

УДК 004.9:504.4.054

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ РАДІАЦІЙНИХ ЗАБРУДНЕНЬ ДЛЯ ВОДОЗБОРУ р. СТИР

О.В. Бойко, І.В. Ковалець, М.Й. Железняк

Інститут проблема математичних машин і систем НАН України

e-mail: alexb@env.com.ua

Вступ. Річка Стир є правобережним притоком р. Прип'ять та відноситься до басейну р. Дніпро. Стир розташована в межах фізико-географічного району Полісся, довжина р. Стир – 483 км та площа водозбору 13310 км². Річка належить до рівнинного типу, та характеризується незначними швидкостями течії (0.1 — 0.3 м/с). В період весняного водопілля (березень - квітень) відбувається затоплення заплави. На початку сніготанення спостерігаються процеси формування місцевого тало-дошового стоку, застою води у пониженнях рельєфу. Улітку при випадінні тривалих і зливових дощів також може відмічатися підтоплення ними територій і об'єктів.

У середній течії р. Стир у м. Кузнецовськ розміщується Рівненська АЕС. Оскільки відстань віддалення АЕС від основного русла становить приблизно 2 км у разі непередбачених аварійних викидів радіаційні забруднення будуть потрапляти до річки Стир. Для проведення комплексного аналізу можливих наслідків різних сценаріїв аварійних ситуацій на РАЕС у кризовому центрі Держатомрегулювання України була встановлена система підтримки прийняття рішень з поза-об'єктового реагування на радіаційні аварії JRODOS.

В систему JRODOS включений модуль розрахунку міграції радіонуклідів в гідрологічних системах – річках та водосховищах. Модуль має назву Hydrological Dispersion Module – HDM [1] та розроблявся в Інституті проблем математичних машин і систем НАН України з початку 90-их років минулого століття. Головне призначення модулю гідрологічної дисперсії - надати кількісну оцінку змиву радіонуклідів з водозборів та дослідити динаміку їх розповсюдження у руслах річок в залежності від погодних умов та гідрологічного режиму річок під час аварії та у короткостроковий період після. Модуль складається з каскаду двох моделей – моделі змиву радіаційних забруднень з площі водозбору та моделі транспорту радіаційних забруднень у руслах річок. У статті надається короткий опис моделей гідрологічного модулю системи JRODOS та наведено результати моделювання розповсюдження радіаційних забруднень (Cs-137) на водозборі р. Стир для двох аварійних сценаріїв викидів з енергоблоку Рівненської АЕС.

Моделі змиву та транспорту радіаційних забруднень. Модель JRETRACE є спрощеною версією моделі RETRACE [2]. В основі концепції моделі RETRACE, покладено емпіричне співвідношення, що описує змив радіонуклідів з водозборів водним стоком. Модель включає в себе два блоки: блок розрахунку водного стоку та блок розрахунку змиву радіонуклідів. Але з огляду на задачі короткострокового прогнозування та невеликі початкові площі радіаційного ураження на водозборі – об'ємами водного стоку з уражених ділянок можна знехтувати, вважаючи їх набагато меншими ніж запаси води у руслах річок. Звідси у модель JRETRACE входить тільки блок змиву радіонуклідів, що базується на двох припущеннях:

1. Об'єм змиву радіонуклідів формується з кожної комірки просторової сітки атмосферного випадіння, що належить водозбір, та лінійно залежить від величини опадів та концентрації випадіння радіонуклідів. Для цього вводиться певний коефіцієнт змиву для кожного радіонукліду.

2. Радіонукліди змиваються без затримки у часі безпосередньо у найближчу за відстанню розрахункову точку річкової мережі гідродинамічної моделі JRIVTOX.

Припущення (1) є загально прийнятим у практиці моделювання змиву радіонуклідів з водозборів [3]. Припущення (2) приводить до завищення концентрацій радіонуклідів, що потрапляють до річкової мережі, але таким чином показується максимально можливий консервативний об'єм змиву, що повністю задовольняє основній меті роботи моделі – оцінити найгірший можливий ефект від змиву. Змив радіонукліда з ділянки водозбору розраховується за формулою:

$$J = K_w \cdot D \cdot S \cdot L_w, \quad (1)$$

де, D – густина забруднення ділянки водозбору, Бк/м²; K_w – питомий коефіцієнт змиву, м⁻¹; L_w – шар водного стоку, м; S – площа ділянки водозбору, м².

Модель J-RIVTOX є імплементацією моделі річкової гідродинаміки RIVTOX [4] та застосовується для розрахунку динаміки розповсюдження радіонуклідів у річках та природних водотоках. J-RIVTOX включає наступні під-моделі: модель динаміки руху води у руслах річок, що базується на розв'язку рівняння «дифузійної хвилі», яке є спрощенням повної системи рівнянь Сен-Венана [5]; модель транспорту радіонуклідів, що описує процеси адвекції та дифузії концентрацій радіонуклідів осереднених за поперечним перерізом річки, концентрацій у завислих наносах та концентрацій у верхньому шарі донних випадінь.

Моделювання аварійних сценаріїв для Рівненської АЕС. Для моделювання використовувались два сценарії атмосферних випадінь для умов аварій на третьому енергоблоці Рівненської атомної станції. Перший, менш консервативний сценарій, відповідає умовам втрати теплоносія без руйнування герметичної оболонки реактора (VVER1000-ST1). Другий, найбільш консервативний сценарій для реакторів типу VVER-1000 відповідає умовам втрати теплоносія, вибуху парового котла та руйнування герметичної оболонки реактору (VVER1000-ST2). Обидва сценарії описані в роботі [6]. У першому сценарії сумарна активність у викиді Cs-137: $1.17 \cdot 10^{14}$ Бк, у другому сценарії сумарна активність у викиді Cs-137: $1.51 \cdot 10^{17}$ Бк. Таким чином, другий сценарій на 3 порядки більш потужний ніж перший. Сценарії викидів накладались на метеорологічну обстановку з 1.11.1974 р. (початок визначного осіннього паводку в регіоні). Поля опадів для умов паводку 1974 р були розраховані моделлю WRF, які добре узгоджувались з наявними вимірюваннями (рис. 1). Для того, щоб випадіння на водозбір р. Стир були значними характеристики вітру задавались штучно (слабкий вітер, направлений переважно на північ). Відповідні дані атмосферних випадінь Cs-137 розраховані модулем атмосферного переносу системи JRODOS [7] представлені на рис. 2:

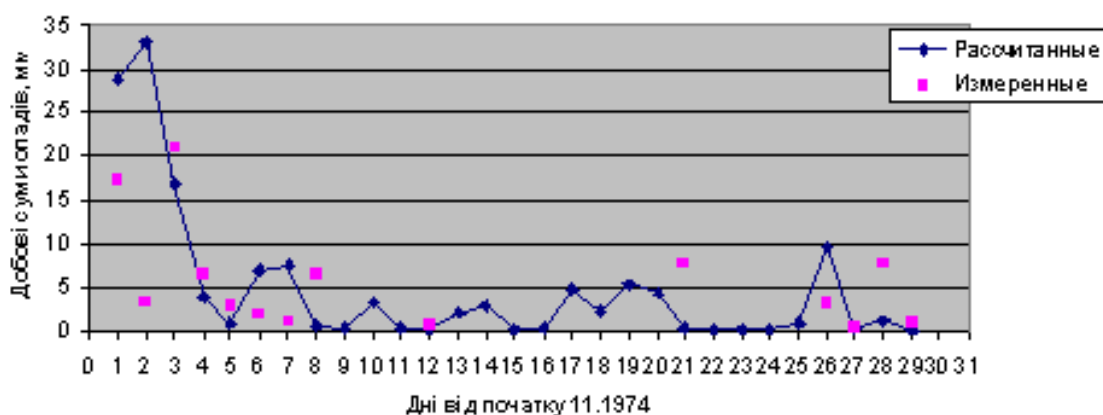


Рис. 1. Розраховані моделлю WRF і фактичні добові опади на метеостанції Міневичі під час високої дощової повені 1974 р.

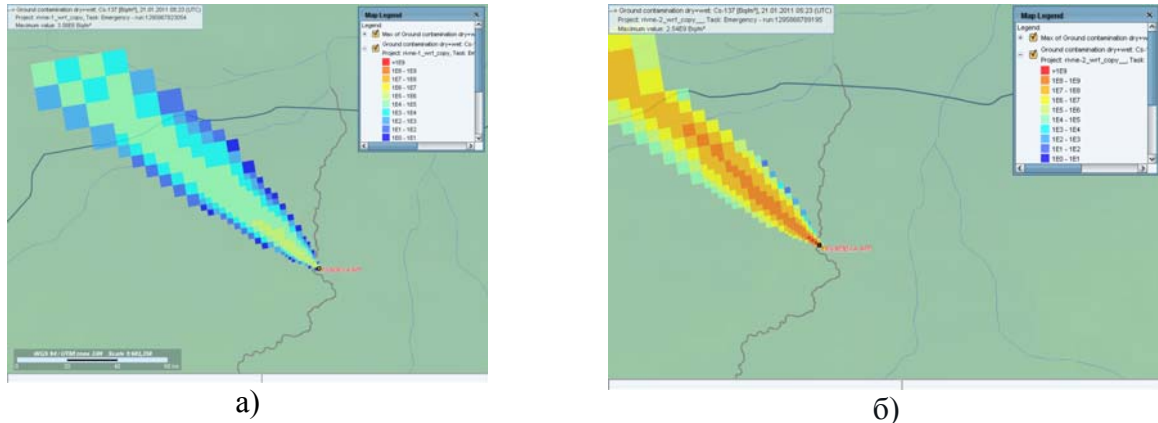


Рис.2. Атмосферні випадіння. а) Cs-137 для VVER1000-ST1;
б) Cs-137 для VVER1000-ST2

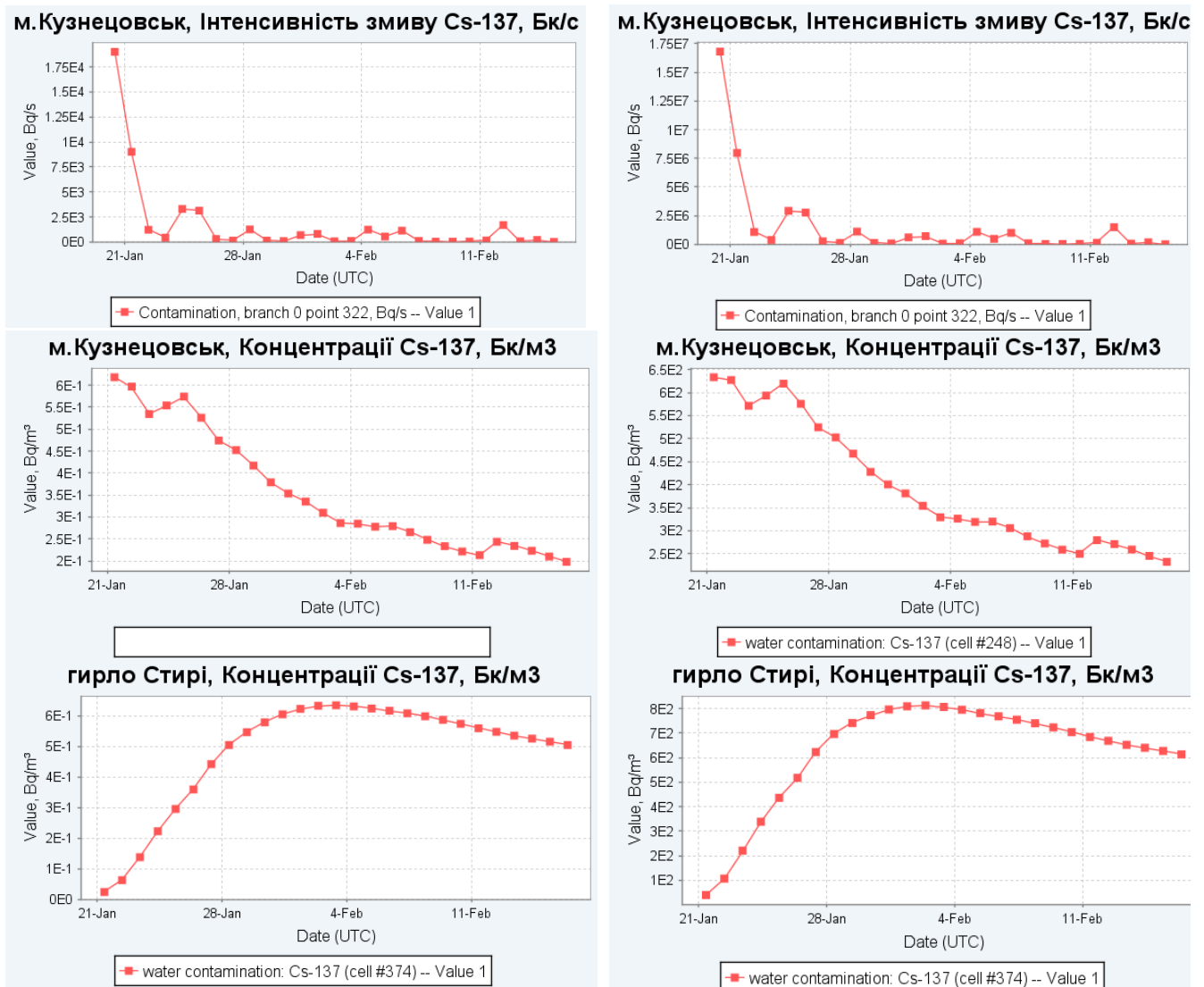


Рис. 3. Динаміка змиву та концентрацій радіонуклідів у контрольних точках. Ліва колонка – перший сценарій атмосферного випадіння (VVER1000-ST1). Права колонка – для другого сценарію атмосферного випадіння (VVER1000-ST2)

В якості гідрологічного сценарію для моделювання поверхневого змиву та транспорту радіонуклідів у р. Стир використовувалися дані осіннього паводка 1974 року. Поля опадів було реконструйовано з використанням чисельної моделі погоди WRF. Фаза стрімкого підвищення витрат та рівнів і фаза рецесії спостерігалася один місяць з максимальною витратою 225 м³/с. Оскільки датою умовного викиду шкідливих речовин з атомної станції, згідно з сценаріями атмосферного випадіння, є умовне 20 січня – ця дата була також стартовою для гідрометеорологічного сценарію. Кінцевою датою сценарію є умовне 16 лютого. Моделювання змиву та транспорту проводилося для Cs-137. Контрольними точками були обрані: м. Кузнецовськ, с.м.т. Млинок та гирло річки Стир на Білоруській території. Результати моделювання представлені на рис. 3 і у табл. 1.

Таблиця 1. Максимальні рівні концентрацій радіонуклідів у р. Стир внаслідок розрахованих сценаріїв викидів на РАЕС

Сценарій	м. Кузнецовськ	с.м.т. Млинок	гирло р. Стир
VVER1000-ST1	0.62 Бк/м3	0.8 Бк/м3	0.65 Бк/м3
VVER1000-ST2	650 Бк/м3	1200 Бк/м3	800 Бк/м3

Висновки. Ланцюг метеорологічних і гідрологічних моделей, що включено до системи реагування на радіаційні аварії JRODOS адаптований для умов регіону Рівненської АЕС для розрахунків радіаційного забруднення річки Стир і виносу радіонуклідів у р. Прип'ять для різних сценаріїв потенційних аварійних ситуацій на Рівненській АЕС. Розроблені технології обміну інформації між моделями, що дозволить ефективно використовувати цю систему для проведення відповідних каскадних розрахунків пов'язаними математичними моделями для прогнозування паводків і прогнозування переносу радіонуклідів у басейні Прип'яті. Проведено моделювання розповсюдження Cs-137 на водозборі р. Стир за умов паводку для двох сценаріїв викидів радіонуклідів у атмосферу внаслідок аварійних ситуацій на третьому енергоблоці Рівненської атомної електростанції. Отримані результати показують можливість застосування модуля гідрологічної дисперсії системи JRODOS для короткочасного прогнозу та аналізу стану радіаційного забруднення річкових систем.

Список літератури

1. Zheleznyak M., Heling R., Raskob W., Hydrological dispersion module of the decision support system RODOS – Radioprotection, 2002 – v. 37, n° C1. - p. C.1-683, C.1-688.
2. Kolomeev M., Madsen H., Description of RETRACE: A new catchment model of the hydrological dispersion module in the RODOS system – RODOS(RA5)-TN(01)-09, Report of FP5 DAONEM Project FIKR-CT-2000-00025, FZK Karlsruhe. – 32 p.
3. Monte L., Analysis of models assessing the radionuclide migration from catchments to water bodies. – Health Physics, 1996 – v.70, N2. - p.227-237.
4. Zheleznyak M., Donchyts G., Hygynyak V., Marinetz A., Lyashenko G., Tkulich P., Treebushny D., Kovalets I. RIVTOX -one dimensional model for the simulation of the transport of radionuclides in a network of river channels. RODOS Report RODOS-WG4-TN(97)05= Revised2003, doi: 10.13140/RG.2.1.4071.8241.
5. Кюнж Ж.А. Численные методы в задачах речной гидравлики / Кюнж Ж.А., Холли Ф.М., Вервей А. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 252 с.
6. Landman C., 2007. Scenario data sets and scenarios for RODOS PV6 final. RODOS(RA7)-TN(04)-02 Karlsruhe Institute of Technology – 49 p. (available from www.rodos.fzk.de).
7. Ievdin Y., Trybushny D., Zheleznyak M. and Raskob W., 2010. RODOS re-engineering: aims and implementation details. Radioprotection Vol. 45 No 5, p. S181-190.