

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РАДИОНУКЛИДАМИ В г. ХАРЬКОВЕ И ХАРЬКОВСКОЙ ОБЛАСТИ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧАЭС

М.Ф. Кожевникова¹, В.В. Левенец¹, А.А. Шур¹, И.В. Удалов²

¹Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина

E-mail: levenets@kipt.kharkov.ua; тел. +38(057)335-68-29;

²Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина

Представлен анализ влияния чернобыльской аварии на экологическую ситуацию в Харьковской области и г. Харькове. Проведен анализ движения воздушных масс на территории г. Харькова и области, получены карты траекторий воздушных потоков и распределение частиц радионуклидов в районе исследования после аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. Предлагается методика обработки данных по обнаружению источников загрязнения радионуклидами.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальна проблема радиоактивного загрязнения окружающей среды и идентификации источников загрязнения. Интерес к реконструкции радиационной обстановки обусловлен необходимостью изучения уровня и последствий радиоактивного загрязнения территории Украины в результате влияния аварии на ЧАЭС и работы предприятий промышленного комплекса.

Рассмотрение вопроса влияния атомно-энергетической отрасли на экологию должно проходить комплексно, с учетом местоположения АЭС и других техногенных источников загрязнения как локальных, так и региональных.

Для экологического контроля над выбросами АЭС разработана методика выявления источника загрязнения по соотношению загрязняющих веществ, содержащихся в замерах воздуха или почвы, взятых на рассматриваемой территории. Для определения источников загрязнения используются математические методы с привлечением факторного анализа, в основе которых лежит решение обратной задачи. Эти методы позволяют по определенному числу точек наблюдений восстановить параметры источников загрязнения и выяснить территориальную локализацию загрязнения. Для моделирования процессов распространения загрязнения воздуха применяется один из методов факторного анализа – метод рецепторного моделирования, который использует химические и физические характеристики газов и частиц, измеренные на источнике и рецепторе для идентификации присутствия и определения вклада источника в концентрацию на рецепторе [1-3].

Целью работы является применение разработанной методики рецепторного моделирования для идентификации источника радиоактивного загрязнения Харьковского региона по результатам замеров воздуха и почвы, полученных на территории г. Харькова и области после аварии на ЧАЭС.

1. МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИСТОЧНИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Для определения основных обстоятельств, влияющих на радиоактивное загрязнение атмосферы и почвы в Харьковском регионе в 1986 г., используется метод рецепторного моделирования [4]. Он позволяет определять как характеристики источников загрязнения, так и вклад отдельных источников в конкретные образцы. Вопрос о месте расположения самих источников загрязнений решается в результате анализа траекторий воздушных масс, переносящих загрязнения, и анализа выпадений.

Для изучения пространственного распространения загрязняющих веществ использовалась программа HYSPLIT-4 [5]. Она позволяет осуществить моделирование процесса формирования и распространения облака воздушных загрязнений от заданного источника. Входные метеорологические данные, необходимые для HYSPLIT-4, заимствуются из расчетов метеорологических моделей, основанных на результатах натурных измерений.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ

Харьковская область располагает мощным народнохозяйственным комплексом. Специализация региона: машиностроение, промышленность строительных материалов, газовая, легкая и пищевая промышленности и др. В области находится одна из крупнейших в Украине Змиевская тепловая электрическая станция (ЗТЭС), которая расположена возле посёлка Комсомольское в 55 км от Харькова. В настоящее время ее электрическая мощность составляет 2200 МВт. В других отраслях выделяется добыча газа и производство цемента.

После появления в печати сообщения об аварии на Чернобыльской АЭС, в ННЦ ХФТИ начал проводиться контроль содержания радионуклидов в атмосферном воздухе и выпадениях в районе города Харькова и области. Систематический контроль радиационной обстановки в течение мая, июня,

июля и ее анализ позволили оценить средние уровни альфа-, бета- и гамма-излучений [6].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследовалась зависимость между аварией на ЧАЭС 26 апреля 1986 г. и ухудшением радиационной обстановки в Харьковской области и г. Харькове.

Наибольшее расстояние от ЧАЭС преодолели радионуклиды ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{131}I , ^{133}I , ^{132}Te , ^{134}Cs , ^{137}Cs и радиоактивные инертные газы в составе пароаэрозольной, газовой смеси и частиц субмикронного размера, что и обусловило формирование довольно значительных по площади радиоактивных «пятен» на территории большинства европейских стран.

За время, прошедшее после аварии, полностью распались не только короткоживущие, но и среднеживущие радионуклиды. Мощность дозы внешнего облучения значительно, на несколько порядков, уменьшилась. В окружающей среде остались практически только долгоживущие радионуклиды цезия, стронция и трансурановых элементов [7].

В Украине приблизительно на 48 400 км² загрязненных территорий зарегистрирована плотность загрязнений ^{137}Cs чернобыльского происхождения, превышающая 37 кБк/м². На этих территориях, преимущественно в сельских населенных пунктах, проживает более 1,5 млн жителей. На рис. 1 показано загрязнение почвы ^{137}Cs северо-востока Украины.

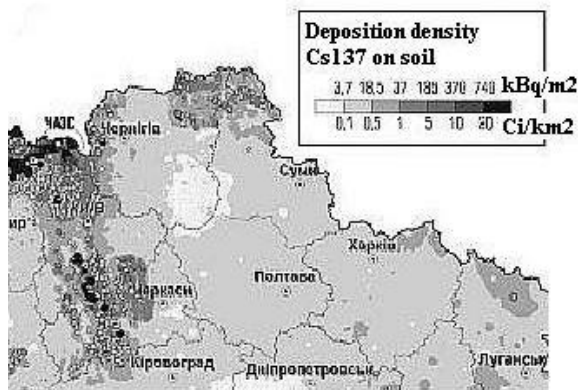


Рис. 1. Пространственное размещение населенных пунктов с различными средними дозами внешнего облучения населения, накопленными за 20 лет (1986–2005 гг.) на территориях, где плотность загрязнения ^{137}Cs на почве превышает 37 кБк/м² [7]

Для определения экологической ситуации в регионе были использованы результаты замеров радиоактивности воздуха и почвы. По этим результатам видно изменение радиационной обстановки в Харьковской области во втором квартале 1986 г. Через четыре дня после аварии, т. е. 30 апреля, в воздух начали поступать радионуклиды – продукты выбросов поврежденного блока. Зарегистрирован широкий спектр радионуклидов в

воздухе, в твердых и жидких атмосферных выпадениях. Наблюдались два максимума во временном изменении активности: 30 апреля и 10 мая. Менее четкий максимум – 13 мая. Максимальное превышение экспозиционной дозы в воздухе над стационарным уровнем естественного фона в г. Харькове было в 5,3 раза [6].

Для определения экологической ситуации в г. Харькове были использованы данные об объемной активности пяти радионуклидов в воздухе, измеренные 28.04–7.06 1986 г. (таблица). Выявлены основные радионуклиды, влияющие на радиационную обстановку в зоне исследований: ^{132}Te ($T_{1/2} = 3,26$ сут), ^{103}Ru ($T_{1/2} = 39,3$ сут), ^{134}Cs ($T_{1/2} = 2,06$ года) и ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30$ лет), ^{131}I ($T_{1/2} = 8,04$ сут). Обработка данных осуществлялась с помощью программы PMF v3.0.2.2 [8].

Объемная активность радионуклидов A_V в воздухе (апрель–июнь 1986 г.), Бк/м³

Дата	^{132}Te	^{131}I	^{103}Ru	^{134}Cs	^{137}Cs
28.04	0,01	0,09	0,03	0,04	0,1
30.04	21,0	33,8	5,5	1,8	4,5
1.05	21,0	33,8	5,5	1,8	4,5
2.05	6,0	8,0	1,0	0,6	2,1
3.05	5,5	8,0	1,0	0,6	2,1
4.05	5,5	8,0	1,0	0,6	2,1
5.05	4,5	0,2	1,0	0,6	2,1
8.05	0,2	0,4	0,04	0,05	2,1
10.05	0,2	1,0	0,1	1,0	0,2
13.05	0,05	0,7	0,1	0,9	0,05
14.05	0,05	3,0	0,01	0,04	0,03
16.05	0,01	3,0	0,02	0,04	0,01
19.05	0,01	0,05	0,06	0,02	0,02
22.05	0,01	0,05	0,06	0,02	0,02
27.05	0,05	0,065	0,01	0,01	0,01
30.05	0,05	0,065	0,01	0,01	0,01
1.06	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01
4.06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
7.06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

За время активного выброса из реактора (с 26 апреля по 5 мая 1986 г.) ветер вокруг Чернобыля развернулся на 360°, в результате чего радиационные выбросы (разного радионуклидного состава в разные дни) покрыли большое пространство (рис. 2). Перемещение воздушных потоков с радиоактивными аэрозолями, в основном на север и запад, от ЧАЭС способствовало относительно более благоприятной радиационной обстановке в г. Харькове. Концентрация ^{131}I составила 34 Бк/м³, максимальная альфа-активность в выпадениях – 0,8 Бк/м² в сутки, максимальная бета-активность в выпадениях – 700 Бк/м² в сутки. К концу июня эти величины активности практически возвратились к стационарным значениям. Наблюдались лишь небольшие их превышения, обусловленные малыми количествами долгоживущих изотопов [6].



Рис. 2. Этапы формирования радиоактивного чернобыльского выброса в первые дни после катастрофы: 1 – 27 апреля, 12 ч (время по Гринвичу); 2 – 29 апреля, 12 ч; 3 – 1 мая, 12 ч; 4 – 5 мая, 0 ч

На основании полученных данных было выполнено пространственное моделирование распределения ^{137}Cs и ^{131}I на территории Харьковской области. Эта территория ограничена координатами: 49,15...50,35 с.ш. и 35,00...37,80 в.д.

В результате этого были определены траектории движения воздушных масс в первую неделю после аварии. Они подтверждают факт поступления радионуклидов в Харьковскую область. На карте

(рис. 3) представлены концентрации ^{137}Cs и ^{131}I в Харьковском регионе с 28.04.86 по 1.05.86. Концентрации радионуклидов показаны в условных единицах массы. На рисунке видно, что радиационные выбросы за первые четыре дня были доставлены в Харьковскую область, и загрязнению подверглась в большей степени северо-восточная часть области, что подтверждается исследованиями, проведенными в 1986 г. [6].

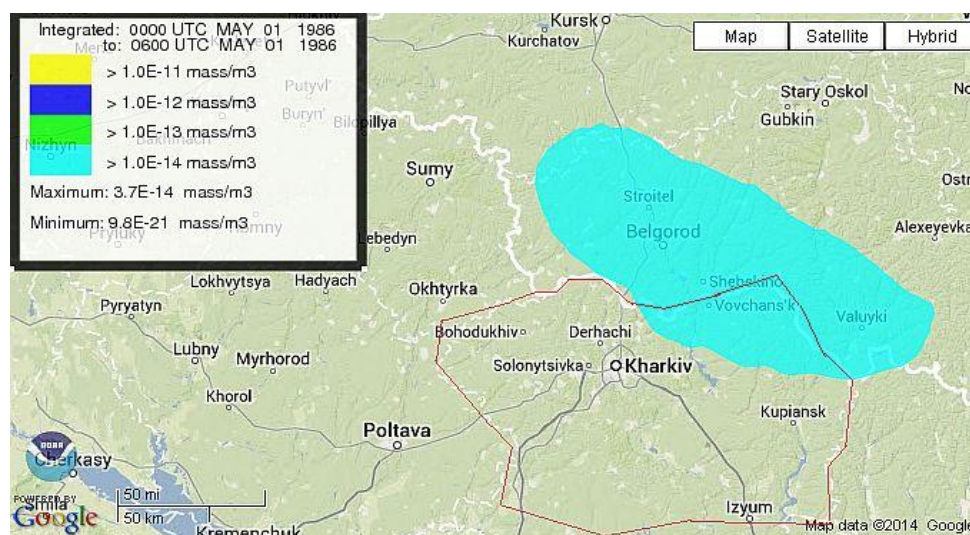


Рис. 3. Концентрации ^{137}Cs и ^{131}I в воздухе с 28.04.86 (6 ч) по 1.05.86 (6 ч) на территории Харьковской области [6]

Распределение радиоактивных частиц в воздухе над территорией Харьковской области показано на рис. 4. Радиоактивные частицы находятся в приземном слое атмосферы (до 1 км). Красный контур очерчивает границы Харьковской области. Видно, что интенсивность радиоактивного заражения воздуха в этом регионе значительно

снижена по сравнению с хвостом следа, простирающегося в Поволжье и далее. По данным исследований, проведенных в 1986 г., максимальное значение объемной активности ^{131}I в г. Харькове в период с 30 апреля по 1 мая в несколько раз превышало предельно допустимую концентрацию для категории Б (ограниченная часть населения) [6].

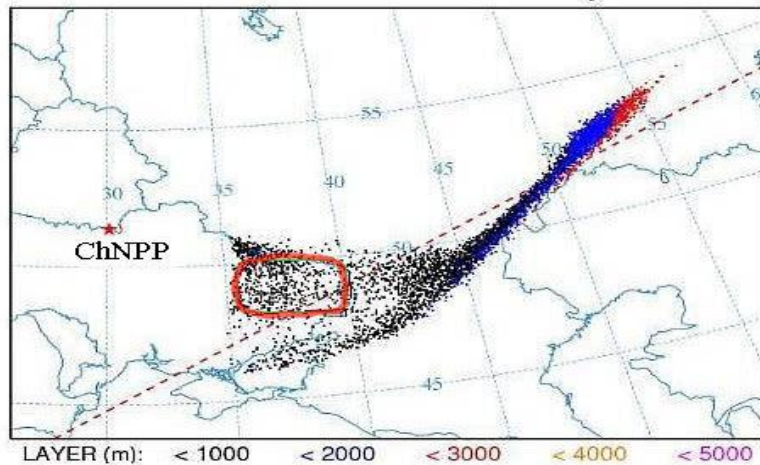


Рис. 4. Распределение частиц радионуклидов в воздухе с 28.04.86 (6 ч) по 1.05.86 (6 ч). (Харьковская область выделена красным контуром) [6]

Таким образом, в г. Харькове 30 апреля 1986 г. произошло повышение радиационной активности воздуха и атмосферных выпадений.

В 1991 г. в ННЦ ХФТИ произведены измерения мощности эквивалентных доз фотонного излучения на высоте 1 м, на поверхности почвы и в почве в г. Харькове и Харьковской области, а также проводились замеры загрязнения почвы области ^{137}Cs [9].

В результате этих исследований получены следующие результаты. Средняя мощность эквивалентной дозы в почве на глубине 2...5 см, измеренная по периметру города, равнялась $(0,139 \pm 0,1)$ мкЗв/ч. Загрязнение почвы ^{137}Cs в основном обусловлено как вкладом от стратосферных выпадений продуктов ядерных взрывов, так и результатом выпадений выбросов от ЧАЭС. Приближенная оценка загрязнения почвы г. Харькова и области до Чернобыльской аварии равнялась $0,22$ Бк/см². В результате аварии ЧАЭС средняя загрязненность почвы города увеличилась в 4 раза [9].

Анализ результатов измерения мощности эквивалентной дозы в почве показал, что в Харьковской области имеется несколько районов с относительно высокой радиоактивностью. Это район между городами Змиев, Чугуев и Балаклея, район между городами Изюм и Барвенково, юго-западный участок области, а также вся территория вблизи северной границы области.

Свой вклад в повышение радиационного фона вносит и Змиевская ТЭС, которая расположена между городами Змиев и Балаклея.

ТЭС, работающие на каменном угле, продуцируют треть всех загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха. В выбросах содержатся токсичные по характеру воздействия на здоровье человека компоненты: двуокись серы; окиси азота и углерода, а также летучая зола. В золе топлива обнаружены тяжелые металлы и микроэлементы, которые характеризуются неканцерогенными (Co, V, Cu, Zn, Ng) и канцерогенными (Cr, Ni, Cd, As, Be) эффектами, а также естественные радионуклиды (^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{208}Th) [10].

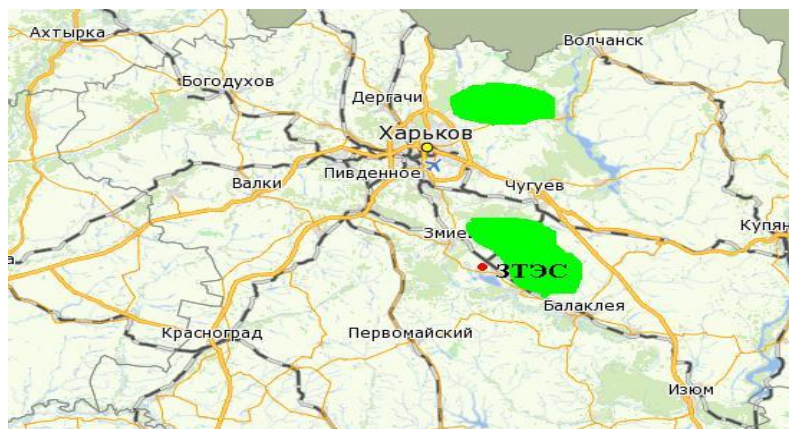


Рис. 5. Накопление ^{137}Cs в почве в 1991 г. на территории Харьковской области. Отмечены участки с загрязнением $1,8 \dots 2,8$ Бк/см²

Наибольшее загрязнение почвы ^{137}Cs имеет участок территории между городами Змиев, Чугуев, Балаклея и участок, лежащий к северо-востоку от г. Харькова (рис. 5). На этих же участках

зафиксированы и повышенные мощности доз в почве. Можно выделить шесть участков, загрязненность которых лежит в диапазоне $0,15 \dots 0,3$ Бк/см²; это указывает на то, что в области

есть участки, где выпадения ^{137}Cs в 1986 г. практически отсутствовали.

Таким образом, выявлены основные радионуклиды и источники загрязнения, влияющие на радиационную обстановку в зоне исследований; получены траектории движения воздушных потоков на территории Харьковской области, а также карты распространения радионуклидов ^{137}Cs и ^{131}I после чернобыльской аварии 1986 г. В результате обработки полученных результатов сделан вывод о том, что содержание радионуклидов в атмосферном воздухе г. Харькова и Харьковской области увеличилось после аварии на ЧАЭС.

ВЫВОДЫ

Представлен анализ распространения радионуклидов на территории Украины в первую неделю после аварии на ЧАЭС, а также анализ влияния данной аварии на экологическую обстановку в Харьковской области. Выявлены основные радионуклиды и источники загрязнения.

Получена реконструкция пространственного распределения загрязняющих веществ на территории Харьковской области в 1986 г. и подтвержден факт, что авария на ЧАЭС послужила причиной увеличения в несколько раз содержания радионуклидов в атмосферном воздухе и почве данного региона. Показано, что имеется область повышенной радиоактивности, связанная с деятельностью Змиевской ТЭС.

Предложенное исследование является валидацией метода идентификации источника загрязнения по проведенным измерениям концентрации радионуклидов и анализу движения воздушных масс в районе исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. М.Ф. Кожевникова, В.В. Левенец, И.Л. Ролик. Идентификация источников загрязнения: вычислительные методы // *ВАНТ. Серия «Вакуум,*

чистые материалы, сверхпроводники». 2011, №6(76), с. 149-156.

2. М.Ф. Кожевникова, В.В. Левенец, К.А. Мец, И.Л. Ролик. Анализ распространения загрязняющих веществ для предприятия циркониевого цикла // *ВАНТ. Серия «ФРП и РМ»*. 2013, №5(87), с. 95-99.

3. М.Ф. Кожевникова, В.В. Левенец, К.А. Мец, И.М. Неклюдов, И.Л. Ролик. Идентификация источника выбросов с помощью моделирования процесса распространения загрязнений и факторного анализа // *Збірник наукових праць СХУЯЕтаП*. 2013, №3(47), с. 71-77.

4. Р.К. Нопке. *Receptor Modeling in Environmental Chemistry*. Wiley: «NewYork», 1985, 502 p.

5. Ronald R. Draxler, G.D. Hess. *Description Of The HYSPLIT-4 Modeling System*. Silver Spring: Air resources Laboratory, NOAA Technical Memorandum ERL ARL-224, 1997, 22 p.

6. В.И. Витько, И.Г. Гончаров, Г.Д. Коваленко, А.А. Красников, А.В. Мазиллов, И.П. Светличная. *Влияние аварии на ЧАЭС на радиационную обстановку в г. Харькове*. Харьков: ХФТИ, 1990, 26 с.

7. В.И. Балага, В.И. Холоша и др. *20 лет Чернобыльской катастрофе. Взгляд в будущее: Национальный доклад Украины*. Киев: «Атика», 2006, 232 с.

8. P. Paatero. Least squares formulation of robust, nonnegative factor analysis // *Chemom. Intell. Lab. Syst.* 1997, v. 37, p. 23-35.

9. В.И. Витько, И.Г. Гончаров, Г.Д. Коваленко, А.В. Мазиллов, И.П. Светличная. *Радиационная обстановка на территории г. Харькова и области*. Харьков: ХФТИ, 1992, 26 с.

10. Г.Д. Коваленко, Г.В. Пивень. Экологический риск для здоровья населения при воздействии выбросов ТЭС и АЭС Украины // *Ядерна та радіаційна безпека*. 2010, №4(48), с. 50-56.

Статья поступила в редакцию 08.07.2014 г.

ЛОКАЛІЗАЦІЯ ОСНОВНИХ ДЖЕРЕЛ ЗАБРУДНЕННЯ РАДІОНУКЛІДАМИ В м. ХАРКОВІ ТА ХАРКІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ ПІСЛЯ АВАРІЇ НА ЧАЕС

М.Ф. Кожевникова, В.В. Левенец, А.О. Щур, І.В. Удалов

Представлено аналіз впливу чорнобильської аварії на екологічну ситуацію в Харківській області та м. Харкові. Проведено аналіз руху повітряних мас на території м. Харкова та області, отримано карти траєкторій повітряних потоків і розподіл частинок радіонуклідів після аварії на Чорнобильській АЕС у районі дослідження в 1986 р. Пропонується методика обробки даних з виявлення джерел забруднення радіонуклідами.

THE LOCALIZATION OF BASIC SOURCES OF THE IMPURITY BY RADIONUCLIDES IN KHARKIV DISTRICT AFTER CHERNOBYL ACCIDENT

M.F. Kozhevnikova, V.V. Levenets, A.A. Shchur, I.V. Udalov

The analysis of influence of Chernobyl accident on ecological state in Kharkiv and Kharkiv district is presented. The analyses of movement of air masses on territory of Kharkiv and Kharkiv region is made. The maps of trajectories of air streams and distribution of particles of radionuclides are obtained in region of the research after Chernobyl accident in 1986. The method of data processing for detection of sources of impurity by radionuclides is proposed.