

УДК 502.3

## ПЛУТОНИЙ В РАЙОНАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЕГО ВОВЛЕЧЕННОСТЬ В ГЛОБАЛЬНУЮ ЦИРКУЛЯЦИЮ

В.Г. Булгаков, В.Д. Гниломедов, М.Н. Каткова, Г.И. Петренко,  
А.С. Сорокина\*, Б.И. Сынзыныс\*

ФГБУ НПО «Тайфун»

249038, Калужская обл., г. Обнинск, ул. Победы, 4

\* ИАТЭ НИЯУ «МИФИ»

249040, Калужская обл., г. Обнинск, Студгородок, 1



Ставится задача сравнить объемные активности изотопов  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$  в приземном слое атмосферы в районах расположения различных локальных источников радиоактивного загрязнения, дать характеристику данным источникам по отношению изотопов  $^{238}\text{Pu}$  к  $^{239+240}\text{Pu}$  и оценку глобального техногенного фона изотопов плутония в приземной атмосфере. Объектами исследования являются район расположения АЭС (г. Курск), территория, загрязненная в результате Чернобыльской аварии (г. Брянск), район расположения радиохимического предприятия по переработке радиоактивных материалов ПО «Маяк» (Челябинская обл., пос. Новогорный) и г. Обнинск как пункт расположения исследовательских ядерных реакторов. Рассмотрена динамика объемной активности в исследуемых районах за 1992 – 2015 гг., определены наиболее загрязненные районы и районы с наименьшим содержанием изотопов Pu в приземном слое атмосферы. Выявлены причины изменения уровня объемной активности по годам и сезонам года. По отношению  $^{238}\text{Pu}$  к  $^{239+240}\text{Pu}$  охарактеризованы рассматриваемые источники радиоактивного загрязнения, дана оценка возможности использования этого показателя для идентификации источников выбросов.

На основе результатов специального исследования объемной активности изотопов плутония в пунктах наблюдения полярной и приполярной областей России, наиболее удаленных от локальных источников выбросов Pu в атмосферу, показана существенно меньшая степень вовлеченности изотопов плутония в глобальную циркуляцию.

За весь рассматриваемый период объемная активность изотопов плутония во всех исследуемых пунктах не превышала допустимой объемной активности во вдыхаемом воздухе для населения согласно «Нормам радиационной безопасности НРБ-99/2009», равной  $2,5 \cdot 10^{-3}$  Бк/м<sup>3</sup>.

**Ключевые слова:** мониторинг, объемная активность, плутоний, изотоп, приземный слой атмосферы, АЭС, радиоактивное загрязнение, радиохимическое предприятие.

© В.Г. Булгаков, В.Д. Гниломедов, М.Н. Каткова, Г.И. Петренко,  
А.С. Сорокина, Б.И. Сынзыныс, 2017

**ВВЕДЕНИЕ**

Плутоний в окружающей среде рассматривается как техногенный элемент. Природный  $^{239}\text{Pu}$  образуется в пренебрежимо малых количествах при делении урана в урановой руде на уровне  $5 \cdot 10^6$  г плутония на 1 т урана. Во всех других случаях он имеет техногенное происхождение [1 – 3].

Необходимость мониторинга содержания плутония в окружающей среде определяется тем обстоятельством, что в значительной степени с ним связываются долгосрочные последствия радиоактивного загрязнения [4].

Основное количество плутония было выброшено в окружающую среду в результате ядерных взрывов в атмосфере, которые прекратились в 1980 г. (последний ядерный взрыв в атмосфере был произведен в Китае 18 октября 1980 г.). Общая активность плутония в природе оценивается в 14600 ТБк, из них 13000 ТБк составляет вклад испытаний ядерного оружия. Остальная часть также имеет, в основном, техногенное происхождение [1].

Очищение атмосферного воздуха от изотопов плутония происходит, по сравнению с другими радионуклидами, достаточно быстро. В два раза концентрация  $^{239+240}\text{Pu}$  в воздухе уменьшается за 1,2 года («период полуочистения»), тогда как концентрация  $^{137}\text{Cs}$  – в среднем за три года [5].

Максимальное ежегодное выпадение  $^{239+240}\text{Pu}$  наблюдалось в 1963 г. после крупномасштабных ядерных испытаний в 1961 – 1962 гг. [6]. По окончании ядерных испытаний в атмосфере еще несколько лет продолжалось выпадение плутония из стратосферного резервуара, заполненного им в ходе испытаний. К весне 1984 г. большинство стратосферного плутония выпало на поверхность земли, и с 1985 г. его вклад сократился, по крайней мере, до уровня вторичного подъема с американских ядерных полигонов [7]. Именно вторичный ветровой подъем и природные пожары считаются основными процессами поступления плутония в период атмосферных ядерных испытаний в приземный слой атмосферы [8, 9].

Начиная с 1984 г. объемная активность плутония в приземном слое атмосферы определяется выбросами локальных источников загрязнения и вторичным подъемом с поверхности территорий, загрязненных в ходе наземных ядерных испытаний и в результате радиационных аварий [7]. На основании обобщения обширного материала, полученного после 1984 г. наблюдательными пунктами сети радиационного мониторинга США, европейских стран и Японии [7, 10 – 12], было установлено, что обычное значение глобального фона  $^{239+240}\text{Pu}$  в приземной атмосфере лежит в пределах от  $10 \cdot 10^{-9}$  до  $100 \cdot 10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup> [10, 11].

Ветровой подъем наиболее эффективен в засушливых районах с непостоянным растительным покровом. Так в Астане, расположенной в 500 км западнее Семипалатинского испытательного полигона, где Советским Союзом длительное время проводились испытания ядерного оружия в атмосфере, активность  $^{238}\text{Pu}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  в 2000 – 2001 гг. в приземном воздухе фиксировалась на уровне  $9 \cdot 10^{-9}$  и  $29 \cdot 10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup> соответственно. В г. Курчатове, расположенном в непосредственной близости от загрязненных территорий Семипалатинского полигона, средние активности этих радионуклидов существенно выше –  $34 \cdot 10^{-9}$  и  $100 \cdot 10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup> соответственно [13].

Исследования, выполненные в Испании по материалам 2001 – 2002 гг., показали, что активность  $^{239+240}\text{Pu}$  в приземном воздухе колебалась в диапазоне  $(1 - 20) \cdot 10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup> с максимумами в летний период. Дополнительные исследования состава пыли в пробах аэрозолей позволили предположить, что летние максимумы обусловлены переносом пыли из Сахары [14, 15].

На территории России локальными источниками поступления плутония в окружающую среду являются радиохимические предприятия, атомные электростанции,

непромышленные ядерные установки различного назначения и территории, загрязненные в результате радиационных аварий [16]. Ниже рассматриваются уровни и особенности загрязнения приземного воздуха  $^{238}\text{Pu}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  в районах расположения радиохимического предприятия ПО «Маяк» в Челябинской обл., непромышленных ядерных реакторов АО «ГНЦ РФ-ФЭИ им. А.И. Лейпунского» и филиала АО НИФХИ им Л.Я. Карпова в г. Обнинске, Курской АЭС и городов Курска и Брянска, находящихся под влиянием ветрового подъема с загрязненных в результате Чернобыльской аварии территорий.

Ошибка определения  $^{238}\text{Pu}$  составляет 15 – 45% и  $^{239+240}\text{Pu}$  – 20 – 32%. Для каждого локального источника изотопов плутония характерно свое соотношение  $^{238}\text{Pu} / ^{239+240}\text{Pu}$ , что позволяет идентифицировать источник загрязнения [17]. Поэтому для всех локальных источников плутония было рассчитано это соотношение и приведено наряду с абсолютными величинами их активности.

### РАДИОХИМИЧЕСКИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ

В настоящее время основным источником поступления плутония в окружающую среду стали радиохимические предприятия. Старейшим предприятием такого рода является ПО «Маяк» в Челябинской области, работающее уже более 60-ти лет. Среднегодовые значения объемной активности изотопов плутония в воздухе (пос. Новогорный) изменяются в широких пределах:  $^{238}\text{Pu}$  – от  $190 \cdot 10^{-9}$  до  $2300 \cdot 10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup>,  $^{239+240}\text{Pu}$  – от  $120 \cdot 10^{-9}$  до  $890 \cdot 10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup>. Отношение среднегодовой объемной активности  $^{238}\text{Pu}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  в атмосферном воздухе в рассматриваемый период от 0,6 в 2007 г. до 2,6 в 2012 г. (рис. 1).

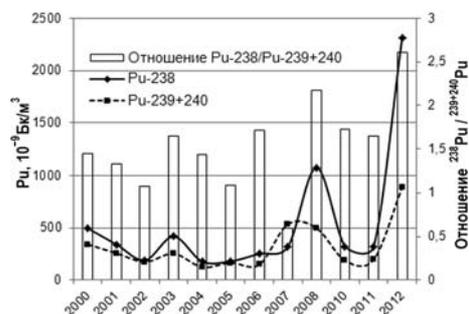


Рис. 1. Среднегодовая объемная активность  $^{238}\text{Pu}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  в атмосферном воздухе пос. Новогорного (ПО «Маяк») и отношение  $^{238}\text{Pu} / ^{239+240}\text{Pu}$  в 2000 – 2012 гг.

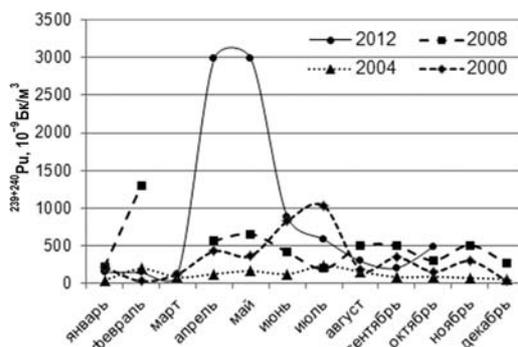


Рис. 2. Среднемесячная объемная активность  $^{239+240}\text{Pu}$  в атмосферном воздухе пос. Новогорного (ПО «Маяк»)

Высокие среднемесячные значения объемной активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в приземном воздухе распределяются случайным образом (рис. 2). В 2000 г. наиболее высокие значения наблюдались в июне – июле, в 2008 г. – в феврале, в 2012 г. – в апреле – мае, а в 2004 г.

значительных отклонений от среднегодового уровня не отмечено.

### НЕПРОМЫШЛЕННЫЕ ЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ

Существенно более низкие уровни объемной активности изотопов плутония (на два – три порядка) наблюдаются в районах расположения непромышленных ядерных реакторов. Примером может служить г. Обнинск Калужской области. Основными радиационными объектами являются реакторы ФЭИ и филиала НИФХИ. Загрязнение окружающей среды происходит за счет газоаэрозольных выбросов радионуклидов в атмосферу, жидких сбросов со сточными водами в реку Протву и попадания радионуклидов в грунтовые воды [18].

Реакторы филиала НИФХИ и ФЭИ создают среднегодовую объемную активность  $^{239+240}\text{Pu}$  в г. Обнинске в диапазоне от  $3 \cdot 10^{-9}$  до  $37 \cdot 10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup>.

Изменение среднегодовой величины объемной активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в Обнинске, как и в случае с ПО «Маяк», в период 1998 – 2015 гг. также носит случайный характер (рис. 3). В отдельные годы наблюдается резкое (на порядок) увеличение среднегодового значения. Высокая среднегодовая объемная активность  $^{239+240}\text{Pu}$  в воздухе Обнинска наблюдалась в 2009, 2010, 2013 и 2015 гг. и составляла соответственно  $9,9 \cdot 10^{-9}$ ,  $10,9 \cdot 10^{-9}$ ,  $24,9 \cdot 10^{-9}$  и  $26,4 \cdot 10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup>.

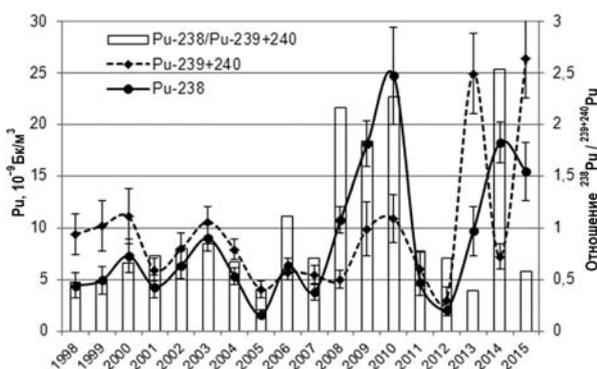


Рис. 3. Среднегодовая объемная активность  $^{238}\text{Pu}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  в атмосферном воздухе г. Обнинска и отношение  $^{238}\text{Pu} / ^{239+240}\text{Pu}$  в 1998 – 2015 гг.

Соотношение среднегодовой объемной активности изотопов плутония меняется в широких пределах – от 0,4 в 2005 и 2013 гг. до 2,5 в 2014 г. Активность  $^{238}\text{Pu}$  в большинстве случаев меньше активности  $^{239+240}\text{Pu}$ , хотя среднее отношение активности  $^{238}\text{Pu}$  к  $^{239+240}\text{Pu}$  равно 1,05 в период с 1998 по 2015 гг. (см. рис. 3).

Максимальные значения объемной активности изотопов плутония по годам и в течение года, как и в районе расположения радиохимического предприятия, распределены случайным образом. Например, увеличение среднегодовой объемной активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в приземном слое атмосферы г. Обнинска в 2013 г. в 8,3 раза по сравнению с 2012 г. обусловлено кратковременным повышением в октябре – до  $246,7 \cdot 10^9$  Бк/м<sup>3</sup>. В остальное время этого года среднемесячные значения были на два порядка меньше –  $(2 - 9) \cdot 10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup>. По-видимому, в октябре был одновременный выброс одного из местных локальных источников. Следует отметить, что такие экстремальные выбросы происходят не каждый год (в 2012 г. их не было) или случаются неоднократно, как в феврале, июне и октябре 2015 г. –  $123,2 \cdot 10^9$ ,  $49,2 \cdot 10^9$  и  $60,2 \cdot 10^9$  Бк/м<sup>3</sup> соответственно при среднегодовом значении  $26,4 \cdot 10^9$  Бк/м<sup>3</sup>.

### ЗАГРЯЗНЕННЫЕ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ ТЕРРИТОРИИ

В результате аварии на Чернобыльской АЭС в атмосферу было выброшено большое количество долгоживущих радионуклидов, включая плутоний. Среднегодовая

концентрация  $^{239+240}\text{Pu}$  в воздухе в 1986 г. составила в Минске  $1,1 \cdot 10^{-6}$  Бк/м<sup>3</sup>. До аварии объемная активность этих изотопов здесь была меньше  $10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup>. Загрязненные территории до настоящего времени служат источником вторичного загрязнения приземного слоя атмосферы плутонием за счет ветрового подъема [19].

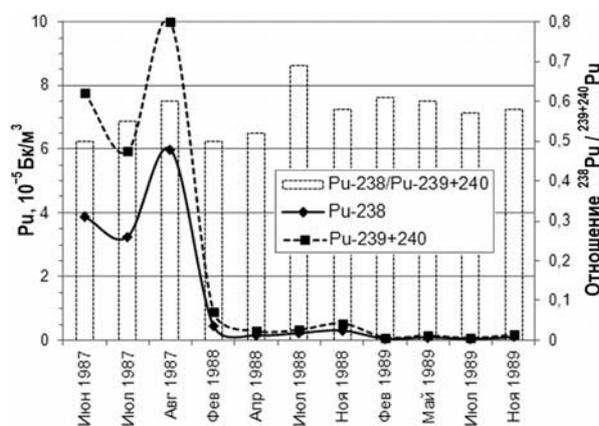


Рис. 4. Концентрация изотопов плутония в приземном слое атмосферы г. Чернобыля ( $10^5$  Бк/м<sup>3</sup>) и отношение  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  в 1987 – 1989 гг.

По результатам разовых измерений, выполненных в 1987 – 1989 гг. в г. Чернобыле, к концу 1989 г. объемная активность изотопов плутония в приземной атмосфере уменьшилась на три порядка (рис. 4). Наиболее резкое уменьшение произошло с августа 1987 г. по февраль 1988 г. При сильно меняющихся уровнях активности изотопов плутония соотношение  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  лежит, в основном, в диапазоне 0,5 – 0,6.

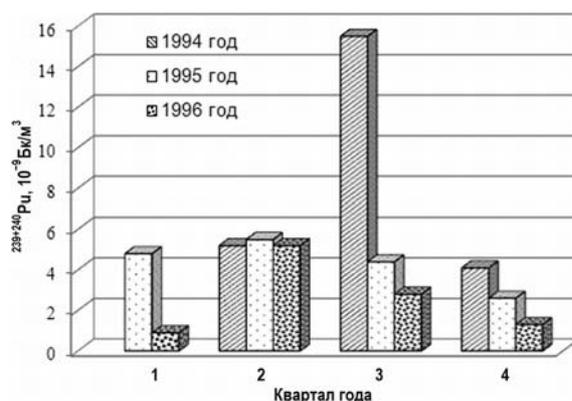


Рис. 5. Сезонный ход объемной активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в атмосферном воздухе г. Брянска в 1994 – 1996 гг.

В районах, находящихся под влиянием ветрового переноса радиоактивных аэрозолей с загрязненных территорий, до настоящего времени наблюдаются повышенные значения объемной активности изотопов плутония в воздухе. Регулярные наблюдения за концентрацией изотопов  $^{239+240}\text{Pu}$  в приземном слое атмосферы проводились в 1992 – 1996 гг. в г. Брянске, расположенном по направлению господствующих ветров с загрязненных западных районов Брянской области. За этот период среднегодовая объемная активность  $^{239+240}\text{Pu}$  последовательно уменьшалась от  $24,1 \cdot 10^{-9}$  до  $2,55 \cdot 10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup>, что лежит в пределах средних значений для центральных районов Европейской территории России.

Убедительным доказательством того, что основным механизмом поступления  $^{239+240}\text{Pu}$  в атмосферный воздух в г. Брянске является ветровой подъем с загряз-

ненных территорий, может служить сезонный ход величины объемной активности (рис. 5). Концентрация этих изотопов постоянно возрастает в теплый период года, когда создаются благоприятные условия для ветрового подъема.

С 1997 г. наблюдения за изотопами плутония были перенесены в г. Курск, который, как и г. Брянск, находится под влиянием господствующих ветров с загрязненных территорий и лежит в пределах 100-километровой зоны Курской АЭС. Такое расположение пункта наблюдения позволяет контролировать не только влияние загрязненных территорий на величину объемной активности изотопов плутония в воздухе, но и возможное их присутствие в выбросах АЭС.

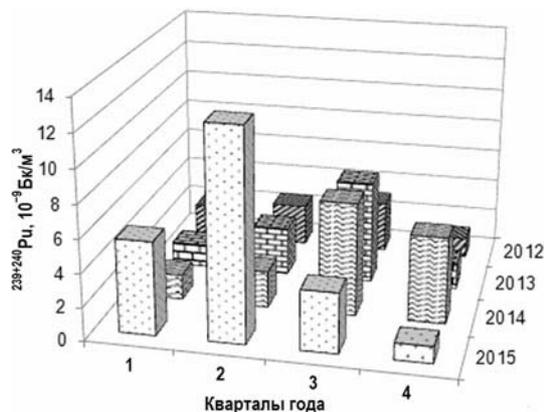


Рис. 6. Сезонный ход объемной активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в атмосферном воздухе г. Курска в 2012 – 2015 гг.

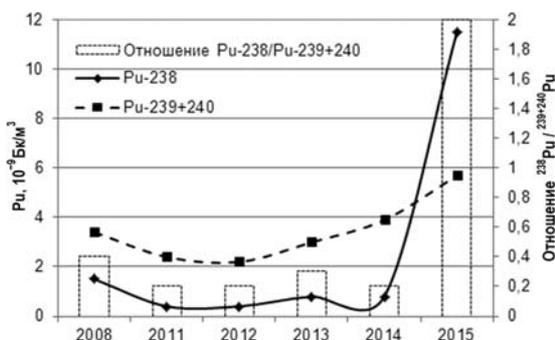


Рис. 7. Среднегодовая объемная активность  $^{238}\text{Pu}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  в атмосферном воздухе г. Курска и отношение  $^{238}\text{Pu} / ^{239+240}\text{Pu}$  в 2008 и 2011 – 2015 гг.

На рисунке 6 показаны средние за квартал года величины объемной активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в атмосферном воздухе Курска в 2012 – 2015 гг. Ежегодно в теплый период устойчиво фиксируется увеличение объемной активности изотопов плутония, что, по-видимому, связано с ветровым подъемом, усиливающимся в теплый период. Дополнительным фактором, способствующим ветровому подъему, являются весенние и осенние полевые работы.

Соотношение изотопов  $^{238}\text{Pu} / ^{239+240}\text{Pu}$  в Курске в 2008 и 2011 – 2014 гг. лежит в диапазоне 0,2 – 0,4, что меньше, чем в Чернобыле по результатам наблюдений 1987 – 1989 гг. Уменьшение соотношения в г. Курске происходит за счет выбросов АЭС и в результате более быстрого распада  $^{238}\text{Pu}$  (период полураспада 87,7 лет; у  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{240}\text{Pu}$  24 тыс. и 6,5 тыс. лет соответственно).

Очевидным влияние АЭС на концентрацию изотопов плутония становится в 2015 г., когда среднегодовая активность  $^{238}\text{Pu}$  увеличилась в 14,4 раза по сравнению с 2014 г.

– от  $0,8 \cdot 10^{-9}$  до  $11,5 \cdot 10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup>. Объемная активность  $^{239+240}\text{Pu}$  увеличилась незначительно – с  $3,9 \cdot 10^{-9}$  до  $5,7 \cdot 10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup>. Отношение объемных активностей  $^{238}\text{Pu}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  увеличилось от 0,2 – 0,4 в предшествующие годы до 2,0 в 2015 г. Еще более высокое отношение концентраций этих изотопов было во втором квартале 2015 г. – 3,4 при величинах объемных активностей  $42,6 \cdot 10^{-9}$  и  $12,6 \cdot 10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup> соответственно (рис. 6).

Представленные на рис. 7 среднегодовые объемные активности  $^{238}\text{Pu}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  в приземном воздухе в г. Курске являются результатом ветрового подъема и работы Курской АЭС. Во втором квартале 2015 г. влияние АЭС резко увеличилось, по-видимому, в ходе работ с ядерным топливом.

### УРОВНИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ НА АКТИВНОСТЬ ПЛУТОНИЯ В АТМОСФЕРЕ

Из рассмотренных типов источников плутония наименьший вклад в загрязнение приземного слоя атмосферного воздуха (начиная с 1995 г.) оказывают территории, загрязненные в результате аварии на Чернобыльской АЭС (рис. 8). По наблюдениям в Брянске и Курске среднегодовые значения объемной активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в атмосферном воздухе находились в диапазоне от  $1,5 \cdot 10^{-9}$  до  $6,3 \cdot 10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup>. При этом повышенные значения, по-видимому, возникали в случаях увеличения выбросов Курской АЭС, как это было в 2015 г.

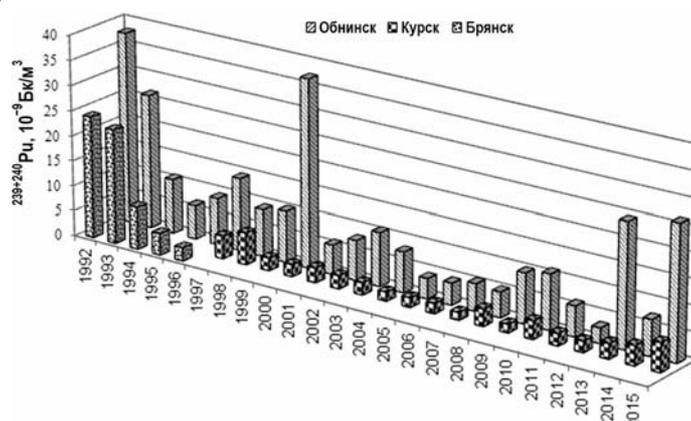


Рис. 8. Среднегодовая объемная активность  $^{239+240}\text{Pu}$  в приземном слое атмосферы городов Обнинска, Брянска и Курска  $10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup>

Среднегодовые уровни активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в атмосферном воздухе в районах расположения непромышленных ядерных реакторов существенно выше – часто на порядок.

Уровни содержания  $^{239+240}\text{Pu}$  в воздухе районов расположения радиохимических предприятий на один – два порядка выше, чем в пределах воздействия загрязненных территорий или непромышленных ядерных реакторов и, например, в 2012 г. среднее значение составило  $888 \cdot 10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup>.

Но даже наиболее высокие уровни активности радиоизотопов плутония в районах расположения радиохимических предприятий на четыре порядка меньше ДОА<sub>НАС</sub> ( $2,5 \cdot 10^{-3}$  Бк/м<sup>3</sup>) в соответствии с НРБ-99/2009 [20].

### ВОВЛЕЧЕННОСТЬ ПЛУТОНИЯ В ГЛОБАЛЬНУЮ ЦИРКУЛЯЦИЮ

Оценка глобального фона  $^{239+240}\text{Pu}$  в приземной атмосфере в пределах от  $10 \cdot 10^{-9}$  до  $100 \cdot 10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup> справедлива для промышленных регионов со значительным числом локальных источников радиоактивных выбросов [7].

Именно в этом диапазоне или близко к его нижней границе наблюдаются сред-

негодовые величины объемной активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в г. Обнинске (непромышленные ядерные реакторы). Подобные уровни могут быть и в районах, находящихся под влиянием ПО «Маяк», но на удалении от 100 до 200 км, так как на расстоянии около 15 км (пос. Новогорный) среднегодовые значения от двух до восьми раз превышают указанную верхнюю границу диапазона в  $100 \cdot 10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup>.

В г. Курске (Курская АЭС) среднегодовые уровни активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в два – пять раз ниже нижней границы указанного диапазона. Ветровой подъем с загрязненных после Чернобыльской аварии территорий в природных условиях лесной зоны начиная с середины 90-х годов прошлого века приводит к загрязнению приземного воздуха  $^{239+240}\text{Pu}$ , существенно меньшему нижней границы диапазона ( $10 \cdot 10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup>).

Для оценки уровня глобального фона радиоизотопов плутония в воздухе в ФГБУ «НПО «Тайфун» были выполнены определения их объемной активности в пунктах наблюдения, удаленных от локальных источников, где уровни активности других техногенных радионуклидов в воздухе (определение которых проводится регулярно, в частности,  $^{137}\text{Cs}$ ) наиболее низкие. Были отобраны пробы аэрозолей в г. Ухта и на острове Диксон в Карском море.

Концентрация плутония в этих пунктах находится на пределе обнаружения методики анализа и требует длительной экспозиции для определения. На о. Диксон во втором полугодии 2015 г. объемная активность  $^{238}\text{Pu}$  составила  $0,075 \cdot 10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup>, а  $^{239+240}\text{Pu}$  –  $0,14 \cdot 10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup>, в г. Ухта, Республика Коми, активность  $^{238}\text{Pu}$  была  $0,26 \cdot 10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup>, а у  $^{239+240}\text{Pu}$  не была обнаружена.

Таким образом, уровень глобального фона радиоизотопов плутония в воздухе, по-видимому, не превышает  $0,5 \cdot 10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup>.

Наблюдаемая объемная активность изотопов  $^{239+240}\text{Pu}$  в приземном слое атмосферы городов Обнинска, Брянска, Курска была на шесть – семь порядков, а в районе ПО «Маяк» – на три – четыре порядка ниже величины допустимой объемной активности для населения по НРБ-99/2009 [20], равной  $2,5 \cdot 10^{-3}$  Бк/м<sup>3</sup>.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Наиболее значительным локальным источником загрязнения приземного воздуха изотопами плутония в настоящее время являются радиохимические предприятия, старейшим представителем которых является ПО «Маяк» в Челябинской области.

Исследовательские реакторы АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» и филиала АО «НИФХИ» г. Обнинска существенно меньше (на один – два порядка) загрязняют воздух изотопами плутония.

Наименьшие активности изотопов плутония в приземном воздухе наблюдаются в районах, находящихся под воздействием вторичного ветрового подъема с территорий, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС и вблизи АЭС, работающих в штатном режиме генерации (Курская АЭС). Однако на АЭС при плановых работах с ядерным топливом объемная активность изотопов плутония в воздухе районов их расположения резко возрастает, особенно  $^{238}\text{Pu}$  – на порядок.

В воздухе загрязненных после Чернобыльской аварии зон и территорий, находящихся под влиянием ветрового переноса с загрязненных зон, содержание изотопов плутония в воздухе сократилось к концу 1989 г. на три порядка (г. Чернобыль), а к 1996 г. уменьшилось до средних значений по центральным районам ЕТР (г. Брянск).

Сегодня даже наиболее высокие уровни активности радиоизотопов плутония в районах расположения радиохимических предприятий на четыре порядка меньше  $DOA_{\text{НАС}}$  ( $2,5 \cdot 10^{-3}$  Бк/м<sup>3</sup>) по НРБ-99/2009.

Специальные исследования уровня глобального фона в пунктах приполярной и полярной областей России (г. Ухта и о. Диксон), наиболее удаленных от локальных источников плутония, показали, что уровень глобального фона радионуклидов плутония в воздухе по суммарной активности  $^{238}\text{Pu}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  не превышает  $0,5 \cdot 10^{-9}$  Бк/м<sup>3</sup>.

Соотношение изотопов  $^{238}\text{Pu} / ^{239+240}\text{Pu}$  может лишь ограниченно использоваться для идентификации источника выбросов, главным образом, для ветрового переноса с загрязненных территорий, где его изменение носит закономерно меняющийся характер. Для активно работающих предприятий (АЭС, исследовательские реакторы, радиохимические предприятия) изменения этого соотношения носит случайный характер и не может использоваться для их идентификации.

### Литература

1. МАГАТЭ. Безопасное обращение с плутонием и его хранение. // Серия отчетов по безопасности. – 2001. – №9. – 124 с.
2. Бекман И.Н. Плутоний. Глава 11. Электронный ресурс: <http://profbeckman.narod.ru/Pluton.htm>
3. Plutonium fuel an assessment. Report by an Expert Group. – OECD, France. – 168 p.
4. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2014 году. / Ежегодник. – М.: ВНИИГМИ-МЦД, 2015. – 322 с.
5. Яблоков А.В., Нестеренко В.Б., Нестеренко А.В. Чернобыль: последствия катастрофы для человека и природы. – СПб.: Гидрометеиздат, 2007. 376 с.
6. Miyake Y, Katsuragi Y., Sugimura Y. Deposition of plutonium in Tokyo through the end of 1966. // Papers Meteor. Geophys. – 1968. – Vol. 19. – PP. 267-276.
7. Pan V., Stevenson K.A. Temporal variation analysis of plutonium baseline concentration in surface air from selected sites in the continental US. // Journal of Environmental Radioactivity. – 1996. – Vol. 32. – PP. 239-257.
8. Thakur P., Khaing H., Salminen-Paatero S. Plutonium in the atmosphere: A global perspective. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2017. – Vol. 175-176. – PP. 39-51.
9. Ядерные испытания СССР: современное радиоэкологическое состояние полигонов. / Под ред. проф. В.А. Логачева – М.: ИздАТ, 2002. – 639 с.
10. Katsumi Hirose, Yasuhito Igarashi, Michio Aoyama, Takashi Miyao. Long-term trends of plutonium fallout observed in Japan. // Plutonium in the Environment, Elsevier Science. – PP. 251-266.
11. Mietelski Jersey W. Plutonium in the environment of Poland (a review). // Plutonium in the Environment, Elsevier Science. – PP. 401-412.
12. Ezherinskis Zh., Houb X.L., Druiteikien R. et al. Distribution and source of  $^{129}\text{I}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  in the environment of Lithuania. // Journal of Environmental Radioactivity. 2016. – Vol. 151 (part 1). – PP. 166-173.
13. Lehto J., Salminen S., Jaakkola T. et al. Plutonium in the air in Kurchatov, Kazakhstan. // Science of the Total Environment. – 2006. – Vol. 366. – PP. 206-217.
14. Chamizo E., Garcna-Leyn M., Enamorado S.M., et al. Measurement of plutonium isotopes,  $^{239}\text{Pu}$  and  $^{240}\text{Pu}$ , in air-filter samples from Seville (2001–2002). // Atmospheric Environment. – 2010. – Vol. 44. – Iss. 15. – PP. 1851-1858.
15. Katsumi Hirose, Yasuhito Igarashi, Michio Aoyama, et al. Recent trends of plutonium fallout observed in Japan: plutonium as a proxy for desertification. // J. Environ. Monit. – 2003. – Vol. 5. – PP. 302-307.
16. Чернобыль: Радиоактивное загрязнение природных сред. / Под ред. Ю.А. Израэля. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 296 с.
17. Терещенко Н.Н., Поликарпов Г.Г., Лазоренко Г.Е. Радиоэкологическая ситуация в Чер-

ном море в отношении плутония: уровни загрязнения компонентов экосистемы и дозовые нагрузки на биоту. // Морський Екологічний Журнал. – 2007. – С. 25-38.

18. Яблоков А.В. Миф о незначительности последствий Чернобыльской катастрофы. – М.: Центр экологической политики России, 2001. – 112 с.

19. Махонько К.П. Ветровой подъем радиоактивной пыли с земли. Обнинск: Росгидромет, 2008. – 427 с.

20. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009» (утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 7 июля 2009 г. № 47).

Поступила в редакцию 04.07.2016 г.

#### **Авторы**

Булгаков Владимир Георгиевич, зам. генерального директора НПО «ТАЙФУН»,  
директор ИПМ

E-mail: vbulgakov@rpatyphoon.ru

Гниломедов Владимир Дмитриевич, старший научный сотрудник

E-mail: vdg@rpatyphoon.ru

Каткова Маргарита Николаевна, заведующая лабораторией

E-mail: katkova@rpatyphoon.ru

Петренко Галина Ивановна, старший научный сотрудник

E-mail: petrenko@rpatyphoon.ru

Сорокина Анна Сергеевна, магистр

E-mail: sorokina\_91\_2010@mail.ru

Сынзыныс Борис Иванович, профессор

E-mail: kozmin@iate.obninsk.ru

UDC 502.3

## PLUTONIUM IN THE LOCATIONS OF LOCAL SOURCES AND IT'S INVOLVEMENT INTO GLOBAL CIRCULATION

Bulgakov V.G., Gnilomedov V.D., Katkova M.N., Petrenko G.I.,  
Sorokina A.S.\*, Synzynys B.I.\*

Federal State Budgetary Institution SPA Typhoon  
4 Pobeda st., Obninsk, Kaluga reg., 249038 Russia

\* Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, NRNU «MEPhI»  
1 Studgorodok, Russia, 249040, Obninsk, Kaluga Region

### ABSTRACT

The paper seeks to compare volumetric activities of  $^{239+240}\text{Pu}$  and  $^{238}\text{Pu}$  isotopes in the atmospheric surface layer in the locations of various local sources of radioactive pollution and to characterize them from the ratio of isotopes of  $^{238}\text{Pu}$  to  $^{239+240}\text{Pu}$ . Based on these data and results of special studies of the activity of these isotopes in the radiation from the remote object areas, to assess the global man-made background of the plutonium isotopes in near-ground atmosphere. Survey targets are the region of a nuclear power plant with Kursk as an example, the territory polluted as a result of the Chernobyl accident, for example Bryansk, the location of the radioactive material reprocessing enterprise PA «Mayak» in Chelyabinsk region, for example Novogorny settlement, and Obninsk as the area of research nuclear reactors. The paper considers the dynamics of volumetric activity in the areas under investigation from 1992 to 2015; the most polluted areas and the areas with the lowest content of plutonium isotopes in the atmospheric surface layer are specified. The reasons of changes in the levels of volumetric activity by years and seasons are established. The ratio of isotopes  $^{238}\text{Pu} / ^{239+240}\text{Pu}$  is characterized by considering the sources of radioactive contamination, assessed the possibility of using this indicator to identify emission sources. Considered local sources ranked by level of influence on the pollution by isotopes of plutonium.

In the period under review the volumetric activity of plutonium isotopes at all sites did not exceed the admissible volumetric activity in the air inhaled by population from Norms of Radiation Safety (NRB-99/2009) equal to  $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$ . The considered sources of radioactive pollution have been characterized from the ratio of  $^{238}\text{Pu}$  to  $^{239+240}\text{Pu}$  isotopes.

**Key words:** monitoring, volumetric activity, plutonium, surface layer of the atmosphere, nuclear power plants, radioactive pollution, radiochemical enterprise.

### REFERENCES

1. IAEA. Safe handling and storage of plutonium. *Safety Report Series*. 2001, no.9, 124 p.
2. Bekman I.N. Plutonium. Part 11. Available at: <http://profbeckman.narod.ru/Pluton.htm/> (in Russian).
3. Plutonium fuel an assessment. Report by an Expert Group. OECD, France. 168 p.
4. The radiation situation in Russia and the Neighboring States in 2014. Annual Report. Moscow. VNIIGMI-MCD Publ., 2015. 322 p. (in Russian).
5. Yablokov A.V., Nesterenko V.B., Nesterenko A.V. Chernobyl: consequences of the catastrophe for people and nature. Saint-Petersburg. Gidrometeoizdat Publ., 2007. 376 p. (in Russian).
6. Miyake Y., Katsuragi Y., Sugimura Y. Deposition of plutonium in Tokyo through the end of 1966. *Papers Meteor. Geophys.* 1968, v. 19, pp. 267-276.
7. Pan V., Stevenson K.A. Temporal variation analysis of plutonium baseline concentration in

- surface air from selected sites in the continental US. *Journal of Environmental Radioactivity*. 1996, v. 32, pp. 239-257.
8. Thakur P., Khaing H., Salminen-Paatero S. Plutonium in the atmosphere: A global perspective. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2017, v. 175-176, pp. 39-51.
9. USSR nuclear tests: the modern radio-ecological status of landfills. Ed. by prof. V.A. Logachev. Moscow. Izdat Publ., 2002. 639 p. (in Russian).
10. Katsumi Hirose, Yasuhito Igarashi, Michio Aoyama, Takashi Miyao. Long-term trends of plutonium fallout observed in Japan. *Plutonium in the Environment*, Elsevier Science, pp. 251-266.
11. Mietelski Jersey W. Plutonium in the environment of Poland (a review). *Plutonium in the Environment*, Elsevier Science, pp. 401-412.
12. Ezherinskis Zh., Hou X.L., Druteikiene R., Puzas A., Shapolaite J., Gvozdaite R., Gudelis A., Buivydas Sh., Remeikis V. Distribution and source of  $^{129}\text{I}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  in the environment of Lithuania. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2016, v. 151 (part 1), pp. 166-173.
13. Lehto J., Salminen S., Jaakkola T., I. Outola, S. Pulli, J. Paatero, M. Tarvainen, S. Ristonmaa, R. Zilliacus, A. Ossintsev, V. Larin. Plutonium in the air in Kurchatov, Kazakhstan. *Science of the Total Environment*. 2006, v. 366, pp. 206-217.
14. Chamizo E., Гарсна-Лейн М., Enamorado S.M., М.С. Jimenez-Ramos, L. Wacker. Measurement of plutonium isotopes,  $^{239}\text{Pu}$  and  $^{240}\text{Pu}$ , in air-filter samples from Seville (2001 – 2002). *Atmospheric Environment*. 2010. v. 44, iss. 15, pp. 1851-1858.
15. Hirose K., Igarash, Y., Aoyama M., Kim C. K., Kim C. S. and Chang B. W. Recent trends of plutonium fallout observed in Japan: plutonium as a proxy for desertification. *J. Environ. Monit.* 2003, v. 5, pp. 302-307.
16. Chernobyl: Radioactive contamination of natural environments. Ed. by Y. A. Izrael. Leningrad. Gidrometeoizdat Publ., 1990. 296 p. (in Russian).
17. Tereshchenko N. N., Polikarpov G.G., Lazorenko G. E. Radio-ecological situation in the Black sea in relation to plutonium: the contamination levels of the ecosystem components and the dose rates on biota. *Morskyj Ecologichny Zhurnal*. 2007, pp. 25-38 (in Russian).
18. Yablokov A.V. The Myth of the insignificance of the Chernobyl catastrophe. Moscow. Centr Ecologicheskoy Politiki Rossii Publ., 2001. 112 p. (in Russian).
19. Makhon'ko K. P. Wind lift radioactive dust from the ground. Obninsk. Roshydromet Publ., 2008. 427 p. (in Russian).
20. Radiation Safety Norms (NRB-99/2009). SanPin 2.6.1.2523–09. – To replace NRB-99: approved by the Ministry of Health of the RF on July 7, 2009. Put into effect as of September 1, 2009. Moscow, 2009, 61 p. (in Russian).

#### Authors

Bulgakov Vladimir Georgievich, Deputy Director of FSBI SPA «Typhoon»,  
Director of IAM

E-mail: vbulgakov@rpatyphoon.ru

Gnilomedov Vladimir Dmitrievich, Senior Researcher

E-mail: vdg@rpatyphoon.ru

Katkova Margarita Nikolaevna, Head of Laboratory

E-mail: katkova@rpatyphoon.ru

Petrenko Galina Ivanovna, Senior Researcher

E-mail: petrenko@rpatyphoon.ru

Sorokina Anna Sergeevna, 2<sup>nd</sup> year Master's Course Student

E-mail: sorokina\_91\_2010@mail.ru

Synzynys Boris Ivanovich, Professor

E-mail: kozmin@iate.obninsk.ru