

Суммарная объемная бета-активность атмосферного воздуха как интегральный критерий оценки выбросов в атмосферу природных и техногенных радионуклидов

И.П. Стамат

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Одним из показателей, который должен контролироваться и ежегодно заноситься в радиационно-гигиенические паспорта территорий, является суммарная объемная бета-активность атмосферного воздуха в формате средней за год величины в единицах Бк/м³. В разные годы в радиационно-гигиенических паспортах территорий приводились сведения о содержании отдельных радионуклидов, однако наиболее представительными за все годы были сведения о суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха. Эти сведения на большинстве территорий получают подразделения Росгидромета, в отдельных субъектах Российской Федерации измерения проводятся силами организации Роспотребнадзора. Однако в последние годы в радиационно-гигиенических паспортах большинства субъектов Российской Федерации приводятся расчетные значения суммарной объемной бета-активности воздуха, полученные методом усреднения данных по географическим районам.

В настоящей статье сделана попытка обобщить сведения о суммарной объемной бета-активности воздуха в радиационно-гигиенических паспортах отдельных субъектов Российской Федерации, оценить долговременную стабильность этого показателя и возможности установления численных значений, которые могут использоваться в качестве реперных при радиационно-гигиеническом мониторинге атмосферного воздуха. Показано, что в условиях нормальной эксплуатации радиационных объектов для территории отдельных субъектов Российской Федерации (не включая территории зон наблюдения крупных радиационных объектов на этих территориях) значение среднегодовой суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха является достаточно стабильной величиной. Установлено, что среднегодовые значения показателя в отдельные годы для территорий Санкт-Петербурга, Красноярского края и Ханты-Мансийского автономного округа — Югры отличаются от средних уровней по данным многолетних наблюдений в пределах до 50%. Получены оценки численных значений среднегодовой суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха, которые могут быть приняты в качестве реперных уровней при радиационно-гигиеническом мониторинге атмосферного воздуха. Анализируются возможные причины различий уровней суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха на территории рассматриваемых субъектов Российской Федерации.

Ключевые слова: атмосферный воздух, суммарная объемная бета-активность, запыленность воздуха, природные радионуклиды, техногенные радионуклиды, удельная активность природных радионуклидов в почвах.

Введение

В современных условиях необходимость ведения постоянного радиационно-гигиенического мониторинга на территории субъектов Российской Федерации, а также на территории крупных населенных пунктов совершенно очевидна. Широкое использование радиоактивных веществ и источников ионизирующего излучения практически во всех областях хозяйственной деятельности человека, различных отраслях науки и техники, интенсивное развитие атомной энергетики и др. требуют постоянного контроля за состоянием радиационной обстановки для своевременного обнаружения первых признаков ради-

ационных аварий и инцидентов. Это является гарантией минимизации неблагоприятных последствий аварий и инцидентов для населения и окружающей среды.

Естественно, что для радиационно-гигиенического мониторинга должны выбираться наиболее простые, легко контролируемые показатели, характеризующие интегральное состояние радиационной обстановки на территории и одновременно обладающие высокой информативностью и чувствительностью к малейшим изменениям радиационной обстановки. К числу таких показателей относится величина, которую принято называть

✉ **Стамат Иван Павлович**

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева
Адрес для переписки: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8. Тел.: (812)232-43-29; e-mail: istamat@mail.ru

суммарной объемной бета-активностью атмосферного воздуха. Физически значение этой величины определяется арифметической суммой объемной активности всех долгоживущих бета-излучающих радионуклидов в атмосферном воздухе [1].

Выбор в пользу бета-излучающих радионуклидов в атмосферном воздухе для радиационно-гигиенического мониторинга сделан прежде всего в связи с тем, что при радиационных авариях на предприятиях ядерного топливного цикла, а также в выбросах этих объектов в условиях их нормальной эксплуатации основными являются бета-излучающие радионуклиды: изотопы цезия (^{134}Cs и ^{137}Cs), ^{90}Sr , изотопы йода (^{125}I и ^{131}I) и др. Поэтому постоянный радиационно-гигиенический мониторинг суммарной объемной бета-активности приземного слоя атмосферного воздуха призван обеспечить обнаружение первых признаков повышенного поступления в атмосферу радионуклидов техногенного происхождения.

Суммарная объемная активность бета-излучающих радионуклидов в атмосферном воздухе считается одним из наиболее информативных интегральных показателей, характеризующих радиационную безопасность территорий. Она является чувствительным критерием оценки интенсивности поступления в атмосферу техногенных радионуклидов в результате эксплуатации предприятий ядерного топливного цикла и других радиационных объектов, а также в результате прошлых радиационных аварий и глобальных выпадений техногенных радионуклидов [2–7].

В силу этого суммарная активность бета-излучающих радионуклидов в атмосферном воздухе, наряду с другими показателями, характеризующими радиационную безопасность населения, вносится в радиационно-гигиенические паспорта субъектов Российской Федерации. В радиационно-гигиенические паспорта территорий ежегодно вносятся сведения о среднегодовых значениях суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха, а также объемной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr (а в некоторых случаях и других техногенных радионуклидов) в формате «среднегодовое значение/максимальное значение». Эти сведения получают по данным радиационно-гигиенического мониторинга атмосферного воздуха в течение года путем периодического определения величины показателей за отдельные периоды времени [8].

В условиях нормальной эксплуатации радиационных объектов, когда поступление бета-излучающих радионуклидов техногенного происхождения в атмосферу находится на низком уровне, суммарная объемная бета-активность приземного слоя атмосферного воздуха практически целиком определяется содержанием в воздухе аэрозолей долгоживущих природных радионуклидов рядов урана (главным образом ^{238}U) и тория (^{232}Th), а также калия (^{40}K) [2, 3].

Основными источниками поступления бета-излучающих радионуклидов техногенного происхождения в атмосферу являются выбросы радиационных объектов. Поступление бета-излучающих радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr и др. в атмосферу в определенной мере может быть также обусловлено ветровым подъемом радиоактивных веществ с поверхности почв, загрязненных в результате глобальных выпадений [4, 7]. На территории отдельных регионов Российской Федерации, подвергшихся загрязнению в результате аварий на Чернобыльской

АЭС и ПО «Маяк», ветровой подъем радиоактивных веществ с поверхности почв является основным источником поступления техногенных радионуклидов в атмосферу. Определенное увеличение содержания техногенных радионуклидов в атмосферном воздухе наблюдалось также в период аварийных выбросов японской АЭС «Фукусима-1».

В условиях нормальной эксплуатации радиационных объектов значения среднегодовой объемной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в атмосферном воздухе на территории субъектов Российской Федерации (за пределами отдельных территорий, загрязненных в результате аварий прошлых лет, а также зон наблюдения крупных радиационных объектов) находятся в диапазоне $(1,0-5,0) \cdot 10^{-7}$ Бк/м³ по ^{137}Cs и $(0,5-2,5) \cdot 10^{-7}$ Бк/м³ по ^{90}Sr [9]. Эти уровни на 7–8 порядков ниже допустимых значений во вдыхаемом воздухе для населения, так что их вклад в облучение населения пренебрежимо мал.

Основными источниками поступления бета-излучающих природных радионуклидов (долгоживущие дочерние продукты распада ^{238}U и ^{232}Th , а также ^{40}K) в атмосферу населенных пунктов являются ветровой подъем природных радионуклидов с поверхности почв, выбросы предприятий добывающей и перерабатывающей отраслей промышленности, в том числе предприятий нефтегазовой отрасли, выделение ^{222}Rn с поверхности почв и производственных отходов с повышенным содержанием природных радионуклидов, выбросы предприятий тепло- и электроэнергетики (ТЭЦ и ТЭС) и др. [3–5].

Характерный диапазон среднегодовых значений суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха на территории субъектов Российской Федерации находится в диапазоне от $1,0 \cdot 10^{-6}$ до $5,0 \cdot 10^{-3}$ Бк/м³ при среднем значении по всей территории страны (за пределами отдельных территорий, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС и ПО «Маяк» и зон наблюдения крупных радиационных объектов) на уровне около $1 \cdot 10^{-4}$ Бк/м³ [9, 10].

По данным НКДАР ООН [2, 3], при среднегодовой суммарной запыленности атмосферного воздуха на уровне 50 мкг/м³ и характерной удельной активности природных радионуклидов рядов ^{238}U и ^{232}Th в почвах в пределах 25–50 Бк/кг значения суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха могут находиться в пределах $(1-2) \cdot 10^{-6}$ Бк/м³. Очевидно, что в условиях нормальной эксплуатации радиационных объектов и отсутствия на территории предприятий добывающей и перерабатывающей отраслей промышленности суммарная объемная бета-активность атмосферного воздуха будет практически целиком определяться ветровым подъемом природных радионуклидов.

В этих условиях можно ожидать, что чем выше удельная активность природных радионуклидов в почвах, а также строительных материалах, которые использованы для возведения зданий, отсыпки дорог и благоустройства территории населенных пунктов, тем большим будет вклад ветрового подъема природных радионуклидов в величину суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха. Однако как текущие, так и среднегодовые значения суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха зависят от большого числа факторов: климатических условий на территории, сезона года, силы и направления ветра, типа почв и содержания природных

радионуклидов в них, интенсивности выбросов предприятий тепло- и электроэнергетики и др. [2, 3]. При этом наиболее высокие значения объемной активности в атмосферном воздухе получены для ^{210}Pb (до $5 \cdot 10^{-4}$ Бк/м³) и ^{228}Ra (до $1 \cdot 10^{-6}$ Бк/м³), максимальная объемная активность других долгоживущих природных радионуклидов в атмосферном воздухе обычно на один-три порядка ниже [3].

Учитывая это, основной целью настоящего исследования являлась оценка возможности использования результатов мониторинга суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха для характеристики состояния радиационной обстановки на территории отдельных субъектов Российской Федерации. Для этого нами выполнен анализ результатов многолетних наблюдений за величиной суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха на территории трех субъектов Российской Федерации: Санкт-Петербурга, Красноярского края и Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Выбор этих субъектов Российской Федерации для анализа диктовался главным образом тем, что на этих территориях сведения в РГПТ о величине показателя практически всегда приводились по данным инструментальных измерений. Причем в населенных пунктах на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры эти измерения многие годы выполнялись специалистами ФБУН «Научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева».

Кроме того, на территории Санкт-Петербурга отсутствуют добывающие предприятия и крупные перерабатывающие предприятия, а предприятия энергетики работают на природном газе, так что за последние годы суммарная объемная бета-активность должна целиком определяться ветровым выносом природных радионуклидов с по-

верхности почв, грунтов, дорог и пр. Для территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, наоборот, характерна высокая плотность предприятий по добыче и первичной подготовке нефти и газа, а на территории Красноярского края имеется большое количество предприятий по добыче и переработке минерального сырья.

На примере выбранных субъектов Российской Федерации нами рассматривались две задачи. Первая из них состояла в том, чтобы оценить долгосрочную стабильность показателя по данным измерений за длительный период для территории отдельных субъектов Российской Федерации. Вторая задача заключалась в оценке возможности установления предельного уровня суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха на территории выбранных субъектов Российской Федерации, выше которой должны предприниматься определенные меры для более детального анализа радиационной обстановки и, в необходимых случаях, мероприятий по защите населения.

Материалы и методы

В качестве исходных данных для анализа содержания бета-излучающих радионуклидов в приземном слое атмосферного воздуха на территории выбранных субъектов Российской Федерации нами использованы официальные сведения, которые приведены в таблице 1.

Основная часть сведений в таблице 1 приведена по данным радиационно-гигиенических паспортов Российской Федерации [9], данные за 2014 г. по Санкт-Петербургу взяты из отчета [8], среднегодовое значение суммарной объемной бета-активности воздуха для территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры принято по результатам наших измерений [11], а максимальное значение – из [10].

Таблица 1

Суммарная объемная бета-активность ($\Sigma_b \cdot 10^{-5}$) и объемная активность ^{137}Cs ($A_{\text{Cs}} \cdot 10^{-6}$) в атмосферном воздухе в разные годы

| Годы | Санкт-Петербург | | ХМАО – Югра | | Красноярский край | |
|------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| | Σ_b , Бк/м ³ | A_{Cs} , Бк/м ³ | Σ_b , Бк/м ³ | A_{Cs} , Бк/м ³ | Σ_b , Бк/м ³ | A_{Cs} , Бк/м ³ |
| 2000 | 8,0 / – | – / – | 21,0 / – | – / – | – / – | 0,77 / – |
| 2001 | 0,5 / – | – / – | 80,0 / – | – / – | – / – | 0,52 / – |
| 2002 | 7,3 / – | – / – | 77,6 / – | – / – | – / – | 0,14 / – |
| 2003 | 6,0 / – | 0,6 / – | 54,0 / – | – / – | 31,0 / – | 1,0 / – |
| 2004 | 8,9 / 47,7 | 0,9 / 2,3 | 20,0 / 34,0 | – / – | 35,0 / 536 | 0,83 / 10,0 |
| 2005 | 7,4 / 27,6 | 0,9 / 2,0 | 32,0 / 76,0 | – / – | 33,0 / 344 | 0,53 / 4,2 |
| 2006 | 7,2 / 26,9 | 0,9 / 1,8 | 40,0 / 64,0 | – / – | 22,3 / 253 | 0,76 / 3,9 |
| 2007 | 7,3 / 30,5 | 0,8 / 1,6 | 41,4 / 66,0 | – / – | 21,1 / 263 | 0,69 / 5,4 |
| 2008 | 7,4 / 30,3 | 0,7 / 1,6 | 29,0 / 39,0 | – / – | 21,0 / 240 | 0,62 / 5,8 |
| 2009 | 11,9 / 39,0 | 0,5 / 1,0 | 22,0 / 41,0 | – / – | 22,9 / 44,2 | 0,36 / 0,6 |
| 2010 | 14,2 / 61,1 | – / < 0,7 | 28,0 / 57,0 | – / – | 16,4 / 178 | 0,56 / 5,4 |
| 2011 | 12,2 / 43,2 | 10,4 / 108 | 10,4 / 39,5 | 1,5 / 17,0 | 15,9 / 164 | 3,4 / 34,0 |
| 2012 | 10,7 / 307 | 0,4 / 0,8 | 45,0 / 36,4 | 0,2 / 0,3 | 13,8 / 81,0 | 0,2 / 0,4 |
| 2013 | 7,7 / 47,0 | 0,6 / 3,2 | 9,7 / 25,4 | 0,2 / 0,4 | 13,2 / 74,0 | 0,2 / 0,4 |
| 2014 | 8,2 / 47,0 | 0,5 / 0,9 | – / – | – / – | – / – | – / – |

В числителе приведены среднегодовые значения показателей, в знаменателе – максимальные разовые значения за текущий год.

Отметим, что в период с 2001 по 2009 г. суммарная объемная бета-активность в радиационно-гигиенических паспортах Ханты-Мансийского автономного округа – Югры приведена по результатам наших измерений. По данным измерений в 2012 г., нами была получена величина $45 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³, однако в паспорте территории она оказалась примерно в 4 раза ниже, как и по данным за 2011 и 2013 гг. При анализе этих данных, сведения в паспортах территории за 2011 и 2013 гг. не учитывались, а данные за 2012 г. приняты по результатам измерений [11].

Для анализа кратковременных изменений суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха на территории Санкт-Петербурга нами использованы данные ФГБУ «Северо-Западное УГМС» [8]. Результаты определения среднемесячных значений суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха и максимальные результаты разовых измерений за каждый месяц 2014 г. приведены в таблице 2, где приведены также среднемесячные значения аэрозольной фракции объемной активности ¹³⁷Cs в воздухе.

радионуклидов ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в атмосферном воздухе на территории города за эти же годы не превышала значений $1 \cdot 10^{-6}$ Бк/м³ и практически не вносила значимого вклада в величину суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха. Заметим, что присутствие других радионуклидов техногенного происхождения в атмосферном воздухе на территории города за этот период выявлено не было [8, 9].

Из этого следует, что величина суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха на территории Санкт-Петербурга за последние годы должна была целиком определяться ветровым выносом природных радионуклидов с поверхности почв, грунтов, дорог и пр., поскольку в городе отсутствуют добывающие предприятия и крупные перерабатывающие предприятия, а все предприятия теплоэнергетики работают на природном газе. Учитывая это, ожидаемое значение суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха в городе можно оценить, если известна удельная активность природных радионуклидов в почвах и основных видах строительного сырья и материалов, а также суммарная запыленность воздуха.

Таблица 2

Суммарная объемная бета-активность ($\Sigma_b, \cdot 10^{-5}$) и объемная активность ¹³⁷Cs ($A_{Cs}, \cdot 10^{-6}$) в атмосферном воздухе Санкт-Петербурга в 2014 г., Бк/м³

| Показатель | Месяцы 2014 года | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| $\Sigma_b, \text{Бк/м}^3$ | <u>3,6</u> 9,0 | <u>6,1</u> 24,4 | <u>8,9</u> 22,7 | <u>10,2</u> 18,9 | <u>10,9</u> 24,4 | <u>8,5</u> 21,4 | <u>10,6</u> 21,4 | <u>9,4</u> 22,5 | <u>11,2</u> 22,5 | <u>8,4</u> 23,9 | <u>7,3</u> 16,1 | <u>8,2</u> 36,4 |
| $A_{Cs}, \text{Бк/м}^3$ | <0,1 | 0,6 | 0,4 | 0,4 | 0,9 | <0,1 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,6 | 0,9 | 0,3 |

В числителе приведены среднемесячные значения суммарной объемной бета-активности воздуха, в знаменателе – максимальные разовые значения за текущий месяц. Для объемной активности ¹³⁷Cs приведены только среднемесячные данные.

Поскольку в данной статье не ставилась задача определения статистически достоверных реперных уровней суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха на территории отдельных субъектов Российской Федерации, при анализе данных таблиц 1 и 2 оценивалось только среднее значение показателя по многолетним данным. Как указано выше, основная цель настоящего исследования заключалась в оценке долговременной стабильности показателя для конкретной территории.

Очевидно, что установление статистически достоверных реперных уровней показателя для отдельных территорий потребует более детального анализа процессов формирования радионуклидного состава атмосферы, учета основных влияющих факторов и т.д.

Результаты и обсуждение

По многолетним данным, взятым из радиационно-гигиенических паспортов Санкт-Петербурга за 2000–2014 гг., среднегодовые значения суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха на территории города находятся в пределах от $0,5 \cdot 10^{-5}$ до $14,1 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³, достигая в отдельные периоды по данным разовых измерений максимальных значений $3,1 \cdot 10^{-3}$ Бк/м³. При этом среднегодовая объемная активность техногенных

По данным почти 1250 анализов, выполненных в 2014 г. ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург», среднегодовая суммарная запыленность воздуха в Санкт-Петербурге составила около 200 мкг/м³. По данным наших исследований и сведений из литературы, удельная активность природных радионуклидов рядов ²³⁸U и ²³²Th в почвах на территории нашего региона составляет около 50 Бк/кг [5], а по данным радиационно-гигиенических паспортов Санкт-Петербурга за 1998–2013 гг. среднее за весь период наблюдений значение удельной активности этих радионуклидов в основных строительных материалах, используемых в городе, составила около 110 Бк/кг [12].

Тогда, следуя модели расчетов НКДАР ООН [3], среднее значение суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге должно быть в пределах $(1,0-2,2) \cdot 10^{-5}$ Бк/м³. Как указано выше, реальные уровни показателя за последние 15 лет, кроме 2001 г., были заметно выше этих значений. Если не принимать во внимание данные за 2001 г., когда в радиационно-гигиеническом паспорте города приведено среднегодовое значение суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха на территории Санкт-Петербурга минимальным за весь период с 2000 г. ($0,5 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³), то диапазон

среднегодовых значений показателя будет характеризоваться значениями $(6,0-14,2) \cdot 10^{-5}$ Бк/м³.

Таким образом, если в расчетах не учитывать данные за 2001 г., то среднее за весь период наблюдений значение суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха на территории Санкт-Петербурга составит около $9,0 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³. Причем важно отметить, что среднегодовые значения суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха на территории города в отдельные годы отличались от указанной средней величины более чем на 20% только в 2003 г. (меньше на 33%) и в 2010 г. (больше на 58%). Во все остальные годы наблюдений эти отличия составляли менее 10–15%, что вполне можно объяснить естественной вариабельностью показателя и погрешностью результатов измерений.

Из сказанного выше следует, что в качестве реперной величины среднегодовой суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха, характерной в долгосрочной перспективе для территории Санкт-Петербурга, может быть принято значение показателя на уровне $9,0 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³. При этом, учитывая, что в условиях нормальной эксплуатации радиационных объектов суммарная объемная бета-активность атмосферного воздуха на территории Санкт-Петербурга определяется поступлением в воздух природных радионуклидов в основном за счет ветрового подъема, вариабельность среднегодовых значений показателя в пределах $\pm 50\%$ от реперной величины $9,0 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³ можно отнести к естественной вариабельности показателя. Тогда диапазон значений среднегодовой суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха на территории Санкт-Петербурга $(4,5-13,5) \cdot 10^{-5}$ Бк/м³ можно принять в качестве естественного радиационного фона для приземного слоя атмосферы города.

Существенно более сложным является соотношение результатов разовых краткосрочных измерений и среднемесячных значений суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха на территории Санкт-Петербурга. Абсолютные значения этих показателей и соотношение между ними, кроме изменений от сезона к сезону, зависит от целого ряда факторов, которые в большинстве своем имеют случайный характер: это сила и направление ветра, вид и интенсивность атмосферных выпадений, глубина увлажнения (или промерзания) почвы, высота снежного покрова и т.п. Так, по данным ФГБУ «Северо-Западное УГМС» за 2014 г. [8], если соотношение между результатами разовых измерений и среднемесячных значений суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге может колебаться в разные месяцы в течение года в пределах от 2 до 4–5 раз, то в течение года оно может достигать одного порядка. В то же время, как следует из анализа данных таблиц 1 и 2, среднемесячные значения суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха на территории Санкт-Петербурга существенно более стабильны и отличаются от среднегодовых значений показателя в пределах до двух-трех раз.

Учитывая это, в качестве численных значений суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха для территории Санкт-Петербурга, при превышении которых необходимы более детальные исследования радионуклидного состава аэрозолей, на наш взгляд, могут быть приняты следующие уровни:

– если среднемесячное значение суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха превысило реперный уровень показателя $9,0 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³ более чем в 3 раза (составило более $3,0 \cdot 10^{-4}$ Бк/м³);

– если по результатам разовых измерений полученное значение суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха превысило реперный уровень среднегодового значения показателя $9,0 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³ более чем в 10 раз (составило более $1,0 \cdot 10^{-3}$ Бк/м³).

Интересно отметить, что за последние 15 лет ведения радиационно-гигиенического мониторинга за атмосферным воздухом на территории Санкт-Петербурга только в 2011 г. объемная активность аэрозолей ¹³⁷Cs в воздухе превысила уровень, который является характерным для атмосферы города и не превышает $1 \cdot 10^{-6}$ Бк/м³. Среднегодовое значение показателя в 2011 г. составило $10,4 \cdot 10^{-6}$ Бк/м³, а максимальное разовое значение – $108 \cdot 10^{-6}$ Бк/м³, что примерно на два порядка выше характерного для атмосферы города уровня.

Вероятнее всего, такое повышение объемной активности аэрозолей ¹³⁷Cs в атмосфере города было связано с выбросами в результате аварии на атомной электростанции «Фукусима-1» в Японии. Однако уже в следующем 2012 г. объемная активность аэрозолей ¹³⁷Cs в атмосферном воздухе города снизилась до характерного уровня ниже $1 \cdot 10^{-6}$ Бк/м³, хотя в этот же период наблюдалось максимальное за все время радиационно-гигиенического мониторинга разовое значение суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха – $3,07 \cdot 10^{-3}$ Бк/м³. Однако среднегодовое значение показателя и в этом году оказалось на характерном для Санкт-Петербурга уровне $10,4 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³.

Похожей на Санкт-Петербург является ситуация со среднегодовыми значениями суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха и в Красноярском крае, для территории которого в радиационно-гигиенических паспортах имеются сведения о среднегодовых значениях показателя с 2003 г. Интересно, что в первые три года эти значения были примерно в 1,5 раза выше, чем в последующие 8 лет наблюдений. Поэтому, если для оценок принять данные за 2006–2013 гг., то среднее значение суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха составит $1,8 \cdot 10^{-4}$ Бк/м³. За этот период максимальные отличия среднегодовых значений показателя от его среднего значения за весь период наблюдений составили ниже на 28% по данным за 2013 г. и выше на 22% за 2006 г.

Таким образом, в долгосрочной перспективе среднегодовые значения суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха оказываются достаточно стабильными и для территории Красноярского края. Учитывая это, в качестве реперного уровня показателя для этой территории можно рассматривать среднегодовое значение суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха на уровне $1,8 \cdot 10^{-4}$ Бк/м³. При этом среднегодовые значения суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха на территории края в разные годы в пределах $(1,0-3,5) \cdot 10^{-4}$ Бк/м³ могут быть приняты в качестве естественного радиационного фона для приземного слоя атмосферы Красноярского края. Естественно, что сказанное не относится к территории зон наблюдения крупных радиационных объектов.

Интересно также отметить, что объемная активность аэрозольной фракции ^{137}Cs в атмосферном воздухе на территории Красноярского края за более чем 10 лет наблюдений находилась на уровне не выше $1 \cdot 10^{-6}$ Бк/м³, в 2011 г. она составила $3,4 \cdot 10^{-6}$ Бк/м³, а максимальное разовое значение показателя было в 10 раз выше этого значения. Как и в Санкт-Петербурге, среднегодовое значение показателя уже на следующий год снизилось до обычного для края уровня.

По нашим данным, среднегодовые значения суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры в период с 2001 по 2012 г. находились в пределах $(2,2-4,7) \cdot 10^{-4}$ Бк/м³. По данным радиационно-гигиенических паспортов Российской Федерации [9], эти значения были несколько выше в период 2001–2003 гг., хотя с 2004 по 2009 г. в радиационно-гигиенических паспортах территории округа приведены сведения о значениях показателя, полученные по результатам наших исследований. Кроме того, приведенные в радиационно-гигиенических паспортах территории округа за 2011–2013 гг. значения показателя на уровне $(0,97-1,04) \cdot 10^{-4}$ Бк/м³, по видимому, несколько занижены. По результатам инструментальных измерений в 2012 г. [11], значение суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры составило $4,5 \cdot 10^{-4}$ Бк/м³.

С учетом сказанного получено, что среднее значение суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры по данным за 2001–2012 гг. составило около $4,2 \cdot 10^{-4}$ Бк/м³. В отдельные годы в этот период среднегодовые значения показателя отличались от среднего за весь период наблюдений значения менее чем на 50%: в 2010 г. оно было ниже на 33%, а в 2009 г. – ниже почти на 48%. Таким образом, как для Санкт-Петербурга и Красноярского края, так и для территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры среднегодовое значение суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха является достаточно стабильным показателем. Для атмосферного воздуха на территории округа в качестве реперной величины суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха можно принять значение около $4,2 \cdot 10^{-4}$ Бк/м³. А среднегодовые значения показателя в диапазоне $(2,0-6,5) \cdot 10^{-4}$ Бк/м³ можно рассматривать в качестве уровня естественного радиационного фона для приземного слоя атмосферы на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры.

Отметим также, что на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры в 2011 г. среднегодовая объемная активность аэрозольной фракции ^{137}Cs в атмосферном воздухе составила $1,5 \cdot 10^{-6}$ Бк/м³, а уже на следующий год снизилась почти в 10 раз до уровня, характерного для территории округа.

Для большей наглядности результаты оценки интегральных характеристик суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха для территории трех субъектов Российской Федерации представлены в таблице 3.

Из сравнения данных таблицы 3 следует, что оценки реперных уровней суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха для территорий трех рассмотренных субъектов Российской Федерации отличаются почти до 5 раз. В связи с этим интересно проанализировать возможные причины столь значительных различий в полученных оценках реперных значений среднегодовой суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха для этих территорий. Можно ожидать, что вклад ветрового выноса природных радионуклидов в суммарную объемную бета-активность атмосферного воздуха на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры должен быть наименьшим в силу следующих причин.

Во-первых, как показано в [12], содержание природных радионуклидов в почвах и строительном сырье в округе является наименьшим из трех субъектов Российской Федерации и в единицах $A_{\text{эфф}}$ составляет в среднем 58 Бк/кг против 105 Бк/кг в Красноярском крае и 176 Бк/кг в Санкт-Петербурге. Во-вторых, территория Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, по сравнению с территорией двух других субъектов Российской Федерации, существенно больше обводнена и более полугода покрыта снегами, что затрудняет вынос почвенных частиц в атмосферу. Это подтверждается результатами наших многолетних исследований: суммарная запыленность воздуха на территории разных районов Ханты-Мансийского автономного округа – Югры находится в пределах от 55 до 155 мкг/м³, составляя в среднем около 110 мкг/м³.

Однако среднее значение суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры оказалось наиболее высоким, по сравнению с двумя другими субъектами Российской Федерации: почти в 5 раз выше, чем в Санкт-Петербурге, и в 2,3 раза выше, чем в Красноярском крае. На наш взгляд, высокие уровни суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха

Таблица 3

Оценки реперных уровней суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха на отдельных территориях

| Субъект Российской Федерации | Суммарная объемная бета-активность атмосферного воздуха, $\cdot 10^{-5}$ Бк/м ³ | |
|------------------------------|--|--|
| | Реперный уровень показателя | Природная (естественная) вариабельность показателя |
| Санкт-Петербург | 9,0 | 4,5–13,5 |
| Красноярский край | 18,0 | 10,0–35,0 |
| ХМАО – Югра | 42,0 | 20,0–65,0 |

на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, скорее всего, обусловлены интенсивной добычей на территории округа углеводородного сырья, которая обычно сопровождается образованием больших объемов производственных отходов с повышенным содержанием природных радионуклидов. Кроме того, поступление в атмосферу значительных активностей радона возможно за счет сжигания попутного нефтяного и природного газа, в котором радон легко растворяется. В конце цепочки распада радона-222 как раз и находится долгоживущий бета-излучающий природный радионуклид ^{210}Pb , для которого наблюдались наиболее высокие уровни содержания в атмосферном воздухе [3].

В пользу этого же предположения можно привести тот факт, что суммарная удельная бета-активность аэрозолей атмосферного воздуха, определенная как отношение суммарной объемной бета-активности к суммарной запыленности воздуха, для территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры оказывается равной 3800 Бк/кг, а для Санкт-Петербурга – всего 450 Бк/кг. Наиболее вероятной причиной столь большой разницы суммарной удельной бета-активности аэрозолей атмосферного воздуха на этих территориях, возможно, является поступление радона в процессе добычи углеводородов и сжигания попутного нефтяного и природного газа. При распаде короткоживущих дочерних продуктов радона в атмосфере остается долгоживущий природный радионуклид ^{210}Pb , который в основном и определяет суммарную объемную бета-активность воздуха.

Конечно, эти данные требуют более тщательного и детального изучения, прежде всего, в отношении характеристики радионуклидного состава аэрозолей приземного слоя атмосферного воздуха. Наряду с установлением реперных уровней по суммарной объемной бета-активности воздуха для территорий, это позволит более корректно оценить вклад аэрозолей долгоживущих природных радионуклидов в атмосферном воздухе в дозы облучения жителей отдельных регионов и страны в целом. В настоящее время этот вклад принимается равным среднемировой величине показателя – 6 мкЗв/год. Как следует из приведенных выше оценок, для жителей отдельных субъектов Российской Федерации этот компонент природного облучения может иметь значительно большее значение.

Заключение

Таким образом, на основе анализа сведений о суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха на территории Красноярского края, Ханты-Мансийского автономного округа – Югры и Санкт-Петербурга установлено, что, несмотря на существенные различия в источниках и интенсивности поступления бета-излучающих радионуклидов в атмосферу, климатических и других различий, среднегодовые значения показателя характеризуются достаточно высокой стабильностью для атмосферы всех трех территорий.

Показано, что среднегодовые уровни суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха на территории этих субъектов Российской Федерации в отдельные годы отличаются от среднего значения за период наблюдений 10–15 лет в пределах до 50%. Учитывая это, предложено долговременное среднее значение суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха

принять в качестве оценки реперного уровня показателя для территории. При этом среднегодовые вариации показателя в пределах $\pm 50\%$ от реперных уровней суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха рассматривать в качестве естественного радиационного фона приземного слоя атмосферы на территории этих субъектов Российской Федерации.

Для территории трех рассмотренных субъектов Российской Федерации получены оценки реперных уровней суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха. Показано, что в условиях нормальной эксплуатации радиационных объектов в качестве реперного уровня суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха для Санкт-Петербурга может быть принято значение показателя на уровне $9,0 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³, для территории Красноярского края – $1,8 \cdot 10^{-4}$ Бк/м³, а для территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры – $4,2 \cdot 10^{-4}$ Бк/м³.

Установлено, что суммарная удельная бета-активность аэрозолей атмосферного воздуха на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры составляет около 3800 Бк/кг, в то время как для Санкт-Петербурга – 450 Бк/кг. Возможно, это связано с интенсивным выносом природных радионуклидов в процессе добычи углеводородов на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры.

Вклад аэрозольной фракции ^{137}Cs в суммарную объемную активность бета-излучающих радионуклидов в атмосферном воздухе в условиях отсутствия радиационных аварий и постоянных выбросов техногенных радионуклидов не превышает долей процентов от величины показателя. Тем не менее, в 2011 г. этот вклад возрос до 20% на территории Красноярского края, до 15% – в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре, а на территории Санкт-Петербурга практически сравнялся со среднегодовым значением суммарной объемной бета-активности атмосферного воздуха. Вероятней всего, такой скачок объемной активности ^{137}Cs связан с аварийными выбросами радионуклидов японской АЭС «Фукусима-1». Уже на следующий год объемная активность ^{137}Cs в атмосферном воздухе всех трех субъектов снизилась до следовых уровней.

Литература

1. Ершов, Э.Б. Радиационная гигиена. / Э.Б. Ершов, Г.В. Архангельская, И.К. Романович // Словарь основных терминов. – СПб, 2005. – 126 с.
2. Источники и эффекты ионизирующего излучения/ Пер. с англ., под ред. Акад. РАМН Л.А.Ильина и проф. С.П. Ярмоненко // Отчет НКДАР ООН 2000 года Генеральной Ассамблее с научными приложениями. Том 1: Источники (часть 1)– М.: РАДЭКОН, 2002. – 308 с.
3. Sources and Effects of ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume 1. NY, 2010. – 245 pp.
4. Жаммэ, Х.П. Загрязнение атмосферы радиоактивными веществами/ Х.П. Жаммэ // Загрязнение атмосферного воздуха. – Женева, ВОЗ, 1962. – С. 420-468.
5. Тарасов, С.И. Исследование и гигиеническая оценка уровня радиационного воздействия на население РСФСР естественных радионуклидов и космического излучения (заключительный отчет) / С.И. Тарасов, Э.М. Крисюк, Д.К. Попов. – № Гос. регистрации 76002776, Инв. № Б 998679 от 21.10.1981. – Л., 1980. – 346 с.

6. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах окружающей среды / под ред. А.Н. Марья и А.С. Зыковой. – М., 1980. – 336 с.
7. Маргулис, У.Я. Атомная энергия и радиационная безопасность / У.Я. Маргулис. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 224 с.
8. Обзор радиоактивного загрязнения природной среды на территории, обслуживаемой ФГБУ «Северо-Западное УГМС». – СПб, 2015. – 12 с.
9. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации. Радиационно-гигиенические паспорта Российской Федерации за 2000-2013 гг.
10. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации. Радиационно-гигиенические паспорта Российской Федерации за 2012-2013 гг.
11. Венков, В.А. Организация и проведение комплексного выборочного обследования эксплуатируемых жилых и общественных зданий, открытой местности на территории городских округов и населённых пунктов муниципальных районов автономного округа по показателям радиационной безопасности и оценка доз облучения населения за счет природных источников излучения» по Государственному контракту № 25-21/2012/66-09-12 от 07.09.2012 г. / В.А. Венков [и др.] // Отчет о НИР Организация и проведение радиационно-гигиенического мониторинга на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры для целей радиационно-гигиенической паспортизации территории и функционирования Единой системы контроля и учёта индивидуальных доз облучения граждан (Часть 1). – СПб, 2012 г. – 141 с.
12. Стамат, И.П. К оценке достоверности определения доз внешнего терригенного облучения населения Российской Федерации в коммунальных условиях / И.П. Стамат, Д.В. Кононенко, Т.А. Кормановская [и др.] // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8, № 3. – С. 33–45.

Поступила: 27.10.2015 г.

Стамат Иван Павлович – доктор биологических наук, заведующий лабораторией дозиметрии природных источников, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Адрес: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8. Телефон: (812)232-43-29. E-mail: istamat@mail

• **Стамат И.П. Суммарная объемная бета-активность атмосферного воздуха как интегральный критерий оценки выбросов в атмосферу природных и техногенных радионуклидов // Радиационная гигиена. – 2015. – Т.8, № 4. – С. 74–82.**

Total volume beta activity of atmospheric air as an integrated criterion of assessment of natural and technogenic radionuclides emissions in the atmosphere

Stamat Ivan P. – Doctor of Biology, Head of Natural Sources Dosimetry Laboratory of St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being. (Mira St., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; e-mail: istamat@mail.ru)

Abstract

One of parameters which should be controlled and annually logged in the territories radiation hygiene passports is the total volume beta activity of the atmospheric air in the form of an average annual value in Bq/m³ units. On different years in the territories radiation hygiene passports there were logged the data on the content of certain radionuclides; however the data on the atmospheric air total volume beta activity were the most informative in all the years. In majority of territories these data are obtained by the Federal Hydrometeorology and Environmental Monitoring Service divisions, in some Russian Federation entities the measurements are carried out by Rospotrebnadzor bodies. However, in the recent years in most Russian Federation entities radiation hygiene passports there are entered design values of the air total volume beta activity, derived using the method of averaging the data on geographic areas.

This article is an attempt to generalize the data on the air total volume beta activity in radiation hygiene passports of the Russian Federation entities, to assess long-term stability of this parameter and opportunity to establish numerical values which may be used as a reference at atmospheric air radiation hygienic monitoring. The article proves that at normal operation of radiation objects on the territory of some Russian Federation entities (excluding zones of large radiation objects supervision in these territories) the atmospheric air average annual total volume beta activity value is stable enough. It is determined that on some years the parameter average annual values in the territories of Saint-Petersburg, Krasnoyarsk region and Khanty-Mansi autonomous region – Yugra differ up to 50% from the average levels derived by long-term observation. The atmospheric air average annual total volume beta activity numerical values assessment is obtained; these values may be accepted as reference levels at atmospheric air radiation hygienic monitoring. Possible reasons are analyzed of atmospheric air total volume beta activity level distinctions on the territory of considered Russian Federation entities.

✉ **Stamat Ivan P.**

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev
Address for correspondence: Mira street, 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; e-mail: istamat@mail.ru

References

1. Ershov Je.B., Arhangel'skaja G.V., Romanovich I.K. Radiacionnaja gigiena [Radiation Hygiene]. Slovar' osnovnyh terminov – Basic terms dictionary, SPb, 2005, 126 pp.
 2. Istochniki i jeffekty ionizirujushhego izluchenija/ Per. s angl., pod red. Akad. RAMN L.A.II'ina i prof. S.P. Jarmonenko [Sources and Effects of Ionizing Radiation / Translated from English, under the editorship of L.A.II'in, Academician of the Russian Academy of Medical Science and Professor S.P. Jarmonenko]. Otchet NKDAR OON 2000 goda General'noj Assamblee s nauchnymi prilozhenijami. Tom 1: Istochniki (chast' 1)- UNSCEAR 2000 Report to the UN General Assembly, with scientific annexes. Volume 1: Sources (part 1), M, RADEKON, 2002, 308 pp.
 3. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume 1. NY, 2010. – 245 pp.
 4. Zhammje H.P. Zagrjaznenie atmosfery radioaktivnymi veshhestvami [Pollution of atmosphere with radioactive substances]. Zagrjaznenie atmosfernogo vozduha – Pollution of atmosphere air, Geneva, WHO, 1962, pp. 420-468.
 5. Tarasov S.I., Krisjuk Je.M., Popov D.K. Issledovanie i gigienicheskaja ocenka urovnej radiacionnogo vozdejstvija na naselenie RSFSR estestvennyh radionuklidov i kosmicheskogo izluchenija (zakljuchitel'nyj otchet) [Research and Hygienic Evaluation of Levels of Natural Radionuclides and Space Radiation Impact on RSFSR Population (final report)]. № Gos. registracii 76002776, Inv. № B 998679 ot 21.10.1981-State Registration No 76002776, Inventory No 998679 dd 21.10.1981, L, 1980, 346 pp.
 6. Metodicheskie rekomendacii po sanitarnomu kontrolju za soderzhanijem radioaktivnyh veshhestv v ob#ektah okruzhajushhej sredy. Pod red. A.N. Mareja i A.S. Zykovej [Methodical Recommendations on Sanitary Control of the Radioactive Substances Content in the Environment Objects. Under the general editorship of A.N. Marej, A.S. Zykova], M, 1980, 336 pp.
 7. Margulis U.Ja. Atomnaja jenergija i radiacionnaja bezopasnost' [Nuclear Energy and Radiation Safety], M, Energoatomizdat, 1988, 224 pp.
 8. Obzor radioaktivnogo zagrjaznenija prirodnoj sredy na territorii, obsluzhivaemoj FGBU «Severo-Zapadnoe UGMS» [Review of environment radioactive pollution on the territory serviced by FSBI «Northwest Territorial Administration for Hydrometeorological and Environmental Monitoring»], SPb, 2015, 12 pp.
 9. Rezul'taty radiacionno-gigienicheskoy pasportizacii v sub#ektah Rossijskoj Federacii. Radiacionno-gigienicheskie pasporta Rossijskoj Federacii za 2000-2013 gg [Results of radiation hygiene passportization in the Russian Federation entities. Radiation hygiene passports of the Russian Federation for 2000-2013].
 10. Rezul'taty radiacionno-gigienicheskoy pasportizacii v sub#ektah Rossijskoj Federacii. Radiacionno-gigienicheskie pasporta Rossijskoj Federacii za 2012-2013 gg [Results of radiation hygiene passportization in the Russian Federation entities. Radiation hygiene passports of the Russian Federation for 2012-2013].
 11. Venkov V.A., Kolotvina A.V., Koroleva N.A. [et al.] Organizacija i provedenie kompleksnogo vyborochnogo obsledovanija jekspluatiruemyh zhilyh i obshhestvennyh zdaniy, otkrytoj mestnosti na territorii gorodskih okrugov i naseljonnyh punktov municipal'nyh rajonov avtonomnogo okruga po pokazateljam radiacionnoj bezopasnosti i ocenka doz obluchenija naselenija za schet prirodnyh istochnikov izluchenija» [Organization and carrying out of complex selective inspection of operated residential and public buildings and open territory of autonomous region city districts and municipal settlements regarding radiation safety parameters and natural sources irradiation doses assessment in population under the State contract No 25-21/2012/66-09-12 dd 07.09.2012]. Otchet o NIR Organizacija i provedenie radiacionno-gigienicheskogo monitoringa na territorii Hanty-Mansijskogo avtonomnogo okruga – Jugry dlja celej radiacionno-gigienicheskoy pasportizacii territorii i funkcionirovanija Edinoj sistemy kontrolja i uchjota individual'nyh doz obluchenija grazhdan (Chast' 1) – Report on R&D Organization and carrying out of radiation hygiene monitoring in Khanty-Mansi autonomous region – Yugra for the territory radiation hygiene passportization and for operation of the Uniform monitoring system of account of citizens individual doses of irradiation (Part 1), SPb, 2012, 141 pp.
 12. Stamat I.P., Kononenko D.V., Kormanovskaja T.A. [et al.] K ocenke dostovernosti opredelenija doz vneshnego terrigenogo obluchenija naselenija Rossijskoj Federacii v kommunal'nyh uslovijah [On definition reliability assessment of the Russian Federation population external terrigene irradiation doses in municipal conditions]. Radiacionnaja gigiena – Radiation Hygiene, 2015, Vol. 8, No 3, pp. 33-45.
- **Stamat Ivan P. Summarnaja ob'emnaja beta-aktivnost' atmosfernogo vozduha kak integral'nyj kriterij ocenki vybrosov v atmosferu prirodnyh i tehnogennyh radionuklidov [total volume beta activity of atmosphere air as integrated criterion of assesment of natural and man-caused radionuclides emissions in the atmosphere]. Radiacionnaja gigiena – Radiation hygiene, 2015, vol. 8, №4, pp. 74-82.**