Для МКС-04Н  $\Delta = 0.3$ , для ДРГ-01Т — 0.4.

Мощность эквивалентной дозы ионизирующих излучений:

- на поверхности первичной упаковки — 500 мкЗв/час;
- на расстоянии 1 м от поверхности упаковки не должна превышать 100 мкЗв/час.

В случае, если мощность дозы превышает указанные значения, лицами, сдающими отходы, должны быть приняты меры для снижения мощности дозы до требуемого значения.

Загрязнение наружной поверхности упаковок не должно быть более 10 альфа-частиц/см<sup>2</sup>·мин и 100 бета-частиц/см<sup>2</sup>·мин, определяемых на площади 100 см<sup>2</sup>.

Твердые отходы считаются радиоактивными, если удельная активность радионуклидов больше значений МЗУА, приведенных в приложении П-4 НРБ-99/2009, при неизвестном радионуклидном составе:

- удельная активность отходов больше:

для бета-активных веществ	100 Бк/кг;
для гамма-активных веществ	$3.7 \cdot 10^3$ Бк/кг ( $1 \cdot 10^{-7}$ Ки/кг);
для альфа-активных веществ	10 Бк/кг;
для радионуклидов трансурановых элементов	1.0 Бк/кг;

- уровни загрязнения поверхностей объектов, подлежащих сдаче в отходы, не менее:

По альфа-излучению	5 частиц/см <sup>2</sup> · мин;
По бета-излучению	50 частиц/см <sup>2</sup> · мин,

определяемых на площади 100 см<sup>2</sup>.

К твердым радиоактивным отходам относятся:

- радиоактивные вещества в твердом агрегатном состоянии и отработанные источники ионизирующих излучений, не пригодные для дальнейшего использования вследствие различных причин (снижение активности, изменение химических и физических свойств, нарушение оболочки и т.п.);

- спецодежда и другие средства индивидуальной защиты, загрязненные радиоактивными веществами, которые невозможно дезактивировать до предельно-допустимых уровней;
- обтирочные материалы (вата, ветошь, тампоны и т.п.), загрязненные радиоактивными веществами;
- оборудование, инструменты, приспособления, лабораторная посуда, не поддающаяся дезактивации до предельно-допустимых величин и не пригодные по этой причине для дальнейшего использования.

3. На основе Протокола измерений, проведенных аккредитованной РЛРК, может быть оформлен Акт радиационного контроля по форме, установленной в РЛРК.

4. Постоянный учет радиоактивных отходов, сданных в хранилище из рабочих помещений, в Журналах учета твердых и жидких радиоактивных отходов выполняется лицом, ответственным за учет и контроль ИИ и РАО.

5. Лица, сдающие радиоактивные отходы в хранилище, обязаны представить все необходимые сведения (вид, состояние, активность и т. д.), необходимые для учета. Сдача отходов в хранилище и правильность занесения указанных сведений удостоверяется в Журнале учета двумя подписями — лица, сдающего отходы, и лица, ответственного за учет и контроль ИИ и РАО.

### **Обеспечение качества измерений**

1. Применяемые приборы должны быть сертифицированы, ежегодно проходить государственную метрологическую аттестацию в лицензированных центрах по метрологии ионизирующих излучений (Мурманский центр стандартизации и метрологии (МЦСМ), ЦМПИ ГУП «ВНИИФТРИ»).

2. Методика радиационного контроля РАО обеспечивает:

- гарантированное определение МАЭД гамма-излучения партии РАО, создающих на расстоянии 10 см от источника более 0.1 мкЗв/ч;
- достоверное определение наличия гамма-излучения содержащихся в РАО радионуклидов с доверительным значением нижней границы определения МАЭД гамма-излучения (над естественным радиационным фоном) не более 0.05 мкЗв/ч;
- достоверное выявление в местах проведения выборочных измерений наличия плотности потока альфа-излучения, превышающей 0.04  $\alpha$ -частицы/(см<sup>2</sup> · с);
- достоверное выявление в местах проведения выборочных измерений наличия плотности потока бета-излучения, превышающей 0.4  $\beta$ -частицы/(см<sup>2</sup> · с).

3. Оценка точности и контроль качества метода.

Точность и правильность измерений оценивают по величине расхождения между показаниями прибора и значениями активности контрольных источников. Контрольное измерение с помощью другого оператора или прибора, из указанных в табл. 2.19, позволяет выявить методическую ошибку (случайную и систематическую).

Повторное измерение выполняют для проверки качества работы оператора.

4. Контроль правильности проводят периодически, в соответствии с планами внутрилабораторного контроля. В качестве контрольных проб следует использовать государственные стандартные образцы, в которых аттестовано содержание радиоактивности в соответствии со Свидетельством [12].

## Обеспечение радиационной безопасности при работе с РАО и радиационном контроле

При выполнении радиационного контроля необходимо соблюдать правила техники безопасной работы с радиоактивными веществами, контрольными закрытыми источниками ионизирующих излучений, соблюдать меры индивидуальной защиты и личной гигиены (ОСПОРБ-99/2010, п. 3.8, п. 3.14; Инструкции по работе с РВ, ИИИ и РАО ПРИЛОЖЕНИЕ 2).

Приложение 2.6-1  
к МРК ЛРК 2.6.1-5-2006-08  
УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель  
радиационного  
объекта \_\_\_\_\_  
« \_\_\_\_\_ »  
\_\_\_\_\_ 200 г.

### АКТ

#### по удалению жидких радиоактивных отходов в общую канализацию

Настоящий акт составлен Ответственным за радиационный контроль в лаборатории \_\_\_\_\_ и дозиметристом службы радиационной безопасности \_\_\_\_\_ в том, что при опробовании сточных вод в отстойниках-усреднителях спецканализации лаборатории суммарная удельная активность радионуклидов:

составил

Бк/кг

Наиболее токсичными из радионуклидов, использовавшихся в работе после предыдущего выпуска вод из спецканализации в хозяйственно-бытовую, согласно нормативных требований на радиоактивные вещества ( $УВ_{\text{вода}}$ ), являются:

Значения уровней вмешательства при поступлении с водой по НРБ-99/2009, П2, для \_\_\_\_\_ составляет \_\_\_\_\_ Бк/кг.

Сброс в общую канализацию произведен « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200 г.  
в \_\_\_\_ час \_\_\_\_ мин.

Ответственный за радиационный  
контроль в  
лаборатории

подпись (ФИО)

**ЖУРНАЛ**  
**УЧЕТА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ на радиационном объекте (Образец)**

На радиационном объекте согласно ОСПОРБ-99/2010 должен быть в обязательном порядке Журнал учета и сбора радиоактивных отходов, в котором отмечаться все данные о содержании РАО, а именно:

1. Номер порядковый (п/п).
2. Наименование РАО (для источников: номер или номер партии, номер и дата тех. паспорта).
3. Дата поступления РАО.
4. Вид отходов (твердые, жидкие).
5. Вид и номер сборника – контейнера.
6. РН среды.
7. Количество, кг или л.
8. Нуклидный состав и вид излучения.
9. Удельная активность.
10. Суммарная активность.
11. Фамилия и подпись сдающего.
12. Фамилия и подпись принимающего.
13. Наименование и номер транспортного контейнера, в который приняты РАО.
14. Номер и дата Акта о списании радиоактивных источников, наименование и номер транспортного контейнера, в который приняты РАО.
15. Номер, дата паспорта на партию отходов на захоронение.

**АКТ**  
**на партию радиоактивных отходов, сдаваемых на захоронение (образец)**

В данном акте в обязательном порядке должны быть указаны следующие показатели:

Мощность дозы: мГр/ч на расстоянии 1 м (наибольший из результатов замеров по всем упаковкам). Загрязнение наружной поверхности упаковки: альфа-, бета-част/см<sup>2</sup> мин (фиксированное и нефиксированное).

Должны отсутствовать взрывоопасные, самовоспламеняющиеся и химически токсичные вещества (согласно справочникам и классификаторам).

Контейнеры (упаковки) с РАО должны быть опечатаны (печатью) пломбой. Наименование и код организации.

Акт подписывается Ответственным за сдачу радиоактивных отходов (подпись (Ф.И.О.), печать) и Ответственным за прием радиоактивных отходов (подпись (Ф.И.О.), печать).

К Акту прилагается «Акт на партию РАО» в виде таблицы, в которой на каждый радионуклид должны содержаться следующие пункты:

– для твердых РАО (ТРО): номер по п/п, характеристика РАО, количество РАО, вид контейнера (тары), номер контейнера (тары), номер паспорта ИИИ;

– для жидких РАО (ЖРО): общее содержание примесей, г/л; рН среды; вид излучения, радионуклидный состав; удельная активность, кБк/кг:

- а) бета-излучающие нуклиды;
- б) альфа-излучающие нуклиды;
- в) трансурановые нуклиды; суммарная активность Бк, (н/сек).

Заключение о причине отказа в приеме РАО, если такой имел место.

Примечание: 1. Сведения в паспорт заносятся на каждую упаковку с радиоактивными отходами. 2. Удельная и суммарная активность указывается отдельно для каждого радионуклида. 3. В случае отказа в приеме радиоактивных отходов на захоронение заполняется графа 15 с указанием причин отказа.

Приложение 2.6-4  
к МРК ЛРК 2.6.1-5-2006-08

### ЖУРНАЛ

учета радиоактивных отходов, поступивших на захоронение  
(образец - Приложение № 4 к СП 2.6.6.1168-02)

В журнале учета РАО, поступивших в лабораторию на захоронение, согласно СП 2.6.6.1168-02 [2] должны содержаться следующие записи, оформленные в виде таблицы из 10 колонок:

1. Номер п/п
2. Дата поступления отходов
3. Наименование организации, откуда поступили отходы
4. Вид отходов
5. Нуклидный состав
6. Удельная активность
7. Количество отходов
8. Суммарная активность
9. Наименование емкости, в которую производили захоронение
10. Подпись ответственного лица

*Примечание.* При захоронении источников в закрытом виде в графе 4 указывают наименование и номер источника, номер и дату выдачи паспорта.

Методика использовалась при изучении основных параметров и потоков радиоактивных отходов (РАО), образующихся при переработке редкометалльного радиоактивного сырья Кольского региона по разработанным в ИХТРЭМС КНЦ РАН технологиям [17–23]. В табл. 2.20 в качестве примера представлены результаты радиационной оценки некоторых промышленных отходов действующих производств Мурманской области.

Таблица 2.20

Сравнение некоторых промышленных отходов по Аэфф, Бк/кг

Наименование отходов	Аэфф, Бк/кг	Вклад в Аэфф
Уголь, зола	40–130	<sup>226</sup> Ra — 30–60 %
Отходы производства апатитового концентрата	90–220	<sup>232</sup> Th — 50 %
Алюминиевые, нефелиновые и медные шламы	20–170	<sup>226</sup> Ra — 10–40 %
Горнопромышленные отходы АНОФ-2	120–300	<sup>40</sup> K — 60 %
	Аэфф < 370 Бк/кг (НРБ-99/2009)	

С учетом радиационной оценки многие технологические отходы, в том числе золошлаковые, были рекомендованы для использования в производстве строительных материалов (бетона и др.) [24, 25].

Разработаны методы очистки промышленных отходов, в том числе жидких РАО, образующихся при использовании радиоактивного сырья [26–30]. Все работы по переработке РАО (сортировке, переработке, утилизации и др.) выполняются при постоянном радиационном контроле (рис. 2.18).



а

б

Рис. 2.18. Радиационный контроль в хранилище ИИИ и РВ РЛРК ИХТРЭМС КНЦ РАН (а) и хранилище нейтронных источников МГРЭ (б)

С целью обеспечения радиационной безопасности населения при создании Центра стратегических материалов на основе сырья Кольского региона автором были разработаны рекомендации по радиационной безопасности, которые необходимо учитывать при проектировании и строительстве могильника РАО для будущих химических производств на территории области [20–23].

В 2008–2009 г.г. по разработанной методике (МРК ЛРК ИХ 2.6.1.-05-2006-08) в радиологическом комплексе ИХТРЭМС КНЦ РАН была выполнена подготовка РАО, накопленного в организациях Мурманской области и принятого на хранение, к утилизации (сбор, радиационный контроль, сортировка, затаривание (рис. 2.19), составление Актов сдачи-приемки РАО). Из хранилища лаборатории все РАО в количестве: ТРО — 0.45 м<sup>3</sup>, ЖРО — 0.06 м<sup>3</sup>, ИИИ — 5615 ед., были вывезены спецтранспортом (рис. 2.20) в специализированный комбинат ФГУП “РосРАО” (г. Сосновый Бор, Ленинградская обл., “Радон”).



а

б

Рис. 2.19. Загрузка ТРО (а) и ЖРО (б) в свинцовые спецконтейнеры



Рис. 2.20. Погрузка свинцовых контейнеров с РАО в спецмашину для транспортировки

Работа выполнялась согласно 3-х стороннего соглашения (РАН, ФГУП «Росатом», ФГУП «РосРАО») по Проекту № 250 «Повышение радиационной безопасности в организациях РАН» (Грант ИХТРЭМС КНЦ РАН., Рук. к.т.н., доцент Мельник Н. А.) Федеральной Целевой программы «Ядерная и радиационная безопасность России» на 2008–2010 гг. «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 г. и на период до 2015 г.».

#### Список литературы

1. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): СП 2.6.1.2612-10. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2010. – 83 с.
2. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002): СП 2.6.6.1168-02 – М.: Минздрав России, 2003. – 62 с.
3. О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов: Постановление Правительства РФ от 19 окт. 2012 г. № 1069. – Режим доступа: <https://www.consultant>
4. Федеральный закон «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», ФЗ № 190 от 11 июля 2011 г. – Режим доступа: <https://www.consultant>
5. «Об охране окружающей природной среды»: закон РСФСР № 320060 от 19 дек. 1991 г., ФЗ № 7 от 10 янв. 2002 г. (в ред. От 26 июня 2007 г.). – Режим доступа: <https://www.consultant>
6. Федеральный закон «О радиационной безопасности населения», ФЗ № 3 от 09.01.1996 г. – Режим доступа: <https://www.consultant>
7. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», ФЗ № 52 от 30.03.1999 г. – Режим доступа: <https://www.consultant>
8. Федеральный закон «Об использовании атомной энергии», ФЗ № 170 от 21 ноября 1995 г. – Режим доступа: <https://www.consultant>
9. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений», ФЗ № 102 от 11 июня 2008 г. (с изменениями на 02 дек. 2013г. № 338). – Режим доступа: <https://www.consultant>

10. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Гигиенические нормативы: СанПин 2.6.1.2563-09 – М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
11. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения : СП 2.6.1.2800-10 – М.: Минздрав России, 2010. – 58 с.
12. Программа контроля качества измерения радиоактивных веществ и радиоактивных отходов./ Н. А. Мельник // ИХТРЭМС КНЦ РАН, 2008. – 5 с.
13. Методика измерения активности радионуклидов в счётных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения "ПРОГРЕСС" – М.: ГП "ВНИИФТРИ", 1999. – 27 с.
14. Метрологическое обеспечение радиационного контроля. Основные положения. ГОСТ Р 8.638-2013. – Режим доступа: <https://www.consultant>
15. Методики радиационного контроля. Общие требования. Рекомендация. МИ 2453-2000. – М.: ФГУП ГНМЦ «ВНИИФТРИ», 2000. – 16 с.
16. Организация обучения безопасности труда. Общие положения. ГОСТ 12.0.004-2015. – Режим доступа: <https://www.consultant>
17. Радиационно-экологические проблемы переработки редкометалльного сырья Кольского региона / Мельник Н. А. // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Материалы международной конференции, 31 августа-3 сентября 2004 г., г. Апатиты – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. – ч. 1. – С. 151–152.
18. Радиогеоэкологические проблемы обогащения и гидрометаллургической переработки титано-редкометалльного сырья / Н. А. Мельник // Современные проблемы комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения – 2005): Материалы Международного совещания, С-Петербург, 05-09 сентября 2005 г. – СПб: Роза мира, 2005. – С. 367-368.
19. Радиационно-экологическая оценка Кировского хвостохранилища / В. В. Лащук, Н. А. Мельник, Т. Т. Усачева и др. // Современные экологические проблемы Севера (к 100-летию со дня рождения О. И. Семенова-Тян-Шанского): Материалы Международн. конф., г. Апатиты, 10–12 октября 2006 г. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2006. – ч. 2. – С. 23–25.
20. Комплексная геоэкологическая оценка хвостохранилищ отходов обогащения апатито-нефелиновых руд Хибинских месторождений / В. В. Лащук, Н. А. Мельник и др. // ИХТРЭМС КНЦ РАН, Апатиты, 2007. – 42 с. табл. 10, рис. 21, библиограф. – 18 назв., рус. Деп. в ВИНТИ 17.07.2007 г.
21. Радиоэкологические проблемы эксплуатации и переработки редкометалльных месторождений Кольского полуострова / Мельник Н. А // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы II-й Международ. конф., 18–22 октября 2004 г., Томск – Томск: Тандем-Арт, 2004. – С. 383–386.
22. Radioecological condition of tailings dams of the mountain processing enterprises of Apatity-Kirovsky district of Murmansk region / N.A. Melnik // First Russian-Nordic Symposium on Radiochemistry, Москва, 21–24 октября 2013 г. – М: МГУ, 2013. – С. 95–100.
23. Радиационная-экологическая оценка промышленных отходов ФГУП «Кандалакшский морской торговый порт» / Н. А. Мельник, В. В. Лащук, Т. Т. Усачева // Проблемы рационального использования природного и

- техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов: Материалы 2-ой Международной конф., 12–16 сентября 2005 г., Петрозаводск. – Петрозаводск.: КарНЦ РАН, 2005. – С. 139–141.
24. Анализ и оценка уровня радиоактивных загрязнений золоотходов Апатитской ТЭЦ / Н. А. Мельник // Тез. докл. Всеукраинской конф. (с международным участием) по аналитической химии, посвященной 100-летию со дня рождения профессора Н. П. Комаря, г. Харьков, 15–19 мая 2000 г. – Харьков, 2000. – С. 109.
  25. Радиационная оценка золоотходов различного генезиса / Н. А. Мельник, Т. П. Белогурова // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренц-региона в технологии строительных и технических материалов: Материалы V Всероссийской научной конференции с международным участием, Апатиты, 12–15 ноября 2013 г. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2013. – С. 122–125.
  26. Очистка водно-солевых растворов от радионуклидов фосфатами титана (4) и циркония (4) / Э. П. Локшин, В. И. Иваненко, Х. Б. Авсарагов, Н. А. Мельник, В. В. Владимирова, В. Т. Калинин // Атомная энергия, 2002, – Т. 92. – № 2. – С. 118–123.
  27. Сорбция цезия на фосфатах титана и циркония / В. Н. Лебедев, Н. А. Мельник, А. В. Руденко // Радиохимия, 2003. – Т. 45. – № 2. – С.137-139.
  28. Утилизация минеральных кислот при гидрометаллургической переработке титано-ниобиевого сырья. / В. Б. Петров, Н. А. Мельник, А. И. Николаев, Ю. Г. Бычяня // Ресурсопроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр: Материалы 2-й международ. конф. 15–18 сентября 2003 г., Москва. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – С. 368–369.
  29. Новая технология очистки жидких радиоактивных отходов / Э. П. Локшин, В. И. Иваненко, Н. А. Мельник // Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения: Материалы Международной конф., 17–22 июня 2002 г., Архангельск, Т. 1, Т. 2 – Архангельск: Институт эколог. проблем Севера УрО РАН, 2002. – Т. 2 – С. 176–180.
  30. Технология очистки жидких радиоактивных отходов с высоким содержанием солей, соответствующих по составу морской воде / Э. П. Локшин, И. И. Иваненко, Н. А. Мельник и др. // Металлургия цветных, черных и редких металлов: Тез. докл. Российско-Индийского симпозиума, апрель 2002 г., Москва – М.: 2002. – С. 125–129.
  31. Радиогеоэкологические проблемы эксплуатации редкометалльных месторождений / Н. А. Мельник // Инновационный потенциал Кольской науки. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2005. – С. 229–233.
  32. Мельник Н. А. Радиогеоэкологические аспекты переработки минерального сырья Кольского региона // Цветные металлы, 2012. – № 8. – С. 84–89.
  33. Радиогеоэкологические аспекты безопасности использования горнопромышленных отходов Кольского региона в производстве строительных материалов. / Н. А. Мельник – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. – 114 с.
  34. Опыт радиационного объекта ИХТРЕМС КНЦ РАН по обращению с РАО в рамках ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности» / Н. А. Мельник // Атомэко-2010: тез. докл. IV международной конф., Москва, 27–29 октября 2010г. “Президент-отель” – М., ФГУП «РОСАТОМ», 2010. – С. 12–13.

## 2.7. МЕТОД ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МЕТАЛЛОЛОМА

Разработанная методика дозиметрического контроля радиоактивного загрязнения металлолома МРК ЛРК 2.6.1-03-2006-2008, утверждена директором института 20.03.2008 г., доработана и усовершенствована в процессе эксплуатации в 2010г., аттестована в ЦМИИ ГУП «ВНИИФТРИ» в 2008 г. (рис. 2.21).

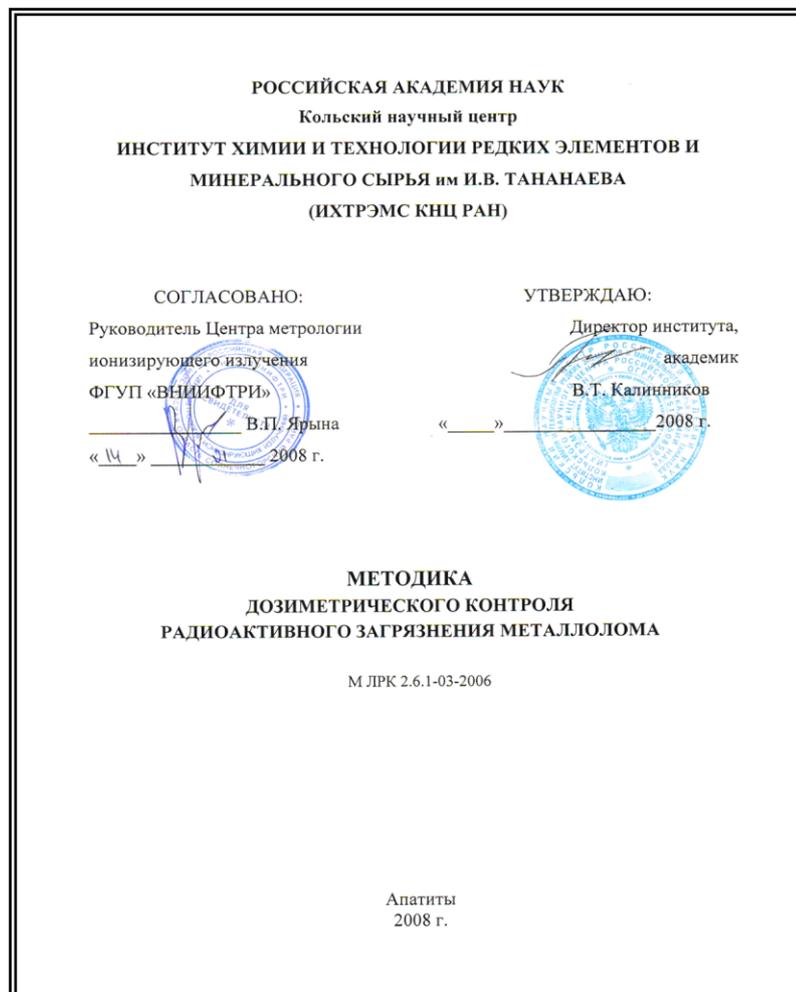


Рис. 2.21. Титульный лист методики МРК ЛРК 2.6.1-03-2006-2008

### Назначение и область применения

Метод РК разработан на основе методики МВИ ЛРК 2.6.1-03-2006 и нормативных документов [1–4], используется для выявления в металлоломе локальных источников ионизирующего излучения и/или радиоактивного загрязнения и устанавливает порядок выполнения измерения при входном и выходном контроле радиоактивного загрязнения металлолома с помощью дозиметрических приборов.

Правила обработки и представления результатов контроля выполняются в соответствии с требованиями, предъявляемыми действующими правилами и нормами по радиационной безопасности при заготовке, переработке или реализации металлолома:

1. Федеральный закон «О радиационной безопасности населения», ФЗ № 3 от 09.01.1996 г. – Режим доступа: <https://www.consultant>

2. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», ФЗ № 52 от 30.03.1999 г. – Режим доступа: <https://www.consultant>

3. Гигиенические требования к обеспечению радиационной безопасности при заготовке и реализации металлолома. СанПиН 2.6.1.993-00 – М.: Минздрав России, 2000. – 25с.

4. Радиационный контроль металлолома: Методические указания МУК 2.6.1.1087-02 – М.: Минздрав России, 2002. – 24 с.

5. Положение о лицензировании деятельности по заготовке, переработке и реализации лома цветных и черных металлов, утвержденное Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 июля 2000 г., № 554. – Режим доступа: <https://www.consultant>

6. Приказ Минздрава России «О санитарно-эпидемиологической экспертизе продукции» от 15.08.2001 г., № 325. – Режим доступа: <https://www.consultant>

7. Постановление Правительства Российской Федерации от 11 мая 2001 г. № 370 «Об утверждении Правил обращения с ломом и отходами черных металлов и их отчуждения». – Режим доступа: <https://www.consultant>

8. Постановление Правительства Российской Федерации от 11 мая 2001 г. № 370 «Об утверждении Правил обращения с ломом и отходами цветных металлов и их отчуждения». – Режим доступа: <https://www.consultant>

### Термины и определения

*Металлолом* (лом цветных и черных металлов) — годные только для переработки, содержащие цветные и /или черные металлы отходы производства и потребления, образовавшиеся из пришедших в негодность или утративших потребительские свойства изделий промышленного и бытового назначения, их частей, оборудования, механизмов, конструкций, транспортных средств, военной техники и др.

*Мощность амбиентного эквивалента дозы (МАЭД)* — доза гамма-излучения содержащихся в металлоломе радионуклидов за единицу времени (секунду, минуту, час); единицы измерения – Зв (Зиверт) и ее производные (мЗв/ч, мкЗв/ч). Мощность экспозиционной дозы – Р/ч (производные — мР/ч, мкР/ч). 0.01 мкЗв = 1 мкР.

*Локальный источник* — отдельный фрагмент металлолома, вблизи поверхности которого (на расстоянии не более 10 см) значение МАЭД гамма-излучения содержащихся в нем радионуклидов (за вычетом вклада природного фона) превышает 0.2 мкЗв/ч.

*Радиоактивное загрязнение* — наличие в металлоломе фрагментов, вблизи которых плотность потока альфа-излучения более 0.04  $\alpha$ -частицы/(см<sup>2</sup>·с), или плотность потока бета-излучения более 0.4  $\beta$ -частицы/(см<sup>2</sup>·с).

*Партия металлолома* — отдельно расположенное количество металлолома, подготовленное к загрузке в транспортное средство и

предназначенное к реализации; загруженный в транспортную единицу (платформа, вагон, автомашина, грузовой контейнер и т.д.) с металлоломом; металлолом, загруженный в две и более транспортные единицы, следующие одновременно в адрес одного получателя.

### **Принцип контроля**

1. Принцип контроля радиоактивного загрязнения металлолома (РЗМ) заключается в обследовании транспортного средства с металлоломом с помощью чувствительного поискового гамма-радиометра с целью выявления зон превышения фоновых уровней радиации и последующего регламентированного измерения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в зоне максимального превышения дозы с помощью поверенного дозиметра.

2. Учитывая требования нормативных документов, радиационный контроль металлолома должен включать:

- выявление в партии металлолома локальных источников гамма-излучения;
- поведение измерений МАЭД гамма-излучения на поверхности партии металлолома;
- выборочную проверку наличия поверхностного загрязнения металлолома альфа- и бета-активными радионуклидами;
- проведение радиационного обследования порожнего транспортного средства, предназначенного для перевозки партии металлолома, а также измерение МАЭД гамма-излучения на поверхности загруженного транспортного средства.

3. Радиационный контроль должен проводиться:

- при приемке металлолома, в т.ч. на пунктах его сбора;
- при подготовке партии металлолома к реализации;
- перед реализацией загруженных металлоломом транспортных средств.

4. Металлолом принимается к последующей переработке без ограничений, если выполняются следующие условия [2, 3]:

- локальные источники радиоактивного загрязнения металлолома (РЗМ) отсутствуют;
- мощность эквивалентной дозы на расстоянии 10 см от поверхности материала не превышает 0.20 мкЗв/ч (за вычетом вклада природного фона);
- поверхностные загрязнения альфа- и бета-активными радионуклидами отсутствуют.

### **Средства измерений**

1. Для контроля РЗМ применяются следующие дозиметрические и радиометрические приборы, приведенные в табл. 2.19, а также аналогичные им дозиметры и радиометры новой модификации (табл. 2.21, рис. 2.22).

Таблица 2.21

Характеристики рекомендуемой аппаратуры, применяемой для радиационного контроля металлолома

Наименование прибора	Назначение, пределы измерения	Геометрия измерения
Измеритель загрязнённости поверхности РКР 1-2 (R-76)	Измерение мощности эквивалентной дозы рентгеновского и гамма-излучения — пределы измерений: МАЭД — 100–30 мкР/ч, $\beta$ -2000с-1, погрешность: 20–30 %	В месте размещения датчика
Дозиметр ДКС-АТ1121 (рис. 2.22.)	Измерение мощности эквивалентной дозы рентгеновского и гамма-излучения — пределы измерений: $10^{-9}$ - $10^2$ Зв/ч, погрешность: 20 %	В месте размещения датчика

2. 2. Применяемые приборы подлежат государственной метрологической аттестации (поверке) в установленном порядке.



Рис. 2.22. Дозиметры ДКС-АТ1121 (слева) и ДКС-АТ-1123 (справа)

Вспомогательные средства, материалы:

Дезактивирующие средства — ОП-7, порошки «Защита» и «РАДДЕЗ», поверхностно-активные вещества (ПАВ — стиральные порошки «Лотос», «Новость» и др.), щавелевая кислота, лимонная кислота, этилен-диамин-тетрауксусная кислота (ЭДТА), каустическая сода, 1–3 М растворы минеральных кислот (соляная, серная), калия марганцовокислого и др.

Аварийный комплект дезактивирующих растворов — по 1 л.

Спирт ректификат этиловый ТУ 6-09-1710 для удаления радиоактивного загрязнения с рабочей поверхности детекторов используемых приборов.

Протирочный материал (бязь, вата, марля, фланель).

Спецодежда (халаты, комбинезоны, головной убор (берет, пилотка, косынка, каска и др), защитные фартуки, нарукавники, перчатки; бахилы, резиновые сапоги, спецобувь и др.)

Дистанционные инструменты (пинцеты, манипуляторы и др.)

Защитные маски из оргстекла, экраны из оргстекла, просвинцованного стекла, свинца и др.

Полиэтиленовые пакеты и контейнеры (из оргстекла, свинца и др.), поддоны для сбора радиоактивных отходов.

### **Условия выполнения измерений**

1. Контроль РЗМ осуществляется в натуральных условиях при значениях параметров внешней среды, оговоренных условиями эксплуатации используемых приборов:

- температуры окружающей среды от минус 10 до плюс 40 °С;
- влажность воздуха до 80 %.

2. В случае необходимости выполнения контроля РЗМ при более низких температурах необходимо использовать утепляющие покрытия приборов и сокращать время пребывания приборов в условиях низких температур.

### **Порядок измерений при выявлении зон загрязнения металлолома**

1. До начала измерений составляют масштабную схему расположения (штабеля) обследуемого металлолома с нанесенными маршрутными линиями, вдоль которых проводят измерения. Маршрутные линии должны идти вдоль штабеля на расстоянии 0.5–1.0 м друг от друга.

2. Выявление зон РЗМ выполняется с помощью поискового радиометра СРП-88Н (или аналогичного) в режиме цифрового отсчета показаний. Датчик прибора последовательно перемещают вдоль каждой из намеченных маршрутных линий со скоростью не более 0.2 м/с, удерживая его на расстоянии около 10 см над поверхностью контролируемого металлолома.

3. Контроль РЗМ производится в следующем порядке:

- подготовка радиометра к работе;
- определение фонового показания радиометра;
- установление уровня реагирования;
- выбор точек контроля транспортного средства;
- выполнение измерений в контрольных точках;
- регистрация результатов контроля.

4. Подготовку к работе и проверку работоспособности радиометра выполняют согласно инструкции по эксплуатации.

– 5. Фоновое показание (Ф) радиометра определяют как среднее арифметическое значение для многократных ( $n = 5 \div 7$ ) наблюдений фона:

– в месте контроля РЗМ перед поступлением туда транспортного средства с материалом или на расстоянии  $15 \div 20$  м от транспортного средства с материалом — при невозможности предварительных измерений в его отсутствии.

$$\Phi = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Phi_i, \quad (1)$$

где  $i$  — номер наблюдения;  $\Phi_i$  — показание радиометра при  $i$ -м наблюдении.

Уровень реагирования ( $P$ ) определяется из условия:

$$P = 1.15 \cdot \Phi, \quad (2)$$

что соответствует превышению фонового показания приблизительно на трехкратное значение среднего квадратичного отклонения показаний СРП-88Н при таких измерениях.

6. Выбор точек контроля для транспортных средств с металлоломом рекомендуется производить в соответствии с рекомендацией, приведенной в табл. 2.22. Точки контроля располагаются друг от друга на расстоянии не более 0.5 м.

Таблица 2.22

Выбор точек контроля для транспортных средств с металлоломом

Длина кузова машины, м	Число точек измерений	Борта автомобиля			Расстояние от борта, на котором производится измерения*
		передний	боковой	задний	
до 3.5	4	2	-	2	0.5 ÷ 1
3.5 ÷ 4.5	6	2	2	2	0.5 ÷ 1
от 4.5 и более	8	2	4	2	0.5 ÷ 1
Автопоезд	Из каждого кузова, в зависимости от длины прицепов автомобиля				

*Примечание.* \* Измерение у боковых бортов осуществляется на расстоянии 0.5 м от борта автомобиля (прицепа).

- Измерения в контрольных точках выполняются как одnorазовые наблюдения на расстоянии от поверхности металлолома (борта транспортного средства) не более 0.5 м.

Для точек, где отмечается превышения уровня реагирования  $P$ , необходимо повторить наблюдения не менее трех раз, приняв для регистрации среднее значение.

- Результаты контроля регистрируются в Журнале по установленной форме (табл. 2.23) с указанием фонового значения радиометра, картограммы измерений и показаний радиометра в точках превышения уровня реагирования.

- Если при поиске локальных источников выявлены зоны превышения контрольного уровня, для каждой из них в точке максимума проводят измерения мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД), а также выборочная проверка наличия поверхностного загрязнения металлолома альфа- и бета-активными радионуклидами. Если зоны превышения контрольного уровня не обнаружены, измерения МАЭД не проводятся.

7. При отсутствии превышений уровня реагирования во всех точках контроля дается разрешение на прием (отправку) металлолома с заключением об отсутствии РЗМ.

Таблица 2.23

Форма регистрации результатов контроля радиоактивного загрязнения металлолома (образец)

Фоновое показание	Результаты измерения в контрольных точках, мкЗв/ч			Мощность дозы в зоне максимального РЗМ	Превышение фонового значения мощности дозы от РЗМ, D	Абсолютная погрешность определения мощности дозы от РЗМ, Δ	Результат контроля РЗМ, D <sub>к</sub>
	передний борт	боковой борт	задний борт				
1.				1.			
2.				2.			
3.				3.			
4.				4.			
5.				5.			
6.				6.			
7.				7.			
....N				....K			
D <sub>ф</sub>				D <sub>м</sub>			
S <sub>ф</sub> <sup>2</sup>				S <sub>м</sub> <sup>2</sup>			

### Порядок выполнения дозиметрических измерений

1. Измерения мощности амбиентного эквивалента дозы в точке контроля осуществляется с помощью дозиметров ДРГ-01Т или МКС-04Н, ДБГ-06Т, ДКГ-07, АТ1121. Датчик прибора последовательно перемещают вдоль каждой из намеченных маршрутных линий, удерживая его на расстоянии около 10 см над поверхностью контролируемого металлолома, показания прибора сравнивают с контрольным уровнем через каждые 0.5 м.

Для гамма-излучения при переходе от мощности экспозиционной дозы (показания дозиметра в мкР/ч) к мощности эквивалентной дозы в мкЗв/ч следует использовать множительный коэффициент 0.01 (10 мкР = 0.01 мкЗв).

2. Дозиметрические измерения выполняются в следующем порядке:

- подготовка дозиметра к работе;
- измерение фонового значения мощности дозы;
- измерение мощности дозы в выявленной зоне максимального РЗМ;
- обработка результатов измерений;
- оформление протокола контроля РЗМ.

2.1. Подготовку к работе и проверку работоспособности дозиметра выполняют согласно инструкции по эксплуатации.

2.2. Для определения фонового значения мощности дозы выполняют многократные измерения (N = 7÷10) на «чистой» территории – на расстоянии 15÷20 м от контролируемого транспортного средства с материалом.

Результаты наблюдений D<sub>фи</sub>, где i = 1, 2, 3... N, фиксируются в Журнале.

2.3. Измерение мощности дозы от РЗМ выполняются в зоне максимального превышения фонового уровня на расстоянии около 10 см от поверхности материала (борта транспортного средства). Число наблюдений должно составлять K = 7÷10.

Результаты наблюдений D<sub>мj</sub>, где j = 1, 2, 3... K, фиксируются в Журнале.

2.4. При обработке результатов дозиметрических измерений определяются:

– среднее значение уровня фона:

$$D_{\phi} = \sum_{i=1}^N \frac{D_{\phi i}}{N}; \quad (3)$$

– среднее квадратичное отклонение (СКО) для результата измерения фона:

$$S_{\phi}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N D_{\phi}^2 - ND_{\phi}^2}{N(N-1)}; \quad (4)$$

– среднее значение мощности дозы в зоне РЗМ:

$$D_M = \sum_{j=1}^K \frac{D_{Mj}}{K}; \quad (5)$$

– СКО для результата измерения мощности дозы от РЗМ:

$$S_M^2 = \frac{\sum_{j=1}^K D^2 M - KD^2 M}{K(K-1)}; \quad (6)$$

– превышение фонового значения мощности дозы от РЗМ:  $D = D_M - D_{\phi}$ ;

– абсолютная погрешность определения мощности дозы от РЗМ при

доверительной вероятности 0.95:  $\Delta = 2 \sqrt{S_{\phi}^2 + S_M^2} + 0.2D$ ;

2.5. Результаты дозиметрических измерений ( $D_{\phi}$ ,  $D_M$ ,  $D$ ,  $\Delta$ ) вносятся в Журнал в дополнение к результатам контроля (табл. 2.23).

3. Выборочную проверку наличия поверхностного загрязнения металлолома альфа- и бета-активными радионуклидами проводят в местах обнаруженных локальных источников. Измерение плотности потока альфа- и бета-частиц выполняют с помощью радиометров дозиметров МКС-04Н, МКС-А03Н, АТ1121 и др. Подготовку к работе и проверку работоспособности дозиметров-радиометров выполняют согласно инструкции по эксплуатации. Измерения и регистрацию показаний приборов проводят аналогично п. 2. данного раздела настоящей методики.

4. Датчик радиометра размещают в точке максимума и делают 7–10 замеров или проводят измерение до тех пор, пока статистическая погрешность измерений не будет равна 5–10 %.

5. После окончания измерений и расчетов оформляют Протокол измерений.

### Порядок принятия решения о степени радиоактивного загрязнения металлолома

1. В качестве результата контроля РЗМ партии материала для принятия решений принимается значение:

$$D_K = D + \Delta$$

2. При выполнении условия  $D_K \leq 0.20$  мкЗв/ч, а также отсутствуют локальные источники загрязнений и поверхностные загрязнения альфа-, бета-активными радионуклидами (плотность потока альфа-излучения не более  $0.04 \alpha$ –

частицы/(см<sup>2</sup>·с), плотность потока бета-излучения не более 0.4 β-частицы/(см<sup>2</sup>·с), партия материала признается пригодной для последующего использования и на нее оформляется сертификат установленной формы с указанием значений D и Δ, и заключением о соответствии установленным нормам безопасности.

На основе Протокола измерений, проведенных аккредитованной РЛРК, органы Федеральной службы Роспотребнадзора выдают Санитарно-эпидемиологическое заключение на партию металлолома.

3. При  $D_K > 0.20$  мкЗв/ч партия материала не подлежит приему (отправке), что оформляется протоколом. О превышении контрольных уровней информируют орган Роспотребнадзора.

4. При обнаружении РЗМ сообщить руководству РЛРК и принять меры к ограничению доступа посторонних лиц в зону с повышенным уровнем гамма-излучения (более 0.1 мкЗв/ч над природным фоном). Локальные источники из партии металлолома извлекают, проводят сортировку и при необходимости проводят повторную проверку.

### **Обеспечение качества измерений**

1. Применяемые приборы должны быть сертифицированы, ежегодно проходить государственную метрологическую аттестацию в лицензированных центрах по метрологии ионизирующих излучений (Мурманский центр стандартизации и метрологии (МЦСМ), ЦМИИ ГУП «ВНИИФТРИ»).

2. Методика радиационного контроля обеспечивает:

- достоверное определение наличия гамма-излучения содержащихся в металлоломе радионуклидов с доверительным значением нижней границы определения МАЭД гамма-излучения (над естественным радиационным фоном) не более 0.05 мкЗв/ч;

- выявление всех находящихся в партии металлолома локальных источников, создающих МАЭД гамма-излучения на поверхности партии (транспортного средства) более 0.2 мкЗв/ч (над природным фоном);

- гарантированное выявление всех содержащихся в партии металлолома локальных источников, создающих МАЭД гамма-излучения на расстоянии 10 см от источника более 1 мкЗв/ч;

- достоверное выявление в местах проведения выборочных измерений наличия плотности потока альфа-излучения, превышающей 0.04 α-частицы/(см<sup>2</sup>·с);

- достоверное выявление в местах проведения выборочных измерений наличия плотности потока бета-излучения, превышающей 0.4 β-частицы/(см<sup>2</sup>·с).

3. Оценка точности и контроль качества метода [12-14].

Точность и правильность измерений оценивают по величине расхождения между показаниями прибора и значениями активности контрольных источников. Контрольное измерение с помощью другого оператора или прибора, из указанных в табл. 2.19, позволяет выявить методическую ошибку (случайную и систематическую).

Повторное измерение выполняют для проверки качества работы оператора.

4. Контроль правильности проводят периодически, в соответствии с планами внутрилабораторного контроля. В качестве контрольных проб следует использовать государственные стандартные образцы, в которых аттестовано содержание радиоактивности в соответствии со Свидетельством.

## **Обеспечение радиационной безопасности при радиационном контроле металлолома**

При выполнении радиационного контроля необходимо соблюдать правила техники безопасной работы с контрольными закрытыми источниками ионизирующих излучений [10-12], требования при работе с вредными веществами по ГОСТ 12.1.007-76, соблюдать меры индивидуальной защиты и личной гигиены.

Методика радиационного контроля металлолома применяется для обеспечения радиационной безопасности населения и промышленных производств методом своевременного обнаружения радиоактивного загрязнения и исключения возможности заготовки и реализации металлолома, имеющего радиоактивное загрязнение или содержащего локальные источники; исключения возможности радиоактивного загрязнения среды обитания человека при заготовке и реализации металлолома.

Радиационный контроль партии металлолома, подготовленной для реализации, осуществляет организация, аккредитованная в установленном порядке. Этот контроль является обязательным для индивидуальных предпринимателей и юридических лиц, занимающихся заготовкой, реализацией лома черных и цветных металлов [5-8].

По разработанной Методике в лаборатории проводили радиационный контроль металлолома предприятий Мурманской области и Автобазы Кольского научного центра перед сдачей на пункт приема, и пунктов приема металлолома Апатитско-Кировского района с оформлением Протоколов измерений. В некоторых случаях были выявлены радиоактивные загрязнения.

### **Список литературы**

[1–8] — в разделе «Назначение и область применения».

9. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», ФЗ № 52 от 30.03.1999 г.
10. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Гигиенические нормативы: СанПин 2.6.1.2563-09 – М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
11. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): СП 2.6.1.2612-10. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2010. – 83 с.
12. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений», ФЗ № 102 от 11 июня 2008г. (с изменениями на 02 дек. 2013г. № 338). – Режим доступа: <https://www.consultant>
13. Метрологическое обеспечение радиационного контроля. основные положения. ГОСТ Р 8.638-2013. – Режим доступа: <https://www.consultant>
14. Методики радиационного контроля. Основные положения. Рекомендация. МИ 2453-2000. – М. : ФГУП ГНМЦ «ВНИИФТРИ», 2000. – 16 с.
15. Организация обучения безопасности труда. Общие положения. ГОСТ 12.0.004-2015. – Режим доступа: <https://www.consultant>

### **3. РАДИХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ**

Увеличение количества горнопромышленных, металлургических и химических отходов стало основной причиной загрязнения природной среды, в том числе в Кольском регионе. В связи с этим исследования были направлены на изучение возможности определения природных и техногенных радионуклидов в объектах окружающей природной среды с целью изучения аккумуляции радионуклидов, воздействия их на физиологические и биологические характеристики изучаемых объектов, для проведения радиационного мониторинга.

Задачами радиационного мониторинга является создание системы раннего предупреждения о надвигающейся опасности радиоактивного загрязнения экосистемы. Мониторинг должен быть использован для оценки возможных последствий принимаемых решений. Наиболее эффективным представляется мониторинг радиоактивности горнопромышленных районов с повышенным содержанием природных радионуклидов.

Радиоаналитические методы контроля наземных экосистем разработаны в соответствии с нормативно-правовыми требованиями по охране окружающей природной среды (ПРИЛОЖЕНИЕ 1).

Методики предназначены для контроля состояния окружающей среды и наземных экосистем, прогнозирования масштабов загрязнения окружающей среды в случае выбросов в атмосферу или попадания в окружающую среду опасных радиохимических веществ при работе горно-перерабатывающих предприятий, атомной промышленности, предприятий по переработке редкометалльного сырья с повышенным содержанием природных радионуклидов, разрушениях контейнеров, содержащих концентраты и при хранении их на открытых складах, при пылении хвостов с хвостохранилищ; при радиологических исследованиях территорий и их радиационном мониторинге.

Контроль за радиационной обстановкой в зависимости от характера проводимых работ, цели и задач исследования, включает определение уровней радиоактивного загрязнения объектов окружающей природной среды в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения предприятий и учреждений, работающих с ИИИ и РВ. На территории радиологического исследования необходимо осуществлять отбор проб: воды из открытых водоемов (поверхностный и придонный уровни), рек и подземных источников; донных осадков; снежного покрова, воздуха (атмосферные осадки и аэрозоли), почвы, растительности (лес, кустарники и др. растения).

Результаты исследований могут быть использованы для научных и хозяйственных целей, для изучения миграции, сорбции, распространения радионуклидов в природных условиях.

В этом разделе монографии приведены разработанные и аттестованные методы основных объектов исследования природной среды, которые активно используются в практике лаборатории при проведении радиэкологических исследований и радиационной оценке исследуемых территорий.

### 3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО ПОКРОВА И ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Метод определения радиационно-гигиенических характеристик (РГХ) снежного покрова и водных объектов предназначен для использования в аккредитованной лаборатории радиационного контроля. Метод разрабатывался как методическое дополнение к Базовым методикам «Методика измерения активности радионуклидов в счетных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения «Прогресс» [1, 2] и «Методики измерения активности на альфа-бета радиометре УМФ-1500Д или УМФ-2000» [3, 4].

Методика М ЛРК ИХ 2.6.1.-07-2008 была разработана в 2007-2008 гг. и утверждена директором института 05.06.2007 г. (рис. 3.1).

<b>РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК</b> Кольский научный центр <b>ИНСТИТУТ ХИМИИ И ТЕХНОЛОГИИ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ им И.В. ТАНАНАЕВА</b> (ИХТРЕМС КНЦ РАН)	
СОГЛАСОВАНО Руководитель Центра метрологии ионизирующего излучения ФГУП «ВНИИФТРИ» В.П. Ярына « 14 » 2008 г.	УТВЕРЖДАЮ Директор института, академик В.Т. Калинин «    » 2008 г.
<b>МЕТОДИКА</b> <b>ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО ПОКРОВА</b> Методическое дополнение к базовой МЕТОДИКЕ измерения активности радионуклидов в счетных образцах на радиологическом комплексе «Прогресс-АБРГ» с использованием программного обеспечения М ЛРК ИХ 2.6.1.-08-2007	
Апатиты 2008 г.	

Рис. 3.1. Титульный лист методики М ЛРК ИХ 2.6.1.-07-2008

### **Область применения**

Метод определения радиационно-гигиенических характеристик (РГХ) снежного покрова включает определение суммарной альфа-бета-активности и  $^{90}\text{Sr}$  на радиометрах «Прогресс-АБ» или УМФ-1500Д и содержания естественных ( $^7\text{Be}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ , и др.) и техногенных ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Mn}$  и др.) радионуклидов на сцинтилляционном гамма-спектрометре «Прогресс-Г».

Метод радиологического анализа распространяется на пробы талой воды (снега), устанавливает методы определения суммарной удельной активности и радионуклидного состава в широком диапазоне концентраций в соответствии с НРБ-99/2009 [3].

Радиационная оценка исследуемых объектов проводится в соответствии с требованиями Федеральных законов «О радиационной безопасности населения» (ФЗ № 3 от 09.01.1996 г.), «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (ФЗ № 52 от 30.03.1999 г.) и действующих Норм радиационной безопасности об ограничении облучения населения за счет природных и техногенных источников ионизирующего излучения [5, 6].

Метод анализа разрабатывался с учетом рекомендаций ГОСТ Р 8.638.-2013, МИ 2453-2000, СП 2.6.1.1292-03 [7-9].

### Термины и определения

*Уровень вмешательства* — критерий, установленный нормативными документами (НРБ-99/2009, П2а) для водных объектов. Для минеральных и лечебных вод устанавливаются специальные нормативы.

*Радиационно-гигиенические характеристики (РГХ)* — концентрации естественных (ЕРН, природных, мг/л); удельная активность (Бк/кг или Бк/л) наиболее радиотоксичных нуклидов рядов урана-238 и тория-232; удельная активность техногенных радионуклидов (ТРН, Бк/кг или Бк/л), суммарная объемная альфа- и бета-активность, Бк/л.

### **Принцип контроля**

1. Определение РГХ включает определение удельной активности радионуклидов гамма-спектрометрическим методом и суммарной объемной активности альфа-бета-радионуклидов на радиологическом комплексе «Прогресс-АБГ».

Метод основан на концентрировании радионуклидов из объема водной пробы (талая вода или вода открытых водоемов) методом упаривания до сухого остатка, измерении скорости счета альфа- и бета-активности полученного остатка с помощью радиометров «Прогресс-АБ» или УМФ-1500Д или УМФ-2000.

При измерении на малофоновом альфа-бета-радиометре УМФ-1500Д [4] расчет суммарной удельной альфа- и бета-активности пробы выполняют относительным методом: сопоставление скорости счета от счетного образца со скоростью счета от эталона (образец сравнения с аттестованными значениями активности).

Полная (суммарная) неопределенность результатов измерения на указанных радиометрах составляет 15–25 % при доверительной вероятности 0.95.

2. Определение суммарной удельной альфа-бета-активности предшествует определению удельной активности радионуклидов гамма-спектрометрическим методом, которое проводится в том случае, если полученные значения с учетом

неопределенности измерений превышают допустимые уровни по альфа-бета-активности [4]:

$N_A$  — допустимый уровень суммарной удельной активности альфа-радионуклидов — 0.2 Бк/л.

$N_B$  — допустимый уровень суммарной удельной активности бета-радионуклидов — 1.0 Бк/л.

3. Согласно базовой Методики [1] определение удельной активности радионуклидов выполняется в режиме «нестандартные измерения, неравновесные ЕРН». Обработка сцинтилляционных гамма-спектров выполняется генераторным способом, который позволяет определять любой радионуклидный состав.

Радий определяют по энергетической линии ( $E_\gamma$ ) 350 кэВ (фотопик RaВ), торий — по энергетической линии 240 кэВ (фотопик ThВ), уран — по энергетической линии  $^{234}\text{Pa}$  - 1000 кэВ (фотопик IX<sub>2</sub>), с которым он почти всегда находится в равновесии,  $^{40}\text{K}$  — по энергетической линии  $E_\gamma = 1461$  кэВ. Техногенные радионуклиды определяют по энергетическим линиям, приведенных в табл. 3.1 (ядерно-физические характеристики радионуклидов [5, 10–13]).

Таблица 3.1

Ядерно-физические характеристики наиболее часто определяемых радионуклидов [5, 10–13]

Радионуклид		Период полураспада, $T_{1/2}$	Вид излучения	Энергия излучения, кэВ	Уровень вмешательства, УВ <sup>вода</sup> , Бк/кг
название	обозначение				
1	2	3	4	5	6
Бериллий-7	$^7\text{Be}$	53.3 сут.	$\gamma$	477.6	5000
Натрий-22	$^{22}\text{Na}$	2.60 лет	$\gamma$	1274.5	43
Калий-40	$^{40}\text{K}$	$1.28 \cdot 10^9$ лет	$\beta$ $\gamma$	1314 1461	22
Марганец-54	$^{54}\text{Mn}$	312 сут.	$\gamma$	834.8	200
Кобальт-60	$^{60}\text{Co}$	5.27 лет	$\gamma$	1332.5	41
Цирконий-95	Zr	64 сут.	$\gamma$	756.7	150
Стронций-90	$^{90}\text{Sr}$	28.8 лет	$\beta$	196	5
Рубидий-97	$^{97}\text{Rb}$	169.9	$\gamma$	167, 585, 601	Не нормируется
Йод-131	$^{131}\text{I}$	8.03 сут.	$\gamma$	364.5	6.3
Цезий-134	$^{134}\text{Cs}$	2.06 лет	$\gamma$	604.7, 795.9	7.3
Цезий-137	$^{137}\text{Cs}$	30 лет	$\beta$ $\gamma$	514 662	11
Барий-133	$^{133}\text{Ba}$	10.7 лет	$\gamma$	356	93
Свинец-212	$^{212}\text{Pb}$	10.64 ч	$\beta$ $\gamma$	102 115, 238.6	Не нормируется
Висмут-212	$^{212}\text{Bi}$	60.55 мин	$\alpha$ $\beta$ $\gamma$	2170 796.6 727.3	Не нормируется
Свинец-214	$^{214}\text{Pb}$	26.8 мин.	$\beta$ $\gamma$	218 352, 295	Не нормируется

1	2	3	4	5	6
Висмут-214	<sup>214</sup> Bi	19.9 мин	α β γ	1.4 642 609.3, 1764.5, 1120	Не нормируется
Радон-220	<sup>220</sup> Rn	3.3 сут.	α γ	6290 549.7	60
Торон-222	<sup>222</sup> Rn	38 сек.	α γ	5490 510	Не нормируется
Радий-226	<sup>226</sup> Ra	1600 лет	α γ	4770 186.2	0.50
Торий-228	<sup>228</sup> Th	1.912 лет	α γ	5400 84.3	1.9
Торий-232	<sup>232</sup> Th	1.4·10 <sup>10</sup> лет	α γ	4000 63.8, 140.8	0.60
Уран-235	<sup>235</sup> U	7.03810 <sup>8</sup> лет	α γ	4378 185.7, 143.8	3.0
Уран-238	<sup>238</sup> U	4.47·10 <sup>9</sup> лет	α β γ	4190 1380 49.6; 198	3.1

4. Регистрацию излучения и обработку спектров, полученных на гамма-спектрометре, расчет значений удельной активности, неопределенности результатов измерения проводят с использованием программно-аппаратурного комплекса "ПРОГРЕСС" [14].

Неопределенность определения радионуклидов гамма-спектрометрическим методом при доверительной вероятности 0.95 равны 25–50 % в зависимости от концентрации радионуклидов, геометрии измерения и экспозиции.

5. Определение соответствия удельной активности воды нормативным требованиям [3,14-17] выполняется по формуле (1):

$$\sum_i (A_i / УВ_i) \leq 1, \quad (1)$$

где  $A_i$  — удельная активность  $i$ -го радионуклида в воде;  $УВ_i^{вода}$  — соответствующий радионуклиду уровень вмешательства [НРБ-09/2009, П2а].

Статистическая обработка результатов проводится с помощью программы Microsoft Excel.

#### Средства измерений, вспомогательное оборудование, материалы, реактивы

1. Для определения РГХ применяется радиологический комплекс «Прогресс-АБРГ», в состав которого входит гамма-спектрометрическая установка со сцинтилляционным датчиком NaI/Tl размером 63x63 мм и альфа- радиометр «Прогресс-А», бета-радиометр «ПрогрессБ»; альфа-бета-радиометр УМФ-1500Д.

2. Технические характеристики СИ.

Альфа-бета-радиометр УМФ-1500Д (рис. 3.2) — установка с малым фоном за счет большой толщины свинцовой защиты измерительной камеры, предназначен для измерения:

- суммарной активности бета-излучающих нуклидов в счетных образцах;
- суммарной активности альфа-излучающих нуклидов в толстых и тонких образцах проб объектов окружающей среды;
- установка используется для анализа проб низкой активности и небольшой массы (0.01–1 г).



Рис. 3.2. Внешний вид радиометра УМФ-1500Д и счетной камеры

Метрологические параметры альфа-бета радиометра УМФ-1500Д должны соответствовать следующим значениям:

- средняя скорость счета фона по альфа-каналу: 0.0002 имп/с;
- средняя скорость счета фона по бета-каналу: 0.017 имп/с;
- скорости счета от контрольного источника № 107Д в помеченном гнезде устройства подачи: по бета-каналу: 4.8 имп/с; по альфа-каналу: 9.9 имп/с;
- в диапазоне масс 0.05–0.2 мг и площади 4 см<sup>2</sup> эффективность регистрации для Cs-137 – 0.11 имп/(с·Бк); для Sr-90 — 0.15 имп/(с·Бк).
- Неопределенность измерения суммарной активности в диапазоне (0.01 ÷ 10<sup>4</sup>) Бк — 15–30 %.

Аналогом УМФ-1500М является современный альфа-бета-радиометр УМФ-2000, позволяющий анализировать пробы в разных режимах с большей чувствительностью (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Внешний вид радиометра УМФ-2000 для анализа низкоактивных проб по суммарной альфа- и бета-активности

Суммарную удельную альфа- и бета-активность исследуемых проб массой более 1 г можно определять на радиологическом комплексе «Прогресс».

Радиологический комплекс «Прогресс-АБРГ». Значение чувствительности для каждого из указанных радионуклидов и системы измерительных энергетических интервалов получены при градуировке установок (каналов А, Б, Г) с использованием эталонов активности и введены в программу расчета «ПРОГРЕСС» на ПЭВМ (рис. 2.9). Погрешность градуировки не превышает 10 % ( $P = 0.95$ ).

Радиометр «Прогресс-А» имеет следующие технические характеристики:

Энергетический диапазон работы: по альфа-тракту ( $400 \div 9000$ ) кэВ. Активность контрольных источников: U (природный) —  $33.3 \text{ Бк} \pm 15 \%$ .

Аттестованные геометрии по альфа-тракту:

- «толстый» слой под пленкой,
- порошок без пленки,
- «тонкий источник».

Минимальная измеряемая активность составляет: по альфа-тракту —  $0.18 \text{ Бк/г}$  на счетный образец.

Неопределенность измерения суммарной альфа-активности в «толстослойных» счетных образцах в диапазоне ( $0.18 \div 106$ ) Бк/г составляет ( $60 \div 10$ ) %.

Неопределенность измерения суммарной альфа-активности в «тонкослойных» счетных образцах в диапазоне ( $0.01 \div 10^4$ ) Бк/г составляет ( $60 \div 10$ ) %.

Сцинтилляционный бета-радиометр «Прогресс-Б» имеет следующие технические характеристики:

Энергетический диапазон работы по бета-тракту ( $250 \div 3000$ ) кэВ. Аттестованная геометрия по бета-тракту — штатная кювета, диаметр 70 мм. Активность контрольного источника Sr-90 —  $1.5 \text{ кБк} \pm 30 \%$ . Контрольная скорость счета: по бета-тракту от источника Sr-90 + Y-90 № 168 в интервале ( $250 \div 500$ ) кэВ —  $270 \text{ с}^{-1}$ .

Минимальная измеряемая активность составляет по бета-тракту —  $1.4 \text{ Бк Sr(Y)-90}$  на счетный образец; фоновая неопределенность измерения нулевой активности радионуклидов составляет  $0.7 \text{ Бк Sr(Y)-90}$  на счетный образец.

Неопределенность измерения активности радионуклида Sr-90 в диапазоне ( $1.4 \div 1000$ ) Бк составляет ( $60 \div 10$ ) %.

Гамма-спектрометр имеет следующие технические характеристики:

- Диапазон энергии регистрируемого гамма-излучения от 100 до 3000 кэВ.
- Минимальная измеряемая активность за время измерения 1 час в геометрии «Маринелли»:  $^{137}\text{Cs}$  — 3 Бк,  $^{226}\text{Ra}$  — 8 Бк,  $^{232}\text{Th}$  — 7 Бк,  $^{40}\text{K}$  — 40 Бк; в геометрии «Петри»:  $^{137}\text{Cs}$  — 3 Бк,  $^{226}\text{Ra}$  — 6 Бк,  $^{232}\text{Th}$  — 5 Бк,  $^{40}\text{K}$  — 80 Бк.
- Энергетическое разрешение по линии 662 кэВ — не более 8 %.
- Контрольная скорость счета от калибровочного источника № Д-55 ( $^{137}\text{Cs}+^{40}\text{K}$ ;  $A_{\text{Cs137}} = 1000 \text{ Бк/кг}$ ) в диапазоне 600-720 кэВ равна  $78 \text{ отсчет/с} \pm 10 \%$ .
- Неопределенность измерения активности радионуклида Cs-137 в диапазоне ( $3 \div 1000$ ) Бк составляет ( $60 \div 10$ ) %.

3. Для определения массы проб и счетных образцов используются:

- весы электронные HL-2000 с выборкой тары на 2 кг, погрешность — 1 г.
- весы лабораторные типа ВЛР-200 (2 класс, погрешность — 0.5 г) или WA-33 (максимальная масса — 200 г, погрешность — 0.01 г), ГОСТ 24104-88 Е, или их аналоги.

4. Для калибровки гамма-спектрометра по энергии и контроля за сохранностью параметров спектрометрической установки и радиометров применяют:

- комплект аттестованных мер (стандартных образцов) удельной активности ЕРН – Государственные стандартные образцы (ГСО) — ОСГИ;
- контрольные источники (КИ): точечный источник – Свидетельство № Д-55 ( $^{137}\text{Cs} + ^{40}\text{K}$ ); КА 53 на основе Pu-239, 238, 242; A = 25.6 Бк; К40 — на основе  $^{90}\text{Sr} + \text{Y}(90)$ ; A = 50 Бк;
- насыпная мера активности — Свидетельство № 420/70158 ( $^{226}\text{Ra} + ^{232}\text{Th} + ^{40}\text{K}$ ); препарат калия хлористого и др.

Не допускается использование КИ и ГСО с просроченным сроком службы.

5. Применяемые приборы подлежат поверке в установленном порядке.

#### Вспомогательное оборудование:

• Пробоотборник для отбора проб снежного покрова: в виде металлической трубы высотой до 1.5 м. и площадью сечения 1570 см<sup>2</sup> или пластиковой трубы размером 1 x 0.15 м. Емкости для талой воды. Для отбора проб воды — стакан или любая емкость, черпак

- Электроплитка.
- Лампа «Соллюкс».
- Мерные цилиндры емкостью 1 л.
- Термостойкие стаканы объемом 1 л.
- Кварцевые чашки, емкость — 30–50 мл.
- Универсальная индикаторная бумага (рН 0-12, ПНД 50-975-84).
- Набор контейнеров установленного объема с крышками для анализа исследуемого материала гамма-спектрометрическим методом — сосуды Маринелли, емкость 1 л; чашки «Петри», диаметр 80 мм, глубина — 1 см (емкость 75 мл).
- Набор мишеней из алюминия для альфа-бета-измерений:
  - 1) для «Прогресса» – диаметр 70 мм, глубина – 1 см;
  - 2) для УМФ - диаметр 30 мм, глубина – 1 мм.
- Шпатели и лопатки (пластмассовые и металлические).
- Полиэтиленовые бутылки, вместимостью 3-5 л и 1–2 л.
- Полиэтиленовые пакеты.
- Эмалированные или пластмассовые поддоны разных размеров.

#### Реактивы, материалы:

Вода дистиллированная.

Дезактивирующие растворы и реагенты (ОП-7, порошки «Защита» «РАДДЕЗ», растворы борной и щавелевой кислот, калия марганцовокислого, этилендиаминтетрауксусной кислоты и др.) для дезактивации мишеней.

Калий хлористый, хч.

Кислота соляная, осч.

Спирт ректификационный.

Противорочный материал (бязь, вата, марля, фланель).

*Примечание.* Допускается применение других вспомогательных устройств, материалов и реактивов, в том числе импортных.

## Отбор проб снежного покрова и воды из открытых водоемов, подготовка счетных образцов

### 1. Методика отбора проб снежного покрова

1.1. Для радиационного мониторинга пробы снега обычно отбирают один раз в год перед началом весеннего снеготаяния (в конце марта – начале апреля) или по мере необходимости в течение зимнего периода.

1.2. Отбор проб осуществляется заказчиком на пробных площадях. Для отбора проб снега выбирают ровные площадки с равномерным слоем снега в отдалении от проезжих дорог. Точки пробоотбора размещают на открытых участках местности с учетом возможного влияния локального источника загрязнений и розы ветров. На каждой мониторинговой площади пробы отбирают в трех повторностях на межкроновом пространстве и под кроной деревьев [15–23].

1.3. Перед отбором пробы на исследуемой точке выкапывают шурф до напочвенного покрова, чтобы отобрать весь керн снега за снежный период. Снежный покров отбирают с помощью пробоотборника в виде металлической трубы высотой до 1.5 м, площадь сечения — 1570 см<sup>2</sup> или пластиковой трубы размером 1 x 0.15 м. Чтобы снег не высыпался из пробоотборника, его уплотняют диском, прикрепленным к стержню, длина которого должна превышать размеры пробоотборника (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Отбор проб снега специальным пробоотборником

1.4. Во избежание случайных результатов в каждом пункте отбирают только усредненные образцы. Усреднение достигается объединением пяти образцов, отбираемых в центре и по углам квадрата со стороной 10 м на всю глубину снежного покрова методом «конверта». При выемке каждого образца нижний слой его тщательно очищают от земли, листьев и пр.

1.5. Пробы снега из пробоотборника переносят в полиэтиленовый мешок, который плотно закрывают, опечатывают, маркируют и направляют

в лабораторию [21-23] вместе с сопроводительными документами (акты, паспорта и др.), в которых подробно указывают условия отбора проб, характеристику места отбора и пробы, объем пробы. В табл. 3.2 приведены сведения, которые должны содержаться в Паспорте пробы или Акте отбора проб.

После транспортировки проб в лабораторию мешки вскрывают, содержимое переносят в отдельные сосуды (пластиковое ведро), хранят при комнатной температуре до полного таяния снега.

Таблица 3.2

Паспорт пробы (образец)

Наименование	Содержание
Дата отбора:	Время, число, месяц, год.
Название пробы:	Снежный покров (для воды: поверхностный и с определенной глубины слой воды; речная, морская, озерная вода и т.д.)
Место отбора:	Название местности и водного объекта, расположение (город, село, район, область, координаты (широта, долгота; направленность (С, З, Ю, В); высота над уровнем моря) или номер мониторинговой площадки, удаленность от потенциального источника загрязнения, краткая характеристика места отбора (открытая местность, лес – смешанный, хвойный, лиственный и т.д.)
Вид и размер пробоотборника	-
Условия отбора:	Погодно-климатические и метеорологические характеристики (средние значения за сезон: температура, влажность, давление, сила и преимущественная направленность ветра и т.д.)
Код пробы:	Шифр
Высота отбираемой пробы (глубина снежного покрова):	см, объем, л; рН.
Состояние пробы:	(плотность и др.), наличие примесей;
Масса пробы:	кг, л
Характеристика проб талой воды:	Объем (л), цвет, наличие примесей, рН и т.д.
Направление на анализ:	Определяемые радиационные показатели.
Исполнители:	ФИО, должность, организация (подпись), дата

2. Методика отбора проб воды

Отбор проб воды осуществляется специальным пробоотборником в поверхностных и придонных слоях исследуемых открытых водоемах (реки, озера, ручьи). Отобранную пробу в объеме 1 л переносят в чистую

полиэтиленовую бутылку и маркируют. При длительном хранении вода слегка подкисляется. На анализ берется весь объем пробы. Дальнейшие операции по подготовке счетного образца аналогичны подготовке счетных образцов талой воды.

### 3. Методика подготовки проб для измерения активности

3.1. Заказчик несет ответственность за отбор представительных проб.

На анализ берутся пробы объемом от 1 до 5 л (объем — 1 л для «Маринелли»); количество проб – по договоренности с заказчиком.

3.2. Каждый образец талой воды (снега) измерить мерным цилиндром емкостью на 1 л объем и рН с помощью универсальной индикаторной бумаги (рН 0-12, ПНД 50-975-84). Если в ней содержатся посторонние примеси (листья, ветки и др.), их отделяют фильтрованием пробы.

3.3. Каждую исследуемую пробу талой воды (воды) тщательно перемешать, в мерный цилиндр отобрать 1 л пробы и перелить его в предварительно взвешенный сосуд Маринелли, определить массу отобранной пробы (взвешивание выполняют на весах с автоматической выборкой тары типа HL-2000), выполнить анализ пробы гамма-спектрометрическим методом.

3.4. Для определения альфа-бета-активности снежного покрова (воды) оставшуюся часть пробы (1–3 л) отобрать мерным цилиндром по 1 л и количественно перенести в термостойкий стакан объемом на 1 л, установить его на лабораторную электрическую плитку. Упаривание талой воды проводят при температуре не выше 90 °С, чтобы не допустить потерь из-за разбрызгивания и капельного уноса. По мере уменьшения объема пробы в стакане оставшуюся часть пробы последовательно добавлять в стакан, каждый раз измеряя ее объем мерным цилиндром. Весь объем пробы упарить до 10–15 мл.

3.5. Этот объем пробы перенести из стакана в кварцевую чашку с гладкой полусферической внутренней поверхностью, стенки стакана 2–3 раза обмыть дистиллированной водой, промывной раствор присоединить к основному раствору в чашке и продолжить упаривание под лампой «Соллюкс» до минимального объема пробы — 1–2 мл.

### 4. Подготовка счетных образцов и измерение

4.1. Образовавшийся после упаривания осадок и раствор тщательно и аккуратно перенести с помощью пластмассового шпателя на чистую алюминиевую мишень диаметром 30 мм и глубиной 1 мм, предварительно пронумерованную, взвешенную и проверенную на отсутствие радиоактивного загрязнения. Для полного переноса осадка кварцевую чашку со шпателем промывают 4–5 раз 3–5 каплями дистиллированной воды, промывной раствор переносят также на мишень, смачивая при этом всю массу сухого остатка пробы.

4.2. Затем мишень установить на строго горизонтальную поверхность и сушить под лампой «Соллюкс» до получения ровного однородного слоя осадка. Мишень с высушенным осадком взвесить на весах ВЛР-33, определить массу сухого остатка пробы. Правильно приготовленная проба должна иметь массу сухого остатка в пределах 0.01–0.2 г в зависимости от места отбора, объема пробы, наличия растворенных примесей и других факторов.

4.3. Измерить альфа-бета-активность приготовленных счетных образцов на УМФ-1500Д [24] или радиологическом комплексе 'Прогресс – АБРГ'.

В рабочем Журнале радиационного контроля записать все этапы и данные о проведении анализа.

**Образец Журнала радиационного контроля и записей:**

- характеристика исследуемого материала,
- номер партии,
- место отбора,
- дату отбора,
- количество проб (объем, л; рН),
- оператор;
- пробоподготовка (дата, объем на выпаривание, масса сухого остатка);
- прибор, условия измерения, номер анализируемой пробы и номер мишени, исходный объем талой водной пробы, отобранный для упаривания, массу сухого остатка в измерительной мишени;
- показания:  $G_{А,Б}$  — (известная активность эталона, Бк/кг);  
 $N_{\phi}$  — (скорость счета импульсов фона, имп/с);  
 $N_{эт}$  — (скорость счета импульсов эталона за время  $T$ , имп/с);  
 $N_{пр}$  — (скорость счета импульсов пробы за время  $T$ , имп/с).

Результат определения суммарной удельной активности с учетом неопределенности измерений, Бк/кг:

Альфа - \_\_\_\_\_

Бета - \_\_\_\_\_

Заключение \_\_\_\_\_

Исполнитель \_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель ЛРК \_\_\_\_\_ (подпись).

Расчет активности выполнить в Бк/л и на единицу площади отбора пробы в Бк/м<sup>2</sup> [21].

4.4. После проведения измерений мишени замочить в одном из дезактивирующих растворов, очистить от осадка и выполнить дезактивацию мишени согласно «Инструкции по работе с радиоактивными веществами» (ПРИЛОЖЕНИЕ 2).

**Условия выполнения измерений**

Определение РГХ талой воды и воды открытых водоемов, их сухих остатков осуществляется в лабораторных условиях при температуре воздуха в помещении не менее 20 °С и относительной влажности 60±15 %; напряжении питания сети (220+22/-33) В; частота питающей сети (50±1) Гц.

**Порядок выполнения измерений**

1. Измерение альфа- и бета-излучений от счетного образца на радиометре УМФ-1500Д (2000) выполняется одновременно. Подготовка радиометра к работе выполняется в соответствии с инструкцией по эксплуатации [22]. Измерения проводят в режиме «Альфа-бета». Время измерения от 1000 до 5000 с. Фиксируется время измерения и счет по альфа- и бета-каналам: фона (с пустой подложкой), контрольных источников и счетных образцов.

Поместить мишень с пробой в измерительную камеру бета-альфа радиометра УМФ-1500Д, установить необходимую экспозицию и измерить скорость счета альфа-бета-излучения от пробы 3–5 раз.

Показания прибора записать в Журнал регистрации анализа проб, рассчитать среднее значение скорости счета фона ( $N_{\phi}$ ) и пробы ( $N_{прА,Б} = \sum N/k$ , где  $N_{пр}$  — скорости счета пробы за время  $T$  соответственно для альфа (А)- и бета (Б)-активности, (имп./с);  $k$  — количество измерений;  $\sum N$  — сумма показаний скорости счета для  $k$ -измерений за  $T$ , имп./с для каждого вида излучения).

Аналогично измерить скорость счета альфа-бета-излучения от эталонного источника — СГ-1А и др., с известным содержанием радионуклидов или активности, рассчитать среднее значение скорости счета эталона по каждому виду излучения (имп/с).

#### Обработка результатов измерений

Метод измерения — относительный, условия измерения пробы и эталона одинаковые (геометрия измерения, размер мишени, навески проб и эталона, время измерения — экспозиция).

Активность альфа-бета-активных веществ в исследуемой пробе рассчитывается по формуле:

$$A_1 = (N_{пр} - N_{\phi}) \times G / (N_{эт} - N_{\phi}), \quad (2)$$

где  $A_1$  — удельная или объемная активность исследуемой пробы, Бк;  $G_{А,Б}$  — известная активность эталона, Бк;  $N_{\phi}$  — скорость счета импульсов фона, имп/с;  $N_{эт}$  — скорость счета импульсов эталона за время  $T$ , имп/с;  $N_{пр}$  — скорости счета импульсов пробы за время  $T$ , имп/с.

Затем по формуле (3) рассчитывается суммарная удельная альфа-бета-активность пробы талой воды:

$$A_2 = 1000 A_1 / V, \quad (3)$$

где  $A_2$  — удельная или объемная активность исследуемой пробы, Бк/л;  $V$  — объем пробы талой воды, взятой на упаривание, мл; 1000 — пересчетный коэффициент.

2. Подготовить гамма-канал радиологического комплекса «Прогресс» к измерениям согласно аттестованной базовой Методики [1]: выполнить калибровку установки по энергии (перед каждым измерением активности или фона), измерить фон (один раз в день, экспозиция — 3600 с), установить подготовленный счетный образец исследуемого материала (сосуд Маринелли с 1 л талой воды) в измерительную камеру и выполнить по заданному алгоритму измерение активности счетного образца (экспозиция — 1000–5400 с). В процессе измерения программа автоматически проводит обработку спектрограммы в соответствии с выбранным алгоритмом базовой Методики («нестандартные измерения») и заносит результаты в Журнал. После окончания измерения счетного образца оформляется протокол измерений.

**Протокол испытаний по определению РГХ снежного покрова (воды)** должен содержать:

1. Наименование организации и подразделения, проводившего измерения.
2. Наименование номер аттестата аккредитации, срок его действия, кем и когда выдан, область аккредитации.
3. Дата проведения измерения, оператор.

4. Метод измерения и используемая аппаратура с указанием номера Свидетельства о поверке, срока действия его.

5. Наименование материала (Акт отбора проб, дата отбора, карта-схема площадок отбора проб, привязка к местности, количество, объем, рН, физико-химическое состояние и другие характеристики).

6. Наименование предприятия-изготовителя или предприятия-потребителя, заказчика.

7. Результаты измерений представительной пробы (номера протоколов измерений по рабочему Журналу) в форме таблиц (образец в табл. 3.3–3.5).

8. Заключение.

9. Исполнитель – (подпись), /ФИО/

10. Руководитель ЛРК – (подпись), /ФИО/

11. Дата, МП.

Таблица 3.3

Результаты пробоподготовки (образец)

Номер пробы	Место отбора	Объем, л	рН	Масса сух. остатка пробы, г	Примечание
1					
.....					
5					

Таблица 3.4

Удельная радиоактивность (А) проб воды (снега, образец)

Номер пробы	Место отбора	Масса сух. остатка пробы, г	Масса счетного образца	Удельная активность, Бк/л	
				$A_{\alpha}$	$A_{\beta}$
1					
...					
5					
Среднее значение					
СКО					

Таблица 3.5

Радиационно-гигиенические характеристики снежного покрова (воды, образец)

Номер пробы	Объем, л / масса пробы, г	Удельная активность, Бк/л					
		$^{137}\text{Cs}$	$^{60}\text{Co}$	$^{131}\text{I}$	.....	$^{238}\text{U} (^{226}\text{Ra})$	$^{232}\text{Th}$
1							
...							
5							
Среднее значение							
СКО							

*Примечание.* Результаты измерений приводятся с неопределенностью измерения для доверительной вероятности 0.95 (Бк/кг).

### Форма представления результатов

1. За результат принимается среднее значение РГХ (А) по 3-5 измерениям с учетом неопределенности измерений.

2. В качестве результата исследуемого материала для принятия решений принимается значение:  $A = A_i + U$ , где А — суммарная объемная альфа- или бета-активность пробы,  $A_i$  — суммарная объемная альфа- или бета-активность i-го измерения пробы, U — неопределенность измерения (табл. 3.4).

Оценка содержания суммы естественных и техногенных радионуклидов в талой воде осуществляется путем сравнения А с нормативом для питьевой воды (1 Бк/л для бета-излучателей и 0.2 Бк/л для альфа-излучателей) согласно СанПин 2.1.559-96 и ГОСТ (Санитарные правила и нормы, 1996) [13–15].

3. При  $A_\alpha \leq 0.2$  Бк/л и  $A_\beta \leq 1.0$  Бк/л с учетом неопределенности измерений радионуклидный состав не определяется или можно провести его выборочно по просьбе заказчика.

По результатам измерений оформляется Акт радиационного контроля. Формы документов установлены в «Руководстве по качеству испытаний ЛРК».

4. При  $A_\alpha \geq 0.2$  Бк/л,  $A_\beta \geq 1.0$  Бк/л с учетом неопределенности измерений определяют радионуклидный состав гамма-спектрометрическим методом, рассчитывают по формуле (1) вклад каждого из измеренных радионуклидов в суммарную активность (табл. 3.5).

Если  $\sum_i (A_i / UB_i) \leq 1$ , то активность снежного покрова не превышает нормативных значений.

Если  $\sum_i (A_i / UB_i) \geq 1$ , то анализ пробы повторяется с большим количеством исходной пробы с целью снижения значения неопределенности измерений. Если результат измерения подтвердится, составляется Акт радиационного контроля и выясняются причины радиоактивного загрязнения.

4. При содержании природных и искусственных радионуклидов в талой воде или воды открытых водоемов вблизи питьевых источников, создающих эффективную дозу меньше 0.1 мЗв за год, не требуется проведения мероприятий по снижению её радиоактивности. Этому значению дозы при потреблении воды 2 кг в сутки соответствуют средние значения удельной активности за год (уровни вмешательства), приведенные в табл. 3.1. При совместном присутствии в талой воде нескольких радионуклидов должно выполняться условие (1).

Разработанный метод анализа снежного покрова (талой воды) и водных объектов как Методика выполнения измерений после ее апробации была аттестована в ЦМИИ ФГУП «ВНИИФТРИ» с выдачей Свидетельство МВИ № 40090.8А094-3 от 14.01.2008 г. (рис. 3.5). Метод был усовершенствован и дополнен в 2008-2013гг.

По разработанной методике были выполнены радиоэкологические исследования снежного покрова и воды в зоне влияния комплексных антропогенных факторов в урбанизированных промышленных районах (в рамках Интеграционного проекта с ИППЭС КНЦ РАН по радиационному мониторингу снежного покрова). Изучены радиационно-гигиенические характеристики снежного покрова и водных объектов в зонах влияния Кольской АЭС и пространственное распределение радиоактивности в снежном покрове и воде

за период 2006–2012 года (мониторинговые площадки ИППЭС по Мончегорскому градиенту и мониторинговые площадки ФГУЗ «ЦГиЭ» г. Апатиты, Кировска и Ковдорского района [22–27]).

<p>МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭНЕРГЕТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ</p> <p>ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ</p>	
	<p>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений</p> <p>«ЦЕНТР МЕТРОЛОГИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ»</p>
	
141570, п.о. Менделеево Солнечногорского р-на, Московской обл.	Тел.-факс: (095) 535-9305 E-mail: yarina@vniiftri.ru
<p><b>СВИДЕТЕЛЬСТВО № 40090.8A094-3</b> об аттестации МВИ</p> <p>Методика определения радиационно-гигиенических характеристик снежного покрова, разработанная ИХТРЭМС КНЦ РАН и изложенная в одноименном документе М ЛРК ИХ 2.6.1-08-2007, аттестована в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.594.</p> <p>Методика предназначена для использования в ЛРК ИХТРЭМС как дополнение к «Методике измерения активности радионуклидов в счетных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения «ПРОГРЕСС» и конкретизирует требования к пробоотбору, приготовлению счетных образцов для определения радионуклидного состава на гамма-спектрометре и суммарной удельной активности на альфа-бета-радиометрах «Прогресс-АБ» и УМФ-1500Д.</p> <p>При выполнении оговоренных условий методика обеспечивает контроль радиационно-гигиенических характеристик снежного покрова в соответствии с требованиями НРБ-99.</p> <p>Аттестация МВИ выполнена по результатам метрологической экспертизы материалов по разработке методики.</p>	
Дата аттестации: 14 января 2008 г.	
Руководитель ЦМИИ (НИО-4)	В.П. Ярына

Рис. 3.5. Свидетельство аттестации методики МВИ № 40090.8A094-3

Методика использовалась в практике лаборатории при радиоаналитическом анализе водных объектов Мурманской области (оз. Имандра, Ковдор, Чалмозеро, Космоозеро и другие озёра и реки северных и западных районов Кольского полуострова) [28–33], Карелии (оз. Падма) [34–37], озёра центральной части России (Валдая, Новгородская обл. (оз. Борое, Глубокое, Сенгелевское и др.) [38, 39] и другие.

### Список литературы

1. Методика измерения активности радионуклидов в счётных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения "ПРОГРЕСС" – М.: ГП "ВНИИФТРИ", 1999. – 27 с.
2. Программный комплекс «ПРОГРЕСС-2000» – М.: ГП «ВНИИФТРИ», 2002. – 63 с.
3. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Радиометр для измерения малых активностей УМФ-1500Д, ТО 4362-003-31867313-97, 1997. – 23 с.
4. Методика измерения суммарной альфа- и бета-активности водных проб с помощью альфа-бета радиометра УМФ-2000. – М.: НПП «Доза», 1999. – 11 с.
5. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Гигиенические нормативы: СанПин 2.6.1.2563-09 – М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
6. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): СП 2.6.1.2612-10. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2010. – 83 с.
7. Метрологическое обеспечение радиационного контроля. Основные положения. ГОСТ Р 8.638-2013. – Режим доступа: <https://www.consultant>
8. МИ 2453-2000 Рекомендация. Методики радиационного контроля. Общие требования. – М.: ФГУП ГНМЦ «ВНИИФТРИ», 2000. – 16 с.
9. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения. СП 2.6.1.1292-03 – М.: Минздрав России, 2003. – 12 с.
10. Железнова, Е. И. Радиометрические методы анализа естественных радиоактивных элементов. / Е. И. Железнова, И. Н. Шумилин, Б. Я. Юфа – М.: Недра, 1968. – 520 с.
11. Козлов, В. Ф. Справочник по радиационной безопасности / В. Ф. Козлов, 4-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 352 с.
12. Селинов, И. П. Изотопы. Справочные таблицы. / И. П. Селинов. В 2-х т. – М.: Наука, 1970. – Т. 2. – 624 с.
13. Голашвили, Т. В. Справочник нуклидов–2 / Т. В. Голашвили, В. П. Чечев, А. А. Лбов, В. М. Куприянов, А. П. Демидов // Под ред. В. Н. Михайлова – М.: ФГУП «ЦНИИАТОМИНФОРМ», 2002. – 348 с.
14. Методические рекомендации. Использование компьютеризованных гамма-, бета-спектрометрических комплексов с программным обеспечением «Прогресс» для испытаний проб продовольствия на соответствие требованиям критериев радиационной безопасности. НПП «Доза». – Москва, 1998. – 20 с.
15. Питьевая вода. Контроль качества. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.4.559-96 – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1996. – 26 с.
16. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». СанПиН 2.1.4.1974-01 – М.: Минздрав России. 2001. – 35 с.
17. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества. ГОСТ Р 51232-98. – Режим доступа: <https://www.consultant>
18. Махонько, К. П. Руководство по организации контроля состояния природной среды в районе расположения АЭС / К. П. Махонько – Ленинград, Гидрометеиздат, 1990. – 264 с.

19. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды / Под ред. А. Н. Мареев, А. С. Зыковой. – М.: Минздрав, 1980. – 350 с.
20. Ровинский, Ф. Я., Иохельсон С. Б., Юшкан Е. И. Методы анализа загрязнения окружающей среды. Токсические металлы и радионуклиды / Ф. Я. Ровинский, С. Б. Иохельсон, Е. И. Юшкан // под ред. Ф. Я. Ровинского – М.: Атомиздат, 1978. – 264 с.
21. Руководство по методам контроля за радиоактивностью окружающей среды / ред. И. А. Соболева, Е. Н. Беляева. – М.: Медицина, 2002. – 432с.
22. Радиоактивность снежного покрова и ее влияние на северные экосистемы / Н. А. Мельник, А. А. Райских, П. Н. Корнилов // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера: Материалы IV (XXVII) Международной конф. в 2-х ч., г. Вологда, 5–10 декабря 2005 г. – Вологда: УрОРАН, 2005. – Ч. 2. – С. 10–13.
23. Содержание радионуклидов в снежном покрове центральной части Кольского полуострова / Н. А. Мельник, Г. П. Аниховская, Л. Г. Исаева, В. А. Маслобоев // Современные экологические проблемы Севера (к 100-летию со дня рождения О. И. Семенова-Тян-Шанского): Материалы Международн. конф., г. Апатиты, 10-12 октября 2006 г. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2006. – ч. 1. – С. 91–94.
24. Радиационный мониторинг снежного покрова как индикатора распространения загрязнений / Н. А. Мельник // Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им И. В.Тананаева Кольского научного центра РАН, Апатиты, 2007. – 53 с., табл. 10. рис. 22, библи. – 48 назв., рус. – Деп. в ВИНТИ 31.07.2007 № 798-В-2007.
25. Определение естественных радионуклидов в объектах окружающей среды. /
26. Н. А. Мельник // Химия и технология переработки комплексного сырья Кольского полуострова: Тез. докл. Научной конф. ИХТРЭМС, 22—24 апреля 1996 г. Апатиты – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1996. – С. 126—127.
27. Радиационный мониторинг объектов природной среды. / Н. А. Мельник // Контроль и реабилитация окружающей среды: Материалы II-го Международного симпозиума (Под общей редакцией М. В. Кабанова, Н. П. Солдаткина). – Томск: Изд-во «Спектр» Института оптики атмосферы СО РАН, 2000. – С. 173–174.
28. Метрология и стандартизация методики определения радиоактивности природных вод / Т. Н. Филатова, Н. А. Мельник // Аналитика Сибири и Дальнего Востока: Тез. докл. Межд. конф., 11–16 октября 2004 г., Новосибирск – Новосибирск: СО РАН, 2004. – Т. 2. – С. 313.
29. Distribution of radionuclides (including Uranium) in lake sediments in the region of rare metals mining (Kovdor, Murmansk Region, Russia) / V. A. Dauvalter, N. A. Melnik, N. A. Kashulin // Environmental Pollution of the Uranium Mining Germany, 24-27 September, 2002. – pp. 154–159.
30. Распределение радионуклидов в открытых водоемах Кольского Севера / Н. А. Мельник, В. А. Даувальтер, В. А. Маслобоев / Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера: Тез докл. III (XXVI) Международной конф., 11–15 февраля 2003 г. Сыктывкар, Республика Коми, Россия – Сыктывкар, 2003. – С. 57, 147–148.
31. Оценка аккумуляции радионуклидов в водоемах юго-западного района Кольского полуострова / Н. А. Мельник, В. А. Даувальтер, В. А. Маслобоев

- // Переработка природного и техногенного сырья, содержащего редкие, благородные и цветные металлы: Сб. трудов науч. конф. ИХТРЭМС КНЦ РАН, Апатиты, 1 апреля 2003 г. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. – С. 86-88.
32. Features of distribution radionuclids in lakes of kola North / N. A. Melnik, V. A. Dauvalter, V. A. Masloboev // APHYS-2003: First International Meeting on Applied Physics, Badajoz (SPAIN), October 14-18<sup>th</sup> 2003. – R4-990.
  33. Радиационно-экологическое состояние водных систем в районе Ковдорского ГОКа / Н. А. Мельник, Е. В. Локатырь // Химия и химическая технология в XXI веке: Тез. докл. IV Всероссийской студенческой научно-практической конф., 11-12 мая 2004 г., Томск – Томск, Изд-во ТПИ, 2004. – С. 169–170.
  34. Комплексные радиоэкологические исследования природных экосистем Кольского севера / Н. А. Мельник // Современные экологические проблемы Севера (к 100-летию со дня рождения О. И. Семенова-Тян-Шанского): Материалы Международн. конф., г. Апатиты, 10-12 октября 2006 г. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2006. – ч. 2. – С. 28–30.
  35. Радиоэкология водных экосистем Карелии / Н. А. Мельник, А. А. Лукин, В. А. Маслобоев // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Материалы международной конф. в 2-х ч., 31 августа-3 сентября 2004 г., г. Апатиты – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. – ч. 1. – С. 155–157.
  36. Радионуклиды в природных системах (на примере Падмозера Республики Карелия) / Н. А. Мельник, А. А. Лукин // Biological Resources of the White Sea and Inland Water Bodies of the european North: Abstracts of International Conference, Syktyvkar, Komi Republic, Russia, 11–15 February, 2003 – Syktyvkar, 2003. – С. 58,148.
  37. Качество вод озера ПАДМОЗЕРО (республика Карелия) на основе состояния БИОТЫ / Л. П. Рыжков, А. А. Лукин, В. И. Кухарев, А. В. Рябинкин, Т. П. Куликова, Н. А. Мельник, Т. А. Чекръжева, И. М. Крупень // Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма / Под ред. Е. П. Иешко – Петрозаводск: Карельский научный центр, 2005. – 110 с. (гл. 11, С. 89–100.).
  38. Радионуклиды и микроэлементы в природных водах в зоне ураново-ванадиевого месторождения (Республика Карелия) / А. А. Лукин, Н. А. Мельник // Водные ресурсы. – 2006. – Т. 33, № 1. – С. 82–86.
  39. Радиоэкологическое состояние озера Борое / Н. В. Власюк, Н. А. Мельник // VIII Региональная научная конф.: Тез.докл., 14–15 апреля 2005 г., КФ ПетрГУ, г. Апатиты – Апатиты, КФ ПетрГУ, 2005. – ч. 2. – С. 63–64.
  40. Радиоэкологическое состояние водоемов центрального региона России / Н. А. Мельник и др. // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера: Материалы IV (XXVII) Международной конф. в 2-х ч., г. Вологда, 5 – 10 декабря 2005 г. – Вологда: УрО РАН, 2005. – Ч. 2. - С. 7–10.

### **3.2. МЕТОД РАДИОХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ И АЭРОЗОЛЕЙ**

Проведение радиационного мониторинга атмосферных осадков и аэрозолей осуществлялось в лаборатории радиационного контроля ИХТРЭМС КНЦ РАН, которая имеет аттестат аккредитации Госстандарта России и лицензии Госатомнадзора на право проведения работ с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений, а также в Апатитском Межрайонном

радиологическом отделе ГСЭН в течение 2000–2013 гг. По результатам исследований разработана методика МРК ЛРК2.6.1.-15-2009.

Метод разработана на основе требований нормативных документов по радиационному контролю. Исследуемые объекты анализируют в соответствии с нормативными требованиями [1–5].

### Назначение и применение

Определение радиоактивности оседающей пыли и атмосферных осадков проводится с целью определения величины осколочной активности, выпадающей на поверхность земли, а также для выявления загрязнителей атмосферного воздуха выбросами объектов, использующих радиоактивные вещества [6].

Активность проб витающей пыли, обработанной аспирационным методом, отражает в основном короткоживущую альфа- и бета-активность аэрозолей, которые состоят преимущественно из мелких частиц размером до 10 м. Эта активность указывает на содержание в воздухе главным образом продуктов распада радона и торона, а также некоторых других радиоактивных веществ [6, 7].

### Отбор и обработка проб атмосферных осадков и аэрозолей

#### 1. Отбор проб атмосферных осадков

1.1. На величину выпадающей активности значительное влияние оказывают аэродинамические условия отбора пробы, в связи с чем, пункты для отбора оседающей пыли должны быть постоянными.

Атмосферные осадки отбирались специальным пробоотборником представляющим собой кювету размером 50x50 см<sup>2</sup> установленную на расстоянии 1 м от земли, дно которой предварительно тщательно смазывается 3 мл глицерина. Кювета для отбора проб имеет борта и плоское дно (рис. 3.6). Для сбора атмосферных осадков оседающей пыли кювета устанавливается на сутки (или 3–8 суток) в точно определенное время (лучше утром).



Рис. 3.6. Установки Апатитского Радиологического отдела Роспотребнадзора для сбора атмосферных аэрозолей (слева) и осадков (справа)

1.2. При определении активности недельных выпадений (7 дней) кювету снимают, дно ее и внутренние борта тщательно протирают сухими марлевыми салфетками, а затем салфетками, смоченными в 2 М растворе азотной кислоты. Салфетки после обработки кюветы помещают в прокаленный и взвешенный фарфоровый тигель.

1.3. Попавшие в кювету за время экспозиции атмосферные осадки (дождь, снег) переносятся в фарфоровую чашку для выпаривания, а кюветы обрабатывают марлевыми салфетками, как было указано выше. Если в кювету попали листья, веточки, насекомые, то их промывают в небольшом количестве дистиллированной воды и удаляют, а воду после их промывания переливают в эту же фарфоровую чашку. Осадок после выпаривания переносят в фарфоровый тигель, а фарфоровую чашку протирают марлевыми салфетками, смоченными 2 М раствором азотной кислоты, которые помещают в тот же тигель.

1.4. Содержимое тигля сначала просушивают, пока не прекратится выделение пара, и сжигают на электрической плитке, а затем озоляют в муфельной печи в течение нескольких часов при температуре не выше 500 °С до получения белой или серо-белой золы.

После прокаливания тигель переносят в эксикатор и, охладив его, взвешивают на аналитических весах с точностью до третьего знака для определения веса золы.

Определенную навеску золы (200–300 мг) берут на круглую алюминиевую подложку для измерения суммарной удельной альфа- и бета-активности (рис. 3.7). Счет активности производят после снятия кюветы на третьи сутки (после распада радона).



Рис. 3.7. Счетные образцы атмосферных аэрозолей (слева) и осадков (справа) для определения суммарной удельной альфа- и бета-активности

## 2. Отбор проб атмосферных аэрозолей

2.1. На результаты отбора проб витающей пыли сильно влияют условия погоды и окружающая обстановка в отношении вихреобразования и ветровой тени, а также воздушная сепарация пыли. Поэтому пункты для отбора проб по определению радиоактивности витающей пыли в атмосферном воздухе населенных пунктов должны быть постоянными, а метеорологические условия следует фиксировать в Журналах наблюдения.

2.2. Атмосферные аэрозоли отбирались специальными пробоотборниками с фильтрами типа АФА-ВП (эффективность фильтрации 99 %, рис. 3.6) или тканью ФПП-15 (ткань Петрянова, рис. 3.8). Прокачка атмосферного воздуха через фильтры была объемом  $(53-60) \cdot 10^3 \text{ м}^3$ .

Во 2-м случае отбор проб воздуха для определения активности аэрозолей осуществляют с помощью специально собранной установки, состоящей из держателя для фильтров, газового счетчика и воздушного насоса.

Для крепления фильтра наиболее удобно применять фильтродержатели в виде воронки, а также любые фильтродержатели, обеспечивающие прочное крепление фильтра. Из ткани ФПП-15 вырезают круг по размеру отверстия держателя; фильтр слегка подпрессовывают через гладкую бумагу (рис. 3.8).

С обеих сторон к фильтру подклеивают картонные кольца шириной в 3 мм и толщиной не более 2 мм. Предварительно просчитанный на установках фильтр ватной стороной наружу укрепляют в фильтродержателе, который с помощью резиновой трубки соединяется с газовыми часами (счетчик) или реометром для определения объема прокаченного воздуха.

Фильтр укладывают в фильтродержатель и переносят на установку, придерживая не за ткань, а за бумажное кольцо.

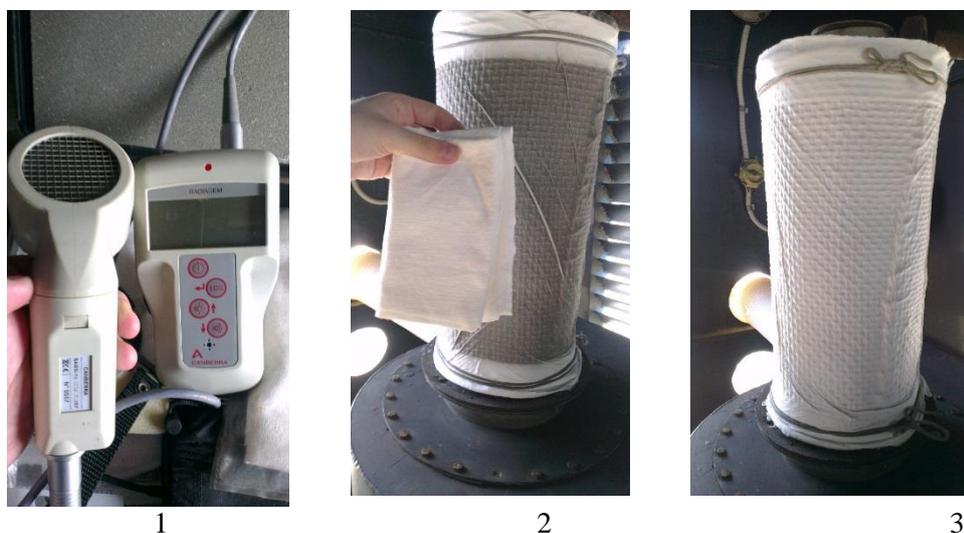


Рис. 3.8. Аппаратура для отбора проб воздуха на ФГПУ «Атомфлот»:

1 — контроль прокачки; 2 — фильтр-ткань и держатель;

3 — держатель с фильтрующей тканью

При отборе проб витающей пыли фильтродержатель укрепляют в горизонтальном положении на высоте не менее 1.5 м от земли и на расстоянии 10–15 м от окружающих сооружений. Объем отбираемой пробы воздуха должен быть не менее 2 м<sup>3</sup>.

2.3. После окончания отбора фильтры переносят в чашку Петри, где они и хранятся до начала измерений и в перерывах между ними. На крышках отмечают дату и время отбора или номер пробы (рис. 3.9).

Измерения активности фильтров проводят до аспирации воздуха для определения фоновой активности чистого фильтра и дважды после аспирации воздуха: первое — через 20 минут после аспирации воздуха в течение 5 минут сначала на альфа-, а потом на бета-активность (Кюри); второе измерение альфа-

и бета-активности – спустя 4 суток в течение 30 и 20 минут соответственно [7, 8] для определения продуктов распада радона.

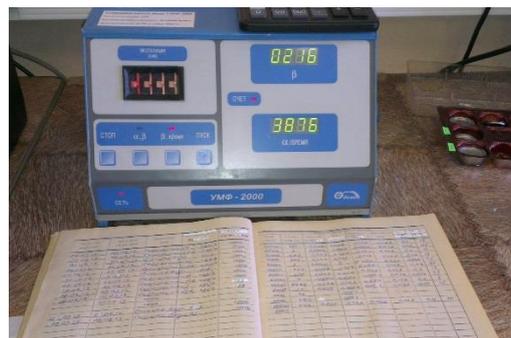
2.4. По найденной активности фильтров (Ки – Кюри, конечные результаты пересчитываются на Бк) и количеству профильтрованных через фильтр литров воздуха определяют концентрацию альфа- и бета-активности воздуха в Ки/л (Бк/л).

Концентрации альфа- и бета-активности в воздухе (Ки/л), полученные при первом измерении, выражают полные количества альфа- и бета-нуклидов в воздухе; полученные при втором измерении (Ки/л) выражают концентрации долгоживущих альфа- и бета-нуклидов.

Разности между концентрациями, полученными при первом и втором измерениях, выражают концентрации короткоживущих фракций альфа- и бета-нуклидов.



Подготовка проб для измерения



Радиометр УМФ-2000 и счетные образцы

Рис. 3.9. Аппаратура для радиационного контроля счетных образцов атмосферных аэрозолей и осадков

### **Средства измерений, вспомогательное оборудование, материалы и реактивы**

#### Приборы радиационного контроля

1. Альфа-бета-радиометр УМФ-2000 для определения суммарной удельной альфа-бета активности [7, 8] — установка с малым фоном за счет большой толщины свинцовой защиты измерительной камеры. Он предназначен для измерения:

- суммарной активности бета-излучающих нуклидов в счетных образцах из проб пищевых продуктов, почвы, воды; на воздушных фильтрах и сорбентах; в пробах, полученных после селективной радиохимической экстракции;
- суммарной активности альфа-излучающих нуклидов в толстых и тонких образцах проб объектов окружающей среды;
- установка используется для анализа проб низкой активности и небольшой массы (0.1–1 г).

Для контроля за правильностью работы установки используются контрольные источники: КА 53 – Pu –239, 238, 242; A = 25,6 Бк на 24.11.2000 г. (срок службы 10 лет), K40-97 Sr+Y(90); A = 50 Бк на 10.10.2000 г. (срок службы 10 лет).

Установка предназначена для работы в условиях температуры окружающего воздуха от +10 °С до +35 °С и относительной влажности до 80 %.

Средняя скорость счета фона по альфа-каналу: 0.0002 имп/с. Средняя скорость счета фона по бета-каналу: 0.017 имп/с. Скорость счета от контрольных источников измеряется в помеченном гнезде устройства подач. Скорость счета от контрольного источника № 107Д по бета-каналу: 4.8 имп/с. Скорость счета от контрольного источника № 107Д по альфа-каналу: 9.9 имп/с. Эффективность для Cs-137 в диапазоне масс 0.05-0.2 мг и площади 4 см<sup>2</sup>: 0.11; для Sr-90: 0.15 имп/с. Погрешность поверки 15 %.

2. Сцинтилляционный радиологический комплекс «ПРОГРЕСС-2000» — сертифицированный, поверенный комплекс, состоящий из альфа-бета-радиометров и гамма-спектрометра [9–11].

Для регистрации гамма-излучения от счетного образца используется гамма-спектрометрический тракт со сцинтилляционным блоком детектирования (СБД). Он включает в себя сцинтиллятор, ФЭУ с делителем высокого напряжения и спектрометрический усилитель импульсов. В качестве сцинтиллятора используется кристалл NaI(Tl) размером 63х63 мм. СБД располагается в измерительной камере из специального свинцового экрана для его защиты от внешнего излучения.

В качестве эталонов используется государственные и отраслевые стандартные образцы — ОСГИ, Sr-90, Pu-238 и др.

Для проведения калибровки гамма-спектрометра по энергии используется комбинированный точечный контрольный источник — Свидетельство № Д-55 (Cs-137+K-40), в специальном сосуде для его экспонирования – насыпная мера активности — Свидетельство № 420/70158 (Ra-226, Th-232, K-40) и др. Контрольный источник применяют для калибровки гамма-спектрометра по энергии и контроля за сохранностью параметров спектрометрической установки и радиометров. Погрешность определения ЕРН различными методами для доверительной вероятности 0.95 составила от 5 до 25 %.

Для экспонирования счетных образцов в зависимости от геометрической конфигурации сцинтилляционного кристалла применяются различные измерительные кюветы.

Для преобразования аналогового спектрометрического сигнала, поступающего с выхода детектора, в цифровой применяется амплитудно-цифровой преобразователь (АЦП), выполненный либо в виде платы, встроенной в ПК, либо в виде отдельного блока, подключенного к порту ПК. Управление работой АЦП производится при помощи специальных программ (драйверов), входящих в состав программного пакета ПРОГРЕСС.

Обработка спектров, расчет значений активности и погрешности производится на ПК с использованием программного пакета ПРОГРЕСС.

#### Вспомогательное оборудование:

- Установка для отбора проб атмосферных осадков.
- Установка для отбора проб атмосферных аэрозолей.

- Муфельная печь.
- Весы электронные с выборкой тары.
- Фарфоровые чашки.
- Фарфорофые тигли.
- Эксикатор.
- Алюминиевые подложки для измерения активности проб.
- Чашки Петри.

#### Материалы и реактивы:

- Фильтры Петрянова — ткань ФПП-15.
- Марлевые салфетки.
- Дистиллированная вода.
- Азотная кислота, хч.
- Глицерин.

#### **Порядок измерений**

1. Радиометрический метод. Измерение суммарной альфа- и бета-активности счетного образца выполняют при помощи радиометра малой активности УМФ-2000 (1997 г.). Эти измерения выполняются одновременно.

Подложку с пробой размещают в кюветодержателе прибора, проводят измерения активности при экспозиции 1000–3600 с. Все показания и расчеты записывают в Журнал регистрации анализа проб:

- дата поступления проб;
- наименование проб и их физико-химическая характеристика;
- паспортные данные (время отбора проб, акт отбора, название организации, должность и фамилия заказчика и т.д.);
- дата измерения;
- должность и фамилия исполнителя;
- температурные условия и др.

2. Гамма-спектрометрический метод. Измерения активности радионуклидов в счетных образцах выполняют на гамма-спектрометре радиологического комплекса «ПРОГРЕСС-2000». Измерения проводят в чашечке Петри. Время экспозиции — 1800-3600 с.

Методика гамма-спектрометрического анализа основана на регистрации сцинтилляционных спектров гамма-излучения, испускаемого веществом счетного образца, с последующей их обработкой на ПК. Основным итогом применения настоящей методики является определение значений активности гамма-излучающих радионуклидов в счетном образце и расчет погрешности каждого измерения.

Определяемые радионуклиды: Cs-137 (0.662 МэВ), Be-7 (0.477 МэВ), Th-232 (по Tl-208, Bi-212, Pb-212, Ac-228) и U-238(Ra-226) по Bi-214, Pb-212 (табл. 3.6, 3.7) [12,13].

Чашки Петри с пробой необходимо установить в измерительную камеру, выполнить измерение, записать полученные данные в Журнал.

Таблица 3.6

Ядерно-физические свойства определяемых радионуклидов [12, 13]

Нуклид	Период полураспада, $T_{1/2}$	Вид излучения	Энергия излучения, кэВ	Уровень вмешательства
$^7\text{Be}$	53.3 сут	$\gamma$	477.6	150
$^{137}\text{Cs}$	30 лет	$\beta$ $\gamma$	661.7	11
$^{226}\text{Ra}$	1600 лет	$\alpha$ $\gamma$	186.2	0.56
$^{232}\text{Th}$	$1.4\text{E}+10$ лет	$\alpha$ $\gamma$	140.8	0.60
$^{238}\text{U}$	$4.47\text{E}+9$ лет	$\alpha$ $\gamma$	49.6	3.1
$^{40}\text{K}$	$1.28\text{E}+9$ лет	$\beta$ $\gamma$	1460	22
$^{90}\text{Sr}$	29.1 лет	$\beta$	196	4.9

Таблица 3.7

Значения дозовых коэффициентов, пределов годового поступления с воздухом допустимой объемной активности во вдыхаемом воздухе отдельных радионуклидов для населения<sup>[1]</sup> [НРБ-99/2009, П]

Радионуклид	Период полураспада	Поступление с воздухом			
		критическая группа <sup>[2]</sup>	дозовый коэффициент,	предел годового поступления,	допустимая среднегодовая объемная активность,
РН	$T_{1/2}$	КГ	$\text{возд}_{\text{нас}},$ Зв/Бк	$\text{возд}_{\text{ПП}}\text{нас}$ Бк в год	$\text{ДОА}_{\text{нас}}$ Бк/м <sup>3</sup>
Be-7	53,3 сут	#4	9,6-11	1,0+7	2,0+3
K-40 <sup>[3]</sup>	$1,28+9$ лет	#2	1,7-8	5,9+4	3,1+1
Ra-226	$1,60+3$ лет	#5	4,5-6	2,2+2	3,0-2
Ra-228	5,75 лет	#5	4,4-6	2,3+2	3,1-2
Th-228	1,91 лет	#5	4,7-5	2,1+1	2,9-3
Th-232	$1,40+10$ лет	#6	2,5-5	4,0+1	4,9-3
Th-234	24,1 сут	#5	9,1-9	1,1+5	1,5+1
U-235	$7,04+8$ лет	#5	3,7-6	2,7+2	3,7-2
U-238	$4,47+9$ лет	#5	3,4-6	2,9+2	4,0-2

<sup>[1]</sup> За исключением случаев, отмеченных особо, регламентированные значения относятся ко всем возможным соединениям радионуклидов, поступающим в организм с воздухом, пищей и водой.

<sup>[2]</sup> Обозначение критических групп: #1 — новорожденные дети до 1 года; #2 — дети в возрасте 1–2 года; #3 — дети в возрасте 2–7 лет; #4 — дети в возрасте 7–12 лет; #5 — дети в возрасте 12–17 лет; #6 — взрослые (старше 17 лет).

<sup>[3]</sup> При поступлении изотопа  $^{40}\text{K}$  дополнительно к природной смеси изотопов калия.

### **Радиационная оценка**

Полученные данные по содержанию радионуклидов в атмосфере сравнить с нормами радиационной безопасности (табл. 3.6). При превышении нормативных значений техногенных радионуклидов информируют Роспотребнадзор и выясняют причину.

Статистическая и графическая обработка результатов проводится с помощью компьютерной программы Microsoft Office Excel.

Установлено, что на радиационный фон атмосферы большое влияние оказывают продукты распада урана и тория (радон, торон), техногенный Cs-137, Be-7.

Методика использовалась на практике в лаборатории и Радиологическом отделе Апатитского филиала Роспотребнадзора по Мурманской области при проведении совместных исследований с 1986 по 2013 гг. Результаты исследований атмосферы, выполненных по Грантам РФФИ-Север\_а (2002-2005), были представлены на различных конференциях [14-26]. Впервые было установлено, что в суммарную активность атмосферных осадков и аэрозолей значительный вклад вносит космогенный радионуклид Be-7. Установлено, что удельная активность его в атмосферных осадках и аэрозолях существенно зависит от событий на солнце [15, 17–20, 22]. Be-7, образующийся под действием космических лучей в стратосфере, как было установлено в работе [22], может быть использован в качестве трассера для изучения процессов обмена между стратосферой и тропосферой.

### **Список литературы**

1. Охрана природы. Атмосфера. Общие требования к отбору проб радиоактивных аэрозолей и паров йода из выбросов промышленных предприятий. ОСТ 95 10101-84. – Режим доступа: <https://www.consultant>
2. Охрана природы. Атмосфера. Общие требования к отбору проб радиоактивных аэрозолей из приземного слоя. ОСТ 95 10123-85. – Режим доступа: <https://www.consultant>
3. Охрана природы. Атмосфера. Отбор проб газоаэрозольных выбросов АЭС на содержание радионуклидов. Требования к условиям отбора проб. ОСТ 95 10171-86 – Режим доступа: <https://www.consultant>
4. Охрана природы. Атмосфера. Методы определения объемной активности альфа-излучающих нуклидов в выбросах промышленных предприятий. ОСТ 95 10360-89. – Режим доступа: <https://www.consultant>
5. Методические указания по отбору проб радиоактивных аэрозолей на атомных станциях. Требования к проектированию. МУ 34-70-119-85. – Режим доступа: <https://www.consultant>
6. Ровинский, Ф. Я. Методы анализа загрязнения окружающей среды. Токсические металлы и радионуклиды / Ф. Я. Ровинский, С. Б. Иохельсон, Е. И. Юшкан // под ред. Ф. Я. Ровинского. – М.: Атомиздат, 1978. – 264 с.
7. Рузер, Л. С. Радиоактивные аэрозоли. / Л. С. Рузер – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 230 с.
8. Руководство по методам контроля за радиоактивностью окружающей среды / ред. И. А. Соболева, Е. Н. Беляева. – М.: Медицина, 2002. – 432 с.
9. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Радиометр для измерения малых активностей УМФ-1500Д, ТО 4362-003-31867313-97, 1997. – 23 с.

10. Методика измерения активности радионуклидов в счётных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения "ПРОГРЕСС" – М.: ГП "ВНИИФТРИ", 1999. – 27 с.
11. Программный комплекс «ПРОГРЕСС-2000» – М.: ГП «ВНИИФТРИ», 2002. – 63 с.
12. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Гигиенические нормативы: СанПин 2.6.1.2563-09 – М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
13. Селинов, И. П. Изотопы. Справочные таблицы. В 2-х т./ Селинов, И. П. – М.: Наука, 1970. – Т. 2. – 624 с.
14. Радиационный мониторинг атмосферного радионуклида Be-7 в северных широтах / Н. А. Мельник, Э. В. Вашенюк, А. А. Райских // Экология и развитие Северо-Запада России: Сб. докл. VII Международной конф., 2–7 августа С-Петербурга – С-Пб.: МАНЭБ, 2002. – С. 398–402.
15. Cosmogenic Radionuclide Be-7 Variations in Auroral Latitudes in Connection with Cosmic Rays and Atmospheric Circulations. / E. V. Vashenyuk, N. A. Melnik, V. I. Demin // Physics of Auroral Phenomena (Физика авроральных явлений): Abstracts of XXVI Annual seminar, Apatity 25-28 февраля 2003 г., PGI KSC RAS – Апатиты, 2003. – С. 44.
16. Радиационный мониторинг бериллия-7 в атмосферных осадках и аэрозолях /
17. Н. А. Мельник, Э. В. Вашенюк, А. А. Райских // Переработка природного и техногенного сырья, содержащего редкие, благородные и цветные металлы: Сб. трудов науч. конф., ИХТРЭМС КНЦ РАН, Апатиты, 1 апреля 2003 г. – Апатиты, Изд-во КНЦ РАН, 2003. – С. 88–90.
18. Cosmogenic Radionuclide Be-7 Variations RELATED with Cosmic Rays and Atmospheric Circulations / E. V. Vashenyuk, N. A. Melnik, V. N. Demin, M. Yoshimori // Cosmic Ray: Abstracts of The 28 International Conference, Tokyo, Jponia, 20–24.07.2003. – R 190.
19. Radiation Monitoring of Cosmogenic radionuclide Be-7 in Northern Atmosphere / N. A. Melnik, E. V. Vashenyuk, P. N. Kornilov // APHYS-2003: First International Meeting on Applied Physics, Badajoz (SPAIN), October 14-18<sup>th</sup> 2003. – R4-988.
20. Cosmogenic Radionuclide Be-7 Variations Related with Cosmic Rays and Atmospheric Circulations / E. V. Vashenyuk, N. A. Melnik, V. N. Demin, M. Yoshimori // Physics of Auroral Phenomena, Proc. XXVI Annual seminar, Apatity, 2003. – Apatity, Kola Science Centre RAS, 2003. – pp. 169–172.
21. Variations of Concentration Be-7 Related with the Phenomenon of Solar Cosmic Rays in Stratosphera and on the ground-level / E. V. Vashenyuk, N. A. Melnik // Physics of Auroral Phenomena : Abstracts of XXVII Annual seminar (Apatity 2–5 March 2004). – Apatity : Kola Science Centre RAS, 2004. – P. 45.
22. Влияние природных факторов на содержание бериллия-7 в приземном слое / Н. А. Мельник [и др.] // Контроль и реабилитация окружающей среды: материалы IV Междунар. симп. (Томск, 21–23 июля 2004 г.). – Томск: ИОА, 2004. – С. 141–142.
23. Радиационный мониторинг естественных радионуклидов в северных широтах / Н. А. Мельник // Север-2003: Проблемы и решения – Апатиты, Изд-во Кольского научного центра РАН, 2004. – С. 77–89.
24. Уровни загрязнения атмосферного воздуха в центральной части Кольского полуострова / Н. А. Мельник, А. А. Райских, П. Н. Корнилов, В. А. Демин,

- Э. В. Вашенюк // Контроль и реабилитация окружающей среды: Материалы IV Международного симпозиума, Томск – 21-23 июля 2004 г. – Томск: ИОМ, 2004. – С. 94–96.
25. Влияние природных факторов на радиоактивность атмосферных осадков и аэрозолей в северных широтах / Н. А. Мельник, А. А. Райских, Э. В. Вашенюк, П. Н. Корнилов // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы II-й Международ. конф., 18-22 октября 2004 г., Томск – Томск: Тандем-Арт, 2004. – С. 377–379.
26. Анализ экологического состояния атмосферного воздуха г. Апатиты / Н. А. Мельник, А. А. Райских, В. А. Маслобоев // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Материалы международной конференции, 31 августа-3 сентября 2004 г., г. Апатиты – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. – Ч. 1. – С. 116–118.
27. Study of radiation composition, related with atmospheric precipitations / A. V. Germanenko, Yu. V. Balabin, E. V. Vashenyuk, N. A. Melnik, B. B. Gvozdevsky // The annual seminar “Physics of Auroral Phenomena”, Apatity, 1-4 March 2011 – Apatity: 2011. – P. 59.

### **3.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЧВЫ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**

Метод определения радиационно-гигиенических характеристик почвы (грунта) и донных отложений М ЛРК ИХ 2.6.1.-10-2007 разрабатывался в 2007–2008 гг., утвержден директором института в 2008 г. Методика аттестована ЦМНИИ ФГУП «ВНИИФТРИ» в качестве Методического дополнения к базовой Методике измерения активности радионуклидов в счетных образцах на радиологическом комплексе «Прогресс-АБРГ» с использованием программного обеспечения, Свидетельство аттестации МВИ № 40090.8A094-5 от 14.01.2008 г. (рис. 3.10, 3.11).

В 2009-2012 гг. внесены изменения и дополнения, связанные с нормативными документами, не влияющие на суть методики измерения. Методика содержит Приложения (образцы оформления результатов радиоаналитического анализа):

3.3-1 Ядерно-физические свойства радионуклидов.

3.3-2 Акт отбора проб.

3.3-3 Паспорт пробы.

3.3-4 Журнал радиационного контроля.

3.3-5 Протокол испытаний.

#### **Назначение и область применения**

Метод определения радиационно-гигиенических характеристик (РГХ) почвы (грунта) и донных отложений (ДО) предназначен для использования в аккредитованной лаборатории радиационного контроля (область аккредитации — ПРИЛОЖЕНИЕ 3, п.1 «Почва, грунт, донные отложения») [1, 2].

Метод определения радиационно-гигиенических характеристик (РГХ) почвы и донных отложений включает определение суммарной альфа-бета-активности и содержания природных ( $^7\text{Be}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ , и др.) и техногенных ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Mn}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и др.) радионуклидов на радиологическом комплексе «Прогресс-АБРГ» с использованием программного обеспечения.

Разработанная методика распространяется на пробы почвы (грунта) и донных отложений, устанавливает методы определения суммарной удельной альфа-бета-активности и радионуклидного состава в широком диапазоне концентраций в соответствии с НРБ-99/2009 [3].



Рис. 3.10. Титульный лист методики М ЛРК ИХ 2.6.1.-10-2007-2008

Радиационная оценка проводится в соответствии с требованиями Федеральных законов «О радиационной безопасности населения» (ФЗ № 3 от 09.01.1996 г.), «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (ФЗ № 52 от 30.03.1999 г.), «Об охране окружающей природной среды» (закон РСФСР от № 32060-1 от 19 дек. 1991 г.; ФЗ № 7 от 10 янв. 2002, в ред. от 26 июня 2007 г.), «Об обеспечении единства измерений» (ФЗ № 102 от 11 июня 2008 г.;

в ред. 02 дек. 2013 г. ФЗ № 338) и действующих Норм радиационной безопасности [3, 4] об ограничении облучения населения за счет природных и техногенных источников ионизирующего излучения.

Методическое дополнение составлено с учетом рекомендаций ГОСТ Р 8.594-2002, МИ 2453-2000, СП 2.6.1.1292-03 [5–7].

<b>МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭНЕРГЕТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ</b>	
<b>ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ</b>	
	<b>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений «ЦЕНТР МЕТРОЛОГИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ»</b>
	
141570, п.о. Менделеево Солнечногорского р-на, Московской обл.	Тел.-факс: (095) 535-9305 E-mail: yarina@vniiftri.ru
<b>СВИДЕТЕЛЬСТВО № 40090.8A094-5 об аттестации МВИ</b>	
<p>Методика определения радиационно-гигиенических характеристик почвы и донных осадков, разработанная ИХТРЭМС КНЦ РАН и изложенная в одноименном документе М ЛРК ИХ 2.6.1-10-2007, аттестована в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.594.</p> <p>Методика предназначена для использования в ЛРК ИХТРЭМС как дополнение к «Методике измерения активности радионуклидов в счетных образцах на сцинтиляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения «ПРОГРЕСС» и конкретизирует требования к пробоотбору, приготовлению счетных образцов для определения радионуклидного состава на гамма-спектрометре и суммарной удельной активности на альфа-бета-радиометрах «Прогресс-АБ» и УМФ-1500Д.</p> <p>При выполнении оговоренных условий методика обеспечивает контроль радиационно-гигиенических характеристик почвы и донных осадков в соответствии с требованиями НРБ-99 и гигиеническими нормативами.</p> <p>Аттестация МВИ выполнена по результатам метрологической экспертизы материалов по разработке методики.</p>	
Дата аттестации: 14 января 2008 г.	
Руководитель ЦМII (НИО-4)	<b>В.П. Ярына</b>

Рис. 3.11. Свидетельство аттестации методики МВИ 40090.8A094-5

### Термины и определения

*Эффективная удельная активность ЕРН* ( $A_{эфф}$ ) — суммарная удельная активность ЕРН в материале, определяемая с учетом их биологического воздействия на организм человека. Эффективную удельную активность ( $A_{эфф}$ ) рассчитывают по формуле (НРБ-99/2009, п. 5.3.4):

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1.3 A_{Th} + 0.09 A_K \text{ (Бк/кг)}, \quad (1)$$

где  $A_{Ra}$  и  $A_{Th}$  — удельные активности радия-226 и тория-232, находящихся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов;  $A_K$  — удельная активность К-40 (Бк/кг).

*Плотность загрязнения почвы техногенными радионуклидами (S)* — удельная радиоактивность почвы на определяемой площади, кБк/м<sup>2</sup> (Ки/км<sup>2</sup>).

*Мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МАЭД, в дальнейшем — мощности дозы гамма-излучения)* — доза внешнего гамма-излучения от содержащихся в почве радионуклидов за единицу времени; единицы измерения — Зв (Зиверт) и ее производные (мЗв/ч, мкЗв/ч).

*Радиационно-гигиенические характеристики (РГХ, Приложение 3.3-1)* — суммарная удельная альфа-активность ( $A_{\Sigma}$ , Бк/кг), суммарная удельная бета-активность ( $B_{\Sigma}$ , Бк/кг), концентрации естественных (природных) радионуклидов (ЕРН, мас. %); удельная радиоактивность (Бк/кг) наиболее радиотоксичных нуклидов рядов урана-238 и тория-232; удельная активность техногенных радионуклидов (ТРН, Бк/кг); эффективная удельная активность ( $A_{эфф}$ , Бк/кг); МАЭД (мкЗв/ч).

### **Принцип контроля**

1. Определение РГХ почвы (донных отложений) включает определение удельной активности радионуклидов <sup>7</sup>Ве, <sup>40</sup>К, <sup>137</sup>Сs, <sup>226</sup>Ра, <sup>232</sup>Th и др. гамма-спектрометрическим и <sup>90</sup>Sr радиометрическим методами; суммарной удельной активности альфа-бета-радионуклидов воздушно-сухих или высушенных при температуре  $100 \pm 5$  °С проб почвы или донных отложений (ДО) на радиологическом комплексе «Прогресс-АБРГ».

Измерение мощности дозы гамма-излучения на поверхности образцов проводят с помощью дозиметра (ДРГ-01Т, МКС-04Н) для входного контроля материала (превышение МАЭД 0.25 мкЗв/ч), который обеспечивает радиационно-безопасное проведение работ и используется для выбора времени экспозиции при выполнении измерений.

2. Согласно базовой Методики [1] определение радионуклидного состава гамма-спектрометрическим методом выполняют в зависимости от состояния радиоактивного равновесия в режиме «равновесные ЕРН» (пробы почвы или ДО без технологической обработки) или режиме «нестандартные измерения, неравновесные ЕРН». В 1-м случае определение удельной радиоактивности <sup>226</sup>Ра и <sup>232</sup>Th, находящихся в состоянии радиоактивного равновесия с дочерними продуктами распада, проводят матричным способом обработки сцинтилляционных гамма-спектров в энергетических интервалах (кэВ): 380 ÷ 520 ÷ 630 ÷ 720 ÷ 800 ÷ 1300 ÷ 1600 ÷ 1950 ÷ 2800 в основном по энергетическим линиям <sup>226</sup>Ра, <sup>212,214</sup>Pb и <sup>228</sup>Ac, так как максимальное выделение излучений для равновесных ториевых образцов наблюдается в линиях тория-С'', тория-В и мезотория (MsTh<sub>2</sub>), для урановых образцов – уран-Х<sub>1</sub>, радий-В, радий-С [8–11].

Оптимальные энергетические интервалы измерений выбраны по спектрам гамма-излучения эталонной насыпной меры активности ЕРН и ГСО почвы (СОРН-ФП) и донных отложений (БИЛ-1).

Во 2-м случае исследуемые пробы герметизируют в измеряемом сосуде и перед повторным измерением выдерживают в течение 1–30 суток. Обработку сцинтилляционных гамма-спектров выполняют генераторным способом, который позволяет определять любой радионуклидный состав по соответствующей линии гамма-излучения ( $E_\gamma$ ). Для определения радия этим способом используют его энергетическую линию 350 кэВ (фотопик RaВ), для определения тория – энергетическую линию 240 кэВ (фотопик ThВ), для калия — 40–1461 кэВ, уран определяют по энергетической линии  $^{234}\text{Pa}$  — 1000 кэВ (фотопик IX<sub>2</sub>), с которым он почти всегда находится в равновесии.

Определение удельной радиоактивности (Бк/кг)  $^{40}\text{K}$  в обоих случаях проводят по энергетической линии  $E_\gamma = 1461$  кэВ.

3. Регистрацию излучения и обработку спектров, полученных на гамма-спектрометре, расчет значений удельной и эффективной удельной активности, погрешности измерений проводят с использованием программно-аппаратурного комплекса «ПРОГРЕСС».

Определение эффективной удельной активности исследуемого материала и его соответствия нормативным требованиям выполняют по формуле (1). Для проб, содержащих техногенные радионуклиды, расчет  $A_{\text{эфф}}$  необходимо проводить по формуле (2) [12]:

$$A_{\text{эфф}} = A_{\text{Ra}} + 1.3 A_{\text{Th}} + 0.09 A_{\text{K}} + 0.32 A_{\text{Cs}} \text{ (Бк/кг)}, \quad (2)$$

где  $A_{\text{Cs}}$  — удельная активность цезия-137.

4. Неопределенность определения радионуклидов гамма-спектрометрическим методом при доверительной вероятности (Р) 0.95 может достигать 60–80 % в зависимости от концентрации радионуклидов, геометрии измерения и экспозиции.

5. Методика обеспечивает определение суммарной альфа-бета-активности проб почвы и ДО на сцинтилляционных радиометрах «Прогресс-АБ» или малофоновом альфа-бета-радиометре УМФ-1500Д [13] с полной (суммарной) неопределенностью 15–25 % при доверительной вероятности 0.95.

Статистическая обработка результатов проводится с помощью программы Microsoft Excel.

### **Средства измерений, вспомогательное оборудование, материалы и реактивы**

1. Для определения РГХ применяется радиологический комплекс «Прогресс-АБРГ», в состав которого входит гамма-спектрометрическая установка и сцинтилляционные альфа-бета-радиометры «Прогресс-АБ», альфа-бета-радиометр УМФ-1500Д.

*Альфа-бета-радиометр УМФ-1500Д* — установка с малым фоном за счет большой толщины свинцовой защиты измерительной камеры, предназначен для измерения:

- суммарной активности бета-излучающих нуклидов в счетных образцах;
- суммарной активности альфа-излучающих нуклидов в толстых и тонких образцах проб объектов окружающей среды;
- установка используется для анализа проб низкой активности и небольшой массы (0.1–1 г).

Метрологические параметры альфа-бета радиометра УМФ-1500Д должны соответствовать следующим значениям:

- средняя скорость счета фона по альфа-каналу: 0.0002 имп/с;
- средняя скорость счета фона по бета-каналу: 0.017 имп/с;
- скорости счета от контрольного источника № 107Д в помеченном гнезде устройства подачи: по бета-каналу: 4.8 имп/с; по альфа-каналу: 9.9 имп/с;
- в диапазоне масс 0.05–0.2 мг и площади 4 см<sup>2</sup> эффективность регистрации для Cs-137 – 0.11 имп/(с · Бк); для Sr-90 – 0.15 имп./(с · Бк).

Неопределенность измерения суммарной активности в диапазоне  $(0.01 \div 10^4)$  Бк – 15–30 %.

Радиологический комплекс «Прогресс-АБРГ». Значение чувствительности для каждого из указанных радионуклидов и системы измерительных энергетических интервалов получены при градуировке установок (каналов А, Б, Г) с использованием эталонов активности и введены в программу расчета «ПРОГРЕСС» на ПЭВМ. Погрешность градуировки не превышает 10 % ( $P=0.95$ ).

Сцинтилляционный альфа-радиометр «Прогресс-А» имеет следующие технические характеристики:

Энергетический диапазон работы: по альфа-тракту (400 ÷ 9000) кэВ. Активность контрольных источников: U (природный) — 33.3 Бк ± 15 %. Минимальная измеряемая активность составляет: по альфа-тракту — 0.18 Бк/г на счетный образец.

Аттестованные геометрии по альфа-тракту:

- «толстый» слой под пленкой,
- порошок без пленки,
- «тонкий источник».

Неопределенность измерения суммарной альфа-активности в «толстослойных» счетных образцах в диапазоне  $(0.18 \div 10^6)$  Бк/г составляет  $(60 \div 10)\%$ .

Неопределенность измерения суммарной альфа-активности в «тонкослойных» счетных образцах в диапазоне  $(0.01 \div 10^4)$  Бк/г составляет  $(60 \div 10)\%$ .

Сцинтилляционный бета-радиометр «Прогресс-Б» имеет следующие технические характеристики:

Энергетический диапазон работы по бета-тракту (250÷3000) кэВ. Аттестованная геометрия по бета-тракту — штатная кювета, диаметр 70 мм. Активность контрольного источника Sr-90 — 1.5 кБк ± 30 %. Контрольная скорость счета: по бета-тракту от источника Sr-90+Y-90 № 168 в интервале  $(250 \div 500)$  кэВ — 270 с<sup>-1</sup>.

Минимальная измеряемая активность составляет по бета-тракту — 1.4 Бк Sr(Y)-90 на счетный образец; фоновая неопределенность измерения нулевой активности радионуклидов составляет 0.7 Бк Sr(Y)-90 на счетный образец.

Неопределенность измерения активности радионуклида Sr-90 в диапазоне  $(1.4 \div 1000)$  Бк составляет  $(10 \div 60)$  %.

Гамма-спектрометр имеет следующие технические характеристики:

- Диапазон энергии регистрируемого гамма-излучения от 100 до 3000 кэВ.
- Минимальная измеряемая активность за время измерения 1 час в геометрии «Маринелли»: <sup>137</sup>Cs – 3 Бк, <sup>226</sup>Ra – 8 Бк, <sup>232</sup>Th – 7 Бк, <sup>40</sup>K – 40 Бк; в геометрии «Петри»: <sup>137</sup>Cs – 3 Бк, <sup>226</sup>Ra – 6 Бк, <sup>232</sup>Th – 5 Бк, <sup>40</sup>K – 80 Бк.
- Энергетическое разрешение по линии 662 кэВ — не более 8 %.

- Контрольная скорость счета от калибровочного источника № Д-55 ( $^{137}\text{Cs}+^{40}\text{K}$ ;  $A_{\text{Cs}137} = 1000$  Бк/кг) в диапазоне 600-720 кэВ равна 78 отсчет/с  $\pm 10$  %.

- Неопределенность измерения активности радионуклида Cs-137 в диапазоне (3÷1000) Бк составляет (60÷10) %.

2. Входной контроль исследуемых материалов проводится с помощью радиометров и дозиметров типа ДРГ-01Т, МКС-04Н. Неопределенность измерения МЭД оценивается с применением коэффициентов 0.3 для радиометра МКС-04Н и 0.4 — для дозиметра ДРГ-01Т1.

3. Для определения массы проб и счетных образцов используются:

- весы электронные НЛ-2000 с выборкой тары на 2 кг, погрешность — 1 г.

- весы лабораторные типа ВЛР-200 (2 класс, погрешность — 0.5 г) или WA-33 (максимальная масса — 200 г, погрешность — 0.01 г), ГОСТ 24104-88 Е.

4. Для калибровки гамма-спектрометра по энергии и контроля за сохранностью параметров спектрометрической установки и радиометров применяют:

- комплект аттестованных мер (стандартных образцов) удельной активности ЕРН - Государственные стандартные образцы (ГСО) — ОСГИ, СГ-4-1-2А, БИЛ-1 (донные отложения), СОРН-ФП (почва);

- контрольные источники (КИ): точечный источник — Свидетельство № Д-55 ( $^{137}\text{Cs}+^{40}\text{K}$ ); КА 53 на основе Pu-239, 238, 242; A = 25.6 Бк; К-40; на основе  $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$  – A = 50 Бк; насыпная мера активности — Свидетельство № 420/70158 ( $^{226}\text{Ra} + ^{232}\text{Th} + ^{40}\text{K}$ );

- препарат калия хлористого и др.

Не допускается использование КИ и ГСО с истекшим сроком службы.

5. Применяемые средства измерений подлежат поверке в установленном порядке.

#### Вспомогательное оборудование:

- Пробоотборник для отбора проб почвы (специальные лопатки, совки разного размера).

- Дночерпатель Экмана — для отбора проб ДО без разделения на слои.

- Отборник ДО - плексигласовая колонка-отборник (внутренний диаметр 44 мм) открытого гравитационного типа с автоматически закрывающейся диафрагмой, изготовлен по образцу, разработанному Скогхеймом, позволяет транспортировать колонки в лабораторию и разделять ДО на слои по 1 см.

- Сушильный шкаф, СНОЛ-3.5.

- Лампа «Соллюкс».

- Фарфоровые чашки, емкость — 100–500 мл.

- Шпатели и лопатки (пластмассовые и металлические).

- Полиэтиленовые пакеты.

- Эмалированные или пластмассовые поддоны разных размеров.

- Набор контейнеров установленного объема с крышками для анализа исследуемого материала гамма-спектрометрическим методом — сосуды Маринелли, емкость 1 л; чашки «Петри», диаметр 80 мм, глубина — 1 см (емкость 75 мл).

- Набор мишеней из алюминия для анализа исследуемого материала радиометрическим методом по альфа-бета-излучению — диаметр 70 мм, глубина — 1 см и диаметр 30 мм, глубина — 1 мм.

#### Реактивы, материалы:

- Вода дистиллированная.
- Деактивирующие растворы и реагенты (ОП-7, порошок «Защита», растворы борной и щавелевой кислот, калия марганцовокислого, этилендиаминтетрауксусной кислоты и др.) для деактивации мишеней.
- Калий хлористый, хч.
- Спирт ректификационный.
- Протирачный материал (бязь, вата, марля, фланель).

*Примечание.* Допускается применение других вспомогательных устройств, материалов и реактивов, в том числе импортных.

#### **Отбор проб и подготовка счетных образцов**

##### **1. Методика отбора проб почвы и ДО**

1.1. Для радиационного мониторинга проб почвы обычно отбирают один раз в год или по мере необходимости преимущественно в летний период с различных горизонтов, разных типов почв с учетом задачи исследования и различных характеристик мест отбора, требований заказчика.

Перед отбором пробы на исследуемой точке очистить почву от травяного или иного покрова, затем выкопать шурф необходимой глубины (обычно до 10–20 см в зависимости от рельефа местности и задач проводимых исследований (“на глубину лопаты”), отобрать полный (рис. 3.12) или послойный (см) керн почвы в зависимости от задачи исследования.



Рис. 3.12. Отбор пробы почвы в полевых условиях

Отбор проб на исследуемой территории (площади, рис. 3.13) осуществляется методом «конверта», объединить и усреднить пробы. Усреднение достигается объединением пяти образцов, отбираемых в центре и по углам квадрата со стороной 10 м на требуемой глубине методом «конверта» [14–18]. При выемке каждого образца его очищают от примесей — корней растений, посторонних предметов, крупных камней и т.п. Составить Акт отбора или заполнить Паспорт пробы (Приложение 3.3-2 к МВИ).

Пробы поместить в полиэтиленовый пакет, промаркировать и направить в лабораторию.



Карелия, Водлозерский блок



Хибинский горный массив,  
на берегу оз. Кумужье

Рис. 3.13. Отбор проб почвы на разных участках (лесная и песчаная почвы)

1.2. Образцы донных отложений (в виде илистых, песчаных или глинистых осадков) отбирают колонкой-отборником открытого гравитационного типа с автоматически закрывающейся диафрагмой. В лабораторных условиях пробы ДО необходимо разделить на слои по 1 см, поместить в предварительно вымытую кислотой полиэтиленовую посуду и отправить на дальнейшую пробоподготовку.

Отбор проб ДО без деления на слои осуществляют специальным дночерпателем Экмана. В этом случае весь объем отобранной пробы сразу переносят в полиэтиленовые пакеты или посуду, маркируют их и анализируют аналогичным способом.

1.3. Отбор проб почвы (грунта) и ДО осуществляет, как правило, заказчик на пробных площадях. Пробы поставляют в лабораторию вместе с сопроводительными документами (акты, паспорта и др.), в которых подробно указываются условия отбора проб, характеристика места отбора и пробы (Приложение 3.3-2 к МВИ).

1.4. Определение МАЭД выполняется при отборе проб на месте и в условиях лаборатории перед пробоподготовкой.

В 1-м случае необходимо выполнить измерения МАЭД гамма-излучения (мкЗв/ч) на высоте 1 м и 2-5 см от поверхности почвы записать результаты измерений в Акт отбора проб почвы (Приложение 3.3-2 к МВИ).

Во 2-м случае – измерение МАЭД гамма-излучения (мкЗв/ч) выполняется на поверхности упакованных проб, результаты регистрируются в Журнале радиационного контроля, вносятся в Протокол испытаний (Приложение 3.3-4 к МВИ).

## 2. Подготовка проб к анализу

Отобранные пробы перенести на поддоны (почва) или фарфоровые чашки (ДО) и выполнить пробоподготовку в следующем порядке (рис. 3.14):

- а) определить массу сырых (влажных) проб;

- б) выполнить предварительную сушку проб, содержащих большое количество влаги, на воздухе в течение 3-8 дней;
- в) очистить почву от дерна;
- г) высушить пробы на воздухе или в сушильном шкафу при температуре  $100\pm 5^\circ\text{C}$  в течение 1-2 суток;
- д) определить массу сухого остатка проб;
- ж) определить влажность проб;
- з) выполнить подготовку счетных образцов по аттестованной методике [1].



Сушка пробы в сушильном шкафу. Сортировка, отбор усредненной пробы, входной контроль

Рис. 3.14. Подготовка проб почвы для анализа

Пробы сушат при постоянном перемешивании, чтобы избежать комкования и отвердения, при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния. Затем массу воздушно-сухой пробы взвешивают на весах типа НЛ-2000 или аналитических весах в зависимости от количества пробы.

При большом количестве влаги в пробах и необходимости определения влажности пробы следует сушить в сушильных шкафах при температуре  $100\pm 5^\circ\text{C}$  до постоянного веса.

Пробы ДО сушат при постоянном перемешивании под лампой Соллюкс до полного выпаривания влаги.

### 3. Подготовка счетных образцов

3.1. Каждую исследуемую пробу тщательно перемешать шпателем, отобрать необходимую навеску пробы и поместить ее в предварительно взвешенную кювету (сосуд Маринелли, чашку Петри, кюветы-мишени требуемого размера), определить массу отобранной пробы (взвешивание на весах с автоматической выборкой тары типа НЛ-2000) и анализировать соответствующим методом.

3.2. Для правильной подготовки счетных образцов при определении суммарной альфа- и бета активности ДО или почвы отбирают в фарфоровую ступку часть усредненной пробы (1–5 г) и тщательно растирают до состояния «пудры». Определенную навеску (1–2 г) подготовленной пробы помещают

в измерительные кюветы, заполняя их точно до уровня, указанного в Методике выполнения измерений (МИ, 1996), добиваясь равномерного ее распределения.

При этом способе подготовки счетные образцы в виде тонкорастертого порошка помещают для измерения в специальные алюминиевые кюветы диаметром 73 мм, добиваясь равномерного распределения и толщины слоя, затем определяют массу счетного образца на весах с выборкой тары. Погрешность пробоподготовки в этом случае снижается.

3.3. Подготовка счетных образцов для измерения на УМФ-1500Д выполняют следующим образом:

- отобрать необходимую навеску по 0.1–0.5 г для мишени диаметром 30÷40 и глубиной 1÷5 мм,
- взвесить ее на аналитических весах,
- количественно перенести навеску счетного образца на мишень (кювету) нужной размерности,
- разравнять поверхность металлическим или пластмассовым шпателем таким образом, чтобы поверхность пробы была гладкой, на краях мишени не было частичек пробы.

Все операции выполнять на кальке и поддоне. Для равномерного распределения пробы на мишени, особенно при небольшом ее количестве, пробу необходимо обработать непосредственно на мишени несколько раз спиртом (объемом от 0.5 до 2 мл) и высушить под инфракрасной лампой Соллюкс.

Все работы по подготовке проб к измерению, расфасовку их в измерительные кюветы, чашечки и т.п. проводить в вытяжном шкафу.

Полученные счетные образцы измеряют на УМФ-1500Д или радиологическом комплексе «Прогресс-АБРГ». В рабочем журнале фиксируют номер анализируемой пробы и номер мишени, исходную массу пробы, массу сухого остатка в измерительной мишени (Приложение 3.3-3 к МВИ). Расчет активности производят в Бк/кг.

Аналогично проводятся по этой методике отбор и подготовка проб грунта и донных отложений. Донные отложения отбираются дночерпателем.

После проведения измерений емкости с пробами освободить и подвергнуть дезактивации с помощью дезактивирующих средств согласно «Инструкции по работе с радиоактивными веществами» (ПРИЛОЖЕНИЕ 2).

### **Условия выполнения измерений**

Определение РГХ почвы и ДО осуществляется в лабораторных условиях при температуре воздуха в помещении  $23\pm 3$  °С и относительной влажности  $60\pm 15$  %; напряжении питания сети (220+22/-33) В; частота питающей сети ( $50\pm 1$ ) Гц.

### **Порядок выполнения измерений**

1. Выполнить входной радиационный контроль почвы или ДО — измерить мощность дозы на поверхности проб и провести сортировку их в зависимости от значения МАЭД:

1-я группа проб – МАЭД на поверхности пробы  $\leq 0.25$  мкЗв/ч,

2-я группа проб – МАЭД на поверхности пробы  $> 0.25$  мкЗв/ч.

В первую очередь анализируют пробы 1-й группы, чтобы не повышался фон установки.

2. Измерение альфа- и бета-излучений от счетного образца на радиометре УМФ-1500Д (2000) или «Прогресс-АБ» выполняют одновременно. Подготовка радиометров к работе выполняют в соответствии с инструкциями по эксплуатации [1, 2, 13]:

– выполнить калибровку СИ с использованием соответствующих контрольных источников (КИ, см. п.3.4),

– измерить фон установки с подложкой при экспозиции 1000–3600 с: фиксируется время измерения (экспозиции), счет по альфа- и бета-каналам при измерении контрольных источников, фона и счетных образцов.

Время измерения счетных образцов 1-й группы — 1000–5400 с, для 2-й группы проб — 300–600 с.

3. Измерения на УМФ-1500 Д проводят в режиме «альфа-бета»:

– проверить фоновые скорости счета (с подложкой) установки, время экспозиции — от 100 до 3000 с;

– измерить скорость счета от КИ альфа- (А) и бета-(Б)-излучений, время экспозиции — 100 с.;

– поместить мишень с пробой в измерительную камеру бета-альфа радиометра, установить необходимую экспозицию (100–1000 с) и измерить скорость счета альфа- или бета-излучения от пробы 3–5 раз;

– записать показания прибора в Журнал регистрации анализа проб (Приложение 3.3-4);

– рассчитать среднее значение скорости счета пробы ( $N_{пр,А,Б} = \sum N/k$ , где  $N_{пр}$  — скорости счета пробы за время  $T$ , имп./с;  $k$  — количество измерений;  $\sum N$  — сумма показаний скорости счета для  $k$ -измерений за  $T$ , имп/с для каждого вида излучения).

Аналогично измерить скорость счета альфа-бета-излучения от эталонного источника — СГ-1А, БИЛ-1 (донные отложения), СОРН-ФП (почва) и др., с известным содержанием радионуклидов или активности и рассчитать среднее значение скорости счета эталона по каждому виду излучения (имп/с).

#### Обработка результатов измерений

Метод измерения – относительный, условия измерения пробы и эталона одинаковые (геометрия измерения, размер мишени, навески проб и эталона, время измерения – экспозиция).

Активность альфа-бета-активных веществ в исследуемой пробе рассчитывается по формуле:

$$A_1 = (N_{пр} - N_{\phi}) \times G / (N_{эт} - N_{\phi}), \quad (3)$$

где  $A_1$  — активность исследуемой пробы, Бк;  $G_{А,Б}$  — известная активность эталона, Бк;  $N_{\phi}$  — скорость счета импульсов фона, имп/с;  $N_{эт}$  — скорость счета импульсов эталона за время  $T$ , имп/с;  $N_{пр}$  — скорости счета импульсов пробы за время  $T$ , имп/с.

Затем по формуле (4) рассчитывается суммарная удельная альфа-бета-активность исследуемой пробы:

$$A_2 = 1000 A_1/m, \quad (4)$$

где  $A_2$  — удельная активность исследуемой пробы, Бк/кг;  $m$  — пробы, г; 1000 — пересчетный коэффициент.

4. Подготовить гамма-устройство радиологического комплекса «Прогресс» к измерениям согласно аттестованной базовой Методики [1]:

– выполнить калибровку установки по энергии (перед каждым измерением активности или фона), измерить фон (один раз в день, экспозиция — 3600 с),

– установить подготовленный счетный образец исследуемого материала (сосуд Маринелли или чашка Петри в зависимости от количества исследуемой пробы) в измерительную камеру,

– выполнить по заданному алгоритму измерение активности счетного образца (экспозиция — 1000–5400 с).

В процессе измерения программа автоматически проводит обработку спектрограммы в соответствии с выбранным алгоритмом базовой Методики («равновесные ЕРН и Cs-137», «нестандартные измерения») и заносит результаты в журнал. После окончания измерения счетного образца оформляют Протокол испытаний (Приложение 3.3-5 к МВИ).

Для проб, взятых с одного участка, после измерения 3–5 счетных образцов по программе Excel или Statistica 6.0. выполняется статистическая обработка результатов определения РГХ: расчет средних значений результатов измерений и других метрологических показателей (стандартное отклонение, дисперсия выборки, коэффициент вариации и др.). Полученные результаты оформляются в Протоколе испытаний по определению удельной активности техногенных и природных радионуклидов.

### **Форма представления результатов**

1. За результат принимают среднее значение РГХ по 3–5 измерениям с учетом оценки неопределенности измерений.

2. В качестве результата исследуемого материала для принятия решений принимают значение:  $R = R_{\text{изм}} \pm U$ , где  $R$  — значение контролируемого радиационного параметра;  $R_{\text{изм}}$  — среднее значение измеряемого радиационного параметра;  $U$  — неопределенность результата измерений.

Оценку содержания естественных и техногенных радионуклидов осуществляют путем сравнения  $R$  с нормативами — минимально значимой удельной активностью (МЗУА; НРБ-99/2009, П4), эффективной удельной активностью (НРБ-99/2009, п. 5.3.4.), критерием радиоактивного загрязнения почвы [3, 4].

3. По результатам измерений оформляется Акт радиационного контроля, в который вносят все определяемые радиационные показатели. Формы документов установлены в «Руководстве по качеству испытаний РЛРК». Результаты могут быть использованы при санитарно-эпидемиологической оценке качества почвы [19].

4. При содержании природных и искусственных радионуклидов в почве менее МЗУА не требуется проведения мероприятий по снижению её радиоактивности. Проживание и хозяйственная деятельность населения на этой территории по радиационному фактору не ограничивается. Эта территория не относится к зонам радиоактивного загрязнения (НРБ-99/2009, П4).

5. При необходимости (по требованию заказчика или в связи с радиационной аварией на исследуемой территории) определяют плотность загрязнения почвы техногенными радионуклидами ( $\text{кБк}/\text{м}^2$  или  $\text{Ки}/\text{км}^2$ ) с учетом площади и глубины отбора пробы почвы и размера счетного образца. Результат удельной активности, выраженный в  $\text{Бк}/\text{кг}$ , пересчитывают по программе «Прогресс» в единицы  $\text{Ки}/\text{км}^2$ .

При плотности загрязнения почвы техногенными радионуклидами более  $37 \text{ кБк}/\text{м}^2$  ( $37 \text{ кБк}/\text{м}^2 = 1 \text{ Ки}/\text{км}^2$ ) почва считается загрязненной. О случаях повышенного загрязнения почвы сообщают в органы санитарного надзора и администрацию населенного пункта, на территории которого обнаружено радиоактивное загрязнение.

При значительном радиоактивном загрязнении почвы (более  $370 \text{ кБк}/\text{м}^2$ ) принимается решение уполномоченными органами об ее дезактивации или о переселении населения.

Таблица. Ядерно-физические характеристики  
наиболее часто определяемых радионуклидов [3, 8–11]

Радионуклид		Период полураспада, $T_{1/2}$	Вид излучения	Энергия излучения, КэВ	МЗУА, Бк/г
название	обозначение				
1	2	3	4	5	6
Тритий-3	$^3\text{H}$	12.3 лет	$\beta/\gamma$		1 E+09
Бериллий-7	$^7\text{Be}$	53.3 сут.	$\gamma$	477.6	1 E+03
Натрий-22	$^{22}\text{Na}$	2.60 лет	$\gamma$	1274.5	1 E+01
Калий-40	$^{40}\text{K}$	$1.28 \cdot 10^9$ лет	$\beta$ $\gamma$	1314 1461	1 E+02
Марганец-54	$^{54}\text{Mn}$	312 сут.	$\gamma$	834.8	1 E+01
Кобальт-60	$^{60}\text{Co}$	5.27 лет	$\gamma$	1332.5	1 E+01
Стронций-90	$^{90}\text{Sr}$	29.1 лет	$\beta$	196	1 E+02
Цирконий-95	$^{95}\text{Zr}$	64 сут.	$\gamma$	756.7	1 E+01
Рубидий-86	$^{86}\text{Rb}$	169.9	$\gamma$	167, 585, 601	1 E+02
Рутений-106	$^{106}\text{Ru}$	1.01 лет	$\gamma$		1 E+02
Сурьма-125	$^{125}\text{Sb}$	2.77 лет	$\gamma$		1 E+02
Йод-131	$^{131}\text{I}$	8.03 сут.	$\gamma$	364.5	1 E+02
Цезий-134	$^{134}\text{Cs}$	2.06 лет	$\gamma$	604.7, 795.9	1 E+01
Цезий-137	$^{137}\text{Cs}$	30 лет	$\beta$ $\gamma$	514 662	1 E+01
Барий-133	$^{133}\text{Ba}$	10.7 лет	$\gamma$	356	1 E+01
Свинец-212	$^{212}\text{Pb}$	10.64 ч	$\beta$ $\gamma$	102 115, 238.6	1 E+01
Висмут-212	$^{212}\text{Bi}$	60.55 мин	$\alpha$ $\beta$ $\gamma$	2170 796.6 727.3	1 E+01
Свинец-214	$^{214}\text{Pb}$	26.8 мин.	$\beta$ $\gamma$	218 352, 295	-
Висмут-214	$^{214}\text{Bi}$	19.9 мин	$\alpha$ $\beta$ $\gamma$	1.4 642 609.3, 1764.5, 1120	-
Радон-220	$^{220}\text{Rn}$		$\alpha$ $\gamma$	6290 549.7	1 E+04
Торон-222	$^{222}\text{Rn}$	38 сек.	$\alpha$ $\gamma$	5490 510	1 E+01
Радий-226	$^{226}\text{Ra}$	1600 лет	$\alpha$ $\gamma$	4770 186.2	1 E+01
Торий-228	$^{228}\text{Th}$	1.912 лет	$\alpha$ $\gamma$	5400 84.3	1 E+00
Торий-232	$^{232}\text{Th}$	$1.4 \cdot 10^{10}$ лет	$\alpha$ $\gamma$	4000 63.8, 140.8	1 E+00
Уран-235	$^{235}\text{U}$	$7.03 \cdot 10^8$ лет	$\alpha$ $\gamma$	4378 185.7, 143.8	1 E+01
Уран-238	$^{238}\text{U}$	$4.47 \cdot 10^9$ лет	$\alpha$ $\beta$ $\gamma$	4190 1380 49.6 198	1 E+01

АКТ ОТБОРА ПРОБ ПОЧВЫ

Место отбора (Почтовый индекс населенного пункта) \_\_\_\_\_

Дата отбора проб (число, месяц, год, время) \_\_\_\_\_

Область \_\_\_\_\_

Район \_\_\_\_\_

Сельсовет \_\_\_\_\_

Хозяйство \_\_\_\_\_

Населенный пункт \_\_\_\_\_

Принятый ориентир (координаты, наиболее характерный объект на местности) \_\_\_\_\_

Примерное расстояние и направление от принятого ориентира \_\_\_\_\_

Поверхность почвы (травяной покров, оголенная поверхность) \_\_\_\_\_

Состояние увлажнения почвы и ее тип (сырая, умеренно влажная, сухая)  
подчеркнуть

Возможность затопления во время паводка \_\_\_\_\_

Мощность дозы, мкЗв/ч

- на высоте 1 м \_\_\_\_\_

- на высоте 2-5 см \_\_\_\_\_

Тип радиометра \_\_\_\_\_

Условный номер пробы, нанесенный на схему населенного пункта \_\_\_\_\_

Подразделение, проводившее отбор пробы \_\_\_\_\_

Пробу отобрал \_\_\_\_\_

Подпись /ФИО \_\_\_\_\_

ПАСПОРТ ПРОБЫ (образец)

**Дата отбора:** время, число, месяц, год.

**Название пробы:** почва (грунт), донные осадки (ДО).

**Место отбора:** название местности и ее расположенность (город, село, район, область, координаты (широта, долгота; направленность (С, З, Ю, В); высота над уровнем моря), удаленность от потенциального источника загрязнения, краткая характеристика места отбора (открытая местность, лес - смешанный, хвойный, лиственный и т.д, болото, водоем - название).

**Условия отбора:** погодно-климатические и метеорологические характеристики (температура, влажность, давление, ветер и т.д.).

**Код пробы:** шифр

**Высота (глубина) отбираемой пробы от поверхности:** см

**Состояние пробы:** воздушно-сухое;

**Поверхность почвы:** травяной покров; дерн и т.д.

**Увлажнение:** умеренно влажная.

**Масса пробы:** кг.

**Характеристика пробы:** цвет, наличие примесей, тип почвы или осадка (чернозем, подзолистая, подзол-дерновая, песчаная, каменистая, глинозем, ил и т.д.).

**Направление на анализ:** определяемые радиационные показатели.

**Исполнители:** ФИО, должность, организация.

Приложение 3.3-4  
к МВИ № 40090.8А090-5  
(рекомендуемое)

### ЖУРНАЛ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Измеряемый материал \_\_\_\_\_,

партия (место отбора) \_\_\_\_\_,

количество (масса, навеска, г) \_\_\_\_\_

Дата отбора \_\_\_\_\_

Оператор \_\_\_\_\_

Пробоподготовка (дата, масса сырой пробы, масса воздушно-сухой пробы)

Прибор, условия измерения \_\_\_\_\_

Показания:  $G_{А,Б}$  – (известная активность эталона), Бк/кг;

$N_{ф}$  – (скорость счета импульсов фона, имп/с);

$N_{эт}$  – (скорость счета импульсов эталона за время  $T$ , имп./с);

$N_{пр}$  – (скорость счета импульсов пробы за время  $T$ , имп./с)

Результат определения суммарной удельной активности с учетом неопределенности измерений, Бк/кг:

Альфа - \_\_\_\_\_

Бета - \_\_\_\_\_

Заключение \_\_\_\_\_

Исполнитель \_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель РЛРК \_\_\_\_\_ (подпись)

Приложение 3.3-5  
к МВИ № 40090.8А090-5

### ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РГХ ПОЧВЫ ИЛИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

1. Наименование организации и подразделения, проводившего измерения, номер аттестата аккредитации, срок его действия.

2. Дата проведения измерения, оператор.

3. Метод измерения и используемая аппаратура с указанием номера Свидетельства о поверке, срока действия его.

4. Наименование материала (Акт отбора проб, дата отбора, карта-схема площадок отбора проб, привязка к местности, количество, физико-химическое состояние и другие характеристики).

5. Наименование предприятия-изготовителя или предприятия-потребителя, заказчика.

6. Результаты измерений представительной пробы (номера протоколов измерений по рабочему журналу).

7.

Таблица. Радиационно-гигиенические характеристики исследуемых материалов

Номер пробы	Место отбора или шифр пробы	Вес в-сух. пробы, г	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг						Аэфф, Бк/кг	МЭД, мкЗв/ч
			<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>40</sup> K	<sup>238</sup> U( <sup>226</sup> Ra)	<sup>232</sup> Th		
1										
2										
3										
4										
5										
Среднее значение										

*Примечание.* Результаты измерений приводятся с неопределенностью измерений для доверительной вероятности 0.95 (Бк/кг или % отн.).

## 8. Заключение

Исполнитель \_\_\_\_\_ (подпись) /ФИО/  
 Руководитель РЛРК \_\_\_\_\_ (подпись) /ФИО/  
 Дата, МП

Разработанная методика применялась при проведении радиоэкологических исследований на территории Мурманской области и Карелии, при изучении распространения техногенных и природных радионуклидов в поверхностном слое почвы восточной части Мурманской области. Исследования проводились в связи с интенсивным изучением геологии и эксплуатацией месторождений полезных ископаемых в районах, территория которых является уникальной сырьевой базой для создания многоотраслевого горного производства будущего (Колмозеро-Кейвский, Федоровы Тундры и др.). В результате исследований выявлены районы техногенного загрязнения в Терском, Ловозерском и Северном административных районах. Вклад техногенного <sup>137</sup>Cs в суммарную активность находился на уровне 30 % [20–24].

Участки с повышенным содержанием природных радионуклидов совпадают с районами редкометалльных пегматитовых, гранит-биотитовых и амфиболовых месторождений, плагиомикродлиновых гранитов Кузреченского массива [22].

## Список литературы

1. Методика измерения активности радионуклидов в счётных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения "ПРОГРЕСС" – М.: ГП "ВНИИФТРИ", 1999. – 27 с.
2. Программный комплекс «ПРОГРЕСС-2000» – М.: ГП «ВНИИФТРИ», 2002. – 63 с.
3. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Гигиенические нормативы: СанПин 2.6.1.2563-09 – М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
4. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) : СП 2.6.1.2612-10. – М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 83 с.
5. Метрологическое обеспечение радиационного контроля. Основные положения. ГОСТ Р 8.638-2013. – Режим доступа: <https://www.consultant>
6. Методики радиационного контроля. Общие требования. Рекомендация. МИ 2453-2000 – М.: ФГУП ГНМЦ «ВНИИФТРИ», 2000. – 16 с.
7. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения. СП 2.6.1.1292-03 – М.: Минздрав России, 2003. – 12 с.
8. Железнова, Е. И. Радиометрические методы анализа естественных радиоактивных элементов / Е. И. Железнова, И. Н. Шумилин, Б. Я. Юфа – М.: Недра, 1968. – 520 с.
9. Козлов, В. Ф. Справочник по радиационной безопасности, 4-е изд. / В. Ф. Козлов – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 352 с.
10. Селинов, И. П. Изотопы. Справочные таблицы. В 2-х т. / И. П. Селинов – М.: Наука, 1970. – Т. 2. – 624 с.
11. Голашвили, Т. В., Чечев В. П., Лбов А. А., Куприянов В. М., Демидов А. П. Справочник нуклидов-2 / Под ред. В. Н. Михайлова. – М.: ФГУП «ЦНИИАТОМИНФОРМ», 2002. – 348 с.
12. Эффективная удельная активность природных радионуклидов в материалах / Э. М. Крисюк // АНРИ, 2001. – № 4. – С. 4–8.
13. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Радиометр для измерения малых активностей УМФ-1500Д, ТО 4362-003-31867313-97, 1997. – 23 с.
14. Махонько, К. П. Руководство по организации контроля состояния природной среды в районе расположения АЭС / К. П. Махонько – Ленинград, Гидрометеоздат, 1990. – 264 с.
15. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды / Под ред. А. Н. Марья, А. С. Зыковой. – М., 1980. – 350 с.
16. Руководство по методам контроля за радиоактивностью окружающей среды / ред. И. А. Соболева, Е. Н. Беляева. – М.: Медицина, 2002. – 432 с.
17. Внедрение показателей радиационной безопасности о состоянии объектов окружающей среды, в т.ч. продовольственного сырья и пищевых продуктов, в систему социально-гигиенического мониторинга. МУ 2.6.1868-04. – М.: Минздрав России, 2004. – 24 с.
18. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. СанПиН 2.1.7.-03. – М.: Минздрав России, 2003 г. – 12 с.

19. Организация обучения безопасности труда. Общие положения. ГОСТ 12.0.004-2015 – Режим доступа: <https://www.consultant>
20. Радиоактивность почв урбанизированных территорий Мурманской области /
21. Н. А. Мельник, Е. А. Зыбина // Почвоведение на Кольском полуострове и соседних территориях: Материалы I Региональной науч. конф. (памяти проф. В.Н. Переверзева), 25–27 апреля 2013г., г. Апатиты – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2013. – С. 70-74.
22. Пространственное распределение радионуклидов в почве промышленного Апатитского района / Н. А. Мельник, А. А. Смирнов, П. В. Икконен // Экологические функции лесных почв в естественных и нарушенных ландшафтах: Материалы IV Российской конференции с международным участием по лесному почвоведению, Апатиты, 12–16 сентября 2011 г. Ч. 1. – Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2011. – С. 105–109.
23. Содержание природных и техногенных радионуклидов в тундровых и подзолистых почвах Кольского севера / Н. А. Мельник // Актуальные проблемы радиохимии и радиозологии: Материалы Российской научно-техн. конф. с международным участием, г. Екатеринбург, 9–11 ноября 2011 г. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. – С. 178–181.
24. Зависимость содержания природных радионуклидов в почве от подстилающих горных пород Водлозерского блока / Н. А. Мельник, П. В. Икконен // Экологические функции лесных почв в естественных и нарушенных ландшафтах: материалы IV Российской конференции с международным участием, Апатиты, 12-16 сентября 2011 г. / Учреждение Российской академии наук ИППЭС КНЦ РАН. Часть 1 – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2011. – 160 с.
25. Радиозэкологическое состояние почвы в Апатитско-Кировском районе / Н. А. Мельник, А. А. Райских // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Материалы Всероссийской научн. конф. с международ. участием, Апатиты, 14–16 октября 2008 г. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2008. – Ч. 1. – С. 141–145.

### **3.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Метод определения радиационно-гигиенических характеристик растительных объектов М ЛРК ИХ 2.6.1.-09-2007 (рис. 3.15) разрабатывался в аккредитованной лаборатории радиационного контроля в качестве методического дополнения к Базовым методикам «Методика измерения активности радионуклидов в счетных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения» [1, 2]. Методика была утверждена директором института 12.06.2008 г., после апробации, доработки и усовершенствования — аттестована ЦМПИ «ВНИИФТРИ» (14.01.2008 г.), Свидетельство об аттестации МВИ № 40090.8A094-4 (рис. 3.16).



Рис. 3.15. Титульный лист методики М ЛРК ИХ 2.6.1.-11-2007-2008

### Назначение и область применения

Метод определения радиационно-гигиенических характеристик (РГХ) растительных объектов включает определение суммарной альфа-бета-активности и содержания естественных ( $^7\text{Be}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ , и др.) и техногенных ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Mn}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и др.) радионуклидов на радиологическом комплексе «Прогресс-АБРГ» с использованием программного обеспечения.

Разработанная методика распространяется на различные растительные объекты, исследуемые при проведении радиационного мониторинга территорий, устанавливает методы определения суммарной удельной активности и радионуклидного состава в широком диапазоне концентраций в соответствии с НРБ-99/2009 [4].

Радиационная оценка растительного сырья проводится в соответствии с требованиями Федеральных законов «О радиационной безопасности населения» (ФЗ № 3 от 09.01.1996 г.), «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (ФЗ № 52 от 30.03.1999 г.), «Об охране окружающей природной

среды» (закон РСФСР № 320060 от 19 дек. 1991 г., ФЗ № 7 от 10 янв. 2002 г.; в ред. от 26 июня 2007 г.) и действующих норм радиационной безопасности об ограничении облучения населения за счет природных и техногенных источников ионизирующего излучения (ПРИЛОЖЕНИЕ 1), с учетом рекомендаций ГОСТ Р 8.594-2002, МИ 2453-2000, СП 2.6.1.1292-03.

МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭНЕРГЕТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ	
	Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений
«ЦЕНТР МЕТРОЛОГИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ»	
141570, п.о. Менделеево Солнечногорского р-на, Московской обл.	Тел.-факс: (095) 535-9305 E-mail: yarina@vniiftri.ru

<b>СВИДЕТЕЛЬСТВО № 40090.8A094-4</b> об аттестации МВИ
<p>Методика определения радиационно-гигиенических характеристик растительных объектов, разработанная ИХТРЭМС КНЦ РАН и изложенная в одноименном документе М ЛРК ИХ 2.6.1-09-2007, аттестована в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.594.</p> <p>Методика предназначена для использования в ЛРК ИХТРЭМС как дополнение к «Методике измерения активности радионуклидов в счетных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения «ПРОГРЕСС» и конкретизирует требования к пробоотбору, приготовлению счетных образцов для определения радионуклидного состава на гамма-спектрометре и суммарной удельной активности на альфа-бета-радиометрах «Прогресс-АБ» и УМФ-1500Д.</p> <p>При выполнении оговоренных условий методика обеспечивает контроль радиационно-гигиенических характеристик растительных объектов в соответствии с требованиями НРБ-99 и гигиеническими нормативами.</p> <p>Аттестация МВИ выполнена по результатам метрологической экспертизы материалов по разработке методики.</p>
Дата аттестации: 14 января 2008 г.
Руководитель ЦМИИ (НИО-4)  В.П. Ярына

Рис. 3.16. Свидетельство аттестации МВИ № 40090.6П794-6

### **Термины и определения**

*Допустимый уровень удельной активности (H)* — установленное содержание в различных продуктах растительного происхождения ведущих радионуклидов техногенного происхождения, определяющих дозы внутреннего (при пищевом пути поступления) и внешнего облучения –  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  [3, 7–9].

*Минимально-значимая активность* (МЗА, Бк) — активность открытого источника ионизирующего излучения в помещении или на рабочем месте, при превышении которой требуется разрешение органов государственной санитарно-эпидемиологической службы на использование этих источников, если при этом также превышено значение минимально значимой удельной активности.

*Минимально-значимая удельная активность* (МЗУА, Бк/г) — удельная активность открытого источника ионизирующего излучения в помещении или на рабочем месте, при превышении которой требуется разрешение органов государственной санитарно-эпидемиологической службы на использование этих источников, если при этом также превышено значение минимально значимой активности.

### **Принцип контроля**

1. Определение РГХ различных растительных объектов, исследуемых при проведении радиационного мониторинга территорий, включает определение удельной активности радионуклидов (распространенных повсеместно, наиболее радиотоксичных) гамма-спектрометрическим методом и суммарной удельной активности альфа-бета-радионуклидов на радиологическом комплексе «Прогресс-АБРГ» с программным обеспечением.

Метод основан на физическом концентрировании радионуклидов методом сухой минерализации или озоления исследуемых проб; измерении скорости счета альфа- и бета- и гамма-излучения полученного остатка с помощью радиометров «Прогресс-АБРГ», сопоставлении со скоростью счета от образца сравнения с аттестованными значениями активности (эталон) и расчете суммарной альфа- и бета-активности пробы; определения  $^{90}\text{Sr}$  в присутствии  $^{40}\text{K}$  [6, 7, 10].

2. Определение суммарной удельной активности альфа-бета-радионуклидов проводится параллельно с определением удельной активности радионуклидов гамма-спектрометрическим методом.

3. Согласно базовой Методики [1] определение удельной активности радионуклидов выполняется в режиме «нестандартные измерения, неравновесные ЕРН». Обработка сцинтилляционных гамма-спектров выполняется генераторным способом, который позволяет определять любой радионуклидный состав [2, 3].

Для определения радия-226 этим способом используют его энергетическую линию 350 кэВ (фотопик RaВ), для определения тория — энергетическую линию 240 кэВ (фотопик ThВ), уран определяют также по энергетической линии  $^{234}\text{Pa}$  - 1000 кэВ (фотопик IX<sub>2</sub>), с которым он почти всегда находится в равновесии, бериллий-7 — по энергетической линии 478 кэВ. Техногенные радионуклиды определяют по энергетическим линиям, приведенным в таблице Приложения 3.4-1 к МВИ (ядерно-физические характеристики).

4. Регистрацию излучения и обработку спектров, полученных на гамма-спектрометре, расчет значений удельной активности, неопределенности результатов измерений проводят с использованием программно-аппаратурного комплекса «ПРОГРЕСС» [2].

Неопределенность определения радионуклидов гамма-спектрометрическим методом при доверительной вероятности 0.95 равны 25–60 % в зависимости от концентрации радионуклидов, геометрии измерения и экспозиции.

5. Критерии оценки состояния растительных объектов зависят от назначения использования их: в пищевой, продовольственной, лесодобывающей, лесоперерабаты-вающей промышленности (в виде кормов, лекарственных трав, сырья) и других.

В связи с этим растительные объекты относятся к потенциальным источникам как внутреннего, так и внешнего облучения. Для таких объектов установлены допустимые уровни удельной активности (Н)  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в различных продуктах растительного происхождения [8, 10]. Для определения соответствия исследуемых объектов критериям радиационной безопасности используется показатель соответствия – В, значение которого рассчитывается по результатам измерения удельной активности цезия-137 и стронция-90 в пробе:

$$B = \sum (A_{\text{Sr}}/H + A_{\text{Cs}}/H), \quad (1)$$

где  $A_{\text{Sr}}$  и  $A_{\text{Cs}}$  — измеренное значение удельной активности стронция-90 и цезия-137 соответственно (Бк/кг); Н — допустимый уровень удельной активности для этих нуклидов (Бк/кг).

Радиационная безопасность исследуемых объектов, загрязненных другими радионуклидами, определяется по нормам радиационной безопасности. Критерии оценки для других радионуклидов определяются такими величинами, как минимально значимая удельная активность (МЗУА) и минимально значимая активность (МЗА) в помещении или на рабочем месте (Приложение 3.3-1); допустимый уровень удельной активности альфа-, бета- и гамма-радионуклидов [4].

Потенциальные источники внутреннего облучения разделяют по степени радиационной опасности на 4 группы в зависимости от МЗА [4]. Для сравнения значений суммарной активности разных изучаемых объектов, полученные результаты каждого объекта необходимо привести к единой группе токсичности по формуле (2):

$$\Sigma A = \sum_i \left( \frac{A_i}{MZA} \right) = \frac{A_A}{1} + \frac{A_B}{10} + \frac{A_C}{100}, \quad (2)$$

где  $\Sigma A$  — суммарная активность исследуемого объекта, Бк/кг;  $i$  — порядковый номер;  $A_i$  — удельная активность  $i$ -го радионуклида, Бк/кг; МЗА — минимально значимая активность  $i$ -го радионуклида.

### **Средства измерений, вспомогательное оборудование, материалы и реактивы**

Для определения РГХ применяется радиологический комплекс «Прогресс-АБРГ», в состав которого входит гамма-спектрометрическая установка со сцинтилляционным датчиком NaJ/Tl размером 63х63 мм и альфа-бета-радиометры «Прогресс-АБ».

Гамма-спектрометр имеет следующие технические характеристики:

Диапазон энергии регистрируемого гамма-излучения от 100 до 3000 кэВ;

Минимальная измеряемая активность за время измерения 1 час:

– в геометрии «Маринелли»:  $^{137}\text{Cs}$  – 3 Бк,  $^{226}\text{Ra}$  – 8 Бк,  $^{232}\text{Th}$  – 7 Бк,  $^{40}\text{K}$  – 40 Бк;

– в геометрии «Петри»:  $^{137}\text{Cs}$  – 3Бк,  $^{226}\text{Ra}$  – 6 Бк,  $^{232}\text{Th}$  – 5 Бк,  $^{40}\text{K}$  – 80 Бк.

Энергетическое разрешение по линии 662 кэВ ( $^{137}\text{Cs}$ ) – не более 8 %.

Контрольная скорость счета от калибровочного источника № Д-55 ( $^{137}\text{Cs}$  +  $^{40}\text{K}$ ;  $A_{\text{Cs137}} = 1000$  Бк/кг) в диапазоне 600-720 кэВ равна 78 отсчет/с ± 10 %.

Неопределенность измерения активности радионуклида Cs-137 в диапазоне  $(3 \div 1000)$  Бк составляет  $(60 \div 10)$  %.

Радиометр «Прогресс-А» имеет следующие технические характеристики:

- Энергетический диапазон работы: по альфа-тракту  $(400 \div 9000)$  кэВ.
- Активность контрольных источников: U (природный) –  $33.3 \text{ Бк} \pm 15 \%$ .

Аттестованные геометрии по альфа-тракту:

- «толстый» слой под пленкой,
- без пленки,
- «тонкий источник».

Минимальная измеряемая активность составляет: по альфа-тракту —  $0.18 \text{ Бк/г}$  на счетный образец.

Неопределенность измерения суммарной альфа-активности в «толстослойных» счетных образцах в диапазоне  $(0.18 \div 10^6)$  Бк/г составляет  $(60 \div 10)$  %.

Неопределенность измерения суммарной альфа-активности в «тонкослойных» счетных образцах в диапазоне  $(0.01 \div 10^4)$  Бк/г составляет  $(60 \div 10)$  %.

Радиометр «Прогресс-Б» имеет следующие технические характеристики:

Энергетический диапазон работы по бета-тракту  $(250 \div 3000)$  кэВ.

Аттестованная геометрия по бета-тракту — штатная кювета, диаметр 70 мм. Контрольная скорость счета: по бета-тракту от источника Sr-90 + Y-90 № 168 в интервале  $(250 \div 500)$  кэВ –  $270 \text{ с}^{-1}$ .

Минимальная измеряемая активность составляет по бета-тракту —  $1.4 \text{ Бк Sr(Y)-90}$  на счетный образец; фоновая неопределенность измерения нулевой активности радионуклидов составляет  $0.7 \text{ Бк Sr(Y)-90}$  на счетный образец.

Неопределенность измерения активности радионуклида Sr-90 в диапазоне  $(1.4 \div 1000)$  Бк составляет  $(60 \div 10)$  %.

2. Для определения массы проб и счетных образцов используются:

– весы электронные НЛ-2000 с выборкой тары на 2 кг, погрешность – 1г.

– весы лабораторные типа ВЛР-200 (2 класс, погрешность – 0.5 г) или WA-33 (максимальный вес — 200 г, погрешность — 0.01 г), ГОСТ 24104-88 Е.

3. Для калибровки гамма-спектрометра по энергии и контроля за сохранностью параметров спектрометрической установки и радиометров применяют:

– комплект аттестованных мер (стандартных образцов) удельной активности ЕРН;

– Государственные стандартные образцы (ГСО) — ОСГИ;

– контрольные источники (КИ): точечный источник —  $^{137}\text{Cs}+^{40}\text{K}$ ,  $A = 1 \pm 30\% \text{ кБк}$ ; КА 53 на основе Pu –239, 238, 242;  $A = 25.6 \text{ Бк}$  и урана природного № 8 —  $A = 33.3 \pm 30\% \text{ Бк K-40}$ ; на основе  $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$  –  $A = 50 \text{ Бк}$  и  $1.5 \pm 30\% \text{ кБк}$ ; насыпная мера активности – Свидетельство № 420/70158 ( $^{226}\text{Ra} + ^{232}\text{Th} + ^{40}\text{K}$ ); препарат калия хлористого и др.

Не допускается использование КИ и ГСО с просроченным сроком службы.

4. Применяемые приборы подлежат поверке в установленном порядке.

Вспомогательное оборудование:

Сушильный шкаф СНОЛ-3,5 (при Т6 — 300С, Т10 — 450С).

Фарфоровые чашки емкостью на 300 мл.

Шпатели и лопатки (пластмассовые и металлические).

Полиэтиленовые пакеты.

Эмалированные или пластмассовые поддоны разных размеров.

Набор контейнеров установленного объема с крышками — сосуды Маринелли, емкость 1 л для анализа сырой или воздушно-сухой массы исследуемого материала; чашки «Петри», диаметр 80 мм, глубина — 1 см (емкость 75 мл) — для анализа зольных остатков растительных объектов.

Набор мишеней из алюминия, диаметр 70 мм, глубина — 1 см для альфа-бета-измерений.

#### Реактивы, материалы:

Вода дистиллированная.

Деактивирующие растворы и реагенты (ОП-7, порошок «Защита», растворы борной и щавелевой кислот, калия марганцовокислого, этилендиаминтетрауксусной кислоты и др.) для деактивации мишеней.

Калий хлористый, хч.

Спирт ректификационный.

Протирачный материал (бязь, вата, марля, фланель).

Резиновые перчатки.

*Примечание.* Допускается применение других вспомогательных устройств, материалов и реактивов, в том числе импортных.

### **Отбор проб и подготовка счетных образцов**

#### **1. Методика отбора проб**

Для радиационного мониторинга или других целей пробы растительных объектов в зависимости от задачи исследований обычно отбирают в сухую погоду в начале или конце вегетативного периода (рис. 3.17), в период цветения, в период раннего (сентябрь) и/или позднего (ноябрь) листопада (опад лиственных пород деревьев), а также в весенний период после снеготаяния (прошлогодний опад, ветки, шишки, ягель).

Отбор проб осуществляется заказчиком на пробных или мониторинговых площадях, по специально разработанной карте-схеме отбора, с учетом возможного влияния локального или потенциального источника загрязнений и розы ветров.

Отбор проб производится на участках площадью 20-40 м<sup>2</sup> и 2-10 м<sup>2</sup> в соответствии с общими требованиями к отбору проб. Масса каждой пробы должна находиться в пределах 2–5 кг. Во избежание случайных результатов в каждом пункте отбирают только усредненные образцы. Усреднение достигается объединением пяти образцов, отбираемых в центре и по углам квадрата со стороной 10 м методом «конверта» [6]. Наземную и корневую части растений собирают и упаковывают отдельно; корневую часть очищают от земли. Наземную часть разделяют на соцветия, листву, семена, стебли, опад листвы, ветки, шишки, хвою и др. в соответствии с задачами исследований.



Рис. 3.17. Отбор проб вереска и ягеля для радиоэкологических исследований

Пробы помещают в полиэтиленовые пакеты, маркируют и направляют в лабораторию вместе с сопроводительными документами (акты, паспорта и др.), в которых подробно указываются условия отбора проб, характеристика пробы и место ее отбора (Приложение к МВИ 3.4-2, 3.4-3).

Заказчик несет ответственность за отбор представительных проб.

## 2. Пробоподготовка для измерений

Каждую пробу необходимо взвесить на электронных весах с выборкой тары типа HL-2000 (масса сырой пробы —  $M_1$ ) и перенести в отдельную емкость (эмалированный или пластмассовый поддон) и оставить до полного высыхания при комнатной температуре, затем пробу снова взвесить (воздушно-сухая масса —  $M_2$ ).

Отдельные пробы с целью концентрирования радионуклидов подвергают сухой минерализации (озоленю). Для этого навеску пробы надо поместить в фарфоровую чашку или эмалированную кювету, выполнить предварительное обугливание ее в сушильном шкафу СНОЛ-3.5 при  $T_6$  (более  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

После обугливания и охлаждения пробы до комнатной температуры взвесить массу озоленного остатка. При необходимости его перетирают в ступке или руками. Если проба недостаточно готова для радиометрического анализа, проводят 2-е обугливание при  $T_{10}$  (не менее  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), остаток снова перетирают и взвешивают ( $M_3$ ). По разности весов сырой массы, воздушно-сухой и озоленного остатка рассчитывается коэффициент физического концентрирования ( $K_{фк}$ ):

$$K_{фк1} = M_1/M_2 \text{ или } K_{фк2} = M_1/M_3 \quad (3)$$

Коэффициенты физического концентрирования ( $K_{фк}$ ) для лиственных деревьев находятся в пределах 1.2–1.5. Значения  $K_{фк}$  используют для приведения результатов измерений разных проб к одинаковым условиям пересчет на воздушно-сухую или сырую массу.

## 3. Методика подготовки счетных образцов

3.1. Для определения альфа-бета-активности часть озоленной или воздушно-сухой пробы аккуратно перенести с помощью пластмассового шпателя на чистую алюминиевую мишень диаметром 70 мм и глубиной 1 мм, предварительно пронумерованную, взвешенную и проверенную на отсутствие радиоактивного загрязнения.

Пробу равномерно распределить по всей поверхности мишени и уплотнить шпателем; мишень с пробой взвесить на весах ВЛР-33, определить массу пробы. Правильно приготовленная проба должна иметь массу в пределах 1–5 г в зависимости от вида растительности (породы деревьев и тп).

Полученные счетные образцы измерить на радиологическом комплексе «Прогресс–АБ» в режимах: «суммарная альфа-активность в «толстослойных» счетных образцах», «суммарная бета-активность», «определение  $^{90}\text{Sr}$  в присутствии  $^{40}\text{K}$ ». Время экспозиции — 1800–3600 с. В рабочем Журнале фиксируют номер анализируемой пробы и номер мишени, исходную сырую или воздушно-сухую массу пробы, массу зольного остатка в измерительной мишени (Приложение 3.4-2 к МВИ). Расчет активности производят в Бк/кг.

3.2. Для определения радионуклидного состава каждую исследуемую пробу тщательно измельчить в мельницах или вручную, перетирая в фарфоровой ступке или руками, перемешать и отобрать на анализ усредненную воздушно-сухую или озоленую пробу. Предварительно взвешенный сосуд Маринелли наполнить усредненной пробой, постоянно уплотняя ее, определить массу отобранной пробы ( $M_{\text{пр}}$ ) и выполнить анализ гамма-спектрометрическим методом при экспозиции 3600–5400 с.

При недостаточном количестве пробы можно выполнить измерения в геометрии «половина Маринелли» или «чашка Петри».

4. После проведения измерений емкости с пробами освобождаются и подвергаются дезактивации с помощью дезактивирующих средств согласно «Инструкции по работе с радиоактивными веществами» (ПРИЛОЖЕНИЕ 2).

#### **Условия выполнения измерений**

Определение РГХ растительных объектов осуществляется при температуре воздуха в помещении не менее 20°C и относительной влажности 60±15 %; напряжении питания сети (220 +22/-33) В; частота питающей сети (50±1) Гц.

#### **Порядок выполнения измерений**

1. Измерение альфа- и бета-гамма-излучений от счетного образца на радиологическом комплексе «Прогресс-АБРГ» выполняют одновременно. Подготовку устройств к работе выполняют в соответствии с инструкцией по эксплуатации [1-3]. Измерения проводят в режиме «нестандартные измерения» для определения радионуклидного состава; определение суммарной альфа-активности в режиме «толстые порошки без пленки»; определение суммарной бета-активности и в режиме «определение стронция-90 в присутствии калия-40».

2. Подготовить устройства радиологического комплекса «Прогресс» к измерениям согласно аттестованной базовой Методики [1]:

- выполнить калибровку установки по энергии (перед каждым измерением активности или фона),
- измерить фон (один раз в день, экспозиция – 3600 с).

3. Установить подготовленный счетный образец исследуемого материала (сосуд Маринелли или «чашка Петри»; алюминиевая мишень диаметром 70 мм) в соответствующую измерительную камеру устройств радиологического комплекса, установить необходимый режим измерения и экспозицию (1800–5400 с) и выполнить по заданному алгоритму измерение активности счетного образца.

В процессе измерения программа автоматически проводит обработку спектрограмм в соответствии с выбранным алгоритмом базовой Методики («нестандартные измерения») и заносит результаты в Журнал. После окончания измерения счетного образца показания устройств записывают в Журнал регистрации анализа проб для каждого вида излучения и оформляется протокол измерений (Приложение 3.4-3 к МВИ).

### Форма представления результатов

1. За результат принимается среднее значение РГХ по 3–5 измерениям с учетом неопределенности измерений.

2. В качестве результата исследуемого материала принимается значение:

$A = A_i + U$ , где  $A$  — суммарная объемная альфа или бета-активность пробы;  $A_i$  — суммарная объемная альфа или бета-активность  $i$ -го измерения пробы;  $U$  — неопределенность измерения.

3. Оценка содержания суммы естественных и техногенных радионуклидов в растительных объектах осуществляется путем расчета по формулам (1) и сравнения с допустимым уровнем или между различными видами растительности при изучении аккумуляции радионуклидов — расчет по формуле (2).

Определение соответствия исследуемых объектов критериям радиационной безопасности выполняется по показателю соответствия  $V$ .

4. По результатам измерений оформляется Акт радиационного контроля. Формы документов установлены в «Руководстве по качеству испытаний РЛРК».

Приложение 3.4-1  
к МВИ ЛРК ИХ 2.6.1.-09-2007

Таблица – Ядерно-физические и радиологические характеристики наиболее часто определяемых радионуклидов [4, 7]

Радионуклид		Период полураспада, $T_{1/2}$	Вид излучения	Энергия излучения, КэВ	МЗУА, Бк/г	МЗА, Бк
название	обозначение					
1	2	3	4	5	6	7
Бериллий-7	$^7\text{Be}$	53.3 сут.	$\gamma$	477.6	1000	$10^7$
Натрий-22	$^{22}\text{Na}$	2.60 лет	$\gamma$	1274.5	10	$10^6$
Калий-40	$^{40}\text{K}$	$1.28 \cdot 10^9$ лет	$\beta$ $\gamma$	1314 1461	100	$10^6$
Марганец-54	$^{54}\text{Mn}$	312 сут.	$\gamma$	834.8	10	$10^6$
Кобальт-60	$^{60}\text{Co}$	5.27 лет	$\gamma$	1332.5	10	$10^5$
Рубидий-86	$^{86}\text{Rb}$	169.9	$\gamma$	167, 585, 601	100	$10^5$
Стронций-90	$^{90}\text{Sr}$	28.8 лет	$\beta$	196	100	$10^4$
Цирконий-95	Zr	64 сут.	$\gamma$	756.7	10	$10^6$
Рутений-106	$^{106}\text{Ru}$	1.01 лет	$\gamma$		100	$10^5$
Йод-131	$^{131}\text{I}$	8.03 сут.	$\gamma$	364.5	100	$10^6$
Цезий-134	$^{134}\text{Cs}$	2.06 лет	$\gamma$	604.7, 795.9	10	$10^4$
Цезий-137	$^{137}\text{Cs}$	30 лет	$\beta$ $\gamma$	514 662	10	$10^4$

1	2	3	4	5	6	7
Свинец-212	<sup>212</sup> Pb	10.64 ч	β γ	102 115, 238.6	-	-
Висмут-212	<sup>212</sup> Bi	60.55 мин	α β γ	2170 796.6 727.3	-	-
Свинец-214	<sup>214</sup> Pb	26.8 мин.	β γ	218 352, 295	-	-
Висмут-214	<sup>214</sup> Bi	19.9 мин	α β γ	1.4 642 609.3, 1764.5, 1120	-	-
Радон-220	<sup>220</sup> Rn	3.3 сут	α γ	6290 549.7	10 <sup>4</sup>	10 <sup>7</sup>
Торон-222	<sup>222</sup> Rn	38 сек.	α γ	5490 510	10	10 <sup>8</sup>
Радий-226	<sup>226</sup> Ra	1600 лет	α γ	4770 186.2	10	10 <sup>4</sup>
Торий-228	<sup>228</sup> Th	1.912 лет	α γ	5400 84.3	1	10 <sup>4</sup>
Торий-232	<sup>232</sup> Th	1.4·10 <sup>10</sup> лет	α γ	4000 63.8, 140.8	1	1000
Уран-235	<sup>235</sup> U	7.038·10 <sup>8</sup> лет	α γ	4378 185.7, 143.8	10	10 <sup>4</sup>
Уран-238	<sup>238</sup> U	4.47·10 <sup>9</sup> лет	α β γ	4190 1380 49.6; 198	10	10 <sup>4</sup>

Приведенные в таблице радионуклиды в зависимости от минимально значимой активности (МЗА) делятся на три группы радиационной опасности [4, 5]:

1. А -1×10<sup>3</sup> Бк;
2. Б -1×10<sup>4</sup> и 1×10<sup>5</sup> Бк;
3. В -1×10<sup>6</sup> и 1×10<sup>7</sup> Бк.

Приложение 3.4-2  
к МВИ ЛРК ИХ 2.6.1.-09-2007

### ЖУРНАЛ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Измеряемый материал \_\_\_\_\_,  
 Партия \_\_\_\_\_ место отбора \_\_\_\_\_  
 количество (вес сырой массы, кг) \_\_\_\_\_  
 Дата отбора \_\_\_\_\_  
 Оператор \_\_\_\_\_  
 Пробоподготовка (дата, масса пробы — сырой, воздушно-сухой, озоленной) \_\_\_\_\_  
 Прибор, условия \_\_\_\_\_

Характеристика проб растительных объектов  
(дата и место отбора проб)

№	Наименование и характеристика проб, шифр	Место отбора проб	Вес сырой массы, М <sub>1</sub> , г	Масса воздушно-сухой массы, М <sub>2</sub> г	Дата и условия озоления	Вес озоленной массы, М <sub>3</sub> г	К <sub>фк</sub>

Заключение \_\_\_\_\_

Исполнитель \_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель РЛРК \_\_\_\_\_ (подпись)  
дата \_\_\_\_\_

Приложение 3.4-3  
к МВИ ЛРК ИХ 2.6.1.-09-2007

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ  
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РГХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Наименование организации и подразделения, проводившего измерения; номер аттестата аккредитации, срок его действия, кем и когда выдан, область аккредитации.

Дата проведения измерения, оператор.

Метод измерения и используемая аппаратура с указанием номера Свидетельства о поверке, срока действия его.

Наименование материала (Акт отбора проб: дата отбора, карта-схема площадок отбора проб, привязка к местности, количество, физико-химическое состояние и другие характеристики).

Наименование предприятия-изготовителя или предприятия-потребителя, заказчика.

Результаты измерений представительной пробы (номера протоколов измерений по рабочему журналу).

Результат определения суммарной удельной активности воздушно-сухой пробы с учетом неопределенности измерений, Бк/кг:

Альфа - \_\_\_\_\_

Бета - \_\_\_\_\_

Таблица.

Радиационно-гигиенические характеристики исследуемых материалов

Номер пробы	Место отбора	Вес пробы, г	Удельная активность, Бк/кг					А, Бк/кг
			<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>226</sup> Ra	<sup>238</sup> U	
1								
2								
3								
4								
5								

Примечание. 1. Результаты измерений приводятся с неопределенностью измерения для доверительной вероятности 0.95 (Бк/кг). 2. Значение А рассчитано по формуле (2).

8. Заключение \_\_\_\_\_  
Исполнитель \_\_\_\_\_ (подпись) /ФИО/  
Руководитель РЛРК \_\_\_\_\_ (подпись) /ФИО/

Дата, МП

Разработанная методика определения радиационно-гигиенических характеристик растительных объектов позволила изучить пространственное и временное распределение природных и техногенных радионуклидов в исследуемых объектах на территории Апатитско-Кировского, Мончегорского, Кандалакшского и других районов, дать сравнительную радиационную оценку древостоя, кустарничков, оценить воздействие техногенного загрязнения на физиологические характеристики растений [11-17].

**Список литературы**

1. Методика измерения активности радионуклидов в счётных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения «ПРОГРЕСС» – М.: ГП «ВНИИФТРИ», 1999. – 27 с.
2. Программный комплекс «ПРОГРЕСС-2000» – М.: ГП «ВНИИФТРИ», 2002. – 63 с.
3. Методические рекомендации. Использование компьютеризованных гамма-, бета-спектрометрических комплексов с программным обеспечением «Прогресс» для испытаний проб продовольствия на соответствие требованиям критериев радиационной безопасности. НПП «Доза». – Москва, 1998. – 20 с.
4. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Гигиенические нормативы: СанПин 2.6.1.2563-09 – М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
5. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) : СП 2.6.1.2612-10. – М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 83 с.
6. Руководство по методам контроля за радиоактивностью окружающей среды / ред. И. А. Соболева, Е. Н. Беляева. – М.: Медицина, 2002. – 432 с.
7. Внедрение показателей радиационной безопасности о состоянии объектов окружающей среды, в т.ч. продовольственного сырья и пищевых продуктов, в систему социально-гигиенического мониторинга. МУ 2.6.1868-04 – М.: Минздрав России, 2004. – 24 с.

8. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. СанПиН 2.3.2.1078-01 – М.: Минздрав России, 2002. – 168 с.
9. Методические рекомендации. «Удельная активность стронция-90. Бета-спектрометрические измерения в объектах окружающей среды, пищевых продуктах и биопробах». Утв. Нач. Центра метрологии ионизирующих излучений НПО «ВНИИФТРИ» В. П. Ярына 23.06.1993.
10. Допустимые уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в продукции лесного хозяйства. СП 2.6.1.759-99 – М.: Минздрав России, 1999. – 6 с.
11. Радиоэкологическая оценка растительных объектов центральной части Мурманской области / Н. А. Мельник, П. Н. Корнилов // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы II-й Международ. конф., 18-22 октября 2004 г., Томск – Томск: Тандем-Арт, 2004. – С. 380-382.
12. Радиационный мониторинг древостоя центрального района Кольского полуострова / Н. А. Мельник // Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им И. В. Тананаева Кольского научного центра РАН, Апатиты, 2006. – 48 с. – Деп. в ВИНТИ 02.08.2006 № 1035-В-2006.
13. Радиоэкологическая и физиологическая характеристика хвои сосны обыкновенной на Кольском Севере / Н. А. Мельник, В. И. Костюк // Научное обозрение, 2006. – № 4. – С. 32–36.
14. Радиоэкологические исследования хвойных пород деревьев / Н. А. Мельник, А. Н. Кизеев // Вестник МГТУ, 2006. – Т. 9. – № 3. – С. 429–433.
15. Аккумуляция радионуклидов в лиственных породах деревьев в условиях Кольского севера / Мельник Н.А. // Радиохимия-2006: Тезисы докл. V-й Российской конф. по радиохимии, Дубна, 23-27.10.2006 г. – Озерск: ФГУП «ПО Маяк», 2006. – С. 228–229.
16. Влияние низких уровней радиоактивности на физиологические показатели хвойных пород деревьев / Н. А. Мельник, В. И. Костюк // Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им И.В. Тананаева Кольского научного центра РАН, Апатиты, 2007. – 55 с. – Деп. в ВИНТИ 24.08.2007 № 836-В2007.
17. Содержание радионуклидов в наземных частях кустарничков Мурманской области и Карелии / Н. А. Мельник, П. В. Икконен, А. А.Смирнов // Проблемы Арктического региона: Труды XI международной науч. конф. студентов и аспирантов. Мурманск, 12 мая 2011 г. / Под ред. С.М. Чернякова. – Мурманск: МГГУ, 2011. – 111 с. (С. 22–27).

### **3.5. МЕТОД РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

Метод радиационного контроля лекарственных препаратов растительного происхождения (МВИ ЛРК 2.6.1.-11-2008) разработан на основе Методики радиационного контроля растительных объектов МВИ ЛРК ИХ 2.6.1.-09-2007. Данная методика конкретизирует только объект исследования и критерии его оценки. Все радиологические исследования выполняются на радиологическом комплексе «Прогресс-АБГ» с использованием программного обеспечения [1–4].

### Назначение и область применения

Метод радиационного контроля (РК) различных лекарственных препаратов растительного происхождения, в том числе, на основе лекарственных трав, предназначен для определения нормируемых техногенных ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) и природных радиотоксичных радионуклидов [5, 6].

Метод распространяется на все виды лекарственных трав и растительного сырья для производства лекарств на их основе; используется для контроля качества лекарственного растительного сырья и сертификации соответствующей продукции, определения соответствия гигиеническим нормативным требованиям [8–10], а также для радиационного мониторинга территорий сбора сырья.

### Отбор проб

Продукцию, отобранную из партии готового к употреблению или расфасованного сырья и представленную заказчиком, исследуют без предварительной подготовки. Пробу для проведения испытаний растительных лекарственных средств отбирают в соответствии с требованиями, которые применяются в фармацевтической отрасли. При отборе сырья для лекарственных целей собранные партии проб сортируют на соцветия, листья (или наземная часть), корни. Пробы сушат при температуре 20–25 °С до воздушно-сухого состояния (рис. 3.18). Подлинность лекарственных растений определяется отсутствием примесей различного характера в растительном сырье.

### Радиационный контроль

Радиационный контроль лекарственного сырья растительного происхождения включает определение удельной активности радионуклидов (наиболее радиотоксичных и распространенных на исследуемой территории) гамма-спектрометрическим и радиометрическими методами, представленными в МВИ ЛРК ИХ 2.6.1.-09-2007 (Определение радиационно-гигиенических характеристик растительных объектов), и выполняется согласно алгоритмам измерений этой методики.



Рис. 3.18. Образцы проб лекарственных растений после предварительной пробоподготовки: клевер и тысячелистник (на поддоне сверху) и пижма (соцветия и листья внизу)

### **Критерии радиационной оценки**

Критерии оценки состояния лекарственного сырья растительного происхождения установлены Министерством здравоохранения России, приведены в справочниках [7–10], согласно которых лекарственные травы и сырье для них относятся к потенциальным источникам как внутреннего, так и внешнего облучения. К исследуемым объектам относятся различные продукты растительного происхождения (БАД, морские водоросли, чай, настойки, бальзамы, ароматические соли и т.п.) и другие продукты на основе лекарственных трав. Для таких объектов установлены допустимые уровни удельной активности (Н)  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в соответствии с требованиями радиационно-гигиенических нормативов для пищевых продуктов. Основным источником в липидных косметических препаратах БАД также являются лекарственные растения, поэтому они тоже подлежат радиационному контролю.

### **Контроль качества лекарственного растительного сырья**

Определяется содержание радионуклидов техногенного происхождения, в первую очередь стронция-90 и цезия-137, образующихся при делении тяжелых ядер, таких как уран и плутоний. Исследования проводят в соответствии с требованиями нормативных документов для пищевой промышленности.

Определение показателей безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов, в том числе биологически активных добавок к пище, смешанного состава производится по основному виду сырья как по массовой доле, так и по допустимым уровням нормируемых контаминантов.

Определение показателей безопасности сухих, концентрированных или разведенных пищевых продуктов производится в пересчете на исходный продукт с учетом содержания сухих веществ в сырье и в конечном продукте.

### **Гигиенические нормативы**

В пищевых продуктах контролируются гигиенические нормативы содержания радионуклидов. Радиационная безопасность пищевых продуктов по цезию-137 и стронцию-90 определяется их допустимыми уровнями удельной активности радионуклидов, установленными Санитарными правилами [5–10].

Для определения соответствия лекарственных и пищевых продуктов критериям радиационной безопасности используется показатель соответствия – В, значение которого рассчитывают по результатам измерения удельной активности цезия-137 и стронция-90 в пробе:

$$B = \sum (A_{\text{Sr}}/H + A_{\text{Cs}}/H), \quad (1)$$

где  $A_{\text{Sr}}$  и  $A_{\text{Cs}}$  — измеренное значение удельной активности стронция-90 и цезия-137 соответственно (Бк/кг); H — допустимый уровень удельной активности для этих нуклидов (Бк/кг) в лекарственных препаратах растительного происхождения.

### **Критерии соответствия объекта РК нормативным требованиям**

1. Для определения соответствия объекта установленным для него нормативам (контрольным уровням) используются параметр соответствия (В) и неопределенность его определения ( $U_B = U_B^+$ ).

В случае единственного параметра для РК объекта:

$$B = Q/L \quad (1)$$

$$U_B = U_Q^+ / L, \quad (2)$$

где  $Q$  – измеренное значение контролируемого параметра;  $U_Q$  – оценка неопределенности контроля;  $L$  — значение норматива (контрольного уровня) для данного параметра [8].

При наличии нескольких параметров для РК объекта, нормативы для которых установлены отдельно, вывод о соответствии объекта нормативным требованиям принимается по совокупности результатов измерений всех нормируемых параметров. В этом случае:

$$B = \sum_i (Q/L)_i; \quad (3)$$

$$U_B = \sqrt{\sum_i (U_Q^+ / L)_i^2} \quad (4)$$

где  $i$  — индекс для обозначения соответствующего параметра.

2. Объект признается безусловно соответствующим нормативным требованиям, если

$$B + U_B \leq 1 + \alpha \quad (5)$$

Здесь  $\alpha$  — задаваемый компетентным органом (правилами, указаниями, рекомендациями) параметр, характеризующий безусловно приемлемую неопределенность РК в относительных единицах.

3. Объект нельзя признать соответствующим нормативным требованиям, если не выполняется условие (5). Однако, если при этом

$$B - U_B^- \leq 1 + \alpha, \quad (6)$$

то следует иметь в виду, что при проведении более точных (с меньшей неопределенностью) измерений существует вероятность получить соотношение (5). \*)

\*) Например, для контроля непревышения установленных нормативов при сертификационных испытаниях принимается  $\alpha = 0$ .

По разработанному методу радиационного контроля лекарственных препаратов на основе растительности были изучены радиационные характеристики распространенных в Мурманской области лекарственных растений: вереск, мать-и-мачеха, иван чай, брусника (ягоды и листья), черника (ягоды и листья), багульник, можжевельник (ветки, ягоды), подорожник, тысячелистник, крапива, клевер, пижма и др. Изучена аккумуляция радионуклидов в дикорастущих и культивируемых лекарственных растениях Мурманской области и Карелии, изучено пространственное и временное распределение природных и техногенных радионуклидов, влияние радиационных показателей на биохимические свойства хвои сосны, листьев березы, земляники садовой и адаптацию ее в северных условиях. Показана возможность использования исследуемых растений в медицинских целях [11-14].

### Список литературы

1. Методика измерения активности радионуклидов в счётных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения «ПРОГРЕСС» – М.: ГП «ВНИИФТРИ», 1999. – 27 с.
2. Программный комплекс «ПРОГРЕСС-2000» – М.: ГП «ВНИИФТРИ», 2002. – 63 с.

3. Методические рекомендации. Использование компьютеризованных гамма-, бета-спектрометрических комплексов с программным обеспечением «Прогресс» для испытаний проб продовольствия на соответствие требованиям критериев радиационной безопасности. НПП «Доза». – Москва, 1998. – 20 с.
4. Методические рекомендации. «Удельная активность стронция-90. Бета-спектрометрические измерения в объектах окружающей среды, пищевых продуктах и биопробах». Утв. Нач. Центра метрологии ионизирующих излучений НПО «ВНИИФТРИ» В. П. Ярына 23.06.1993.
5. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Гигиенические нормативы: СанПин 2.6.1.2563-09 – М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
6. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) : СП 2.6.1.2612-10. – М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 83 с.
7. Руководство по методам контроля за радиоактивностью окружающей среды / ред. И. А. Соболева, Е. Н. Беляева. – М.: Медицина, 2002. – 432 с.
8. Внедрение показателей радиационной безопасности о состоянии объектов окружающей среды, в т.ч. продовольственного сырья и пищевых продуктов, в систему социально-гигиенического мониторинга. МУ 2.6.1868-04. – М.: Минздрав России, 2004. – 24 с.
9. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. СанПиН 2.3.2.1078-01 – М.: Минздрав России, 2002. – 168 с.
10. Допустимые уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в продукции лесного хозяйства. СП 2.6.1.759-99 – М.: Минздрав России, 1999. – 6 с.
11. Радиационный мониторинг наземных частей земляники в условиях Кольского Севера / А. А. Мартынова, Н. А. Мельник // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. – Т. 12. – № 1–8. – С. 1940–1943.
12. Содержание радионуклидов в наземных частях земляники садовой / Н. А. Мельник, А. А. Мартынова // Интродукция и перспективы использования генетических ресурсов растений на Крайнем севере: Материалы международ. конф., Апатиты, 12-13 августа 2008г. – С-Петербург: ВИР, 2009. – С. 67–73.
13. Аккумуляция радионуклидов в дикорастущих и культивируемых лекарственных растениях Мурманской области / С. А. Игумнова, Н. А. Мельник // Биологическое разнообразие северных экосистем в условиях изменяющегося климата: Материалы международ. научной конф., г. Апатиты, 10–12 июня 2009 г. – Апатиты: Изд-во ООО К&М, 2009. – Ч. 1. – С. 79–80.
14. Влияние радиационных показателей на биохимические свойства земляники садовой и адаптацию ее в северных условиях / Н. А. Мельник, А. А. Мартынова // Физико-химические механизмы адаптации растений к антропогенному загрязнению в условиях Крайнего Севера: Материалы международной научн. конф., Апатиты, 10–12 июня 2009 г. – Апатиты: Изд-во ООО К&М, 2009. – Ч. 1. – С. 80–81.

## **ВЫВОДЫ**

Разработанные радиоаналитические методы анализа наземных экосистем позволили анализировать различные объекты окружающей среды. При этом были выполнены следующие работы:

– изучено радиогеоэкологическое состояние наземных экосистем в районе месторождений урано-ванадиевых руд и шунгитов (Карелия, юго-восточная окраина Фенноскандинавского шита) [1];

– изучены радиационно-гигиенические характеристики снежного покрова и водных объектов в зонах влияния Кольской АЭС и пространственно-временное распределение радиоактивности в снежном покрове (2008–2013 гг.) и открытых водоемах (1995-2009) в техногенно развитых районах Кольского Севера [2–5];

– изучено вертикальное распределение радионуклидов в донных отложениях открытого водоема – оз. Ковдор, расположенного в районе редкометалльного, бадделеитового месторождения и хвостохранилища Ковдорского ГОКа, оз. Падмозеро (Карелия, Падма), водоемы северных и западных районов Кольского региона [6, 7];

– исследовано распространение техногенных и природных радионуклидов в поверхностном слое почвы восточной части Мурманской области в связи с интенсивным изучением геологии и эксплуатацией месторождений полезных ископаемых [9-11];

– изучено пространственное и временное распределение радионуклидов в растительных объектах [13-16];

– изучена аккумуляция радионуклидов дикорастущими и культивируемыми лекарственными растениями Мурманской области и Карелии [8, 13];

– изучено влияние радиационных показателей на биохимические свойства хвои сосны, листья березы, земляники садовой и адаптацию ее в северных условиях [12, 14–16];

Разработанные методики позволили изучить пространственное и временное распределение природных и техногенных радионуклидов в исследуемых объектах.

Впервые получены данные по радиологическому состоянию атмосферы в северных широтах в приземном слое и тропосфере с помощью шаров-зондов (Грант РФФИ-Север\_а (2002-2005)). Установлено, что Be-7 может быть использован в качестве трассера при изучении физики атмосферы [17–20].

Впервые проведены исследования по вертикальному распределению радионуклидов в донных отложениях озер Центральной части России (на примере оз. Борое (Новгородская обл., Валдай) и оз. Глубокое (Рузский р-н, Московская обл.) и озер, расположенных на востоке и юго-западе Кольского полуострова [21]. Дана сравнительная оценка радиоэкологического состояния донных отложений исследуемых объектов.

Полученные результаты подтверждают влияние геохимических факторов на распределение и миграцию природных радионуклидов в экосистемах.

### **Перечень оригинальных публикаций**

1. Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма / Под ред. Е. П. Иешко – Петрозаводск: Карельский научный центр, 2005. – 110 с. [Гл. 11 – Качество вод озера ПАДМОЗЕРО (республика Карелия) на основе состояния БИОТЫ / Л. П. Рыжков, А. А. Лукин, Н. А. Мельник и др. – С. 89–100.]

2. Радиационный мониторинг снежного покрова как индикатора распространения загрязнений / Н. А. Мельник // Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им И. В.Тананаева Кольского научного центра РАН, Апатиты, 2007. – 53 с., табл. 10. рис. 22, библи. – 48 назв., рус. – Деп. в ВИНТИ 31.07.2007 № 798-В-2007.
3. Радиоэкологическое состояние водоемов центрального региона России / Н. А. Мельник, Н. В. Власюк, Т. И. Моисеенко, Л. П. Кудрявцева, П. Н. Корнилов // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера: Материалы IV (XXVII) Международной конф., г. Вологда, 5–10 декабря 2005 г. – Вологда: УрОРАН, 2005. – ч. 2. – С. 7–10.
4. Радиационный мониторинг питьевых источников селитебных территорий Кольского Севера / Н. А. Мельник, К. В. Петельчук // Тез. докл. XI междунар. науч. конф. студентов и аспирантов «Проблемы Арктического региона», Мурманск, 12 мая 2011 г. – Мурманск, 2011. – С.58-59.
5. Распределение радионуклидов в открытых водоемах Кольского Севера. / Н. А. Мельник, В. А. Даувальтер, В. А. Маслобоев / Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера: Тез докл. III (XXVI) Международной конференции (Сыктывкар, Республика Коми, Россия; 11-15 февраля 2003 г.) – Сыктывкар, 2003. - С. 57, 147-148.
6. Радионуклиды в природных системах (на примере Падмозера Республики Карелия). / Н. А. Мельник, А.А. Лукин // Biological Resources of the White Sea and Inland Water Bodies of the european North: Abstracts of International Conference (Syktyvkar, Komi Republic, Russia, 11-15 February, 2003) – Syktyvkar, 2003. – С. 58,148
7. Оценка аккумуляции радионуклидов в водоемах юго-западного района Кольского полуострова / Н. А. Мельник, В. А. Даувальтер, В. А. Маслобоев // Переработка природного и техногенного сырья, содержащего редкие, благородные и цветные металлы: Труды науч. конф., ИХТРЭМС КНЦ РАН, Апатиты, 1 апреля 2003 г. – Апатиты, изд-во КНЦ РАН, 2003. – С. 86-88.
8. Содержание радионуклидов в лекарственных растениях Мурманской области и возможность использования их в качестве радиопротекторов / Н. А. Мельник, С. А. Игумнова // XII Межрегиональная научно-практ. конф.: Тез. докл., г. Апатиты, 15–17 апреля 2009 г. Апатиты: КФ ПетрГУ, 2009. – Ч. 1. – С. 71–72.
9. Радиоэкологическое состояние почвы в Апатитско-Кировском районе / Н. А. Мельник, А. А. Райских // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Материалы Всероссийской научн. конф. с междунар. участием, Апатиты, 14-16 октября 2008 г. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2008. – Ч. 1. – С. 141–145.
10. Содержание природных и техногенных радионуклидов в тундровых и подзолистых почвах Кольского севера / Н. А. Мельник // Материалы Рос. научно-технич. конф. с междунар. участием «Актуальные проблемы радиохимии и радиоэкологии», г. Екатеринбург, 9-11 ноября 2011 г. – Екатеринбург, 2011. – С.178–181.
11. Зависимость содержания природных радионуклидов в почве от подстилающих горных пород Водлозерского блока / Н. А. Мельник, П. В. Икконен // Материалы IV Рос. конф. с междунар. участием «Экологические функции лесных почв в естественных и нарушенных ландшафтах», Апатиты, 12–16 сентября 2011 г. – Апатиты, 2011. – Ч. 1. – С.109–113.

12. Изучение аккумуляции радионуклидов в наземных частях земляники садовой / Н. А. Мельник, А. А. Мартынова // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Материалы Всероссийской научн. конф. с международ. участием, Апатиты, 14-16 октября 2008 г. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2008. – Ч. 1. – С. 136–140.
13. Радиоэкологическая оценка растительных объектов центральной части Мурманской области / Н. А. Мельник, П. Н. Корнилов // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы II-й Международ. конф., 18-22 октября 2004 г., Томск – Томск: Тандем-Арт, 2004. – С. 380–382.
14. Костюк, В. И. и др. Состояние ассимилирующих органов различных видов растений в условиях техногенного загрязнения. // В. И. Костюк, Н. А. Мельник, Н. Ю. Шмакова – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2009. – 82 с.
15. Костюк, В. И. Состояние ассимилирующих органов березы в окрестностях Апатитской ТЭЦ // В. И. Костюк, Н. А. Мельник, М. И. Вихман – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН. 2011. – 87 с.
16. Радиационный мониторинг древостоя центрального района Кольского полуострова / Н. А. Мельник // Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им И.В.Тананаева Кольского научного центра РАН, Апатиты, 2006. – 48 с. – Деп. в ВИНТИ 02.08.2006 № 1035-В-2006.
17. Melnik N. A., Demin V. N., Yoshimori M. Cosmogenic Radionuclide Be-7 Variations Related with Cosmic Rays and Atmospheric Circulations // Physics of Auroral Phenomena, Proc. XXVI Annual seminar, Apatity, 2003. Apatity, Kola Science Centre RAS, 2003. pp. 169–172.
18. Радиационный мониторинг естественных радионуклидов в северных широтах / Н. А. Мельник // Север-2003: Проблемы и решения. Апатиты, Изд-во Кольского научного центра РАН, 2004. – С. 77–89.
19. Радиационный мониторинг бериллия-7 в атмосферных осадках и аэрозолях / Н. А. Мельник, Э. В. Вашенюк, А. А. Райских // Переработка природного и техногенного сырья, содержащего редкие, благородные и цветные металлы: Труды науч. конф., ИХТРЭМС КНЦ РАН, Апатиты, 1 апреля 2003 г. – Апатиты, изд-во КНЦ РАН, 2003. – С. 88–90.
20. Changes in radionuclide Be-7 as related to cyclic and sporadic variations of cosmic rays / N. A. Melnik, E. V. Vashenyuk, Yu. V. Balabin // Physics of Auroral Phenomena, Abstracts of 28<sup>th</sup> Annual seminar, Apatity 1–4 марта 2005 г., PGI KSC RAS – Апатиты, 2005. – С. 51.
21. Содержание природных радионуклидов в донных отложениях озер центрального региона России / Н. В. Власюк, Н. А. Мельник // Химия и химическая технология в XXI веке: Труды VI Всероссийской студ. научно-практич. конф., 11–13 мая, Томск – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – С. 39–44.

#### **4. МЕТОДЫ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ**

Инженерно-экологические изыскания могут выполняться только сотрудниками аккредитованной лаборатории радиационного контроля в указанной области аккредитации с использованием поверенной аппаратуры (ПРИЛОЖЕНИЕ 3).

При проведении инженерно-экологических изысканий и оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) в обязательном порядке должны проводиться радиологические исследования территории и всех объектов, включая наземные экосистемы [1-3].

Радиологические исследования должны включать:

- определение гамма-фона на местности (пешеходным методом),
- измерение мощности амбиентного эквивалента дозы,
- радиационный контроль наземных экосистем (определение содержания радионуклидов в воде, почве, растительности).
- определение концентрации радионуклидов в атмосфере,
- определение концентрации радона в приземном слое и др.

Данный раздел посвящен методам определения этих показателей.

##### **4.1. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ГАММА-ФОНА В ГОРОДАХ И НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ, НА ТЕРРИТОРИЯХ ЗАСТРОЙКИ (ПЕШЕХОДНЫМ МЕТОДОМ)**

Методика МВИ РЛРК ИХ 2.6.1.-04-2006-08 разрабатывалась в РЛРК в 2006–2008 г., утверждена директором институтов 2008 г. (рис. 4.1). Методика была аттестована по результатам метрологической экспертизы материалов по ее разработке в ЦМИИ ФГУП «ВНИИФТРИ» (Свидетельство аттестации МВИ № 40090.8А090, рис. 4.2). В соответствии с нормативными документами Методика проходила апробацию при инженерно-экологических изысканиях на территории Мурманской области, Карелии и в других регионах.

##### **Общие положения и назначение методики**

Настоящая методика разработана с учетом требований нормативных документов: Федеральных законов «О радиационной безопасности населения», ФЗ № 3 от 09.01.1996 г. и «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», ФЗ № 52 от 30.03.1999 г., норм радиационной безопасности (НРБ-99/2009), ОСПОРБ-99/2010, МИ 2453-2000 и др. [4-9].

Методика разработана на основе «Инструкции по измерению гамма-фона в городах и населенных пунктах (пешеходным методом)», утвержденной зам. Главного государственного санитарного врача СССР В. Е. Ковшило 09.04.1985 г., № 3255 [10], и предназначена для использования в аккредитованной лаборатории радиационного контроля при проведении радиологических исследований в полевых условиях – рекогносцировочные исследования территорий застройки любой местности пешеходным методом или с помощью автомобильного транспорта, в том числе, в городах и населенных пунктах.

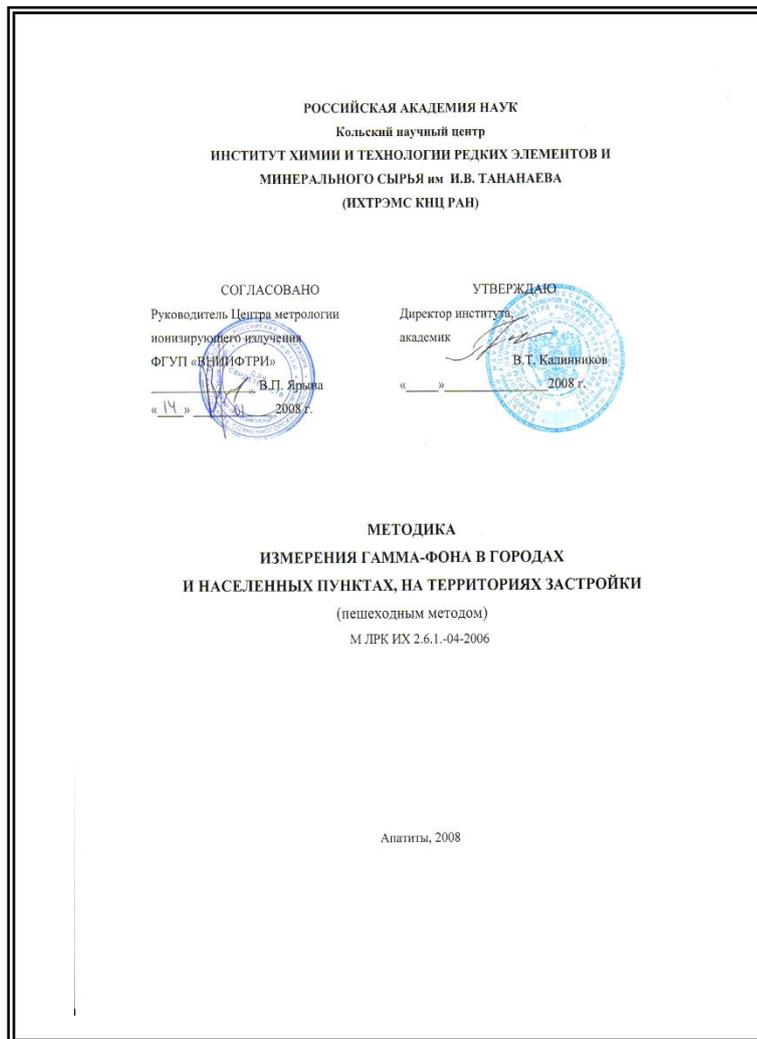


Рис. 4.1. Титульный лист методики М ЛРК ИХ 2.6.1.-04-2006-08

Радиологические исследования проводились с целью измерения внешнего гамма-излучения и мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) на местности пешеходным методом и с помощью автомобильного транспорта.

При осуществлении автомобильной гамма-съемки определяется предварительное радиологическое обследование с целью рекогносцировки и непрерывного определения естественного фона местности, по которым затем может быть установлено необходимое количество контрольных точек измерения (размеры сетки, если они не определены техническим заданием заказчика) — определение гамма-фона местности большой протяженности (трассы дорог, территории строительства, населенные пункты, оконтуривание месторождений при геологических работах, определение площади радиоактивных загрязнений и т.п.)

При осуществлении пешеходной гамма-съемки решаются основные задачи:

- оценка интенсивности излучения на контролируемой местности;
- выявление локальных участков, площадей, отдельных точек с повышенным излучением, присущим данной местности.



Рис. 4.2. Свидетельство аттестации МВИ № 40090.8A090

Методика обеспечивает измерение гамма-фона в диапазоне 0-10000 Р/ч, мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) фотонного излучения в диапазоне (0.1–10<sup>4</sup>) мкЗв/ч с погрешностью 15–30 % ( $P = 0.95$ ).

#### Средства измерений и оборудование

Для измерения МАЭД и радиометрического обследования объектов предусмотрены следующие приборы, поверенные в установленном порядке [11–14] (Приложение 4.1-3): *СРП-88Н, МКС-04Н, ДРГ-01Т, ДКГ-07, МКС-А03Н*.

Измерения указанными приборами выполняются в натуральных условиях, оговоренных в инструкции по эксплуатации на средства измерений:

- температура окружающей среды от минус 10 °С до плюс 40 °С;
- влажность воздуха до 80 %.

При более низких температурах необходимо использовать утепляющее покрытие приборов и сокращать время их пребывания в условиях низких температур. Для защиты от прямого попадания влаги предусмотрено использование полиэтиленового покрытия.

Приборы *СРП-88Н*, *МКС-04Н* [16, 17], используются в качестве поисковых радиометров (рис. 4.3).

Приборы *ДРГ-01Т-01*, *МКС-04Н*, *МКС-А03Н* используются в качестве дозиметров для измерения МАЭД в режиме «измерение» (рис. 2.17).



Рис. 4.3. Радиометр СРП-88Н: слева — пульт цифрового измерителя с отсеком для блока питания, справа — пульт с подключенным блоком детектирования

#### Вспомогательные средства и материалы:

Полевая спецодежда для экспедиции (каска, костюм, сапоги и др.)

Карты исследуемого района, компас или навигационный прибор системы GPS (тип Garmin eTrex VISTA).

Батарейки питания для радиометров на 1.5 В типа А – 4 штуки для СРП-88 (на 8 ч непрерывной работы).

Отвертки — для установки и закрепления батареек в отсеке блока питания.

Журнал (блокноты) для записи показаний приборов.

Спирт-ректификат для очистки контактов и рабочей поверхности блока детектирования.

Протирочный материал (бязь, вата, марля, фланель).

#### **Проведение гамма-съемки**

1. Радиометр типа СРП-88Н настраивается на оптимальный режим, согласно инструкции по эксплуатации прибора [15].

2. Чувствительность радиометра, определяемая по контрольному источнику гамма-излучения, должна соответствовать паспортным данным.

3. Все радиометры, предназначенные для измерения гамма-фона, должны предварительно градуироваться в поверочных лабораториях, имеющих соответствующие разрешения на проведение подобных работ.

4. При осуществлении гамма-съемки силами рабочих групп, показания радиометров увязываются между собой на опорных контрольных пунктах (ОКП).

5. В качестве опорного контрольного пункта может быть выбрана территория нахождения радиологической группы испытаний лаборатории радиационного контроля (ЛРК). Площадка ОКП должна быть по возможности ровной, удаленной от места строений не менее 10 м, выбранные ОКП отмечаются на карте местности. Их координаты и показания радиометров заносятся в Журнал (графа 2, Приложение 4.1-1 к МВИ).

Детектор СРП-88Н при измерении гамма-фона на ОКП располагается от поверхности земли на расстоянии 1 м.

6. Сравнение показаний на ОКП проводится в начале и в конце рабочего дня. Показания радиометров не должны отличаться друг от друга более чем на  $\pm 10\%$ .

7. Гамма-съемка производится по профилям или площадная по определенной сети.

Профиль — маршрутная линия, вдоль которой производится гамма-съемка (Приложение 4.1-2 к МВИ).

Расстояние между профилями в населенных пунктах должно быть не более 10–15 м (с учетом конкретного профиля местности и требований заказчика). Фиксированные измерения гамма-фона (на точке) по профилю производятся через каждые 10 м в населенном пункте и 50–250 м на большой площади территории строительства, трассе и т.д. (приложение 4.1-1, 4.1-3 к МВИ).

Сеть площадной гамма-съемки складывается из профилей и точек измерения гамма-фона (Приложения 4.1-2, 4.1-3 к МВИ).

Сеть закрепляется по ориентирам на местности (дорожные указатели, километровые столбы, ЛЭП, географические особенности местности — леса, болота, поля, озера, сопки, горы и т.п. (рис. 4.4); в населенных пунктах — магазин, почтовое отделение и др. здания общественного назначения, стоянки и остановки транспорта, заправочные станции и т.д.), привязка к местности осуществляется по топографическому плану и с помощью навигационного прибора системы GPS (тип Garmin eTrex VISTA). Все ориентиры и координаты фиксируются в Журнале.

Разбивка сети или профилей производится предварительно с учетом особенностей местности или застройки территории, улицы, требований заказчика (обозначение профилей на контурной карте района обследования).

8. При проведении гамма-съемки обязательно непрерывное прослушивание интенсивности шума в телефон и наблюдение показания прибора по шкале.

9. Прослушивание интенсивности шумов (обусловленных интенсивностью гамма-фона) проводится при максимально выдвинутом детекторе. В процессе проведения гамма-съемки периодически через два часа необходимо проверять чувствительность радиометра по контрольному источнику и через каждый час контролировать режим питания прибора.

10. Скорость передвижения при пешеходной съемке не должна превышать 2.0 км/ч. При использовании автомобильного транспорта скорость движения его не должна превышать 25–30 км/ч.

11. При проведении измерений в фиксированных точках датчик прибора прикладывается к поверхности земли (асфальтового или другого покрытия) вплотную, при времени измерения не менее 5 секунд.

12. При обнаружении превышения гамма-фона на 30 % от естественного фона, необходимо провести тщательное измерение интенсивности излучения в радиусе 5 метров.

13. В случаях обнаружения участков с превышением гамма-фона (в 3 и более раз) присущего для данной местности необходимо сообщить руководителю работ.



Измерение гамма-фона на маршруте



Район Урагуба-Видяево (граниты)

Рис. 4.4. Полевые радиологические исследования:  
определение гамма-фона и МАЭД на местности пешеходным методом  
(проект «Штокмановское месторождение»)

#### **Проведение измерений и обработка результатов**

1. Определение уровня гамма-фона и МАЭД на исследуемом объекте производится в следующем порядке:

- подготовка радиометров к работе;
- рекогносцировочное непрерывное определение гамма-фона пешеходным методом или с помощью автомобильного транспорта (для больших расстояний, скорость не более 20 км/ч) с фиксацией в контрольных точках, отмечаются также максимальные и минимальные значения для данной местности;
- выполнение измерений (гамма-фон и МАЭД) в контрольных точках и по принятой сетке;
- регистрация результатов контроля в Журнале полевых радиометрических измерений;
- обработка полученных данных, расчет средних значений и погрешности.

2. Подготовку к работе и проверку работоспособности радиометра выполняют согласно инструкции по эксплуатации.

3. За результат принимается среднее арифметическое значение для многократных ( $n = 5 \div 7$ ) наблюдений.

4. В контрольных точках также выполняются многократные измерения ( $n = 5 \div 7$  наблюдений) на расстоянии от поверхности земли 1 м.

Для точек, где отмечается 3-х кратное превышение среднего значения, необходимо повторить наблюдения не менее трех раз, приняв для регистрации среднее значение.

Результаты контроля регистрируются в Журнале по установленной форме (Приложения 4.1-2, 4.1-3 к МВИ) с указанием координат, картограммы измерений и показаний радиометра в точках превышения средних значений.

5. Погрешность измерения определяется с учетом коэффициентов 0.3 для дозиметра МКС-04Н и 0.4 — для дозиметра ДРГ-01Т1.

6. Оценка точности и контроль качества метода выполняется проверкой стабильности работы аппаратуры и качества работы оператора, измерением контрольных источников, повторным измерением и сравнением показаний 2-х радиометров.

### **Форма представления результатов**

Все показания и расчеты записываются в Журнал полевых радиометрических измерений в форме Протокола испытаний, в котором регистрируются: средство измерения, данные о поверке, дата проведения измерений-испытаний, характеристика района обследования, условия измерений (погода, температура, наличие или отсутствие ветра, его направленность, влажность, атмосферное давление); карта-схема района обследования, предполагаемое количество контрольных точек (КТ) и их координаты, количество маршрутных линий (МЛ) и их координаты; время начала и конца испытаний, Заказчик — организация, фамилия и т.д., дата измерения, фамилия исполнителя и др. (Приложения 4.1-1, 4.1-3 к МВИ).

По результатам измерений оформляется Акт радиологического обследования по форме РЛРК и Акт радиационного контроля по форме, установленной в «Руководстве по качеству испытаний РЛРК».

Содержание оформленных документов должно соответствовать требованиям заказчика и содержать все исходящие данные, результаты измерений, заключение.

### **Обеспечение радиационной безопасности**

При выполнении радиационного контроля необходимо соблюдать правила техники безопасной работы с контрольными закрытыми источниками ионизирующих излучений, пожарной безопасности, соблюдать меры индивидуальной защиты и личной гигиены [7, 9], правила работы в полевых условиях.

### **Радиоэкологические исследования на местности (рис. 4.5)**

#### Определяемые радиационные параметры:

- измерение гамма-фона, мкР/ч (мкЗв/ч);
- измерение мощности амбиентной эквивалентной дозы гамма-излучения (МАЭД, мкР/ч и мкЗв/ч);
- определение концентрации радона и продуктов его распада в приземном слое;
- определение содержания радия и радона в почве и плотности потока радона;
- экспрессное определение радионуклидного состава почвы и плотности потока альфа- и бета-частиц, нейтронов (частиц/см<sup>2</sup>·с) в этих же КТ для дополнительного контроля на местности;
- отбор проб для лабораторного определения радионуклидного состава почвы и растительных объектов.



Гамма-съемка  
на участке  
(Рук. Мельник Н. А.,  
к.т.н.)



Группа радиационного  
контроля на полевых  
радиологических  
исследованиях



Уточнение координат  
(начальник полевого  
отряда  
Сандимиров С. Н.  
к.геогр. н.)

Рис. 4.5. Радиоэкологические исследования на участке проектирования строительства магистрального газопровода Мурманск-Волхов: участок 120 га (на территории Карелии)

**Выполнение исследований в лабораторных условиях** (в соответствии с аттестованными методиками):

- определение массы отобранных проб почвы и растительных объектов, проб подготовленных к анализу, счетных образцов (г);
- определение радионуклидного состава почвы и растительности: удельная активность природных радионуклидов (ЕРН:  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$ ), Бк/кг; удельная активность техногенных радионуклидов (ТРН:  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и др.), Бк/кг (Бк/м<sup>2</sup>)
- оформление Протоколов по каждому объекту исследования, Заключения, Радиационной оценки.

Результаты радиологического обследования оформляются в форме Протоколов, рисунков, фото, карт-схем маршрутов, записей в Журнале и т.д. (Приложения 4.1-4.3 к МВИ).

Форма регистрации интенсивности излучения гамма-фона и МАЭД  
(журнал для территорий застройки, открытой местности)

**Журнал №**  
(титульный лист)  
**полевых радиометрических измерений**

начат - \_\_\_\_\_ (дата)  
окончен - \_\_\_\_\_ (дата)

Руководитель ЛРК \_\_\_\_\_ (подпись) /ФИО/

МП

Содержание

**ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЙ №**

радиологическое обследование

участка строительства (наименование объекта) от \_\_\_\_\_ (дата)

1. Наименование организации проводящей контроль
2. Лаборатория радиационного контроля (ЛРК)

Адрес организации

телефон.

**Радиационно-экологическое обследование** выполняется на основании Аттестата аккредитации РЛРК № ..... выданного ..... Федеральным агентством России по техническому регулированию и метрологии, срок действия до..... (область аккредитации – территории участков застройки, жилых и производственных зон, санитарно-защитных зон, зон наблюдения и т.п.).

**2. Дата проведения измерений –**

**3. Наименование исследуемого объекта –**

**4. Метод исследования –** радиометрический, пешеходная гамма-съемка.

Приборы – тип, марка (СРП-88Н; ДРГ-01Т, МКС-04Н), заводской номер радиометра \_\_\_\_\_, № Свидетельства о поверке \_\_\_\_\_, дата поверки - \_\_\_\_\_, кем выдано \_\_\_\_\_, основная погрешность измерения \_\_\_\_\_

Навигационный прибор системы GPS (тип Garmin eTrex VISTA), зав. № \_\_\_\_\_, дата выпуска, производитель

**5. Результаты измерений, исполнители**

Обозначение в таблицах: МЛ — маршрутная линия и ее номер; ОКТ — опорная контрольная точка; Л, П — контрольные точки (КТ) по левой и правой стороне на расстоянии 50–100 м от ОКТ.

По результатам измерений составляется Акт радиологического обследования по установленной в РЛРК форме (табл. 1–3).



**Форма регистрации**  
интенсивности излучения гамма-фона (Журнал для населенных пунктов)

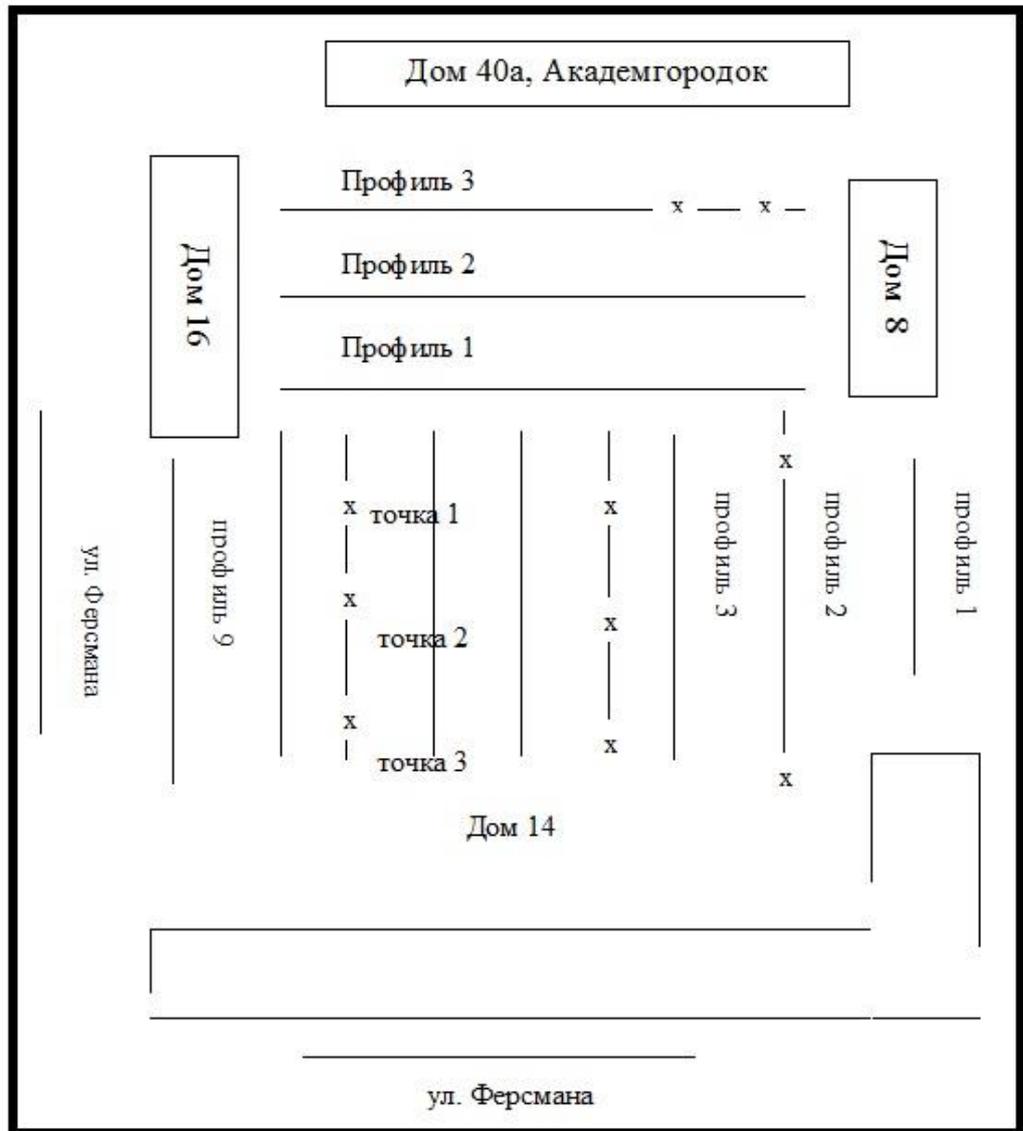
Объект радиологического исследования:

Тип и марка прибора \_\_\_\_\_, заводской номер радиометра \_\_\_\_\_, № Свидетельства о поверке \_\_\_\_\_, дата поверки - \_\_\_\_\_, кем выдано \_\_\_\_\_, срок действия \_\_\_\_\_, основная погрешность измерения \_\_\_\_\_

Дата, время	Показания радиометра (СРП-88) на ОКП		Привязка профиля к местности, тип показателя поверхности или координаты (широта, долгота)	№-профиля №-точки	Показания СРП, мкР/ч
1	2		3	4	5
	В начале работы	В конце работы	Улица, переулок и т. п. (наименование) дом № _____ характер покрытия.	Профиль № I Точка-1 Точка-2... Точка n  Профиль- № 2 Точка-1 Точка-2...	10, ... n 15, ... n

Исполнитель (дозиметрист) \_\_\_\_\_ (подпись) \_\_\_\_\_ /Ф.И.О./  
Руководитель испытательной группы или лаборатории РК \_\_\_\_\_ (подпись) \_\_\_\_\_ /Ф.И.О./

**Схема**  
**сети наблюдения и радиологического обследования в населенном пункте**  
(пример)



Исполнитель (дозиметрист)  
Руководитель группы или ЛРК

(подпись)  
(подпись)

/Ф.И.О./  
/Ф.И.О./

Методика использовалась при выполнении радиоэкологических исследований на участке предполагаемого строительства газопровода Мурманск–Волхов (на территории Мурманской области и Карелии), на участке проектируемого завода по переработке газа Штокмановского месторождения, в районах добычи редкометалльной руды с повышенным содержанием природных радионуклидов и других объектах.

Радиоэкологические исследования проводились на руднике, на котором добывается подземным способом лопаритовая руда, и посёлке, находящемся в непосредственной близости от него. Установлены основные источники внутреннего и внешнего облучения работников предприятия. Установлено, что гамма-фон на руднике находится на уровне 0.1–1.5 мкЗв/ч и не превышает нормативного значения в условиях подземной разработки.

### Список литературы

1. Инженерно-экологические изыскания для строительства: СП 47.13330.2016. – Режим доступа: <https://www.consultant>
2. Градостроительный кодекс Российской Федерации, № 190-ФЗ от 29.12.2004 г. (в ред. От 27.07. 2010 г. №226-ФЗ). – Режим доступа: <https://www.consultant>
3. Федеральный закон «О радиационной безопасности населения», ФЗ № 3 от 09.01.1996 г. – Режим доступа: <https://www.consultant>
4. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», ФЗ № 52 от 30.03.1999 г. – Режим доступа: <https://www.consultant>
5. Об охране окружающей природной среды»: закон РСФСР № 320060 от 19 дек. 1991 г., ФЗ № 7 от 10 янв. 2002 г. (в ред. От 26 июня 2007 г.). – Режим доступа: <https://www.consultant>
6. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения : СП 2.6.1.2800-10 – М.: Минздрав России, 2010. – 58 с.
7. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Гигиенические нормативы: СанПин 2.6.1.2563-09 – М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
8. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): СП 2.6.1.2612-10. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2010. – 83 с.
9. Инструкция по измерению гамма-фона в городах и населенных пунктах (пешеходным методом). М.: Министерства здравоохранения РСФСР, 1985. – 5 с.
10. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений, ФЗ № 102 от 11 июня 2008г. (с изменениями на 02 дек. 2013г. № 338). – Режим доступа: <https://www.consultant>
11. Метрологическое обеспечение радиационного контроля. Основные положения, ГОСТ Р 8.638-2013 ГСИ, 15 с. – Режим доступа: <https://www.consultant>
12. Применение руководства по выражению неопределенности измерений. ГСИ. МИ 2552-99 – Режим доступа: <https://www.consultant>
13. Методики радиационного контроля. Основные положения. Рекомендация. МИ 2453-2000. – М. : ФГУП ГНМЦ «ВНИИФТРИ», 2000. – 16 с.
14. Прибор геологоразведочный сцинтилляционный СРП-88Н. Паспорт ЖШ1.289.386 ПС, 1990. 33 с.
15. Радиометр-спектрометр универсальный портативный МКС-А03-1Н. Паспорт ДЦКИ. 411168.009-04 ПС (сер.№ 0326-08). Дубна: НПЦ «Аспект», 2008. – 16 с.

#### **4.2. МЕТОДИКА РАДИОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ**

Метод радиологического обследования жилых и общественных зданий (МВИ ЛРК ИХ 2.6.1.-07-2006-08) был разработан в 2006. В последующие годы методика совершенствовалась (уточнялись радиационные параметры, методы и условия контроля и др.), в 2008 г. утверждена директором института (рис. 4.6) и аттестована ЦММИ ФГУП «ВНИИФТРИ» — Свидетельство об аттестации МВИ № 40090.8A091 от 14.01.2008г. (рис. 4.7).



Рис. 4.6. Титульный лист методики М ЛРК ИХ 2.6.1.-07-2006-08

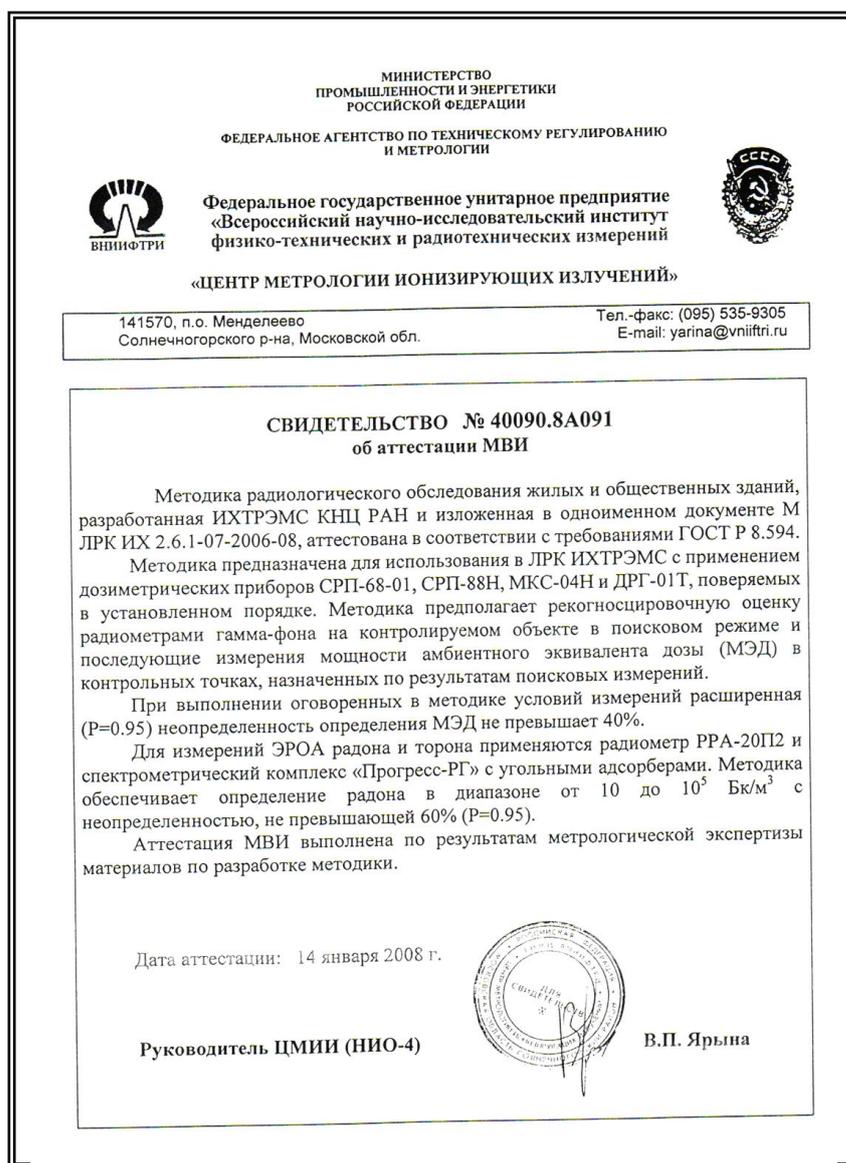


Рис. 4.7. Свидетельство об аттестации МВИ № 40090.8A091

### Общие положения и назначение метода

Метод разработан на основе методического указания СПб НИИРГ [1] и предназначен для использования в аккредитованной лаборатории радиационного контроля при проведении радиологического обследования жилых и общественных зданий.

Метод разработан с учетом требований нормативных документов по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: Федеральных законов «О радиационной безопасности населения» (ФЗ № 3 от 09.01.1996 г.) и «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (ФЗ № 52 от 30.03.1999 г.), норм радиационной безопасности (НРБ-99/2009), ОСПОРБ-99/2010 [1–6].

Радиологическое обследование, которое согласно НРБ-99/2009 [5, п. 5.3.2, 5.3.3.] должно проводиться аккредитованными лабораториями при проектировании и эксплуатации жилых и общественных зданий, включает:

- определение внешнего гамма-излучения,
- определение мощности дозы гамма-излучения (МАЭД), обусловленного природными радионуклидами,
- определение среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности изотопов радона на исследуемых объектах.

Целью радиологического обследования является проведение контроля за соблюдением действующих на территории Российской Федерации гигиенических нормативов по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения в жилых домах и зданиях социально-бытового назначения как при приемке их в эксплуатацию после завершения строительства (реконструкции или капитального ремонта), так и при их эксплуатации.

Методика составлена с учетом рекомендаций ГОСТ Р 8.563-2009, ГОСТ Р 8.638-2013, МИ 2552-99, МИ 2453-2000, СП 2.6.1.2800-10 [4, 5–10]. Выбор объекта исследований определяется заданием заказчика (юридическим или физическим лицом).

### **Принцип контроля**

1. Для предварительной оценки радиационной обстановки в помещениях с целью выявления возможных локальных источников гамма-излучения проводят предварительное обследование, для проведения которого используются поисковые высокочувствительные гамма-радиометры типа СРП-88Н, МКС-А03Н, ДКС-АТ1121 и др. (рис. 2.17 и рис. 2.22) [4, 5–10].

2. Контролируемой величиной в зданиях и сооружениях является мощность амбиентного эквивалента дозы (МАЭД)  $\dot{H}$  (мкЗв/ч) внешнего гамма-излучения. Допускается измерять и представлять результаты в единицах мощности экспозиционной дозы гамма-излучения  $\dot{X}$  (мкР/ч), связанной с  $\dot{H}$  (мкЗв/ч) приближенным соотношением:

$$\dot{H} = 0.009 * \dot{X}. \quad (1)$$

3. Согласно НРБ-99/2009 (пп.5.3.2 и 5.3.3) значение МАЭД внешнего гамма-излучения в проектируемых новых зданиях жилищного и общественного назначения не должно превышать среднее значение мощности дозы на открытой местности (в районе расположения здания) более чем на 0.2 мкЗв/ч.

4. Контролируемой величиной в новых зданиях жилищного и общественного назначения является объемная активность дочерних продуктов радона и торона в воздухе помещений, которая не должна превышать 100 Бк/м<sup>3</sup>, в эксплуатируемых зданиях — 200 Бк/м<sup>3</sup> [5]. При превышении этих нормативов при строительстве зданий и сооружений требуется проводить противорадоновую защиту согласно Санитарных правил (СП 11-102-97, табл. 4.1).

## Классы противорадоновой защиты зданий

Средняя по площади здания плотность потока радона на поверхности грунта, мБк/(кв.м·с)	Класс требуемой противорадоновой защиты здания (характеристика противорадоновой защиты)
Менее 80	I — Противорадоновая защита обеспечивается за счет нормативной вентиляции помещений
От 80 до 200	II — Умеренная противорадоновая защита
Более 200	III — Усиленная противорадоновая защита

**Средства измерений и оборудование**

1. Средства измерения, предназначенные для контроля радиационной обстановки в жилых и других помещениях, должны иметь действующие Свидетельства о государственной метрологической поверке.

2. Требования, предъявляемые к условиям измерения:

Температура в пункте наблюдения (жилые и служебные помещения) должна находиться в диапазоне  $22 \pm 4$  °С, а относительная влажность воздуха не должна превышать 85 %.

3. Для радиологического обследования используются радиометры СРП-88Н, МКС-04Н, ДКС-АТ1121 в качестве поисковых радиометров; МКС-А03Н, ДРГ-01Т1 (пределы измерений 0.01-100 мР/ч, погрешность —  $\pm 15$  %), МКС-04Н (пределы измерений 1-999 мкЗв/ч, погрешность —  $\pm 20$  %), используются в качестве дозиметров для измерения МЭД в режиме «измерение» ПРИЛОЖЕНИЕ 3-3 — область аккредитации).

Погрешность измерения определяется с учетом коэффициентов 0.3 для радиометра МКС-04Н и 0.4 — для дозиметра ДРГ-01Т1.

Оценка точности и контроль качества метода выполняется проверкой стабильности работы аппаратуры и качества работы оператора, измерением контрольных источников, повторным измерением и сравнением показаний 2-х радиометров.

4. Определение плотности потока и объемной активности радона осуществляется в лаборатории согласно области аккредитации (ПРИЛОЖЕНИЕ 3) и паспорта на гамма-спектрометрический комплекс «Прогресс-РГ» (метод отбора проб воздуха, с использованием активированного угля), измерителя загрязненности воздуха ИЗВ-3М, радоновом радиометре РАМОН-01М, радиометре аэрозолей РРА-10 или аналогичных радиометров.

**Вспомогательные средства и материалы:**

Батарейки питания для радиометров на 1.5 В – 4 батарейки типа «Крона» для СРП-88 (на 8 ч непрерывной работы), аккумуляторные батарейки на 9 В.

Отвертки — для установки и закрепления батареек в отсеке блока питания.

Журнал для регистрации показаний приборов.

Спирт-ректификат для очистки контактов и рабочей поверхности блоков детектирования.

Противочный материал (бязь, вата, марля, фланель).

## **Требования к квалификации операторов**

К работе допускается квалифицированный персонал, изучивший данную методику, инструкцию по эксплуатации используемых средств измерений, основные требования ОСПОРБ-99/2009, прошедший инструктаж по технике безопасной работы с источниками ионизирующих излучений (ИИИ), пожарной безопасности, не имеющий медицинских противопоказаний для работы с ИИИ, и сдавший экзамен на право допуска к самостоятельной работе.

## **Порядок проведения радиологического обследования**

### **1. А – рекогносцировочное обследование**

С поисковым радиометром (дозиметром) СРП-88, ДКС-АТ1121 произвести обход всех помещений обследуемого здания по периметру каждой комнаты, производя замеры на высоте 1 м от пола на расстоянии 5–10 см от стен, и по оси каждой комнаты, производя замеры на высоте 5–10 см над полом. При обнаружении локальных повышений показаний используемого прибора, провести поиск максимума и зафиксировать в журнале его положение и показания прибора в точке максимума. Кроме того, в Журнал заносят максимальные показания прибора в каждом помещении.

### **2. Б – контроль мощности амбиентного эквивалента дозы внешнего гамма-излучения (рис. 4.8.)**

2.1. Объем контроля МАЭД внешнего гамма-излучения должен быть достаточным для выявления всех помещений, где значения  $\dot{H}$  могут превышать установленный предел, а также для оценки максимальных значений МАЭД в типичных помещениях (по функциональному назначению, занимаемой площади, на этаже, в подъезде, а также по типу использованных стройматериалов).

2.2. Измерения МАЭД гамма-излучения в помещениях сдаваемого в эксплуатацию здания проводятся, как правило, выборочно. Конкретные помещения (квартиры), подлежащие обследованию выбираются с учетом результатов проведенного предварительного обследования. При этом обязательно должны обследоваться те из них, в которых зафиксированы максимальные показания поисковых радиометров (дозиметров), а также обнаруженные точки локальных максимумов. Для проведения измерений выбирают типичные помещения, ограждающие конструкции которых изготовлены из различных строительных материалов. При этом в многоэтажных зданиях выбирают помещения, подлежащие обследованию, на каждом этаже.

2.3. Число обследуемых помещений выбирается в зависимости от этажности здания, числа помещений (квартир) и других характеристик здания, при этом:

– в односемейных домах, коттеджах (в том числе многоэтажных), школьных и дошкольных учреждениях измерения должны проводиться в каждом помещении;

– в многоквартирных домах при числе квартир до 10 и зданиях социально-бытового назначения при числе помещений до 30 измерения проводятся в каждой квартире для жилых зданий и в каждом помещении для других зданий;

– в многоквартирных домах при числе квартир до 100 и зданиях социально-бытового назначения при числе помещений до 300 измерения проводятся не менее чем в 50 % квартир (помещений) в каждом подъезде;

– при числе квартир в жилом здании свыше 100 и числе помещений в здании социально-бытового назначения свыше 300 число обследуемых квартир (помещений) должно быть не менее 25 % от их общего числа в каждом из подъездов здания.

2.4. При обследовании многоквартирных жилых домов измерения в каждой обследуемой квартире следует проводить не менее чем в двух помещениях, которые должны быть различными по функциональному назначению.



Контроль гамма-фона в подвальном помещении дома и на перекрытии этажей

Рис. 4.8. Выполнение радиологического обследования помещений

### 3. В – *определение объемной активности радона*

3.1. В качестве средств контроля ЭРОА радона и торона применяются инспекционные и интегральные радиометры альфа-активных аэрозолей. Для контроля ЭРОА радона по величине объемной активности радона используются интегральные радиометры радона или мониторы объемной активности радона. При этом следует применять методы и средства измерений, позволяющие определять средние значения объемной активности радона за периоды времени не менее 3 суток.

3.2. Общий объем контроля ЭРОА радона и торона должен быть достаточным. Число и расположение подлежащих обследованию помещений выбирают с учетом категории потенциальной радоноопасности территории застройки вблизи обследуемого здания, удельной активности радия-226 в использованных строительных материалах и засыпке под зданием, конструкции и назначения здания.

3.3. Число и расположение подлежащих обследованию помещений выбирают исходя из того, что обследоваться должны, во-первых, все типы помещений, имеющие различное функциональное назначение, и, во-вторых, помещения, расположенные на каждом этаже многоэтажного здания, включая подвал, а при двух и более подъездах -и в каждом подъезде. При этом наибольшую долю от всех выбранных для обследования помещений должны составлять те, в которых люди проводят наибольшее количество времени. В жилых помещениях, если нет на то особых оснований, не обследуются ванны и туалетные комнаты, кухни, кладовые.

3.4. В случае затруднений при выборе объема радиационного контроля рекомендуется использовать критерии, приведенные в Приложении 4.2.-2 к МВИ.

3.5. Измерения в выбранных для обследования помещениях вновь строящихся и реконструируемых зданий проводятся после их предварительной выдержки (не менее 12–24 часов) при закрытых окнах и дверях (как в помещениях, так и в подъездах) и штатном режиме принудительной вентиляции (при ее наличии). Измерения рекомендуется проводить при наиболее высоком для данной местности барометрическом давлении и слабом ветре.

Измерения с использованием интегральных средств измерений и мониторов радона допускается начинать одновременно с закрытием окон и дверей и запуском вентиляции в штатном режиме.

Установку пассивных интегральных средств измерений ОА радона, мониторов радона и отбор проб воздуха при инспекционных измерениях следует производить в местах с минимальной скоростью воздухообмена, чтобы полученные результаты, по возможности, характеризовали максимальные значения ОА или ЭРОА радона и торона в данном помещении. При измерениях приборы следует располагать: не ниже 50 см от пола, не ближе 25 см от стен и 50 см от нагревательных элементов, кондиционеров, окон и дверей.

В каждом обследуемом помещении (квартире) проводится, как правило, одно измерение ЭРОА изотопов радона. При больших размерах обследуемого помещения количество измерений увеличивается из расчета: одно измерение на каждые 50 квадратных метров.

### **Проведение измерений и обработка результатов**

#### **1. А – рекогносцировочное обследование**

1.1. Радиометр СРП-88Н настраивается на оптимальный режим, согласно инструкции по эксплуатации прибора.

1.2. Чувствительность радиометра, определяемая по контрольному источнику гамма-излучения, должна соответствовать паспортным данным.

1.3. Все радиометры, предназначенные для измерения гамма-фона, должны предварительно градуироваться в поверочных лабораториях, имеющих соответствующие разрешения на проведение подобных работ.

1.4. В процессе проведения обследования периодически через два часа необходимо проверять чувствительность радиометра по контрольному источнику и через каждый час контролировать режим питания прибора.

1.5. Провести рекогносцировочное определение гамма-фона согласно п. 1. Результаты измерений занести в журнал.

#### **2. Б – контроль мощности ambientного эквивалента дозы внешнего гамма-излучения**

2.1. Измерить МАЭД внешнего гамма-излучения на открытой местности  $\dot{H}_0$  (мкЗв/ч) вблизи обследуемого здания в 5 точках, расположенных на расстоянии от 30 до 100 м от существующих зданий и сооружений. Расстояние между точками — 20 м. В каждой точке число измерений при использовании дозиметров типа ДРГ-01Т (ДКГ-07, ДКС-АД1121) должно быть не менее десяти. При измерениях блок детектирования располагается на высоте 1 м над поверхностью земли.

Точки измерений следует выбирать на участках местности с естественным грунтом, не имеющим локальных техногенных изменений (щебень, песок, асфальт) и радиоактивных загрязнений.

За результаты измерений в каждой  $i$ -й точке на открытой местности  $\dot{H}_{0i}$  принимается среднее арифметическое полученных в ней измерений, а случайную составляющую погрешности результата измерения  $\Delta_{0i}$  для доверительной вероятности  $P = 0.95$  рассчитывают по формуле:

$$\Delta_{0i} = t_{0.95} * S_i \quad (2)$$

в которой приняты обозначения:

$t_{0.95}$  — значение коэффициента Стьюдента для доверительной вероятности  $P = 0.95$  (принимают по приложению 4.2-5 в зависимости от числа повторных измерений  $N$  в данной точке);  $S_i$  — среднеквадратичное отклонение по результатам измерения от среднего, которое рассчитывается по результатам всех  $N$  повторных измерений в  $i$ -той точке по формуле:

$$(S_i)^2 = \frac{1}{N \cdot (N - 1)} \sum_{n=1}^N (\dot{H}_{0i} - \dot{H}_{0i,n})^2 \quad (3)$$

$\dot{H}_{0i,n}$  —  $n$ -е измерение МЭД гамма-излучения в  $i$ -й точке.

2.2. В качестве оценки измеренного значения МАЭД гамма-излучения на открытой местности за  $\dot{H}_0$  принимают наименьшее из полученных результатов измерений  $\dot{H}_{0i}$ , в  $i$ -й точке, а за случайную составляющую погрешности этого результата  $\Delta_0$  — соответствующую величину для результата измерений в этой точке.

Результат измерения МАЭД гамма-излучения на открытой местности вблизи обследуемого здания представляют в форме:

$$\dot{H}_0 \pm \Delta_0, \text{ мкЗв/ч.} \quad (4)$$

Примечание. Значение  $\dot{H}_0$  может различаться для разных типов и экземпляров приборов, поэтому эти значения должны быть получены для всех экземпляров приборов, используемых при обследовании здания.

2.3. Измерения МАЭД внешнего гамма-излучения в каждом обследуемом помещении выполняют в точке, расположенной в его центре на высоте 1 м от пола, а также в выявленных участках с максимальным значением МАЭД гамма-излучения.

Число повторных измерений  $N$  выбирают из условия, чтобы случайная составляющая относительной погрешности оценки среднего значения результата измерения не превышала 20 %:

$$100 * \Delta / \dot{H} \leq 20 \% \quad (5)$$

Здесь:  $\dot{H}$  — оценка среднего значения результата измерения в помещении, а случайную составляющую погрешности результата измерения  $\Delta$  для доверительной вероятности  $P = 0.95$  рассчитывают по формуле:

$$\Delta = t_{0.95} * S, \text{ мкЗв/ч} \quad (6)$$

в которой приняты такие же обозначения, как и в выражении (2).

Результат измерения МАЭД гамма-излучения в данном помещении представляют в форме:

$$\dot{H} \pm \Delta, \text{ мкЗв/ч.} \quad (7)$$

Результаты всех измерений заносятся в рабочий Журнал.

### 3. Контроль эквивалентной равновесной объемной активности изотопов радона

3.1. Контролируемой величиной в зданиях и сооружениях, согласно НРБ-99/2009 (п. 5.3.3.), является среднегодовое значение эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) изотопов радона ( $^{222}\text{Rn}$  - радона и  $^{222}\text{Rn}$  - торона) в воздухе помещений, равное:

$$C_{cr} = \overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}} + 4.6 * \overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Tn}}, \quad (12)$$

$$\text{где } \overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}} = 0.104 * A_{\text{RaA}} + 0.514 * A_{\text{RaB}} + 0.382 * A_{\text{RaC}}, \quad (13)$$

$$\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Tn}} = 0.913 * A_{\text{ThB}} + 0.087 * A_{\text{ThC}}, \quad (14)$$

где  $A_{\text{RaA}}$ ,  $A_{\text{RaB}}$ ,  $A_{\text{RaC}}$ ,  $A_{\text{ThB}}$  и  $A_{\text{ThC}}$  — объемная активность в воздухе  $\text{RaA}$  ( $^{218}\text{Po}$ ),  $\text{RaB}$  ( $^{214}\text{Pb}$ ),  $\text{RaC}$  ( $^{214}\text{Bi}$ ),  $\text{ThB}$  ( $^{212}\text{Pb}$ ) и  $\text{ThC}$  ( $^{212}\text{Bi}$ ), соответственно, в  $\text{Бк}/\text{м}^3$ .

3.2. Допускается проводить оценку  $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$  по результатам измерений объемной активности радона ( $A_{\text{Rn}}$ ). В этом случае для пересчета измеренных значений  $A_{\text{Rn}}$  в значение  $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$  используется коэффициент  $F_{\text{Rn}}$ , характеризующий сдвиг радиоактивного равновесия между радоном и его дочерними продуктами в воздухе:

$$\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}} = F_{\text{Rn}} * A_{\text{Rn}}. \quad (15)$$

Значения  $F_{\text{Rn}}$  определяют экспериментальным путем по результатам одновременных измерений  $A_{\text{Rn}}$  и  $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ . В расчетах по формуле (15) используют средние значения  $F_{\text{Rn}}$ , характерные для данного региона, периода года и типа здания. При отсутствии экспериментальных данных о значении  $F_{\text{Rn}}$ , принимают его равным 0.5.

3.3. В соответствии с НРБ-99/2009 (пп.5.3.2 и 5.3.3), среднегодовое значение ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений проектируемых и сдаваемых в эксплуатацию зданий жилищного и общественного назначения не должно превышать  $100 \text{ Бк}/\text{м}^3$ :

$$\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}} + 4.6 * \overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Tn}} \leq 100 \text{ Бк}/\text{м}^3; \quad (16)$$

а в эксплуатируемых зданиях критерием необходимости проведения защитных мероприятий является невыполнение условия:

$$\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}} + 4.6 * \overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Tn}} \leq 200 \text{ Бк}/\text{м}^3. \quad (17)$$

3.4. При приемке в эксплуатацию зданий, как правило, не имеется возможности проводить измерения среднегодового значения ЭРОА изотопов радона, поэтому проводят оценку его верхней границы по результатам измерений за период до 1–2 недель с учетом коэффициента вариации во времени значения ЭРОА радона  $V_{\text{Rn}}(t)$  и основных погрешностей применяемых средств измерений:

$$(\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}} + \Delta_{\text{Rn}}) + 4.6 * (\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Tn}} + \Delta_{\text{Tn}}) \leq 100 \text{ Бк}/\text{м}^3, \quad (18)$$

где  $\Delta_{\text{Rn}}$  и  $\Delta_{\text{Tn}}$  — погрешности определения ЭРОА радона и торона в воздухе соответственно, значения которых рассчитываются по формуле:

$$\Delta_i = \delta_0 * \overline{\text{ЭРОА}}_i / 100, \text{ Бк}/\text{м}^3, \quad (19)$$

в которой ЭРОА<sub>г</sub> — измеренное значение ЭРОА радона (торона) в воздухе, а  $\delta_0$  — основная погрешность измерения, принимаемая по свидетельству о поверке (метрологической аттестации) средства измерения.

Значение коэффициента вариации зависит от геолого-геофизических характеристик грунта под зданием, климатических особенностей региона, типа здания, сезона года, в течение которого проводились измерения, а также от продолжительности измерения (продолжительности пробоотбора) в используемой методике контроля.

В качестве расчетных значений коэффициента вариации при проверке выполнения соотношения (18) принимают среднее значение  $V_{Rn}(t)$ , определенное в процессе специальных исследований в данном регионе в зданиях различного типа, выполненных в разные сезоны года.

При отсутствии данных о фактических значениях  $V_{Rn}(t)$  их принимают по табл. 4.2 в зависимости от продолжительности измерения.

Таблица 4.2

Коэффициенты вариации

Продолжительность измерения		≤ 1 час	1–3 сутки	1–2 недели	1–3 месяца
Значение $V_{Rn}(t)$	теплый сезон	3.0	2.3	1.8	1.5
	холодный сезон	1.5	1.1	0.95	0.75

3.5. Измерения ЭРОА торона проводятся не менее чем в 30% обследуемых помещений. Если по результатам этих измерений выполняется условие:

$$\text{ЭРОА}_{Tn} / \text{ЭЭРО}_{Rn} \leq 0.02, \quad (20)$$

то в остальных выбранных для обследования помещениях измерения ЭРОА<sub>Tn</sub> не проводятся, а проверка выполнения условия (18) осуществляется с использованием среднего значения ЭРОА торона, вычисленного из сделанных измерений.

Если условие (20) не выполняется, то во всех выбранных для обследования помещениях следует проводить измерения ЭРОА торона, а результаты этих измерений использовать при проверке выполнения условия (18).

3.6. Определение плотности потока и объемной активности радона проводится в соответствии с Инструкциями по эксплуатации указанных приборов и методик [12, 13]:

а). Методика измерения плотности потока радона с поверхности земли, горных выработок и строительных конструкций.

б). Методика измерений средней за время экспозиции (1–6 суток) объемной активности радона в воздухе жилых и служебных помещений (сорбция на активированном угле; прокачка воздуха).

3.7. Методика измерений объемной активности радона в воздухе жилых и служебных помещений, а также в рудниках всех типов, путем отбора пробы воздуха.

*Примечание. В разделах 1(А) нумерация формул для Н – с 1-11; в разделах 2 (В) нумерация формул для ЭРОА – 12-21.*

## Критерии принятия решений

1. А — в зависимости от результатов оценки максимального значения измеренной мощности дозы в помещении принимаются следующие варианты решений:

Помещение считается удовлетворяющим нормативу, приведенному в НРБ-99/2009, если измеренное значение МАЭД в этом помещении ( $\dot{H}$ , мкЗв/ч) с учетом погрешности ( $\Delta_{\Sigma}$ , мкЗв/ч) удовлетворяет условию:

$$\dot{H} - \dot{H}_0 + \Delta_{\Sigma} \leq 0.3 \text{ мкЗв/ч}, \quad (8)$$

где  $\dot{H}_0$  — измеренное значение МАЭД гамма-излучения на открытой местности, мкЗв/ч;  $\Delta_{\Sigma}$  — суммарная погрешность оценки разности двух величин —  $\dot{H}$  и  $\dot{H}_0$  (мкЗв/ч), определяемая из выражения:

$$\Delta_{\Sigma} = \delta \cdot (\dot{H} + \dot{H}_0) + t_{0.95}(v) \cdot \sqrt{S_0^2 + S^2} \quad (9)$$

$\delta$  — предел основной относительной погрешности дозиметра, значение которого принимают по паспорту или свидетельству о поверке;  $t_{0.95}(v)$  — значение коэффициента Стьюдента для доверительной вероятности  $P = 0.95$  при числе наблюдений  $v$ ;  $v$  — число степеней свободы, рассчитываемое по формуле:

$$v = \left[ \frac{(S_0)^2 + (S)^2}{(S_0)^4 / (n+1) + (S)^4 / (m+1)} \right] - 2 \quad (10)$$

в которой  $n$  — число повторных наблюдений при измерении  $\dot{H}_0$  и  $S_0$ , а  $m$  — то же для  $\dot{H}$  и  $S$ , соответственно.

1.2. Если условие (8) не выполняется из-за большой погрешности оценки значения МАЭД, то проводят дополнительные измерения с целью снижения суммарной погрешности измерения  $\Delta_{\Sigma}$ , делая большее количество повторных измерений или используя дозиметры, имеющие меньшее значение основной погрешности.

1.3. Если по результатам измерений условие (8) не выполняется, то принимаются меры по выявлению причин повышенного значения мощности дозы гамма-излучения и решается вопрос о возможности их устранения, после чего измерения в данном помещении повторяют.

1.4. Если проведенные мероприятия не дали необходимого результата, то решается вопрос о перепрофилировании сдаваемых в эксплуатацию зданий (или их отдельных помещений).

1.5. В случае реконструкции или капитального ремонта существующих зданий перед началом проектно-изыскательских работ необходимо провести в них радиационное обследование в полном объеме, с целью выяснения необходимости проведения защитных мероприятий и внесения их в план работ.

1.6. При проведении обследования в эксплуатируемых зданиях выбор помещений для обследования зависит от конкретной ситуации, требований Заказчика (домовладельца, администрации и т.п.). При отсутствии каких-либо чрезвычайных ситуаций (наличие информации о локальных источниках, прогнозируемом превышении норматива и т.п.) и требований Заказчика обследовать конкретные помещения их выбор (при обследовании здания) и обследование проводится также, как и при приемке в эксплуатацию.

1.7. Если максимальное значение измеренной мощности дозы превышает мощность дозы на открытой местности более, чем на 0.6 мкЗв/ч (п.5.3.2 НРБ-99/2009), сведения передаются в территориальный центр Роспотребнадзора и местные органы власти, которые выносят решение о перепрофилировании эксплуатируемого здания или отдельных его помещений в установленном законом порядке (с согласия жильцов или домовладельца и т.п.).

**2. В – в зависимости от результатов измерений и основанной на них оценки верхней границы среднегодового значения ЭРОА изотопов радона принимаются следующие решения:**

- помещения отвечают требованиям НРБ-99/2009;
- необходимо провести дополнительные исследования (при этом указывается, какие и в каком количестве);
- необходимо проведение защитных мероприятий (по снижению гамма-фона, по снижению ЭРОА радона или оба мероприятия одновременно);
- здание (часть помещений здания) следует перепрофилировать (или снести).

2.1. Если во всех обследованных помещениях (не считая подвальных помещений) выполняется условие (18), то здание можно считать радонобезопасным и удовлетворяющим нормативу, приведенному в НРБ-99/2009.

2.2. Если в некоторых обследованных помещениях (исключая подвальные) не выполняется условие (18), но при этом во всех них выполняется соотношение:

$$ЭРОА_{Tn} + 4.6 * ЭРОА_{Rn} < 100 \text{ Бк/м}^3, \quad (21)$$

то в этих помещениях проводят повторные измерения ОА радона с использованием интегральных средств при большем времени экспозиции (не менее 2 недель) для уменьшения коэффициента вариации  $V_{Rn}(t)$  и ЭРОА торона (при заметном его вкладе) с использованием приборов, имеющих меньшее значение основной погрешности, или многократно повторяя измерения (желательно в разное время суток) с последующим усреднением результатов измерений. При этом объем измерений для каждого помещения, как минимум, утраивается.

2.3.1. Если в результате повторного обследования оказалось, что в данных помещениях выполнено условие (18), то здание считается радонобезопасным.

2.3.2. В тех помещениях, в которых нарушается условие (18), проводят дополнительные исследования по поиску источников поступления в них радона, разработку и осуществление мер по снижению ЭРОА радона и торона, а во всех необследованных помещениях осуществляют измерения ОА радона с использованием интегральных средств при времени экспозиции не менее двух недель и, при необходимости, — измерения ЭРОА торона с последующей проверкой выполнения для них условия (18).

2.4. Если в результате первичного обследования выбранных помещений оказалось, что в ряде из них (исключая подвальные помещения) не выполняются одновременно условия (18) и (21), то проводятся дополнительные мероприятия.

2.5. После реализации защитных мероприятий в помещениях, где они проводились, осуществляется повторная серия измерений, оценивается верхняя

граница среднегодового значения ЭРОА изотопов радона в данных помещениях (квартирах) и проверяется выполнение для них условия (18).

Примечание. Если в качестве одной из защитных мер принято дополнительное оборудование здания специальными вентиляторами или другими устройствами, то повторная серия измерений проводится при включенных дополнительных устройствах, работающих в штатном режиме.

2.6. Если после реализации защитных мероприятий в сдаваемом в эксплуатацию здании условие (18) не выполняется в ряде помещений (квартир), то решается вопрос о перепрофилировании или реконструкции в целом здания или отдельных его помещений (квартир).

2.7. При проведении обследования в эксплуатируемых зданиях выбор помещений (квартир) для проведения измерений зависит от конкретной ситуации, требований Заказчика (домовладельца, администрации и т.п.). При отсутствии каких-либо чрезвычайных ситуаций (наличие информации о локальных источниках радона, прогнозируемом превышении норматива и т.п.) и требований Заказчика обследовать конкретные помещения выбор (в случае обследования здания) подлежащих обследованию помещений (квартир) проводится также, как и при приемке их в эксплуатацию (НРБ-99/2009, п.5.3.2).

2.8. В эксплуатируемых зданиях, как правило, определение среднегодового значения ЭРОА изотопов радона в выбранных помещениях (квартирах) производится на основе двукратных измерений ОА радона в холодный и теплый сезоны года общей продолжительностью 4–6 месяцев с использованием интегральных (трековых или электретных) средств. Учет дочерних продуктов торона производится в том случае, если не выполняется условие (20), в данных помещениях проводят многократные измерения ЭРОА торона в разное время суток и время года и оценивают среднее арифметическое значение, которое в дальнейшем используют в качестве оценки среднегодового значения. При этом измерения проводятся при обычном режиме функционирования обследуемых помещений, а при наличии принудительной вентиляции — при штатном режиме ее работы.

2.9. При двукратных измерениях ОА радона среднегодовое значение ЭРОА изотопов радона вычисляется как среднее арифметическое. При этом должно соблюдаться условие:

$$\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}} + \Delta_{\text{Rn}} + 4.6 * (\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Tn}} + \Delta_{\text{Tn}}) \leq 200 \text{ Бк/м}^3, \quad (22)$$

где  $\Delta_{\text{Rn}}$  и  $\Delta_{\text{Tn}}$  — погрешности определения среднегодовых значений ЭРОА радона и торона, соответственно, учитывающие основную погрешность использованных средств измерений.

В случае однократных измерений ОА (ЭРОА) радона и ЭРОА торона производят, как и при приемке зданий в эксплуатацию, оценку верхней границы среднегодового значения ЭРОА изотопов радона, используя соотношение (18), правая часть которого заменена на  $200 \text{ Бк/м}^3$  (табл. 4.1, Приложения к МВИ 4.2-2).

### **Форма представления результатов**

Все показания и расчеты записываются в Журнал радиометрических измерений в форме Протокола испытаний, в котором регистрируется средство измерения, данные о поверке, дата проведения измерений-испытаний, характеристика района обследования, карта-схема района обследования,

предполагаемое количество контрольных точек и маршрутных линий, время начала и конца испытаний, Заказчик — организация, фамилия и т.д., дата измерения, фамилия исполнителя, температурные условия и др.

Результаты проведенных измерений оформляются двумя протоколами по форме, установленной в «Руководстве по качеству испытаний ЛРК». Один экземпляр протокола передается Центру Роспотребнадзора для получения гигиенического заключения. Другой экземпляр — прилагается к документам по приемке здания в эксплуатацию, либо при обследовании эксплуатируемых зданий передается Заказчику.

Содержание оформленных документов должно соответствовать требованиям заказчика и содержать все исходящие данные, результаты измерений, заключение.

### **Обеспечение радиационной безопасности**

При выполнении радиационного контроля необходимо соблюдать правила техники безопасной работы с контрольными закрытыми источниками ионизирующих излучений, пожарной безопасности, соблюдать меры индивидуальной защиты и личной гигиены.

Методика применялась при обследовании жилых и общественных зданий при их перепланировке и изменении назначения, а также с целью изучения возможности их дальнейшей эксплуатации и использования для других целей. Радиологические исследования проводились в соответствии с нормативными требованиями [1-14]. Нарушений требований по МАЭД и содержанию ЭРОА радона и торона на исследуемых объектах не было обнаружено [15, 16].

Приложение 4.2-1  
к МВИ № 40090.8А091

## **ФОРМА ПРОТОКОЛА РАДИАЦИОННОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ**

\_\_\_\_\_  
(Наименование организации и лаборатории)

\_\_\_\_\_  
(№ Аттестата об аккредитации и срок его действия)

### **ПРОТОКОЛ**

радиационного обследования № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_\_

Наименование объекта, его адрес \_\_\_\_\_

Назначение объекта (жилое или общественное здание) \_\_\_\_\_

Цель обследования объекта:

- приемка в эксплуатацию после завершения строительства;
- приемка в эксплуатацию после реконструкции или капремонта;
- обследование эксплуатируемого здания.

Заказчик \_\_\_\_\_

Проект здания (тип, серия) \_\_\_\_\_

Характеристика объекта:

Год постройки (реконструкции, капремонта) \_\_\_\_\_ . Количество этажей \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Тип фундамента \_\_\_\_\_ Используемые стройматериалы \_\_\_\_\_

Содержание радия-226 (ЕРН): в стройматериалах \_\_\_\_\_ в засыпке

Система вентиляции в здании:

- естественная, - принудительная, - кондиционирование.

Система вентиляции подвальных помещений:

- естественная, - принудительная, - кондиционирование.

Средства измерения:

№ п/п	Тип прибора	Зав. №	№ свидетельства о госповерке	Срок действия свидетельства	Кем выдано свидетельство	Основная погрешность измерения

Нормативно-методическая документация, использованная измерений (МВИ, номер и дата утверждения, кем утверждено) \_\_\_\_\_

Условия проведения измерений:

Состояние принудительной вентиляции (кондиционеров):

Подвал: - штатный режим работы, - нештатный режим работы

Остальные помещения здания:

- штатный режим работы, - нештатный режим работы.

- окна, двери помещений и подъездов закрыты, - открыты.

Указывать не обязательно:

Температура воздуха: в помещениях - \_\_\_\_\_ °С. вне здания - \_\_\_\_\_ °С

Барометрическое давление, скорость ветра \_\_\_\_\_

### Результаты измерений:

#### 1. МАЭД внешнего гамма-излучения на открытой местности

N п/п	Место измерения	Зав.№ дозиметра	Дата измерения	Среднее значение $H_{0,i}$ , мкЗв/ч	Минимальное значение $H_0$ , мкЗв/ч	Погрешность $\Delta_0$ , мкЗв/ч

#### 2. МАЭД внешнего гамма-излучения в помещениях

N п/п	Место измерения: этаж, № помещения, назначение	Зав.№ дозиметра	Дата измерения	Показания поискового прибора*	Результат измерения $H$ , мкЗв/ч	Погрешность $\Delta$ , мкЗв/ч	$H - H_0 + \Delta_t$ , мкЗв/ч

Примечание \*): приводится без указания погрешности.

### 3. ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений

№ п/п	Место измерения: этаж, № помещения, назначение	Дата (период) измерения	$^{222}\text{Rn}$ , Бк/м <sup>3</sup>		$^{220}\text{Rn}$ , Бк/м <sup>3</sup>	Максим, среднегодовая $C_{\text{max}}$ Бк/м <sup>3</sup>
			ОА	ЭРОА± $\Delta_{\text{Rn}}$	ЭРОА± $\Delta_{\text{Tn}}$	

Использованное при расчетах  $C_{\text{max}}$  значение  $V_{\text{Rn}}(t) = \underline{\hspace{2cm}}$

Примечание:  $C_{\text{max}} = (\text{ЭРОА}_{\text{Rn}} + \Delta_{\text{Rn}}) * V_{\text{Rn}}(t) + 4.6 * (\text{ЭРОА}_{\text{Tn}} + \Delta_{\text{Tn}})$ .

**Лицо, ответственное за проведение обследования:**

Должность \_\_\_\_\_

Ф.И.О. \_\_\_\_\_

Подпись \_\_\_\_\_

**Руководитель ЛРК**

Ф.И.О. \_\_\_\_\_

Подпись \_\_\_\_\_

Приложение 4.2-2  
к МВИ № 40090.8А091  
(рекомендуемое)

**Оценка потенциальной радоноопасности территорий**

Оценка потенциальной радоноопасности территории застройки вблизи обследуемого здания определяется следующими факторами:

- ЭРОА или ОА изотопов радона в принимаемых в эксплуатацию или эксплуатируемых зданиях, расположенных на данной территории застройки вблизи обследуемого здания;
- плотностью потока (интенсивностью эксхалляции)j (мБк/с\*м<sup>2</sup>) радона с поверхности земли;
- ОА радона  $C_{\text{Rn}}$  в почвенном воздухе на глубине 1 м от поверхности земли;
- удельной активностью радия-226  $C_{\text{Ra}}$  в слоях пород геологических разрезов.

В таблице 1 дана приближенная оценка потенциальной радоноопасности территорий, разбитой на 3 категории.

*Таблица 1*

Оценка потенциальной радоноопасности территорий

Категория потенциальной радоноопасности территории	ЭРОА изотопов радона, Бк/м <sup>3</sup>	Плотность потока радона j, мБк/с*м <sup>2</sup>	ОА радона, $C_{\text{Rn}}$ , кБк/м <sup>3</sup>	$C_{\text{Ra}}$ , Бк/кг
I	<25	<20	<10	<100
II	25-100	20-80	10-40	100-400
III	>100	>80	>40	>400

Допускается производить оценку потенциальной радоноопасности территории застройки на основе известного значения одного из четырех факторов, приведенных в табл. 1. Если известны значения двух и более факторов, приведенных в табл. 1, то потенциальную радоноопасность территории вблизи обследуемого здания оценивают по значению, соответствующему наибольшей степени потенциальной радоноопасности.

В табл. 2 приведен минимальный объем радиационного контроля в зависимости от степени потенциальной радоноопасности территории вблизи обследуемого здания, содержания  $^{226}\text{Ra}$  в стройматериалах и засыпке, конструкции фундамента, наличия вентиляции в подвальном пространстве, назначения здания.

Таблица 2

Число помещений на различных этажах  
(в процентах от их общего числа на каждом этаже), подлежащих обследованию.  
Для подвального помещения приведено количество точек измерений,  
которое также зависит и от общей площади подвала

Факторы, определяющие объем контроля	Подвал	Первый этаж	Верхний этаж	Другие этажи
<b><u>I категория потенциальной радоноопасности территории</u></b> – содержание $^{226}\text{Ra}$ в стройматериалах засыпке менее 100 Бк/кг; – столбчатый фундамент без ограждающих подполье конструкций; – принудительная вентиляция подполья и помещений	1-3	50	50	25
<b><u>II категория потенциальной радоноопасности территории</u></b> – содержание $^{226}\text{Ra}$ в стройматериалах или засыпке от 100 до 400 Бк/кг; – сплошная монолитная фундаментная железобетонная плита; – отсутствие вентиляции подполья	3-5	100	50	25
<b><u>III категория потенциальной радоноопасности территории</u></b> – содержание $^{226}\text{Ra}$ в стройматериалах или засыпке более 400 Бк/кг; – отсутствие подпольного пространства; – обследуются школьные и дошкольные учреждения, односемейные дома и коттеджи	5-10	100	100	50

## Список литературы

1. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: СП 2.6.1.2800-120 – М.: Минздрав России, 2010. – 58 с.
2. Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий: Методические указания. МУ 2.6.1.715-98 – С.-Петербург: «ЛЮБАВИЧ», 1998. – 29 с.
3. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) Гигиенические нормативы: СанПин 2.6.1.2563-09 – М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии, 2009. – 100 с.
4. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): СП 2.6.1.799-99.-2010 – М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии, 2010. – 83 с.
5. Методики выполнения измерений. ГОСТ Р 8.594-2002 ГСИ. – Режим доступа: <https://www.consultant>
6. Применение руководства по выражению неопределенности измерений. МИ 2552-99 ГСИ. – Режим доступа: <https://www.consultant>
7. Методики радиационного контроля. Общие требования. Рекомендация. МИ 2453-2000 – М.: ФГУП ГНМЦ «ВНИИФТРИ», 2000. – 16 с.
8. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений, ФЗ № 102 от 11 июня 2008г. (с изменениями на 02 дек. 2013г. №338). – Режим доступа: <https://www.consultant>
9. Комплект оборудования на основе активированного угля для комплексного мониторинга радона в производственных условиях, жилищах и окружающей среде. Сборник методик – М.: НТЦ «Нитон», 1996. – 34 с.
10. Об облучении природными источниками ионизирующего излучения / Д. А. Зарединов, О. Л. Тен, А. И. Болтаева, З. Т. Уринов // АНРИ, 2006. – № 3. – С. 64–67.
11. Задачи и методы оценки потенциальной радоноопасности селитебных территорий / А. М. Маренный, С. Е. Охрименко, И. В. Павлов // АНРИ, 2006. – № 2. – С. 25–30.
12. Градостроительный кодекс Российской Федерации, ФЗ № 190 от 29 дек. 2004 г. (в ред. от 27 июля 2010 г. ФЗ № 226). – Режим доступа: <https://www.consultant>
13. Инженерно-экологические изыскания для строительства : СП 47.13330.2016. – Режим доступа: <https://www.consultant>
14. Охрана природы. Атмосфера. Общие требования к отбору проб радиоактивных аэрозолей из приземного слоя. ОСТ 95 10123-85. – Режим доступа: <https://www.consultant>
15. Региональный радиационный мониторинг площадок строительства магистрального газопровода Мурманск-Волхов / Н. А. Мельник, П. В. Икконен, А. А. Смирнов // Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России: Материалы XV геологического съезда Республики Коми, г. Сыктывкар, Республика Коми, 13-16 апреля 2009 г. – Сыктывкар: Геопринт, 2009. – Т. 3. – С. 330–333.
16. Радиоэкологическая оценка производственных площадок строительства газопровода Штокмановского месторождения / Н. А. Мельник, П. В. Икконен, С. С. Сандимиров, С. Н. Макогонюк, А. А. Смирнов // VI Всероссийская Ферсмановская научная сессия: Труды, г. Апатиты, 18–19 мая 2009 г.– Апатиты: Изд-во ООО К&М, 2009. – С. 274–277.

#### 4.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ РАДОНА И ТОРОНА В АТМОСФЕРЕ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ

При выполнении инженерно-экологических изысканий для строительства, радиологических исследований требуется определение объемной активности продуктов распада урана и тория (радона и торона) не только в воздухе жилых и служебных помещений, но и в рудниках всех типов, на участках предполагаемого строительства. Во всех случаях требуется оценка потенциальной радоноопасности территории.

Исследования выполняются в соответствии с Федеральными законами «О радиационной безопасности населения» (ФЗ № 3 от 09.01.1996 г.), «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (ФЗ № 52 от 30.03.1999 г.), «Об охране окружающей природной среды» (ФЗ № 7 от 10 янв. 2002 г.), «Об обеспечении единства измерений» (ФЗ № 102 от 11.06.2008 г.) [4–12].

##### Назначение и применение

Определение объемной активности радона и торона осуществляется путем отбора проб воздуха различными методами [1–5].

Для определения объемной активности радона, торона в воздухе рабочих помещений ( $\text{Бк}/\text{м}^3$ ) используются аэрозольные радиометры типа ИЗВ-3М, РАА-10, РАМОН-01М, и радиометры нового поколения РАА-20П2 «Поиск», РАА-3-01 «АльфаАэро», «Камера-01» и оборудование на основе угольных адсорберов и др.

##### Термины и определения

*Активность объемная* – отношение активности  $A$  радионуклида в веществе к объему  $V$  вещества:

$$A_v = A/V.$$

Единица объемной активности – беккерель на метр кубический,  $\text{Бк}/\text{м}^3$ .

*Эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) дочерних продуктов распада радона ( $^{222}\text{Rn}$ ) и торона ( $^{220}\text{Rn} = ^{220}\text{Tn}$ )* – взвешенная сумма объемных активностей короткоживущих дочерних продуктов распада радона —  $^{218}\text{Po}$  ( $\text{RaA}$ ),  $^{214}\text{Pb}$  ( $\text{RaB}$ ),  $^{214}\text{Bi}$  ( $\text{RaC}$ ),  $^{212}\text{Pb}$  ( $\text{ThB}$ ),  $^{212}\text{Bi}$  ( $\text{ThC}$ ) соответственно:

$$(\text{ЭРОА})_{\text{Rn}} = 0.1 A_{\text{RaA}} + 0.52 A_{\text{RaB}} + 0.38 A_{\text{RaC}}$$

$$(\text{ЭРОА})_{\text{Tn}} = 0.91 A_{\text{ThB}} + 0.09 A_{\text{ThC}},$$

где  $A_i$  — объемные активности дочерних продуктов распада радона.

##### Принцип измерения

Массовая концентрация аэрозоля в воздухе определяется измерением собственной активности и плотности пылевого осадка на фильтре после прокачки определенного объема воздуха. Измеряются потоки  $\alpha$ -излучения, прошедшие через чистый фильтр и фильтр с пылевым осадком.

Чувствительность измерения массовой концентрации аэрозоля не зависит от дисперсности пыли в диапазоне от 0 до 10 мкм. При дальнейшем увеличении фракции пылинок чувствительность падает обратно пропорционально фракции частиц.

Содержание в воздухе короткоживущих продуктов распада радона определяется по величине скрытой энергии и основано на регистрации активности продуктов распада радона и торона ( $\text{RaA}$ ,  $\text{RaB}$  и  $\text{RaC}$ ) за время отбора пробы. Количество зарегистрированных импульсов прямо пропорционально ( $\pm 15\%$ ) значению скрытой энергии независимо от соотношения концентрации  $A$ ,  $B$  и  $C$ .

## Аппаратура для контроля загрязненности воздуха

Аэрозольный альфа-радиометр РАА-20П-2 «Поиск» предназначен для измерения эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) дочерних продуктов радона и дочерних продуктов торона в воздухе; оценки кратности воздухообмена, «фактора равновесия», а также объемной активности (ОА) радона в воздухе помещений; измерения мощности эффективной дозы (МЭД) внешнего излучения [1, 2].

В состав радиометра (рис. 4.10.) входят следующие основные узлы: пробоотборный блок с «ППД-детектором»; карманный персональный компьютер (КПК) типа «Pocket PC» с ПО «Поиск». Основные технические характеристики радиометра «Поиск» представлены в табл. 4.3.



Рис. 4.10. Аэрозольный радиометр РАА-20П-2 «Поиск» со встроенным программным обеспечением (КПК), зарядным устройством и фильтром

Таблица 4.3

Основные технические характеристики радиометра «Поиск»

Параметр	Значение
Чувствительность канала RaA, Бк <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup>	0.08-0.12
Чувствительность канала RaC, Бк <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup>	0.08-0.12
Чувствительность канала I, Бк <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup>	0.08-0.12
Количество зарегистрированных импульсов при измерении фона в канале RaA за 300 с	2
Количество зарегистрированных импульсов при измерении фона в канале RaC за 300 с	2
Количество зарегистрированных импульсов от КИ в канале RaA за 50 с	800-1480
Количество зарегистрированных импульсов от КИ в канале RaC за 50 с	0-6
Чувствительность канала МЭД, 1/(с·мкЗв/ч)	2.0-3.6
Габариты, масса:	
КПК с ПО «Поиск»	110x70x13 мм, 0.12 кг
Пробоотборный блок	190x100x55 мм, 0.70 кг
Фильтродержатель	70x40x5 мм

Радиометр выполняет измерения в следующих режимах:

- **«Поиск»**- отбор проб воздуха на фильтр с одновременной селективной регистрацией альфа-излучения RaA (Po-218) и RaC (Po-214) для экспрессного измерения ЭРОА дочерних продуктов радона в воздухе, оценки кратности воздухообмена, «фактора равновесия» и объемной активности (ОА) радона в воздухе помещений (рис. 4.11).
- **«САС» (суммарный альфа-счет)** — продолжение измерения активности фильтра после окончания отбора пробы для уточнения значения ЭРОА дочерних продуктов радона, для измерения ЭРОА дочерних продуктов торона в воздухе по альфа-излучению Bi-212 и Po-212. Измерение ЭРОА дочерних продуктов торона выполняется не ранее, чем через 5 часов после окончания пробоотбора в состоянии радиоактивного равновесия дочерних продуктов распада торона Pb-212 и Bi-212 на фильтре.
- **«ЭРОА-монитор»** — непрерывный автоматический мониторинг ОА радона и ЭРОА дочерних продуктов радона в воздухе.
- **«МЭД»** — измерения мощности эффективной дозы внешнего гамма-излучения.

Питание пробоотборного блока радиометра осуществляется от внутреннего источника постоянного тока — многозарядного аккумулятора. Питание КПК осуществляется от своего аккумулятора. Проверка работы радиометра осуществляется с помощью контрольного альфа-источника типа 1П9 с радионуклидом Am-241, активность менее МЗА. Для отбора проб воздуха используются аналитические фильтры АФА-РСП-3 (материал фильтра типа ФПП-15 — волокнистая ткань, рабочая поверхность фильтра — 3 см<sup>2</sup>, эффективность сорбции — 99.5 %)



Рис. 4.11. Отбор проб воздуха в производственных условиях: флотации (слева) и дробления редкометаллической руды (справа)

**Альфа-радиометр радона аэрозольный РАА-3-01 «Альфа АЭРО»** — внесён в Государственный реестр средств измерений РФ 25 июня 2008 г. № 37973-08, сертификат RU.C.38.002.A №31843 Изготовитель — ООО «НТЦ Амплитуда» [3–5].

Радиометр предназначен для измерения эквивалентной равновесной объёмной активности (ЭРОА) радона-222 (радона) и радона-220 (торона), а также среднегодового значения ЭРОА изотопов радона в воздухе закрытых помещений (рис. 4.12).

Радиометр применяется для радиационно-гигиенических обследований жилых, общественных и производственных зданий, а также для радиационного контроля в подземных сооружениях и на местности.

**Основные технические характеристики:**

Диапазон измерений ЭРОА радона и торона — от 1 до  $10^6$  Бк/м<sup>3</sup>.

Пределы допускаемой относительной погрешности измерений ЭРОА радона и торона —  $\pm 30$  %. Питание от встроенного аккумулятора напряжением 7.2 В; время непрерывной работы в активном режиме не менее 24 ч.

Отбор пробы воздуха выполняется на аналитический фильтр АФА-РСП-3 (ТУ 95 7183-76).

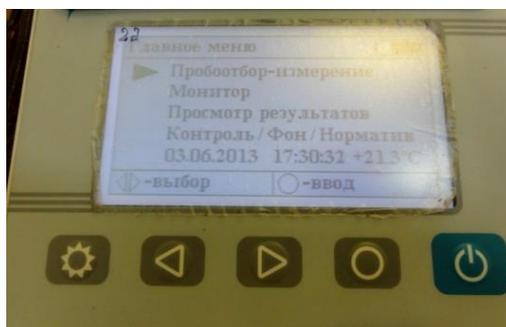


Рис. 4.12. Аэрозольный радиометр РАА–3–01 "АльфаАэро" с фильтром АФА–РСП–3, справа — передняя панель пульта

Микропроцессорная система радиометра обеспечивает выполнение следующих функций:

- диалоговый режим управления;
- вывод результатов измерений на экран сразу после начала пробоотбора;
- расчёт значений 'фактор равновесия', ОА радона в воздухе, а также среднегодовой ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений;
- хронометраж пробоотбора и измерений;
- работа в экспрессном режиме «ПРОБООТБОР-ИЗМЕРЕНИЕ»;
- Работа в режиме «МОНИТОР» с автоматическим проведением измерений через заданный интервал времени (1, 2 и 3 ч);
- регистрация температуры окружающего воздуха;
- контроль заряда аккумулятора;
- регистрации адреса пункта измерения;
- сохранение в архиве до 200 результатов измерений с возможностью их просмотра, передачи на компьютер или удаления.

Допустимая продолжительность работы радиометра в режиме «МОНИТОР» без замены фильтра составляет не более 14 суток. Габаритные размеры радиометра: длина — 175 мм, ширина — 159 мм, высота — 150 мм; масса — 2.0 кг.

Встроенный в радиометр контрольный альфа-источник (Am-241) имеет активность меньше минимально значимой согласно НРБ-99/2009, и не требует специальных мер в части безопасности, учёта и хранения.

### ***Устройство и работа***

Радиометр является переносным измерительным прибором в корпусе из АБС-пластика и помещается в специальной сумке.

Принцип действия «Альфа АЭРО» основан на прокачке воздуха с заданной постоянной скоростью через аналитический фильтр при одновременном (или последующем) измерении активности осаждённых на фильтр альфа-излучающих короткоживущих дочерних продуктов распада (ДПР) радона и торона спектрометрическим методом с использованием полупроводникового детектора.

Расчёт ОА и ЭРОА радона в воздухе выполняется непрерывно в течение пробоотбора путём анализа соотношения активности дочерних продуктов радона в фильтре. Возможность неограниченной длительности пробоотбора позволяет уменьшать статистическую составляющую неопределённости измерения почти до нулевого уровня, оптимизируя продолжительность контроля.

Учёт закономерного влияния разности температур внутреннего и наружного воздуха на содержание радона в закрытых помещениях позволяет производить расчётную оценку среднегодового значения ЭРОА радона, также непрерывно в течение пробоотбора.

На экран радиометра выводятся:

- номер фильтра;
- дата и время запуска измерения;
- температура окружающего воздуха в месте расположения радиометра;
- продолжительность измерения;
- значение ЭРОА радона и торона в воздухе;
- расчётная оценка объёмной активности (ОА) радона и фактора равновесия (F), а также кратность стока ДПР радона из воздушной среды помещения ( $\gamma$ ).

### **Не допускается выполнение измерений на радиометре:**

- при температурах окружающего воздуха ниже плюс 5 °С или выше плюс 40 °С;
- при относительной влажности воздуха более 95 % при температуре окружающего воздуха плюс 30 °С (и более высоких температурах);
- при условии образования конденсированной влаги на поверхности радиометра, а также вероятного попадания капельной влаги на фильтр.
- при средней скорости ветра более 4 (8) м/с в тёплый период года (в отопительный период), а также при порывах ветра более 6 (10) м/с.
- во время сильного дождя и в течение 2-х часов после его окончания.

Для оценки среднегодового значения ЭРОА изотопов радона не менее чем за одни сутки до начала измерений необходимо закрыть все двери и окна в помещении. При работе в помещениях радиометр должен располагаться не ближе 1 м от ограждающих конструкций (стены, пола или потолка) или каких-либо крупногабаритных предметов, вдали от оконного проёма и источников тепла или холода. В пустом помещении радиометр должен оставаться подвешенным на пользователе. Во время измерения не допускается попадание прямых солнечных лучей на радиометр.

После окончания работы с радиометром необходимо оставлять в пробоотборнике чистый фильтр.

Рекомендуются следующие основные виды и сроки проведения профилактических работ:

- внешний осмотр — 1 раз в неделю,
- внешняя чистка — 1 раз в неделю,
- зарядка аккумулятора — по мере необходимости,
- проверка правильности функционирования — 1 раз в месяц.

Время полной зарядки аккумулятора составляет не более 6 часов.

Диапазон определения среднегодовой ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений от 5 до  $10^6$  Бк/м<sup>3</sup>. Неопределённость ( $P = 0.95$ ) оценки среднегодовой ЭРОА изотопов радона в указанном диапазоне составляет:

- (60–70) % при продолжительности измерения не более одного часа;
- (50–60) % при измерении в течении одних суток.

#### **Определение объемной удельной активности радона и торона в воздухе рабочих помещений и на территории застройки**

Определение объемной активности и эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона и торона в воздухе рабочих помещений и полевых условиях выполняется с помощью аэрозольных альфа-радиометров РРА-20П2 «Поиск» и РРА-3-01 «Альфа-Аэро» (рис. 4.13, 4.14).



в приземном слое («прямом»)



на открытом участке

Рис. 4.13. Отбор проб воздуха для определения радона и торона с помощью альфа-радиометра РРА-2П «Поиск» в полевых условиях

Порядок действий оператора: проверить работоспособность прибора с помощью контрольного источника (в «Поиске» КИ — в алонже, в «АльфаАэро» — встроенный на основе амереция-241); определить концентрацию радона в воздухе, определить концентрацию торона в воздухе при повторном измерении фильтра через 5–7 ч, определить или рассчитать ЭРОА радона и торона.

Для отбора проб воздуха используются аналитические фильтры АФА-РСП-3.



В шахте добычи редкометалльной руды



и штольне шунгитового карьера

Рис. 4.14. Определение МАЭД и концентрации радона в шахте (слева) и штольне (справа) с помощью МКС-А03Н и РАА-20П2 «Поиск»

Алгоритм выполнения работы:

Включить питание радиометра.

1. Проверить правильность функционирования радиометра с помощью контрольного источника, для чего выбрать в Главном меню режим: «КОНТРОЛЬ» и нажать кнопку «ВВОД».

2. Удалить фильтр из пробоотборника и нажать кнопку «ПРОДОЛЖИТЬ». Остановка набора импульсов и фиксация результата на экране выполняются по истечении заданного в настройках времени.

3. Определить уровень собственного фона радиометра. Выбрать в Главном меню режим «ФОН».

4. Установить чистый фильтр в пробоотборник и нажать кнопку «ПРОДОЛЖИТЬ». Измерение фона выполняют не менее 3 раз.

5. Вычислить уровень фона радиометра  $n_i$  ( $c^{-1}$ ) при  $i$ -ом измерении в каждом из 2-х каналов по формуле (1):

$$n_i = N_i / 300, \quad (1)$$

где  $N_i$  — результат  $i$ -го измерения в канале. Фон не должен превышать  $0.01 c^{-1}$ .

Включить прибор на измерение радона (прокачка воздуха через фильтр с определенной скоростью в течение заданного времени (экспозиции) —  $300 \div 600$  с.

7. Определение относительной погрешности измерений ЭРОА радона в воздухе. Измерения проводить в режиме «ПРОБООТБОР-ИЗМЕРЕНИЕ» продолжительностью 600 с.

8. Выполнить не менее трёх пар измерений и рассчитать величину относительной погрешности  $i$ -го измерения  $\delta_i$  (%) по формуле:

$$\delta_i = (Q_i - Q_{0i} / Q_{0i}) * 100,$$

где  $Q_{0i}$  — результат  $i$ -го измерения ЭРОА радона на рабочем эталоне, Бк/м<sup>3</sup>;  $Q_i$  — результат  $i$ -го измерения ЭРОА радона на поверяемом радиометре, Бк/м<sup>3</sup>. Относительная погрешность не должна превышать 30 %.

#### Метод измерения [6–11]

Нормируемая величина среднегодового значения ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений ЭРОА<sub>ср</sub> (Бк/м<sup>3</sup>) выражается формулой (2):

$$\text{ЭРОА}_{\text{ср}} = \text{ЭРОА}_{\text{Rn}} + 4.6 \text{ ЭРОА}_{\text{Tn}} \quad (2)$$

где ЭРОА<sub>Rn</sub>, ЭРОА<sub>Tn</sub> — среднегодовые значения ЭРОА радона и торона в помещении, Бк/м<sup>3</sup>. Неопределённость ( $P = 0.95$ ) оценки среднегодового значения ЭРОА изотопов радона в воздухе помещения  $\Delta$  (Бк/м<sup>3</sup>) рассчитывается по формуле (3):

$$\Delta = 1.1/f(x) * (\text{ЭРОА}_{\text{Rn}})$$

$$\sqrt{(\delta_{\text{Rn}})^2 + (\delta_{\text{СИ}})^2 + 4.6 \text{ ЭРОА}_{\text{Tn}} * \sqrt{(\delta_{\text{Tn}})^2 + (\delta_{\text{СИ}})^2}} \quad (3),$$

где  $\delta_{\text{Rn}}, \delta_{\text{Tn}}$  — статистическая неопределённость ( $P = 0.95$ ) измерения ЭРОА радона и торона в помещении, отн.ед.;  $\delta_{\text{СИ}}$  — неопределённость обусловленная погрешностью средств измерения (СИ) и метода, отн.ед. (4):

$$\delta_{\text{СИ}} = \sqrt{(\delta_f)^2 + (\delta_\varepsilon)^2 + (\delta_w)^2 + (\delta_x)^2}, \quad (4)$$

где  $\delta_f$  — методическая неопределённость ( $P = 0.95$ ), связанная с погрешностью функции  $f(x)$ , которая оценивается на уровне 0.55 при продолжительности измерения не более часа, или 0.45 при периодических измерениях в течение 24 ч;  $\delta_\varepsilon$  — систематическая погрешность радиометра (не более 0.15), отн.ед.,  $\delta_w$  — допустимое отклонение от заданной скорости прокачки воздуха в радиометре (не более 0.05),  $\delta_x$  — неопределённость, обусловленная погрешностью значения аргумента функции температурного поправочного коэффициента (не более 0.07).

В помещениях оборудованных системой принудительной вентиляции  $f(x) = 0$ , а также  $\delta_x = 0$ .

При подготовке к выполнению измерений проводят следующие операции:

- заряд аккумулятора радиометра (по мере необходимости)
- проверка правильности функционирования от контрольного источника
- контроль фона радиометра
- ввод значения нормативного уровня ЭРОА
- измерение температуры воздуха снаружи здания в тени.

### Выполнение измерений и обработка результатов

В качестве обработанного результата измерения принимается среднегодовое значение ЭРОА изотопов радона ЭРОА<sub>ср</sub> (Бк/м<sup>3</sup>) в воздухе и неопределённость Δ (Бк/м<sup>3</sup>).

Запуск ЭРОА торона выполняют в следующей последовательности: «ПРОСМОТР РЕЗУЛЬТАТОВ» → «ПРОБООТБОР-ИЗМЕРЕНИЕ» → выбор соответствующего фильтра → «МЕНЮ» → «ИЗМЕРЕНИЕ ЭРОА ТОРОНА».

*Оформление результатов измерения:*

$< \text{ЭРОА} + \Delta$ , если  $\text{ЭРОА} < \Delta$ ;

$\text{ЭРОА} \pm \Delta$ , если  $\text{ЭРОА} > \Delta$  или  $\text{ЭРОА} = \Delta$ .

После окончания измерений оформить Протокол испытаний, указав все характеристики исследуемого объекта.

По разработанным и аттестованным методикам, представленных в разделе 4, проводились исследования в полевых и производственных условиях (рис. 4.11-4.14). Исследования показали высокий уровень загрязненности атмосферного воздуха в карьере добычи редкометалльной руды (табл. 4.4) [13, 14]. В связи с этим было изучено влияние условий труда на состояние здоровья горняков [15–17].

Таблица 4.4

Результаты измерений радиационных показателей

Контрольные точки	Объем прокаченного воздуха, л	ЭРОА <sub>Rn</sub> , Бк/м <sup>3</sup>	ОА Rn, Бк/м <sup>3</sup>	ЭРОА <sub>Tn</sub> , Бк/м <sup>3</sup>	$\Sigma(\text{ЭРОА}_{Rn} + 4.6 \text{ ЭРОА}_{Tn})$ , Бк/м <sup>3</sup>	МЭД, мкЗв/ч
1	23.6±1.8	2654±276	4622±770	37±10	2824	0.9-1.2
2	5.8±0.4	1924±215	11325±4190	748±80	5365	0.8-1.5
3	55.7±3.9	2510±314	3626±1010	45±8	2720	0.4-0.6
4	15.2±1.1	2770±405	4470±1230	100±24	3230	0.5-0.7
5	5.5±0.4	2370±624	4925±1780	385±81	4140	0.5-0.8
6	3.7±0.3	8245±1840	10995±3690	150±40	8935	1.7-1.9
7	3.7±0.3	1345±160	13900±3810	745±60	5382	1.2-1.9
8	7.5±0.4	2810±560	5340±1700	52±20	3050	0.6-0.9
9	9.7±0.7	1450±305	2970±970	15±7	1520	0.3-0.4
фон	35.2±2.5	65±15	130±45	7±4	100	0.20

### Список литературы

1. Аэрозольный альфа-радиометр РАА–20–П2 «Поиск». Программное обеспечение. Руководство пользователя ФМКТ. 134008.103. РП. – М.: Нитон, 2006. – 14 с.
2. Аэрозольный альфа-радиометр РАА–20–П2 «Поиск». Руководство по эксплуатации. ФМКТ. 134008.103. РЭ. – М.: Нитон, 2005. – 17 с.
3. Альфа-радиометр радона аэрозольный РАА-3-01 «Альфа АЭРО». Руководство по эксплуатации АЖНС.412123.001РЭ – М.: НТЦ «Амплитуда», 2009. – 15 с.
4. Охрана природы. Атмосфера. Общие требования к отбору проб радиоактивных аэрозолей из приземного слоя. ОСТ 95 10123-85. – Режим доступа: <https://www.consultant>

5. Охрана природы. Атмосфера. Методы определения объемной активности альфа-излучающих нуклидов в выбросах промышленных предприятий. ОСТ 95 10360-89. – Режим доступа: <https://www.consultant>
6. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Гигиенические нормативы: СанПин 2.6.1.2563-09 – М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
7. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): СП 2.6.1.2612-10. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2010. – 83 с.
8. Обращение с минеральным сырьем и материалами с повышенным содержанием природных радионуклидов: Санитарные правила. СП 2.6.1.798-99 – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2000. – 16 с.
9. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения : СП 2.6.1.2800-10 – М.: Минздрав России, 2010. – 58 с.
10. 10. Метрологическое обеспечение радиационного контроля. основные положения. ГОСТ Р 8.638-2013 – Режим доступа: <https://www.consultant>
11. Методики радиационного контроля. Основные положения. Рекомендация. МИ 2453-2000. – М. : ФГУП ГНМЦ «ВНИИФТРИ», 2000. – 16 с.
12. ГОСТ 12.0.004-2015 ГСИ. Организация обучения безопасности труда. Общие положения. – Режим доступа: <https://www.consultant>
13. Изучение основных источников облучения на предприятии по добыче редкометалльных руд / Н. А. Мельник, П. В. Икконен // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2012. – Т. 14. – № 5(3). – С. 802-804.
14. Оценка радиационных факторов горнорудного производства / Н. А. Мельник // Современные методы технологической минералогии в процессах комплексной и глубокой переработки минерального сырья (Плаксинские чтения – 2012): Материалы Международного совещания, Петрозаводск 10–14 сентября 2012 г. Институт Геологии Карельского научного центра РАН – Петрозаводск: 2012. – С. 326–330.
15. Влияние природных источников ионизирующего излучения на физиологическое состояние организма горняков / А. А. Мартынова, Н. А. Мельник, С. В. Пряничников, Д. А. Петрашова, Т. С. Завадская // Экология. Радиация. Здоровье: Сборник тезисов VII Международной научно-практической конференции (28-29 августа 2012 г.), Государственный медицинский университет г.Семей – Семей: МАП, 2012. – С. 54.
16. Оценка влияния природных источников смешанного излучения на физиологическое состояние горняков / А. А. Мартынова, Н. К. Белишева, Н. А. Мельник // Экологические проблемы Северных регионов и пути их решения: Материалы Всероссийской научной конф. с международным участием, Апатиты, 2-5 октября 2012 г. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2012. – С. 68–70.
17. Цитогенотоксические особенности буккального эпителия горняков, работающих в условиях облучения природными источниками ионизирующего излучения / Д. А. Петрашова, Н. К. Белишева, Н. А. Мельник // Экологические проблемы Северных регионов и пути их решения: Материалы Всероссийской научной конф. с международным участием, Апатиты, 2–5 октября 2012 г. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2012. – С. 77–80.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования и разработка радиоаналитических методов анализа, выполненные по Федеральной целевой программе «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы», существенно повлияли на качество проводимых исследований в области использования атомной энергии. Это позволило выполнить на высоком профессиональном уровне научные исследования по обеспечению технологической и радиационной безопасности при производстве редких металлов (титана, ниобия, тантала, циркония, РЗЭ и др.) из редкометалльного сырья с повышенным содержанием природных радионуклидов и создание новых материалов на их основе [1-5].

С использованием усовершенствованных методик изучено поведение природных радионуклидов при разработке гидрометаллургических технологий редкометалльного сырья различных месторождений — Африкандского и Жидойского (перовскит), Ловозерского (лопарит, эвдиалит, сфен), Ковдорского (бадделейт), Белозименского, Малышевского, Зашихинского (тантало-ниобаты, редкие земли), колумбит, плюмбуммикролит и др. [6-10].

О высоком качестве исследований свидетельствует оценка результатов участия РЛРК в интеркалибрации, которая дана в документе ВНИИХТ № 3-29/98 от 16.09.09г. (Свидетельство об участии — РГ№ ОИ-2-48 от 01.12.2009 г., рис. 4.15) — лаборатория была включена в референтную группу, имеющую право проводить арбитражные измерения.



Рис. 4.15. Свидетельство об участии в отраслевой интеркалибрации

Разработанные и аттестованные методики (МВИ) и средства измерений (СИ), приведенные в монографии, использовались для определения основных дозообразующих техногенных и природных радионуклидов в представленных для анализа образцах. Результаты сличений позволили получить объективные данные о высоком качестве проведения измерений по аттестованным методикам

по сравнению с другими лабораториями, оценить уровень точности, который можно планировать при выполнении измерений для принятия решений, проверить обоснованность характеристик точности.

Это официальное признание Госстандартом России компетентности лаборатории радиационного контроля (ЛРК) выполнять радиационные измерения в соответствии с требованиями Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ) и осуществлять контроль за состоянием радиационных измерений.

Результаты сличений были использованы для подтверждения компетентности ЛРК при очередной переаккредитации в 2010 г. в Системе аккредитации лабораторий радиационного контроля (САРК) Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (ПРИЛОЖЕНИЕ 3).

Методики успешно использовались при проведении научно-исследовательских работ по утилизации радиоактивных отходов и обеспечению радиационной безопасности в ИХТРЭМС Кольского научного центра РАН, выполненных по Федеральной целевой программе (ФЦП) «Ядерная и радиационная безопасность России» на 2008-2010 гг. и на 2010-2014, проект 250 «Повышение радиационной безопасности в организациях РАН».

Применение разработанных и усовершенствованных методик позволяет повысить экологическую безопасность технологических процессов горно-обогатительной и гидрометаллургической переработки минерального сырья, хранения и использования горнопромышленных отходов, строительных материалов а также принять участие в выполнении научно-исследовательских работ различной направленности совместно с сотрудниками других институтов Кольского научного центра – геологами, горняками, обогатителями, экологами, медиками [11–19].

Работы выполнялись по Грантам РФФИ-север\_а (2002-2005, рук.), РФФИ 09-08-00906-а («Управление селективностью титано-фосфатных сорбентов для очистки жидких отходов от катионов токсичных металлов» (2009 – 2011); Гранту РФФИ – север проект № 10-04-98809-р\_север-а, 2010-2011 («Оценка воздействия природных факторов среды горнорудного производства на организм человека в Евро-Арктическом регионе»); Проектам ОХНМ/6 – «Разработка комплексной технологии переработки редкометалльного сырья Кольского полуострова и руд Полярного Урала с получением высокочистых соединений тантала и ниобия для электроники и оптоэлектроники» (2007-2009 г.г.), ОХНМ/8 — «Разработка композиционных материалов на основе лигированных соединений меди, алюминия» (2012-2014, рук.); Проект РАН «Наука – медицине 08» (грант 2008-2010 г., современные проблемы радиобиологии, совместно с ПАБСИ КНЦ РАН) — «Оценка влияния естественных источников радиоактивности на функциональное состояние организма в условиях Заполярья с целью прогноза степени риска их воздействия на организм и коррекции неблагоприятных последствий». В результате исследований установлено влияние малых доз радиации на живые организмы — изучены показатели накопления доз персоналом, работающим с источниками ионизирующих излучений, в зависимости от стажа работы, показатели клинического анализа крови за эти же годы, а также изменения этих показателей при работе в условиях повышения доз [19-21].

Использование аттестованных методик позволило изучить пространственное и временное распределение радионуклидов в техногенно-

измененных районах: в районе техногенного воздействия добычи руды, фабрик по переработке редкометалльного сырья; деятельности ТЭЦ, АЭС, транспортных потоков и др. [22–27].

Выполнены радиоэкологические исследования снежного покрова в зоне влияния комплексных антропогенных факторов в урбанизированных промышленных районах (Интеграционный проект с ИППЭС КНЦ РАН по радиационному мониторингу снежного покрова). Изучены радиационно-гигиенические характеристики снежного покрова и водных объектов в зонах влияния Кольской АЭС (1989-2012) и пространственное распределение радиоактивности в снежном покрове за период 2006-2012 года (мониторинговые площадки ИППЭС по Мончегорскому градиенту и мониторинговые площадки ФГУЗ «ЦГиЭ» г.Апатиты, Кировска и Ковдорского района [28–32].

Изучено влияние антропогенных факторов (на примере Апатитской ТЭЦ, Интеграционный проект с ПАБСИ КНЦ РАН) на биопродуктивность и устойчивость растений [42–47].

Сотрудниками РЛРК ИХТРЭМС КНЦ РАН (Мельник Н. А., Икконен П. В.) выполнены радиоэкологические исследования в шахте рудника «Карнасурт» Ловрозерского ГОКа (пос. Ревда, Мурманская обл.) с целью определения возможности использования ядерно-физических методов для контроля состояния горного массива. На различных участках шахты определены гамма-фон, мощность экспозиционной дозы гамма-излучения, удельная активность радона, эквивалентная равновесная объемная активность радона и торона в производственных условиях (проект 2010 г. совместно с ГоИ КНЦ РАН) [6].

Оценка состояния радиационной безопасности населения и качества состояния окружающей среды позволяют прогнозировать медико-биологическое состояние населения и качество его жизни [20].

Наличие аттестованных методик позволило выполнить радиологические исследования в рамках инженерно-экологических изысканий в районах предполагаемого или проектируемого строительства на территории Мурманской области (в том числе, Штокмановские проекты по строительству завода по переработке газа и газопровода «Мурманск-Волхов»), Карелии и других районах России (Жидойское, Зашихинское и др. месторождения редкометалльного сырья; Печорское, Воркутинское и Кузбасское месторождения угля) [49–53]. Все проекты прошли экологическую экспертизу по оценке воздействия на окружающую среду и были утверждены.

Кроме этого выполнены проекты инженерно-радиологических изысканий на территории Мурманской области и Карелии:

- Радиологическое обследование территории строительства портового транспортно-технологического комплекса в районе пос. Видяево» (2008, с ИППЭС)
- Площадки КС и РТЦ магистрального газопровода Мурманск-Волхов (2008–2009) (Задание ОАО «Тюмень промгазнефтегеоэкология»).
- Участок проектирования строительства фабрики по переработке хромитовых руд (Мончегорск, 2009, ИППЭС).
- Площадки Восточного участка Южно-Кахозерского месторождения (Оленегорский район, Мурманская обл., 2010, ИППЭС).

- В районе строительства подземного рудника на базе месторождения апатито-нефелиновых руд «Партомчорр» (на стадии проектирования; Апатитско-Кировский р-н, Мурманская обл., 2010, ИППЭС).

Совместно с Институтами водных проблем и геологии Карельского НЦ РАН (2006, 2009) выполнены полевые радиоекологические исследования на территории Карелии в районе урано-ванадиевого месторождения (юго-восточная окраина Фенноскандинавского щита): проведена гамма-съемка фона а местности; измерена мощность экспозиционной дозы на исследуемых объекта (проект «Радиоактивность некоторых горных пород восточной части Карельского кратона»); выполнены радиологические исследования горных пород Заонежского полуострова и Водлозерского блока, расположенных в восточной части Карельского кратона, которые представляют интерес для промышленности и строительства («Радиационная оценка вмещающих пород — неорархейских гранитоидов и метасоматитов для мафит-ультрамафитов юго-восточной окраины Фенноскандинавского щита») [51, 52].

Радиоаналитические методики можно использовать в таможенном контроле, радиационном контроле лекарственных растений, лесной продукции. Выполнены исследования по аккумуляции радионуклидов дикорастущими и культивируемыми лекарственными растениями Мурманской области» [19, 44–48], пространственное и временное распределение радионуклидов в почве [34–37], атмосфере [38–42], водных объектах [30–32], изучено влияние радиационных показателей на биохимические свойства земляники садовой и адаптацию ее в северных условиях [54–56].

По заказу промышленных предприятий (ООО «Печенгагеология», ОАО «Апатит», АО ГМК «Североникель» и др.) выполнена радиационная оценка сырья для строительных работ (песок, гравий, щебень, зола, рудовмещающие породы и др.) [11–15, 17, 18]

Выбор и применение конкретной методики будет зависеть от наличия необходимой инфраструктуры, производственных мощностей, аппаратуры и уровня подготовки специалистов лабораторий радиационного контроля, области их аккредитации.

Разработанные Методики дают возможность получения достоверных результатов радиационного контроля с корректной оценкой неопределенности измерений и обеспечение прослеживаемости измерения, сводят к допустимому уровню риск принятия неправильного решения о состоянии объекта контроля или его соответствия установленным требованиям. Они предусматривают метрологическое обеспечение радиационных измерений, выполняемых для контролируемого объекта с целью наблюдения за состоянием и изменением радиационной обстановки и контроля выполнения требований установленных норм.

Аттестованные методики позволили проводить в Региональной лаборатории радиационного контроля ИХТРЭМС КНЦ РАН в течение многих лет комплексные исследования в области радиоэкологии и рационального природопользования, направленные на изучение минерально-сырьевой базы, радиоэкологического состояния экосистем и реализовать концепцию радиационно-безопасного использования природных ресурсов Кольского Севера (рис. 4.16).



Рис. 4.16. Схема радиационного мониторинга и реабилитации в системе производство-окружающая среда.

На основе выполненных исследований по разработке и аттестации методик, широкой области аккредитации (ПРИЛОЖЕНИЕ 3) лаборатория оказывала предприятиям и учреждениям Мурманской области и за ее пределами консалтинговые услуги, научно-методическую и практическую помощь в указанной области деятельности, а также по следующим вопросам:

- радиационно-гигиеническая паспортизация организаций и территорий;
- инженерно-радиологические изыскания при проектировании и строительстве;
- радиационно-гигиеническая сертификация сырья, продукции, изделий;
- оценка радиационной обстановки (фон, участки застройки и т.д.);
- радиационно-гигиеническая экспертиза проектов и технической документации.

За успешное развитие и внедрение комплексных радиологических исследований, обеспечение радиационной безопасности разработок по приоритетным направлениям развития науки и техники в Кольском регионе Лаборатория радиационного контроля ИХТРЭМС КНЦ РАН на 5-й Международной специализированной Выставке «ЛабораторияЭкспо2007» (г. Москва) была награждена Дипломом и медалью (ПРИЛОЖЕНИЕ 3-1).

#### **Перечень оригинальных публикаций**

1. Радиационная оценка новых сварочных материалов на основе сырья Карело-Кольского региона / А. И. Николаев, Н. А. Мельник, В. Б. Петров, Ю. В. Плешаков, Ю. Д. Брусницын // Сварочное производство. – 2000. – № 1. – С. 50–53.
2. Распределение радиоактивности при гидрометаллургической переработке перовскитового концентрата различными методами / Н. А. Мельник // Цветная металлургия, 2003. – № 3. – С. 20–29.
3. Кадырова, Г. И. Извлечение скандия из растворов переработки бадделеитового концентрата и очистка его от примесей урана и тория / Г. И. Кадырова, Н. А. Мельник // Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева Кольского научного центра РАН. – Апатиты, 1999. – 19 с. – Деп. в ВИНТИ 22.11.1999 г., № 3457-В99.
4. Радиогеоэкологические проблемы эксплуатации редкометалльных месторождений / Н. А. Мельник // Инновационный потенциал Кольской науки. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2005. – С. 229–233.
5. Радиационная оценка комплексной переработки перовскитовых руд Африкандского месторождения / Н. А. Мельник // Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья Кольского научного центра РАН – Апатиты, 2002. – 27 с., деп. ВИНТИ 27.08.2002, № 1521-В-2002
6. Оценка радиационных факторов горнорудного производства / Н. А. Мельник // Современные методы технологической минералогии в процессах комплексной и глубокой переработки минерального сырья (Плаксинские чтения – 2012): Материалы Международного совещания, Петрозаводск 10–14 сентября 2012 г. Институт Геологии Карельского научного центра РАН – Петрозаводск: 2012. – С. 326–330.
7. Распределение радиоактивности при серноокислотной переработке сфенового концентрата для промышленного получения титановой соли / Н. А. Мельник, Л. Г. Герасимова // Экология производства, 2013. – № 4. – С. 43–48.

8. Гравитационное дообогащение перовскитового флотационного продукта Африкандского месторождения / М. С. Хохуля, Н. А. Мельник и др. // VIII Конгресс обогатителей стран СНГ: Сборник материалов, Москва, 26 февраля-01 марта 2013, 2013. – М.: МИСиС, 2013. – Т. 2. – С. 630–634.
9. Изучение распределения радионуклидов во фторидно-азотнокислотной технологии плюмбомикролитового концентрата / Маслобоева С.М., Мельник Н.А. // Цветные металлы, 2010. – № 10 – С. 71–74.
10. Радиозоологические аспекты переработки минерального сырья Кольского региона / Н. А. Мельник // Цветные металлы, 2012. – № 8. – С. 84–89.
11. Мельник, Н. А. Радиационно безопасное использование отходов Кольского горнопромышленного комплекса в производстве строительных материалов / Н. А. Мельник. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. – 114 с.
12. Особенности радиоактивности гранитов месторождений облицовочного камня Кольского полуострова // В. В. Лашук, Н. А. Мельник, Т. Т. Усачева // Горный журнал. – 2001. – Вып. 3. – С. 89–93.
13. Специфические особенности минерального сырья Кольского региона для производства строительных материалов / Н. А. Мельник // Строительные материалы, 2006. – № 4. – С. 57–60.
14. Радиационный контроль – необходимое условие качества строительных работ / Н. А. Мельник // Север промышленный, 2011. – № 4(39). – С. 16–22.
15. Комплексная геоэкологическая оценка хвостохранилищ отходов обогащения апатито-нефелиновых руд Хибинских месторождений / В. В. Лашук, Н. А. Мельник и др. // ИХТРЭМС КНЦ РАН, Апатиты, 2007. – 42 с, табл. 10, рис. 21, библи. – 18 назв., рус. Деп. в ВИНТИ 17.07.2007 г.
16. Radioecological condition of tailings dams of the mountain processing enterprises of Apatity-Kirovsky district of Murmansk region / N. A. Melnik // First Russian-Nordic Symposium on Radiochemistry, Москва, 21–24 октября 2013 г. – М: МГУ, 2013. – С. 95–100.
17. Радиационная оценка золоотходов различного генезиса / Н. А. Мельник, Т. П. Белогурова // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренц-региона в технологии строительных и технических материалов: Материалы V Всероссийской научной конференции с международным участием, Апатиты, 12-15 ноября 2013 г. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2013. – С. 122–125.
18. Радиационный контроль горнопромышленных отходов – основа качества сырья для строительных и технических материалов / Н. А. Мельник // Инновационный потенциал Кольской науки – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2005. – С. 224–229.
19. Радиационный мониторинг объектов природной среды. / Н. А. Мельник // Контроль и реабилитация окружающей среды: Материалы II-го Международного симпозиума (Под общей редакцией М.В. Кабанова, Н.П. Солдаткина). – Томск: Изд-во «Спектр» Института оптики атмосферы СО РАН, 2000. – С. 173–174.
20. Изучение основных источников облучения на предприятии по добыче редкометалльных руд / Н. А. Мельник, П. В. Икконен // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2012. – Т. 14. – № 5(3). – С. 802–804.
21. Радиозоологические исследования шунгитовых месторождений Карелии / Мельник Н. А., Икконен П. В. // Проблемы рационального использования

- природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов: материалы IV Международной конференции (Архангельск, 6–8 июня 2010г.) – Архангельск: ГОУ ВПО «Архангельский ГТУ», 2010. – С. 94–97.
22. Анализ и оценка уровня радиоактивных загрязнений от тепловых электростанций / Н. А. Мельник // Химия, технология и свойства силикатных материалов – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2000. – С. 148–156.
  23. Костюк, В. И. Состояние ассимилирующих органов березы в окрестностях Апатитской ТЭЦ. / В. И. Костюк, Н. А. Мельник, М. И. Вихман – Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2011. – 87 с.
  24. Комплексные радиоэкологические исследования природных экосистем Кольского севера / Н. А. Мельник // Современные экологические проблемы Севера (к 100-летию со дня рождения О.И. Семенова-Тян-Шанского): Материалы Международн. конф., г. Апатиты, 10–12 октября 2006 г. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2006. – Ч. 2. – С. 28–30.
  25. Радиационный мониторинг естественных радионуклидов в северных широтах / Мельник Н. А // Север-2003: Проблемы и решения – Апатиты, Изд-во Кольского научного центра РАН, 2004. – С. 77–89.
  26. Радиационный мониторинг поверхностных вод открытых водоемов в зоне влияния Кольской АЭС / Мельник Н. А., Райских А. А., Петельчук К. В. // Экология арктических и приарктических территорий: Материалы Международного симпозиума (Архангельск, 6–10 июня 2010 г.) / Институт экологических проблем Севера УрО РАН; отв. ред. д.х.н., проф. К. Г. Боголицын. – Архангельск: ГОУ ВПО «Архангельский ГТУ», 2010. – С. 289–292.
  27. Радиоактивность снежного покрова и ее влияние на северные экосистемы / Н. А. Мельник, А. А. Райских, П. Н. Корнилов // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера: Материалы IV (XXVII) Международной конф. в 2-х ч., г. Вологда, 5–10 декабря 2005 г. – Вологда: УрО РАН, 2005. – Ч. 2. – С. 10–13.
  28. Содержание радионуклидов в снежном покрове центральной части Кольского полуострова / Мельник Н. А., Аниховская Г. П., Исаева Л. Г., Маслобоев В.А. // Современные экологические проблемы Севера (к 100-летию со дня рождения О.И. Семенова-Тян-Шанского): Материалы Международн. конф., г. Апатиты, 10–12 октября 2006 г. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2006. – Ч. 1. – С. 91–94.
  29. Радиационный мониторинг снежного покрова как индикатора распространения загрязнений / Н. А. Мельник // Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им И. В. Тананаева Кольского научного центра РАН, Апатиты, 2007. – 53 с., табл. 10. рис. 22, библи. – 48 назв., рус. – Деп. в ВИНТИ 31.07.2007 № 798-В-2007.
  30. Distribution of radionuclides (including Uranium) in lake sediments in the region of rare metals mining (Kovdor, Murmansk Region, Russia) / V. A. Dauvalter, N. A. Melnik, N. A. Kashulin // Environmental Pollution of the Uranium Mining Germany, 24–27 September, 2002. – pp. 154–159.
  31. Распределение радионуклидов в открытых водоемах Кольского Севера. / Н. А. Мельник, В. А. Даувальтер, В. А. Маслобоев / Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера: Тез докл.

- III (XXVI) Международной конф., 11–15 февраля 2003 г. Сыктывкар, Республика Коми, Россия – Сыктывкар, 2003. – С. 57, 147–148.
32. Радиоэкологическое состояние водоемов центрального региона России / Н. А. Мельник и др. // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера: Материалы IV (XXVII) Международной конф. в 2-х ч., г. Вологда, 5–10 декабря 2005 г. – Вологда: УрО РАН, 2005. – Ч. 2. – С. 7–10.
33. Распределение радионуклидов в донных отложениях озера, расположенного в районе разработки редкометалльных месторождений / Н. А. Мельник, В. А. Даувальтер // Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения: Материалы Международной конф., 17–22 июня 2002 г., Архангельск, Т. 1, Т. 2 – Архангельск: Институт эколог. проблем Севера УрО РАН, 2002. – Т. 2. – С. 180–185.
34. Радиационный мониторинг донных отложений в районе разработки редкометалльных месторождений / Н. А. Мельник, В. А. Даувальтер // Контроль и реабилитация окружающей среды: Тез. докл. III Международного симпозиума, 10–12 июля 2002 г., г. Томск – Томск: СО РАН, 2002. – С. 86–88.
35. Сравнительная оценка радиоэкологического состояния донных отложений озер Кольского полуострова и озер Центральной части России / Н. А. Мельник, Н. В. Власюк, В. А. Даувальтер, Т. И. Моисеенко, И. А. Маслобоев // Современные экологические проблемы Севера (к 100-летию со дня рождения О.И. Семенова-Тян-Шанского): Материалы Международн. конф., г. Апатиты, 10-12 октября 2006 г. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2006. – Ч.1. – С. 191–192.
36. Радиоактивность почв урбанизированных территорий Мурманской области /
37. Н. А. Мельник, Е. А. Зыбина // Почвоведение на Кольском полуострове и соседних территориях: Материалы I Региональной науч. конф. (памяти проф. В. Н. Переверзева), 25–27 апреля 2013г., г. Апатиты - Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2013. – С. 70–74.
38. Пространственное распределение радионуклидов в почве промышленного Апатитского района / Н. А. Мельник, А. А. Смирнов, П. В. Икконен // Экологические функции лесных почв в естественных и нарушенных ландшафтах: Материалы IV Российской конференции с международным участием по лесному почвоведению, Апатиты, 12–16 сентября 2011 г. Ч. 1. – Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2011. – С. 105–109.
39. Радиационный мониторинг атмосферного радионуклида Be-7 в северных широтах / Н. А. Мельник, Э. В. Вашенюк, А. А. Райских // Экология и развитие Северо-Запада России: Сб. докл. VII Международной конф., 2–7 августа С-Петербург – С-Пб.: МАНЭБ, 2002. – С. 398–402.
40. Cosmogenic Radionuclide Be-7 Variations in Auroral Latitudes in Connection with Cosmic Rays and Atmosphric Circulations. / E. V. Vashenyuk, N. A. Melnik, V. I. Demin // Phizics of Auroral Phenomena (Физика авроральных явлений): Abstracts of XXVI Annual seminar, Apatity 25-28 февраля 2003 г., PGI KSC RAS – Апатиты, 2003. – С. 44.
41. Влияние природных факторов на радиоактивность атмосферных осадков и аэрозолей в северных широтах / Н. А. Мельник, А. А. Райских, Э. В. Вашенюк, П. Н. Корнилов // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде

- обитания человека: Материалы II-й Международ. конф., 18–22 октября 2004 г., Томск – Томск: Тандем-Арт, 2004. – С. 377–379.
42. Study of radiation composition, related with atmospheric precipitations / A. V. Germanenko, Yu. V. Balabin, E. V. Vashenyuk, N. A. Melnik, B. B. Gvozdevsky // The annual seminar “Physics of Auroral Phenomena”, Apatity, 1–4 March 2011 – Apatity: 2011. – p. 59.
  43. Радиационный мониторинг за содержанием тяжелых природных радионуклидов в атмосферных аэрозолях / Н. А. Мельник, А. А. Райских // Экологические проблемы Северных регионов и пути их решения: Материалы III Всерос. научн. конф. с международн. участием. 4-8 октября 2010г., Апатиты / ИППЭС КНЦ РАН – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2010. – Ч. 1. – С. 109–112.
  44. Костюк, В. И. Состояние ассимилирующих органов различных видов растений в условиях техногенного загрязнения. / В. И. Костюк, Н. А. Мельник, Н. Ю. Шмакова - Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2009. – 82 с.
  45. Влияние низких уровней радиоактивности на физиологические показатели хвойных пород деревьев / Н. А. Мельник, В.И. Костюк // Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им И.В. Тананаева Кольского научного центра РАН, Апатиты, 2007. – 55 с. – Деп. в ВИНТИ 24.08.2007 № 836-B2007.
  46. Жизненное состояние и морфометрические показатели хвои сосны обыкновенной в условиях воздействия низких уровней радиоактивности / Мельник Н. А., Кизеев А. Н., Костюк В. И. // Научное обозрение, 2006. – № 1. – С. 19–25.
  47. Радиационный мониторинг древостоя центрального района Кольского полуострова / Н. А. Мельник // Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им И.В. Тананаева Кольского научного центра РАН, Апатиты, 2006. – 48 с. – Деп. в ВИНТИ 02.08.2006 № 1035-B-2006.
  48. Радиоэкологическая и физиологическая характеристика хвои сосны обыкновенной на Кольском Севере / Н. А. Мельник, В. И. Костюк // Научное обозрение, 2006. – № 4. – С. 32–36.
  49. Радиоэкологические исследования хвойных пород деревьев / Н. А. Мельник, А. Н. Кизеев // Вестник МГТУ, 2006. – Т. 9. – № 3. – С. 429–433.
  50. Региональный радиационный мониторинг площадок строительства магистрального газопровода Мурманск-Волхов / Н. А. Мельник, П. В. Икконен, А. А. Смирнов // Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России: Тез. докл. XV геологического съезда Республики Коми, г. Сыктывкар, Республика Коми, 13–16 апреля 2009 г. – Сыктывкар: Геопринт, 2009. – Т. 3. – С. 330–333.
  51. Радиоэкологическая оценка производственных площадок строительства газопровода Штокмановского месторождения / Н. А. Мельник, П. В. Икконен, С. С. Сандимиров, С. Н. Макогонюк, А. А. Смирнов // VI Всероссийская Ферсманская научная сессия: Труды, г. Апатиты, 18-19 мая 2009 г. – Апатиты: Изд-во ООО К&М, 2009. – С. 274–277.
  52. Радиационный мониторинг геологических объектов Карело-Кольского региона / Н. А. Мельник Н. А. // Экология и развитие Северо-Запада России:

- Сб. докл. VII Международной конф., 2–7 августа С-Петербург – С-Пб.: МАНЭБ, 2002. – С. 403–405.
53. Радиоактивность некоторых горных пород восточной части Карельского кратона / Н. А. Мельник, П. В. Икконен // VII Всероссийская Ферсманская научная сессия: Труды, 3–4 мая 2010 г., Апатиты – Апатиты, К&М, 2010. – С. 146–149.
  54. Радионуклиды и микроэлементы в природных водах в зоне урано-ванадиевого месторождения (Республика Карелия) / А. А. Лукин, Н. А. Мельник // Водные ресурсы. – 2006. – Т. 33, № 1. – С. 82–86.
  55. Аккумуляция радионуклидов в листовых породах деревьев в условиях Кольского севера / Н. А. Мельник // Радиохимия-2006: Тезисы докл. V-й Российской конф. по радиохимии, Дубна, 23–27.10.2006 г. – Озерск: ФГУП «ПО Маяк», 2006. – С. 228–229.
  56. Радиационный мониторинг наземных частей земляники в условиях Кольского Севера / А. А. Мартынова, Н. А. Мельник // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. – Т. 12. – № 1–8. – С. 1940–1943.
  57. Аккумуляция радионуклидов в дикорастущих и культивируемых лекарственных растениях Мурманской области / С. А. Игумнова, Н. А. Мельник // Биологическое разнообразие северных экосистем в условиях изменяющегося климата: Материалы международ. научной конф., г. Апатиты, 10–12 июня 2009 г. – Апатиты: Изд-во ООО К&М, 2009. – Ч. 1. – С. 79–80.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### СПИСОК ДЕЙСТВУЮЩИХ НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И РАДИАЦИОННОМУ КОНТРОЛЮ

1. Федеральный закон "Об использовании атомной энергии" от 21 ноября 1995 г. № 170-ФЗ (Собрание законодательства Российской Федерации, 1995, № 48, ст. 4552; 1997, № 7, ст. 808).
2. Федеральный закон "О радиационной безопасности населения" от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ (Собрание законодательства Российской Федерации, 1996, № 3, ст. 141).
3. Федеральный закон "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ (Собрание законодательства Российской Федерации, 1999, № 14, ст. 1650).
4. Федеральный закон "Об административной ответственности организаций за нарушение законодательства в области использования атомной энергии" № 68-ФЗ от 12.05.2000 г.
5. Об охране окружающей природной среды : закон РСФСР от 19 дек. 1991 г. № 32060-1; № 7-ФЗ от 10 янв. 2002 г. (в ред. от 26 июня 2007 г.). – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>
6. Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : федер. закон от 11 июля 2011 г. № 190-ФЗ. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.
7. Положение о государственной экологической экспертизе: Постановление Совета Министров и Правительства РФ № 942. М., 1993. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>
8. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях, ФЗ-№ 190 от 30.12.2001г. (по состоянию на 07.02.2011 № 8-ФЗ).
9. Уголовный кодекс Российской Федерации : федер. закон. – М. : Юрист, 1998. – 450 с.
10. Постановление Правительства РФ "О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов", № 1069 от 19.10.2012г. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>
11. Градостроительный кодекс Российской Федерации, ФЗ № 190 от 29 дек. 2004 г. (в ред. от 27 июля 2010 г. ФЗ № 226). – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>
12. Об обеспечении единства измерений : федер. закон от 11 июня 2008 г. № 102-ФЗ (в ред. от 18 июля 2011 г. № 242-ФЗ, от 30 нояб. 2011 г. 347-ФЗ, от 28 июля 2012 г. № 133-ФЗ, от 02 дек. 2013 г. № 338-ФЗ). – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>
13. Постановление Федеральной службы Роспотребнадзора «О внесении изменений в отдельные санитарные правила, устанавливающие требования в области радиационной безопасности», № 43 от 16.09.2013 г. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>

14. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) Гигиенические нормативы: СанПин 2.6.1.2563-09 - М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии, 2009. - 100 с.
15. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) : СП 2.6.1.2612-10. – М. : Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 83 с.
16. Обращение с минеральным сырьём и материалами с повышенным содержанием природных радионуклидов: Санитарные правила. СП 2.6.1.798-99. М.: Минздрав России, 2000. 16 с.
17. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения : СП 2.6.1.2800-120 – М. : Минздрав России, 2010. – 58 с.
18. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002). СП 2.6.6.1168-02. Минздрав России, 2002 г. Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации (регистрационный N 4005 от 6 декабря 2002 г.).
19. Санитарные правила и гигиенические нормативы СанПиН 2.6.1.24-03 "Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03)", Зарегистрировано в Минюсте РФ 26 мая 2003 г. Регистрационный N 4593, Постановление гл. сан. врача РФ (введен в действие с 20.06.2003г. № 69 от 28.04.2003г.
20. Гигиенические требования к проектированию предприятий и установок атомной промышленности (СПП ПУАП-03). СанПин 2.6.1.07-03. Минздрав России, 2003. Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации (регистрационный № 4365 от 3 апреля 2003 г.).
21. Инженерно-экологические изыскания для строительства СП- 47.1330.2016 – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>
22. Допустимые уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в продукции лесного хозяйства. СП 2.6.1.759-99 – М.: Минздрав России, 1999. – 6 с.
23. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. СанПиН 2.3.2.1078-01 – М.: Минздрав России, 2002. – 168 с.
24. ГОСТ № 30108-94 Материалы и изделия строительные, определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов (с изменениями 1, 2 от 2007г.). – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>
25. ГОСТ 8.638-2013 Государственная система обеспечения единства измерения (ГСИ). Метрологическое обеспечение радиационного контроля. Основные положения. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>
26. ГОСТ 12.0.004-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Организация обучения безопасности труда. Общие положения. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### **ИНСТРУКЦИЯ по технике безопасности при работе с радиоактивными веществами и источниками ионизирующего излучения**

#### **В В Е Д Е Н И Е**

Настоящая инструкция разработана в соответствии с действующими нормативно-правовыми документами Российской Федерации в области использования атомной энергии, радиационной безопасности населения и защиты окружающей среды, нормативно-методическими и руководящими документами Федеральной службы по технологическому, экологическому и атомному надзору, Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Отдела ГО и ЧС, ООТ РАН ("Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности" (ОСПОРБ-99/2010), "Нормы радиационной безопасности" (НРБ-99/2009), «Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами» (СПОРО-2002) и др.).

Инструкция распространяется на все виды работ с радиоактивными веществами (РВ) и источниками ионизирующих излучений (ИИИ), выполняемых в лаборатории. Ответственность за выполнение настоящей инструкции в целом возлагается на заведующего лабораторией.

Ответственность за выполнение правил по охране труда на отдельных рабочих местах несут руководители работ, а также персонал, проводящий эту работу.

Инструкция разработана с учетом рекомендаций, изложенных в постановлении Минтруда № 80 от 17.12.2002 года "Об утверждении методических рекомендаций по разработке государственных нормативных требований охраны труда" и главы 212 Трудового Кодекса Российской Федерации.

#### **1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

##### **1.1. Перечень опасных и вредных производственных факторов, которые могут воздействовать на работника в процессе работы**

1.1.1. Воздействие на человека ионизирующей радиации, испускаемой радиоактивными веществами, может быть обусловлено внешним, внутренним или смешанным облучением.

1.1.2. Радиационную опасность при работах с радиоактивными веществами и ИИИ представляют различные виды ионизирующих излучений:

а) альфа-излучение — поток ядер гелия, обладающих большой ионизирующей способностью и малым пробегом. Радиоактивные вещества, испускающие альфа-частицы, представляют наибольшую биологическую опасность при попадании внутрь организма;

б) бета-излучение — поток электронов или позитронов, обладающих большей по сравнению с альфа-излучением проникающей способностью. Радиоактивные вещества, испускающие бета-частицы, представляют опасность не только при попадании внутрь организма, но и при внешнем облучении;

в) гамма-излучение — электромагнитное ионизирующее излучение, возникающее внутри ядра атома. Обладая очень большой проникающей способностью, представляет основную опасность при внешнем облучении;

г) нейтронное излучение — поток элементарных частиц, каждая из которых не имеет заряда и обладает массой, близкой к массе протона. Вследствие большой проникающей способности представляет большую опасность при внешнем облучении.

1.1.3. Необходимо учитывать, что радиоактивные вещества могут загрязнять не только поверхность соприкасающихся с ними предметов, но также попадать в воздух в виде газов (эманлирующие препараты), паров или аэрозолей. Поэтому при работе с радиоактивными веществами следует соблюдать все требования, предусмотренные инструкцией.

1.1.4. Степень радиационной опасности определяется следующими основными факторами:

- а) вид используемых радиоактивных препаратов (открытые или закрытые источники);
  - б) физическое и химическое состояние радиоактивного вещества;
  - в) энергия и вид излучения;
  - г) активность;
  - д) период полураспада;
  - ж) относительная радиационная опасность радионуклида (радиотоксичность);
  - е) количество радиоактивного вещества на рабочем месте;
- з) характер технологического процесса применения радиоактивных веществ.

## **1.2. Требования по охране труда при допуске к работе с РВ, ИИИ и РАО**

1.2.1. Все лица, поступающие на работу, связанную с применением радиоактивных веществ и других источников ионизирующих излучений, или переводимые на эту работу, должны проходить предварительный медицинский осмотр и не иметь медицинских противопоказаний.

1.2.2. К персоналу (группа А) относятся лица, которые непосредственно работают с источниками ионизирующих излучений или по роду своей работы могут подвергнуться облучению.

1.2.3. Все работающие с радиоактивными веществами и другими ИИИ (персонал) должны подвергаться периодическому медицинскому осмотру один раз в год до предоставления очередного отпуска.

1.2.4. К непосредственной работе с радиоактивными веществами и другими ИИИ допускаются лица не моложе 18 лет.

1.2.5. Женщины освобождаются от работы с радиоактивными веществами на весь период беременности и на период кормления.

1.2.6. Все лица, относящиеся к персоналу группы А, допускаются к работе после обучения по Программе, утвержденной директором института (или его заместителем) и согласованной с Мурманским отделом инспекций по надзору за радиационно опасными объектами, и проверки знаний правил по радиационной безопасности труда.

Проверка знаний правил безопасности работы проводится комиссией, назначенной приказом по институту, до начала работ с периодом не реже 1 раза в год. Результаты проверки знаний оформляются в виде протоколов в 2-х экземплярах.

1.2.7. Инструктаж работающих с ИИИ проводится в соответствии с ГОСТ 12.0.004-79, повторный инструктаж проходят все работающие независимо от квалификации, образования и стажа работы не реже, чем через шесть месяцев.

Внеплановый инструктаж, проводят при: изменении правил по охране труда; изменении условий работы; нарушении работниками требований безопасности труда; перерывах в работе более чем на 30 календарных дней.

1.2.8. Администрация института обязана: определить перечень лиц, относящихся к персоналу, обеспечить необходимое обучение их и инструктаж; назначить приказом лиц, ответственных за радиационный контроль и радиационную безопасность, за учет и контроль ИИИ и РАО, сдачу и прием РАО, физическую защиту радиационного объекта, в соответствии с Трудовым кодексом Российской Федерации обеспечить необходимое обучение их не реже 1 раза в три года.

1.2.9. Все сотрудники в своей работе должны руководствоваться действующими нормами и правилами обеспечения радиационной безопасности, настоящей и должностными инструкциями («Квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих», Постановление Минтруда России от 21.08.1998 г. № 37).

## **2. ПРАВИЛА ВНУТРЕННЕГО РАСПОРЯДКА**

2.1. Все работы с источниками излучения выполняются на основании Санитарно-эпидемиологического заключения (СЭЗ) о соответствии условий санитарным правилам и нормам радиационной безопасности, которое выдаётся Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (г. Мурманск) на основании заявления организации, представленных документов и акта обследования. Все сотрудники обязаны выполнять правила внутреннего распорядка и соблюдать режим труда и отдыха.

2.2. Вход посторонним лицам в лабораторию воспрещается. Лица, которые не работают в лаборатории непосредственно, могут посетить рабочее помещение лаборатории только с разрешения зав. лабораторией или руководителя соответствующих работ в установленном порядке.

2.3. Вход в рабочие помещения лаборатории в верхней одежде и без халата не допускается. Администрация обязана обеспечить сотрудников спецодеждой в соответствии с классом работ и средствами индивидуальной защиты в соответствии с принятыми нормативами

2.4. В рабочих помещениях лаборатории, за исключением специально выделенного для этой цели помещения в чистой зоне, запрещается принимать пищу, пить, курить, производить косметические операции.

2.5. Выходить из лаборатории в рабочих (белых) халатах не разрешается.

2.6. При выполнении монтажных и ремонтных работ лицам, не являющимся сотрудниками лаборатории, должна выдаваться специально выделенная дежурная спецодежда. Такие работы выполняются только по согласованию с заведующим лабораторией и после проведения инструктажа.

2.7. Находиться на рабочем месте без спецодежды не разрешается.

2.8. Срочные работы в неурочное время могут проводиться только с разрешения зав. лабораторией и при наличии в лаборатории не менее двух человек.

2.9. При выносе из лаборатории каких-либо приборов, инструментов, оборудования и материалов на ремонт или в другую лабораторию должен быть проведен дозиметрический контроль поверхности. При обнаружении загрязненности должна быть проведена дезактивация.

2.10. Работы лаборантов, практикантов выполняются под контролем руководителя работ.

### **3. ТРЕБОВАНИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ, ХРАНЕНИИ И РАСФАСОВКЕ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ**

3.1. Поставка потребителю радиоактивных веществ в открытом и закрытом виде производится по заявкам, согласованным с Федеральной службой Роспотребнадзора и отделом внутренних дел (ОВД) г. Апатиты.

3.2. О получении радиоактивных веществ или передаче их в другую организацию необходимо в десятидневный срок известить вышеуказанные органы, а также региональный и ведомственный Центр учета и контроля ИИ.

3.3. Для получения, учета и хранения радиоактивных веществ приказом по институту назначается ответственное лицо, хорошо знакомое с физико-химическими и токсическими свойствами радиоактивных веществ и имеющего Разрешение Федеральной службы по атомному надзору на соответствующий вид деятельности.

3.4. Для обеспечения радиационной безопасности рабочих мест в хранилище РВ, ИИИ и РАО и лабораторной зоне радионуклиды хранятся в сейфах: альфа-, бета-излучатели — в сейфах типа С-000, гамма-излучатели в сейфе типа СЗ. Сейфы постоянно должны быть заперты и опломбированы. Хранение, извлечение из сейфов и перемещение радионуклидов по лаборатории должно осуществляться с предельной осторожностью, не допуская толчков, ударов, опрокидывания посуды и т.п., во избежание нарушения целостности упаковки с ИИ и загрязнения помещения.

3.5. Принятые радиоактивные вещества берутся на учет в лабораторном приходно-расходном журнале по форме, соответствующей ОСПОРБ-99/2010, а сопроводительные документы передаются в бухгалтерию, где ставятся на материальный учет.

3.6. Наружная поверхность возвращаемых упаковочных комплектов из-под радиоактивных веществ не должна иметь "снимаемого" загрязнения радиоактивными веществами. Этикетки транспортной категории с таких комплектов срываются.

3.7. Внутренняя полость защитного контейнера не должна содержать каких-либо радиоактивных материалов (вскрытых ампул или пеналов, ваты и т.п.). Контейнер должен быть закрыт крышкой и опломбирован службой отдела снабжения или печатью института.

3.8. Выдача радиоактивных веществ из хранилища производится ответственным лицом только по письменному разрешению заведующего лабораторией по требованию руководителя работ (ОСПОРБ-99/2010). Выдача и возврат источников регистрируются в приходно-расходном журнале.

3.9. Расходование радиоактивных веществ, используемых в открытом виде, оформляется внутренними актами, составляемыми исполнителями работ с участием лиц, ответственных за учет и хранение ИИИ и за радиационный контроль. Акты утверждаются зам. директора института (ОСПОРБ-99/2010).

3.10. Для сокращения расфасовочных работ необходимо по возможности получать радиоактивные вещества от поставщика в порциях, не требующих дополнительной расфасовки. Порядок определения активности нуклидов должен учитываться в планах проведения работ.

3.11. В расфасовочном помещении лаборатории и хранилище могут проводиться работы II и III класса. Работы II класса проводятся по специальному разрешению заведующего лабораторией.

3.12. Расфасовка радиоактивных веществ должна проводиться в радиохимическом шкафу за специальной защитной стенкой или в хранилище.

3.13. Все операции по расходу радиоактивных веществ должны фиксироваться в лабораторном приходно-расходном журнале.

3.14. Подготовленные к выдаче пробы после расфасовки должны храниться в специально отведенном месте (шкаф или сейф), исключающем доступ к ним посторонних лиц.

3.15. При расфасовке радиоактивных веществ исполнитель обеспечивается дополнительной спецодеждой и средствами индивидуальной защиты (пластиковый халат или фартук, пластиковые нарукавники и бахилы; шапочка, резиновые перчатки, тапочки, носки и др.).

3.16. При загрязнении защитной камеры, оборудования, одежды выше допустимых норм проводится их дезактивация в соответствии с требованиями "Санитарных правил" и настоящей инструкции.

3.17. По окончании расфасовки необходимо проводить дозиметрический контроль контейнеров, ампул, стеклянной посуды, инструмента и внутренних поверхностей камеры.

3.18. При расфасовке следует принимать меры, предупреждающие загрязнения наружной поверхности посуды, инструментов, приборов, которые должны иметь маркировку.

3.19. В каждом отдельном случае предварительно проводится расчет дозы облучения и соответственно рассчитывается толщина и материал защиты, а также длина дистанционных инструментов.

3.20. Мощность дозы (Н), используемая при проектировании защиты от внешних потоков ионизирующих излучений (ОСПОРБ-99/2010, п.3.3.4.), приведена в таблице.

Таблица 3.1

Числовые значения допустимой мощности дозы (МЭД) внешнего излучения

Категория облучаемых лиц		Продолжительность облучения, ч/год	Назначение помещений и территорий	Проектная мощность эквивалентной дозы (МЭД) - Н, мкЗв/ч
Персонал	Группа А	1700	Помещения постоянного пребывания персонала	6.0
		850	Помещения временного пребывания персонала	12
население	Группа Б	2000	Помещения учреждения и территория санитарно-защитной зоны, где находится персонал группы Б	1.2
Население		8800	Любые другие помещения (в том числе жилые) и территории	0.06

#### 4. ТРЕБОВАНИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА ПРИ РАБОТЕ С ОТКРЫТЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ИЗЛУЧЕНИЯ (РАДИОАКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ)

Для обеспечения радиационной безопасности работа с РВ проводится в лабораторной зоне — рабочие места в к. 2, 3, 6, 7, фасовочная и хранилище РВ, ИИИ и РАО.

4.1. Все работы с открытыми радиоактивными веществами разделяются на три класса. Класс работ устанавливается по таблице 4.1. в зависимости от группы радиационной опасности радионуклида и фактического его количества (активности) на рабочем месте (ОСПОРБ-99/2010, п. 3.8.).

4.2. При простых операциях с жидкостями (без упаривания, перегонки, барбатажа и т.п.) допускается увеличение активности на рабочем месте в 10 раз и при хранении в 100 раз.

В случае нахождения на рабочем месте радионуклидов разных групп радиационной опасности их активность приводится к группе А радиационной опасности по формуле (ОСПОРБ-99/2010, п. 3.8.2.):

$$C_{\Sigma} = C_A / MZA_A + \sum (C_i / MZA_i),$$

где  $C_{\Sigma}$  — суммарная активность, приведенная к активности группы А, Бк;  $C_A$  — суммарная активность радионуклидов группы А, Бк;  $MZA_A$  — минимально значимая активность для группы А, Бк;  $C_i$  — активность отдельных радионуклидов, относящихся к группам Б и В, Бк;  $MZA_i$  — минимально значимая активность отдельных радионуклидов, приведенная в приложении П-4 НРБ-99/2009, Бк.

*Таблица 4.1*

Класс работ с открытыми источниками излучения

Группа радиационной опасности	Минимально значимая активность, МЗА, Бк	Суммарная активность на рабочем месте, приведенная к группе А, Бк		
		Класс работ		
		I	II	III
А	$10^3$	более $10^8$	от $10^5$ до $10^8$	от $10^3$ до $10^5$
Б	$10^4$ - $10^5$			
В	$10^6$ - $10^7$			
Г	$10^8$ и более			

4.3. При постановке темы исследования с использованием радиоактивных веществ руководителем работы должна быть составлена подробная технологическая инструкция (целевая), в которой необходимо предусмотреть все операции предстоящей работы, возможные опасности, связанные с применением радионуклидов, необходимые средства защиты, дозиметрического контроля, дезактивации.

В отдельном разделе инструкции должен быть выполнен предварительный расчет баланса расходования радионуклидов, используемых в работе, и порядок сбора и удаления отходов. Инструкция согласовывается с заведующим лабораторией.

4.4. Прежде чем приступить к проведению исследований каких-либо процессов с применением радионуклидов необходимо предварительно воспроизвести указанные процессы полностью без применения радиоактивных веществ во избежание непредвиденных случаев воспламенения, разбрызгивания и т.п.

4.5. Руководитель работ при составлении плана работ и инструкции должен использовать по возможности те нуклиды, которые обладают наименьшей токсичностью и в минимально возможных количествах. Рекомендуется пользоваться растворами с наименьшей удельной активностью, а также использовать для работы растворы радиоактивных веществ, а не порошки.

Число операций, при которых возможны потери радиоактивных веществ (пересыпание порошков, возгонка и т.д.) должно быть минимальным.

4.6. При работе с радиоактивными веществами в открытом виде следует пользоваться полиэтиленовой пленкой (салфетками) или бумагой, и другими подсобными материалами разового пользования для ограничения загрязнения различных рабочих поверхностей, оборудования, помещений. Работы следует проводить на поддонах, покрытых фильтровальной бумагой или другим поглощающим материалом.

4.7. Все работы, связанные с возможностью разбрызгивания, распыления или испарения радиоактивных веществ, или эманацией проб, должны проводиться в вытяжных шкафах. Работы проводятся с использованием резиновых перчаток, смонтированных в боксы или шкафы.

4.8. Работы II класса проводятся в вытяжных шкафах независимо от выполняемых операций.

4.9. В помещениях лаборатории, где ведутся работы с радиоактивными веществами, должны быть постоянно включены приборы дозиметрического контроля. Все сотрудники обязаны иметь при себе индивидуальные дозиметры.

4.10. Материалы разового пользования, загрязненные радиоактивными веществами, — фильтровальная бумага, полиэтиленовая пленка и т.д., а также оборудование, приспособления, спецодежда, посуда и т.д. не поддающиеся дезактивации, рассматриваются как радиоактивные отходы и передаются на захоронение вместе с технологическими отходами.

4.11. В спецканализацию лаборатории допускается сброс сточных вод: от душевых, спецпрачечной, мытья полов, шкафов, стен, посуды и т.д., при отсутствии их загрязнений и имеющих активность в пределах норм, установленных НРБ-99/2009.

4.12. Радиоактивные растворы следует собирать в специальные контейнеры для жидких радиоактивных отходов. Строго следить за уровнем отходов в контейнерах. Сброс радиоактивных растворов в спецканализацию запрещен.

Твердые радиоактивные отходы необходимо собирать в крафт-мешки, или в пластиковые мешки разового пользования, помещенные в сменные контейнеры.

4.13. По окончании работ, а также ежедневно в конце рабочего дня, каждый сотрудник должен: убрать рабочее место, вымыть посуду, инструменты, при необходимости произвести полную дезактивацию посуды и инструмента, средств индивидуальной защиты, одежды до контрольных уровней, (см. "Контрольные уровни") при помощи прибора дозиметрического контроля проверить чистоту на рабочем месте.

4.14. При выезде в командировку, уходя в отпуск и других случаях радиоактивные вещества необходимо сдать лицу, ответственному за учет и хранение.

4.15. Категорически запрещается самовольно передавать радиоактивные вещества другим лицам даже на короткое время.

4.16. Требования охраны труда перед началом работы: подготовить рабочее место и средства индивидуальной защиты, проверить исправность оборудования, защитного заземления, вентиляции, местного освещения и т.п.

4.17. Требования охраны труда по окончании работ:

После окончания работы каждый работающий должен убрать свое рабочее место, посуду, инструменты и приборы, отключить нагревательные приборы и оборудование.

Провести контрольное измерение мощности дозы и радиоактивных загрязнений непосредственно на рабочем месте; при обнаружении радиоактивных загрязнений принять неотложные меры к немедленной ликвидации их.

По окончании работы все лица, работающие в лаборатории, должны произвести индивидуальный дозиметрический контроль с проверкой загрязненности открытых участков тела, одежды и обуви на установке РЗБ-05 (или аналогичной).

После окончания работы (темы исследования) необходимо оформить акт расходования РВ, накопленные радиоактивные отходы сдать ответственному за учет и контроль РВ и РАО.

## **5. ТРЕБОВАНИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА ПРИ РАБОТЕ С ЗАКРЫТЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Для обеспечения радиационной безопасности работа с ЗРИ проводится в лабораторной зоне — рабочие места в к. 2, 3, 6, 7, фасовочная и хранилище РВ, ИИИ и РАО.

5.1. При работе с закрытыми радионуклидными источниками следует руководствоваться общелабораторными инструкциями по радиационной безопасности и настоящей инструкцией.

5.2. В нерабочем положении все источники излучения находятся в хранилище РВ в защитных контейнерах и сейфах.

5.3. Источники излучения выдаются на рабочие места по письменному требованию сотрудников, подписанному заведующим лабораторией.

5.4. При работе с контрольными, градуировочными и др. низкоактивными источниками альфа-, бета-, гамма-излучения необходимо обеспечить сохранность защитной оболочки источника и не допустить утечки РВ в окружающую среду. Внешнее излучение таких источников опасности не представляет.

5.5. Мощность эквивалентной дозы излучения от радиоизотопных приборов не должна превышать 3 мкГр/ч на расстоянии 1 м от поверхности блока прибора с источником и 100 мкГр/ч вплотную к поверхности блока с источником. При работе с радиоизотопными приборами следует руководствоваться инструкциями, прилагаемыми заводом-изготовителем. При использовании установок, мощность дозы излучения от которых не превышает 1.0 мкГр/ч на

расстоянии 1 м от доступных частей поверхности установки, специальные требования к помещениям и размещению таких установок не предъявляются.

5.6. Источники излучения, не пригодные для дальнейшего использования, с истекшим сроком службы рассматриваются как радиоактивные отходы и сдаются в хранилище РВ. Срок службы ЗРИ может быть продлен после проверки и получения соответствующего свидетельства.

## **6. ТРЕБОВАНИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА ПРИ ОБРАЩЕНИИ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ**

Для обеспечения радиационной безопасности работа с РАО проводится в лабораторной зоне — рабочие места вытяжные шкафы к. 2, 7, фасовочная и хранилище РВ, ИИИ и РАО.

6.1. Жидкие отходы считаются радиоактивными, если удельная активность радионуклидов более чем в 10 раз превышает значения уровней вмешательства при поступлении с водой, приведенные в приложении П-2 НРБ -99/2009.

Твердые отходы считаются радиоактивными, если:

– уровень загрязнения поверхности превышает  $5 \alpha$ -част /см<sup>2</sup> х мин или 50  $\beta$ -част /см<sup>2</sup>х мин, определяемых на площади 100 см<sup>2</sup>;

– удельная активность отходов больше: 100 кБк/кг для источников бета-излучения; 10 кБк/кг — для источников альфа-излучения; 1.0 кБк/кг — для трансурановых радионуклидов.

6.2. Все радиоактивные отходы классифицируются по активности на категории: низкоактивные, среднеактивные, высокоактивные.

6.3. К твердым радиоактивным отходам также относятся ИИИ, непригодные для дальнейшего использования вследствие значительного снижения активности или нарушения герметичности оболочек; спецодежда и другие средства индивидуальной защиты, оборудование, инструменты, приспособления и т.д., загрязненные радиоактивными веществами.

6.4. Радиоактивные отходы любого происхождения следует рассматривать, как возможный источник радиационной опасности.

6.5. Сбор радиоактивных отходов должен производиться отдельно: жидкие — в контейнеры-сборники, твердые — в пластиковые мешки и пакеты, а также раздельно в зависимости от периода полураспада (до 15 суток и более 15 суток).

6.6. Твердые радиоактивные отходы сдаются лицу, ответственному за хранение и захоронение, в пластиковых мешках с вставленным внутрь и хорошо видимым снаружи паспортом. В паспорте должны быть указаны: категория отходов, наименование нуклидов, физико-химические характеристики (вид излучения, период полураспада и др.), агрегатное состояние, методы переработки.

6.7. Жидкие радиоактивные отходы с периодом полураспада более 15 суток переводятся в твердые в зависимости от активности и количества отходов сушкой, осаждением радиоактивных веществ и выделением осадка, замешиванием нейтральных жидких отходов с наполнителем и вяжущим с получением брикетов. Полученные твердые отходы передаются на захоронение в соответствии с п.6.5. настоящей инструкции. Жидкие радиоактивные отходы

с периодом полураспада до 15 суток передаются в хранилище в контейнерах-сборниках.

6.8. Радиоактивные отходы накапливаются в хранилище и периодически отправляются на захоронение в специализированный комбинат (“РосРАО”) на долговременное хранение.

6.9. Жидкие и твердые радиоактивные отходы с периодом полураспада до 15 суток выдерживаются в хранилище в продолжении срока, необходимого для снижения активности до допустимых уровней, после чего твердые радиоактивные отходы удаляются с обычным мусором, а жидкие — в канализацию с оформлением соответствующего акта.

6.10. Сроки выдерживания короткоживущих радиоактивных отходов исчисляются с момента последней загрузки контейнера и по изотопу с большим периодом полураспада.

6.11. Ответственным за правильную организацию сбора, временного хранения и сдачу радиоактивных отходов на захоронение является сотрудник, назначенный приказом по институту. Как правило, он же является ответственным за работу по пункту 3.3. настоящей инструкции.

6.12. Ответственное лицо и исполнитель оформляют Акт о расходовании и списании радионуклидных источников излучения по форме приложения 8 ОСПОРБ-99/2010, который утверждается директором института.

## **7. ТРЕБОВАНИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА ПРИ ОБРАЩЕНИИ С МАТЕРИАЛАМИ И ИЗДЕЛИЯМИ, ЗАГРЯЗНЕННЫМИ ИЛИ СОДЕРЖАЩИМИ РАДИОНУКЛИДЫ**

7.1. Радиоактивные загрязнения наружных поверхностей, оборудования, инструмента, лабораторной посуды, аппаратуры, поверхностей рабочих помещений, где проводятся работы с применением радиоактивных веществ в открытом виде, не должно превышать значений контрольных уровней, установленных в лаборатории ИХТРЭМС КНЦ РАН.

*Таблица 7.1*

Контрольные уровни загрязнения радиоактивными веществами поверхностей помещений и оборудования

Объект загрязнения	Полы и стены:		Оборудование:	
	$\frac{\beta\text{-част}}{\text{см}^2 \cdot \text{мин}}$	$\frac{\alpha\text{-част}}{\text{см}^2 \cdot \text{мин}}$	$\frac{\beta\text{-част}}{\text{см}^2 \cdot \text{мин}}$	$\frac{\alpha\text{-част}}{\text{см}^2 \cdot \text{мин}}$
Помещения с эпизодическим пребыванием персонала (хранилище, расфасовочная)	800	20	800	20
Помещение постоянного пребывания персонала	50	5	Не допускается	Не допускается
Наружные поверхности защитных контейнеров и охранной тары	Не допускается	Не допускается	Не допускается	Не допускается

Таблица 7.2

Контрольные уровни снимаемого загрязнения радиоактивными веществами внутренних поверхностей вытяжных шкафов и боксов

Объект загрязнения	Контрольные уровни загрязнения:	
	$\frac{\beta}{\text{см}^2 \cdot \text{мин}}$	$\frac{\alpha}{\text{см}^2 \cdot \text{мин}}$
Специальные (без защиты) радиохимические боксы с вытяжной спец. вентиляцией	800	20
Вытяжные шкафы, оборудованные фильтрами	100	10

7.2. Загрязнение внутренних поверхностей камер, боксов и вытяжных шкафов, а также поверхности оборудования, размещенного в камерах, боксах и вытяжных шкафах, не нормируется.

7.3. В помещениях постоянного пребывания персонала должен быть предусмотрен неснижаемый запас дезактивирующих средств и моющих растворов.

По окончании работы каждый работающий должен убрать свое рабочее место и при необходимости провести дезактивацию с последующим дозиметрическим контролем.

7.4. Наиболее общими дезактивирующими средствами, которые должны иметься в лаборатории, являются синтетические моющие средства — ПАВ, мыло, ОП-7, порошок «Защита», «РАДДЕЗ», сода, разбавленная соляная кислота. Кроме этого необходимо иметь универсальные средства, пригодные для очистки поверхностей от многих радионуклидов: растворы трилона Б и лимонной кислоты (или её солей); специальные дезактиваторы (чаще всего это соединения, содержащие стабильный нуклид элемента), комплексообразующие реагенты (перманганат калия и др.), органические растворители (спирт, ацетон и др.), сильные окислители и кислоты.

Выбор дезактивирующих средств и способов проведения дезактивации определяют в каждом конкретном случае — в зависимости от природы нуклида — загрязнителя и характера дезактивируемых поверхностей. Нормы расхода на дезактивацию посуды, оборудования, пола, спецодежды и других загрязненных предметов, а также кожных покровов персонала приведены в приложении.

7.5. Аварийные комплекты дезактивирующих растворов расположены в вытяжных шкафах комнат № 2, 6, 7, в фасовочной.

## 8. МЕРЫ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ И ЛИЧНОЙ ГИГИЕНЫ

8.1. Все лица, работающие с радиоактивными веществами в открытом виде или посещающие участки работы с открытыми радиоактивными веществами, должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты в зависимости от вида и класса работ.

8.2. При отдельных работах II класса работающие должны быть обеспечены комбинезонами или костюмами, шапочками, спец. бельем, носками, легкой обувью или ботинками, перчатками, при необходимости средствами защиты органов дыхания.

8.3. При работах II класса и при отдельных работах III класса работающие должны быть обеспечены халатами, шапочками, перчатками, легкой обувью, щитками из оргстекла и при необходимости средствами защиты органов дыхания. При работах III класса работающие должны быть обеспечены халатами, шапочками и тапочками.

8.4. Работающие с открытыми радиоактивными растворами и порошками должны быть также снабжены пластиковыми фартуками и нарукавниками или пластиковыми полухалатами.

8.5. Радиоактивное загрязнение спецодежды, средств индивидуальной защиты и кожных покровов персонала не должно превышать величин, приведенных в таблице 8.1.

Таблица 8.1

Общее загрязнение спецодежды (снимаемое и неснимаемое) и контрольные уровни

Объект загрязнения	Контрольные уровни загрязнения		Примечание
	$\beta$ -част см <sup>2</sup> · мин	$\alpha$ -част см <sup>2</sup> · мин	
Шапочки, полотенца, внутренняя поверхность лицевых частей СИЗ	10	1	Меняются, если загрязнение превышает нормы
Халаты	100	5	—«—
Наружная поверхность перчаток, спец. обуви и дополнительных СИЗ	Контрольные уровни устанавливаются равными контрольным уровням загрязнений рабочих помещений, в которых эти средства используются.		Дезактивируются или меняются, если загрязнение превышает указанные нормы.

Примечание: 1. Специальный инструмент после окончания работы на данный рабочий день дезактивируется до контрольных уровней загрязнения оборудования помещений, в которых он хранится.

2. Неспециальный инструмент, любая спецодежда, спец. обувь дезактивации не подлежат и удаляются как радиоактивные отходы, если общее загрязнение превышает 8000  $\beta$ -част/см<sup>2</sup>·мин или 200  $\alpha$ -част/см<sup>2</sup>·мин.

8.6. Загрязнение личной одежды и обуви не допускается. В случае загрязнения они подлежат дезактивации под контролем дозиметриста, а в случае невозможности дезактивации — захоронению, как радиоактивные отходы.

8.7. Загрязнение рук и тела — приступить к дезактивации, если общее загрязнение рук и тела превышает 10  $\beta$ -част/см<sup>2</sup>·мин или 1  $\alpha$ -част/см<sup>2</sup>·мин. Выход из рабочих помещений разрешается, если загрязнение рук, тела, личной одежды отсутствует.

8.8. В помещениях для работ с открытыми радиоактивными веществами запрещается:

- а) пребывание сотрудников без необходимых СИЗ;

б) хранение пищевых продуктов, табачных изделий, косметики, домашней одежды и прочих предметов, не имеющих прямого отношения к работе с радиоактивными веществами;

в) прием пищи, курение, пользование косметикой.

8.9. Прием пищи разрешается в приемном помещении перед санпропускником.

## **9. ТРЕБОВАНИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА ПРИ ДЕЗАКТИВАЦИИ И СТИРКЕ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ**

9.1. Средства индивидуальной защиты, загрязненные радиоактивными веществами, подвергаются очистке в механизированной, специально оборудованной прачечной.

9.2. Дополнительные СИЗ (пленочные, резиновые) должны после каждого использования и дозиметрического контроля подвергаться предварительной дезактивации в санитарном шлюзе или на рабочем месте.

9.3. В спецпрачечную поступают средства индивидуальной защиты с уровнем загрязнения не более, чем приведено в таблице 8.1. Предметы, загрязнённые выше этого уровня, рассматриваются как радиоактивные отходы.

9.4. Хлопчатобумажная одежда и бельё направляются в стирку по мере их бытового загрязнения, но не реже одного раза в 10 дней.

9.5. Работа в прачечной должна проводиться с применением спецодежды и средств индивидуальной защиты (усиленные перчатки из латекса для защиты кожи рук и др.)

9.6. При обработке спецодежды, белья и дополнительных СИЗ, загрязненных радиоактивными веществами, следует соблюдать очередность — приемка, сортировка, замочка, стирка, полоскание, отжим, сушка, контроль, разборка и глажение.

9.7. Разборка, сортировка и дозиметрический контроль грязной одежды должны проводиться в вытяжном шкафу во избежание загрязнения всего помещения.

9.8. Средства индивидуальной защиты (СИЗ), загрязненные альфа-активными веществами, следует обрабатывать отдельно от загрязненных бета- и гамма-активными веществами. Бельё и полотенца должны стираться отдельно от халатов.

9.9. Основными моющими веществами, принятыми для обработки одежды и СИЗ, являются: мыло, кальцинированная сода, силикат гексаметафосфат натрия, ПАВ, моющее средство ОП-7 или ОП-10, щавелевая кислота, отбеливатель. Моющие средства, применяемые для обработки одежды, должны предварительно растворяться. Нормы расхода на дезактивацию спецодежды и СИЗ устанавливаются в соответствии с действующими нормативами.

9.10. По окончании обработки белья в стиральной машине, последняя чистится от остатков ткани с последующим дозиметрическим контролем.

9.11. По окончании работы в прачечной необходимо вымыть перчатки, фартук, резиновую обувь и др. СИЗ.

9.12. Контроль степени очистки обработанной одежды, белья и обуви от радиоактивных загрязнений осуществляется дозиметрическими приборами типа ДРГ-01Т, ДКГ-07, МКС-04Н, МКС-А03-1, УИМ 2-1ем. Контроль альфа-загрязненности производится только после сушки.

9.13. Степень загрязненности стиральных машин, центрифуг и другого оборудования, а также всего помещения контролируется методом мазка.

9.14. Ремонт спецодежды и белья должен производиться в спецпрачечной после их дезактивации.

## **10. УБОРКА ПОМЕЩЕНИЙ**

10.1. В помещениях, где проводятся работы с радиоактивными веществами, нельзя допускать скоплений пыли на полу, стенах, рабочих местах, воздухопроводах, газовых и водопроводных трубах, аппаратуре и оборудовании.

10.2. В целях предупреждения загрязнения лаборатории радиоактивными веществами во всех помещениях ежедневно производится уборка влажным способом.

10.3. Необходимо иметь в наличии три комплекта уборочного инвентаря:

- а) для уборки хранилища;
- б) для уборки радиохимических комнат (№ 2, № 7);
- в) для уборки остальных помещений.

10.4. Уборочный инвентарь хранится в специально выделенном для этих целей месте.

Не реже одного раза в месяц, в присутствии работников данной комнаты, производить тщательную уборку помещений с удалением пыли со всех предметов и оборудования.

10.5. Запрещается производить уборку инвентарем, предназначенным для одного помещения в других помещениях, без разрешения руководителей работ сливать жидкие отходы в раковины или выбрасывать загрязненные материалы в мусорные ящики, выносить и выбрасывать на улицу отходы и материалы, загрязненные радиоактивными веществами.

10.6. Во время работы необходимо соблюдать правила личной гигиены и поведения в соответствии с настоящей инструкцией и целевой инструкцией по радиационной безопасности при уборке помещений II-III класса работ с РВ и ИИИ.

10.7. Уборку рабочих помещений производить в халате, хлорвиниловых или резиновых перчатках, мытье полов - в галошах.

Действия технического работника по уборке всех помещений радиологического комплекса, включающего хранилище, гараж и техэтажи, и его должностные обязанности подробно изложены в Инструкции по радиационной безопасности при уборке помещений II-III класса работ с РВ и ИИИ.

## **11. РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ**

11.1. В лаборатории проводится постоянный радиационный контроль (РК), целью которого является контроль за соблюдением норм радиационной безопасности и получение информации о дозе облучения персонала.

11.2. Радиационный контроль осуществляется дозиметристом лаборатории, руководителями работ, исполнителями, лицом, ответственным за РК.

11.3. Объем, характер и периодичность проводимого радиационного контроля определены на каждом участке работы с ИИИ в зависимости от характера проводимых работ и регламентированы:

- "Инструкцией по проведению работ с ИИИ"
- "Положением о лице, ответственном за радиационный контроль в лаборатории"

- "Графиком дозиметрического контроля в лаборатории".

11.4. Контроль за радиационной обстановкой в лаборатории и дозами индивидуального облучения включает:

- контроль мощности дозы гамма-излучений, потоков бета-частиц в помещениях лабораторной зоны и в хранилище;
- контроль за содержанием радиоактивных газов и аэрозолей в воздухе (при выполнении аварийных работ);
- контроль за уровнем загрязнения радиоактивными веществами рабочих поверхностей и оборудования, кожных покровов и одежды работающих;
- контроль за содержанием радиоактивных веществ в сточных водах, сбрасываемых непосредственно в канализацию (при выполнении аварийных работ);
- контроль за сбором, удалением и обезвреживанием радиоактивных отходов;
- контроль уровней загрязнения объектов внешней среды за пределами лаборатории (при выполнении аварийных работ);
- контроль за дозами внешнего облучения персонала с использованием индивидуальных дозиметров методом КИД-2, ДКС-04, ДКГ-05 и др.

11.5. Контроль мощности дозы гамма-излучения осуществляется дозиметрами ДРГ-07, МКС-04Н, МКС-А03-1Н. Плотность потоков альфа-, бета-частиц контролируется универсальным радиометром МКС-04Н, МКС-А03-1Н, если невозможно определить загрязненность прямым измерением, используется метод мазков.

11.6. Загрязненность воздуха контролируется сотрудниками лаборатории (радиометрами «АльфаАэро», «Поиск»), а также МРГ Федеральной службы Роспотребнадзора.

11.7. Постоянный контроль за уровнем гамма-фона в лаборатории осуществляется СПСС-02, СРП-88Н, ДРГ-01Т, МКС-04Н, ДРГ-07, АТ-1121.

11.8. В обязательном порядке проводится дозиметрический контроль в требуемом объеме при:

- постановке новой работы, изменении характера работ, или вовлечении в работу нового радионуклида;
- изменении класса работ;
- при операциях по вскрытию контейнеров с радиоактивными веществами, изъятию препарата и его расфасовку;
- при удалении жидких и твердых радиоактивных отходов после выдержки или разбавления в общую канализацию или на свалку;
- после прекращения работы, даже временно;
- после окончания работы и дезактивация рабочего места;
- при выходе из лаборатории;
- при всех работах с РАО;
- при выполнении работ II класса.

11.9. Данные всех видов радиационного контроля регистрируются в специальном журнале. При проведении индивидуального контроля определяется годовая доза, а также суммарная доза за весь период

профессиональной деятельности. Данные хранятся в лаборатории постоянно. При увольнении сотрудника выдается справка о работе в особо вредных условиях труда и суммарной дозе за весь период профессиональной деятельности, карточка индивидуального дозиметрического и медицинского контроля.

## **12. ТРЕБОВАНИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

12.1. Причиной радиационного происшествия (инцидента, аварии) может быть непредвиденное обстоятельство, нарушающее нормальный ход технологического процесса:

- разлит радиоактивный раствор;
- рассыпан радиоактивный порошок;
- разгерметизирован закрытый источник;
- утерян или похищен РВ или другие источники ионизирующих излучений;
- расплавлена защита источника во время пожара.

12.2. Для ликвидации последствий радиационных аварий персонал должен руководствоваться Инструкцией по действиям персонала в аварийных ситуациях (оповещение, ликвидация последствий и т.д.).

12.3. Во избежание разноса радиоактивных загрязнений, каждый работник должен находиться, как правило, в пределах своей рабочей комнаты и не должен без необходимости посещать другие помещения лаборатории.

12.4. Сотрудник не имеет права покинуть рабочее место до полного устранения радиоактивных загрязнений до допустимых уровней.

12.5. При обнаружении загрязнений на теле или рабочей одежде выше предельно допустимой нормы сотрудник обязан немедленно поставить в известность дозиметриста и принять меры к устранению загрязнений. При обнаружении загрязнений — сменить рабочую одежду, провести дезактивацию кожных покровов, принять душ.

## **ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Настоящая инструкция является обязательной для всех работающих в лаборатории, независимо от административного подчинения, вступает в силу после согласования с профсоюзным комитетом и утверждения зам.директора института по науке, после чего ранее составленные инструкции отменяются.

Проверку и пересмотр инструкций по охране труда для работников организует работодатель. Пересмотр инструкций должен производиться не реже одного раза в 5 лет.

Инструкции по охране труда для работников могут досрочно пересматриваться:

- а) при пересмотре межотраслевых и отраслевых правил и типовых инструкций по охране труда;
- б) изменении условий труда работников;
- в) внедрении новой техники и технологии;
- г) по результатам анализа материалов расследования аварий, несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;

д) по требованию представителей органов по труду субъектов Российской Федерации или органов федеральной инспекции труда.

Если в течение срока действия инструкции по охране труда для работника условия его труда не изменились, то ее действие продлевается на следующий срок.

Работники, не соблюдающие правила работ и техники безопасности, отстраняются от работ с радиоактивными веществами до повторной сдачи экзамена на знание правил радиационно безопасного проведения работ. При грубом нарушении положений настоящей инструкции сотрудник привлекается к административной ответственности.

Контроль за выполнением инструкции возлагается на заведующего лабораторией, лицо, ответственное за радиационный контроль в лаборатории, руководителя работ.

Действующие лаборатории инструкции по охране труда для работников института, а также перечень этих инструкций хранится у руководителя лаборатории.

Местонахождение инструкций по охране труда для работников определяет зав. лабораторией с учетом обеспечения доступности и удобства ознакомления с ними.

Инструкции по охране труда для работников могут быть выданы им на руки для изучения при первичном инструктаже и других подготовки к другим видам проверки знаний по охране труда и радиационной безопасности.

Инструкция разработана Рук. РЛРК ИХТРЭМС КНЦ РАН, к.т.н.  
Мельник Н.А., утверждена директором.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3-1

Аттестат аккредитации и область аккредитации  
РЛРК ИХТЭМС КНЦ РАН



Диплом и медаль, полученные РЛРК ИХТЭМС КНЦ РАН на международной выставке «ЛабораторияЭкспо» в 2007 г. (Москва)



Лицензия на право эксплуатации комплекса, в котором содержатся РВ и ИИИ

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3-2

### СПИСОК РАДИОАНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДИК, разработанных к.т.н., доцентом Мельник Н. А. (ЛРК ИХТЭМС КНЦ РАН) и аттестованных в ЦМПИ «ВНИИФТРИ»

1. Методика измерения гамма-фона в городах и населенных пунктах, на территориях застройки (пешеходным методом), М ЛРК ИХ 2.6.1.-04-2006-08, (утв. 20.09.2006 г., переработана и дополнена – 10.01.08 г.). Свидетельство об аттестации МВИ № 40090.8А090 от 14.01.2008 г., 13 с.
2. Методика радиологического обследования жилых и общественных зданий, М ЛРК ИХ 2.6.1.-07-2006-08, (утв. 02.10.2006 г., переработана и дополнена 10.01.2008 г.). Свидетельство об аттестации МВИ № 40090.8А091 от 14.01.2008г., 22 с.
3. Методика определения радиационно-гигиенических характеристик строительных материалов, М ЛРК ИХ 2.6.1.-02-2006-08, (утв. 27.09.2006 г., переработана и дополнена 10.01.2008 г.). Свидетельство об аттестации МВИ № 40090.8А094-1 от 14.01.2008 г., 17 с.
4. Методика определения радиационно-гигиенических характеристик минеральных удобрений и мелиорантов, М ЛРК ИХ 2.6.1.-06-2006-08 (утв. 02.10.2006 г., переработана и дополнена 10.01.08 г.). Свидетельство об аттестации МВИ № 40090.8А094-2 от 14.01.2008 г., 12 с.
5. Методика определения радиационно-гигиенических характеристик снежного покрова (водных объектов), М ЛРК ИХ 2.6.1.-08-2007, (утв. 05.06.2007 г.). Свидетельство об аттестации МВИ № 40090.8А094-3 от 14.01.2008 г., 20 с.
6. Методика определения радиационно-гигиенических характеристик растительных объектов, М ЛРК ИХ 2.6.1.-09-2007, (утв. 12.06.2007 г.). Свидетельство об аттестации МВИ № 40090.8А094-4 от 14.01.2008 г., 19 с.
7. Методика определения радиационно-гигиенических характеристик почвы (грунта) и донных осадков, М ЛРК ИХ 2.6.1.-10-2007, (утв.30.10.2007 г.). Свидетельство об аттестации МВИ № 40090.8А094-5 от 14.01.2008 г., 22 с.
8. Методика дозиметрического контроля радиоактивного загрязнения металлолома, М ЛРК ИХ 2.6.1.-03-2006-08., (утв. 24.12.2006 г., переработана и дополнена 10.01.2008г.). Свидетельство об аттестации МВИ № 40090.7П785. от 14.01.2008 г., 14 с.
9. Методика определения естественных радионуклидов на бета-альфа-радиометре «Спутник», М ЛРК ИХ 2.6.1.-01-2006, (утв. 15.03.2006 г., переработана и дополнена 14.09.2007 г.). Свидетельство об аттестации МВИ № 40090.6П786. от 14.01.2008 г., 20 с.
10. Методика радиационного контроля лекарственных средств на растительной основе, М ЛРК ИХ 2.6.1.-11-2008, (утвержд. 27.09.2007г.). Свидетельство об аттестации МВИ № 40090.6П794-6. от 14.01.2008 г., 20 с.

**СПИСОК**  
**разработанных радиоаналитических методик, Мельник Н. А.**  
**в 2009-2012г. (РЛРК ИХТРЭМС КНЦ РАН)**

1. Методика радиационного контроля радиоактивных отходов (МРК РЛРК ИХ 2.6.1.-12-2009), утв. 02.04.2008 г., 13 с.
2. Методика радианалитического анализа атмосферных осадков и аэрозолей. МВИ РЛРК ИХ 2.6.1.-13-2012, 12 с.
3. Методика экспрессного определения диоксида титана в продуктах обогащения перовскитового концентрата гамма-спектрометрическим методом. МВИ РЛРК 2.6.1.-13-2009-2012, утверждена директором ИХТРЭМС КНЦ РАН 24.10.2012 г., 19с.
4. Методика экспрессного определения структуры цирконатов и титанатов калия гамма-спектрометрическим методом. МВИ РЛРК 2.6.1.-12-2009. - 17 с.
5. Методика определения радона и торона при инженерно-экологических изысканиях. МРК РЛРК ИХ 2.6.1.-07-2006-08-2012. – 23 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3-3

Лист 1, всего листов 12.

Приложение к аттестату аккредитации

№ САРК RU.0001.441380

от 26 января 2010 г.

ОБЛАСТЬ АККРЕДИТАЦИИ  
РЕГИОНАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ИХТРЭМС КНЦ РАН (г. Апатиты)

№	Объект контроля (измерения)	1.Измеряемая величина. 2.Диапазон измерений. 3.Диапазон погрешности 4.Средства измерений	Нормы на объекты контроля	Методы подготовки измерений	Методы измерений
1	2	3	4	5	6
1.	<p>Химико-технологическая продукция, контроль технологических процессов.</p> <p>Продукция горнопромышленных и гидрометаллургических опытно-промышленных и промышленных производств; контроль технологических процессов.</p> <p>Минеральное, техногенное и органическое сырьё, и продукты их переработки.</p> <p>Угли бурые, каменные, антрациты, горючие сланцы.</p>	<p>Удельная активность Ra-226, Th-232, K-40, Cs-137. Диапазон измерений: Ra-226 8 - 10000 Бк/кг Th-232 7 - 10000 Бк/кг K-40 100 - 10000 Бк/кг Cs-137 5 - 10000 Бк/кг Погрешность: (15 – 60)% Средства измерений: - Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС» (гамма-тракт)</p> <p>Удельная активность Sr-90. Пределы измерений: (100 ÷ 10<sup>5</sup>) Бк/кг Погрешность: (15 – 60)% Средства измерений: - Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС» (бета-тракт)</p> <p>Суммарная удельная бета-активность. Диапазон измерений: (100 ÷ 10<sup>5</sup>) Бк/кг Погрешность (15 – 60)% Средства измерений: - Спектрометрический комплекс</p>	<p>СанПиН 2.1.6.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).</p> <p>СП 2.6.1.799-99 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99).</p> <p>СП 2.6.1. 798-99 Обращение с минеральным сырьем и материалами с повышенным содержанием природных радионуклидов.</p> <p>СПОРО-2002 Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами.</p>	<p>ГОСТ 30108-94 Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов.</p> <p>ГОСТ 10742-71 Угли бурые, каменные, антрацит, горючие сланцы угольные брикеты. Методы отбора и подготовки проб для лабораторных испытаний.</p> <p>ГОСТ530-95 Кирпич и камни керамические. Технические условия.</p> <p>ГОСТ 3476-74 Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цемента.</p> <p>ГОСТ 23845-86 Породы горные скальные для производства щебня для строительных работ. Технические условия.</p> <p>ГОСТ 24100-80 Сырьё для про-</p>	<p>Паспорт, ТО и инструкции по эксплуатации: УМФ-1500Д, «Прогресс-АРБГ», МКС/СРП-08А, ДКГ-07Д, МКС-А03-1Н, ДКС-АТ1123 .</p> <p>Методика измерения активности в счетных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения ПРОГРЕСС.</p> <p>Методика измерения активности альфа-излучающих радионуклидов в счетных образцах с использованием программного обеспечения ПРОГРЕСС.</p> <p>Методика измерения активности бета-излучающих радионуклидов в счетных образцах с использованием программного обеспечения ПРОГРЕСС.</p> <p>Методика определения радиационно-гигиенических характеристик строительных материалов.</p>



Лист 2, всего листов 12.

## Продолжение приложения к аттестату аккредитации.

1	2	3	4	5	6
		<p>«ПРОГРЕСС» (бета-тракт) - УМФ-1500Д</p> <p>Суммарная удельная альфа-активность. Диапазон измерений: (<math>200 \div 10^5</math>) Бк/кг Погрешность: (15 – 60)% Средства измерений: - Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС» (альфа-тракт)</p> <p>Мощность AMBIENTного эквивалента дозы гамма-излучения. Диапазон измерений: (0,1 – 10000) мкЗв/ч Погрешность: (15-50) % Средства измерений: МКС-А-03-1Н, МКС/СРП-08А, ДКГ-07Д, ДКС-АТ1123</p>		<p>изводства песка, гравия, и щебня из гравия для строительных работ. Технические требования и методика испытаний.</p> <p>ГОСТ 25226-82 Сырьё перлитовое для производства вспученного перлита. Технические условия.</p> <p>ГОСТ 25264-82 Сырьё глинистое для производства керамзитового гравия и песка. Технические требования и методика испытаний.</p> <p>ГОСТ 26633-91 (СТ СЭВ 1406-78) Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.</p> <p>Методика определения радиационно-гигиенических характеристик строительных материалов. Методическое дополнение.</p>	
2.	<p><b>Строительные материалы естественного и искусственного происхождения.</b></p> <p><b>Строительные изделия.</b></p> <p><b>Отделочные и общестроительные материалы из природного камня.</b></p> <p><b>Отходы промышленного производства, используемые для из-</b></p>	<p>Удельная активность Ra-226, Th-232, K-40, Cs-137. Диапазон измерений: Ra-226 8 - 10000 Бк/кг Th-232 7 - 10000 Бк/кг K-40 100 - 10000 Бк/кг Cs-137 5 - 10000 Бк/кг Погрешность: (15 – 60)% Средства измерений: - Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС» (гамма-тракт)</p> <p>Мощность AMBIENTного эквивалента дозы гамма-излучения.</p>	<p>СанПиН 2.1.6.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).</p> <p>СП 2.6.1.798-99. Обращение с минеральным сырьем и минералами с повышенным содержанием природных радионуклидов.</p> <p>СП 2.6.1.1292-03 Гигиенические требования по ограничению населения за счет природных источников ионизи-</p>	<p>ГОСТ 30108-94 Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов.</p> <p>СП 2.6.1.798-99. Обращение с минеральным сырьем и минералами с повышенным содержанием природных радионуклидов.</p> <p>СП 2.6.1.1292-03 Гигиенические требования по</p>	<p>Паспорт, ТО и инструкции по эксплуатации: спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС-АРБГ», МКС-А03-1Н, МКС/СРП-08А, ДКГ-07Д, ДКС-АТ1123.</p> <p>Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного спектрометра с программным обеспечением «ПРОГРЕСС»</p> <p>Методика определения радиационно-гигиенических характеристик</p>



## Продолжение приложения к аттестату аккредитации.

1	2	3	4	5	6
	<p>готовления строительных материалов и изделий.</p> <p>Дорожные материалы и покрытия.</p> <p>Изделия из стекла, фарфора, фаянса, керамики.</p> <p>Минеральное и органическое сырье и продукция его переработки.</p>	<p>Диапазон измерений: (0,1 – 10000) мкЗв/ч</p> <p>Погрешность: (15 - 50) %</p> <p>Средства измерений: МКС-А-03-1Н, МКС/СРП-08А, СРП-88Н, ДКГ-07Д, ДКС-АТ1123.</p>	<p>рующего излучения.</p>	<p>ограничению населения за счет природных источников ионизирующего излучения.</p> <p>Методика определения радиационно-гигиенических характеристик строительных материалов.</p>	<p>стик строительных материалов.</p>
3.	<p>Твердые строительные, промышленные и другие отходы.</p> <p>Радиоактивные отходы.</p> <p>Отходы нефтегазового комплекса.</p>	<p>Мощность амбиентного эквивалента дозы гамма- излучения.</p> <p>Диапазон измерений: (0,1 – 10000) мкЗв/ч</p> <p>Погрешность: (15 - 50) %</p> <p>Средства измерений: МКС-А-03-1Н, МКС/СРП-08А, СРП-88Н, ДКГ-07Д, ДКС-АТ1123.</p> <p>Удельная активность Ra-226, Th-232, K-40, Cs-137.</p> <p>Диапазон измерений: Ra-226 8 - 10000 Бк/кг Th-232 7 - 10000 Бк/кг K-40 100 -10000 Бк/кг Cs-137 5 - 10000 Бк/кг</p> <p>Погрешность: (15 – 60)%</p> <p>Средства измерений: - Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС» (гамма-тракт)</p>	<p>СП 2.6.1.799-99 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99).</p> <p>СП 2.6.6.1168-02 Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002).</p> <p>СанПиН 2.6.6.1169-02. Обеспечение радиационной безопасности при обращении с производственными отходами с повышенным содержанием природных радионуклидов на объектах нефтегазового комплекса РФ.</p> <p>СП 2.6.1.1291-03 Санитарные правила по обеспечению безопасности на объектах нефтегазового комплекса России.</p>	<p>СП 2.6.1.1292-03 Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения.</p> <p>СП 2.6.1.1291-03 Санитарные правила по обеспечению безопасности на объектах нефтегазового комплекса России.</p> <p>Методика дозиметрического контроля производственных отходов.</p>	<p>Паспорт, ТО и инструкции по эксплуатации: МКС-А03-1Н, МКС/СРП-08А, СРП-88Н, ДКГ-07Д, ДКС-АТ1123; спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС-АР-Б-Г».</p> <p>Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма - спектрометра с программным обеспечением «ПРОГРЕСС».</p> <p>Методика дозиметрического контроля производственных отходов.</p>



## Продолжение приложения к аттестату аккредитации.

1	2	3	4	5	6
			Временные критерии по принятию решений при обращении с почвами, твердыми строительными, промышленными и другими отходами, содержащими гамма-излучающие радионуклиды.		
4.	<p>Территории жилой и производственной зон.</p> <p>Территории участков застройки.</p> <p>Территории санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения.</p> <p>Почва (грунт).</p>	<p>Удельная активность Ra-226, Th-232, K-40, Cs-137. Диапазон измерений: Ra-226 8 - 10000 Бк/кг Th-232 7 - 10000 Бк/кг K-40 100 - 10000 Бк/кг Cs-137 5 - 10000 Бк/кг Погрешность: (15 - 60)% Средства измерений: - Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС» (гамма-тракт)</p> <p>Удельная активность Sr-90 Диапазон измерения: (100 ÷ 10<sup>5</sup>) Бк/кг Погрешность: (15-60)% Средства измерений: - Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС».</p> <p>Мощность ambientного эквивалента дозы гамма-излучения. Диапазон измерений: (0,1 - 10000) мкЗв/ч Погрешность: (15-50) % Средства измерений: МКС-А03-1Н, МКС/СРП-08А, СРП-88Н, ДКГ-07Д, МКС-04Н, ДКС-АТ1123.</p>	<p>СанПиН 2.1.6.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).</p> <p>СанПиН 2.1.7.1287-03 Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почв.</p> <p>СП 2.6.1.799-99 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99).</p> <p>СП 11-102-97. Свод Правил по инженерным изысканиям для строительства. «Инженерно-экологические изыскания для строительства».</p> <p>Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия.</p>	<p>СП 2.6.1.1292-03 Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения.</p> <p>СП 11-102-97. Свод Правил по инженерным изысканиям для строительства. «Инженерно-экологические изыскания для строительства»</p> <p>МУ 2.6.1.2398-08 Методические указания. Радиационный контроль и санитарно-гигиеническая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения в части обеспечения радиационной безопасности</p> <p>ГОСТ 17.4.3.01-83 Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб.</p> <p>ГОСТ Р 51570-2000 Дезактивация территорий. Метод определения глубины проникновения цезия-137 в почву.</p>	<p>Паспорт, ТО и инструкции по эксплуатации: МКС-А03-1Н, МКС/СРП-08А, ДКГ-07Д, ДКС-АТ1123, РАА-201П2 «Поиск», РАА-3-01 «Альфа-АЭРО», Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС». Комплект оборудования на основе активированного угля для комплексного мониторинга радона.</p> <p>Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением «ПРОГРЕСС».</p> <p>Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного бета-спектрометра с программным обеспечением «ПРОГРЕСС».</p> <p>МУ 2.6.1.2398-08 Методические указания. Радиационный контроль и санитарно-гигиеническая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения в части</p>



## Продолжение приложения к аттестату аккредитации.

1	2	3	4	5	6
		<p>Плотность потока Rn-222 из грунта.            Диапазон измерения:            (20 - 1000) мБк/(с·м<sup>2</sup>)            Погрешность: (20 - 60) %            Средства измерений:            - Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС» (гамма-тракт)            -Комплект оборудования на основе активированного угля для комплексного мониторинга радона.</p>		<p>Методические рекомендации.            Регламент радиационного контроля территорий городов и населенных пунктов.              Инструкция по наземному обследованию радиационной обстановки на загрязненной территории.              Методика определения радиационно-гигиенических характеристик почвы и донных осадков.              Методика измерений плотности потока радона-222 с поверхности земли и строительных конструкций.</p>	<p>ти обеспечения радиационной безопасности.              Методика дозиметрического обследования территории.              Методика определения радиационно-гигиенических характеристик почвы и донных осадков.              Методика измерения гамма-фона в городах и населенных пунктах, на территориях застройки (пешеходным методом).              Методика измерений плотности потока радона-222 с поверхности земли и строительных конструкций.</p>
5.	<p><b>Здания, помещения производственного и служебного назначения.</b>    <b>Здания, помещения общественного и жилого назначения.</b></p>	<p>Мощность ambientного эквивалента дозы гамма- излучения.            Диапазон измерений:            (0,1 - 10000) мкЗв/ч            Погрешность: (15 - 50) %            Средства измерений:            МКС-А-03-1Н, МКС/СП-08А, СП-88Н, ДКГ-07Д, ДКС-АТ1123.              Эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) радона-222 торона-220.            Диапазон измерения:            (1,0 - 10<sup>6</sup>) Бк/м<sup>3</sup>            Погрешность: (20 - 50) %            Средства измерений:            -РАА-20П2 «Поиск»,            -РАА-3-01 «Альфа-АЭРО»,            -Спектрометрический комплекс</p>	<p>СанПиН 2.1.6.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).              СП 2.6.1.799-99            Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99).</p>	<p>СП 2.6.1.1292-03            Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения.              МУ 2.6.1.14-2001            Контроль радиационной обстановки. Общие требования. Методические указания.              МУ 2.6.1.25-2000            Дозиметрический контроль внешнего профессионального облучения. Общие требования.              МУ 2.6.1.12-01            Определение индивидуальных эффективных доз облучения</p>	<p>Паспорт, ТО и инструкции по эксплуатации: МКС-А-03-1Н, МКС/СП-08А, ДКГ-07Д, ДКС-АТ1123, РАА-20П2 «Поиск», РАА-3-01 «Альфа-АЭРО», Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС», Комплект оборудования на основе активированного угля для комплексного мониторинга радона.              МУ 2.6.1.715-98.            Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий.              МУ 2.6.1.25-2000            Дозиметрический контроль внешнего профессионального облучения.</p>



Лист 6, всего листов 12.

## Продолжение приложения к аттестату аккредитации.

1	2	3	4	5	6
		«ПРОГРЕСС» -Комплект оборудования на основе активированного угля для комплексного мониторинга радона.		персонала от короткоживущих дочерних продуктов изотопов радона.  МУ 2.6.1.715-98 Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий. Методические указания.  Методические рекомендации. Выборочное обследование жилых зданий для оцен.и доз облучения населения.  Методика измерений средней за время экспозиции объемной активности радона в воздухе жилых и служебных помещений.  Методика измерений объемной активности радона в воздухе жилых и служебных помещений, а также в рудниках всех типов, путем отбора пробы воздуха.	ния. Общие требования.  Методика дозиметрического контроля гамма-излучения в помещениях.  Методика радиологического обследования жилых и общественных зданий.  Методика измерений средней за время экспозиции объемной активности радона в воздухе жилых и служебных помещений.  Методика измерений объемной активности радона в воздухе жилых и служебных помещений, а также в рудниках всех типов, путем отбора пробы воздуха.
6.	<b>Воздух рабочей зоны.</b>  <b>Воздух жилых и служебных помещений.</b>	Эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) радона-222 торона-220. Диапазон измерения: (1,0 - 10 <sup>6</sup> ) Бк/м <sup>3</sup> Погрешность: (20 - 50) % Средства измерений: -РАА-20П2 «Поиск», -РАА-3-01 «Альфа-АЭРО», -Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС» -Комплект оборудования на основе	СанПиН 2.1.6.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).  СП 2.6.1.1292-03 Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения.	СП 2.6.1.1292-03 Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения.  МУ 2.6.1.715-98 Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий.  Методические рекомендации.	Паспорт, ТО и инструкции по эксплуатации: РАА-20П2 «Поиск», РАА-3-01 «Альфа-АЭРО», Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС», Комплект оборудования на основе активированного угля для комплексного мониторинга радона.  МУ 2.6.1.715-98 Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и



## Продолжение приложения к аттестату аккредитации.

1	2	3	4	5	6
		активированного угля для комплексного мониторинга радона.		<p>Выборочное обследование жилых зданий для оценки доз облучения населения.</p> <p>Определение индивидуальных эффективных доз облучения персонала от короткоживущих дочерних продуктов изотопов радона.</p> <p>Методика измерений средней за время экспозиции объемной активности радона в воздухе жилых и служебных помещений.</p> <p>Методика измерений объемной активности радона в воздухе жилых и служебных помещений, а также в рудниках всех типов, путем отбора пробы воздуха.</p>	<p>общественных зданий. Методические указания.</p> <p>Методика измерений средней за время экспозиции объемной активности радона в воздухе жилых и служебных помещений.</p> <p>Методика измерений объемной активности радона в воздухе жилых и служебных помещений, а также в рудниках всех типов, путем отбора пробы воздуха.</p>
7.	<p><b>Древесина для продукции промышленного, культурно-бытового и хозяйственного назначения.</b></p> <p><b>Второстепенные лесные ресурсы (пни, кора, береста, хвоя, древесная зелень).</b></p> <p><b>Семена для выращивания сеянцев древесных и кустарниковых пород.</b></p>	<p>Удельная активность Cs-137. Диапазон измерения: (5 – 10000) Бк/кг Погрешность: (15 – 60) % Средства измерений: - Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС», МКС-А03-ИИ.</p> <p>Удельная активность Sr-90 (концентрирование методом озольения) Диапазон измерения: (3 – 10000) Бк/кг Погрешность: (15 - 60) % Средства измерений: - Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС-АРБГ».</p>	СП 2.6.1.759-99 Допустимые уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в продукции лесного хозяйства.	<p>ГОСТ Р 50801-95 Древесное сырье, лесоматериалы, полуфабрикаты и изделия из древесных материалов. Допустимая удельная активность радионуклидов. Методика отбора проб и методы измерения удельной активности радионуклидов</p>	<p>Паспорт, ТО и инструкции по эксплуатации: Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС»</p> <p>Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма - спектрометра с программным обеспечением «ПРОГРЕСС».</p> <p>Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного бета - спектрометра с программным обеспечением «ПРОГРЕСС».</p> <p>Методика определения радиационно-гигиенических характеристик растительных объектов.</p>



## Продолжение приложения к аттестату аккредитации.

1	2	3	4	5	6
8.	<b>Лом черных и цветных металлов.</b>  <b>Транспортная партия металлолома.</b>	Мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения. Диапазон измерений: (0.1 – 10000) мкЗв/ч Погрешность: (15 - 50) % Средства измерений: МКС-А03-1Н, МКС/СРП-08А, ДКГ-07Д, ДКС-АТ1123.	СП 2.6.1.799-99 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99).  СП 2.6.6.1168-02 Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002).  СанПиН 2.6.1.993-00 Гигиенические требования к обеспечению радиационной безопасности при заготовке и реализации металлолома.  СанПиН 2.6.1.1281-03 Санитарные правила радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (вещств).	Базовая методика дозиметрического контроля металлолома. Методическое дополнение.  МУК 2.6.1.1087-02 Радиационный контроль металлолома  Методика дозиметрического контроля радиоактивного загрязнения металлолома.	Паспорт, ТО и инструкции по эксплуатации: МКС-А-03-1Н, МКС/СРП-08А, ДКГ-07Д, ДКС-АТ1123.  Базовая методика дозиметрического контроля металлолома. Методическое дополнение к базовой методике.
9.	<b>Минеральные удобрения и мелиоранты.</b>	Удельная активность Ra-226, Th-232, K-40, Cs-137. Диапазон измерений: Ra-226 8 - 10000 Бк/кг Th-232 7 - 10000 Бк/кг K-40 100 - 10000 Бк/кг Cs-137 5 - 10000 Бк/кг Погрешность: (15 – 60)% Средства измерений: - Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС» (гамма-тракт)	СанПиН 2.1.6.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).	Методика определения радиационно-гигиенических характеристик минеральных удобрений и мелиорантов. Методическое дополнение.	Паспорт, ТО и инструкции по эксплуатации: Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС»  Методика измерения активности в счетных образцах на сцинтиляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения ПРОГРЕСС.  Методика определения радиационно-гигиенических характеристик минеральных удобрений и мелиорантов. Методическое дополнение.



## Продолжение приложения к аттестату аккредитации.

1	2	3	4	5	6
10.	<p><b>Вода питьевая.</b></p> <p><b>Источники питьевого водоснабжения.</b></p> <p><b>Вода промышленного назначения.</b></p> <p><b>Сточные воды.</b></p> <p><b>Подземные, грунтовые и талые воды (снежный покров).</b></p>	<p>Объемная активность Sr-90, Cs-137 (радиохимическая экстракция)            Диапазон измерения:            (0,5 – 10000) Бк/л            Погрешность: (15 – 60) %            Средства измерений:            - УМФ-1500Д</p> <p>Объемная активность Cs-137.            Диапазон измерения:            5 - 10000 Бк/л            Погрешность: (15 - 60) %            Средства измерений:            - Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС» (гамма-тракт)</p> <p>Объемная активность Sr-90 (концентрирование методом выпаривания)            Диапазон измерения:            (0,5 – 10000) Бк/л            Погрешность: (15 – 60) %            Средства измерений:            - Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС» (бета-тракт)</p> <p>Объемная бета- активность (концентрирование методом выпаривания)            Диапазон измерения:            (0,1 - 3000) Бк/л.            Погрешность: (15 - 60) %            Средства измерений:            - УМФ-1500Д            - Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС» (бета-тракт)</p> <p>Объемная альфа-активность (концентрирование методом выпаривания).</p>	<p>СанПиН 2.1.6.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).</p> <p>СП 2.6.1.1292-03            Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения.</p> <p>СанПиН 2.1.4.1074—01.            Санитарные правила и нормы Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.</p> <p>СанПиН 2.3.2.1078-01.            Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов.</p>	<p>ГОСТ Р 51593-2000 Вода питьевая. Отбор проб.</p> <p>ГОСТ Р 51592-2000 Вода. Общие требования к отбору проб.</p> <p>МУ 2.6.1.1981-05            Методические указания. Радиационный контроль и гигиеническая оценка источников питьевого водоснабжения и питьевой воды по показателям радиационной безопасности. Оптимизация защитных мероприятий источников питьевого водоснабжения с повышенным содержанием радионуклидов.</p> <p>Методические рекомендации по применению радиологических комплексов с программным обеспечением "Прогресс" для определения соответствия проб питьевой воды требованиям радиационной безопасности согласно СанПиН 2.1.4.559-96 СанПиН 2.3.2.560-96, ГН 2.6.1.054-96 (НРБ-96) (п.5 Приготовление счетного образца).</p> <p>Подготовка проб природных вод для измерения суммарной альфа- и бета- активности. Методические рекомендации</p> <p>Методические рекомендации. Использование измерительного радиометрического комплекса с программным обеспечением «ПРОГРЕСС» для исследования</p>	<p>Паспорт, ТО и инструкции по эксплуатации: УМФ-1500Д. Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС». Комплект оборудования на основе активированного угля для комплексного мониторинга района.</p> <p>Методика измерения суммарной альфа- и бета-активности водных проб с помощью радиометра УМФ-2000.</p> <p>Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма - спектрометра с программным обеспечением "ПРОГРЕСС".</p> <p>Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного бета-спектрометра с программным обеспечением "ПРОГРЕСС".</p> <p>Методика измерения суммарной альфа- активности с использованием сцинтилляционного альфа-радиометра с программным обеспечением "ПРОГРЕСС".</p> <p>МИ 2707-2001            Рекомендация. ГСИ.            Вода питьевая. Интерпретация результатов измерений радионуклидов. Требования к точности аппаратуры, методического обеспечения измерений.</p>

## Продолжение приложения к аттестату аккредитации.

1	2	3	4	5	6
		<p>Диапазон измерения: (0,01 – 1000) Бк/л Погрешность: (15 - 60) % Средства измерений: - УМФ-1500Д - Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС» (альфа-тракт)</p> <p>Объемная активность радона-222, радия-226. Диапазон измерения: (0,5 – 10<sup>4</sup>) Бк/л Погрешность: (15 - 60) % Средства измерений: -Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС» (гамма-тракт) -Комплект оборудования на основе активированного угля для комплексного мониторинга радона.</p>		<p>проб воды на соответствие уровню вмешательства, установленному для природной радиоактивности питьевой воды в НРБ-99.</p> <p>Методика определения радиационно-гигиенических характеристик снежного покрова.</p> <p>Методика измерений содержания радия и радона в природных водах.</p>	<p>Методика определения радиационно-гигиенических характеристик снежного покрова.</p> <p>Методика измерений содержания радия и радона в природных водах.</p>
11.	<p><b>Объекты контроля поверхностного радиоактивного загрязнения (рабочие поверхности, кожа, спецодежда, средства индивидуальной защиты, транспорт, контейнеры, тара и др.).</b></p>	<p>Уровень радиоактивного загрязнения поверхности (плотности потока альфа, бета- частиц и гамма-излучения). Диапазон измерений: Альфа: (1 - 5·10<sup>3</sup>) см<sup>-2</sup>·мин<sup>-1</sup>; Бета: (2 - 5·10<sup>3</sup>) см<sup>-2</sup>·мин<sup>-1</sup>; Погрешность: (20 - 50) % Средства измерений: МКС-А03-1Н, МКС/СРП-08А</p>	<p>СП 2.6.1.758-99. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99) СанПиН 2.1.6.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).</p> <p>СП 2.6.1.799-99 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99).</p> <p>СП 2.6.6.1168-02 Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002).</p>	<p>МУК 2.6.1.016-99 Методические указания. Контроль загрязнения радиоактивными нуклидами поверхностей рабочих помещений, оборудования, транспортных средств и других объектов.</p>	<p>Паспорт, ТО и инструкции по эксплуатации: МКС-А03-1Н, МКС/СРП-08А.</p> <p>МУК 2.6.1.016-99 Методические указания. Контроль загрязнения радиоактивными нуклидами поверхностей рабочих помещений, оборудования, транспортных средств и других объектов.</p>



## Продолжение приложения к аттестату аккредитации.

1	2	3	4	5	6
12.	Персонал.	Индивидуальный эквивалент дозы рентгеновского и гамма-излучений. Диапазон измерений: 50 мкЗв - 10 мЗв Погрешность: (15 - 50) % Средства измерений: - КИД-2	СП 2.6.1.758-99. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). СанПиН 2.1.6.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).  СП 2.6.1.799-99 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99).	МУ 2.6.1.016-2000. Методические указания. Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в контролируемых условиях с источниками излучения. Общие требования.  МУ 2.6.1.25-2000 Методические указания дозиметрического контроля внешнего профессионального облучения.	Паспорт, ТО и инструкции по эксплуатации: КИД-2.  МУ 2.6.1.016-2000. Методические указания. Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в контролируемых условиях с источниками излучения. Общие требования.  МУ 2.6.1.25-2000 Методические указания дозиметрического контроля внешнего профессионального облучения.
13.	Продовольственное сырье и пищевые продукты.  Мясо и мясопродукты; птица, яйца и продукты их переработки.  Молоко и молочные продукты.  Рыба, перыбные объекты промысла и продукты, вырабатываемые из них.  Зерно (семена), мукомольно-крупяные и хлебобулочные изделия.  Сахар и кондитерские изделия.	Удельная активность Cs-137. Диапазон измерения: 5 - 10000 Бк/кг Погрешность: (15 - 60)% Средства измерений: - Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС» (гамма-тракт)  Удельная активность Sr-90 (концентрирование методом озонения) Диапазон измерения: 3 - 10000 Бк/кг Погрешность: (15 - 60)% Средства измерений: - Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС» (бета-тракт)  Объемная альфа-активность (питьевая и минеральная бутилированная вода, концентрирование методом выпаривания)	СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов.  ФЗ № 88-ФЗ Технический регламент на молоко и молочную продукцию.  ФЗ № 90-ФЗ Технический регламент на масложировую продукцию.  ФЗ № 178-ФЗ Технический регламент на соковую продукцию из фруктов и овощей.  ГОСТ 24027.0-80 - 24027.2-80. Сырье лекарственное растительное. Правила приемки и методы испытаний.	МУК 2.6.1.1194-03 Радиационный контроль. Стронций -90 и цезий-137. Пищевые продукты. Отбор проб, анализ и гигиеническая оценка. Методические указания по методам контроля.  Методика экспрессного радиометрического определения по гамма-излучению объемной и удельной активности радионуклидов цезия в воде, почве, продуктах питания, продукции животноводства и растениеводства.  МУК 2.6.1.717-98 Радиационный контроль. Стронций -90 и цезий-137. Пищевые продукты. Отбор проб, анализ и гигиеническая оценка. Методи-	Паспорт, ТО и инструкции по эксплуатации: Спектрометрический комплекс «Прогресс-АБПГ», УМФ -1500Д.  Методика измерения активности в счетных образцах на сцинтилляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения ПРОГРЕСС.  Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма - спектрометра с программным обеспечением «ПРОГРЕСС»  Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного бета - спектрометра с программным обеспечением «ПРОГРЕСС»



Лист 12, всего листов 12.

## Продолжение приложения к аттестату аккредитации.

1	2	3	4	5	6
	<p>Плодовоовощная продукция.</p> <p>Масличное сырье и жировые продукты.</p> <p>Напитки.</p> <p>Продукты детского питания.</p> <p>Биологические активные добавки к пище.</p> <p>Сырье лекарственное растительное.</p> <p>Лекарственные препараты растительного происхождения (чай, настои, бальзамы, биологические активные добавки к пище).</p>	<p>Диапазон измерения: (0,01 – 1000) Бк/л</p> <p>Погрешность: (15 - 60) %</p> <p>Средства измерений: -УМФ-1500Д</p> <p>-Спектрометрический комплекс «Прогресс» (альфа-тракт)</p> <p>Объемная бета- активность (питьевая и минеральная бутилированная вода, концентрирование методом выпаривания).</p> <p>Диапазон измерения: (0,1 - 3000) Бк/л.</p> <p>Погрешность: (15 - 60) %</p> <p>Средства измерений: -УМФ-1500Д</p>		<p>ческие указания по методам контроля. (Приложение Д).</p> <p>Использование компьютеризированных гамма-, бета- спектрометрических комплексов с программным обеспечением "Прогресс" для измерений проб продовольствия на соответствие требованиям критериев радиационной безопасности.</p> <p>Подготовка проб природных вод для измерения суммарной альфа- и бета- активности. Методические рекомендации.</p> <p>Методика определения радиационно-гигиенических характеристик растительных объектов.</p>	<p>чением "ПРОГРЕСС".</p> <p>Методика измерения суммарной альфа- активности с использованием сцинтилляционного альфарадиметра с программным обеспечением "ПРОГРЕСС".</p> <p>Использование компьютеризированных гамма-, бета- спектрометрических комплексов с программным обеспечением "Прогресс" для измерений проб продовольствия на соответствие требованиям критериев радиационной безопасности.</p> <p>Методика измерения суммарной альфа- и бета-активности водных проб с помощью радиометра УМФ-2000.</p> <p>Методика определения радиационно-гигиенических характеристик растительных объектов.</p>

Начальник Управления метрологии  
Федерального агентства по техническому  
регулированию и метрологии

Руководитель органа по аккредитации ЦМИИ

В.М. Лахов

В.П. Ярына





Об авторе

Мельник Н.А., к.т.н., доцент по специальности "технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов"; Рук. Региональной лаборатории радиационного контроля ИХТРЭМС КНЦ РАН (1999-2014 г.г.). Область профессиональных интересов:

- участие в разработках технологий редкометалльного сырья и обеспечения их радиационной безопасности;
- радиохимия, радиоэкология и рациональное природопользование;
- радиационный мониторинг объектов окружающей среды, закономерности миграции и аккумуляции радионуклидов;
- влияние малых доз радиоактивности на живые организмы;
- разработка и экспертиза документов, методик по радиационной безопасности и радиационному контролю, метрологическому обеспечению их;
- научно-методическая и организационная работа по лицензированию и аккредитации работ в области использования атомной энергии (научные, радиоэкологические исследования в газовой, нефтяной, строительной промышленности и др.);
- педагогическая деятельность в указанных областях (разработка учебных программ и пособий, чтение лекций, руководство курсовыми и дипломными работами).

**Автор – 6 монографий, из них 3 – в соавторстве, 16 учебных пособий, 4 патентов на изобретения (в соавторстве), 270 статей в рецензируемых журналах и сборниках научных работ, 15 разработанных методик, их них – 10 аттестованных.**

В книге представлены радиоаналитические методы анализа технологических продуктов и объектов природной среды. Методики, разработанные автором, аттестованы в Центре метрологии ионизирующих излучений «ВНИИФТРИ».

Методики применялись для радиационной оценки химических технологий, строительных материалов, горных пород, промышленных отходов и других продуктов. Методики использовались при проведении инженерно-радиологических изысканий и радиологических исследований наземных экосистем для оценки воздействия ионизирующего излучения на окружающую среду. Публикация монографии позволит расширить область радиологических исследований, сертификации различной продукции по радиационному фактору и области их применения.

Монография предназначена для специалистов, работающих в области обеспечения радиационной безопасности и радиационного контроля; может быть использована в качестве учебного пособия для курсов повышения квалификации по этим специальностям.

ISBN 978-5-91137-379-5



9 785911 373795

## КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН

Институт химии и технологии редких элементов  
и минерального сырья им. И.В.Тананаева

РОССИЯ, 184209, Мурманская область, г.Апатиты, ул.Ферсмана, 26а

