

---

---

**Качество воды. Радон-222.**

**Часть 2.**

**Метод гамма-лучевой спектрометрии**

*Water quality — Radon-222 —*

*Part 2: Test method using gamma-ray spectrometry*

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO 13164-2:2013

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/68951fe7-b872-4966-b2e2-11b7ab9f92a1/iso-13164-2-2013>

Ответственность за подготовку русской версии несёт GOST R  
(Российская Федерация) в соответствии со статьёй 18.1 Устава ISO

---

---



Ссылочный номер  
ISO 13164-2:2013(R)

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO 13164-2:2013

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/68951fe7-b872-4966-b2e2-11b7ab9f92a1/iso-13164-2-2013>



**ДОКУМЕНТ ЗАЩИЩЕН АВТОРСКИМ ПРАВОМ**

© ISO 2013

Все права сохраняются. Если не указано иное, никакую часть настоящей публикации нельзя копировать или использовать в какой-либо форме или каким-либо электронным или механическим способом, включая фотокопии и микрофильмы, без предварительного письменного согласия ISO, которое должно быть получено после запроса о разрешении, направленного по адресу, приведенному ниже, или в комитет-член ISO в стране запрашивающей стороны.

ISO copyright office  
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20  
Tel. + 41 22 749 01 11  
Fax + 41 22 749 09 47  
E-mail [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web [www.iso.org](http://www.iso.org)

Опубликовано в Швейцарии

## Содержание

Страница

Предисловие.....	iv
Введение.....	v
<b>1 Область применения .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Нормативные ссылки .....</b>	<b>1</b>
<b>3 Термины, определения и обозначения.....</b>	<b>2</b>
3.1 Термины и определения .....	2
3.2 Обозначения.....	2
<b>4 Сущность метода.....</b>	<b>3</b>
<b>5 Отбор проб.....</b>	<b>3</b>
5.1 Общие требования .....	3
5.2 Требования к пробоотбору.....	3
5.3 Объем пробы.....	4
5.4 Характеристики емкости для проб .....	4
<b>6 Транспортирование и хранение .....</b>	<b>4</b>
<b>7 Детектирование .....</b>	<b>4</b>
<b>8 Процедура измерения .....</b>	<b>5</b>
<b>9 Программа обеспечения и контроля качества .....</b>	<b>5</b>
9.1 Общие положения.....	5
9.2 Величины влияния .....	5
9.3 Верификация прибора.....	6
9.4 Верификация метода .....	6
9.5 Демонстрация возможностей аналитика .....	6
<b>10 Обработка результатов.....</b>	<b>6</b>
10.1 Объемная активность .....	6
10.2 Стандартная неопределенность объемной концентрации .....	7
10.3 Порог решения .....	8
10.4 Предел обнаружения.....	8
10.5 Доверительные пределы.....	8
<b>11 Протокол испытания.....</b>	<b>9</b>
<b>Приложение А (информативное) Спектры пробы .....</b>	<b>10</b>
<b>Приложение В (информативное) Показатели точности и прецизионности измерения пробы .....</b>	<b>12</b>
<b>Библиография.....</b>	<b>13</b>

## Предисловие

Международная организация по стандартизации (ISO) всемирная федерация национальных органов по стандартизации (комитеты-члены ISO). Работа по подготовке международных стандартов обычно ведется через технические комитеты ISO. Каждый комитет-член ISO, проявляющий интерес к тематике, по которой учрежден технический комитет, имеет право быть представленным в этом комитете. Международные организации, государственные и негосударственные, имеющие связи с ISO, также принимают участие в работе. ISO тесно сотрудничает с Международной электротехнической комиссией (IEC) по всем вопросам стандартизации в области электротехники.

Процедуры, используемые для разработки данного документа, и процедуры, предусмотренные для его дальнейшего ведения, описаны в Директивах ISO/IEC, Часть 1. В частности, следует отметить различные критерии утверждения, требуемые для различных типов документов ISO. Проект данного документа был разработан в соответствии с редакционными правилами Директив ISO/IEC, Часть 2. [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives).

Необходимо обратить внимание на возможность того, что ряд элементов данного документа могут быть предметом патентных прав. Международная организация ISO не должна нести ответственность за идентификацию таких прав, частично или полностью. Сведения о патентных правах, идентифицированных при разработке документа, будут указаны во Введении и/или в перечне полученных ISO объявлениях о патентном праве. [www.iso.org/patents](http://www.iso.org/patents).

Любое торговое название, использованное в данном документе, является информацией, предоставляемой для удобства пользователей, а не свидетельством в пользу того или иного товара или той или иной компании.

За данный документ несет ответственность Технический комитет ISO/TC 147, *Качество воды*, Подкомитет SC 3, *Измерения радиоактивности*.

ISO 13164 состоит из следующих частей под общим названием *Качество воды. Радон-222*:

- *Часть 1. Общие принципы*
- *Часть 2. Метод гамма-лучевой спектрометрии*
- *Часть 3. Эманионный метод измерения*

Следующая часть находится на стадии подготовки:

- *Часть 4. Метод измерения активности с помощью двухфазных жидкостных сцинтилляторов*

## Введение

В окружающей среде наблюдается радиоактивность некоторых природных и искусственных источников. Таким образом, водные объекты (поверхностные воды, грунтовые воды и морская вода) могут содержать радионуклиды естественного и искусственного происхождения.

- Природные радионуклиды, включая калий-40, а также радиоактивные семейства тория и урана, в частности, радий-226, радий-228, уран-234, уран-238, свинец-210, можно обнаружить в воде по естественным причинам (например, десорбция из грунта и смыв дождевой водой) или в результате выбросов технологических процессов, включая встречающиеся в природе радиоактивные материалы (например, добыча и обработка минерального песка или производство и использование фосфатных удобрений).
- Искусственные радионуклиды, например, трансурановые элементы (америций, плутоний, нептуний, кюрий), тритий, углерод-14, стронций-90 и гамма-излучающие радионуклиды можно также обнаружить в природных водах по мере их повседневного выбрасывания в окружающую среду в малых количествах в сточные воды, выбрасываемые из установок ядерного топливного цикла, и после их использования в открытой форме в медицине или промышленности. Их также обнаруживают в воде за счет выпадения осадков после взрывов в атмосфере ядерных устройств и аварий в Чернобыле и Фукусиме.

Таким образом, питьевая вода может содержать радионуклиды в объемной активности, которая представляет риск для здоровья людей. Чтобы оценить качество питьевой воды (включая минеральные воды и родниковые воды) в отношении содержания радионуклидов и обеспечить руководство по сокращению риска для здоровья посредством принятия мер по снижению объемной активности радионуклидов, осуществляются мониторинг водных источников (грунтовые воды, река, озеро, море и т.д.) и питьевой воды в отношении их радиоактивности в соответствии с рекомендациями Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ).

Стандартные методы определения объемной активности радона-222 в пробах воды требуются для испытательных лабораторий, выполняющих такие измерения, во исполнение требований национальных органов власти. Лаборатории могут потребоваться получение специальной аккредитации для измерений радионуклидов в пробах питьевой воды.

Объемная активность радона в поверхностных водах очень низка, обычно ниже  $1 \text{ Бк л}^{-1}$ . В грунтовых водах объемная активность меняется от  $1 \text{ Бк л}^{-1}$  до  $50 \text{ Бк л}^{-1}$ , в подземных водоносных пластах, от  $10 \text{ Бк л}^{-1}$  до  $300 \text{ Бк л}^{-1}$  в скважинах, и от  $100 \text{ Бк л}^{-1}$  до  $1000 \text{ Бк л}^{-1}$  в кристаллических породах. Максимальная объемная активность обычно измеряется в породах с высокой концентрацией урана (Ссылка [7]).

Наблюдаются значительные колебания в объемной активности радона в водоносных горизонтах. Даже в регионе с относительно однородными петротипами, вода из скважины может проявлять объемную активность радона значительно выше среднего значения для этого региона. Также регистрируются значительные сезонные колебания (см. Приложение А).

Вода может растворять химические вещества на пути от поверхности почвы к водоносным горизонтам или родникам. Вода может проходить сквозь породу или оставаться на некоторое время в породе, некоторые пласты которой могут содержать природные радионуклиды в высокой концентрации. При благоприятных геохимических условиях вода может избирательно растворить некоторые из этих радионуклидов.

Руководство по содержанию радона в водопроводах питьевой воды, разработанное ВОЗ в 2008 г., предлагает осуществлять контроль, если концентрация радона в питьевой воде для водоснабжения населения превышает  $100 \text{ Бк л}^{-1}$ . Также рекомендуется испытывать все новые, особенно коммунальные водопроводные системы, использующие грунтовые воды перед использованием для общего потребления, и, если концентрация радона превышает  $100 \text{ Бк л}^{-1}$ , следует предпринять очистку источника, чтобы значительно понизить концентрацию радона (Ссылка [8]).

Настоящий международный стандарт является одним из серии стандартов на измерение объемной активности радионуклидов в пробах воды.

Происхождение радона-222 и его недолговечных продуктов распада в воде и другие методы измерения описаны в общем в ISO 13164-1.



# Качество воды. Радон-222.

## Часть 2.

### Метод гамма-лучевой спектрометрии

**ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ** — Лицам, использующим настоящий международный стандарт, следует хорошо знать обычную лабораторную практику. Данный стандарт не ставит целью рассмотрение всех проблем безопасности, связанных с его применением, если таковые возникают. Пользователь сам берет на себя ответственность за установление соответствующих правил безопасности и гигиены труда, чтобы обеспечить соблюдение условий национальных регламентов.

**ВНИМАНИЕ** — Очень важно, чтобы испытания, проводимые в соответствии с данным международным стандартом, осуществлял соответствующим образом подготовленный персонал.

#### 1 Область применения

Данная часть ISO 13164 устанавливает метод определения объемной активности радона-222 в пробе воды после измерения его короткоживущих продуктов радиоактивного распада методом прямой гамма-спектрометрии пробы воды (см. Приложение А).

Объемная активность радона-222, которую можно измерить данным методом с помощью имеющихся в продаже гамма-лучевых приборов, находится в диапазоне от нескольких беккерелей на литр до нескольких сотен тысяч беккерелей на литр на 1 л испытуемой пробы.

Данный метод может успешно использоваться на пробах питьевой воды. Лаборатория несет ответственность за обеспечение надежности данного метода для проб воды на неиспытанных матрицах.

В Приложении В дается указание о необходимости соблюдения условия подсчета, чтобы удовлетворить требуемую чувствительность для мониторинга питьевой воды.

#### 2 Нормативные ссылки

В настоящем документе даются нормативные ссылки на следующие документы либо их части, которые обязательны для его применения. Для датированных документов, допускаются к использованию только указанное издание. Для недатированных документов — последнее издание указанного документа (включая любые изменения).

ISO 5667-1, *Качество воды, Отбор проб. Часть 1. Руководство по составлению программ и методик отбора проб*

ISO 5667-3, *Качество воды, Отбор проб. Часть 3. Консервация и обработка проб воды*

ISO 10703, *Качество воды. Определение активной концентрации радионуклидов с помощью рентген-спектрометрии с высоким разрешением*

ISO 13164-1, *Качество воды. Радон-222 Часть 1. Общие принципы*

ISO/IEC 17025, *Общие требования к компетенции испытательных и калибровочных лабораторий*

ISO 80000-10, *Величины и единицы. Часть 10. Атомная и ядерная физика*

IEC 60973, *Испытания для германиевых гамма-детекторов*

IEC 61151, *Приборы ядерные. Усилители и предварительные усилители, используемые с детекторами ионизирующего излучения. Методики испытаний*

IEC 61452, *Приборы ядерные. Усилители и предварительные усилители, используемые с детекторами ионизирующего излучения. Методики испытаний*

### 3 Термины, определения и обозначения

#### 3.1 Термины и определения

Применительно к данному документу, применяются термины и определения, приведенные ISO 80000-10 и ISO 13164-1.

#### 3.2 Обозначения

В данном документе используются обозначения, приведенные в ISO 80000-10, ISO 13164-1, а также следующие.

$A$	активность каждого радионуклида в эталонном источнике, в процессе калибровки, в беккерелях
$c_A$	объемная активность радона в воде, в беккерелях на литр
$c_A^*$	порог решения, в беккерелях на литр
$c_A^\#$	предел обнаружения, в беккерелях на литр
$c_A^{\triangleleft}, c_A^{\triangleright}$	нижняя и верхняя границы доверительного интервала, в беккерелях на литр
$f_d$	поправочный коэффициент на радиоактивный распад радона в течение временного интервала между отбором проб и измерением и на распад измеряемого радионуклида ( $^{214}\text{Bi}$ или $^{214}\text{Pb}$ ) в течение времени подсчета, безразмерный
$k_p, k_q$	квантили стандартизованного нормального распределения для вероятностей, $p$ , $q$ , соответственно
$n_{b,E}, n_{b0,E}, n_{bs,E}$	число импульсов счета для фона пика при энергии, $E$ , в спектре пробы, в фоновом спектре и калибровочном спектре, соответственно
$n_{g,E}, n_{g0,E}, n_{gs,E}$	число импульсов счета для общей площади пика при энергии, $E$ , в спектре пробы, в фоновом спектре и калибровочном спектре, соответственно
$n_{N,E}, n_{N0,E}, n_{Ns,E}$	число импульсов счета для чистой площади пика при энергии, $E$ , в спектре пробы, в фоновом спектре и калибровочном спектре, соответственно
$P_E$	вероятность испускания гамма-кванта с энергией, $E$ , каждым радионуклидом, при радиоактивном распаде
$t_0$	время счета фонового спектра, в секундах
$t_g$	время счета спектра пробы, в секундах
$t_s$	время счета калибровочного спектра, в секундах
$U$	расширенная неопределенность, рассчитанная по формуле $U = ku(c_A)$ при $k = 2$
$u(c_A)$	стандартная неопределенность, связанная с результатом измерения



$V_{H_2O}$	объем пробы для испытания, в литрах
$\alpha, \beta$	вероятность погрешности первого или второго рода, соответственно
$\gamma$	вероятность для доверительного интервала объемной активности
$\epsilon_E$	эффективность детектора при энергии, $E$
$\lambda_{222Rn}$	постоянная распада радона-222, в обратных секундах
$\Phi$	функция распределения стандартизованного нормального распределения

## 4 Сущность метода

Определение объемной активности радона в воде с помощью прямой гамма-лучевой спектрометрии основана на:

- отборе и хранении в приспособленной емкости представительной пробы воды в момент времени,  $t$ ,
- детектирование и количественное определение гамма-излучения, испускаемого короткоживущими продуктами распада радона, представленными в пробе воды (см. Таблицу1).

**Таблица 1 — Энергии и вероятность испускания основного рентгеновского и гамма-излучений короткоживущими продуктами распада  $^{222}\text{Rn}$  (Ссылка [5])**

Радионуклид	Период полураспада	Энергия	Вероятность испускания
	мин	кэВ	%
$^{214}\text{Pb}$	26,8	351,93	35,60
		295,22	18,50
$^{214}\text{Bi}$	19,9	609,31	45,49
		1 764,49	15,28
		1 120,29	14,907
		1 238,11	5,827

Объемная активность вычисляется по измеренной активности продуктов радиоактивного распада и объему пробы, когда радон находится в равновесии с продуктами своего распада.

## 5 Отбор проб

### 5.1 Общие требования

Проба должна быть представительной для анализируемой окружающей среды в данный момент времени.

### 5.2 Требования к пробоотбору

Условия и техника пробоотбора должны соответствовать ISO 5667-1, ISO 5667-3 и ISO 13164-1.

Пробу необходимо перенести непосредственно в емкость, которая будет использоваться для гамма-спектрометрического анализа.

Емкость наполняют полностью, чтобы избежать присутствия воздуха в контакте с отобранной водой.

Емкость необходимо наполнять таким образом, чтобы избежать дегазации радона из пробы. Техника пробоотбора, которую предполагается использовать, зависит от фактической ситуации.

Если аналитическая лаборатория не отвечает за пробоотбор, она должна предоставить емкость для измерения и установить метод отбора проб для исполнителей.

Температура воды должна замеряться в ходе пробоотбора.

Рекомендуется взвешивать емкость с крышкой до и после отбора проб, чтобы оценить количество взвешенного материала и частиц в емкости.

### 5.3 Объем пробы

Опыт показывает, что чтобы получить представительную для окружающей среды пробу, требуется отобрать объем не менее 1 л для анализа.

### 5.4 Характеристики емкости для проб

Выбор и подготовка подходящей емкости имеют большое значение. Емкость должна соответствовать требованиям ISO 5667-3.

Емкость с крышкой для содержания пробы должны соответствовать следующим требованиям.

- Они должны быть изготовлены из инертных материалов с низкой степенью поглощения гамма-лучей. Они должны быть непроницаемыми для радона, негидрофобными и проводимыми (чтобы не адсорбировать радон и продукты его распада из окружающей атмосферы).
- Они не должны сами испускать гамма-лучи, мешающие измерениям.
- Они также должны быть противоударными.

## 6 Транспортирование и хранение

При транспортировании и хранении проба должна поддерживаться при температуре ниже, чем исходная вода (но выше 0 °C) до производства измерения. Емкость должна быть защищена и плотно закупорена. Емкость должна быть упакована надлежащим образом, чтобы предотвратить утечку.

Период транспортирования и хранения до анализа должен быть максимально коротким с учетом периода полураспада радона-222, ожидаемой объемной активности и предела обнаружения используемого измерительного оборудования.

По поступлении в лабораторию проба должна поддерживаться при температуре ниже, чем исходная вода (но выше 0 °C), если ее невозможно проанализировать немедленно. Проба должна быть проанализирована максимально быстро после достижения радиоактивного равновесия.

Опыт показывает: важно, чтобы время с момента пробоотбора до анализа не превысило 48 ч.

## 7 Детектирование

Объемную активность  $^{222}\text{Rn}$  определяют по гамма-излучению, испускаемому изотопом  $^{214}\text{Bi}$  и/или изотопом  $^{214}\text{Pb}$  и измеренному методом прямой гамма-спектрометрии пробы воды.

Определение объемной активности радона-222 в пробах воды должно производиться с помощью гамма-спектрометра с высоким разрешением по ISO 10703.

Период измерения должен начинаться, когда будет достигнуто радиоактивное равновесие радона и продуктами его распада, т.е. не менее, чем через 3 ч после завершения пробоотбора.

Выбор измерительного оборудования должен учитывать технические условия, описанные в IEC 60973 и IEC 61151.

Калибровка должна следовать требованиям IEC 61452, используя, например, эталонный источник радий-226.

## 8 Процедура измерения

Процедура измерения следующая:

- a) выбор и местоположение точки пробоотбора;
- b) отбор одной или нескольких проб;
- c) регистрация места, даты и времени пробоотбора;
- d) установление радиоактивного равновесия между  $^{222}\text{Rn}$  и его короткоживущими продуктами распада ( $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ) в пробе выжиданием, для оптимального счета, 3 ч после отбора проб;
- e) калибровка спектрометра;
- f) определение фона детектора;
- g) регистрация спектра пробы;
- h) анализ спектра и определение объемной активности вычислением.

## 9 Программа обеспечения и контроля качества

### 9.1 Общие положения

Операции по контролю качества должны соответствовать ISO/IEC 17025.

### 9.2 Величины влияния

Определение объемной активности радона-222 должно учитывать поправку на его радиоактивный распад в ходе хранения до измерения, а также продолжительность процесса измерения.

Особые меры предосторожности необходимо принимать, чтобы свести к минимуму воздействие величин, которые могут влиять на результаты измерения.

Во время пробоотбора рекомендуется свести к минимуму влияние:

- температуры воды;
- турбулентности в воде;
- объема воздуха в емкости.

В ходе измерений учитывают влияние:

- $^{222}\text{Rn}$ , присутствующего в атмосфере в том месте, где выполняются измерения;
- $^{226}\text{Ra}$ , присутствующего в воде, подлежащей анализу;
- наличие взвешенного материала в пробе.