

УДК 621.039.586.614.876

Б. С. Прістер, Є. К. Гаргер, Н. Н. Талерко, В. Д. Виноградська, Т. Д. Лев,
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ БЕЗПЕКИ АЕС НАН УКРАЇНИ

МОДЕЛЬ РАЙОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ ЗА РІЗНИХ РІВНІВ МОЖЛИВОГО РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ АГРОСФЕРИ

Для підвищення ефективності захисту населення і сільськогосподарського виробництва від наслідків важкої аварії запропоновано превентивно до аварії проводити збір і аналіз картографічної, статистичної, екологічної та ін. інформації, необхідної для прогнозування та оцінки радіаційної ситуації. Розроблено методологію радіоекологічного районування території, забрудненої радіоактивними випадіннями з використанням ландшафтно-басейнового принципу та ГІС-технологій. Розроблено модель території, таксономічними одиницями якої є елементи ландшафту або об'єкти сільськогосподарського землекористування, що дозволяє погодити просторово-часовий розподіл параметрів і поєднати моделі атмосферного розповсюдження і міграції радіонуклідів (РН) по ланцюгу «грунт - рослини - тварини - продукція - людина».

Ключові слова: важка аварія, радіоекологічна модель території, радіоекологічного зонування, прогнозування радіаційної обстановки.

При важких аваріях на АЕС продукція сільськогосподарства вносить значний вклад в дозу опромінення людини, тому воно є пріоритетним об'єктом реагування. Дози опромінення населення на забрудненій території формуються дуже швидко. У той же час період накопичення інформації, необхідної для оцінки радіаційної ситуації, та її узгодження, значно перевищує час, за який формується основна частина дози опромінення населення і коли може бути досягнута найбільша ефективність контрзаходів.

Для підвищення ефективності реагування на аварію запропоновано збір і підготовку картографічної, статистичної, радіоекологічної та іншої інформації, що використовується при прогнозуванні та оцінюванні радіаційної обстановки і характеризує властивості радіонуклідів, території, басейнів, ландшафтів та їх елементів, ґрунтів, рослин, тварин, продуктів, технологій виробництва, проводити превентивно. Важливо забезпечити узгодження просторово-часового розподілу параметрів для поєднання моделей атмосферного поширення і міграції радіонуклідів (РН) по харчовому ланцюгу і дозиметричних моделей. Для вирішення поставлених завдань розроблено концепцію і алгоритм превентивної підготовки інформації та радіоекологічну модель території (РМТ).

Кінцева мета такого підходу – виявити елементи території й об'єкти, потенційно небезпечні з точки зору можливості виробництва продукції з перевищенням нормативу на утримання РН, встановити в короткі терміни після аварії де, коли, які контрзаходи необхідно застосувати.

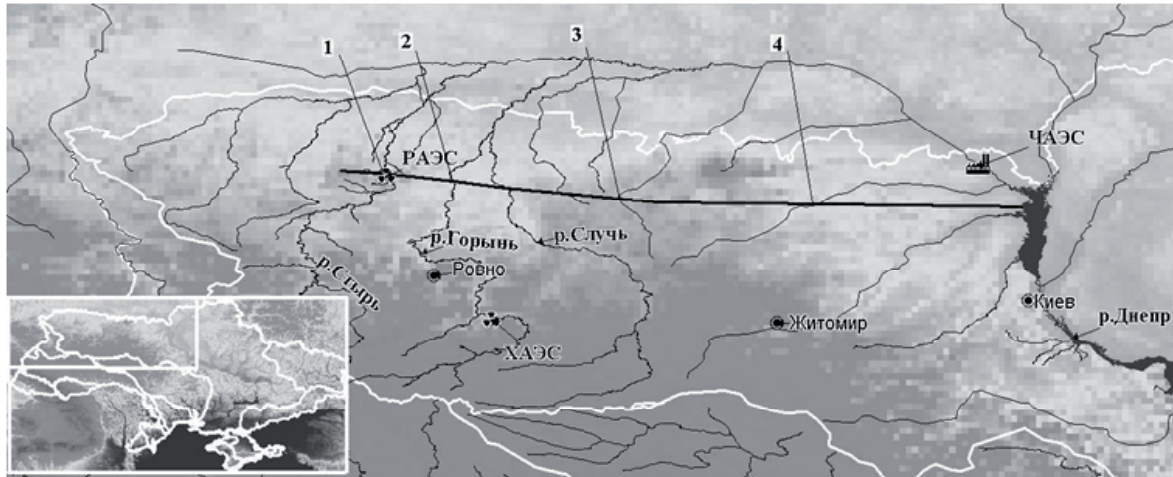
Матеріал і методи дослідження. В якості полігону для відпрацювання РМТ, що дозволяє вирішити методологічні аспекти комплексної проблеми прогнозування та моніторингу розвитку радіаційної обстановки, ми вибрали частину території України, на якій розміщені Чорнобильська (ЧАЕС) та Рівненська (РАЕС) станції. Потужність і висота викиду радіоактивних речовин при аварії на ЧАЕС привели до забруднення тільки в Україні території з рівнем забруднення вище $16,5 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2} \text{ }^{137}\text{Cs}$ 53454 тис. км^2 з населенням 2,291 млн. чоловік, що проживають в

2293 населених пунктах [1]. Західний радіоактивний слід перетнув басейн р. Прип'ять, який включає басейни ряду річок 2-го - 4-го порядків, представлених різними типами ґрунтів (рис. 1). Це зумовило чергування однотипних елементів ландшафту і ґрунтів уздовж напрямку сліду.

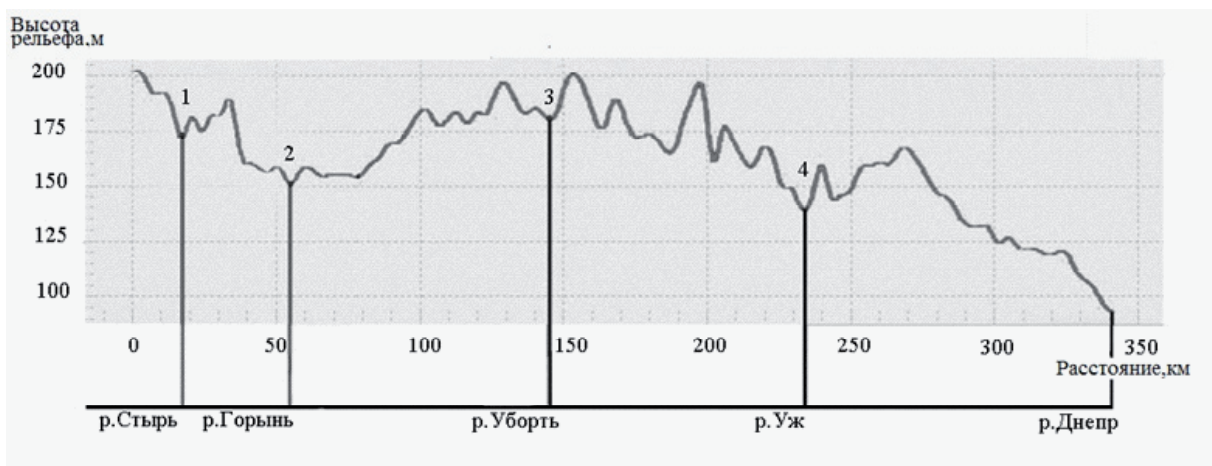
Результати досліджень.

Роль ландшафту в формуванні радіаційної обстановки. Результати контролю концентрації ^{137}Cs у молоці корів на території сліду від аварії на ЧАЕС показали, що вона змінювалася в межах 2-х порядків величин і характеризувалася дуже неоднорідним просторовим розподілом та відсутністю закономірного градієнта від епіцентру до периферії сліду [2]. Максимальні концентрації ^{137}Cs у молоці корів спостерігали у фермерських і кооперативних господарствах Рівненської та Волинської областей на відстані 300 км і більше, де основним кормом для корів були сіно й зелена маса природних і сіяних трав, вирощуваних на торф'яних заболочених та осушених органічних ґрунтах. Основним продуктом, що створює дозу опромінення для людини, протягом всього періоду після аварії було і залишається молоко корів [3].

Величина дози внутрішнього опромінення Dint в населених пунктах у безпосередній близькості від джерела викиду була нижчою порівняно з віддаленими більш ніж на 300 км вздовж осі західного сліду від ЧАЕС до кордону з Польщею. Пояснення цьому дають дані вимірювань коефіцієнтів пропорційності між концентрацією ^{137}Cs у молоці і щільністю забруднення торф'яних і кислих мінеральних ґрунтів під лісом. Вони становили $2,5 - 5,4 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}/\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ (Рівненська і Волинська області), що на порядок величин більше значень для агроландшафтів - $0,24 \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}/\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ для дерново-підзолистих ґрунтів Київської та Чернігівської областей [4]. На торф'яних і кислих ґрунтах вміст ^{137}Cs у молоці перевищував норматив при щільності забруднення $0,5 - 1,1 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$. Очевидно, такі ландшафти можуть бути названі критичними, що й визначають радіаційну обстановку. Недооцінка ролі критичних ландшафтів у формуванні Dint призвела до того, що контрзаходи у Волинській і Рівненській областях почали прово-



а



б

Рис. 1.

Перетин рельєфу за напрямком від РАЕС до ЧАЕС в межах басейну р. Прип'ять (а) і профіль цього перерізу (б)

дити тільки з 1988р. У той же час практика показала, що навіть через 30 років після аварії на ЧАЕС вміст ^{137}Cs у молоці приблизно в 30 населених пунктах зони надлишкового зволоження Полісся досягає 400 – 600 Бк•л⁻¹.

У результаті багаторічного моніторингу рослинництва розроблено модель, яка описує часовий хід накопичення РН рослинами і залежність коефіцієнта переходу в рослини ТФ від властивостей ґрунту та особливостей рослин. Зменшення ТФ у часі відбувається в результаті селективної і високоселективною сорбції ^{137}Cs ґрунтом [5]. У перший рік після аварії концентрація РН у рослинах обумовлена переважно аеральним шляхом надходження. Концентрація ^{137}Cs в рослинній продукції при рівній щільності випадіння може змінюватися від 10 до 30 разів для однієї культури на різних ґрунтах, а для різних культур на ґрунті одного типу - до 15-33 разів. Зрозуміло, що доза внутрішнього опромінення значною мірою визначається складом раціону і розміщенням культур на території. Привертають увагу дуже високі значення ТФ для трав з природних ландшафтів: вони в 2,2 – 5,0 разів вище, ніж для сіяних трав.

Був розроблений і запатентований метод кількісної оцінки комплексу агрохімічних показників ґрунту – комплексна оцінка властивостей ґрунту (КОСП або Sef) [6]. КОСП заснована на розумінні ґрунту у вигляді трифазної системи, основними характеристиками якої є рН ґрунтового розчину (рідка фаза), вміст органічної речовини (ОР) і сума увібраних основ (СПО). Встановлено кількісний зв'язок параметрів розробленої кінетичної моделі поведінки радіонуклідів в системі «ґрунт - рослина» ТФ і швидкостей сорбції-десорбції з комплексною оцінкою властивостей ґрунту Sef.

Динаміка поведінки РН в ланцюзі ґрунт – рослина визначає динаміку РН в молоці і м'ясі тварин, причому важлива роль ландшафту проявляється й у ланцюгу корм – продукти тваринництва. Так, згідно [4], концентрація ^{137}Cs в молоці від стада корів колективного сільськогосподарського підприємства «Хлібороб» с. Міляч Дубровицького району Рівненської області, як і в траві, знижується в часі по експоненті. Проте, щороку спостерігається значний, до 3-х разів, підйом концентрації нукліда в молоці в період переведення тварин із стійлового утримання

на пасовище, де зелена маса природних трав становить близько 90 % їхнього раціону.

Очевидно, при районуванні території для створення РМТ основні характеристики території – місце в ландшафті, тип ландшафту, ступінь зволоження ґрунту та її властивості - повинні бути дискретно оцінені якісно віднесенням до одного з типів у відповідності з класифікацією. Використання Sef дозволяє кількісно врахувати властивості ґрунту в накопиченні РН рослинами.

Ландшафти (ліси, природні лучно-пасовищні угіддя, сівозміни), продукція з яких при однакових значеннях щільності радіоактивного забруднення характеризується суттєво вищими коефіцієнтами переходу радіонуклідів з ґрунту в рослинність ТФ, і, як наслідок, високою концентрацією радіонуклідів у продукції порівняно з іншими з такою ж щільністю забруднення ґрунту, ми називаємо потенційно критичними. Критичними можуть бути також типи ґрунтів, види рослин і тварин.

Радіоекологічні характеристики елементарних ландшафтів значною мірою визначаються їх місцем у басейні. Яскравим прикладом є заплавні ландшафти, які, як правило, використовуються для випасу корів і заготівлі сіна.

На прикладі басейну р. Горбах показано, що внесок у дозу внутрішнього опромінення населення при однаковій щільності забруднення території для різних видів ландшафтів одного басейну в обраному полігоні в середньому становить: заплавні ландшафти на критичних торфово - болотних, дернових і лучних типах ґрунту з лучною та пасовищною рослинністю - близько 80 %, - схилові елементи з частково зволженими і оглеєними типами мінеральних ґрунтів, на яких вирощуються овочеві культури, бульби і коренеплоди – в межах 5-15%, - водороздільні частини - до 5 %, - вододільні частини - до 5 %.

Провідну роль у формуванні радіаційної обстановки відіграють тип ландшафту, тип ґрунту та місце його у ландшафті, система землекористування, тому необхідний універсальний принцип районування території.

Ландшафтно-басейновий принцип районування території. Радіоекологічне районування ми застосували вперше при розробленні системи моніторингу території зони спостереження Чорнобильської АЕС у 1984 – 1986 рр. [7, 8]. В основу було покладено ландшафтно-басейновий принцип [9]. Басейн є первинною об'єктивно існуючою структурною одиницею території, характеристиками якої служать тип переважного ґрунту (Soil Group), тип ландшафту (lands care) і тип підстилаючої поверхні. Це три екологічні фактори, які дозволяють врахувати вплив ландшафтно-геохімічних умов місцевості на процеси осадження радіонуклідів на підстилаючу поверхню і на рослини, міграцію в системі «ґрунт-рослина» та формування дози опромінення населення при надходженні радіонуклідів в організм тварин і людини. При виборі пріоритетів також враховуються щільність населення в межах басейну (population density), перепад висот місцевості в межах басейну (elevation). Використання топографічних карт різного

масштабу дозволяє об'єднувати басейни на одній картографічній основі. На всіх рівнях масштабу дотримуються кодифікації басейнів і екологічних характеристик у вигляді тризначних чисел у порядку підпорядкування ландшафтів.

Для радіоекологічного районування використано різні просторові масштаби (державний рівень М 1:3500000, регіональний рівень М 1:200000, локальний рівень М 1:100000/10000), що дозволяє деталізувати і збільшувати кількість екологічних факторів. Загальна система координат дозволяє також об'єднати на одній картографічній основі всі 3 рівні масштабу.

Виділення меж басейнів водотоків проводиться за максимальним значенням висоти рельєфу відносно вибраного водотоку з урахуванням градієнта. В межах водозбірного басейну виділяють елементарні ландшафти. Для комплексного радіоекологічного районування території доцільно використовувати геохімічну класифікацію елементарних ландшафтів М. О. Глазовської [9], в основу якої покладено спряженість груп елементарних ландшафтів.

Виділені елементи території є структурними одиницями радіоекологічного районування, в межах яких при радіоактивному забрудненні певним нуклідом радіаційна ситуація може бути оцінена рівнями забруднення окремих компонентів відповідно до їх радіоекологічних характеристик. Районування проводиться послідовно на трьох рівнях просторового масштабу – державному, регіональному і локальному з різним ступенем деталізації ознак. На 1-му етапі районування створюємо карти басейнів, рельєфу досліджуваної території з характеристикою схилів на основі даних SRTM Ver. 4.1, карти «Грид» з кроком сітки 2 x 2 км геодезичної системи координат проєкції Пулково, 1942. На локальному масштабі крок сітки змінюють до 0,25 км x 0,25 км.

На 2-му етапі створюємо тематичні картографічні шари - річки, населені пункти і т. п. Створюються карти ґрунтів, агрохімічних властивостей (або карти Sef), типів підстилаючої поверхні (поглинає показники землекористування, рослинний покрив, «параметр шорсткості»). Базовою картою є Карта «параметра шорсткості» для 4-х часів року і рельєфу клітинки регулярної сітки 2x2 км, що покриває тестову територію РАЕС-ЧАЕС. Потім виконується групування та класифікація ознак, встановлюється ієрархія радіоекологічної критичності.

3-й етап - створення базової карти шляхом перетину з Грид-шаром. Проводять редагування (експертизу) комплексного покриття.

4-й етап - виділення районів і створення карти районування. Районам присвоюють комплексні коди в послідовності: код басейну, код елемента ландшафту, код ґрунту, код культури.

При створенні моделі застосовується сітковий підхід. Сітка «Грид» відповідає вимогам моделі по всіх інформаційних компонентах з урахуванням масштабу розв'язуваних завдань. Це забезпечує узгодженість вхідних та вихідних параметрів, універсальність моделі щодо одиниць вимірювань, простору, часу і т. ін. Ступінь деталізації та групування

ознак повинні бути обрані оптимально, так як облік усього різноманіття типів і відмінностей ґрунту, представлених у картографічних матеріалах різного масштабу, в Україні, як і в інших країнах, дуже трудомісткий і тривалий процес і його слід звести до виділення основних груп, що охоплюють весь діапазон властивостей. Розмах ТГ в інтервалі мінеральних ґрунтів становить 3-4 рази. На загальнодержавному і регіональному рівні тип ґрунту оцінюється якісно у вигляді топологічної назви групи ґрунтів, які містяться в легенді ґрунтових карт.

Для полігону всі типи ґрунтів на загальнодержавному (М1: 1430000) і регіональному (М1: 200000) рівнях (61 для М1: 1300000) об'єднані в 6 груп, які співвідносяться з сучасною системою класифікації ґрунтів ФАО / WRB: Podzoluvisols, Greyzems, Chernozems, Histosols, Gleysols, Fluvisols. Ми рекомендуємо дотримуватися такого підходу при районанні території.

Параметри “тип землекористування” і “найбільш поширений вид рослинності” аналогічно згруповані для полігону на загальнодержавному рівні в 5, регіональному у 8 і локальному в 14 груп. Оперативно уточнити пріоритетні об'єкти прогнозу і моніторингу та винести інформацію на місцевість допомагають космічні знімки.

Для виділених районів значення щільності випадінь радіонуклідів, комплексну оцінку властивостей ґрунту, дози опромінення людини та інших характеристик визначаємо проведенням прогнозних розрахунків або шляхом моніторингу для точок з координатами X_i і Y_i . Ці значення розповсюджуємо на площу комірки сітки карти покриття.

У разі Поліського полігону, що характеризується значною строкатістю ґрунтового покриву, ми застосували шкалу з 16 різниць, яким у легенді карти присвоюється номер від 001 до 016 в порядку зменшення їх критичності, який представляє собою бальну оцінку критичності. Діапазон значень критичності визначається залежно від необхідної точності оцінки концентрації РН в молоці і набору контрзаходів.

Особлива увага має бути зосереджена на об'єктах, які є комплексами різних типів ґрунту. До групи високої критичності віднесені також комплекси дерново-підзолистих ґрунтів із дерновими ґрунтами, на яких можливе розміщення «критичних» пасовищних угідь. Ураховуючи такі особливості, виділено окрему групу «ґрунтові комплекси дерново-підзолистих, лучних і торф'яно-болотних ґрунтів». До кожної з назв групи ґрунтів приписаний номер (бал критичності) типу ґрунту в легенді карти. Виділені назви груп ґрунтів наведено у відповідності з назвою ґрунтів за номенклатурою ФАО - ЮНЕСКО (1997), що дає можливість адаптувати методологію до територій за межами України.

Усього на території полігону площею понад 1500 км² виділено понад 250 районів (елементів), що слід визнати прийнятним для проведення моніторингу.

Оцінка ступеня критичності виділених районів. Радіаційна ситуація на території у разі аварії дослі-

джується шляхом послідовного накладення гіпотетичних радіоактивних слідів, розрахованих за різними сценаріями аварій, на тематичні карти різних інформаційних шарів – ландшафт, ґрунт, рослини, раціони тощо і карту комплексного районування. Всі інформаційні шари перекладають у форму електронних карт, знаходять їх суперпозицію, яка характеризує потенційну небезпеку забруднення районів.

Райони та елементи території, продукція з яких за однакової щільності випадінь буде найзабрудненошою, є потенційно критичними. Критичність - дуже важливий показник, що визначає пріоритетність та обсяг моніторингових досліджень. Оцінку ступеня критичності виділених районів можна провести двома шляхами. Один із них – виконати прогноз забруднення продукції з кожного району для сценарію з рівномірним розподілом одного або декількох РН по всій території. Рівень забруднення продукції при цій умові буде кількісно характеризувати ступінь критичності елемента території. Другий – використовувати метод експертних оцінок з угрупованням параметрів з урахуванням вагових коефіцієнтів, розрахунок яких проводиться після ранжування чинників у порядку пріоритетності: вид землекористування, тип ґрунту, вид культури. Для досліджуваного полігону найкритичніші є поєднання «природні трави на торф'яних ґрунтах в лісовому ландшафті».

Прогноз просторового розподілу радіоактивних випадінь і забруднення рослин. Для прогнозу просторового розподілу випадінь ¹³¹I, ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr розроблено мезомасштабну Лагранжево-Ейлерову модель «Леді» [10], яка враховує не стаціонарність джерела викидів, метеоумов і неоднорідність підстилаючої поверхні. Модель розраховує об'ємну концентрацію РН у повітрі, щільність випадінь, дози зовнішнього і внутрішнього опромінення за рахунок інгаляції РН. Результати розрахунків можуть бути представлені у вузлах регулярної сітки і в межах виділених ділянок (населені пункти, території сільськогосподарського виробництва, водойми тощо). Це дозволяє об'єднати їх з екологічними моделями, які розраховують подальшу міграцію РН по харчових ланцюгах у рамках використовуваного ландшафтного підходу. Модель використовує превентивно підготовлені карти шорсткості ґрунтового-рослинного покриву, що впливає на швидкість осадження аерозолу. З допомогою моделі реконструйована динаміка формування поля радіоактивного забруднення ¹³⁷Cs, ¹³¹I, ¹³²Te, ¹³²I і ¹³³I в Україні, Білорусі та Росії після Чорнобильської аварії.

Для прогнозу позакореневого забруднення рослинності ¹³¹I, ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr і добового надходження ¹³¹I, розрахунку дози опромінення щитоподібної залози людини використовується розроблена нами модель [11]. Величина затримування РН з випадінь (% від кількості, що випала на одиницю площі) пропорційна запасу біомаси в момент випадінь, який визначається в певний момент часу ландшафтними умовами, однак концентрація РН у біомасі при цьому не змінюється.

Прогноз аерального позакореневого забруднення рослин виконується шляхом перетину сліду від викиду за конкретним сценарієм з картою шару «землекористування», на якій вказано розташування сіножатей, випасів, зелених кормів для тварин і овочів (салати, шпинат, зелені культури). Для уніфікації сценаріїв аерального забруднення рослинності за літературними джерелами проаналізовано строки проходження фенологічних фаз основними культурами, які ведуть відлік від початку року.

Прогноз аерального забруднення продукції по простору (агроландшафт, лучні трави, трави в лісі) і по населених пунктах (продукція, вирощувана на городах у населеному пункті) зроблено з використанням осереднених даних щодо осадження радіонуклідів по зонах забруднення та за видами груп ґрунтів у межах басейнів річок (рис. 2). Модель дозволяє прогнозувати зміну забруднення продукції в часі.

Модель кореневого надходження ^{137}Cs і ^{90}Sr в рослини. Використовується кінетична модель, що відрізняється комплексною оцінкою агрохімічних властивостей ґрунту (КОСП або Sef) і аналітичним описом залежності TF і швидкості фіксації РН від властивостей ґрунту [6]. Це дозволяє використовувати для прогнозу забруднення рослин кореневим шляхом не середні табульовані для типів ґрунту по їх назві значень TF, а значень, що відповідають фактичним характеристикам властивостей кожного конкретного ґрунту і, таким чином значно звужити діапазон прогнозних оцінок.

Важливо встановити для окремих ландшафтів межі щільності випадінь по молоку або овочевим і сіну, при яких ймовірно перевищення ДУВ. Порівняння межі з фактичним рівнем дозволяє невідкладно прийняти рішення про необхідність проведення контрзаходів. Алгоритм проведення оцінювання аерального забруднення рослинності включає в себе проведення зонування за результатами прогнозу забруднення тестової території у відповідності з рекомендованими МАГАТЕ ДУВ1-ДУВ3 по потужності зовнішньої дози (мкЗв/рік) в результаті аварійного викиду.

Верифікація прогнозу. Розрахунок комплексної радіоекологічної моделі дозволяє отримати карти розподілу концентрації РН в продукції по полях сівозмін, природних угідь, елементів ландшафту та інших об'єктів районування, та прийняти обґрунтовані рішення, в тому числі визначити пріоритет оперативного моніторингу. Представлення результатів прогнозу і оцінювання радіаційної обстановки і прийняття рішень на прикладі території басейну р. Горбах (притока р. Стир в зоні РАЕС) схематично показано на рис. 3. Різною штриховкою позначені сівозміни та елементи ландшафту, на яких концентрація ^{137}Cs представлена в значеннях кратності відносно допустимих рівнів України ДР-2006. Така форма дозволяє швидко оцінити можливість виробництва різних культур на конкретних угіддях і прийняти рішення про застосування контрзаходів.

Оцінка окремих характеристик кожного району (екологічної координати) досягається за моніторингу шляхом відбору представницької проби для кожного з об'єктів моніторингу з їх площі. Пріоритетами моніторингу та контрзаходів є території, на яких концентрація РН у продукції наближається до ДУВ або національних меж, та об'єкти, щодо яких введене обмеження. При перевищенні нормативу одночасно в декількох продуктах пріоритет віддається тим, яким належить більший внесок в дозу.

Карта груп ґрунтів полігону за ступенем критичності при забрудненні ґрунту ^{137}Cs наведена на рис. 4. Ґрунти об'єднані в три групи критичності. Середні по населених пунктах дози за даними паспортизації нанесено у вигляді точок різної форми. Таким чином, найвищі дози сформовано в населених пунктах, розташованих у зоні критичних ґрунтів, а найнижчі – у зоні некритичних. Може бути зроблений висновок, що обрана методика оцінки потенційної критичності ґрунтів дійсно відображає реальний ступінь радіаційної небезпеки при забрудненні території.

Карта районування полігону за ступенем критичності при забрудненні ґрунту ^{137}Cs представлена на рис. 4. Райони об'єднані в три групи критичності. Середні для населених пунктів дози за даними пас-

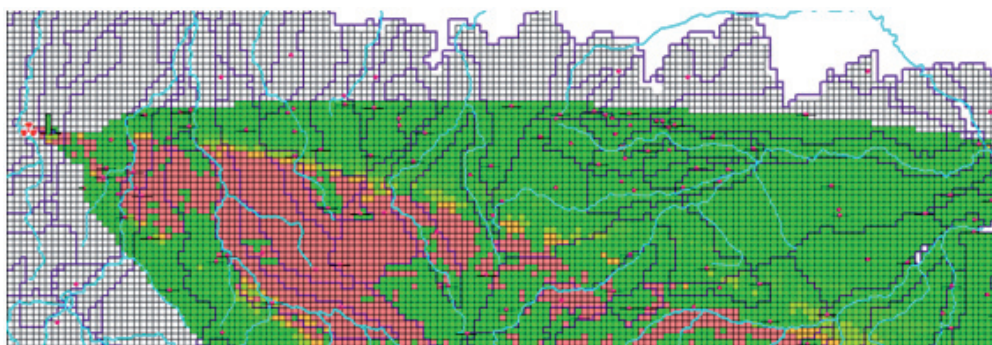


Рис.2.

Оцінка розподілу питомої активності ^{137}Cs щодо рекомендованих МАГАТЕ допустимих рівнів впливу ДУВ 6 = 2000 Бк•кг⁻¹ у сільськогосподарській продукції (аеральне забруднення) по простору і по населених пунктах (1 сценарій аварії)

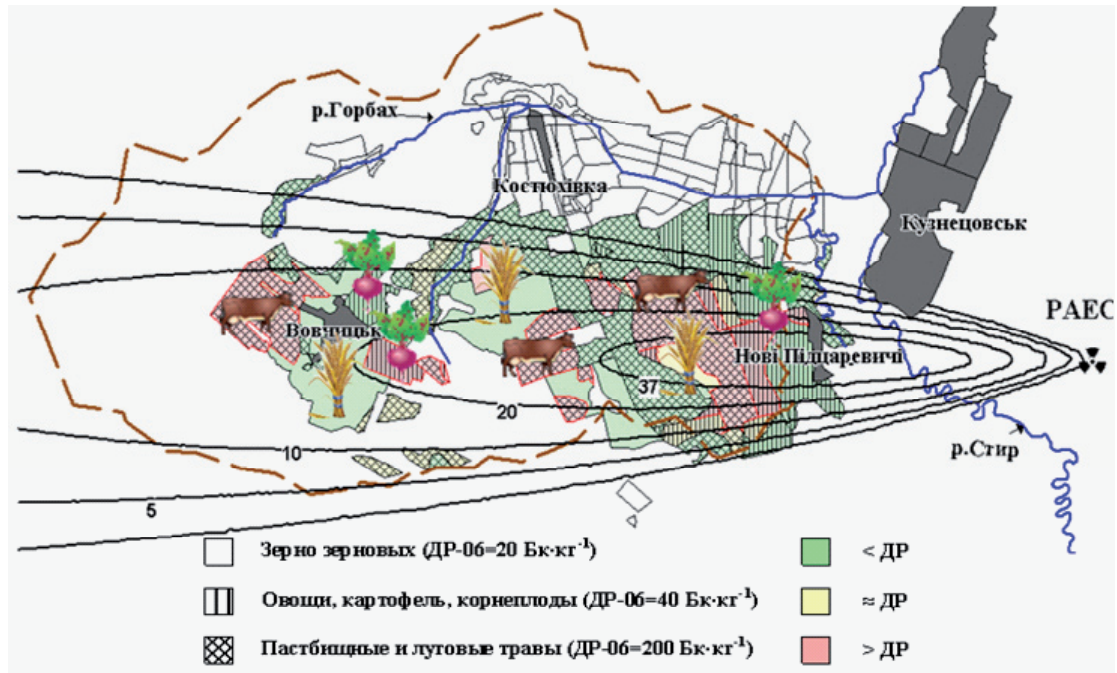


Рис. 3.

Прогнозоване забруднення сільгосппродукції ¹³⁷Cs на елементах ландшафту внаслідок сценарного викиду С5 гіпотетичної аварії на РАЕС. Локальний масштаб, басейн р. Горбах, 10-км зона РАЕС. Забруднення виражене відносно національного нормативу України [12]

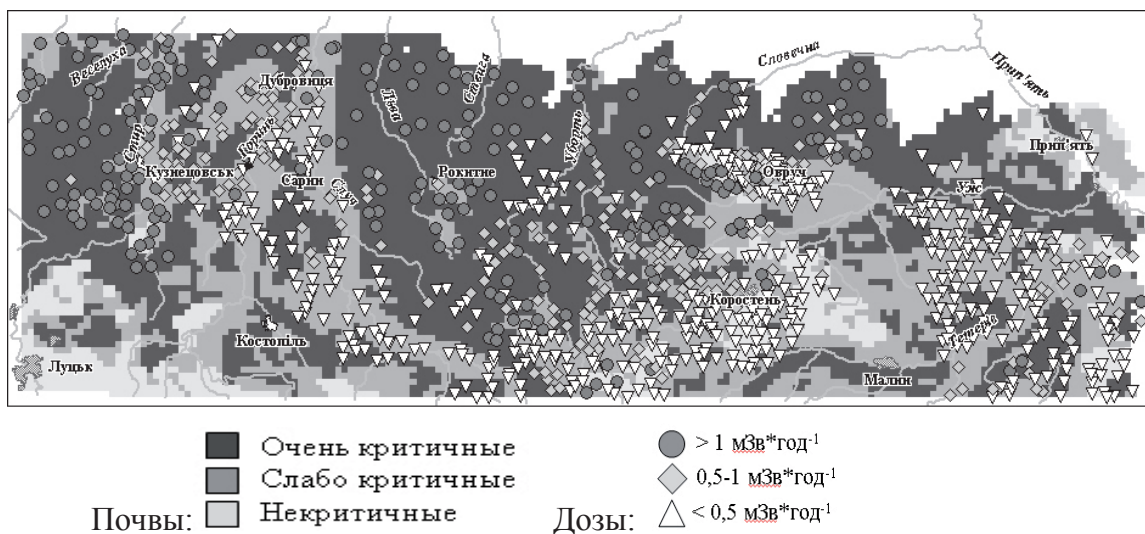


Рис. 4.

Середні по населених пунктах значення доз (мЗв·рік⁻¹) після аварії на ЧАЕС за даними паспортизації 1997 р. на карті критичності радіоекологічних районів державного рівня

портизації нанесено у вигляді точок різної форми. Аналіз показує, що абсолютна більшість населених пунктів з найвищими дозами внутрішнього опромінення розташовані в межах групи ґрунтів високої критичності. Населені пункти з $D_{int} < 0,5$ мЗв·рік⁻¹ розташовані на території, представленій групою ґрунтів низької критичності. Обрано методику оцінки потенційної критичності ґрунтів, яка відображає реальну міру радіаційної небезпеки при забрудненні території, що можна бачити на рис.4. Деякі населені пункти розташовано на межі груп з різною критичністю ґрунтів і тоді пасовища, як правило, потра-

пляють до зони підвищеної критичності, що призводить до підвищеного рівня забруднення молока і, відповідно, значення D_{int} .

Висновки.

1. Розроблено методологію радіоекологічного районування території, забрудненої радіоактивними випаданнями після важкої аварії на АЕС, з використанням ГІС-технологій, в основу якої покладено ландшафтно-басейновий принцип.

2. Районування та розробка радіоекологічної моделі території проводяться превентивно, що дозволяє до аварії оптимізувати схеми радіаційного

моніторингу та контролю продукції, визначити контрзаходи, які можуть бути необхідні після аварії.

3. Створено модель території, таксономічними одиницями якої є елементи ландшафту або об'єкти сільськогосподарського землекористування, а характеристиками є параметри, необхідні для розрахунків концентрації РН в продукції або поглинених доз опромінення населення.

4. Розроблено методологію прогнозування і оцінки радіаційного стану при забрудненні сільськогосподарських територій радіоактивними випаданнями, яка заснована на використанні розроблених авторами моделей території, атмосферного переносу й осадження РН, аерального і кореневого шляхів надходження РН у рослини.

Література

1. Пристер Б.С., Алексахин Р.М. Проблемы радиационной безопасности населения – уроки Кыштымской и Чернобыльской аварий. Опыт преодоления последствий техногенных аварий и развитие атомных технологий. Материалы науч.-практ. конф., посвященной 50-летию аварии на ПО “Маяк”. – Челябинск, 2007. – С. 68 - 93.
2. Пристер Б.С., Алексахин Р.М., Бебенко В.Г., Богдевич И.М., Замостьян П.И., Кенигсберг Я.Э., Лихтарев И.А., Поярков В.А., Шестопалов В.М., Цыб А.Ф. Чернобыльская катастрофа: эффективность мер защиты населения, опыт международного сотрудничества / Под ред. Б. С. Пристера. – К.: Энергетика и электрификация, 2007. – 100с.
3. Радиационно-дозиметрическая паспортизация населенных пунктов территории Украины, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС, включая тиреодозиметрическую паспортизацию (Методика-96). Инструктивно-методические указания. Под ред. И. А. Лихтарева. Киев, 1996. – 74 с.
4. Пристер Б. С. Проблемы применения контрмер в сельском хозяйстве Украины после аварии на Чернобыльской АЭС / Б.С. Пристер, Ю.А. Иванов, Л.В. Перепелятникова, В.А. Проневич // Вісника аграрної науки. – 1996. – №1. – С. 74-81.
5. Prister B.S., Baryakhtar V.G., Perelyatnikova L.V., Vinogradskaya V.D., Rudenko V.A., Grytsyuk N.R., Ivanova T.N. Experimental Substantiation and Parameterization of the Model Describing ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr Behavior in a Soil-Plant System // Environmental Science and Pollution Research. 2003. - Special Issue No 1. – P. 126 – 136.
6. Пристер Б.С., Бизольд Г., Девиль–Кавелин Ж. Способ комплексной оценки свойств почвы для прогнозирования накопления радионуклидов растениями // Рад.биология. Радиоэкология. – 2003. – Т. 43. - № 6. – С. 39 – 42.
7. Пристер Б.С. Руководство по организации контроля состояния природной среды в районе расположения АЭС // Методические рекомендации по проведению комплексного (радиоэкологического, химического) мониторинга почв и ландшафтов в окрестностях АЭС. Л.: Гидрометеоиздат. 1990. Под ред. К. П. Махонько. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – С. 239-249 с.
8. Комплексное радиоэкологическое районирование территории в целях усовершенствования систем контроля, мониторинга и аварийного реагирования в зонах влияния АЭС / Б. С. Пристер, С. В. Барбаиов, В. Д. Виноградская, О. Г. Тищенко // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобыля. – 2013. – Вып. 21. – С. 74–81.
9. Глазовская, М.А. (1962) О геохимических принципах классификации природных ландшафтов // В сб. “Геохимия степей и пустынь”. – М.: Географгиз, 1962.
10. Talerko N. (2005) Mesoscale modelling of radioactive contamination formation in Ukraine caused by the Chernobyl accident. Journal of Environmental Radioactivity. Vol. 78. P. 311–329.
11. Пристер Б.С. Закономерности внекорневого загрязнения растений радиоактивными выпадениями. / В кн. Проблемы сельскохозяйственной радиоэкологии и радиобиологии при загрязнении окружающей среды молодой смесью продуктов ядерного деления. – Чернобыль: ИПБ АЭС НАН Украины, 2008. – С. 49 - 93.
12. Норми радіаційної безпеки України НРБУ-97; Державні гігієнічні нормативи. – Київ: Відділ поліграфії Українського центру держсанепіднагляду МОЗ України, 1997. – 121 с.

Пристер Б. С., Гаргер Е.К., талерки Н.Н., Виноградская В. Д., Лев Т.Д. Модель районирования территории при различных уровнях возможного радиоактивного загрязнения агросферы

Для повышения эффективности защиты населения и сельскохозяйственного производства от последствий тяжелой аварии предложено превентивно до аварии проводить сбор и анализ картографической, статистической, экологической и др. информации, необходимой для прогнозирования и оценки радиационной обстановки. Разработана методология радиоэкологического районирования территории, загрязненной радиоактивными выпадениями с использованием ландшафтно-бассейнового принципа и ГИС-технологий. Разработана модель территории, таксономическими единицами которой являются элементы ландшафта или объекты сельскохозяйственного землепользования, позволяет согласовать пространственно-временное распределение параметров и совместить модели атмосферного распространения и миграции радионуклидов (РН) по цепи «почва - растения - животные - продукция - человек».

Ключевые слова: тяжелые аварии на АЭС, радиоэкологическая модель территории, радиоэкологическое районирование территории, прогнозирование радиационной обстановки.

Prister B.S., Garger E.K., Talerko N.N., Vinogradskaya V.D., Lev T.D.

Model of zoning at different levels of possible radioactive contamination of agrosphere

To improve the effectiveness of responses to severe accident in the field of population and agricultural production before the accident, proposed to prevent collect and analyze cartographic, statistical, environmental and others. The information needed to predict and assess the radiological situation. The methodology of radio-ecological zoning of the territory contaminated with radioactive fallout, using GIS technology, which was based on landscape-basin principle. A model of the territory, taxonomic units which are elements of the landscape or objects of agricultural land use. The river pond is a primary objective of the existing structural unit of the territory. The main characteristics are the type of soil, the type of terrain and the type of underlying surface. The application model provides the coordination of spatial and temporal distribution of characteristics, coupled models of atmospheric diffusion and migration of radionuclides on the chain "soil - plants - animals - products - man" and dosimetric models to determine countermeasures that may be necessary after the accident.

Keywords: *severe accident, radioecological model of territory, radioecological zoning, forecasting of the radiation situation.*

Рецензенти

Мазур Г.А. – д. с.-г. н.

Шевченко І.П. – к. с.-г. н.

Стаття надійшла до редакції 04.06.2015 р.