

Дьячков В.В.¹, Бияшева З.М.², Исмагулова Д.А.²,
Нүкетай А.Б.², Зарипова Ю.А.^{1,2*}, Шакиров А.А.^{1,2}, Юшков А.В.¹

¹Ашық түрдегі ұлттық нанотехнологиялық зертхана, Қазақстан, Алматы қ.

²Биология және биотехнология мәселелері ғылыми-зерттеу институты, Қазақстан, Алматы қ.

*e-mail: ZJ_KazNU@mail.ru

Әкімшілік ғимараттардағы және тұрғын үй-жайлардағы радон изотоптарының эманациясын өлшеу

Бұл жұмыс Алматы қаласының тектоникалық сынықтар аймағына жақын орналасқан мектеп-интернаттарда табиғи радионуклидтердің альфа-белсенділігінің таралуын зерттеуге арналған. Өлшеулер бір мезгілде тұрғын үй және әкімшілік ғимарат болып табылатын мектеп-интернаттарда жүргізілді. Нәтижесінде 2D-радон изотоптарының альфа-сәулелену ағын тығыздығының таралу топологиясы және әрбір мектеп-интернаттың биіктігін (қабат) өлшеп, олардың ЕЫӨ-і мен 2D альфа-сәулелену ағын тығыздығының тектоникалық сыныққа дейінгі қашықтықта таралу топологиясы құрастырылды. Өлшеу нәтижелері бойынша тектоникалық сынықтан радонның шоғырлану коэффициенті табылды. Алынған заңдылықтарды пайдалана отырып, егер олардың тектоникалық сынықтарға дейінгі арақашықтығы белгілі болса, басқа мектептер үшін де көлемді альфа-белсенділікке тәуелділік кестесін құруға болады.

Түйін сөздер: радон, радон ыдырауының еншілес өнімдері, альфа-белсенділігі, тектоникалық сынықтар, табиғи радиациялық фон.

Введение

Эманация изотопов радона – ^{219}Rn , ^{220}Rn , ^{222}Rn из земной коры создает вертикальное h -распределение этих онкоопасных радиоактивных газов в земной атмосфере. Изотопы радона насыщают клетки организма и межклеточное пространство дочерними продуктами распада. По данным Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ, публикации №50 и №65) основная доля онкологических заболеваний легких и бронхов вызывается именно изотопами радона и, в особенности, их ДПР [1, 2]. Радон классифицируется Международной организацией здравоохранения, Агентством по исследованию рака (IARC) в качестве канцерогена I группы [3]. Воздействие радона является второй по значимости причиной развития рака легких и первой для некурящих людей в мире [4].

Первые исследования радиологического воздействия радона на население показали, что концентрация радона в воздухе жилых домов, особенно одноэтажных, часто превышает даже уровень предельно допустимых концентраций, установленных для работников урановых рудников, где служба безопасности традиционно борется за снижение накопления радиологически опасных концентраций радона. Он попадает в атмосферу помещений различными путями: а) из наружного воздуха; б) из грунтового основания здания; в) выделяется из строительных материалов или ограждающих конструкций, изготовленных с применением горных пород; г) воды из системы внутреннего водоснабжения здания; д)

сжигаемого в здании топлива (бытовой газ, каменный уголь, торф, горючие сланцы) [5-6].

Несмотря на то, что онкологическая опасность радона известна и изучается довольно давно [1-2, 7-10], до 1980 года ни в одной стране мира не устанавливались нормативы на содержание радона и его дочерних продуктов в помещениях. Исследования, проведенные в Европе, Северной Америке и Китае, подтвердили, что низкие уровни концентрации радона, также представляют риски для здоровья и в значительной мере способствуют заболеваемости раком легких во всем мире [9, 11-14]. Большинство людей подвергается самому большому воздействию радона в жилых домах и производственных помещениях [12, 15]. Изотоп ^{222}Rn дает примерно 50–55% дозы облучения, которое ежегодно получает каждый житель Земли от природных радионуклидов, изотоп ^{220}Rn прибавляет к этому еще ~5–10%. Международные организации по радиационной защите [16] рекомендуют проводить измерения уровня радона во всех домах, на рабочих местах и в других зданиях с высоким уровнем занятости, что актуализирует данную проблему и соответствующие измерения. Развитые страны законодательно решают эту проблему [4, 16], а также создают специальные службы.

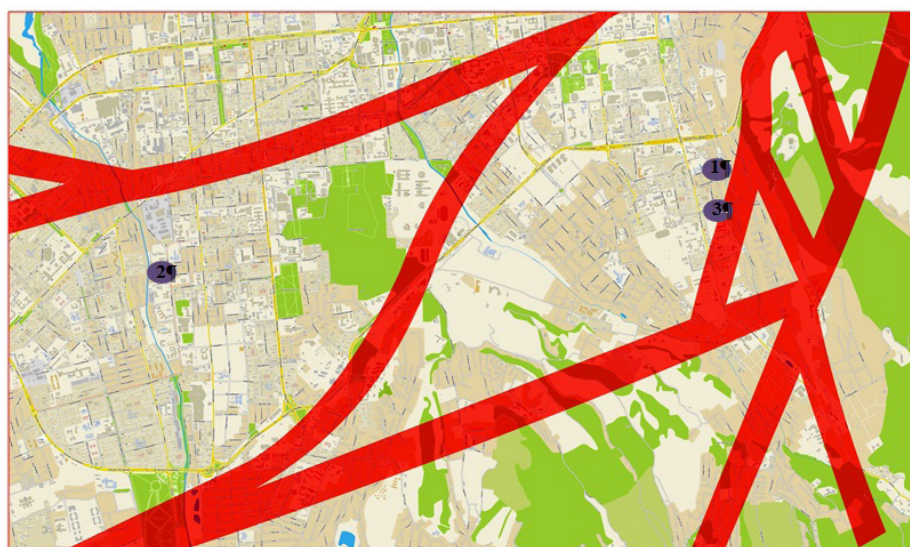
Тектонические разломы Территорию г. Алматы пересекают 5 крупных тектонических разломов. В настоящей работе был изучен естественный альфа-фон школ-интернатов, находящихся вблизи зон тектонических разломов г. Алматы. Источником радона в помещении обычно является строительная площадка, куда радон по-

ступает с почвенным газом через разломы и трещины в фундаменте посредством конвекции под давлением. В некоторых случаях источником радона может быть бытовая вода из пробуренных скважин. Источники поступления радона из земных недр можно разделить на две группы: 1) горные породы, где радон поступает в дома из таких пород, как например, сланец, гранит. Что в результате может образовать значительные по площади участки с высокой концентрацией радона и превышать ПДК в десятки раз (до 1000 Бк/м³); 2) радононосные тектонические зоны, которые характеризуются аномальными концентрациями радона. Территорию г. Алматы пересекают 5 крупных тектонических разломов. Концентрация радона в атмосфере домов, расположенных над такими зонами, может достигать высоких значений до десятков тысяч Бк/м³. Радоновое воздействие в домашних условиях является самым важным из-за большого времени экспозиции. Однако, люди подвергаются воздействию радона во всех помещениях, включая рабочие места, детские сады, школы и общественные здания в целом. Тогда концентрации радона сильно варьируются в пределах небольших географических районов и колеблются от значений от 10 Бк/м³ до 50000 Бк/м³ [17-19].

Методика измерений

Измерения проводились электронной радиометрической аппаратурой – альфа-дозиметром

«РКС-01А-СОЛО», разработанный в Республике Казахстан [20]. В приборе РКС-01А в блоке детектирования установлен сцинтилляционный детектор. Диапазон измерения плотности потока альфа-частиц от 0,2 до 10⁵ част./(мин*см²), а диапазон регистрируемых энергий от 1,0 до 8,0 МэВ. В приборе РКС-01Б в блоке детектирования установлен сцинтилляционный детектор. Он предназначен для комплексного радиационного контроля окружающей среды, рабочих мест, установок и транспортных средств и позволяет проводить идентификацию радионуклидного состава исследуемых проб и окружающей среды. В качестве объектов исследования выбирались школы-интернаты, которые одновременно являются и жилыми, и административными помещениями. Эти школы-интернаты подобраны таким образом, что они находятся вблизи зон тектонических разломов г. Алматы (рисунок 1). Это специальная школа-интернат «Дом надежды» для детей временно оставшихся без попечения родителей; Общеобразовательная школа-интернат №10 для детей из малообеспеченных семей; Общеобразовательная школа-интернат №17. Все измерения проводились через одинаковое расстояние между измеряемыми точками. В каждой точке выполнялось по 3 измерения на расстояние 1 м от поверхности пола. Для измерения разработаны маршруты, обеспечивающие, как 2D-топологию, так и 3D-топологию активности радона в указанных объектах.



кружки – расположение школ-интернатов.

Рисунок 1 – Карта тектонических разломов проходящих через г. Алматы с указанием позиций альфа-радиометрических измерений

Результаты эксперимента

По разработанным методикам измерения вертикальной и горизонтальной топологий эманации изотопов радона в зданиях и помещениях были получены значения активностей альфа-излучения в школах-интернатах г. Алматы: школа №1 (#1, 223 м от разлома); школа №2 (#2, 1060 м от разлома); школа №3 (#3, 190 м от разлома). Расстояния от тектонических разломов до измеряемых школ-интернатов рассчитывали при помощи программы **Google Earth с учетом масштаба**. Расположение представлено на рисунке 1. Методика включает в себя определения позиций измерения радиометрическими приборами и состоит минимум из 6 точек, равномерно распределенных вдоль всего здания на каждом этаже. Результаты альфа-измерений представлены на рисунке 2. Из полученных результатов отчетливо видна, хорошо известная в мировой литературе, закономерность – подчинение объемной активности радона барометрической формуле $N=N_0 e^{-kh}$ [21]. Из барометрической формулы следует экспоненциальный спад активности радона с высотой (этажностью).

Проведен статистический анализ полученных результатов измерения плотности потока альфа-излучения в воздушной среде. Проведена проверка соответствия объемной активности радона барометрической формуле экспонен-

циального спада активности радона с увеличением высоты (этажности). В школе #2 (1060 м от разлома) альфа-активность уменьшается с увеличением этажности, что не так сильно проявляется в школах #1 (223 м от разлома) и #3 (190 м от разлома), что вероятно, связано с расположением по отношению к тектоническим разломам: школы #1 и #3, которые находятся на расстоянии 223 м и 190 м, соответственно. А школа #2 более удалена от разлома – на расстоянии 1060 м. Поэтому коэффициент спада барометрической формулы (коэффициент концентрации радона) имеет большее значение для школы #2.

Таким образом, можно найти зависимость этого коэффициента от расстояния от тектонического разлома. Полученная закономерность представлена на рисунке 10. Для школы #1 коэффициент меньше, чем для школы #3, что связано с расположением школы-интернаты вблизи двойного тектонического разлома (рисунок 1). Таким образом, используя полученную закономерность (рисунок 3), можно построить график зависимости объемной альфа-активности для других школ, если известно их расстояния от тектонического разлома.

Аналогично уровень плотности потока альфа-излучения повышен для школ #1 и #3 в сравнении с более удаленной от разлома школой #2 (рисунок 4).

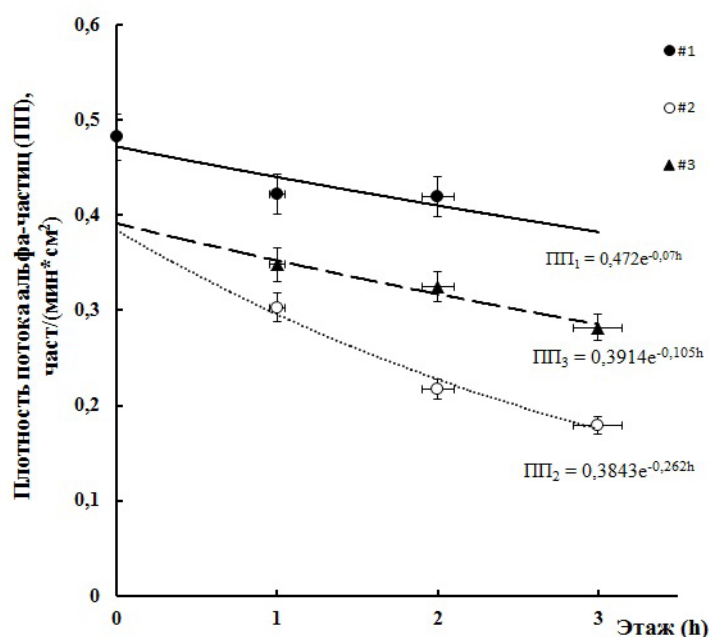


Рисунок 2 – Распределение альфа-излучения изотопов радона и их ДПР в школах-интернатах г. Алматы

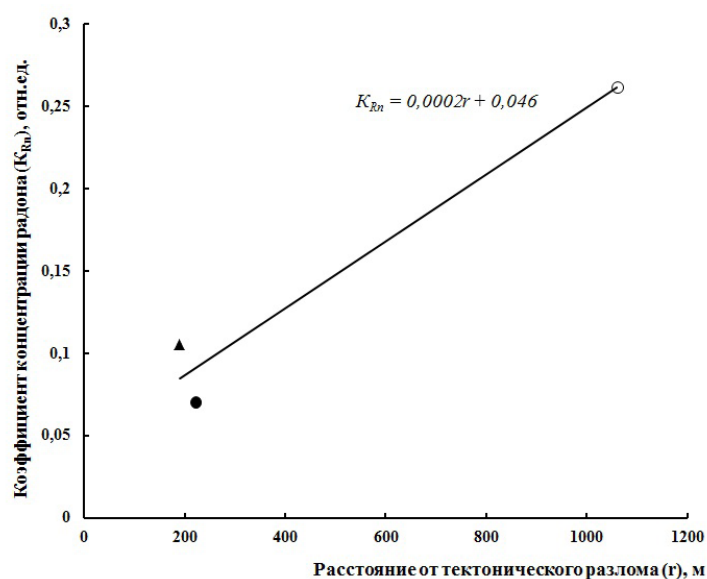
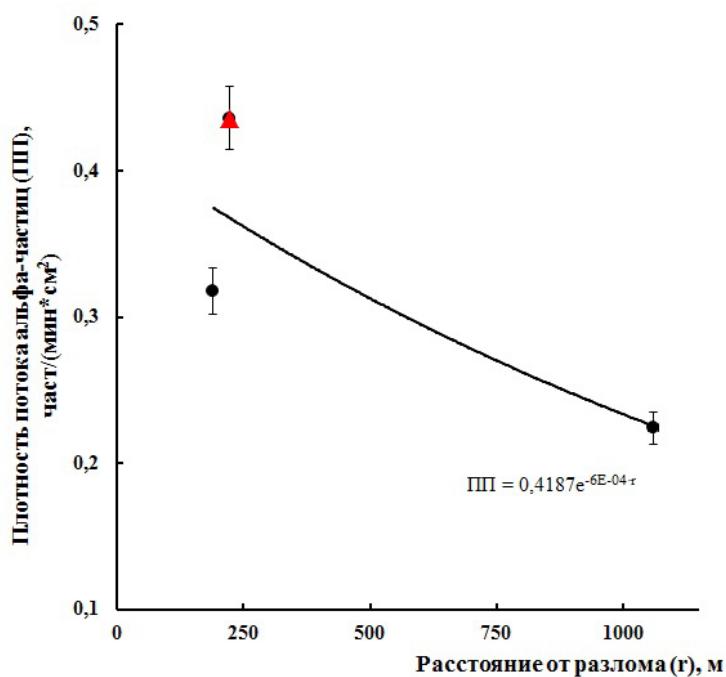


Рисунок 3 – Зависимость коэффициентов концентрации радона от расстояния от тектонического разлома



треугольник – для школы #1 (двойной тектонический разлом).

Рисунок 4 – Зависимость плотности потока альфа-излучения от расстояния от тектонического разлома

Заключение

Уровень альфа-фона в школах не превышал допустимую норму радиационного фона для г. Алматы. Однако если эмпирически учесть си-

нергетические эффекты, связанные с одновременным воздействием на организм как радиоактивного фактора от изотопов радона, так и химическое отравление тяжелыми металлами, которыми являются ДПР радона, то следует

сделать вывод, что измеренная активность превышает допустимый фон в школах близко расположенных к тектоническим разломам (#1, #3). В школе #2 или удаленной от разлома подобное явление не наблюдается. Разница между экспериментальными и фоновыми данными достовер-

на по критерию Стьюдента на уровнях вероятности $p \leq 0,05$.

Статья подготовлена в рамках грантового финансирования научных исследований по проектам №AP05131884 и №AP05133577).

Литература

- 1 Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах. Публикация 65 МКРЗ. Пер с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 78 с.
- 2 Риск заболевания раком легких в связи с облучением дочерними продуктами распада радона внутри помещений: Публикация 50 МКРЗ. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 112 с.
- 3 2012 IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans // IARC. – Vol. 100D Radiation. – 2012. – 341 p.
- 4 The World Health Organization (WHO). WHO Handbook on Indoor Radon. – 2009. – http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241547673_eng.pdf.
- 5 Nazaroff W.W. Radon transport from soil to air // Reviews of Geophysics. –1992. – Vol. 30, Issue 2. – P. 137-160.
- 6 Ashok G. V., Nagaiah N., Shiva Prasad N. G. Indoor radon concentration and its possible dependence on ventilation rate and flooring type // Radiation Protection Dosimetry. – 2012. –Vol. 148, Issue 1. – P. 92-100.
- 7 Milner J., Shrubsole C., Das P., Jones B., Ridley I., Chalabi Z., Hamilton I., Armstrong B., Davies M., Wilkinson P. Home energy efficiency and risk of breast cancer: a modelling study // BMJ. – 2014. – Vol. 348. – <https://www.bmj.com/content/348/bmj.f7493>.
- 8 Fisenne I.M., Machta L., Harley N.H. Stratospheric radon measurements in three North American locations // The Natural Radiation Environment VII: VIIth Int. Symp. On the NRE. – 2005. – Vol. 7. – P. 715-721.
- 9 Darby S., Hill D., Deo H., et al. Residential radon and lung cancer-detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14,208 persons without lung cancer from 13 epidemiological studies in Europe // Scand J Work Environ Health. –2006. – Vol. 32. – P. 1–84.
- 10 Ярмошенко И.В., Кирдин И.А., Жуковский М.В., Астраханцева С.Ю. Мета-анализ эпидемиологических исследований риска рака легкого при облучении радоном в жилищах // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2003. – Т.48, №5. – С. 33-43.
- 11 Chen J., Moir D. and Whyte J. Canadian population risk of radon induced lung cancer: a re-assessment based on the recent cross-Canada radon survey // Radiat Prot Dosimetry. – 2012. – Vol. 152. – P. 9–13.
- 12 Fan Y., Jiang Y., Xiang J., Wang J., Sun Z., Ren G., Yao S., Chang R., Zhao Y., Qiao Y., Zhou Q. A cohort study on risk factors of lung cancer in Yunnan tin miners // Zhongguo Fei Ai Za Zhi. –2013. – Vol.16 (4). – P. 184-190.
- 13 Chen J. and Tracy B. Canadian population risk of radon induced lung cancer // Can. J. Respir. Ther. – 2005. – Vol. 41. P. 19–27.
- 14 McGregor R. G., Vasudev P., Letourneau E. G., McCullough R. S., Prantl, F. A. and Taniguchi, H. Background concentration of radon daughters in Canadian homes // Health Phys. – 1980. – Vol. 39. – P. 285–289.
- 15 Tomasek L. Lung cancer mortality among Czech uranium miner-60 years since exposure // J Radoil Prot. – 2012. – Vol. 32(3). – P. 301-314.
- 16 Measurement Protocol for Radon in Dwellings. <http://www.nrpa.no/filer/e33cd9ffab.pdf>. // NRPA – 2013. – 17 p.
- 17 Watson R.J., Smethurst M.A., Ganerod G.V., Finne I., Rudjord A.L. The use of mapped geology as a predictor of radon potential in Norway //Radioact. –2017. – Vol. 166. – P. 341–354.
- 18 Lubin J.H., Wang Z.Y., Boice J.D., Xu Z.Y., Blot W.J., De Wang L., Kleinerman R.A. Risk of lung cancer and residential radon in China: pooled results of two studies // Int. J. Canc. –2004. – Vol. 109. – P.132–137.
- 19 Brauner E.V., Rasmussen T.V., Gunnarsen L. Variation in residential radon levels in new Danish homes // Indoor. – 2013. – Vol. 23(4). – P. 311-317.
- 20 Севостьянов В.Н. Проблема радонобезопасности в Казахстане. – Алматы: КазгосИНТИ, 2004. – 212 с.
- 21 Wilkening M. Radon in the Environment. – Elsevier Science, 1990. – 136 p.

References

- 1 ICRP Publication 65. Protection Against Radon-222 at Home and at Work, Ann. ICRP 23(2), 1-45 (1993).
- 2 ICRP Publication 50. Lung Cancer Risk from Exposures to Radon Daughters, Ann. ICRP 17(1), 1-60 (1987).
- 3 2012 IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, (IARC, Vol. 100D Radiation, 2012), 341 p.
- 4 The World Health Organization (WHO). WHO Handbook on Indoor Radon (2009). – http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241547673_eng.pdf.
- 5 W.W. Nazaroff, Reviews of Geophysics 30 (2), 137-160 (1992).

- 6 G.V. Ashok, N. Nagaiah and N.G. Shiva Prasad, *Radiation Protection Dosimetry* 148 (1), 92-100 (2012).
- 7 J. Milner, C. Shrubsole, P. Das, B. Jones, I. Ridley, Z. Chalabi, I. Hamilton, B. Armstrong, M. Davies and P. Wilkinson, *BMJ* 348 (2014).
- 8 I.M. Fisenne, L. Machta and N.H. Harley, *The Natural Radiation Environment VII: VIIth Int. Symp. On the NRE* 7, 715-721 (2005).
- 9 S. Darby, D. Hill, H. Deo and et al, *Scand J Work Environ Health* 32, 1-84 (2006).
- 10 I.V. Yarmoshenko, I.A. Kirdin, M.V. Zhukovskij and S.Yu. Astrahanceva, *Medicinskaya radiologiya i radiacionnaya bezopasnost'* 48(5), 33-43 (2003). (in Russ).
- 11 J. Chen, D. Moir and J. Whyte, *Radiat Prot Dosimetry* 152, 9-13 (2012).
- 12 Y. Fan, Y. Jiang, J. Xiang, J. Wang, Z. Sun, G. Ren, S. Yao, R. Chang, Y. Zhao, Y. Qiao and Q. Zhou, *Zhongguo Fei Ai Za Zhi* 16 (4), 184-190 (2013).
- 13 J. Chen and B. Tracy, *Can. J. Respir. Ther.* 41, 19-27 (2005).
- 14 R.G. McGregor, P. Vasudev, E.G. Letourneau, R.S. McCullough, F.A. Prantl and H. Taniguchi, *Health Phys.* 39, 285-289 (1980).
- 15 L. Tomasek, *J Radoil Prot.* 32(3), 301-314 (2012).
- 16 *Measurement Protocol for Radon in Dwellings.* NRP, 17 (2013).
- 17 R.J. Watson, M.A. Smethurst, G.V. Ganerod, I. Finne and A.L. Rudjord, *Radioact.* 166, 341-354 (2017).
- 18 J.H. Lubin, Z.Y. Wang, J.D. Boice, Xu Z.Y., Blot W.J., L. De Wang and R.A. Kleinerman, *Int. J. Canc.* 109, 132-137 (2004).
- 19 E.V. Brauner, T.V. Rasmussen and L. Gunnarsen, *Indoor* 23(4), 311-317 (2013).
- 20 V.N. Sevostyanov *Problema radonbezopasnosti v Kazahstane* (Almaty: KazgosINTI, 2004), 212 p. (in Russ).
- 21 M. Wilkening *Radon in the Environment* (Elsevier Science, 1990), pp. 59-70.