

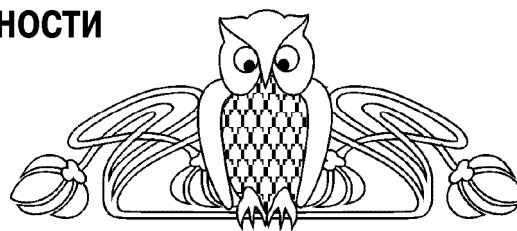


УДК 546.296

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

О. А. Черкасова, В. З. Углонова

Саратовский государственный университет  
E-mail: CherkasovaOA@yandex.ru



Проведены исследования по изучению радиационного фона помещений хозяйственно-бытового назначения при различных условиях. По данным настоящего исследования выполнено вертикальное распределение мощности экспозиционной дозы жилых помещений, установлено влияние внешних факторов на ее величину. Получены зависимости и выявлены особенности изменения радиационного фона в исследуемых помещениях. Обнаружен вклад в прирост мощности дозы от отделочных материалов. Исследование водопроводной воды позволяет говорить о вкладе в величину мощности дозы ее температуры и способа подачи, так как полученные значения различаются в 1.5 раза.

**Ключевые слова:** радиация, радиационный фон, мощность экспозиционной дозы, радон, строительные материалы, радон в воде.

### Ecological Diagnostics of the Safety of Premises

O. A. Cherkasova, V. Z. Uglanova

A study was made of the radiation background of premises of economic and household purposes under various conditions. According to the data obtained, a vertical distribution of the exposure rate of premises was revealed; the influence of external factors on its value was established. Dependences were obtained and features of radiation background changes in the rooms under study were revealed. The contribution of finishing materials to the increase in the exposure rate was found. Analysis of tap water allows us to speak of the contribution of its temperature and way of supplying to the exposure rate value because the gotten values differ by 1.5 times.

**Key words:** radiation, radiation background, exposure rate, radon, construction materials, radon in water.

### Введение

По данным многочисленных исследований отечественных и зарубежных ученых, основной радиационный фон на нашей планете создается за счет естественных источников излучения [1]. Естественные радионуклиды (ЕРН) присутствуют практически во всех объектах окружающей среды, создавая радиационный фон [1]. Исследования показали, что дозовые нагрузки от природного излучения формируются в значительной мере за счет радионуклидов, входящих в так называемую группу «радон». Понятием «радон» объединяются в группу 19 изотопов, из которых только три (радон, торон, актион) распространены в природной среде в значимых

концентрациях [2, 3]. Все они активно мигрируют в структурах земной коры. Установлено, что изотопы радона (*радон – радиоактивный химический, образующийся в результате распада радия; в нормальных условиях – бесцветный инертный газ, значительно тяжелее воздуха с периодом полураспада 3.8 суток*) распадаются, испуская альфа-частицы и превращаясь в изотопы полония, висмута, свинца [4, 5] (рис. 1). Радон вместе с дочерними продуктами распада (ДПР) вносит примерно 70% годовой индивидуальной эффективной дозы облучения, получаемой населением от земных источников радиации.

Первые же исследования радиологического воздействия радона на население показали, что концентрация радона в воздухе жилых домов, особенно одноэтажных, часто превышает уровень предельно допустимых концентраций (ПДК) [6, 7]. Установлено, что на величину радиационного фона, обусловленную радоном и его ДПР, существенное влияние оказывают радиационные характеристики и показатели строительных материалов, почвы под зданием, используемой воды и бытового газа [8, 9, 10]. Установлено, что коэффициент перехода радона из воды в воздух помещения составляет  $(0.5-1.0) \cdot 10^{-4}$ . Если количество радона в воде соответствует нормативу 60 Бк/л, то это дает дополнительное количество радона в воздух помещения, равное  $6.0 \text{ Бк/м}^3$ , что меньше фонового содержания радона в жилых помещениях. Только при значительном превышении норматива по радону в воде, его вклад в дозу облучения может быть сравнимым с вкладом радона, который поступает из почвы или строительных материалов. Дело в том, что радий в незначительных количествах содержится во всех типах почв, грунтах, минералах и, следовательно, строительных материалах. Относительно небольшой период полураспада радона (3.823 дня) и высокая способность к диффузии позволяют ему распространяться по порам и трещинам в почве, через щели в фундаменте зданий поступать из

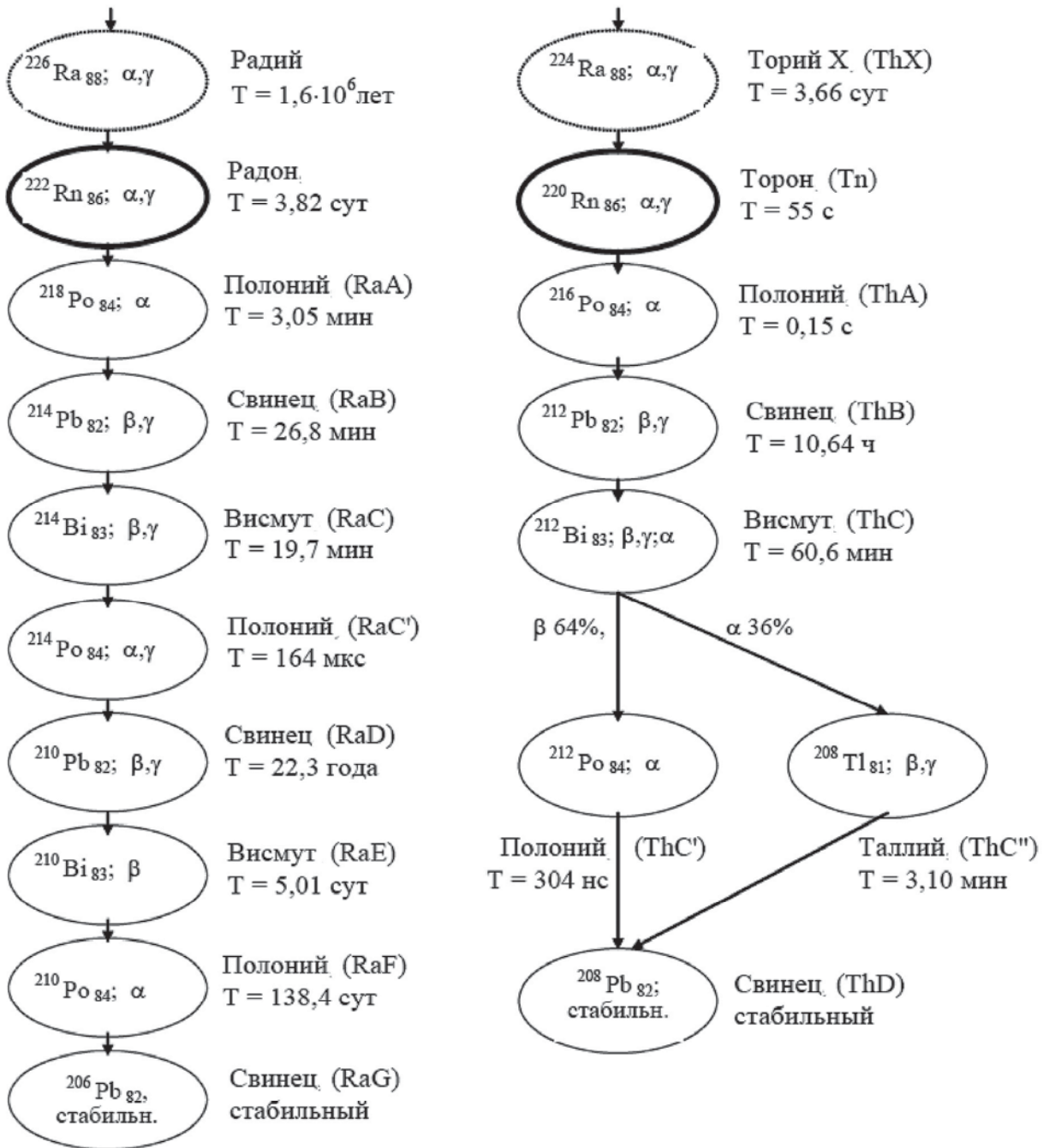


Рис. 1. Изотопы радона и их дочерние продукты в цепочках распада (символ, путь распада ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -излучение). T – период полураспада

подвалов в помещения, в меньшей степени с природным газом и водой и, при отсутствии вентиляции, накапливаться там в значительных концентрациях [11–14]. Относительный вклад каждого из названных источников формирования «радоновой нагрузки» в жилище может быть представлен следующим образом: грунт под зданием и строительные материалы – 78%; наружный воздух – 13%; вода, используемая в доме – 5%; природный газ – 4%.

Изотопы радона являются основными субстанциями, ответственными за распространение радиоактивных веществ в жилые помещения и за загрязнение вдыхаемого людьми воздуха радиоизотопами. С радиологической точки зрения опасен не сам радон, а набор генетически связанных радионуклидов, им порождаемый. Исследования ученых показывают, что вдыхание радона и его ДПР приводит к облучению легочной ткани чело-



века. Долгое время считалось, что вклад радона и его ДПР в ингаляционное облучение людей незначителен. Однако в ряде работ ставится под сомнение приведенное выше утверждение [15, 16]. Результаты исследований свидетельствуют о том, что «радоновое» облучение повышает вероятность возникновения онкологических заболеваний таких органов, как желудок, прямая кишка, кожа, гонадов, щитовидной железы [6, 17–21]. При высоких дозах облучения из-за расстройства метаболизма гибнет большое число клеток. Возникают морфологические и функциональные изменения в тканях, органах и системах. Это приводит к развитию общего заболевания организма. Формирование общего лучевого поражения начинается с молекулярного уровня, проходит клеточный, тканевой, органный и системный уровни биологической интеграции и заканчивается уровнем целостного организма. Особенно большие изменения после облучения клетки наблюдаются в обмене сложных белков – нуклеопротеидов. Ионизирующие излучения повреждают ферменты, и это приводит к расстройству процесса синтеза белков. Нарушение обмена нуклеопротеидов приводит к тяжелым последствиям. Расстройство процессов репликации молекул ДНК вызывает срыв клеточного деления, расстройство процессов производства молекул РНК – снижение продукции белка. Нарушение обмена белков приводит к расстройству динамического обновления различных внутриклеточных структур [22].

В связи с этим цель данной работы – определение радиационного фона в жилых помещениях, возникающего в результате эксхалляции и деэманации радона и его ДПР – является актуальной.

#### Объект и методы исследования

В качестве локальных источников ионизирующего излучения выбраны строительные и отделочные материалы, а также водопроводная вода жилых и бытовых помещений различного назначения.

Рассмотрим более детально объекты исследования. **Объект А** – двухэтажный дом (коттедж) из белого кирпича (20 лет), включает помещения различной этажности: 1 – *подвал (погреб)* (глубина 2 м), стены выложены из белого кирпича, площадь – 4.5 м<sup>2</sup>; 2 – *1-й этаж*: жилая комната, санузел (полы и стены облицованы плиткой, раковина – керамика), кухня (газовая плита, деревянные полы), прихожая; 3 – *2-й этаж*: жилая комната. **Объект Б** – *одноэтажный гараж* (керамзито-

бетонная конструкция, 40 м<sup>2</sup>). **Объект В** – *одноэтажная баня* (белый силикатный кирпич, внутренняя отделка деревом, 25 м<sup>2</sup>). **Объект Г** – совмещенный санузел 5-этажного кирпичного жилого дома (возраст ~ 55 лет). **Объект Д** – совмещенный санузел 9-этажного панельного жилого дома (возраст ~ 25–35 лет). Объекты Г и Д имеют внутреннюю облицовку из керамической плитки, а также в них установлены различные керамические изделия бытового назначения.

Исследования по определению радиационного фона помещений проводили с использованием следующих приборов: индикатор радиоактивности РАДЭКС РД 1503 (КВАРТА-РАД, Россия) и дозиметр-радиометр бытовой АНРИ-01-02 «СОСНА» (БПО «Экран», Россия). Измерение радиационного фона на объектах А, Б, В проводили на высоте 1.0 м от пола и не ближе 0.5 м от стен во всех помещениях. На объектах Г и Д предварительно были получены результаты средней арифметической фоновой мощности экспозиционной дозы, создаваемой керамическими изделиями и отделочными материалами, которую приняли за начальное значение. После измерения средней мощности на этих объектах исследования фиксировали изменения в величине мощности экспозиционной дозы при включении водопровода. С учетом того, что дозиметры проградуированы в единицах мощности экспозиционной дозы (мкР/ч), результаты измерений пересчитывались в единицы мкЗв/ч с использованием соотношения:  $H \text{ (мкЗв/ч)} = 0.009 \cdot P \text{ (мкР/ч)}$ .

Изменения мощности во времени статистически обрабатывались по общепринятым методам с использованием *t*-критерия Стьюдента, достоверными считали различия при значении уровня значимости  $p < 0.05$ . Точность и надёжность произведённой оценки характеризуются вероятностью того, что действительное отклонение найденного приближения от истинной величины не превзойдёт заданного предела. Уровень достоверности полученных результатов составляет  $0.02 < p < 0.05$ . Расчет приведен на выборке из 10 измерений в каждой точке замера. Результатом всех измерений является построение зависимости величины фоновой мощности от исследуемого параметра.

#### Результаты и их обсуждение

*Влияние высоты помещений на величину радиационного фона.* Исследовано влияние расстояния от поверхности земли на величину фоновой мощности экспозиционной дозы (табл. 1).



Установлено, что с увеличением этажности помещения величина фоновой мощности экспозиционной дозы уменьшается. Такое вертикальное распределение согласуется с литературными данными [23], и может быть объяснено проникновением радона и его дочерних продуктов распада в дом из грунта сквозь трещины в фундаменте и через пол и его концентрированием в основном в непрветриваемых подвальных помещениях и на нижних этажах жилых и производственных построек [23].

Таблица 1

**Влияние расстояния от поверхности земли на величину фоновой мощности экспозиционной дозы ( $n = 8, P = 0.95$ ). Объект исследования А. РАДЭКС РД1503**

Высота от поверхности земли, м	$\Phi$ , мкЗв/ч
Погреб (-2)	0.19±0.010
1-й этаж (1)	0.15±0.008
2-й этаж (4)	0.13±0.008

Аналогичные измерения были проведены на приборе «СОСНА». Результаты исследований представлены на рис. 2. Полученные результаты подтверждают данные исследований, полученные на приборе РАДЭКС.

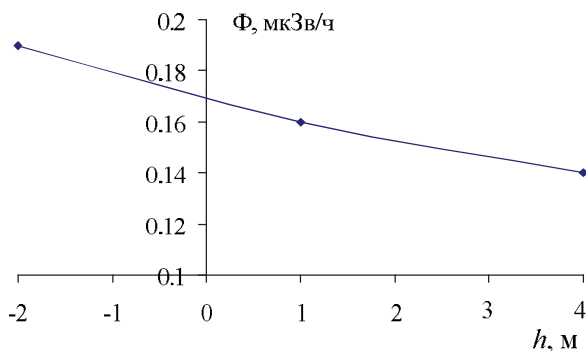


Рис. 2. Зависимость величины фоновой экспозиционной дозы от высоты исследуемого объекта ( $n = 8, P = 0.95$ ). Объект исследования А. Прибор «Сосна»

*Измерение величины фоновой мощности экспозиционной дозы в помещениях одного этажа.* Результаты исследований по определению фоновой мощности экспозиционной дозы в помещениях первого этажа объекта А (спальная комната, ванная комната, туалет, кухня) представлены в табл. 2. Анализ данных исследования показал, что в помещениях – туалет и ванная – величина фоновой мощности экспозиционной дозы превышает ~ в 1.3 мкЗв/ч эту же величину, определенную в комнате, прихожей и кухне. Это, вероятно, связано

с наличием в указанных помещениях большого количества дополнительных источников – *строительных и отделочных материалов* (настенная и напольная кафельная плитка, раковина) и *воды*, которые повышают фоновую мощность экспозиционной дозы.

Таблица 2

**Значение величины фоновой мощности экспозиционной дозы в помещениях одного этажа ( $n = 8, P = 0.95$ )**

1-й этаж	РАДЭКС, мкЗв/ч	«Сосна», мкЗв/ч
Комната	0.15±0.01	0.16±0.02
Кухня	0.14±0.01	0.15±0.02
Ванная	0.19±0.02	0.18±0.02
Туалет	0.18±0.02	0.17±0.01

*Определение величины фоновой мощности экспозиционной дозы в помещениях, находящихся на одном земельном участке.* Представлены результаты, полученные в помещениях, находящихся на одном земельном участке, но возведенных из разных строительных материалов (табл. 3). Из таблицы видно, что данные отличаются незначительно, что вполне закономерно для этих объектов. Это может быть объяснено одинаковой эксхалацией радона и его дочерних продуктов на всей территории земельного участка.

Таблица 3

**Значения величины фоновой мощности экспозиционной дозы в помещениях, находящихся на одном земельном участке ( $n = 8, P = 0.95$ ). Объект исследования А, Б, В**

1-й этаж	РАДЭКС, мкЗв/ч	«Сосна», мкЗв/ч
Гараж	0.120±0.001	0.130±0.015
Баня	0.140±0.010	0.130±0.015

При сравнении мощности дозы на открытой местности и внутри помещений замечаем, что они различаются, но различие это может зависеть от многих причин. Установлено, что мощность дозы внутри помещений больше мощности дозы на открытой местности. Такой феномен можно объяснить двумя факторами. С одной стороны, происходит эксхалация радионуклидов и их накопление внутри помещений. С другой стороны, это происходит за счет экранирования влияния построек по отношению к внешнему фону.

*Зависимость величины фоновой мощности экспозиционной дозы от температуры воды, времени её истечения и формы истечения.* Предварительные исследования показали, что



средняя арифметическая фоновая мощность экспозиционной дозы в исследуемых помещениях различна и отличается приблизительно в 3 раза. Так, для полигона Г она составила 5 мкР/ч, полигона Д – 17 мкР/ч. Это, вероятно, связано с различным местонахождением и возрастом исследуемых помещений, а также природой материала, из которого они возведены.

Известно, что содержание радона наблюдается в любой воде, омывающей породы даже с низким содержанием радия [13, 24–26]. Растворённый в воде радон представляет существенную угрозу для здоровья людей. Радон способен перемещаться по водопроводным трубам централизованного водоснабжения на расстояние 10 км и более [13]. С водой радон попадает в пищеварительную систему человека, вызывая внутреннее облучение.

Установлено, что при нагревании и кипячении воды радон практически весь дезаэрируется и поступает в организм ингаляционным способом. В связи с вышесказанным исследование по содержанию радона в воде хозяйственно-бытового назначения является важной и актуальной задачей.

Исследования показали, что величина фоновой мощности экспозиционной дозы ( $\Phi$ ), создаваемая водой, зависит от ряда факторов: температуры, времени истечения и формы истечения воды. Установлено, что с повышением температуры воды наблюдается изменение радиационного фона (рис. 3). Установлено, что повышение температуры воды до 35°C повышает фоновую мощность экспозиционной дозы в ~ 3 раза. Дальнейшее повышение температуры воды на 5° С увеличивает величину  $\Phi$  на 3–5 единиц.

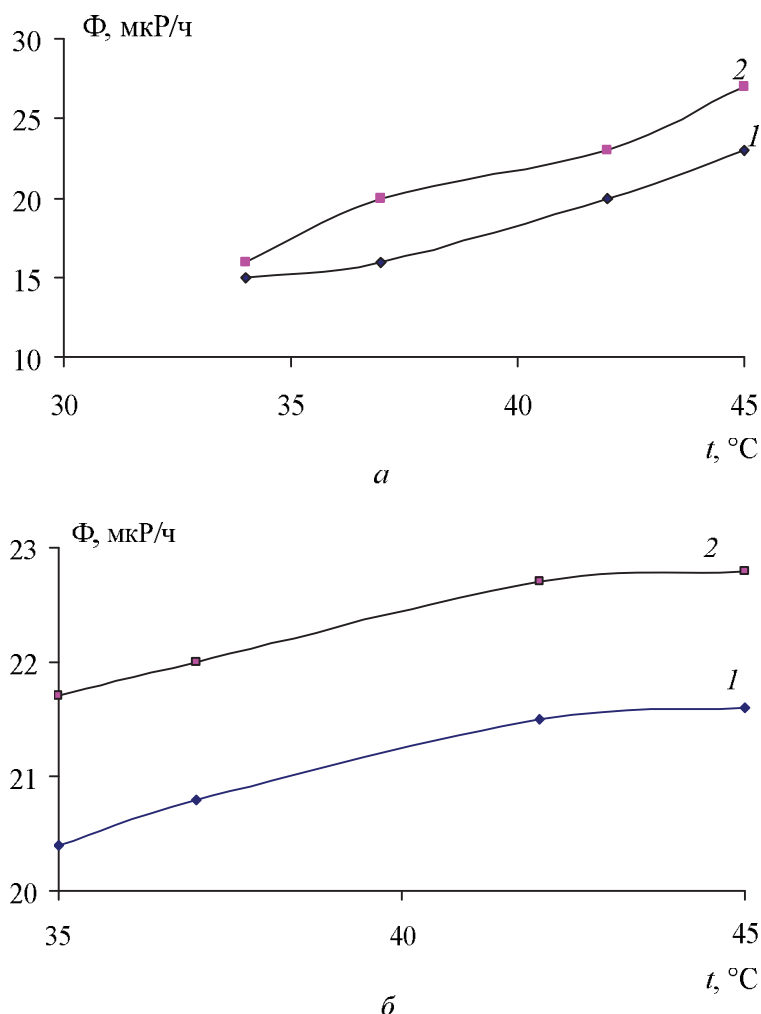


Рис. 3. Зависимость величины фоновой экспозиционной дозы излучения от температуры воды и формы её истечения ( $n = 10, P = 0.95$ ): а – объект исследования Г, б – объект исследования Д. Время истечения воды – 35 мин: 1 – кран (струя воды), 2 – душ. Прибор РАДЭКС





Полученные результаты свидетельствуют о процессе дезманирования радона при нагревании воды. Из рис. 3 также видно, что на величину фоновой мощности экспозиционной дозы оказывает значительное влияние и форма истечения воды из труб. Так, кривая 2, соответствующая истечению воды из душа (распылителя), характеризуется

большими значениями  $\Phi$ , чем кривая 1. Полученные результаты могут быть объяснены увеличением скорости дезманирования радона и ДПР с увеличением площади распыляемой воды. Однако следует отметить, величина фоновой мощности экспозиционной при этом дозы не зависит от времени истечения воды и не изменяется (рис. 4).

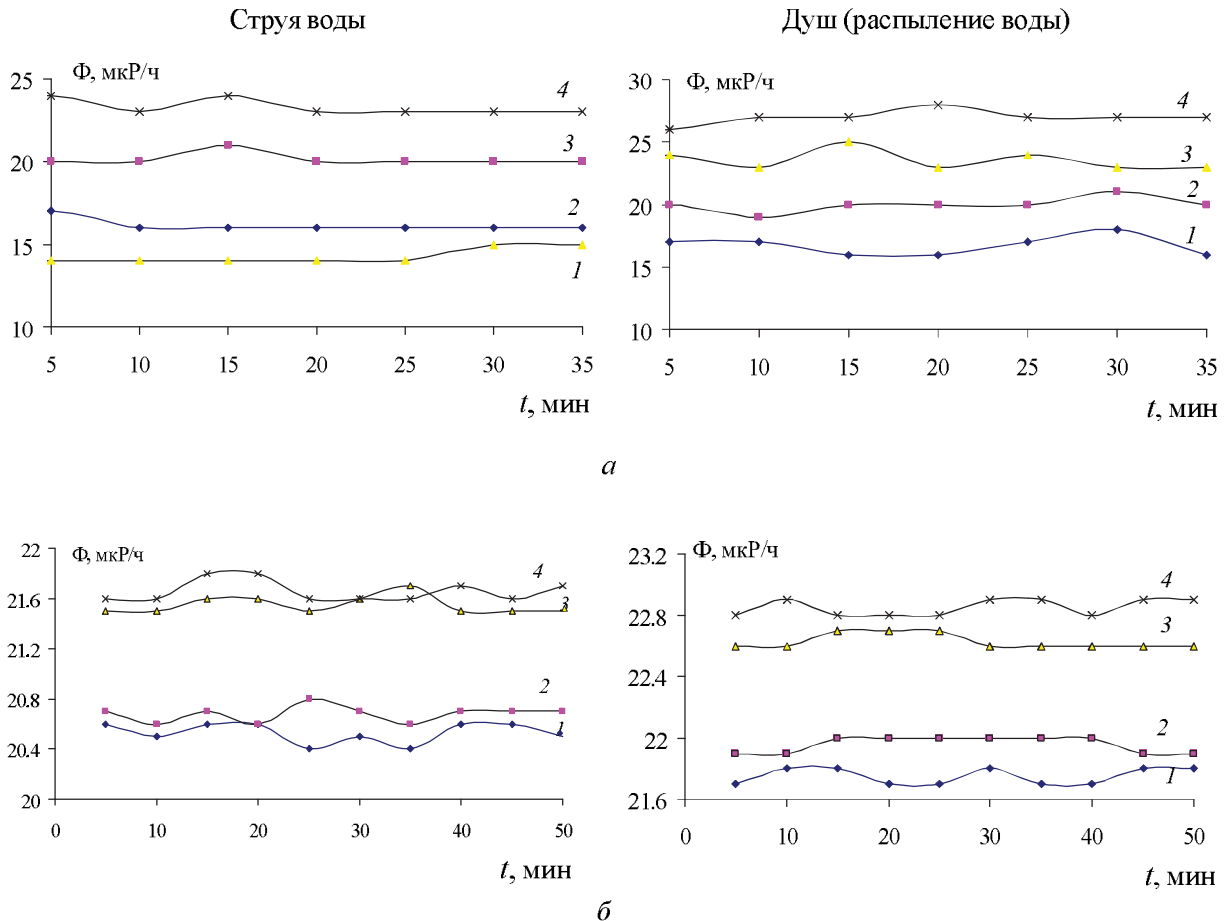


Рис. 4. Зависимость величины фоновой экспозиционной дозы излучения от температуры и времени истечения воды из душа ( $n = 10, P = 0.95$ ): а – объект исследования Г; б – объект исследования Д; 1 – 34°С, 2 – 37°С, 3 – 42°С, 4 – 45°С. Прибор РАДЭКС

### Выводы

Обобщение и анализ экспериментальных данных позволили установить следующие закономерности изменения радиационного фона в исследуемых помещениях.

1. Средняя арифметическая фоновая мощность экспозиционной дозы различных объектов может отличаться. Этот факт согласуется с известными литературными данными [8, 11] и может зависеть от геолого-морфологических особенностей строения территории, на которых расположены объекты, «природой» строительного материала, а также наличием

внутри объекта дополнительных источников радона и его ДПР.

2. Величина мощности фоновой дозы зависит от высоты (этажности) объекта. Так, на каждом следующем этаже значение величины  $\Phi$  понижается. Это связано, прежде всего, с ограничением поступления радона и его ДПР из слоев почвы, так как вертикальные и горизонтальные перекрытия являются преградой распространяющимся ДПР.

3. Использование распыляющих источников воды приводит к резкому повышению величины мощности фоновой дозы. В свою очередь,



повышение температуры воды оказывает незначительное влияние на увеличение мощность фоновой экспозиционной дозы.

4. Статистическая обработка результатов исследований свидетельствует об отсутствии случайных и систематических погрешностей.

### Список литературы

1. Кузин А. М. Природный радиоактивный фон и его значение для биосферы Земли. М. : Наука, 1991. 115 с.
2. Сердюкова А. С., Капитонов Ю. Т. Изотопы радона и продукты их распада в природе. М. : Атомииздат, 1975. 295 с.
3. Тихонов М. Н. Радонная радиация : источники, дозы и нерешенные вопросы // Экология промышленного производства. 2008. № 1. С. 35–51.
4. Радиация. Дозы, эффекты, риски / пер. с англ. Ю. А. Банникова. М. : Мир, 1988. 79 с.
5. Усманов С. М. Радиация : справочный материал. М. : ВЛАДОС, 2003. 173 с.
6. Огородников Б. И. Торон и его дочерние продукты в проблеме ингаляционного облучения // Атомная техника за рубежом. 2006. № 6. С. 10–15.
7. СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ – 99/2009) : Гигиенические нормативы. Утв. и введены в действие постановлением глав. гос. санитарного врача РФ Г. Г. Онищенко от 07.07.2009 г. № 47 с 01.09.2009 г. М. : Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 2009. 225 с.
8. Лучин И. А., Титов В. К., Лашков Б. П. Радон в почвах и зданиях. СПб. : НПО «Рудгеофизика», 1991. 16 с.
9. Сидельникова О. П., Козлов Ю. Д. Влияние активности естественных радионуклидов строительных материалов на радиационный фон помещений. М. : Энергоатомиздат, 1996. 160 с.
10. Яковлева В. С. Методы измерения плотности потока радона и торона с поверхности пористых материалов. Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2011. С. 20–21, 117–124.
11. Онищенко Г. Г., Иванов С. И. Основные итоги деятельности государственной санитарно-эпидемиологической службы по ограничению облучения населения России от природных источников ионизирующих излучений, нерешенные проблемы и задачи на предстоящий период // Здоровье населения и среда обитания : информ. бюл. 2000. № 3(84). С. 1–7.
12. Тихонов М. Н. Радонная радиация на территориях с повышенным радиационным фоном // Безопасность жизнедеятельности. 2009. № 10. С. 1–24.
13. Романова А. А., Игнатьев Г. В. Радон в системе централизованного водоснабжения // Вестн. ЧитГУ. 2011. Т. 76, № 9. С. 119–122.
14. Шулейкин В. Н. Радон почвенного и атмосферного воздуха и дегазация земли // Георесурсы. Геоэнергетика. Геополитика. М. : Ин-т проблем нефти и газа РАН, 2010. Вып. 1(1). С. 4–7.
15. Igarashi G., Saeki S., Takahata N., Sumikawa K., Tataka S., Sasaki Y., Takahashi M., Sano Y. Ground Water Radon Anomaly before the Kobe Earthquake in Japan // Science. 1995. Vol. 269, № 5220. P. 60–61.
16. Heynes R. M. The distribution of domestic radon concentration and lung cancer mortality in England and Wales // Radiol. prof. dosim. 1988. Vol. 25, № 2. P. 93–96.
17. Адеишвили Т. Г., Хвелидзе Л. В., Маманенишвили И. Т. О влиянии естественной радиоактивности на здоровье человека // Intern. J. Immunol. 1988. № 8. P. 174–181.
18. Иванов З. Анамнестические, физикальные и биодозиметрические индикаторы поражения легких у неурановых шахтеров // Докл. Болг. АН. 2000. Т. 53, № 9. С. 115–118.
19. Трифонова Т. А., Шуркин Л. А. Оценка и сравнительный анализ рисков для здоровья населения (на примере г. Владимир). Владимир : ВООО ВОИ ПУ «Рост», 2010. 80 с.
20. Василенко О. И. Радиационная экология. М. : Медицина, 2004. 216 с.
21. Василенко И. Я. Биологическое действие продуктов ядерного деления. Отдаленные последствия поражения // Радиобиология. 1993. Т. 33, вып. 3. С. 442–452.
22. Военная токсикология, радиобиология и медицинская защита / под ред. С. А. Куценко. СПб. : Фолиант. 2004. 528 с.
23. Влацкий Ф. Д. Исследования содержания радона в жилых помещениях Первомайского района Оренбургской области // Вестн. ОГУ. Естественные и технические науки. 2005. Т. 2, № 10. С. 68–73.
24. Гаврилюк Ю. М., Гангапшев А. М., Кузьминов В. В., Панасенко С. И. Мониторинг содержания  $^{222}\text{Rn}$  в воздухе низкофоновых лабораторий с помощью импульсной ионной ионизационной камеры // Изв. Рос. акад. наук. Сер. физ. 2011. Т. 75, № 4. С. 583–587.
25. Грубич А. О. Об оптимизации измерений радона в воздухе помещений // АНРИ. 2003. № 2. С. 59–62.
26. Воронов А. Н. Радон в подземных водах : экологические аспекты // Экологические проблемы гидрогеологии : Восьмые Толстухинские чтения : материалы науч.-метод. конф. СПб., 1999. С. 148–151.