

## ПРЕВЕНТИВНА РАДІОЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ТЕРИТОРІЇ ДЛЯ ВЕДЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА У РАЗІ РАДІАЦІЙНИХ АВАРІЙ

Б.С. Пристер, Т.Д. Лев, В.Д. Виноградська, О.Г. Тищенко, В.М. Піскун

*Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України*

*Розглянуто основні етапи проведення превентивної радіоекологічної оцінки території для забезпечення аварійної готовності у разі аварії на АЕС, оптимізації аварійного моніторингу агросфери і прийняття рішення про вжиття захисних заходів. Сформульовано вимоги до структури і складу картографічної інформації, необхідної для превентивної оцінки території. Розроблено технологічні процедури, що забезпечують оптимальність, точність і достовірність радіоекологічних оцінок. Наведено карту радіоекологічної оцінки території Українського Полісся, забрудненої радіонуклідами внаслідок аварії на ЧАЕС.*

**Ключові слова:** радіонукліди, ґрунт, рослини, превентивна радіоекологічна оцінка, критичність, геоінформаційні системи.

Однією з основних проблем у ході ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи в аграрному секторі економіки було несвоєчасне прийняття відповідних рішень [1, 2]. Так, у перші два найкритичніші роки після аварії на ЧАЕС агрохімічні заходи на територіях північних районів Рівненської і Волинської областей не проводилися, оскільки вони розміщені на периферії радіоактивного сліду, і рівні забруднення ґрунту були значно меншими від допустимих рівнів для безпечного ведення сільськогосподарського виробництва. Детальне радіоекологічне обстеження цих територій та проведення на них захисних заходів почалося тільки після отримання даних про високі рівні забруднення сільськогосподарської продукції, коли дози опромінення населенням вже були отримані. Під час планування контрзаходів на радіоактивно забруднених територіях часто не дотримувалися принципу оптимізації, особливо пріоритетності їх проведення. Захисні заходи проводили за багатьма напрямками, що унеможливило їх виконання у повному обсязі на критичних щодо формування дози опромінення населення територіях, де вони були найбільш потрібні, до того ж

часто не дотримувалися термінів щодо їх повторного вжиття тощо.

У різних країнах світу існують та удосконалюються системи підтримки прийняття оперативних рішень під час аварійних викидів радіонуклідів, у т.ч. в аграрному секторі, серед яких NRC (США), NRPB (Великобританія), ARGOS (Швеція), RODOS (ЄС), RECASS (Росія) та ін. [3, 4]. Ці системи дають змогу прогнозувати радіаційний стан, однак такий прогноз здійснюється для певної точки з заданими координатами, без урахування просторового розподілу екологічних чинників, що безпосередньо впливають на формування дози внутрішнього опромінення населення, таких як ландшафтні особливості території, тип ґрунту, існуючі системи землекористування тощо. Уникнути помилок під час оцінювання доз опромінення населення у разі радіаційної аварії можна завдяки проведенню превентивної радіоекологічної оцінки території, що уможливило ще до радіаційної аварії оцінити «потенційно критичні» щодо накопичення радіонуклідів сільськогосподарською продукцією об'єкти землекористування. Запропонована технологія забезпечує отримання карт просторово-часового розподілу забруднення радіонуклідами сільськогосподарської продукції, що надає можливість оперативно виз-

начити пріоритети та вибрати вид захисного заходу з необхідною ефективністю.

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Радіоекологічна оцінка території включає визначення потенційної радіоекологічної критичності (ПРК) виділених за допомогою радіоекологічного районування територіальних об'єктів та присвоєння їм радіоекологічних параметрів. Так, ПРК виділеного району означає більшу радіаційну небезпеку щодо формування дози опромінення населення порівняно з іншими районами за однакової щільності забруднення ґрунту радіонуклідами.

Радіоекологічне районування території здійснюється за басейново-ландшафтним принципом поділу території. Первинною одиницею такого районування слід вважати обмежений лінією водорозділу басейн поверхневого стоку, що має внутрішню ландшафтну структуру, в межах якого відбуваються всі види міграційних процесів радіонуклідів, у т.ч. міграція в системі «ґрунт — рослина — продукція тваринництва — людина». Основними структурними елементами басейну є типи елементарних ландшафтів, які обумовлюють особливості вертикальної міграції радіонуклідів та просторовий розподіл характеристик території, що безпосередньо впливають на формування дозових навантажень на населення: тип ґрунту, тип підстильної поверхні чи вид рослинності [5]. Перелік інформації, необхідної для радіоекологічної оцінки території, включає набір вхідної інформації для комплексу моделей, за допомогою яких здійснюється прогнозування забруднення сільськогосподарської продукції [6, 7].

Оскільки управлінські рішення про життєві контрзаходи приймаються на різних рівнях: загальнодержавному — територія країни, декількох областей; регіональному — області, декількох районів і локальному — району, сільради, тому радіоекологічна оцінка території проводиться також у трьох масштабах. Такий багаторівневий підхід дає змогу методом телескопізації уточнювати інформацію шляхом переходу від одного рівня до наступного,

що забезпечує вирішення питання оптимізації та дотримання пріоритетів під час проведення захисних заходів на радіоактивно забруднених територіях.

Для відпрацювання технології превентивної радіоекологічної оцінки території як тестовий полігон вибрано територію Українського Полісся, що репрезентує «західний радіоактивний слід» аварійного викиду ЧАЕС. Територія дослідження характеризується широким спектром природно-кліматичних, ґрунтових та інших особливостей, що впливають на формування дози опромінення населення. Для створення комплексної карти радіоекологічної оцінки території використано «сітковий» підхід, що забезпечує узгодженість часових та просторових масштабів, вхідних та вихідних даних усіх розрахункових моделей.

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Превентивна радіоекологічна оцінка території поділяється на шість основних етапів з широким набором технологічних процедур та експертних критеріїв, що забезпечують необхідну точність і достовірність інформації про формування радіаційної ситуації на забруднених радіонуклідами територіях (рис. 1) [5, 8].

На етапі *формування набору вхідних даних*, за допомогою яких створюються окремі картографічні шари, вибрано природно-кліматичні та інші характеристики території, що безпосередньо впливають на формування дози опромінення населення [2, 7]. На кожному з просторових рівнів оцінки використовується вхідна інформація різної деталізації, до якої сформульовано вимоги, що забезпечують прийняття рішення на відповідному управлінському рівні (табл. 1).

*Підготовка окремих картографічних шарів* передбачає створення похідних картографічних шарів та упорядкування чи узагальнення існуючих. Так, за даними SrTM про висоту рельєфу та річкову мережу створюються карти басейнів рік та типів елементарних ландшафтів. Карти структури землекористування створюються за топографічними картами з використанням

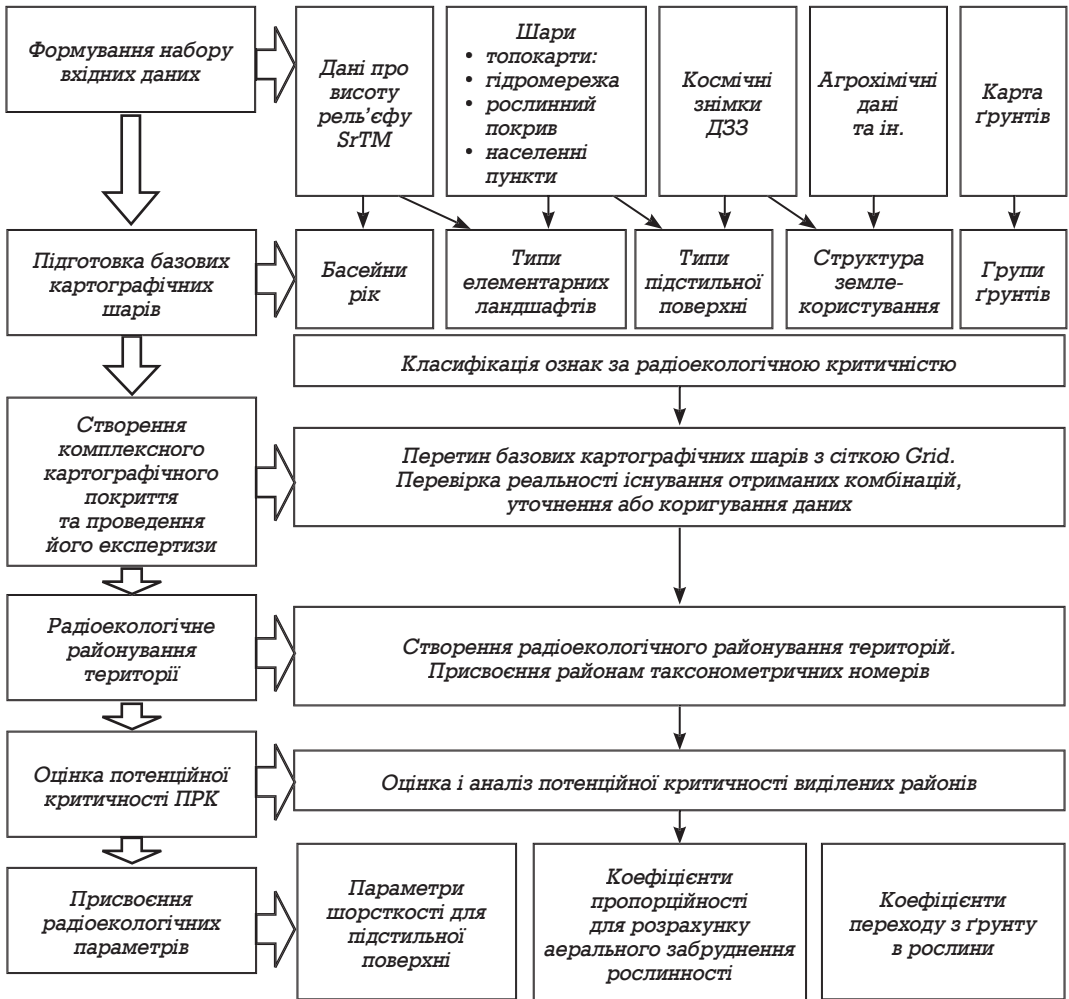


Рис. 1. Блок-схема радіоекологічної оцінки території

Таблиця 1

**Вимоги до вхідних даних, що використовуються для превентивної радіоекологічної оцінки території**

Рівень оцінки	Масштаб оцінки, км <sup>2</sup>	Розрахункова сітка Grid, км	Крок даних SrTM, м	Розподільна здатність даних ДЗЗ, м	Масштаб картографічної інформації
Загально-державний	>1000	2×2	900×600	>100	M1:5 000 000 M1:1 000 000
Регіональний	100–1000	0,5×0,5	90×60	15–30	M1:200 000 M1:100 000
Локальний	<100	0,25×0,25	90×60	<15	M1:25 000 M1:10 000

даних ДЗЗ, даних паспортів сільських рад та агрохімічного обстеження сільськогосподарських угідь. Для картографічних шарів на загальнодержавному та регіональному рівнях проводиться групування типів ґрунту і класифікація типів підстильної поверхні, щоб оцінити радіаційну ситуацію з необхідною для переходу на локальний рівень точністю, а потім на локальному рівні для прогнозування концентрації радіонуклідів у сільськогосподарській продукції використовуються агрохімічні властивості ґрунту та конкретний вид рослинності у структурі землекористування.

Важливим етапом підготовки даних є визначення у межах кожної характеристики території ієрархії за ПРК з урахуванням закономірностей поведінки радіонуклідів у навколишньому природному середовищі. Найбільш критичним показником є перший клас, найменш критичним — останній порядковий клас всередині окремої характеристики. Так, на загальнодержавному рівні оцінки виділено сім класів критичності ґрунту та чотири класи критичності підстильної поверхні. Критичними типами підстильної поверхні вважаються ліси та природні лукопасовищні угіддя, які характеризуються істотно вищими коефіцієнтами переходу радіонуклідів з ґрунту в рослинність порівняно з агроландшафтами. Найбільшу критичність серед виділених груп ґрунтів мають органогенні торфоболотні ґрунти з кислою реакцією ґрунтового розчину ( $pH_{KCl}$  4,2–5,4), дуже низьким умістом глинистих мінералів і високою зволоженістю. На таких ґрунтах коефіцієнти переходу  $^{137}Cs$  у системі «ґрунт — рослина» можуть перевищувати відповідні значення коефіцієнтів переходу мінеральних ґрунтів у 5–30 разів [2, 5, 7]. Оскільки у межах кожної  $i$ -тої характеристики виділено різну кількість класів  $K_{кри}^j$ , за якими надалі необхідно здійснити інтегральну оцінку критичності району, кожному з класів присвоєно бал  $PRK_i^j$ , визначений за формулою:

$$PRK_i^j = K_{кри}^j / \sum_{j=1}^n K_{кри}^j \quad (1)$$

Для створення комплексного картографічного покриття підготовлені полігональні картографічні шари перетинаються з базовою сіткою Grid з відповідним для кожного рівня оцінки кроком. З метою усунення розбіжностей, пов'язаних з накладанням похибок різних картографічних шарів, проводиться експертна оцінка комплексної карти. Підхід до експертної оцінки даних базується на загальних принципах ведення сільського господарства, зокрема, розораності земель, місця певних типів ґрунту в структурі басейну тощо [9]. У разі невідповідності експертним критеріям проводиться уточнення або коригування даних із залученням додаткової інформації. За певної невизначеності, згідно з принципом консервативності дозових оцінок, перевага надається більш критичній ознаці.

У підсумку, на вибраній для дослідження території Українського Полісся площею  $\approx 37,3$  тис. км<sup>2</sup> на загальнодержавному рівні виділено 13 радіоекологічних районів (табл. 2). Для кожного з них проведено інтегральну оцінку потенційної радіоекологічної критичності  $PRK_{\Sigma}$  за формулою:

$$PRK_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot PRK_i^j \quad (2)$$

де  $w_i$  — ваговий коефіцієнт  $i$ -го екологічного чинника.

Вагові коефіцієнти ( $w$ ) екологічних чинників призначено у експертний спосіб. Так, на загальнодержавному рівні, де  $PRK_{\Sigma}$  території визначається за двома чинниками, значення вагового коефіцієнта для типу ґрунту прийнято вищим ( $w = 0,6$ ), ніж для типу підстильної поверхні ( $w = 0,4$ ), оскільки вплив ґрунтових властивостей на міграцію радіонуклідів з ґрунту в рослини більший від біологічних особливостей рослин [2, 7]. Відповідно до значень  $PRK_{\Sigma}$ , радіоекологічні райони можна поділити за ступенем критичності на три великі групи: дуже критичні, малокритичні, некритичні. Площа дуже критичних районів на території «чорнобильського західного радіоактивного сліду» сягає 50%, тоді як некритичних — менш ніж 10% від загальної площі.

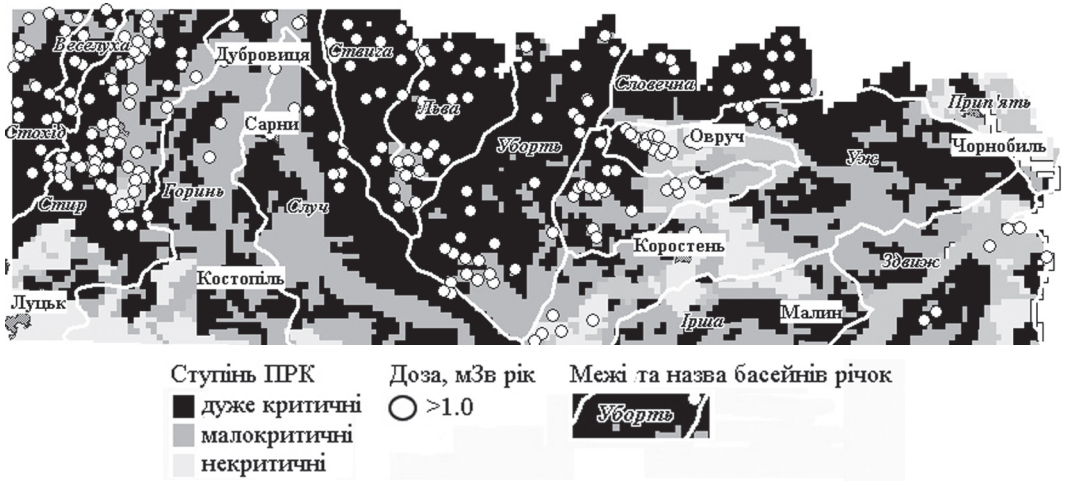
**Радіоекологічні райони території Українського Полісся  
та ступінь їх потенційної критичності на загальнодержавному рівні**

Характеристики району						Район		
група ґрунтів			тип підстильної поверхні*			ПРК <sub>Σ</sub>	площа, км <sup>2</sup>	ТF <sup>137</sup> Cs
K <sub>кр</sub>	назва	ПРК <sup>i</sup>	K <sub>кр</sub>	тип	бал ПРК <sub>j</sub>			
<b>Дуже критичні</b>						<b>0,06–0,15</b>	<b>18 652</b>	
1	Торфоболотні	0,04	1	Ліс	0,10	0,06	2 624	95–300
2	ГКТБ**	0,07	1	Ліс	0,10	0,08	12 160	95–300
1	Торфоболотні	0–04	2	Луки та пасо- вища	0,20	0,10	440	95–300
3	Дернові	0,11	1	Ліс	0,10	0,11	2 400	25–75
3	Дернові	0,11	2	Луки та пасо- вища	0,20	0,15	1 028	25–75
<b>Малокритичні</b>						<b>0,16–0,24</b>	<b>15 400</b>	
4	Лучно-болотні	0,15	2	Луки та пасо- вища	0,20	0,17	2 420	20–25
6	Дерново-підзо- листі	0,22	1	Ліс	0,10	0,17	1 66,0	5,0–25
1	Торфоболотні	0,04	4	Агроландшафт	0,40	0,18	1 140	15–25
5	Лучні	0,19	2	Луки та пасо- вища	0,20	0,19	1 064	15–25
2	ГКТБ	0,07	4	Агроландшафт	0,40	0,20	8 892	15–20
7	Сірі лісові та чорноземи опідзолені	0,26	1	Ліс	0,10	0,20	224	4,0–15
<b>Некритичні</b>						<b>0,25–0,32</b>	<b>3 256</b>	
6	Дерново-підзо- листі	0,22	4	Агроландшафт	0,40	0,29	2 196	2,0–3,5
7	Сірі лісові та чорноземи опід- золені	0,26	4	Агроландшафт	0,40	0,32	1 060	1,5–2,5

*Примітка:* \*оцінка населених пунктів з K<sub>кр</sub> = 3 на загальнодержавному рівні проводиться окремо; \*\*ГКТБ – ґрунтові комплекси з торфоболотними ґрунтами.

Кожен з виділених районів *характеризується певними радіоекологічними параметрами*. В табл. 2 наведено інтервал значень коефіцієнтів переходу <sup>137</sup>Cs для певної групи ґрунтів у рослини, що є найбільш властивими для виділених типів підстильної поверхні. Так, для лісу, лук та пасовищ наведено ТF <sup>137</sup>Cs у природні трави, оскільки

в зоні Полісся велика рогата худоба часто випасається на лісових галявинах та у заплавах річок. Для агроландшафтів інтервал значень ТF <sup>137</sup>Cs включає параметри для зернових, картоплі та коренеплодів. За іншими масштабами інформація деталізується відповідно до структури землекористування з конкретними значеннями



**Рис. 2.** Карта потенційної радіоекологічної критичності території Українського Полісся (на загальнодержавному рівні) та населені пункти, в яких ефективна доза опромінення населення після аварії на ЧАЕС перевищувала 1 мЗв·рік<sup>-1</sup> [10]

коефіцієнтів переходу <sup>137</sup>Cs у певні види сільськогосподарських культур на визначеному типі ґрунту з його агрохімічними показниками.

Для верифікації запропонованої технології на карту потенційної радіоекологічної критичності території Полісся було накладено дані загальнодержавної паспортизації населених пунктів України після аварії на ЧАЕС, на території яких доза опромінення населення перевищувала державні нормативи (рис. 2) [10]. Основна кількість населених пунктів з дозовими навантаженнями понад 1 мЗв·рік<sup>-1</sup> розміщується в радіоекологічних районах, стан критичності яких має ступінь «дуже критичні», та подекуди — «малокритичні». Оцінені за розглянутою технологією ступені потенційної критичності радіоекологічних районів на радіоактивно забруднених територіях корелюють з реалізованим унаслідок Чорнобильської аварії просторовим розподілом доз опромінення населення.

Отже, наявність карти радіоекологічної оцінки надаватиме можливість прогнозувати критичність територій не лише поблизу епіцентру аварії, а й на периферії радіоактивного сліду і вчасно приймати рішення про вжиття відповідних заходів.

## ВИСНОВКИ

Для безпечного ведення сільськогосподарського виробництва на територіях, що можуть бути забруднені внаслідок радіаційних аварій, необхідно провести їх превентивну радіоекологічну оцінку. Це надає можливість здійснити прогноз забруднення радіонуклідами сільськогосподарської продукції, оперативно сформувати сітку радіоекологічного моніторингу агросфери і прийняти рішення про пріоритетне проведення оптимальних захисних заходів та, найголовніше, своєчасно запобігти формуванню дозових навантажень на населення.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Проблемы безопасности атомной энергетики. Уроки Чернобыля / Б.С. Пристер, А.А. Ключников, В.М. Шестопалов, В.П. Кухарь; под ред. Б.С. Пристера. — Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС, 2013. — 200 с.
2. Радиоекологические последствия. Динамика радиоактивного загрязнения наземных экосистем и эффективность защитных мероприятий / под ред. акад. Б.С. Пристера // Национальный доклад Украины «Двадцать пять лет Чернобыль-

- ской катастрофы. Безопасность будущего». — К.: Изд. КИМ, 2011. — С. 39–98.
3. Biosfere. Modelling and Assessment BIOMASS programme. — Vienna: IAEA, 2002. — 126 p.
  4. Ehrhardt J. The RODOS system: decision support for off-site emergency management in Europe / J. Ehrhardt // Nuclear Technology Publishing. — 1997. — Vol. 1–4. — P. 35–40.
  5. Комплексное радиоэкологическое районирование территории в целях усовершенствования систем контроля, мониторинга и аварийного реагирования в зонах влияния АЭС / Б.С. Пристер, С.В. Барбашев, В.Д. Виноградская, О.Г. Тищенко // Проблемы безопасности атомных электростанций в Чернобыле. — 2013. — Вып. 21. — С. 74–82.
  6. Пристер Б.С. Проблемы сельскохозяйственной радиоэкологии и радиобиологии при загрязнении окружающей среды молодой смесью продуктов ядерного деления / Б.С. Пристер. — Чернобыль, 2008. — 320 с.
  7. Пристер Б.С. Кинетическая модель поведения  $^{137}\text{Cs}$  в системе «почва — растение», учитывающая агрохимические свойства почвы / Б.С. Пристер, В.Д. Виноградская // Проблемы безопасности атомных электростанций в Чернобыле. — 2011. — Вып. 16. — С. 151–161.
  8. Лев Т.Д. Информационно-аналитическое и картографическое обеспечение систем аварийного реагирования АЭС / Т.Д. Лев, О.Г. Тищенко, В.Н. Пискун // Проблемы безопасности атомных электростанций в Чернобыле. — 2011. — Вып. 16. — С. 17–26.
  9. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Полісся та Лісостепу України / за ред. М.В. Зубця. — К.: Логос, 2004. — 775 с.
  10. Загальнодержавна паспортизація населених пунктів України, які зазнали радіоактивного забруднення після Чорнобильської аварії. Узагальнені дані за 2001–2004 рр. / під ред. І.А. Ліхтарьова. — 36. 10. — К.: МОЗ України, 2001. — 62 с.

## REFERENCES

1. Prister B.S., Klyuchnikov A.A., Shestopalov V.M., Kukhar V.P. (2013). *Problemy bezopasnosti atomnoy energetiki. Uroki Chernobylya* [Safety problems of nuclear power. Lessons learned]. *Chernobyl: In-t problem bezopasnosti AES* [Chernobyl: The Institute of nuclear safety issue]. 200 p. (in Russian).
2. Prister B.S. (2011). *Radioekologicheskie posledstviya. Dinamika radioakcionogo zagryazneniya nazemnykh ekosistem i effektivnost zashchitnykh meropriyatiy* [Radiological consequences. Dynamics of radioactive contamination of terrestrial ecosystems and the effectiveness of protective measures]. *Natsionalnyy doklad Ukrainy «Dvadtsat pyat let Chernobylskoy katastrofy. Bezopasnost budushchego»* [National Report of Ukraine «Twenty-five years after the Chernobyl disaster. Safety for the Future»]. Kiev: KIM Publ., pp. 39–98 (in Russian).
3. Biosfere. Modelling and Assessment BIOMASS programme. (2002). Vienna: IAEA Publ., 126 p. (in English).
4. Ehrhardt J. (1997). The RODOS system: decision support for off-site emergency management in Europe, Nuclear Technology Publishing, Vol. 1–4., pp. 35–40 (in English).
5. Prister B.S., Barbashev S.V., Vinogradskaya V.D., Tishchenko O.G. (2013). *Kompleksnoe radyoekologicheskoe raionirovaniye terrytoriy v tseliakh usovershenstvovaniya sistem kontrolya, monitorynha y avaryynoho reahyrovaniya v zonakh vliyaniya AES* [Complex agro-ecological zoning for improved control systems, monitoring and emergency response in the areas of influence of the NPP] *Problemy bezpeky atomnykh elektrostansiy i Chornobylia* [Problems of nuclear power and Chernobyl]. Iss. 21, pp. 74–82 (in Russian).
6. Prister B.S. (2008). *Problemy selskokhozyaystvennoy radioekologii i radiobiologii pri zagryaznenii okruzhayushchey Sredy molodoy smesy produktov yadernogo deleniya* [Problems of agricultural radioecology and Radiobiology at pollution young mix of nuclear fission products]. Chernobyl Publ., 320 p. (in Russian).
7. Prister B.S., Vinogradskaya V. D. (2011). *Kineticheskaya model povedeniya  $^{137}\text{Cs}$  v sisteme «pochva — rasteniye», uchityvayushchaya agrokhimicheskie svoystva pochvy* [Kinetic behavior model  $^{137}\text{Cs}$  in system «soil — plant», taking into account the agrochemical properties of the soil]. *Problemy bezpeki atomnykh elektrostansiy i Chornobilya* [Problems of nuclear power and Chernobyl]. Chornobil Publ., Iss. 16, pp. 151–161 (in Russian).
8. Lev T.D. (2011). *Informatsionno-analiticheskoe i kartograficheskoe obespechenie sistem avaryynogo reagirovaniya AES* [Information-analytical and cartographic support emergency response systems NPP]. *Problemy bezpeki atomnykh elektrostansiy i Chornobilya* [Problems of nuclear power and Chernobyl]. Iss. 16, pp. 17–26 (in Russian).
9. Zubets M.V. (2004). *Naukovi osnovy ahropromyslovoho vyrobnystva v zoni Polissia ta Lisostepu Ukrainy* [Scientific bases of agricultural production in the area of Polesie and forest-steppe of Ukraine]. Kyiv: Lohos Publ., 775 p. (in Ukrainian).
10. Liktarov I.A. (2001) *Zahalnoderzhavna pasportyzatsiia naselennykh punktiv Ukrainy, yaki zaznaly radioaktyvnoho zabrudnennia pislia Chornobylskoi avarii. Uzahalneni dani za 2001–2004 r.* [The National certification settlements of Ukraine, which contaminated after the Chernobyl accident. Summary data for 2001–2004 g.]. Zbirnyk 10, Kyiv: MOZ Ukrainy Publ., 62 p. (in Ukrainian).