

УДК 504.064.2:911.6

DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2018.04.049>**Т. Д. Лев, Б. С. Прістер, В. Д. Виноградська, О. Г. Тищенко, В. Н. Піскун**

Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАНУ, Київ

**БАСЕЙНОВО-ЛАНДШАФТНИЙ ПРИНЦИП В ОЦІНЮВАННІ СТУПЕНЯ РАДІОЕКОЛОГІЧНОЇ КРИТИЧНОСТІ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ**

Розглянуто використання басейново-ландшафтного принципу вивчення й аналізу природно-географічних особливостей, що в комплексі з використанням результатів уже проведених досліджень на радіоактивно забруднених територіях, забезпечує можливість ще до виникнення аварійних ситуацій на ядерних або радіаційних об'єктах України виділити критичні чинники, які впливають на формування дози опромінення населення. Це дає змогу превентивно отримати просторово - часову картину формування радіаційної обстановки з урахуванням місцевих умов, виявити найбільш критичні райони та ефективно управляти процесами реабілітації забруднених територій. Оцінка ступеня критичності виділених басейнів проводилася з використанням сучасних ГІС-технологій на трьох просторових рівнях (національному, регіональному, локальному).

**Ключові слова:** радіоекологічне районування; басейново-ландшафтний принцип; радіоекологічна критичність; ГІС-моделювання; картографування.

**T. D. Lev, B. S. Prister, V. D. Vynogradska, O. G. Tyschenko, V. N. Piskun**

Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

**Basin-landscape principle in assessing the degree of radioecological criticality of the territory of Ukraine**

A basin-landscape principle of studying and analyzing the natural-geographical features of radioactively contaminated territories is proposed to identify critical regions that influence the formation of the population exposure dose before an accident at nuclear or radiation facilities in Ukraine. This will make it possible to preliminary obtain a spatio-temporal picture of the radiation situation formation taking into account local conditions, identify the most critical areas and effectively manage the rehabilitation of contaminated areas using modern GIS technologies. Assessment of the criticality of the allocated basin is carried out at three spatial levels (national, regional and local) using the integrated criterion of criticality.

**Keywords:** radioecological zoning; basin-landscape principle; radioecological criticality; GIS modeling; mapping.

**Актуальність та стан вивчення питання**

Як показали останні великі аварії на Чорнобильській АЕС та Фукусіма-1, оцінку радіаційної ситуації і планування захисних заходів для зниження рівнів забруднення продукції та дозового навантаження на населення проводили за результатами оперативного моніторингу об'єктів навколишнього середовища. Виявлення локальних особливостей забрудненої території та виділення пріоритетних районів впровадження реабілітаційних заходів потребує значного часу. Внаслідок цього отримані в ході радіоекологічного моніторингу результати були несвоєчасними і недостатніми для прийняття рішень. Оперативний моніторинг після аварії повинен бути гранично оптимізований і спрямований на уточнення фактичного

стану забруднення місцевості радіонуклідами [1,2].

Для найбільш швидкого та оптимального управління роботами з ліквідації наслідків радіаційних аварій необхідно вивчити, завчасно провести аналіз і обґрунтувати радіоекологічну оцінку природно-географічних особливостей територій навколо АЕС. Це слід розглядати як невід'ємну частину процедури екологічної оцінки (ЕО), яку використовують як інструмент превентивного екологічного регулювання господарської діяльності в країнах ЄС і пропонують до використання в Україні [3,4].

За результатами досліджень наслідків радіаційних аварій виявлено, що просторова неоднорідність ландшафтних характеристик (рельєф, тип ґрунту і тип рослинності) і умови землекористування призводять до значної мінливості радіоактивного забруднення територій сільсько-

© Т. Д. Лев, Б. С. Прістер, В. Д. Виноградська, О. Г. Тищенко, В. Н. Піскун, 2018

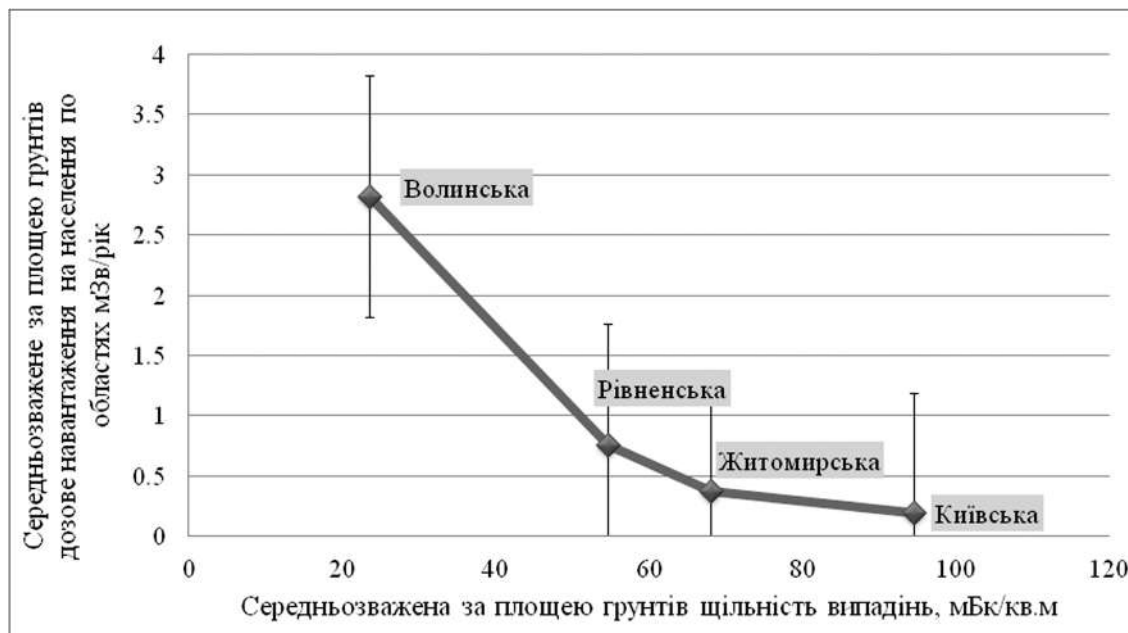


Рис. 1. Аналіз змін середньозваженої дози та щільності випадіння  $^{137}\text{Cs}$  на території західного радіоактивного сліду випадіння від аварії на ЧАЕС

господарського виробництва і пов'язаних з ним доз внутрішнього опромінення населення.

Про вплив чинників навколишнього середовища на радіоактивне забруднення зазначив у 1979 р. А. Aarkrog [5], який запропонував *концепцію радіоекологічної чутливості* для оцінки радіоекологічних властивостей об'єктів навколишнього середовища внаслідок глобальних випадіння  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  в Данії і на Фарерських островах. За кількісну міру радіоекологічної чутливості було використано агрегований коефіцієнт переходу радіонукліду з ґрунту в рослини. Після чорнобильської аварії поняття радіоекологічної чутливості (або «уразливості території») широко обговорювалося і застосовувалося для пояснення просторової мінливості доз опромінення людей через споживання забруднених продуктів харчування. Цю концепцію було використано для визначення областей, в яких спостерігалися високі індивідуальні або колективні дози у населення: проекти SAVE, RESTORE, SENSIB, програми AMAP, AVAIL для арктичних екосистем та інші [5,6].

Використання ландшафтного підходу і показника радіоекологічної критичності у вигляді коефіцієнта переходу радіонуклідів з ґрунту в рослини дало змогу типізувати і класифікувати на основі ландшафтно-карти сільськогосподарської території радіоактивно забрудненого Народицького

району Житомирської області. Це було основою для проведення оптимальних сценаріїв реабілітації виведених із використання земель [7].

Географічні інформаційні системи (ГІС) полегшили аналіз радіоекологічної чутливості, зв'язавши моделі міграції радіонуклідів з базами даних вхідних параметрів моделі, що просторово змінюються. Робоча група 8 Програми МАГАТЕ EMRAS II запропонувала концепцію чутливості навколишнього середовища з відповідним набором екологічних чинників і зазначила, що ця чутливість буде відрізнятися в короткострокових або середньострокових сценаріях, пов'язаних з розвитком радіаційної аварії [8].

Для території радіоактивного забруднення після аварії на Чорнобильській АЕС було проведено аналіз радіаційної чутливості з використанням середньозваженої дози внутрішнього опромінення населення. Середньозважену за площею ґрунтів та нормовану на щільність забруднення величину радіаційної дози аналізували з урахуванням типу ґрунтів (рис. 1). Було показано, що неоднорідність ґрунтового покриву та його міграційних характеристик можуть змінити радіаційну ситуацію на забруднених територіях: посилити або зменшити вплив щільності випадіння радіонуклідів. Так, у Волинській і Рівненській областях за відносно невисоких рівнів забруднення ґрунту

(< 100 мБк/м<sup>2</sup>) і значної відстані від джерела забруднення, дозові навантаження на населення були на порядок величини більші внаслідок формування підвищених рівнів забруднення продукції (в основному за рахунок інтенсивного переходу <sup>137</sup>Cs по ланцюгу «грунт – рослина – молоко» і споживання молока й картоплі як основних дозуювальних продуктів для мешканців Полісся).

Представлені результати аналізу показують необхідність попередньої оцінки природно-географічних особливостей територій. Завчасний аналіз і виділення критичних територій ще до аварії на ядерних або радіаційних об'єктах необхідні для обґрунтування заходів щодо зниження величини можливої дози опромінення населення. Використання сучасних ГІС-технологій для проведення такої оцінки дозволяє отримати просторово-часову картину формування радіаційної ситуації з урахуванням місцевих умов. У цьому випадку використовується принцип районування території як універсальний метод упорядкування та систематизації даних про територіальні системи в географічних, геофізичних і сільськогосподарських сферах.

Після аварії на ЧАЕС районування території (зонування) передбачало поділ території тільки за щільністю радіоактивного забруднення ґрунту, яка вважалася головним критерієм оцінки стану радіаційної ситуації. При цьому не враховували дозу опромінення населення, зумовлену споживанням забрудненої радіонуклідами сільськогосподарської продукції. Підтвердженням значного впливу екологічних умов на рівень радіоактивного забруднення сільськогосподарської продукції стали результати досліджень щодо подолання наслідків аварії на ЧАЕС, викладені в кількох роботах [9, 10]. Отримані результати були використані для радіоекологічної оцінки території та виділення особливо критичних районів за ступенем впливу їх на формування дозових навантажень на населення.

#### **Мета, завдання та методи дослідження**

М е т а цієї роботи – розроблення методології виявлення критичних районів для обґрунтування заходів щодо зниження впливу на формування дози опромінення населення та розроблення їх ще до виникнення аварійних ситуацій на ядерних або радіаційних об'єктах.

Для цього необхідно вирішити такі завдання:

- вивчити природно-географічні особливості

тестових районів радіоактивно забруднених територій, виділити відповідно до масштабу завдання набір екологічних чинників і провести екологічне районування на основі ландшафтно-басейново-го принципу з використанням ГІС-технологій [11, 12];

- превентивно оцінити радіоекологічну критичність (властивості ландшафту, які сприяють інтенсивному накопиченню радіонуклідів в рослинній продукції і, таким чином, визначити джерела підвищеного дозового навантаження на населення) сільськогосподарських територій на державному, регіональному і локальному рівнях, і в результаті виділити критично небезпечні райони.

Виконання радіоекологічного аналізу території проводилося методами ландшафтно-типологічного та екологічного картографування, використовуючи набір показників, що характеризують радіоекологічні особливості території, величину дозового навантаження на населення на основі раціонів харчування й структури землекористування.

Метод радіоекологічного районування [11,12] полягає в тому, що виділені райони в басейні розглядаються як екологічно однорідні території, що визначаються типами: елементарних ландшафтів, ґрунтів, підстильної поверхні, землекористування й рослинності, а значення щільності випадіння радіонуклідів та інших характеристик допускають їх усереднення по території району. Превентивна оцінка радіоекологічної критичності включає інтегральну оцінку екологічних параметрів, які впливають на процеси міграції радіонуклідів з ґрунту в рослини з урахуванням внеску кожного параметра в загальну сумарну критичність району.

Вирішення завдання районування проводилося з використанням сіткового підходу - екологічні чинники представляли в комірках регулярної сітки залежно від розглянутого просторового масштабу. Інформація про особливості територій була представлена картографічними даними відкритого доступу і оброблена для вирішення радіоекологічних завдань.

Використовуючи досвід, накопичений науковцями (М.А. Глазовская, Д.Н. Козлов, Р. Hickey, І.П. Айдаров, В.С. Давидчук, А.С. Мкртчян та ін. [5,7, 13, 14]) у сфері екологічного районування окремих територій, запропоновано методологію радіоекологічного районування території, забруд-

неної після аварії на ЧАЕС. Басейн річки прийнято за стійку геосистему, об'єднану системоутворювальними потоками речовини в чіткій ієрархії, визначеній певним порядком водозборів у межах басейну [13]. Басейн доцільно використовувати як первинну об'єктивно існуючу структурну одиницю території, в якій визначається тип ґрунту, тип елементарного ландшафту, землекористування і рослинності, що є екологічними чинниками, які дозволяють врахувати вплив ландшафтно-геохімічних умов місцевості на процеси осадження та міграції радіонуклідів в системі «ґрунт – рослина» і визначити зони формування дози опромінення населення в разі надходження радіонуклідів до організму тварини або людини.

Роль елементарних ландшафтів у процесах міграції радіонуклідів в об'єктах навколишнього середовища різна. Все різноманіття елементарних ландшафтів на земній поверхні за умовами міграції та акумуляції речовин об'єднують у три групи: 1 група - елювіальні, що займають підвищені елементи рельєфу, 2 група - транселювіальні (транзитні), що займають схили вододілів і височин, 3 група - супераквальні (акумулятивні), розташовані на рівнинних та знижених ділянках, що прилягають до схилів, в замкнених водоймах або в заплавах річок [13]. Такий поділ елементарних ландшафтів за функціональністю (винесення, транзит і накопичення, осадження і акумуляція речовин) входить до однієї геосистеми – водозбірного басейну, який представляє певну природну цілісність і спільність у структурі природно-екологічного каркасу та організації ландшафтів.

У межах басейну неоднорідність екологічних характеристик дуже висока, але закономірна. При переході від одного елемента басейну до іншого властивості змінюються дискретно (стрибокподібно), в той час як в межах елемента вони розподілені нормально або логнормально (близько до нормального) і для кожного елемента можуть бути оцінені за середнім значенням. Наприклад, вододіли (елювіальні ландшафти) характеризуються виносом речовин, що стікають з поверхневими і підґрунтовими водами. Схилі елементи характеризуються транзитною функцією – пропускають хімічні елементи із потоком води як у розчиненій формі, так і разом з твердою фазою ґрунту (суспензії). Субаквальний (заплавний) ландшафт, як правило, відіграє роль акумулятивного ландшафту, накопичує мулисту фракцію, що

характеризується максимальною поглинальною здатністю. Внаслідок відмінностей у вологості, величині й направленості окислювально-відновлюваної реакції, процесів масо-переносу елементів ландшафту в басейні розрізняються за типами формування ґрунтів і рослинних угруповань, системою землеробства. Це визначає рівень забруднення сільськогосподарської продукції радіонуклідами.

Таку схему відображено в радіоекологічній моделі території дослідження (рис. 2), що використовується при районуванні [11,12].

### Превентивна радіоекологічна оцінка території

У цій роботі наведено превентивну оцінку впливу основних екологічних чинників, представлених на рис. 2 (тип елементарного ландшафту, тип землекористування, тип ґрунту) на інтенсивність міграції радіонуклідів у системі «ґрунт - рослина», що зумовлюють потенційну радіоекологічну критичність території України в межах річкових басейнів. Оцінювання ступеня критичності району басейну проведено з використанням комплексного інтегрального показника, що представляє собою суму внесків екологічних характеристик з урахуванням ваги кожної характеристики в загальну інтегральну оцінку території методом вагових коефіцієнтів Фішберна. Оцінювання проводилося на основі експертного аналізу набору екологічних чинників, що впливають на інтенсивність процесів міграції радіонуклідів з ґрунту в рослини для різних просторових масштабів. Використано експериментальний матеріал і дослідницький досвід реабілітації забруднених територій та ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи 1986 р. [14]. Визначення меж річкових басейнів для радіоекологічного районування здійснено за морфометричними параметрами території та характеристикою гідрографічної мережі.

Виділення й побудова басейнів основних річок досліджуваної території з використанням топографічних карт, моделей рельєфу різного масштабу забезпечило можливість об'єднувати їх на єдиній картографічній основі та представляти у вигляді регулярних сіток. Інформаційний зв'язок між басейнами на різних просторових масштабах здійснюється з використанням уніфікованих класифікаторів, у яких код басейну на локальному рівні включає код басейну на регіональному та державному рівнях.

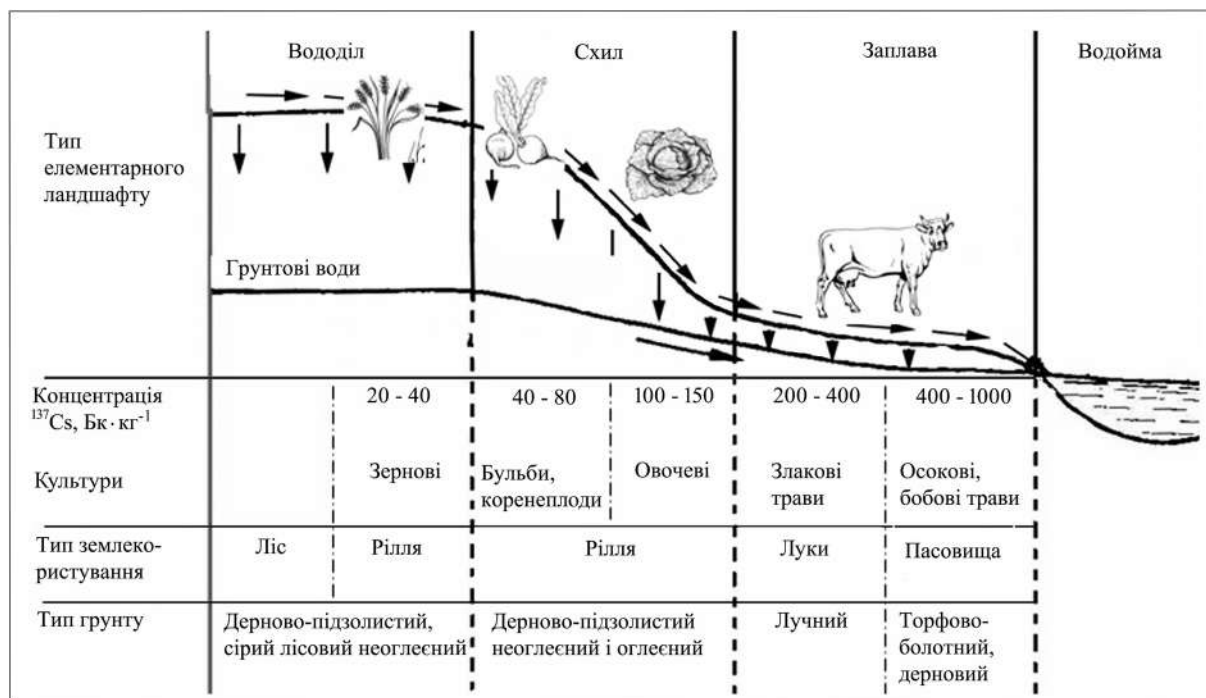


Рис. 2. Радіоекологічна модель території

**Інформаційне забезпечення**

Вибір природних чинників, що визначають екологічні характеристики території басейнів, базується на аналізі матеріалів комплексних тематичних карт, де диференційовано показані ознаки і властивості досліджуваної території, специфіка екологічної обстановки досліджуваних об'єктів природного середовища - особливості рельєфу, гідрографії (мережа водотоків, басейни основних річок), ґрунтів, рослинності, природокористування, демографії.

Створено просторову базу даних моніторингу забрудненої території України для національного рівня на основі публікацій і проведених досліджень [15] з використанням оригінальної інформації інтернет - порталу <http://www.diva-gis.org/gdata> і Національного Атласу України [16], що включає такі векторні карти:

- басейнів з гідрографічним районуванням М 1: 200000;
- рельєфу (точкові об'єкти), отриману шляхом конвертації растрових даних проекту SRTM (<http://srtm.csi.cgiar.org>) з кроком 900x600 м за допомогою засобів ГІС «ArcGIS»;
- ґрунтів, представлену в Національному атласі України;
- рослинного покриву, отриману шляхом конвертації растрових даних проекту ЄС «GLC2000

global dataset» (<http://forobs.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/product.php>) з використанням термінології «LCCS» за допомогою засобів ГІС ArcGIS;

- щільності населення (полігональний шар), отриману шляхом конвертації растрових даних проекту «CIESIN, 2000, Global gridded population database».

На регіональному і локальному рівнях як джерела інформації використовували деталізовані дані дистанційного зондування Землі про рельєф, тип рослинності та землекористування, а також схеми адміністративної структури території та землекористування окремих аграрних господарств і статистичні дані.

Використані екологічні характеристики були класифіковані за оцінкою ваги кожного класу на всіх просторових рівнях. Внесок кожного екологічного чинника в інтегральну оцінку критичності виділеного типологічного об'єкта оцінювали за ступенем його впливу на формування дози опромінення населення [17,18]. Так, на державному рівні максимальний внесок мав тип природокористування (0,42); на регіональному і локальному рівнях - тип елементарного ландшафту (0,38 - 0,40). Це пояснюється тим, що саме місцеположення в басейні водотоку є базовою характеристикою виділеного об'єкта і значною мі-

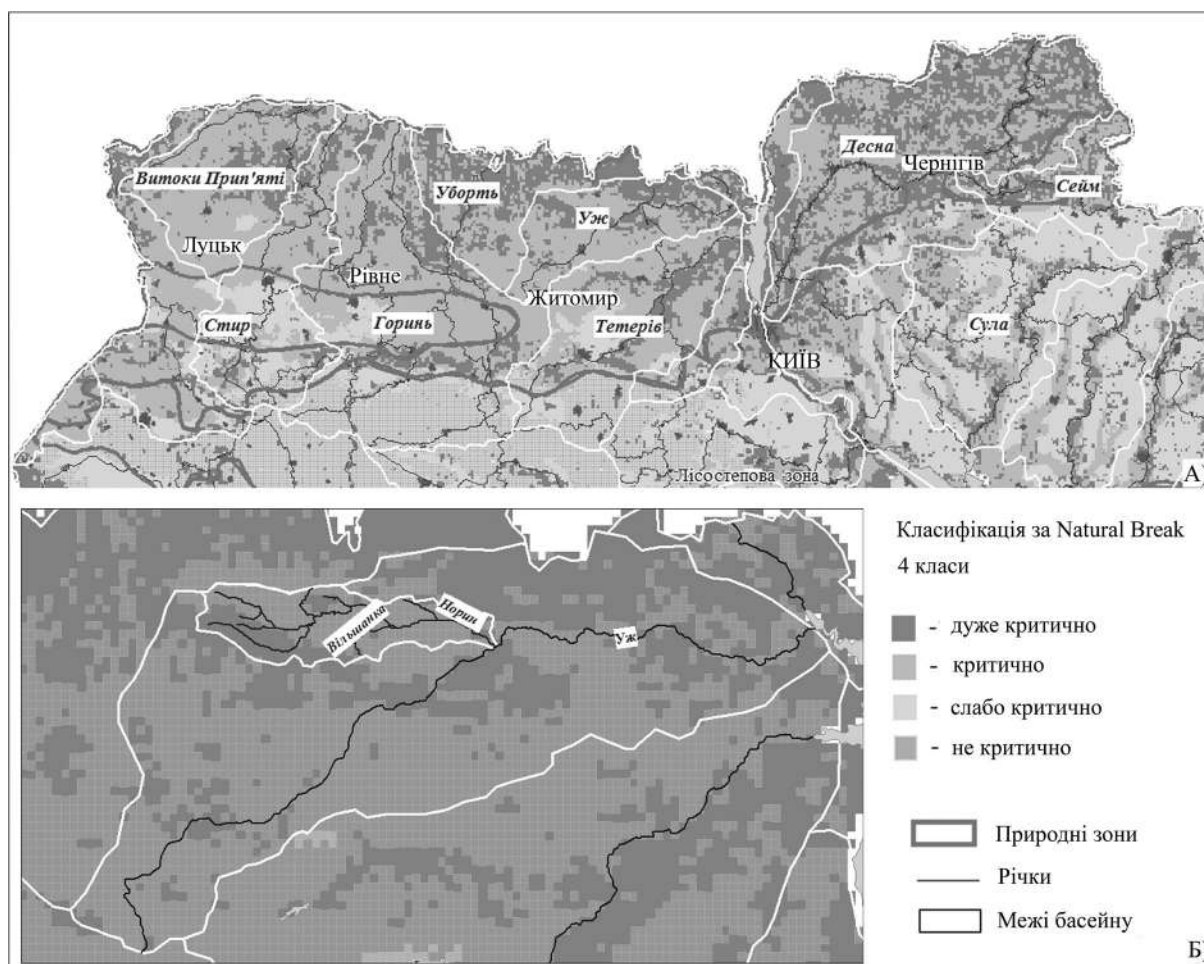


Рис. 3. Оцінка радіоекологічної критичності в межах басейнів річок: А. територія радіоактивного забруднення України після аварії на ЧАЕС у 1986 р.; Б. окремий басейн р. Уж (державний рівень) і басейн р. Норин (регіональний рівень)

рою визначає характерний для нього тип ґрунту і тип землекористування. Значення внесків типу ґрунтів і типу землекористування менше 0,24 - 0,25 і вони рівні між собою, так як відомо, що на значення коефіцієнтів переходу  $^{137}\text{Cs}$  впливають практично однаково відмінності як між видами рослинності, так і типами ґрунту.

Проведено оцінку впливу основних екологічних чинників на інтенсивність міграції радіонуклідів в системі «ґрунт - рослина», які зумовлюють потенційну радіоекологічну критичність для території України на трьох просторових рівнях, що відповідає класифікації радіаційних аварій за масштабами, викладеної в НРБУ-97:

- 1) державний – декілька областей, країна з площею  $> 1000 \text{ км}^2$  (зона радіоактивного забруднення території після аварії на ЧАЕС в 1986 р.);
- 2) регіональний – територія декількох районів, областей з площею від 100 до 1000  $\text{км}^2$ ;
- 3) локальний – територія району, сільради,

поля з площею  $< 100 \text{ км}^2$ .

На державному рівні було побудовано карту басейнів основних 45 річок України, проведено оцінювання радіоекологічної критичності дослідженої території радіоактивного забруднення, яка практично знаходиться в одній природній зоні – мішаних лісів (Українському Поліссі). Використовуючи екологічні характеристики для державного рівня і розроблену для Полісся методологію [17,18], оцінено ступінь радіоекологічної критичності для основних басейнів річок Українського Полісся у регулярній сітці з кроком  $2 \times 2 \text{ км}$ . На рис. 3 представлена оцінена територія радіоактивного забруднення і окремо – річковий басейн державного рівня (р. Уж) з виділеним басейном на регіональному рівні (р. Норин).

Статистичний аналіз ступеня критичності в межах річкових басейнів показав, що найнебезпечнішими (щодо впливу радіоактивного забруднен-

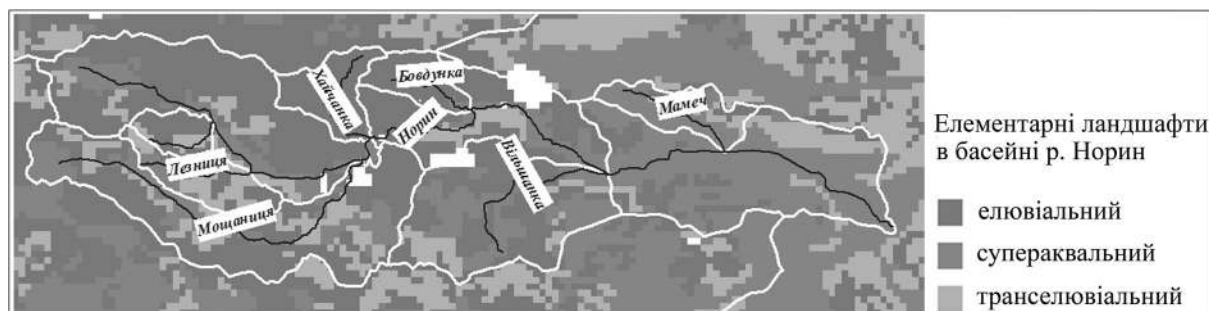


Рис. 4. Елементарні ландшафти в басейні р. Норин

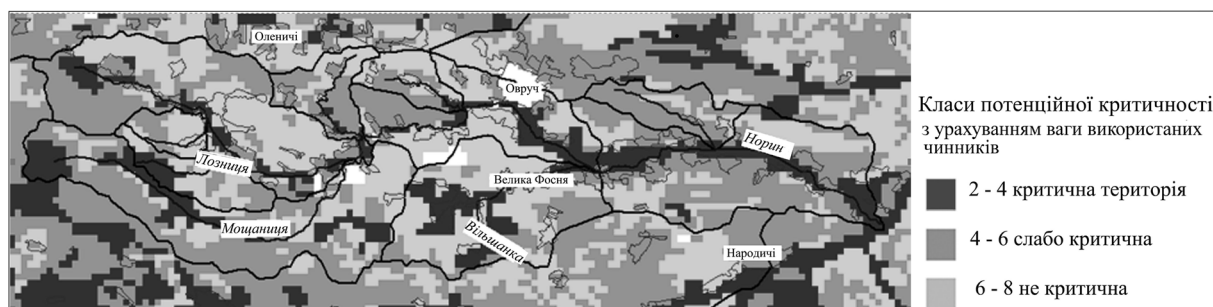


Рис. 5. Оцінка радіоекологічної критичності на регіональному рівні

ня на населення) є басейни річок Уборть, Десна, Уж, Горинь. Від 20 до 60% території басейнів займають комплекси дерново-підзолистих, лучних і торфово-болотистих ґрунтів з високим вмістом органічної речовини – до 60%, дуже низьким вмістом глинистих мінералів і мулистої фракції, кислою реакцією ґрунтового розчину ( $pH_{КСІ}$  4,2-5,4) і високою зволоженістю. На таких ґрунтах коефіцієнти переходу радіоцезію в системі «ґрунт - рослина» можуть перевищувати відповідні значення для дерново-підзолистих ґрунтів в 4-30 разів. Типовим є те, що 40% площ займають лісові території, де місцеві жителі випасають худобу і збирають гриби та ягоди. Для Полісся характерно відведення площ під пасовища та сіножаті на малопродуктивних перезволожених природних угіддях з багаторічними травами, випас худоби в лісі. Дослідження показали, що забруднення продуктів тваринництва залежить від типу утримання худоби, типу ґрунтів, структури раціону тварин.

Використання результатів аналізу параметрів кінетичної моделі міграції радіонуклідів в системі «ґрунт - рослина» [19] дало змогу згрупувати і ранжувати типи ґрунтів за схожими міграційними характеристиками та види сільськогосподарських культур від найбільш «критичних» до відносно «безпечних».

Після виділення на державному рівні радіоеко-

логічно критичних басейнів, методом телескопізації було проаналізовано потенційно небезпечні території басейнів річок на регіональному і локальному рівнях. На регіональному рівні введено додаткові параметри – тип елементарного ландшафту і кут ухилу та проведено деталізацію типів ґрунтів та уточнення міграційних властивостей радіонуклідів залежно від типу ландшафту, що забезпечило детальніше оцінювання території в межах кожного басейну. Результати аналізу були представлені в комірках сітки з групуванням параметрів і урахуванням вагових коефіцієнтів по басейнах і елементарних ландшафтах.

На регіональному рівні оцінено басейн річки Норин (притока р. Уж). Особливу увагу на цьому рівні приділено типам елементарних ландшафтів і структурі землекористування. Для цього було побудовано карту елементарних ландшафтів з використанням даних про рельєф і величину кутів ухилу, представлених в комірках регулярної сітки з кроком 500x500 м (рис.4).

Додатково введено тип землекористування - сільська забудова з городами. Картографічний матеріал підготовлено відповідно до вимог ГІС до тематичних даних: узгодженість інформації (ґрунт, ландшафт, підстильна поверхня, продукція агровиробництва) і окремих картографічних шарів між собою. Підготовлені картографічні

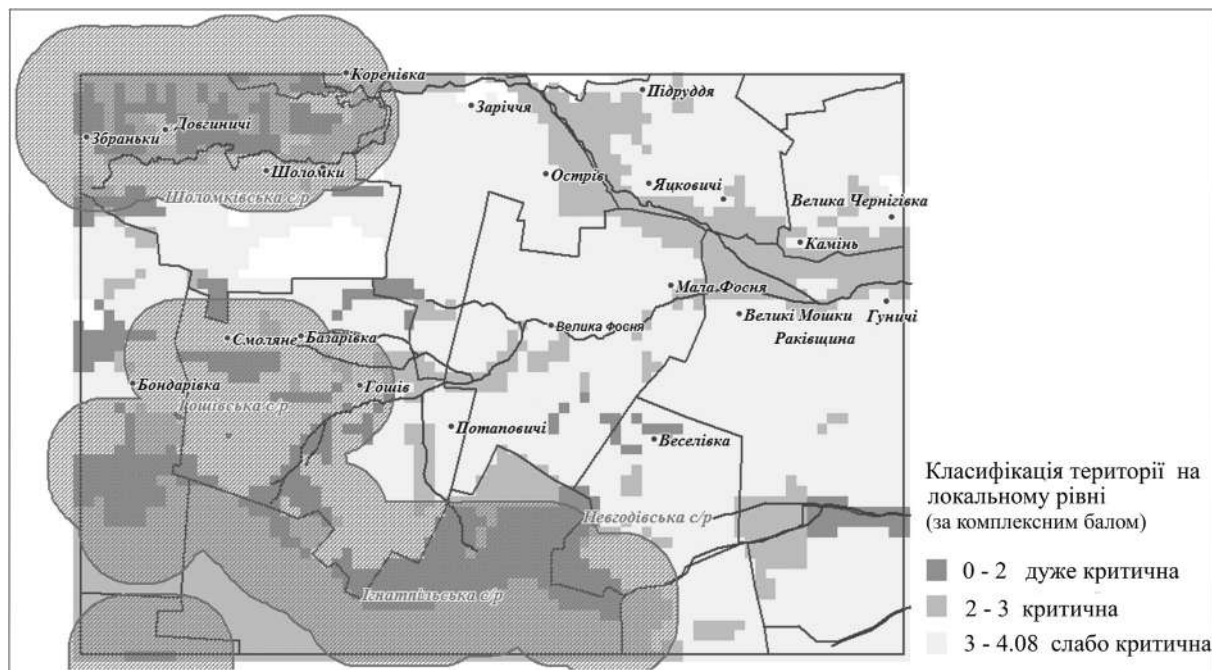


Рис. 6. Оцінка ступеня критичності території локального рівня (басейн р. Вільшанка) з виділеними буферними зонами

шари пройшли експертну оцінку. Для оцінки ситуації використано перевірені й проаналізовані дані.

Отже, здійснено оцінювання басейну р. Норин, що включає 4 основні типи землекористування і рослинності: ліс, лучна і болотна місцевість, агроландшафт і сільська забудова з городами. Виділені райони та їхні структурні елементи ранжовано за потенційною критичністю – здатністю формувати більшу дозу внутрішнього опромінення за однакової щільності радіоактивного забруднення ґрунту (рис.5).

Критичність території оцінено комплексним балом (умовні одиниці), який визначено сумою експертних оцінок найбільш значущих показників - тип елементарного ландшафту, ґрунту, підстильної поверхні і виду рослинності. Бал потенційної критичності відображає пріоритетність елемента території як об'єкта для планування моніторингу, системи контролю і контрзаходів [20]. Після оцінки було розраховано площі критичних районів - 404 км<sup>2</sup>, мало критичних - 659 км<sup>2</sup> і не критичних - 589 км<sup>2</sup> з локалізацією їх на карті і зазначенням населених пунктів, обраних територій.

На локальному рівні (басейн р. Вільшанка) до інтегрального показника долучалися такі показники: тип ґрунту, тип землекористу-

вання з типом угідь, видом рослинності. За цими показниками з урахуванням вагового внеску кожного параметра було розраховано сумарний комплексний бал та проведено класифікацію території басейну р. Вільшанка на локальному рівні. На рис. 6 представлена тематична класифікаційна карта з виділеними критичними територіями в межах сільської ради. Слід відзначити, що найкритичнішими поєднаннями об'єктів були лісова, лучно-болотна рослинність і природні луки на торфових ґрунтах, де комплексний бал змінювався від 0,8 для лісу до 1,35 в агроландшафтах.

Уточнення й деталізація екологічних параметрів на локальному рівні забезпечили можливість визначити потенційно критичні ділянки (природні луки) для випасання тварин і превентивно запланувати захисні заходи з метою зниження радіоактивного забруднення продукції і дози у населення в разі аварії, а також побудувати проєкт оперативного моніторингу забрудненої території. Отримано також можливість превентивно побудувати карти критичних зон для прогнозу формування доз в разі забруднення території за різних сценаріїв важких аварій.

Райони, елементи території, а також вироблена там продукція найбільш забруднені за умови однакової щільності радіоактивних випадіннь, були визначені як потенційно критичні, вони виділені



як пріоритетні для проведення моніторингових досліджень і контрзаходів.

### Висновки

1. Внаслідок проведеного дослідження розроблено методологію превентивного оцінювання потенційної радіоекологічної критичності забрудненої території України з використанням басейново-ландшафтного принципу районування території за природними екологічними характеристиками та з урахуванням досвіду минулих досліджень радіоактивно-забруднених територій. Показано, що для найбільш оптимального та ефективного управління процесами ліквідації наслідків радіаційних аварій на АЕС, що впливають на землі сільськогосподарського призначення, необхідно заздалегідь з використанням методів ГІС-картографування виділити в межах території України найкритичніші зони, де можливе формування підвищеної дози опромінення населення при однакових рівнях забруднення території.
2. Використання сучасних геоінформаційних систем (ArcGIS, MapInfo, Surfer), актуального картографічного матеріалу і баз даних радіоеко-

логічного моніторингу сільськогосподарських територій після аварії на ЧАЕС дозволило провести оцінювання радіоекологічної критичності зони радіаційного забруднення України на трьох просторових рівнях.

3. Використання методології превентивного оцінювання радіоекологічної критичності території України за басейновим принципом сприятиме запобіганню перевищення дози радіоактивного опромінення населення  $^{137}\text{Cs}$  в разі аварійної ситуації на АЕС шляхом оптимізації радіоекологічного моніторингу і контролю, удосконалення оцінювання радіаційної ситуації та системи прийняття рішень щодо проведення захисних заходів на територіях сільськогосподарського виробництва.
4. Створено алгоритм попереднього оцінювання радіоекологічної критичності території, необхідного для проведення сценарних оцінок територій вірогідного радіоактивного забруднення за різних гіпотетичних радіаційних аварій. Такі ситуаційні карти мають бути основою для швидкого прогнозу і оцінки радіаційної ситуації та розроблення програм пріоритетних заходів щодо захисту населення в разі аварійних ситуацій на АЕС.

### References [Література]

1. Prister B. S. (1990). Guidelines for the organization of monitoring of the state of the environment in the area of the NPP location. *Methodical recommendations for conducting integrated (radioecological, chemical) monitoring of soils and landscapes in the vicinity of NPPs*. Leningrad. Pp. 239-249. 239-249. [In Russian].  
[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. Ленинград, 1990. С. 239-249.]
2. *General Safety Guide No. GSG-2. Criteria for use in preparedness and response in case of a nuclear or radiological emergency*. (2011). International Atomic Energy Agency. Vein. [In Russian].  
[Общее руководство по безопасности № GSG-2. Критерии для использования при обеспечении готовности и реагирования в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации. Международное агентство по атомной энергии. Вена, 2011. 96 с.]
3. *Water Framework Directive 2000/60 / EC. Basic terms and definitions*. (2006). Kyiv. [In Ukrainian].  
[Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення. Київ, 2006. 240 с.]
4. Vayner G. D. (2008). *Environmental impact assessment, as one of the necessary conditions for the decision to start economic activity*. URL: <http://jurnal.org/articles/2008/ekol3.html> [In Russian].  
[Вайнер Г. Д. Оценка воздействия на окружающую среду, как одно из необходимых условий принятия решения о начале хозяйственной деятельности. URL: <http://jurnal.org/articles/2008/ekol3.html>]
5. Asker Aarkrog (1979). *Environmental Studies on Radioecological Sensitivity and Variability with Special Emphasis on the Fallout Nuclides  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$* . Risø National Laboratory, DK-4000 Roskilde, Denmark. 1979. June. Risø-R-437. Part one. Main text. 269 p.
6. Howard B. J. (2000). *The concept of radioecological sensitivity*. Rad. Prot. Dos. 92 (1–3), 29–34.
7. Grytsyuk N., Davydchuk V. (2004). Radioecological criticism of landscapes. *Visnyk of Lviv University. Series Geography. Iss. 31*. 253–256. [In Ukrainian].  
[Н. Грицюк, В. Давидчук. Радіоекологічна критичність ландшафтів // Вісник Львів ун-ту. Серія географічна. 2004. Вип. 31. С. 253–256.]
8. International Atomic Energy Agency (IAEA). *Environmental Sensitivity in Nuclear Emergencies in Rural and Semi-natural Environments*. (2013). IAEA-TECDOC-1719, Vienna.
9. Prister B.S. (2008). *Problems of agricultural radioecology and radiobiology in case of environmental pollution with a*

- young mixture of fission products*. Chernobyl. [In Russian].  
[Пристер Б. С. Проблемы сельскохозяйственной радиэкологии и радиобиологии при загрязнении окружающей среды молодой смесью продуктов ядерного деления. Чернобыль, 2008. 320 с.]
10. Prister B.S., Klyuchnikov A.A., Variakhtar V.G. et al. (2016). *Problems of safety nuclear energetics. Lessons of Chernobyl*. Chernobyl. [In Russian].  
[Проблемы безопасности атомной энергетики. Уроки Чернобыля / Б. С. Пристер, А. А. Ключников, В. Г. Барьяхтар и др. Чернобыль, 2016. 356 с.]
  11. Prister B.S., Garger Ye. K., Talerko M. M., Vinogradskaya V. D., Lev T. D. (2015) Radioecological zoning and territory model for the purpose of monitoring the agrosphere after a severe accident at a nuclear power plant. *Problems of nuclear power plants' safety and of Chernobyl*. Chernobyl. Vol. 25, 52-62. [In Russian].  
[Радиэкологическое районирование и модель территории для целей мониторинга агросферы после тяжелой аварии на АЭС. / Б. С. Пристер, Е. К. Гаргер, М. М. Талерко, В. Д. Виноградская, Т. Д. Лев. Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. Чернобыль, 2015. Вип. 25, с. 52-62.]
  12. Prister B.S., Harher Ye.K., Talerko M.M., Vynohradska V.D., Lev T.D. Model of zoning of the territory at different levels of possible radioactive contamination of the agrosphere. *Agriculture*, Vol. 2, 79 - 86. [In Ukrainian].  
[Модель районування території за різних рівнів можливого радіоактивного забруднення агросфери / Б. С. Пристер, Є. К. Гаргер, М. М. Талерко, В. Д. Виноградська, Т. Д. Лев. Землеробство, 2015. Вип. 2. С. 79 - 86.]
  13. Glazovskaya M.A. (1981). *Universal soil science and geography of soils*. Moskov. [In Russian].  
[Глазовская М.А. Общее почвоведение и география почв. 1981. Москва, 400 с.]
  14. Radioecological consequences. The dynamics of radioactive contamination of terrestrial ecosystems and the effectiveness of protective measures (2001). *National report of Ukraine «25 years of the Chernobyl catastrophe. Safety of the future»*. Kyiv, 39-98. [In Ukrainian].  
[Радиоекологічні наслідки. Динаміка радіоактивного забруднення наземних екосистем та ефективність захисних заходів // Національна доповідь України «Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього». Київ, 2001. С. 39-98.]
  15. Lev T.D., Vinogradskaya V.D., Piskun V.N., Tishchenko O.G. (2016). Creation and organization of interaction for a complex spatial databases in solving the problems of numerical simulation and assessment of the radiation situation in emergency response systems. - *Problems of nuclear power plants' safety and of Chernobyl*. Chernobyl. Vol. 26, 103-112. [In Russian].  
[Создание и организация взаимодействия комплекса пространственных баз данных для решения задач численного моделирования и оценки радиационной ситуации в системах противоаварийного реагирования / Т. Д. Лев, В. Д. Виноградская, В. Н. Пискун, О. Г. Тищенко // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чорнобиля. Чернобыль, 2016. Вип. 26. С. 103-112.]
  16. *National atlas of Ukraine (2007)*. Kyiv. [In Ukrainian].  
[Національний атлас України. Київ, 2007. 440 с.]
  17. Prister B.S., Vinogradskaya V.D., Lev T.D., Talerko N.N., Garger E.K., Onisha Y, Tischenko O.G. (2018). Preventive radioecological assessment of territory for optimization of monitoring and countermeasures after radiation accidents. *Journal of Environmental Radioactivity*. Vol. 184-185, 140-151.
  18. Lev T. D., Prister B. S., Vinogradskaya V. D. (2016). Preventive integrated assessment of the radioecological criticality in agricultural areas for purposes the effective management for elimination of the consequences radiation accidents. *Problems of nuclear power plants' safety and of Chernobyl*. Vol. 26, 113 - 121. [In Russian].  
[Лев Т. Д., Пристер Б. С., Виноградская В. Д. Превентивная интегральная оценка радиэкологической критичности сельскохозяйственных территорий для целей эффективного управления процессами ликвидации последствий радиационных аварий. Проблемы безопасности атомных электростанций і Чорнобиля. Чернобыль, 2016. Вип. 26. С. 113 - 121.]
  19. Prister B. S., Vinogradskaya V. D. (2011). Kinetic model of <sup>137</sup>Cs behavior in the system "soil - plant", which takes into account agro-chemical properties of the soil. *Problems of nuclear power plants' safety and of Chernobyl*. Vol. 16, 151 - 161. [In Russian].  
[Пристер Б. С., Виноградская В. Д. Кинетическая модель поведения <sup>137</sup>Cs в системе «почва-растение», учитывающая агрохимические свойства почвы. Проблемы безопасности атомных электростанций і Чорнобиля. Чернобыль, 2011. Вип. 16. С. 151 - 161.]
  20. Boris Prister, Mykola Talerko, Evgenii Garger, Viktorija Vinogradskaja, Tatjana Lev. Methodology for long-term radiation monitoring to dose assessment using radiological zoning and modeling of radionuclides migration in environmental and food chains. *Countermeasures of Cesium Uptake by Farm Crops and Livestock*: STCU Project 5953.

Стаття надійшла до редакції 5.10.2018