Влияние влажности на вариации мощности дозы гамма-излучения в условиях аномального содержания радона в воздухе

к.т.н. С.А. Кургуз, А.И. Григорьев
ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае», г. Красноярск

В практике радиоэкологических исследований нередки случаи существенного (в 2 и более раз) повышения мощности дозы (МД) гамма-излучения, как в домах, так и на других объектах с аномальным содержанием радона в воздухе [1, 2, 3, 4]. Так, например, уровень объёмной активности радона в воздухе помещений, при котором заметно (на 10…15%) возрастает МД гамма-излучения в помещениях, по проведенным оценкам составляет 700-800 Бк/м^3. Несмотря на возможные вариации фоновых значений МД гамма-излучения вне зданий, большая часть подобных примеров в известной мере, с учетом регистрируемых уровней объёмной активности радона в воздухе, внутреннего объема и конфигурации помещений, может быть легко описана математически [5]. Однако некоторые примеры зачастую не поддаются адекватному описанию, и в подобных случаях заметное повышение МД гамма-излучения, как правило, наблюдается при существенно меньшем содержании радона в воздухе. В первую очередь это относится к помещениям с повышенной влажностью или запыленностью воздуха, а также к результатам длительного мониторинга МД гамма-излучения на открытой местности при продолжительных туманах [6, 7]. В таких случаях на величину МД влияют два противоположных процесса: увеличение содержания паров воды (или пыли) в воздухе, с одной стороны, способствует снижению (экранированию) интенсивности гамма-излучения дочерних продуктов распада (ДПР) радона, с другой стороны, повышает объёмную концентрацию радона и его ДПР в воздухе за счёт растворения радона в каплях влаги и адсорбции ДПР на поверхности капель и частиц пыли.

Естественно, что подобные процессы сопровождаются значительными вариациями коэффициента равновесия между активностью радона и его ДПР в воздухе. При этом такие вариации могут быть обусловлены самыми разными причинами. Наиболее убедительным выглядит следующее описание:

При распаде атома радона образуется свободный ион Po-218. Молекулы водяного пара и атомы атмосферных газов мгновенно окружают его, образуя кластер диаметром 2…20 нм. Такой кластер, как и ион Po-218, могут рассматриваться как свободные, простые и несвязанные продукты распада, которые имеют высокую подвижность и через 10…100 с связываются с пыле-аэрозольными частицами размером 50…500 нм. Po-214, образующийся при альфа-распаде связанного Po-218, может остаться связанным с аэрозольной частицей или высвободиться в результате акта отдачи. Bi-214, образующийся при распаде связанного Po-214, обычно остается в связанном состоянии, поскольку энергия отдачи при бета-распаде недостаточна для выброса свободного иона. Скорость осаждения связанных продуктов распада радона примерно в 100 раз меньше, чем свободных, в соответствии с этим роль осаждения связанных продуктов распада, как механизма удаления активности, пренебрежимо мала по сравнению с процессами радиоактивного распада [8, 9]. Таким образом, удельная активность ДПР радона в запыленном и влажном воздухе может значительно превосходить активность самого радона и особенно при условиях интенсивного дополнительного переноса связанных ДПР из одного помещения в другое. Однако эти предположения нуждаются в экспериментальном подтверждении. Но косвенно это подтверждается следующими наблюдениями. Накопление пыле-аэрозольных частиц в приземном слое воздуха наблюдается при продолжительных туманах и степень загрязненности воздуха тесно связана с началом и окончанием отопительного сезона [6]. Подобные обстоятельства в отсутствии ветра характеризуются также значительным (до 30 % и выше) и продолжительным по времени (до нескольких часов или даже дней) увеличением МД внешнего гамма-излучения при его длительном автономном мониторинге [7].

С целью проверки правильности подобных утверждений нами был выполнен многодневный (почти 19 суток) эксперимент в герметичном эманационном контейнере с внутренним объемом 4 м^3 с привлечением специальной версии многопараметрического радонового монитор-дозиметра «AlphaGUARD PQ2000», метрологически поверенного в качестве рабочего эталона, со встроенным гамма-каналом и приставкой для определения содержания ДПР радона в воздухе «WL-Meter» с интегрированным интерфейсом. Внешний вид контейнера и положение прибора внутри него показано на рис. 1.

Рис. 1. Внешний вид эманационного контейнера и положение прибора при проведении эксперимента по изучению влияния влажности на вариации МД гамма-излучения (г. Красноярск, ул. Сопочная, д. 38)

Требуемая активность радона создавалась разгерметизацией сосуда (генератора радона) с образцом породы Усть-Ангарского уранового месторождения (Красноярский край), помещенного в защитный свинцовый домик внутри эманационного контейнера Изменение влажности осуществлялась при помощи бытового увлажнителя воздуха, также помещаемого внутрь контейнера. На всем протяжении эксперимента внутри контейнера также работал вентилятор и положение оборудования и средств измерений оставалось неизменным. Результаты эксперимента показаны на рис. 2. Точки A1, A2 и A3 – моменты разгерметизации генератора радона длительностью в 10 минут. Точки w1 и w2 – моменты включения бытового увлажнителя внутри контейнера длительностью в 10 минут.

В течение первых 65 ч никаких манипуляций не производилось. Слабый рост активности радона в этот период был обусловлен, по-видимому, недостаточной герметизацией генератора радона. Тем не менее, видно, что достижение активности радона в контейнере до 2000 Бк/м^3 не вызвало видимых изменений МД гамма-излучения внутри контейнера, а защита свинцом генератора радона признана удовлетворительной.

При оценке и обобщении полученных результатов в качестве основного показателя рассматривалась не фактическая величина МД гамма-излучения, а коэффициент пропорциональности изменений или показатель роста (ПР) МД гамма-излучения (*сокр.* ПРМД) относительно изменения уровня объёмной активности радона в воздухе, ((нЗв·м^3)/(час·Бк)) [2, 5].

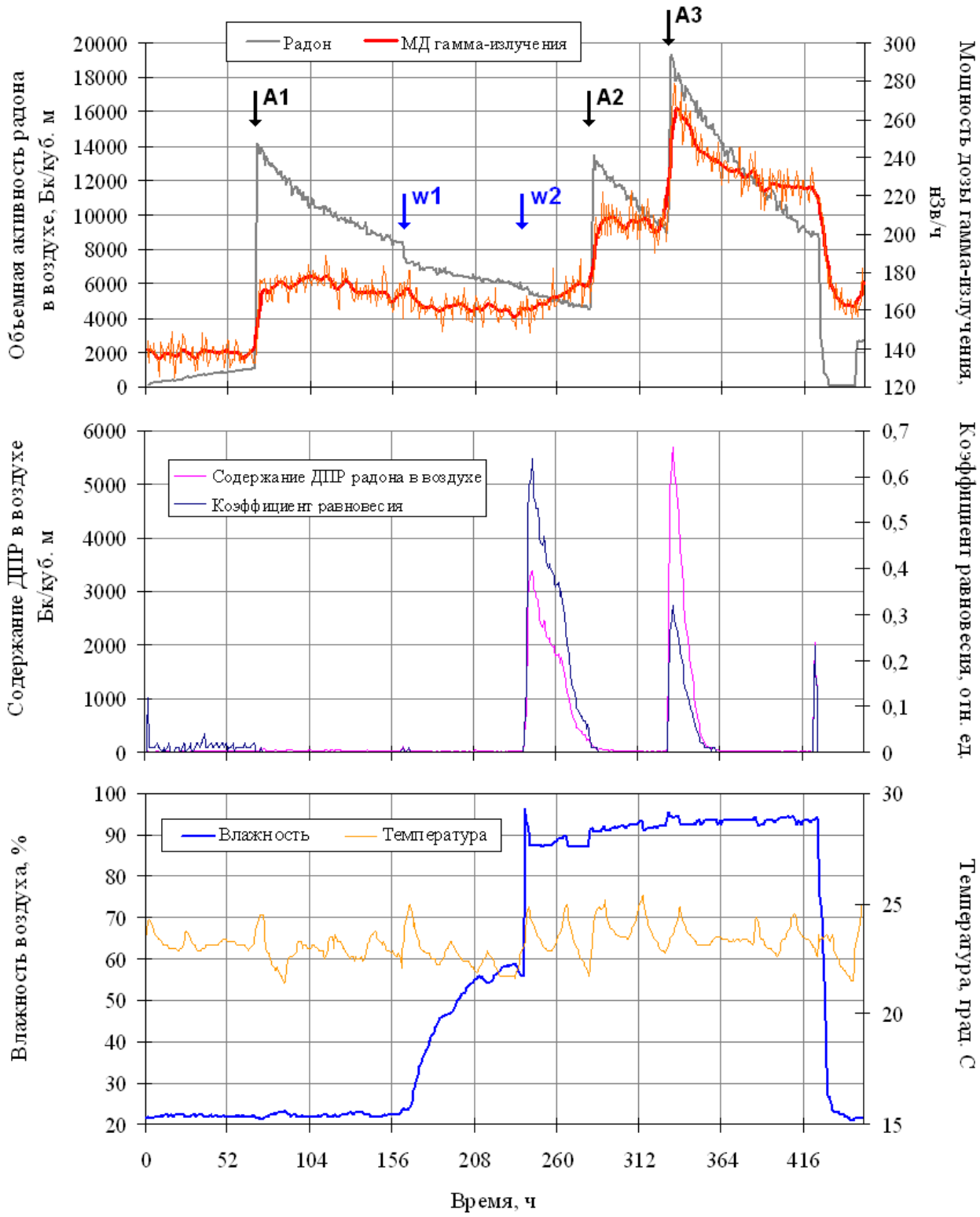

Рис. 2. Результаты эксперимента по изучению влияния влажности воздуха на вариации МД гамма-излучения внутри эманационного контейнера (11.03.2011 г – 30.03.2011 г, экспозиция – 60 мин)

В момент времени, соответствующей положению на графиках точки *A1* было резко увеличено содержание радона в воздухе контейнера до 14 кБк/м^3, что привело к немедленному росту МД гамма-излучения ориентировочно на 35-40 нЗв/ч. Далее падение активности радона соответствовало картине его радиоактивного распада. В момент *w1* было

включен бытовой увлажнитель, для чего пришлось кратковременно (в течение 4 мин) разгерметизировать шлюз эманационного контейнера, что видно по небольшому скачкообразному снижению содержания радона внутри контейнера до 7 кБк/м^3. Влажность внутри контейнера в последующие 80 ч выросла с 23 до 59 %.

Далее в момент *w2* влажность воздуха намеренно повысили практически до 90 % и оставили систему еще на 120 ч до нового повышения активности радона внутри контейнера в момент *A2*, а затем и *A3*.

Таким образом, на отрезке *A1-A2* мы имеем три уровня влажности от 23 до 90 % в течение которого падение МД гамма-излучения затем сменилось небольшим, но заметным ее ростом. Для отрезков *A1-w1*, *w1-w2*, *w2-A2* величина ПРМД (приведенной к нЗв/ч с учетом начального фона равного 135 нЗв/ч) оказалась различной: 0,003, 0,0034 и 0,0068 соответственно, т.е. величина отклика МД гамма-излучения увеличилась сначала на 9 %, а затем и более чем в два раза. Данная ситуация может быть иллюстрирована рис. 3, на котором видно, что своего рода «критическим» барьером влажности является отрезок 65-75 % , при котором увеличение МД составит уже десятки процентов.

Это также наглядно видно на рис. 2, когда создаваемые практически равные активности в моменты *A1* и *A2* вызывают практически вдвое отличающиеся друг от друга уровни МД гамма-излучения внутри контейнера.

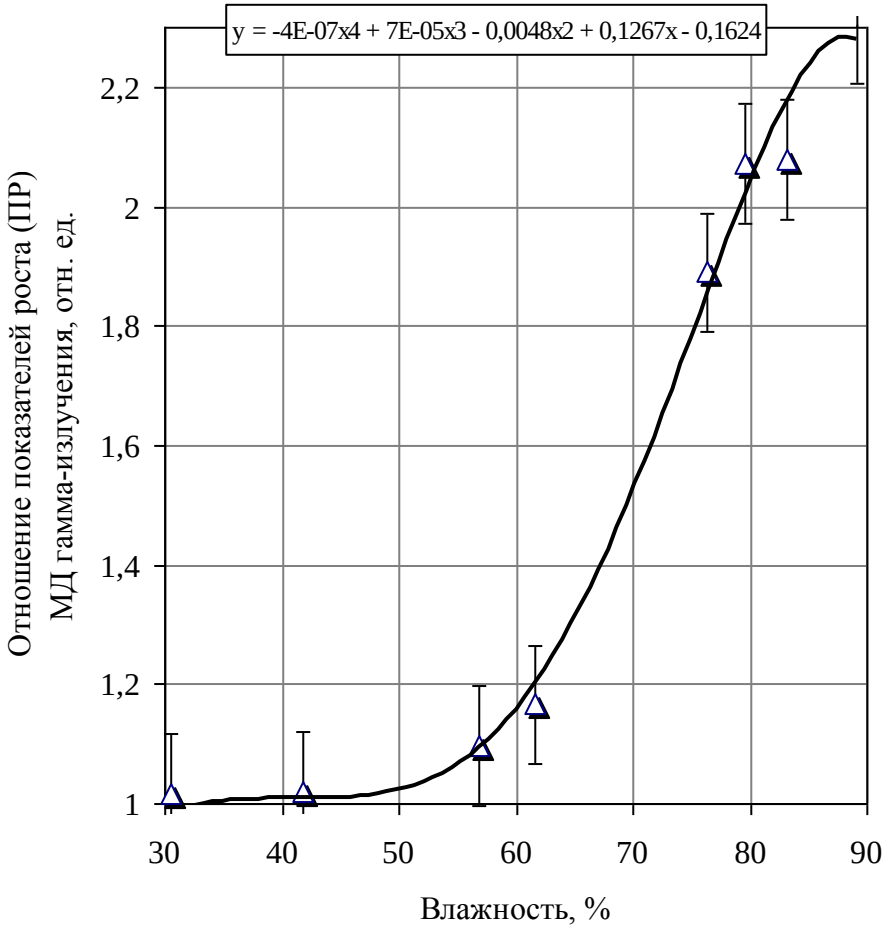

Рис. 3. Зависимость величины ПРМД от влажности воздуха в эманационном контейнере

Характерно, что величина ПРМД на отрезке *w2-A2-A3* практически не меняется и составляет 0,0068±0,002. Подобное, на наш взгляд, возможно лишь при условии резкого увеличения содержания ДПР в воздухе, когда скорость их осаждения на стенки контейнера становится пренебрежимо малой. Это также хорошо видно на нижнем графике, когда,

начиная с момента повышения влажности *w2*, коэффициент равновесия составил 0,65, что является характерным для помещений лишь с внутренним объемом равным или свыше 350 м^3 при нормальных условиях влажности и минимальной запыленности. Обычное (многократно подтверждаемое экспериментально) значение коэффициента равновесия в эманационном контейнере составляет 0,02…0,04. Таким образом, только лишь за счет повышения влажности удалось увеличить это значение более чем в 20 раз. Постепенный спад значений коэффициента равновесия обусловлен, по-видимому, намоканием фильтра на детекторе, в результате чего снизилась регистрирующая способность приставки «WL-Meter» для определения содержания ДПР в воздухе. Это обстоятельство также подтверждается и в момент *A3*, когда резкое увеличение активности газа радона в условиях влажности более 90 % вызвало видимый рост коэффициента равновесия лишь до значения 0,33, при этом МД гамма-излучения выросло более значительно.

Таким образом, можно констатировать, что, озвученные ранее предположения о механизме образования в воздушной среде «долгоживущих» совместных кластеров ДПР радона и аэрозолей подтверждены. Подобное обстоятельство, в свою очередь, позволяет рассматривать влажность среды, как фактор, способствующий при определенных условиях кардинальному изменению картины поведения МД гамма-излучения от изменений активности радона в воздухе.

Литература:

1.Уникальная радоновая аномалия в с. Атаманово / Арефина Л.Г., Болотова М.В., Воеводин В.А., Коваленко В.В., Кургуз С.А. // Материалы II Международной конференции «Радиоактивность и радтоактивные элементы в среде обитания человека», 18-22 октября 2004 г. – Томск: Изд-во «Тантем-Арт», 2004. С. 52-54.

2. Вариации мощности дозы внутри помещений в домах с аномальным уровнем радона в воздухе / Кургуз С.А., Воеводин В.А., Болотова М.В., Коваленко В.В. // «Ученые – юбилею вуза»: Сб. науч. тр. – Красноярск: КрасГАСА, 2002. С. 61-70.

3. B.S. Bajwa et al. Acombination study of indoor radon and gamma radiation levels in Tusham ring complex / ELSEVIER, Radiation Measurements 43 (2008) S475 – S478.

4. Дозы облучения населения Красноярского края / Григорьев А.И., Коваленко В.В., Панкратов Л.В., Собянина Е.В. // Материалы II Международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека», 18-22 октября 2004 г. – Томск: Изд-во «Тантем-Арт», 2004. С. 163-166.

5. Кургуз С.А. Некоторые особенности и закономерности в поведении мощности дозы гамма-излучения в домах с аномальным содержанием радона в воздухе // Приложение к журналу «В мире научных открытий», Вып. 1, Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции «Научное творчество XXI века» с международным участием. – Красноярск: Изд-во «Научно-инновационный центр», 2011. С. 298-299.

6 Швер Ц.А. Климат Красноярска / Швер Ц.А. Герасимова А.С. // Ленинград Гидрометеоиздат, 1982, 229 с.

7. Собянина Е.В. Природные причины изменчивости γ-фона / Собянина Е.В., Григорьев А.И., Коваленко В.В. // Материалы II Международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека», 18-22 октября 2004 г. – Томск: Изд-во «Тантем-Арт», 2004. С. 561-564.

8. Доклад НКДАР ООН, Источники, эффекты и опасность ионизирующей радиации, изд. Мир, 1992, т. 1., 534 с.

9. Отчет НКДАР ООН, Источники, эффекты и опасность ионизирующего излучения, изд. РАДЭКОН, 2002, т. 1., 306 с.