

УДК 004.9:504:519.6

**ОЦЕНКА ВОЗДУШНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДОНА
ВОКРУГ УРАНОВЫХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ**

И.В. Ковалец*, А.В. Халченков*, О.И. Удовенко*, М.И. Железняк*, Т.В. Лаврова**

*Институт проблем математических машин и систем НАН Украины,

**Украинский научно-исследовательский гидрометеорологический институт

e-mail: ik@env.com.ua

Введение. Приднепровский химический завод (ПХЗ) был одним из крупнейших предприятий по переработке урана в СССР. После распада СССР обработка урана на нем прекратилась. Продукты переработки урана хранятся в 9-ти хвостохранилищах, и их суммарная радиоактивность составляет около $3.2 \cdot 10^{15}$ Бк [1]. На территории ПХЗ также присутствуют загрязненные здания и другие объекты, которые были задействованы в производственном процессе. Для оценки облучения персонала, находящегося на территории промплощадки ПХЗ актуальной задачей является оценка воздушного распространения радона (^{222}Rn), образующегося как продукт распада радия (^{226}Ra), содержащегося в радиоактивных отходах на территории ПХЗ. Поскольку промплощадка ПХЗ находится близко от жилой зоны (около 1 км), то также целесообразно провести оценки воздушного распространения радона за пределами промплощадки.

В последние годы в рамках “Государственной программы по приведению опасных объектов ПО «ПХЗ» в экологически безопасное состояние и обеспечению защиты населения от вредного воздействия ионизирующего излучения на 2005—2014 гг.”, были проведены исследования по мониторингу радиоактивности радона в грунте хвостохранилищ, его содержанию в приземном слое воздуха над их поверхностью и скорости эксхалляции из грунта в воздух [2].

Вопрос о загрязнении территории на расстояниях от нескольких метров до нескольких километров может быть исследован средствами математического моделирования, что и предпринято в настоящей работе. При этом следует, однако, помнить, что хвостохранилища являются не единственным источником радона на территории ПХЗ. Помимо природного фона, на территории ПХЗ есть еще загрязненные здания и другие трудно учитываемые и мало исследованные источники. Поэтому результаты этой работы следует интерпретировать именно как исследование влияния отдельных хвостохранилищ в виде дополнительного поступления радона в воздух и увеличения его объемной концентрации.

Модели воздушного переноса радона от площадных источников. Для расчета атмосферного переноса атмосферных загрязнений использовались диагностическая метеорологическая модель (метеорологический препроцессор) CALMET и модель атмосферного переноса CALPUFF [3]. Модель атмосферного переноса CALPUFF – это Лагранжево-Эйлерова модель, которая применима на расстояниях 0.1-1000 км, и которая описывает распространение загрязнений в т.ч. от площадных источников. В качестве входных метеорологических данных эта модель использует метеорологические поля, вычисленные с помощью модели CALMET. Поскольку время полураспада радона около 91 ч., размер вычислительной области не более 10 км, а также поскольку радон, как инертный газ не осаждается и не вымывается осадками, то максимальная продолжительность пребывания радона в вычислительной области - 5 часов при минимальной скорости ветра 0.5 м/с. Это время значительно меньше времени полураспада. Следовательно, радиоактивный распад радона в вычислениях не учитывался, и его распространение рассчитывалось как распространение пассивной консервативной примеси.

Источник выброса. Настоящее исследование было ограничено тремя хвостохранилищами: “Западное”, “Центральный Яр” и “Юго-Восточное” (Рис. 1). Другие хвостохранилища либо менее изучены в настоящий момент (“Лазо”, “База С”, “Сухачевское”).

Вышеназванные три хвостохранилища представляют из себя объекты площадью $\sim 10^4 \text{ м}^2$ каждый, расположенные на расстоянии 0.5-1.5 км друг от друга.



Рис. 1. Хвостохранилища "Западное" (1), "Центральный Яр" (2) и Юго-восточное (3)

Для моделирования распространения радона необходимо оценить скорость эмиссии с территории хвостохранилищ. Для задания этой величины можно использовать либо расчетные оценки, либо результаты измерений эксхалляции. Поскольку вокруг изучаемых хвостохранилищ проводились серии измерений эксхалляции радона [2], измеренные значения использовались для расчета объемной активности радона в воздухе. Однако, были проведены и расчетные оценки эксхалляции для выяснения чувствительности результатов к сделанным предположениям. Детали оценок скорости эмиссии на основании измерений, а также теоретических оценок скорости эмиссии радона для хвостохранилища "Западное" представлены в работе [4]. Из трех хвостохранилищ в среднем наибольшая эксхалляция наблюдается на территории хвостохранилища "Центральный Яр". На территории хвостохранилища "Западное" наблюдались очень большие различия (в 15-25 раз) в величине эксхалляции между территорией дамбы, ограничивающей это хвостохранилище с северной и восточной стороны, и всей остальной территорией хвостохранилища. Теоретические оценки скорости эмиссии радона, проведенные для хвостохранилища "Западное" (см [4]) показали хорошее согласование с измерениями на территории северной части. В целом, в [4] было показано, что значения функции источника заданные в вычислениях в работе [4] и в настоящей работе для хвостохранилища "Западное" на основании измерений близки к консервативной оценке этой функции для этого хвостохранилища.

Результаты расчетов. Для получения репрезентативных значений средней концентрации в воздухе вокруг хвостохранилищ проводились вычисления атмосферного переноса радона, который поступает из хвостохранилищ за срок 4.5 года с начала 2005 г. по май 2009 г. включительно. Вычисления проводились в области размером 6х6 км, которая охватывала три хвостохранилища. Для задания географических данных о топографии использовались данные DEM (Digital Elevation Model) с пространственным разрешением 198 м, которое совпадало с горизонтальным разрешением сетки метеорологической модели CALMET. Для задания метеорологических условий использовались данные наземной метеорологической станции, расположенной в Днепропетровске (направление и скорость ветра на высоте 10 м, приземная температура на высоте 2 м, давление, точка росы, облачность), и данные ближайшего радиозонда (направление и скорость ветра, температура, высота на стандартных уровнях давления). Эти данные задавались с шагом, соответствующим интервалу измерений (3 часа для наземной станции и 12 часов для радиозондов). Значение параметра шероховатости задавалось: $z_0 = 0.2 \text{ м}$.

На рисунке 2 представлены распределения средних за весь промежуток расчета приземных концентраций радона вокруг хвостохранилищ. Максимальное значение средних концентраций над территорией хвостохранилища "Западное" – 20 Бк/м^3 , над территорией хвостохранилища "Центральный Яр" – 100 Бк/м^3 , над территорией хвостохранилища "Юго-восточное" – 50 Бк/м^3 . На рисунке видно, что средние концентрации выше фоновых (20 Бк/м^3) создаются хвостохранилищами практически только на их территории и в непосредственной близости к ней (на расстояниях до 100 м в случае хвостохранилища "Центральный Яр"). В отличие от средних концентраций, максимальные среднесуточные концентрации за весь период расчетов могут достигать 50 Бк/м^3 в радиусе 350 м от хвостохранилища "Центральный Яр" и на расстояниях 100-200 м от хвостохранилищ "Западное" и "Юго-Восточное". Согласно расчетам, в ближайшей точке

на границе жилой зоны влияние хвостохранилищ на загрязнение незначительно. Среднее значение концентрации радона здесь равно 0.5 Бк/м^3 , максимальное - 15 Бк/м^3 .

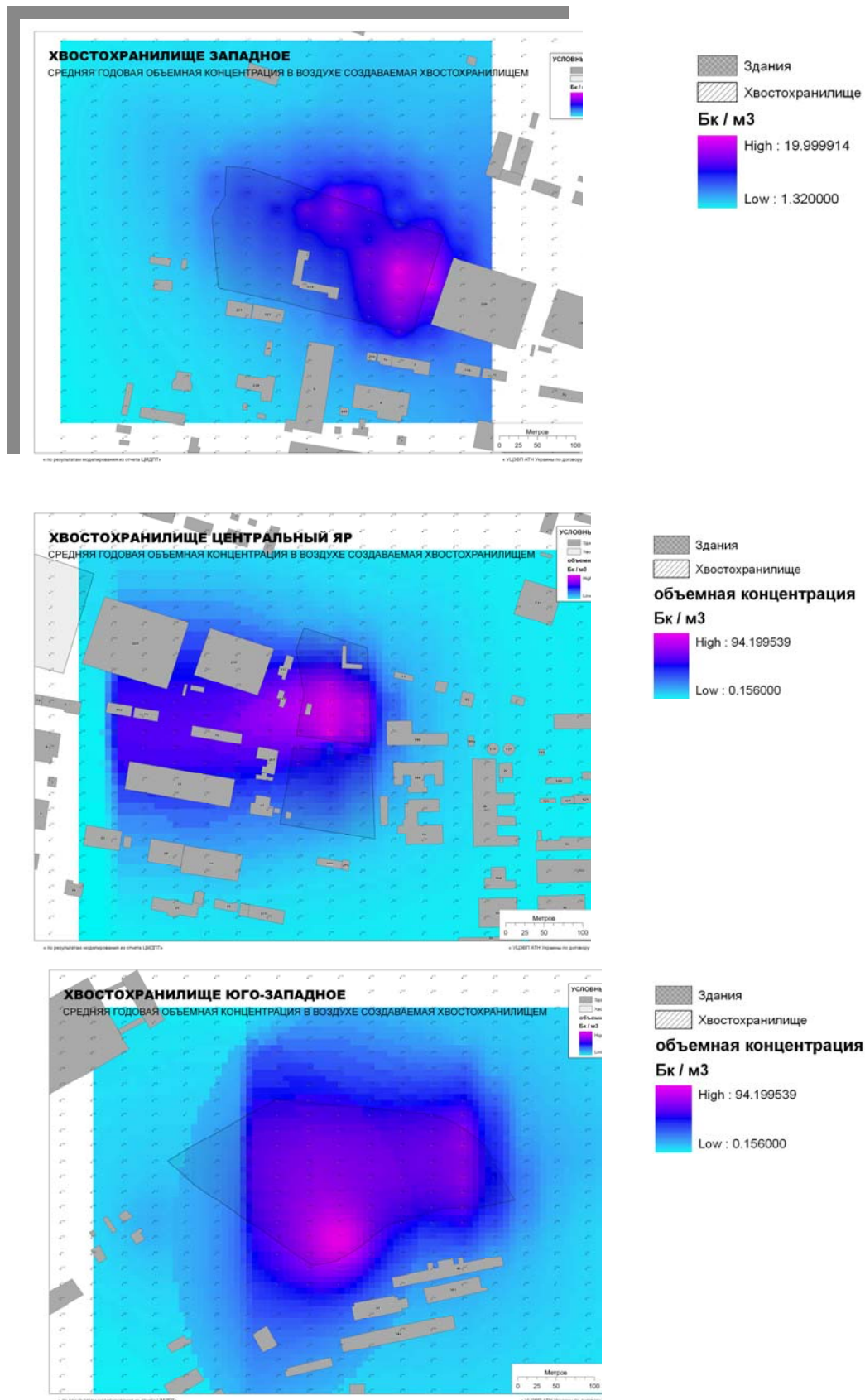


Рис. 2 Средняя за 4.5 года концентрация радона, создаваемая тремя хвостохранилищами: "Западное", "Центральный Яр" и "Юго-Восточное"

Было проведено сравнение измеренных (в работе [2]) и рассчитанных концентраций радона на территории трех хвостохранилищ. Рассчитанные значения концентрации радона на территории "Западного" хвостохранилища в целом значительно меньше измерений, которые в 2008 году достигали 200 Бк/м³, а в 2007 - 400 Бк/м³. Однако, в июне 2008 года в трех точках на территории "Западного" хвостохранилища были зафиксированы значения меньше или равные 20 Бк/м³. Большие расхождения наблюдаются и для хвостохранилища "Юго-Восточное". Согласование расчетов с измерениями гораздо лучше для хвостохранилища "Центральный Яр". Значения показателя $\alpha = C_{model} / C_{meas}$ для этого хвостохранилища около $\alpha=1.5$, те рассчитанные значения в среднем всего в 1.5 раза меньше измеренных. В то же время для хвостохранилищ "Западное" и "Юго Восточное" рассчитанные концентрации в среднем меньше измерений в 3 и 5 раз соответственно. Таким образом, можно заметить, что расхождение больше для тех хвостохранилищ, где эксхалиция меньше (эксхалиция на хвостохранилище "Центральный Яр" в среднем значительно больше чем на других двух). Такая ситуация возможна, например, когда на измерения радона значительное влияние оказывают другие источники, кроме самих хвостохранилищ, либо неучтенные повреждения в покрытиях хвостохранилищ.

Выводы. В целом результаты моделирования свидетельствуют о том, что даже в худших случаях концентрация радона, создаваемого хвостохранилищами "Западное", "Центральный Яр" и "Юго-Восточное", не может быть значительной (например, больше порогового значения 50 Бк/м³) на расстояниях больших 300 м. Рассчитанные концентрации радона в воздухе намного меньше измерений на территории хвостохранилищ "Западное" и "Юго-Восточное". Согласование с измерениями на территории хвостохранилища "Центральный Яр" намного лучше. Существующие расхождения между рассчитанными и измеренными концентрациями радона, возможно, объясняются: а) не учтенными источниками радона; б) слишком грубым разрешением пространственной сети измерений эмиссии радона (в результате в вычислениях могли быть не учтены существующие повреждения покрытий хвостохранилищ).

Литература

1. Voitsekhnovich O., Lavrova T. Remediation Planning of Uranium Mining and Milling Facilities: The Pridneprovsky Chemical Plant Complex in Ukraine // In Remediation of Contaminated Environments, (G. Voigt, S. Fesenko, eds), Elsevier. – 2009. - P. 343-356.
2. Центр моніторингових досліджень і природоохоронних технологій (ЦМДПТ). Звіт про результати "Виконання робіт згідно з програмами і регламентами радіаційного моніторингу", госпдогівір 9 з ДП «Бар'єр» від 28.05.08. – 2008. - 66 с.
3. Scire J.S. Strimaitis D.G., Yamartino R.J. A user's guide for the CALPUFF dispersion model (Version 5). – 2000. - Earth Tech. Inc., Concord. – 521 p. (<http://www.src.com/calpuff/calpuff1.htm>)
4. Ковалец И.В., Железняк М.И., Халченков А.В., Удовенко О.И., Лаврова Т.В. 2010. Численное моделирование воздушного распространения радона вокруг урановых хвостохранилищ//Электронное моделирование №3 (в печати).