

УДК 504.61

**ОЦЕНКА ТРАНСГРАНИЧНОГО АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА
РАДИОНУКЛИДОВ НА ТЕРРИТОРИЮ УКРАИНЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ
ВОЗМОЖНЫХ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ НА БЛИЖАЙШИХ АЭС РОССИИ**

Н. Талерко, Т. Лев

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины

e-mail: ntalerko@mail.ru

Оценка последствий выбросов от промышленных предприятий (в том числе объектов атомной энергетики) как при их нормальной работе, так и в случае аварийных ситуаций является неотъемлемой частью исследований их воздействия на окружающую среду и здоровье человека. При этом, как правило, уровень такого влияния оценивается в пределах «зоны влияния» объекта. Например, для Ровенской АЭС установлена санитарно-защитная зона радиусом 2,5 км, в которой уровень облучения людей в условиях нормальной эксплуатации может превысить квоту лимита дозы для населения (установленную в соответствии с НРБУ-97 [1]). Кроме того, введена зона наблюдения радиусом 30 км, в которой проводится радиационный контроль. Исходя из таких пространственных масштабов, в качестве основного расчетного инструмента для оценки и прогнозирования последствий выбросов с АЭС используется модель МАГАТЭ. В случае больших радиационных аварий, потенциально способных привести к радиоактивному загрязнению территории за пределами зоны наблюдения АЭС, использование модели МАГАТЭ не является корректным. Для расчетов трансграничного переноса радионуклидов в атмосфере необходимо использовать мезомасштабные и региональные модели, которые учитывают основные физические процессы, определяющие распространение примеси в атмосфере на расстояниях порядка сотен километров и периодов порядка десятков часов. В работе [2] с помощью системы RODOS проведено моделирование последствий возможных радиационных аварий на двух действующих АЭС в северной и южной частях Германии с различными климатическими и ландшафтными условиями расположения. В обосновании работы, выполненной после аварии на АЭС Фукусима, прямо сказано, что авария такого масштаба не была предусмотрена концепцией готовности к радиационным авариям, согласованной на международном уровне. Поэтому сценарий аварийного выброса был избран подобным реальному выбросу на АЭС Фукусима. Получено, что прогнозируемые дозы облучения населения являются сопоставимыми с рекомендованными дозовыми критериями для применения защитных мер. В работе сделан вывод, что существующая стратегия реагирования на радиационные аварии не совсем адекватно учитывает последствия большой радиационной аварии, подобной Фукусимской (с длительным выбросом радионуклидов в атмосферу). Использование в качестве сценария выброса значительно больших (по сравнению с принятыми ранее), однако вполне реальных, оценок суммарного выброса и его продолжительности при радиационной аварии на АЭС приводит к осознанию необходимости пересмотра стратегии аварийного реагирования в будущем.

Радиационное состояние окружающей среды в Украине определяется не только выбросами и сбросами предприятий ядерно-энергетического комплекса страны (в условиях их работы в штатном режиме, а также при возможных радиационных авариях), но и атмосферным трансграничным переносом радионуклидов от действующих АЭС, расположенных в соседних странах. На рис. 1А приведена карта расположения АЭС Украины и ближайших к ее границам АЭС других стран. Украина граничит с государствами, в которых эксплуатируются ядерно-энергетические установки - Россией, Словакией, Венгрией, Румынией. Ближайшие к границам Украины расположены российские АЭС, причем Курская АЭС расположена на расстоянии около 20 км до

границы с Украиной (Сумская область). Поэтому проблема оценки трансграничного переноса радиоактивных выбросов от АЭС имеет и другую сторону: необходимо иметь инструменты для оценки влияния возможных выбросов с АЭС других стран на радиационную ситуацию в Украине, а также на основе таких оценок спланировать (или скорректировать) сеть постов радиационных наблюдений для детектирования факта и последствий аварийных ситуаций на АЭС сопредельных стран.

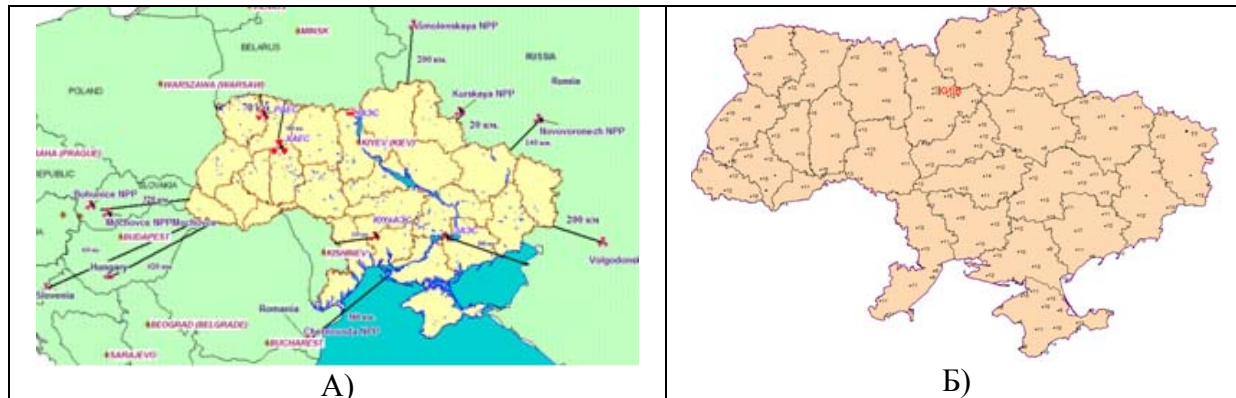


Рис. 1. Расположение АЭС по территории Украины и ближайших стран (А) и сеть радиометрического контроля Украины (В)

Система радиометрических наблюдений сети гидрометслужбы Украины (рис. 1Б) была организована в начале 50-х годов для контроля за глобальным радиоактивным загрязнением окружающей среды, обусловленное ядерными испытаниями в атмосфере, а вероятность крупных аварий на АЭС с выбросом значительного количества радиоактивных веществ за пределы станции считалась практически невозможной. На момент Чернобыльской аварии в 1986 г. она состояла из 103-х постов. В настоящее время сеть Гидрометслужбы осуществляют наблюдение за радиоактивным загрязнением природной среды, выполняя: ежедневные измерения мощности экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения (178 станций); ежесуточный отбор проб воздушных аэрозолей на 8 станциях; ежесуточный отбор проб атмосферных выпадений на 58 станциях. Благодаря наблюдениям на местах, а также регулярному анализу проб природной среды, отобранных сетью, Гидрометслужба получает информацию о радиоактивном состоянии на территории Украины, которое характеризуется уровнями мощности экспозиционной дозы гамма-излучения, суммарной бета-активностью воздушных аэрозолей и атмосферных выпадений, содержанием ^{137}Cs , ^{90}Sr , и других гамма-излучающих радионуклидов.

С целью оценки возможного радиоактивного загрязнения территории Украины был проведен цикл модельных расчетов атмосферного переноса аварийных выбросов из ближайших к Украине российских АЭС. Численные эксперименты проводились с использованием созданного в ИПБ АЭС НАНУ расчетного комплекса «WRF-LEDI», который состоит из настроенного на территорию Украины модели численного прогноза погоды общего пользования WRF-ARW, разработанной в США, в NCAR (National Center for Atmospheric Research) и диффузионной модели атмосферного переноса и осаждения радионуклидов LEDI. В модели WRF используется С-сетка Аракавы и схемы интегрирования Рунге-Кутта 2-го и 3-го порядка по времени, а также схемы 2-6 порядка для переноса в горизонтальном и вертикальном направлениях. В качестве модели параметризации планетарного пограничного слоя (PBL) используется модель YSU (Yonsei State University в Южной Корее). В качестве начальных данных и данных на границах используется результаты счета по глобальной модели (GFS – Global Forecasting System). Данные поступают в коде ГРИБ. Область с крупным шагом по пространству=27 км характеризует территорию Украины. Область с мелким шагом по пространству=9 км характеризует область атомных станций.

Лагранжово-Эйлерова диффузная модель переноса примеси в атмосфере LEDI разработана для расчетов переноса примеси на расстоянии до 1000 км от газоаerosольных высотных источников с эффективной высотой выброса от 0 до 1500 м для различных его типов по продолжительности выброса (залповый, конечного времени действия, непрерывный). Модель позволяет рассчитывать распространения примеси в нестационарных (вследствие суточного хода характеристик пограничного слоя атмосферы или изменений погоды) и горизонтально неоднородных метеорологических полях. Модель может использоваться для расчетов рассеяния многокомпонентной примеси, которая имеет различные физико-химические свойства (газы, включая йод в различных химических формах; аэрозоли с произвольным распределением по размерам частиц).

Поскольку данные о радиоактивных выбросах при проектных и запроектных авариях на АЭС России в открытом доступе отсутствуют, то для дальнейшего моделирования был использован гипотетический сценарий радиационной аварии, при которой происходят выбросы основных дозообразующих радионуклидов (прежде всего, йода-131 и цезия-137) общей активностью $3 \cdot 10^{12}$ Бк (около 81 Ки) каждый в течение 5 мин. Высота выброса выбиралась равной 50 м. Для моделирования радиоактивного загрязнения территории Украины выбросом из Курской АЭС была подобрана метеорологическая ситуация с перенос воздушных масс в нижнем слое атмосферы в западном направлении (22 июля 2014). На рис. 2А приведено расчетное поле плотности радиоактивных выпадений ^{137}Cs , сформированное в результате такого выброса.

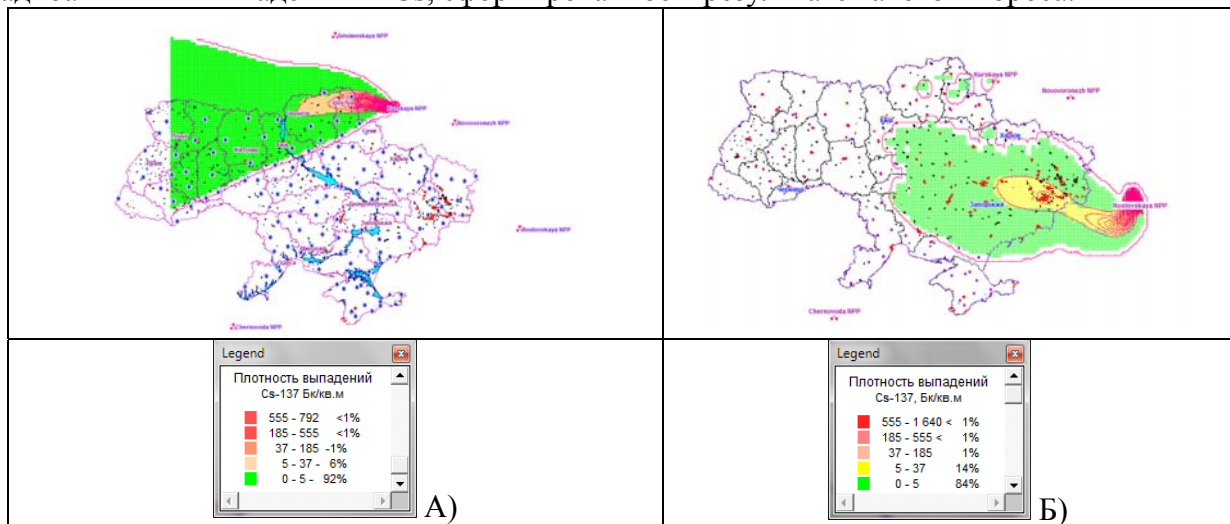


Рис.2. Расчетное поле плотности выпадений Cs-137 (Бк/м²) при радиационной аварии на Курской АЭС (А) и Волгодонской АЭС (Б)

Результаты моделирования радиоактивного загрязнения воздуха, земной поверхности и связанной с ними МЭД в результате переноса на Украине аварийного выброса Cs-137 с Курской АЭС рассчитана для ближайших постов радиологической сети Гидрометслужбы Украины. В этом случае расчетная плотность выпадений на территории Сумской и Черниговской областей достигает 10 - 20 Бк/м², а объемная активность в период прохождения радиоактивного облака на ближайших постах на превышает 2 Бк/м³. Соответственно мощность экспозиционной дозы на посту Дружба (Сумская область) в этот период достигает $1.8 \cdot 10^{-2}$ мкР/ч, а после прохождения облака - $4.5 \cdot 10^{-3}$ мкР/час (за счет излучения вид выпадений на земную поверхность). На постах Киевской, Житомирской и западных областей Украины эти величины уменьшаются еще на 1-2 порядка.

Аналогичные расчеты загрязнения территории Украины были выполнены для случая аварийного выброса с Волгодонской АЭС. На рис. 2Б приведено расчетное поле плотности радиоактивных выпадений Cs-137, сформированное в результате такого

выброса. В этом случае плотность выпадений достигает значений $12 \text{ Бк} / \text{м}^2$ на территории Донецкой области, а объемная активность в период прохождения радиоактивного облака в ближайшем к Донецку посту не превышает $0,4 \text{ Бк}/\text{м}^3$. Соответственно мощность экспозиционной дозы на посту в этот период достигает $3,8 \cdot 10^{-3} \text{ мкР}/\text{ч}$, а после прохождения облака - $2,4 \cdot 10^{-3} \text{ мкР}/\text{ч}$.

На основе выполненных модельных расчетов были выполнены оценки возможности существующей в Украине сети постов радиационного контроля по данным измерений мощности экспозиционной дозы гамма-излучения детектировать аварийный выброс на одной из указанных АЭС России. При этом считалось, что временной ряд измерений на каждом из постов сети имеет флуктуации вокруг средних значений величиной порядка 1-3 мкР/ч. Тогда, если на посту будет зафиксировано превышение МЭД величиной 5 мкР/ч., то это должно быть индикатором появления дополнительного радиоактивного загрязнения природной среды в период измерений, то есть приходом радиоактивного выброса в точку измерений.

По результатам моделирования получено, что по данным измерений ближайших постов радиационного контроля наличие аварийного выброса из Курской АЭС может быть зафиксировано с высокой степенью достоверности, если суммарный выброс по цезию-137 будет превышать 0,84 ПБк, если бы измерения проводились в период прохождения радиоактивного облака над пунктом измерений Дружба. Если измерения в этом пункте проводились бы после прохождения радиоактивного облака, то радиоактивное загрязнение почвы могло быть выявлено такими измерениями в случае выброса из АЭС более 3,3 ПБк.

Аналогичные оценки, проведенные для случая аварийного выброса с Волгоградской АЭС, показывают, что выброс с АЭС может быть зафиксирован с высокой степенью достоверности, если суммарный выброс по цезию-137 будет превышать 3,9 ПБк, если бы измерения проводились в период прохождения радиоактивного облака над пунктом измерений в Донецке. Если измерения бы проводились после прохождения радиоактивного облака, то радиоактивное загрязнение почвы могло быть выявлено такими измерениями в случае выброса с АЭС более 6,2 ПБк.

Расчеты последствий гипотетических аварийных выбросов с АЭС, проведенные с помощью модели атмосферного переноса радиоактивности, дают возможность оценить как уровни радиоактивного загрязнения различных компонент окружающей среды, так и величину доз облучения населения, находящегося на загрязненной территории. Результаты таких расчетов могут послужить основой для разработки и совершенствования планов аварийного реагирования в случае запроектных радиационных аварий. Кроме того, приведенные модельные расчеты гипотетических выбросов с АЭС дают возможность построить наиболее эффективную стратегию аварийного мониторинга окружающей среды в зависимости от величины выброса, географических условий расположения станции и метеорологических условий распространения радиоактивности. С другой стороны, мезомасштабная модель атмосферного переноса может быть использована в качестве расчетного инструмента для оперативного прогноза радиационной обстановки в системах поддержки и принятия решений в случае крупных радиационных аварий.

Список литературы

1. Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ-97) Государственные гигиенические нормативы. - Киев: Отдел полиграфии Украинского Центра госсанэпиднадзора МЗ Украины, 1998. - 121 с.
2. F. Gering, B. Gerich, E. Wirth and G. Kirchner. Potential Consequences of the Fukushima Accident for Off-Site Nuclear Emergency Management: A Case Study for Germany. Radiation Protection Dosimetry (2013), pp. 1–9.