

О РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКЕ В БЕЛАРУСИ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ (ПО ДАННЫМ 2016 ГОДА)

Гурачевский В.Л., к. ф.-м. н., доцент

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

Ключевые слова: чернобыльская авария, доза облучения, плотность загрязнения, радионуклиды, цезий-137, стронций-90, изотопы плутония, америций-241.

Аннотация: анализируются чернобыльское загрязнение территории Беларуси наиболее значимыми долгоживущими радионуклидами: цезий-137, стронций-90, плутоний-238,239,240,241; вопросы доз облучения населения и вторичного загрязнения территорий америцием-241.

Согласно данным [1] в текущий период основными дозообразующими радионуклидами чернобыльского происхождения для населения Республики Беларусь являются цезий-137 (^{137}Cs), стронций-90 (^{90}Sr) и группа трансурановых радионуклидов: плутоний-238,239,240,241 ($^{238,239,240,241}\text{Pu}$), америций-241 (^{241}Am). Воздействие этих радионуклидов на население будет продолжаться еще многие десятилетия. Медицинские эффекты облучения долгоживущими радионуклидами изучены мало, поэтому в мировой практике сложился достаточно жесткий подход к ограничению облучения, дополнительного к естественному и искусственному радиационному фону, в том числе к облучению чернобыльскими радионуклидами.

В Беларуси, согласно международным нормам, законодательно установлена предельно допустимая среднегодовая эффективная доза облучения населения чернобыльскими радионуклидами, составляющая 1 мЗв .

Для сравнения: средняя для жителя Земли годовая доза фонового облучения составляет $2,8 \text{ мЗв}$, при этом $2,4 \text{ мЗв}$ приходится на естественный фон, а $0,4 \text{ мЗв}$ – на искусственный, включая медицинское облучение.

Законом Республики Беларусь «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС» установлено *зонирование*, то есть отнесение территорий и населенных пунктов к одной из зон радиоактивного загрязнения, что определяет уровень мероприятий по радиационной, социальной и медицинской защите населения. Решение об отнесении к определенной зоне принимается в зависимости не только от среднегодовой эффективной дозы облучения, но и в случаях превышения порогового уровня хотя бы одной из величин: плотность загрязнения цезием, стронцием и изотопами плутония-238, 239, 240. В упрощенном виде алгоритм зонирования представлен в таблице 1.

Таблица 1. Зонирование территории Беларуси в зависимости от уровней радиоактивного загрязнения и среднегодовой эффективной дозы

Наименование зоны	Эффективная доза, мЗв/год	Плотность загрязнения, $\text{кБк/м}^2 (\text{Ки/км}^2)$		
		^{137}Cs	^{90}Sr	238, 239, 240 Pu
с периодическим радиационным контролем	<1	37–185 (1-5)	5,55–18,5 (0,15-0,5)	0,37–0,74 (0,01-0,02)
с правом на отселение	1 – 5	185–555 (5-15)	18,5–74 (0,5-2)	0,74–1,85 (0,02-0,05)
последующего отселения	> 5	555–1480 (15-40)	74–111 (2-3)	1,85–3,7 (0,05-0,1)
первоочередного отселения	> 5	> 1480 (>40)	> 111 (>3)	> 3,7 (>0,1)
эвакуации (отчуждения)	территория, с которой было эвакуировано население			

Рассмотрим загрязнение территории Беларуси долгоживущими радионуклидами по состоянию на 2016 год.

Загрязнение цезием-137. Период полураспада ($T_{1/2}$) этого радионуклида составляет 30 лет. Он испытывает бета-распад (энергии 1,17 МэВ и 0,51 МэВ) с сопутствующим гамма-излучением (0,66 МэВ). Согласно [2] около 35 % всех чернобыльских выпадений этого радионуклида находится в Беларуси.

Непосредственно после аварии превышение плотности загрязнения цезием-137 величины 37 кБк/м² (1 Ки/км²) было установлено для 23 % территории республики (в качестве сравнения, аналогичная доля для Украины составляла 7 %, для европейской части России – 1,5 %).

В результате естественного распада площадь радиоактивного загрязнения цезием-137 постепенно уменьшается. По состоянию на 2016 год [2] она составляла 13,4 % от общей площади республики (рисунок 1).

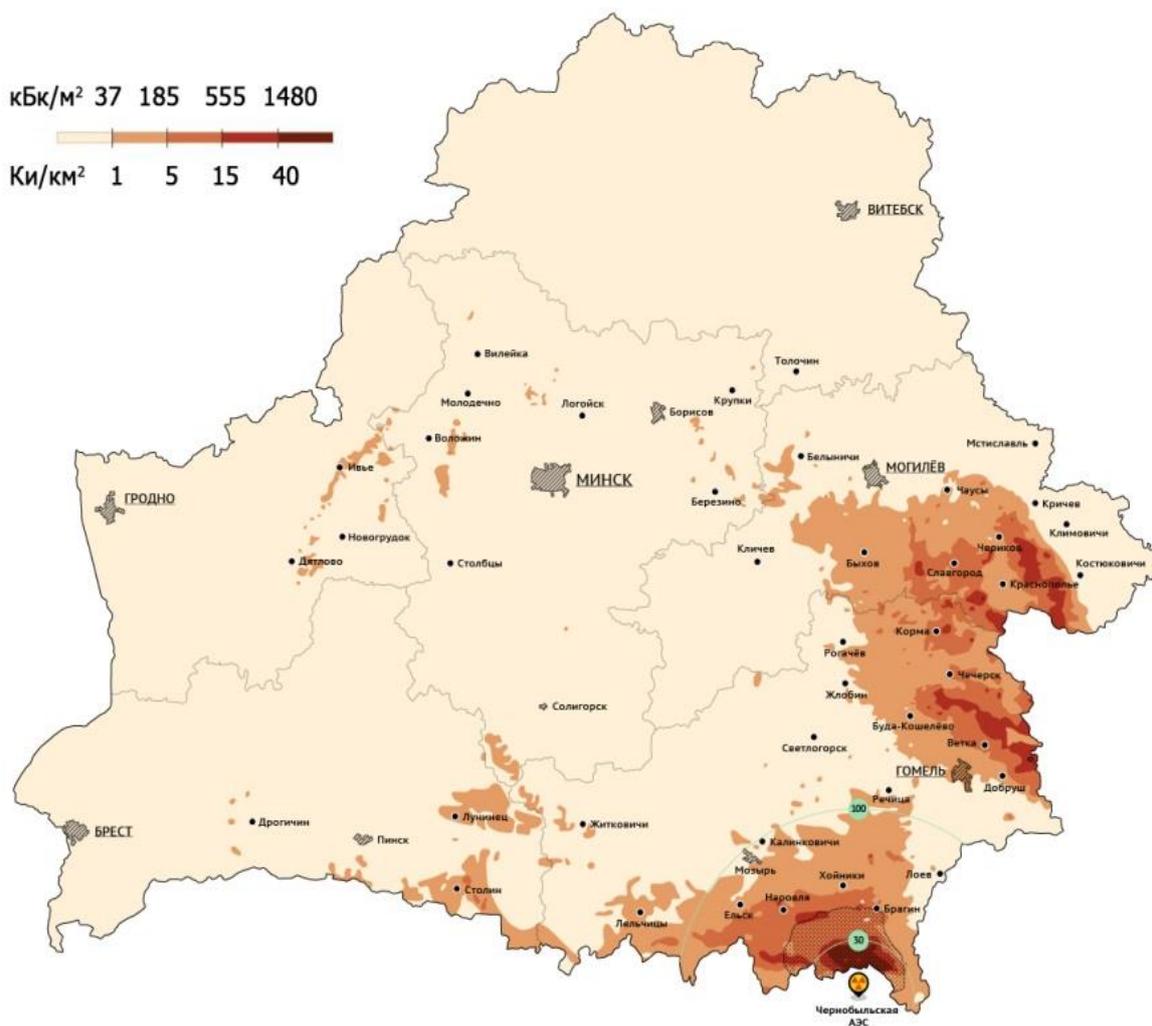


Рисунок 1. Загрязнение территории Беларуси цезием-137 (2016 год)

Основные массивы загрязнённых Cs^{137} земель сосредоточены в Гомельской (46,5 % площади) и Могилёвской (23,0%) областях. В Брестской, Гродненской и Минской областях доли загрязнённых земель составляют, соответственно, 4,4 %, 1,9 и 3,1%.

Цезий-137 относительно равномерно распределяется в организме человека, поэтому его относят к радионуклидам умеренной токсичности. Период полувыведения Cs^{137} из организма человека по данным Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) составляет 70 суток.

Загрязнение стронцием-90. Для этого радионуклида $T_{1/2}$ составляет 29 лет. ^{90}Sr испытывает бета-распад (энергия 0,55 МэВ), превращаясь в дочерний продукт – иттрий-90 (^{90}Y). Последний является короткоживущим радионуклидом ($T_{1/2} = 64$ час) и, в свою очередь, испытывает бета-распад (2,28 МэВ), после чего образуется стабильный нуклид цирконий-90.

Реальные выпадения представляют собой равновесную смесь изотопов ^{90}Sr и ^{90}Y . При таком значительном различии периодов полураспада суммарная активность нуклидов стронция и иттрия удваивается по сравнению с активностью стронция, так как вслед за каждым распадом ^{90}Sr относительно быстро происходит распад ^{90}Y .

Сразу после аварии превышение загрязнения почвы стронцием-90 порогового значения $5,55 \text{ кБк/м}^2$ было обнаружено на площади 21,1 тыс. км^2 , что составляло **10 %** от территории республики. В силу меньшей, чем у ^{137}Cs летучести загрязнение ^{90}Sr носит более локальный характер и сосредоточено преимущественно в Гомельской и Могилевской областях (небольшие «пятна» есть и в Брестской области).

По состоянию на 2016 год [2] доля загрязненной ^{90}Sr территории Беларуси вне зоны эвакуации составляет **5,3 %**. Следует учесть, что практически вся она одновременно загрязнена и цезием-137. Картина загрязнения стронцием-90 будет представлена ниже.

Стронций-90 относится к группе радионуклидов высокой токсичности. Находясь в одном столбце периодической системы с кальцием, стронций обладает похожими свойствами. Поэтому при попадании в организм ^{90}Sr избирательно **накапливается** в костной ткани. Период его полувыведения из организма человека в различных источниках оценивается разными значениями, большинство из которых превышает 15 лет.

Загрязнение радионуклидами плутония $^{238,239,240}\text{Pu}$. В атомном реакторе под действием потока нейтронов возникают не только осколки деления ядер урана (в частности, Cз^{137} и ^{90}Sr), но и ядра более тяжелых – трансурановых (ТУ) элементов. В их числе четыре радионуклида плутония, с массовыми числами 238, 239, 240 и 241.

Первые три из них испытывают альфа-распад. Плутоний-241 испытывает бета-распад и в первые годы после аварии его опасность представлялась низкой. Расчеты показывали, что активность плутония-241 за пределами зоны эвакуации соизмерима с активностью естественного бета-излучающего радионуклида калий-40, потому загрязнение ^{241}Pu не учитывалось при отнесении территорий к зонам радиоактивного загрязнения.

Радионуклиды ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , имеют большие и очень большие периоды полураспада, составляющие, соответственно, 87, 24110, 6560 лет. Отметим, что энергия испускаемого ими альфа излучения высока (в пределах 5-6 МэВ), и что все дочерние продукты их распада (уран-234, 235, 236) также являются источниками альфа излучения.

Изотопы плутония обладают невысокой летучестью, основная их часть выпала в пределах зоны, из которой сразу после аварии было эвакуировано население. Карта загрязнения территорий без учета плутония-241 представлена на рисунке 2 [3]. Эти территории находятся преимущественно в Гомельской области (Брагинский, Наровлянский, Хойникский, Речицкий, Добрушский и Лоевский районы) и Чериковском районе Могилевской области. Наиболее высокие уровни загрязнения наблюдаются в 30-километровой зоне ЧАЭС (зоне эвакуации), в частности, в Хойникском районе – свыше 111 кБк/м^2 .

При зонировании территорий, согласно действующему с 1991 года законодательству, учитывается загрязнение только радионуклидами плутония-238, 239, 240. При этом в качестве порога при отнесении территории к зоне загрязнения была установлена величина $0,37 \text{ кБк/м}^2$ ($0,01 \text{ Ки/км}^2$). Свыше этой величины оказалось загрязнено $4,0$ тыс. км^2 , или почти **2 %** площади республики [3].

Внешнее облучение от ТУ радионуклидов не может нанести большого вреда вследствие очень низкой проникающей способности альфа-излучения. Однако они чрезвычайно опасны при внутреннем облучении, относясь к группе радионуклидов особо высокой токсичности. Накапливаются трансурановые элементы преимущественно в костной ткани, печени почках. Период их полувыведения из организма составляет десятки лет. Очень опасны эти радионуклиды при поступлении через легкие.

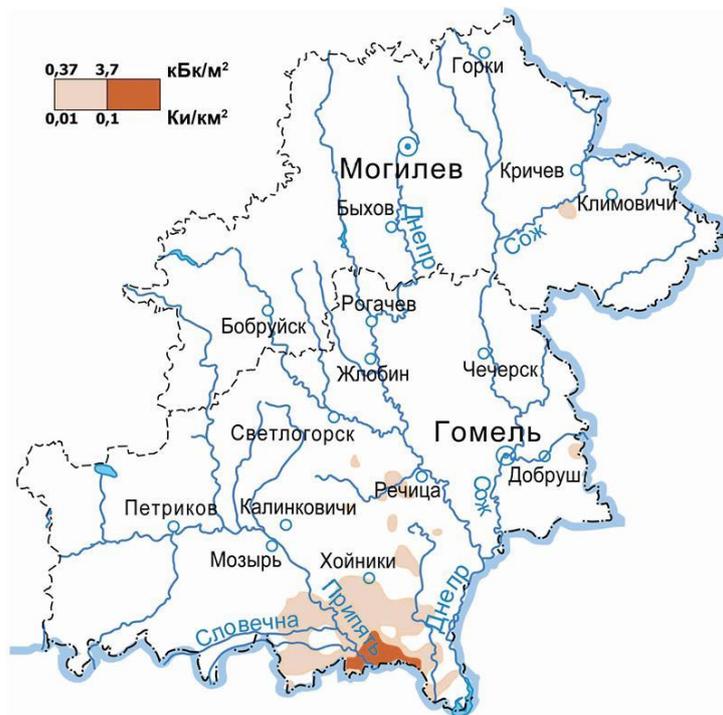


Рисунок 2. Загрязнение территории Беларуси изотопами $^{238}, ^{239}, ^{240}\text{Pu}$ (2006 год.)

В [2] приведена карта загрязнения Беларуси радионуклидами стронция-90 и плутония-238, 239, 240 по состоянию на 2016 год (рисунок 3).

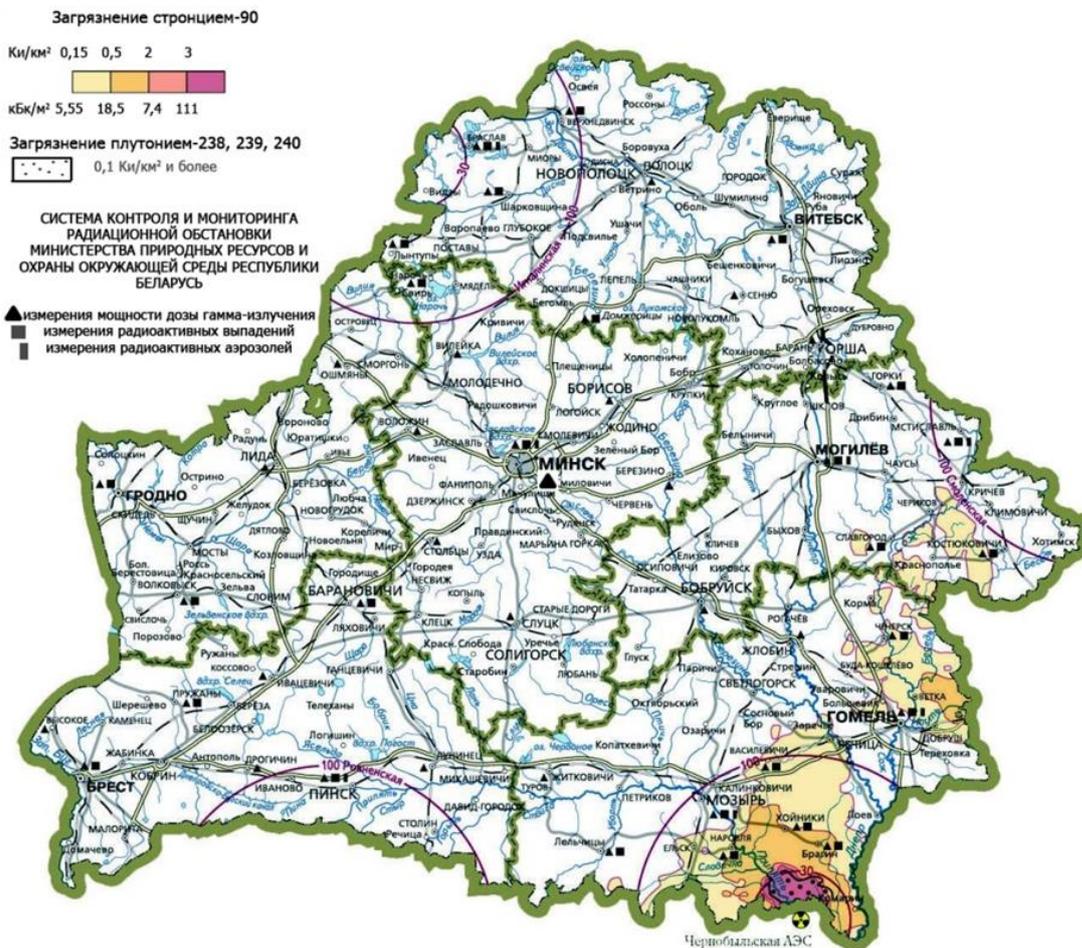


Рисунок 3. Загрязнение территории Республики Беларусь радионуклидами стронция-90 и плутония-238, 239, 240 (2016 год)

Представленная карта вызывает ряд вопросов. Не очень понятно почему объединены данные по загрязнению бета-излучающим ^{90}Sr и альфа-излучающими $^{238,239,240}\text{Pu}$. Возможно, ставилась задача отобразить загрязнение не гамма-излучающими радионуклидами. Но если следовать такой логике, недоумение вызывает отсутствие на этой карте данных по бета-излучающему плутонию-241 и его дочернему продукту распада – альфа-излучающему америцию-241 (см. ниже).

Отметим также, что загрязнение изотопами плутония (черные точки на карте) отражено для территорий с плотностью загрязнения выше $0,1 \text{ Ки/км}^2$. В тоже время согласно законодательству загрязненными считаются территории с плотностью свыше $0,01 \text{ Ки/км}^2$. Умышленно или неумышленно представленная карта наводит на мысль, что загрязнение ТУ радионуклидами сосредоточено в пределах зоны эвакуации (отчуждения).

Но это не соответствует действительности, что следует хотя бы из сравнения рисунков 2 и 3. Отметим, что периоды полураспада представленных ТУ элементов значительно превышают временной интервал между датами составления соответствующих карт, поэтому расхождение не может быть объяснено распадом радионуклидов.

Кроме того, в самом же источнике [2] отмечается, что в 2016 году площадь загрязнения ТУ радионуклидами составляет **1,3 %** площади территории республики **за пределами зоны эвакуации**. С учетом того что после аварии было загрязнено 2 % территории республики [3], территория в зоне эвакуации составляет 0,7 %. Таким образом, согласно официальным данным [2, 3] площадь загрязнения ТУ элементами за пределами зоны эвакуации почти в 2 раза больше размеров этой зоны!

Загрязнение америцием-241. Выше отмечалось, что карты загрязнения ^{241}Pu не строились, и этот радионуклид не учитывали при зонировании территорий. Однако, испытывая бета-распад с $T_{1/2} = 14$ лет, плутоний-241 превращается в альфа-излучающий америций-241. С момента аварии прошло уже больше двух периодов полураспада. Поэтому в наши дни ^{241}Pu осталось менее $\frac{1}{4}$ исходного количества, а более $\frac{3}{4}$ превратилось в ^{241}Am . Таким образом, к числу альфа-излучающих трансурановых радионуклидов кроме плутония-238, 239, 240 следует отнести и америций-241, имеющий период полураспада 430 лет. Возникает ситуация, которую ряд ученых называет *проблемой америция*.

Дело в том, что, во-первых, активность выброшенного после аварии плутония-241 была более чем в 50 раз выше, чем у остальных нуклидов плутония вместе взятых [1, 4]. Во-вторых, как уже отмечалось, $\frac{3}{4}$ выброшенного плутония-241 уже превратилось в очень опасный альфаизлучающий америций-241, и этот процесс продолжается..

Естественно, активность образующегося америция-241 существенно меньше, чем у исходного плутония-241. Дело в том, что ^{241}Am распадается примерно в 30 раз медленнее, чем ^{241}Pu , что вытекает из соотношения их периодов полураспада. Тем не менее уже в наши дни активность америция-241 почти в полтора раза превышает суммарную активность альфа-излучающих изотопов плутония. В связи с этим зарубежные ученые пишут о «второй волне» чернобыльского загрязнения.

Проблема америция неоднократно поднималась в национальных докладах Республики Беларусь. Так, в [3, 5] отмечалось, что согласно прогнозам, к 2058 году удельная активность америция превысит суммарную активность изотопов плутония в 1,8 раза. В [3] отмечается, что почвенное содержание америция в мобильных и биологически доступных формах выше, чем плутония. Согласно [5], учет америция-241 может привести к увеличению числа населенных пунктов, относящихся к загрязненным. В последнем же официальном издании [2] новой информации по этим вопросам не представлено.

Отметим, что указанная проблема имеет место для территорий, прилегающих к зоне отчуждения. Их доля в общей площади республики мала. Соответственно невелик и вклад америция-241 в коллективную дозу облучения жителей Беларуси. Относительно индивидуальных доз в [2] утверждается, что доля населенных пунктов, у жителей которых наблюдается превышение величины 100 мЗв (! – прим. автора) хотя бы в одной из возрастных категорий, не превышает 1 %. Комментариев к этому утверждению не приводится, хотя, по мнению автора, они были бы более чем уместны.

Автор считает, что происходящее выдвигает на повестку дня решение двух важных вопросов. Во-первых, необходимо проведение работ по оценке реального загрязнения территории Беларуси америцием-241, как это сделано в Украине. Во-вторых, по всей видимости, нуждается в корректировке Закон Республики Беларусь «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС» с целью учесть при зонировании загрязнение америцием-241. Альтернативный и более радикальный вариант, требующий глубокой проработки, – переход на единый критерий зонирования по величине среднегодовой эффективной дозы.

Дополнительную информацию по рассматриваемым вопросам можно найти в недавно вышедшей монографии автора [6].

Список использованной литературы

1. Последствия облучения для здоровья человека в результате чернобыльской аварии. Научное приложение D к докладу НКДАР Генеральной Ассамблеи ООН 2008 года. ООН. – Нью-Йорк. 2012. – 173 с.
2. 30 лет чернобыльской аварии: итоги и перспективы преодоления ее последствий. Национальный доклад Республики Беларусь. Минск : Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. 2016. – 116 с.
3. 20 лет после чернобыльской катастрофы. Последствия в Республике Беларусь и их преодоление. Национальный доклад. / под ред. Шевчука В.Е., Гурачевского В.Л. – Минск : Беларусь, 2006. – 112 с.
4. Экологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС и их преодоление: двадцатилетний опыт. Доклад экспертной группы «Экология» Чернобыльского форума. – Вена : МАГАТЭ, 2008. – 180 с.
5. 15 лет после чернобыльской катастрофы: последствия в Республике Беларусь и их преодоление. Национальный доклад. / под ред. Шевчука В.Е., Гурачевского В.Л. Минск : «Триолета», 2001. – 118 с.
6. Гурачевский, В.Л. Последствия чернобыльской аварии в Беларуси и их преодоление. / В.Л. Гурачевский. – Минск : БГАТУ, 2017. – 68 с.