

УДК 621.039.75

ОСОБЕННОСТИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИ АВАРИЯХ НА АЭС

Бобович О.Л.*, **Горбунов С.В.****, к.т.н., доцент.

* Центр пропаганды и обучения при Гомельском областном УМЧС
Республики Беларусь;

** Академия гражданской защиты МЧС Российской Федерации

Авария на Чернобыльской АЭС придавала проблеме дезактивации новые качества, которые определяются:

массовым характером радиоактивного загрязнения и постоянно действующим источником этих загрязнений;

уникальностью механизма и природы образования, дисперсного и радионуклидного состава радиоактивных выбросов;

необходимостью комплексного решения дезактивации различных объектов (людей, зданий, дорог, местности и др.);

огромными масштабами дезактивационных работ с привлечением массы людей, разнообразной техники и большого набора различных реагентов;

разработкой и осуществлением профилактических мероприятий, направленных на предотвращение вторичного загрязнения и снижения объема дезактивационных работ.

Необходимость комплексного подхода к проблеме дезактивации побудила авторов рассматривать условия радиоактивных загрязнений как предпосылки дезактивации различных поверхностей, а также ряд других вопросов, без которых представления о дезактивации были бы односторонними.

Радиоактивное загрязнение местности при авариях на АЭС имеет следующие особенности:

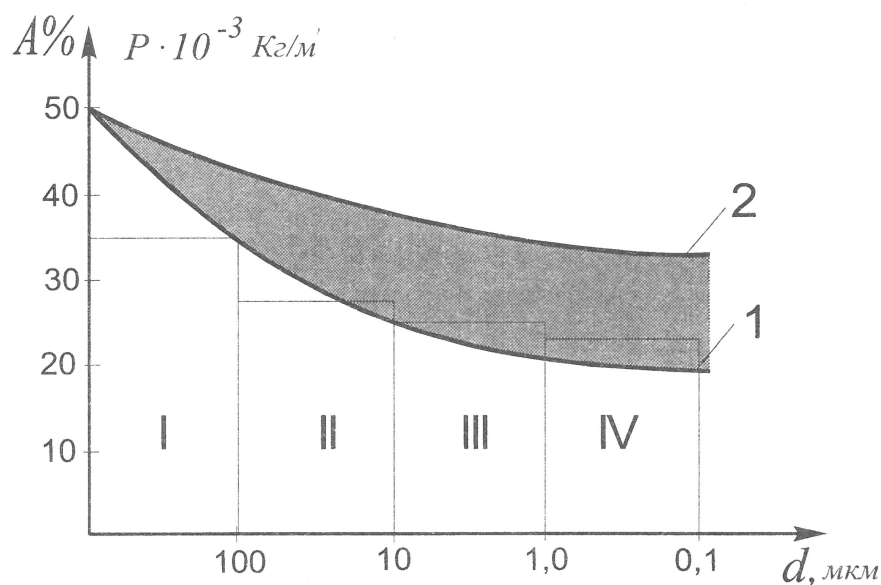
1. Радиоактивное загрязнение местности и атмосферы имеет сложную зависимость от исходных параметров ЯЭР (типа и мощности реактора, времени его работы, характера аварии и т. д.) и метеоусловий, вследствие чего прогнозирование его возможных масштабов весьма затруднено, требует разработки специальных методик и носит ориентировочный характер.

2. Естественный спад активности радионуклидов существенно более длителен, чем распад продуктов деления ядерных взрывов.

3. Смесь выбрасываемых из реактора радиоактивных веществ обогащена долгоживущими радионуклидами (плутоний-239, стронций-90, цезий-137 и др.), причем относительный вклад в общую активность альфа-излучающих изотопов с течением времени будет увеличиваться. В результате большие площади территорий на длительное время окажутся загряз-

ненными биологически опасными радионуклидами, которые в последующем могут быть вовлечены в миграционные процессы на местности.

4. Малые размеры радиоактивных частиц (средний размер около 2 мкм) способствуют их глубокому проникновению в микротрещины и краску, что затрудняет проведение работ по дезактивации [1] (рисунок 1).



A – активность аэрозольных выбросов; P – плотность аэрозольных выбросов; d – размеры частиц; I, II, III, IV – группы частиц по размерам; 1, 2 – изменение плотности РА частиц в зависимости от механизма их образования

Рисунок 1 – Активность и плотность аэрозольных выбросов после Чернобыльской катастрофы в зависимости от размеров частиц

5. Пылеобразование приводит к поступлению в организм человека через органы дыхания мелкодисперсных продуктов деления и, прежде всего, биологически опасных «горячих» частиц.

6. Наличие в атмосфере облака газоаэрозольной смеси радионуклидов, испускающей мощный поток ионизирующих излучений.

7. Осаждение высокоактивных осколков конструкций реактора и графита как на территории АЭС, так и в виде пятен по следу облака.

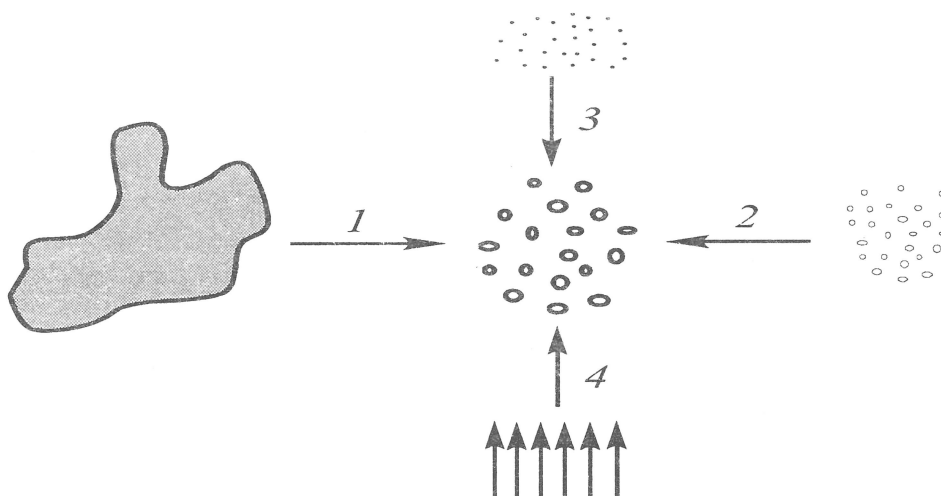
8. Стационарный характер источника загрязнения, продолжительность выбросов во времени на небольшую высоту (до 1,5–2 км) и частые изменения метеоусловий, в соответствующих слоях атмосферы, приводят к азимутальной неравномерности загрязнения местности, скачкообразному изменению мощности дозы излучения в отдельных районах во времени и образованию радиоактивных зон загрязнения в виде пятен по следу движения облака.

Особенности механизма радиоактивного загрязнения местности при аварии на АЭС.

При авариях на АЭС и массовых радиоактивных загрязнениях большая часть выбросов радиоактивных веществ превращается в аэрозоли, которые обуславливают аэрозольное загрязнение местности в виде радиоактивных веществ, попавших на поверхность объекта.

Радиоактивные аэрозоли образуются в результате следующих процессов [1] (рисунок 2):

- диспергирования веществ, содержащих радиоактивные загрязнения (рисунок 2, 1);
- конденсации и десублимации паров радиоактивных веществ (рисунок 2, 2);
- адсорбции радионуклидов на поверхности частиц (рисунок 2, 3);
- наведенной активности и распада инертных газов с последующей конденсацией продуктов распада (рисунок 2, 4).



1 – диспергирование; 2 – конденсация и десублимация; 3 – адсорбция;
4 – наведенная активность, распад инертных газов с последующей конденсацией продуктов распада

Рисунок 2 – Процессы образования радиоактивных аэрозолей

При этом размер, форма и удельная активность являются важнейшими параметрами радиоактивных аэрозолей.

Радиоактивные частицы аварийных выбросов обычно имеют неправильную форму. Распределение частиц по размерам и активности при аварии на АЭС подчиняется логарифмически-нормальному закону [2].

Средний диаметр частицы – около 2 мкм.

Средняя активность частицы – 10^{-14} – 10^{-16} Ки.

Распределение частиц по активности и размерам приведено на рисунке 1. Тем не менее встречаются частицы, активность которых в сотни и даже тысячи раз выше активности обычных частиц. Такие частицы называются «горячими».

Размер «горячих» частиц 0,7–2 мкм, а концентрация – одна частица на 1–14 м³ воздуха. Источниками «горячих» частиц являются уран-234, 235 [3].

Выбросы радиоактивных веществ в атмосферу определяются сочетанием различных механизмов образования аэрозолей.

По размерам частиц все выбросы условно можно разделить на 4 группы (рисунок 1). Образование частиц I, II и частично III группы в первый и частично во второй период выбросов происходит вследствие диспергирования ядерного топлива и продуктов деления в результате парового взрыва при контакте топлива с теплоносителем, разрушения технологических каналов и разгерметизации реактора.

Образование частиц IV и частично III группы происходит, в основном, в период горения графита и окисления топлива в результате выброса радиоактивных веществ вследствие эффекта трубы воздушным потоком из нижних помещений реактора.

Выбросы частиц I группы, помимо диспергированного топлива и продуктов деления, содержат высокоактивные куски углерода и элементы конструкций реактора.

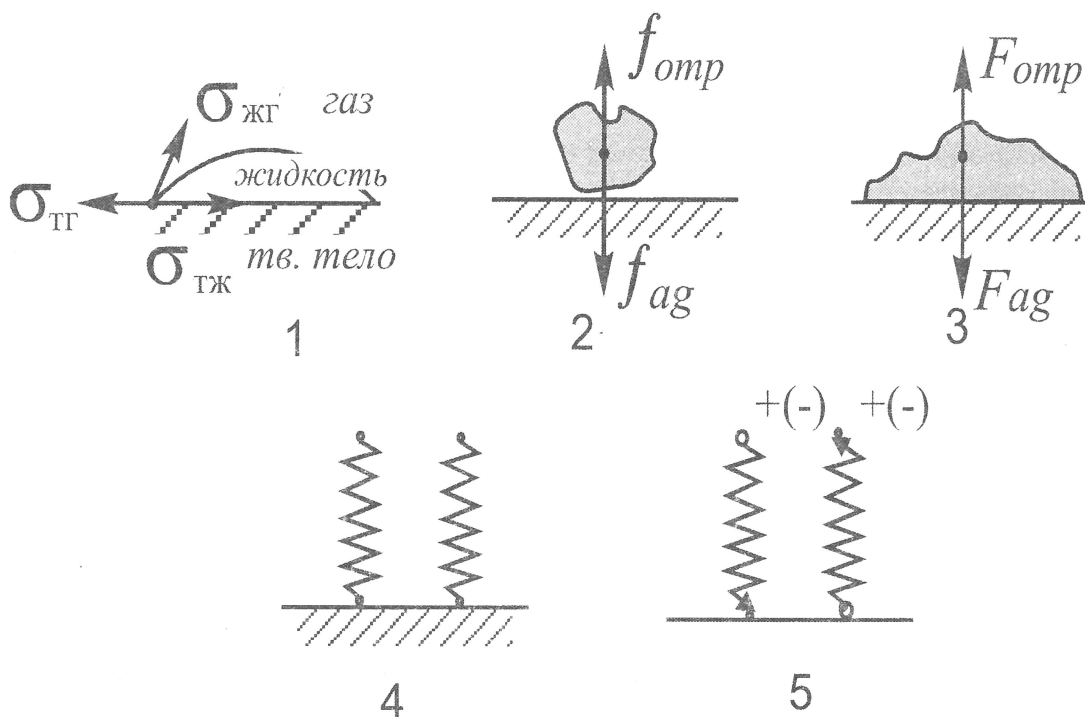
Некоторая доля частиц I и II группы представляет собой зерна диоксида урана и плутония, обедненных изотопами цезия, что характерно для таблеток центральной части ТВЭЛов.

Частицы III группы образуются в результате разрушения периферийных частей топливных таблеток во время аварий и окисления на воздухе урана и плутония. Кроме этого происходит конденсация и десублимация паров радионуклидов, адсорбция их на аэрозольных частицах, а также экстрагирование радионуклидов паром с последующей конденсацией пара совместно с радионуклидами. Активность частиц этой группы рассредоточена по всей массе частиц.

Частицы IV группы возникают главным образом за счет конденсации и десублимации паров и газов. При их слипании образуются агрегаты, которые в последующем переходят в III группу частиц [1].

Радиоактивные загрязнения в виде твердых, жидких и газообразных веществ после попадания на поверхность объектов закрепляются на ней, так как между радиоактивными веществами и поверхностью возникает связь, которая удерживает эти вещества.

В зависимости от степени физико-химического взаимодействия между загрязненной поверхностью и носителем активности для поверхностных загрязнений имеет место адгезионный, адсорбционный и ионообменный процессы [1] (рисунок 3).



1 – жидкости; 2 – частицы; 3 – структурированные тела; 4 – адсорбция; 5 – обмен

Рисунок 3 – Поверхностное радиоактивное загрязнение за счет адгезии

Характерной особенностью при адгезионном загрязнении является наличие границы раздела фаз между радиоактивными веществами и поверхностью.

При адсорбции происходит концентрирование вещества на поверхности раздела фаз.

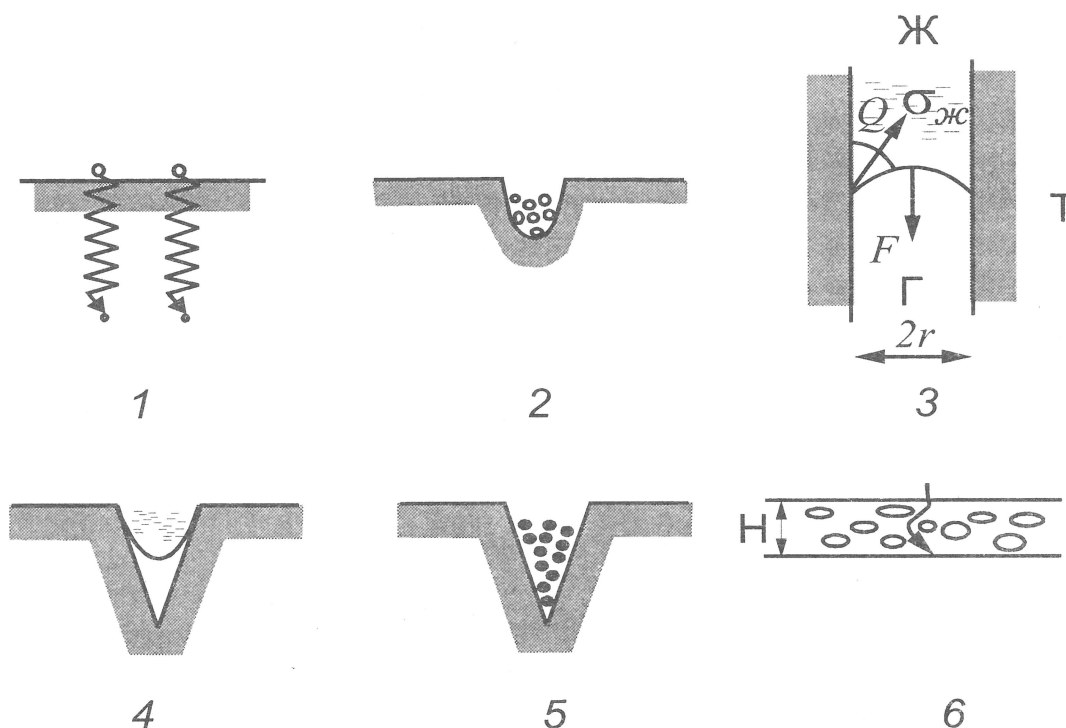
При физической адсорбции молекулы радионуклидов сохраняют свою индивидуальность, так как взаимодействие их с поверхностью обусловлено силами межмолекулярного взаимодействия (силы Ван-дер-Вальса).

При хемосорбции молекулы (ионы) радионуклидов, а также их соединения образуют с адсорбентом поверхностные химические соединения.

При ионном обмене происходит обратимый, а иногда и необратимый, процесс эквивалентного (стехиометрического) обмена между ионами радионуклидов и загрязненной поверхностью. Ионообменная адсорбция

является основным процессом, определяющим радиоактивное загрязнение почвы.

При попадании радиоактивных веществ вглубь материала происходит глубинное (объемное – для жидкой фазы) радиоактивное загрязнение (рисунок 4).



1 – в результате диффузии; 2 – в результате попадания мелких частиц в глубинные поверхности; 3 – в результате капиллярного смачивания; 4 – в результате капиллярной конденсации в порах; 5 – в результате молекулярного заполнения пор; 6 – в результате проникновения в глубь капиллярно-пористого тела

Рисунок 4 – Глубинные радиоактивные загрязнения

При этом радиоактивные вещества могут попасть в глубь материала объекта вследствие диффузии (рисунок 4, 1), проникновения в поры и неровности поверхности (рисунок 4, 2–5), а также вследствие проникновения в капиллярно-пористые дисперсные системы и материалы [1] (рисунок 4, 6).

Процессы поверхностного и глубинного загрязнений проявляются в совокупности, при этом возможно сочетание различных механизмов загрязнения в определенной последовательности. В свою очередь механизм радиоактивного загрязнения зависит от формы существования радионуклидов, входящих в состав твердых частиц, растворов, молекул, ионов, химических соединений и коллоидных частиц.

Так, в сухую погоду радиоактивные загрязнения будут в основном поверхностными. В то же время частицы небольших размеров, в том числе «горячие», будут проникать в выемки шероховатой поверхности, обуславливая глубинные загрязнения.

При загрязнении поверхностей каплями, содержащими радиоактивные вещества, первоначально будет происходить адгезия капель к твердой поверхности, которая в дальнейшем приведет к адсорбции радионуклидов на поверхности, ионному обмену, диффузии и капиллярному смачиванию.

Помимо физико-химических процессов, определяющих связь радиоактивных загрязнений с поверхностями объектов, степень радиоактивного загрязнения в значительной степени зависит и от топографии. Радиоактивное загрязнение объектов зависит от их расположения на местности относительно аварийного ЯЭР, особенностей первичного и вторичного загрязнений.

При движении газоаэрозольного облака после его выброса из реактора происходит оседание радиоактивных частиц. В этом суть первичного радиоактивного загрязнения. При этом выделяют 4 зоны радиоактивных загрязнений [4].

I зона – зона ближних выпадений радиоактивных частиц. Зона обусловлена соединением в основном частиц I группы с кусками различного происхождения (ТВЭЛы, графит, бетон и т. д.). Мощность дозы излучения на границах зоны может составить от 1800 до 5 мр/ч.

II зона – зона региональных радиоактивных загрязнений. Зона обусловлена оседанием в основном частиц II и III групп. Мощность дозы излучения на границах зоны составит от 5 до 0,05 мр/ч.

III зона – зона дальних радиоактивных загрязнений. Зона обусловлена оседанием частиц в основном III и IV групп. Мощность дозы излучения не на много превысит фоновые значения.

IV зона – зона трансграничных загрязнений. Зона обусловлена в основном частицами IV группы.

Вторичным (иногда многократным) радиоактивным загрязнением считается переход радиоактивных веществ с ранее загрязненного объекта на чистый или загрязненный в меньшей степени объект. Так радиоактивные загрязнения местности, сооружений, транспорта, почвы и дорог могут переходить в воздушную среду, а затем осаждаться, вызывая радиоактивные загрязнения ранее «чистых» объектов [3] (рисунок 5).

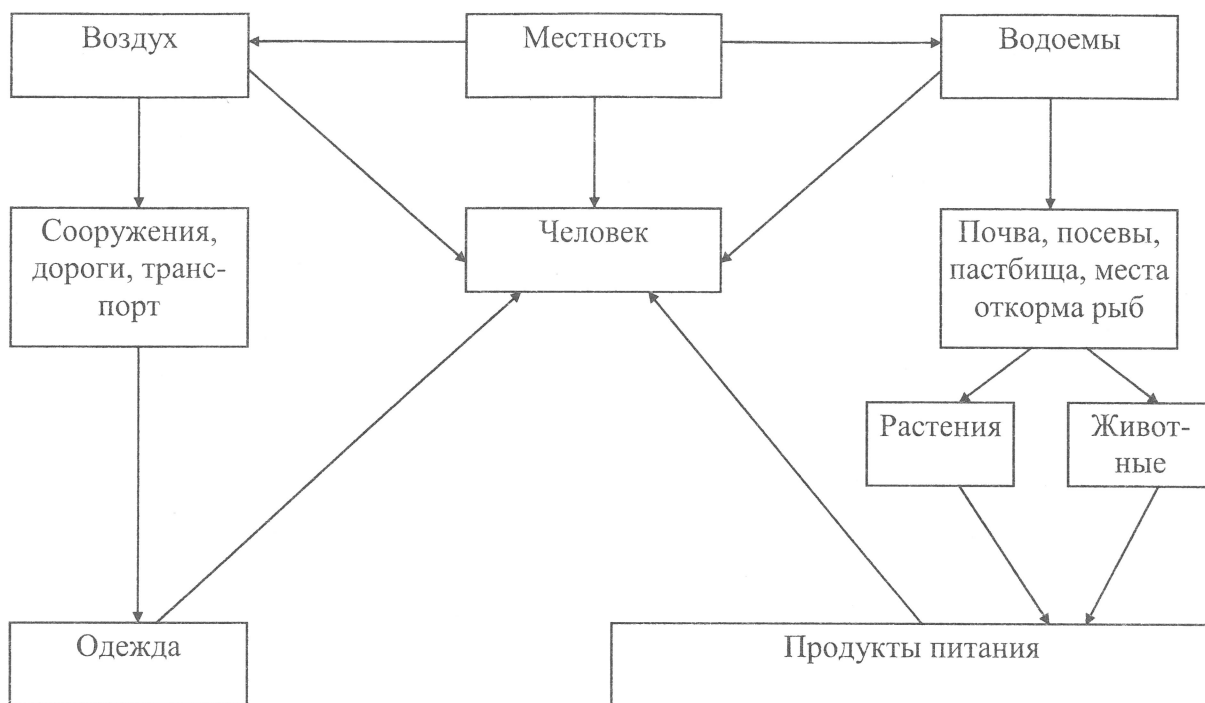


Рисунок 5 – Возможные направления вторичного радиоактивного загрязнения

Некоторые звенья цепи в условиях массового радиоактивного загрязнения после Чернобыльской катастрофы приобрели порой более важное значение по сравнению с первичным радиоактивным загрязнением. По масштабам и последствиям особое значение приобретает загрязнение местности как источник вторичного загрязнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зимон, А.Д. Дезактивация / А.Д. Зимон, В.К. Пикалов. – М.: ИЗДАТ, 1994. – 336 с.
2. Поляков, А.С. Особенности дезактивации после Чернобыльской катастрофы / А.С. Поляков [и др.]. – М.: Всес. НИИ неорганич. материалов, 1991.
3. Луянас, В.Ю. Физика атмосферы / В.Ю. Луянас, Н.К. Шпиркаускайте. – 1989. – № 14. – С 1–19.
4. Михеев, О.С. Радиационная обстановка в ближней зоне Чернобыльской АЭС и динамика ее изменения: учеб. пособие / О.С. Михеев [и др.]. – М.: ВАХЗ, 1990.

Поступила в редакцию 31 мая 2006 г.