

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-консультаційний центр заочної освіти
Кафедра Агрометеорології та агроекології

Бакалаврська кваліфікаційна робота

на тему: Агроекологічна оцінка забруднення радіоцезієм зерна і
борошна кукурудзи на Півдні України

Виконав студент 5 року заочної форми
навчання групи АЕ-5
Напрямок підготовки 6.040106 «Екологія,
охорона навколишнього середовища та
збалансоване природокористування
(Агроекологія)

(шифр і назва напрямку підготовки)

Абасов Васіф Ясіф огли

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

Керівник к. геогр. н., доцент

Жигайло Олена Леонідівна

Консультант -

Рецензент к. геогр. н., доцент

Боровська Галина Олександрівна

Одеса 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-консультаційний центр заочної освіти _____
Кафедра _____ агрометеорології та агроекології _____
Рівень вищої освіти _____ бакалавр _____
Напрямок підготовки _____ 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища
та збалансоване природокористування (Агроекологія) _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
агрометеорології і агроекології
_____ Польовий А.М.
« 20 » квітня 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Абасову Васи́фу Ясі́фу огли

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Агроекологічна оцінка забруднення радіоцезієм зерна і борошна кукурудзи на Півдні України

керівник роботи _____ Жигайло Олена Леонідівна к. геогр. н., доцент, _____

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 23 » березня 2020 року № 35 - С

2. Строк подання студентом роботи _____ 01 червня 2020 року _____

3. Вихідні дані до роботи Характеристика природних умов Запорізької області і термін настання основних фаз кукурудзи. Математична модель забруднення сільськогосподарських продуктів в умовах використання радіоактивно забруднених джерел води для поливного землеробства, ECOSYS-86. Радіоактивне забруднення ґрунтово-рослинного покриву Запорізької області. Забруднення радіонуклідами річки Дніпро та дніпровських водосховищ. Тимчасово допустимий рівень забруднення радіоцезієм зерна кукурудзи і продуктів її переробки.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Для сільськогосподарських угідь Запорізької області провести аналіз забруднення ґрунтів радіоцезієм в 1986 і 2016 роках. Зробити оцінку забруднення радіоцезієм Каховського водосховища. Для культури кукурудза: виконати розрахунки основних показників фотосинтетичної діяльності сухої біомаси окремих органів (листя, стебел, коріння, зерна) і площі листя в окремі роки; провести чисельні розрахунки: забруднення радіоцезієм загальної біомаси і зерна кукурудзи, а також продуктів її переробки – висівок і борошна.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Карта-схема питомої щільності забруднення радіонуклідами Cs-137 ґрунтово-рослинного покриву Запорізької області у 1986 і 2016 роках
Динаміка формування площі листя та накопичення загальної біомаси і біомаси зерна кукурудзи
Розподіл активності Cs-137 в загальній біомасі кукурудзи за фазами розвитку
Розподіл питомої активності Cs-137 в продукції кукурудзи.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	немає		

7. Дата видачі завдання 20 квітня 2020 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	Отримання завдання та збір вихідних даних до роботи. Огляд літературних джерел за темою кваліфікаційної роботи.	20.04.2020 р. - 28.04.2020 р.	80	4 (добре)
2.	Вивчення алгоритму моделі формування активності радіонукліда в системі вода – ґрунт – рослина – продукт «ECOSIS - 86».	29.04.2020 р. - 03.05.2020 р.	60	3 (задовільно)
3.	Проведення чисельних розрахунків на ПЕОМ. Оформлення текстової частини першого і другого розділів бакалаврської роботи.	04.05.2020 - 10.05.2020	70	3 (задовільно)
	Рубіжна атестація	11.05.2020 р. 16.05.2020 р..	70	3 (задовільно)
4.	Побудова табличного та графічного матеріалу. Аналіз отриманих розрахунків. Оформлення текстової частини третього та четвертого розділів бакалаврської роботи	17.05.2020 – 27.05.2020	75	4 (добре)
5.	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату та складення протоколу і висновку керівника.	28.05.2020 р. - 1.06.2020 р.	80	4 (добре)
6.	Підготовка презентаційного матеріалу до публічного захисту	-		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)	-	75,0	

Студент Абасов В.Я.огли
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи Жигайло О.Л.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Абасов В. Я. огли Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи «Агроекологічна оцінка забруднення радіоцезієм зерна і борошна кукурудзи на Півдні України»

В епоху науково-технічного прогресу сильно загострилася проблема відносин між людиною і природою. В наш час вже не можна знайти місця на землі, де б не відчувався прямий або опосередкований вплив природо перетворюючої діяльності людини. У багатьох районах планети спостерігається кризовий стан природного середовища, а деякі екологічні проблеми набули глобального характеру.

Екологічна безпека вимагає своєчасного прийняття природоохоронних заходів, для чого необхідна своєчасна оцінка антропогенного забруднення природи. Тому особливо актуальним постає організація постійного моніторингу забруднення повітря, водних джерел, ґрунтів і рослин, що вирощуються для вживання в їжу людиною. Загальне погіршення екологічної ситуації в Україні, неблагополучна медична обстановка, що спостерігається в даний час, змушують найбільш серйозно поставитися до виробництва високоякісних продуктів харчування.

Метою роботи є оцінка забруднення радіоцезієм урожаю кукурудзи та продукції її переробки на сільськогосподарських угіддях Запорізької області, що розташована на Півдні України.

Основні задачі:

- Виконати аналіз забруднення радіонуклідами цезій-137 сільськогосподарських угідь Запорізької області;
- Виконати розрахунки та створити аналіз забруднення радіоцезієм урожаю кукурудзи і продукції її переробки отриманої на сільськогосподарських угіддях зрошуваних водами Каховського водосховища

Об'єктом досліджень є формування активності радіоцезію в зерні кукурудзи і продуктах її переробки (висівках і борошні). Предмет досліджень – забруднення ґрунтів радіоцезієм в умовах зрошення водами Каховського водосховища і вплив радіоцезію на якість продукції кукурудзи.

Для виконання розрахунків використовувалась математична модель забруднення сільськогосподарських продуктів в умовах використання радіоактивно забруднених джерел води для поливного землеробства, ECOSYS-87.

Досліджено питома щільність забруднення радіонуклідами Cs-137 сільськогосподарських угідь у 1986 і 2016 роках. Досліджено динаміка накопичення активності ¹³⁷Cs в ґрунті, в загальній біомасі, біомасі зерна і борошні кукурудзи в 1986 і 2016 роках.

Робота складається із вступу, 3 розділів, висновків, списку використаної літератури і додатку. Загальний обсяг роботи 65 сторінок машинописного тексту, в т.ч. 15 таблиць і 6 рисунків.

Ключові слова: моделювання, забруднення радіоцезієм, ґрунт, зрошувальна вода, урожай, кукурудза, зерно, борошно.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНИХ УМОВ ЗАПОРІЗЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	8
1.1 Загальна характеристика ґрунтового покриву області	9
1.2 Кліматичні й агрокліматичні особливості території	12
1.3 Агрокліматична характеристика фаз розвитку кукурудзи в Запорізькій області.....	15
2 МОДЕЛЮВАННЯ НАКОПИЧЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ В АГРОЦЕНОЗАХ В УМОВАХ ЗРОШЕННЯ	18
2.1 Моделювання активності радіонуклідів, що утримується надземною частиною рослини при поливі.....	20
2.2 Моделювання надходження радіонуклідів у рослини через листя.....	21
2.3 Моделювання кореневого надходження радіонуклідів у рослини.....	23
2.4 Моделювання активності радіонуклідів у продуктах харчування, готових до вживання.....	28
3 ОЦІНКА РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ ЗАПОРІЗЬКОЇ ОБЛАСТІ ТА УРОЖАЮ КУКУРУДЗИ І ПРОДУКТІВ ЇЇ ПЕРЕРОБКИ	30
3.1 Радіоактивне забруднення ґрунтово-рослинного покриву Запорізької області.....	30
3.1.1 Радіоактивне забруднення ґрунтового покриву після аварії на Чорнобильській АЕС.....	31
3.1.2 Забруднення радіонуклідами річки Дніпро та	

дніпровських водосховищ.....	34
3.1.3 Забруднення радіонуклідами Cs-137 сільськогосподарських угідь Запорізької області	36
3.2 Особливості накопичення Cs-137 в урожаї кукурудзи та продуктах її переробки.....	41
3.2.1 Вплив екологічних факторів на ріст та розвиток кукурудзи (Zea mays).....	41
3.2.2 Особливості накопичення Cs-137 в процесі розвитку зрошуваної кукурудзи	44
3.2.3 Накопичення Cs-137 в продуктах переробки зерна кукурудзи	48
ВИСНОВКИ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	52
ДОДАТКИ.....	54

ВСТУП

У двадцятому столітті відбулися глобальні зміни у взаємовідносинах суспільства і природи. На планеті в багатьох районах спостерігається кризовий стан природного середовища, а деякі екологічні проблеми набули глобального характеру: руйнування озонового шару, посилення парникового ефекту в атмосфері і загроза зростання температури земної поверхні, забруднення Світового океану, зниження ґрунтової родючості, деградація лісів та ландшафтів, зменшення біорізноманіття [14].

Небезпеку, що нависла над людством у зв'язку з сучасною екологічною кризою, можна подолати, лише реалізувавши комплекс заходів з екологічної безпеки. Під екологічною безпекою слід розуміти такий стан системи природа – техніка – людина, яка забезпечує збалансовану взаємодію природних, технічних і соціальних систем, формування природно-культурного середовища, що відповідає санітарно-гігієнічним, естетичним і матеріальним потребам жителів кожного регіону Землі при збереженні природно-ресурсного та екологічного потенціалу природних систем і здатності біосфери в цілому до саморегулювання. Важливою складовою екологічної безпеки є стан захищеності особистості, суспільства і держави від загроз, що створюються стихійними лихами та техногенними катастрофами [18].

Екологічні проблеми не є щось зовсім нове, пов'язане лише з технічною діяльністю людства в сучасний період. На всіх етапах розвитку людини і до людини в біосфері виявлялися процеси, що мали чисто природну основу – землетрусу, виверження вулканів, цунамі, повені, карстові процеси та ін., які викликали порушення функціонування геосистем і екосистем, визначали значні перебудови ходу біосферних процесів. У сучасну епоху збитки, пов'язані зі стихійними природними лихами, ростуть, незважаючи на вдосконалення технічних методів захисту і поліпшення якості прогнозів. Це

пояснюється зростанням щільності населення і насиченості земної поверхні технічними системами [4].

Екологічні проблеми світу переплітаються з ресурсними, економічними, демографічними, соціальними: все сильніше відчувається нестача багатьох видів сировини, прісної води, енергії, зростання населення в Азії та Африці набуває загрозливих масштабів.

Екологічна безпека вимагає своєчасного прийняття природоохоронних заходів, для чого необхідна своєчасна оцінка антропогенного забруднення природи.

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є оцінка забруднення радіоцезієм урожаю кукурудзи та продукції її переробки на сільськогосподарських угіддях Запорізької області, що розташована на Півдні України. Основними завданнями кваліфікаційної роботи є:

- оцінити забруднення радіонуклідами цезій-137 сільськогосподарських угідь Запорізької області;
- оцінити забруднення зрошувальних вод річки Дніпро та її водосховищ;
- вивчити математичну модель забруднення сільськогосподарських продуктів в умовах використання радіоактивно забруднених джерел води для поливного землеробства.
- провести розрахунки та створити аналіз забруднення радіоцезієм урожаю кукурудзи і продукції її переробки отриманої на сільськогосподарських угіддях зрошуваних водами Каховського водосховища

При виконанні бакалаврської кваліфікаційної роботи в якості теоретичної основи використана модель забруднення урожаю сільськогосподарських культур радіонуклідами, ECOSYS-87 [9]. В якості вихідної інформації в кваліфікаційній роботі використовуються агрокліматичні дані [1], дані обстежень радіоактивного забруднення території

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНИХ УМОВ ЗАПОРІЗЬКОЇ ОБЛАСТІ

Територія Запорізької області здебільшого розташована в південно-східній частині центральної степової зони, крайня південно-західна частина – в південній степовій зоні України. На заході вона межує з Херсонською, на півночі з Дніпропетровською, на сході з Донецькою областями, на півдні омивається Азовським морем [1].

Ландшафт області являє собою переважно степову рівнину, порізаний річками, балками, ярами з невеликим ухилом на північний захід. У центрі лівобережної частини області чітко виділяється Приазовська височина (200-220 м), місцями горбиста, з глибокими долинами річок, балок і ярів. Приазовська височина складена древніми кристалічними породами (гранітами і гнейсами), які виступають на поверхню головним чином по річкових долинах, балках і ярах. На південь (в сторону Азовського моря), північний захід і захід Приазовська височина, поступово знижуючись, переходить в Причорноморсько-Азовську низовину [1].

Головною річкою області є Дніпро. З притоків Дніпра слід зазначити річку Конка.

Територія області знаходиться в зоні степової рослинності, але в зв'язку з оранкою степу цілинна флора (тирса, ковила, типчак та ін.) збереглися лише у вигляді невеликих ділянок на схилах ярів, балок.

Лісів і чагарників в області мало. З деревних порід найбільш поширені біла акація, берест, клен, дуб, ясен, в низинних і болотистих місцях – вільха.

Область має значні запаси корисних копалин, високорозвиненою промисловістю, потужною енергетичною базою, багатогалузевим сільським господарством [1].

Великі площі земельних угідь зайняті зерновими культурами, серед яких найбільшу питому вагу і значення мають озима пшениця, кукурудза, ячмінь. Значні площі зайняті соняшником. В області

розвинене овочівництво, баштанництво, з кожним роком розширюються площі садів і виноградників. Тваринництво є високорозвиненою галуззю сільського господарства з переважанням м'ясо-молочного напрямку. Добре розвинене вівчарство, свинарство, птахівництво, в окремих районах рибальство, бджільництво. Величезне значення для народного господарства має спорудження Дніпровської гідроелектростанції. Електроенергія Дніпрогесу широко використовується в сільськогосподарському виробництві [1].

1.1 Загальна характеристика ґрунтового покриву області

Згідно з ґрунтового районуванням, проведеним з урахуванням великомасштабного ґрунтового обстеження, Україна чітко розподіляється на наступні ґрунтові зони: Українське Полісся – зона змішаних лісів, дерново-підзолистих типових і оглеєних ґрунтів; Лісостеп – зона чорноземів типових і сірих лісових ґрунтів; Степ – зона чорноземів звичайних і південних; сухостепова зона темно-коричневих і каштанових ґрунтів; зона буроземних ґрунтів Українських Карпат; зона ґрунтів Гірського Криму [7, 13].

У таблиці 1.1 представлені ґрунти і їх площі, в тому числі орні, Запорізької області України. Основними ґрунтами, найбільш поширеними в Запорізькій області, є чорноземи звичайні (55,6% ріллі), чорноземи південні (25% ріллі) і каштанові (12,0% ріллі) ґрунти.

Зміна ґрунтових різниць має зональний характер.

Чорноземи звичайні середньогумусні розвинені в центральній степовій частині області. Глибина гумусового горизонту у них менше, ніж у чорноземів потужних (табл.1.2), що пов'язано з формуванням цих ґрунтів в посушливій зоні під різнотравно-злаковими степами. Структура зернисто-грудкувата або грудкувата. Реакція ґрунтового розчину нейтральна або близька до нейтральної. Ґрунти насичені підставами з переважанням кальцію. Рухливими формами азоту ґрунту забезпечені добре, середньо фосфором і

калієм. Це родючі ґрунти, однак, для отримання високих врожаїв на цих ґрунтах необхідно зберігати вологу і вносити добрива.

Таблиця 1.1 – Ґрунти та їх площі в Запорізькій області

Ґрунти	Загальна площа		У тому числі орна	
	тис. га	%	тис. га	%
Чорноземи звичайні в основному на лесових породах	1201,1	53,9	1047,2	55,6
Чорноземи південні на лесах	520,0	23,3	472,0	25,0
Чорноземи на різних відкладеннях	76,8	3,4	36,7	2,0
Чорноземи солонцюваті в основному на лесових породах	16,6	0,7	14,0	0,7
Лучно-чорноземні на лесових породах	34,4	1,5	19,2	1,0
Каштанові, в основному на лесах	244,0	10,9	225,6	12,0
Лучні, лучно-болотні, болотні на різних породах	51,0	2,3	20,1	1,1
Глейові поди і западини, солонці і солончаки	69,3	3,2	47,5	2,5
Дернові	16,9	0,8	1,9	0,1
Разом	2230,1	100	1884,2	100

Чорноземи південні сформувались на лесах в посушливих умовах при відносно зниженою продуктивності рослинної маси і енергійному процесі її мінералізації. Південні чорноземи менш родючі, ніж звичайні (табл. 1.2) і мають несприятливий водний режим [3,13].

Для успішного вирощування на них всіх районованих сільськогосподарських культур необхідно накопичення і збереження вологи, зрошення та внесення мінеральних добрив, особливо фосфорних.

Чорноземи південні в зональному напрямку змінюються каштановими ґрунтами в комплексі з солонцями і солоду. Гумусовий горизонт цих ґрунтів має потужність 35 - 40 см. Вміст гумусу в ґрунті в межах 3-4%. Ємність поглинання коливається від 20 до 30 м.-екв. на 100г ґрунту.

Вміст рухомих форм поживних елементів, в залежності від механічного складу, ступеня солонцюватості та карбонатності знаходиться в межах 5...20 мг фосфору і 10...40 мг калію і більш на 100г ґрунту. Кислотність ґрунту близька до нейтральної (7,2 - 7,5).

Таблиця 1.2 - Фізико-хімічні та агрохімічні показники родючості ґрунтів Запорізької області

Показатели	Чорнозем звичайний глибокий малогумусний		Чорнозем південний на лесах		Темно-каштанові солонцюваті на лесах		Каштанові солонцюваті на лесах	
	Орний горизонт							
	0-20	30-40	0-20	30-40	0-20	30-40	0-20	30-40
Фізико-хімічні показники								
рН водний	7,2	7,3	6,9	7,6	6,5	6,8	7,8	8,0
Поглинені катіони, мг·екв/100г ґрунту:								
Ca ⁺⁺	34,2	31,1	25,96	24,05	23,7	24,0	16,75	20,85
Mg ⁺⁺	8,9	8,4	8,34	7,43	6,9	7,4	7,95	10,68
Na ⁺	1,0	1,1	0,40	0,50	0,5	0,6	1,0	1,28
K ⁺	0,9	0,9	0,91	0,59	1,1	0,9	0,95	0,78
Сума поглинених основ, мг·екв/100г ґрунту	46,1	42,7	36,44	34,6	-	-	26,5	29,4
Ступінь насиченості основами, %	93,5	92,6	95,7	96,4	94,7	98,8	-	-
Агрохімічні показники								
Вміст гумусу, %	4,7	3,2	3,1	2,6	3,4	2,3	3,6	2,4
Загальний вміст валового ,% :								
Азоту	0,27	0,23	0,16	0,15	0,16	0,12	0,21	0,18
Фосфору	0,15	0,16	0,13	0,13	0,11	0,11	0,15	0,14
Калію	1,9	1,8	2,6	2,6	-	-	-	-
Вміст рухомих форм, мг/100г ґрунту:								
Фосфору	9,6-10,2		11,7		-		-	
Калію	11,0-17,0		23,8		21,0		-	

Негативними особливостями каштанових, солонцюватих і остаточно-солонцюватих ґрунтів є розпорошеність поверхневих горизонтів і щільність, ореховатість і злитість середньої частини профілю. Вони набухають у вологому стані і сильно розтріскуються в сухому. Для підвищення їх родючості необхідне внесення мінеральних (особливо фосфорних) і невеликих доз органічних добрив і застосування гіпсування [13].

1.2 Кліматичні й агрокліматичні особливості території

Клімат області континентальний, з високими тепловими ресурсами. Суми температур вище 10°C досягають в північних районах області 3000°C , а в крайніх південних районах 3300°C . Середня температура повітря найтеплішого місяця (липня) $21,5 \dots 23,3^{\circ}\text{C}$, а самого холодного (січень) $4,0 \dots 6,0^{\circ}\text{C}$. Середня тривалість вегетаційного періоду коливається від 210 днів у північних до 220 днів в південних районах. Річна кількість опадів в північних районах області близько 400...450 мм, а в крайніх південних районах близько 350 мм. Із загальної кількості опадів в теплий період року випадає приблизно 70%. Випадання опадів взагалі відрізняється нерівномірністю і значними коливаннями їх кількості, що призводить до нерівномірного зволоження в різні роки [1].

На території області сніговий покрив зазвичай нестійкий. За зиму буває від 20 до 80 днів зі сніговим покривом. У рідкісні багатосніжні зими число днів зростає до 100 ... 110.

Переважаючими вітрами є східні і північно-східні. У прибережних районах в теплу пору року спостерігаються бризи - вітри, що дують вдень з моря на сушу, а вночі з суші на море.

На території Запорізької області виділено три агрокліматичних райони (рис.1.1).

Перший агрокліматичний район [1] (з підрайонами а і б) характеризується як дуже теплий помірно посушливий. У підрайон Іа

входять північні райони області: Запорізький, Вільнянський, Новомиkolaївський, Оріхівський та Гуляйпільський.

Тут суми температур вище 10°C за період з кінця квітня по жовтень досягають $3000\ldots 3100^{\circ}$, кількість опадів за цей же період становить $240\ldots 260$ мм, а за рік $400\ldots 450$ мм. Гідротермічний коефіцієнт дорівнює $0,8\ldots 0,9$. Середня тривалість безморозного періоду $160\ldots 185$ днів. У цьому підрайоні весняні заморозки в повітрі припиняються в середньому в другій половині квітня; найбільш пізніше припинення весняних заморозків зазначалося в другій декаді травня.

Осінні заморозки в повітрі наступають в середньому в другу декаду жовтня. Найбільш ранні заморозки восени можливі в кінці вересня.

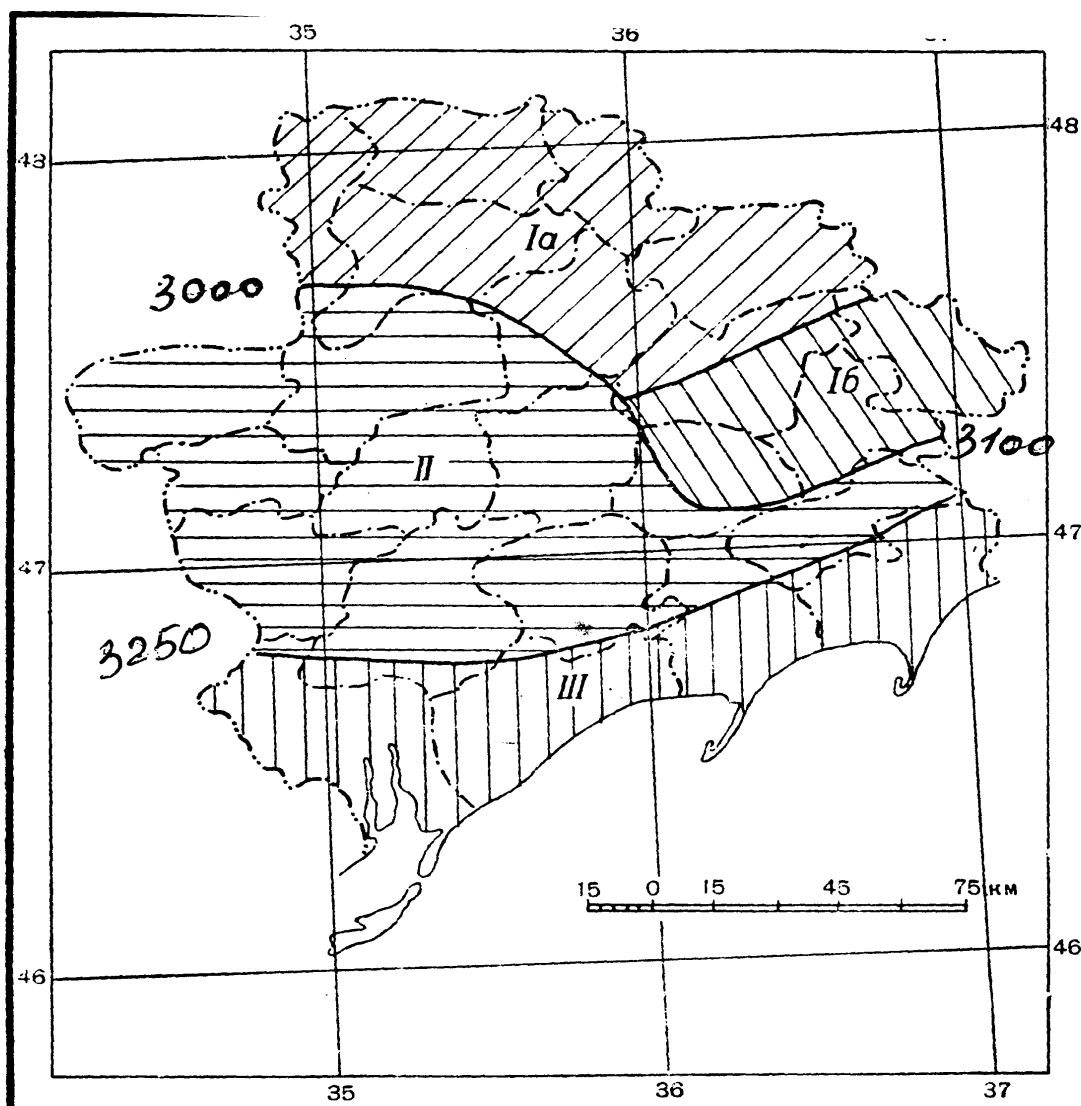
Слабкі і середньої інтенсивності суховії спостерігаються тут щорічно, а дуже інтенсивні - приблизно в 40-50% років.

У підрайон Іб входять райони, розташовані на Приазовській височині і поблизу її: Куйбишевський, Пологівський і Чернігівський.

У цьому підрайоні суми температур вище 10°C досягають $3000\ldots 3050^{\circ}\text{C}$, кількість опадів за цей же період становить $250\ldots 260$ мм, а за рік $430\text{--}450$ мм. Гідротермічний коефіцієнт дорівнює $0,9$. Середня тривалість безморозного періоду $160\text{--}165$ днів.

Весняні заморозки в повітрі в цьому підрайоні припиняються в середньому в третій декаді квітня. Найбільш пізніше припинення весняних заморозків спостерігається в другій декаді травня. Осінні заморозки настають в середньому в першій декаді жовтня. Найбільш ранні заморозки восени можливі в середині вересня.

Слабкі і середньої інтенсивності суховії спостерігаються тут щорічно, а дуже інтенсивні - приблизно в 30% років.



- Ia, Ib – дуже теплий, помірно посушливий;
- II – – дуже теплий, посушливий;
- III - дуже теплий, дуже посушливий

Рисунок 1.1 – Районування території Запорізької області за тепло забезпеченістю та ступенем зволоження вегетаційного періоду

Другий агрокліматический район [1] займає центральну частину області. До нього входять такі адміністративні райони: Кам'янко-Дніпровський, Василівський, Михайлівський, Токмацький, Чернігівський, Веселовський і Мелітопольський. Цей агрокліматический район характеризується як дуже теплий посушливий.

В даному районі суми температур вище 10°C досягають 3100...3250°C, кількість опадів за період з температурою вище 10°C складає 240...260 мм, а за рік 350...420 мм, гідротермічний коефіцієнт дорівнює 0,7...0,8.

Середня тривалість безморозного періоду 160-175 днів.

Весняні заморозки в повітрі припиняються переважно в другій половині квітня.

У цьому районі часті дуже інтенсивні суховії, вони відзначаються приблизно в 70% років.

Третій агрокліматический район - Приазовський [1]. В цей район входять Якимівський, Приазовський, Бердянський, і Приморський адміністративні райони. Цей район дуже теплий і дуже посушливий. Тут суми температур вище 10°C складає 3200...3300°C. Кількість опадів за період з температурою вище 10°C складає 210...230 мм, а за рік 350...410 мм.

Середня тривалість безморозного періоду 180...190 днів.

Весняні заморозки припиняються переважно в другій декаді квітня, наступають восени в кінці другої декади жовтня, а на узбережжі – в середині листопада.

1.3 Агрокліматична характеристика фаз розвитку кукурудзи в Запорізькій області

Районовані в Запорізькій області сільськогосподарські культури і сорту характеризуються певними датами настання фаз розвитку [1].

Кукурудза – одна з основних зернових культур, що вирощуються в Запорізькій області. Урожайність кукурудзи в середньому по області становить 50 ц / га.

Посів кукурудзи в Запорізькій області проводиться при стійкому прогріванні ґрунту на глибині 10 см до 10-120, переважно в другій і третій декадах квітня (табл. 1.3). У кожному районі в різні роки в залежності від метеорологічних умов відхилення від середніх строків сівби бувають значними, до 10-20 днів і більше.

Масові сходи в середньому з'являються 10-15 травня, через 15-20 днів після посіву.

Викидання волоті кукурудзи середньостиглого сорту Броунконті на півдні (Мелітополь - Ботієво) настає 1-5 липня і на 5-10 днів пізніше на решті території області.

Тривалість періоду від сходів до викидання волоті в значній мірі залежить від метеорологічних умов. В умовах спекотної сухої погоди викидання волоті спостерігається через 35-45 днів, в другу половину червня – початку липня.

В умовах помірно теплої вологої погоди викидання волоті настає через 65-70 днів, у другій і третій декадах липня.

Середня тривалість періоду від появи сходів до викидання волоті дорівнює на півдні 50-55 дням, на решті території області – приблизно 60 дням.

Цвітіння кукурудзи настає через 8-10 днів після викидання волоті: на півночі області 17-20 липня, на крайньому півдні близько 10- 15 липня. У період масового цвітіння кукурудзи в області нерідко утримується спекотна погода з температурами повітря до 33-35°C і вище при низькій відносній вологості повітря (30-25%). Такі умови сприяють усиханню пилку, наслідком чого є неповне запилення, недорозвиненість качанів, череззерниця. Спекотна і суха погода сприяє прискореному дозріванню зерна, погіршує його якість.

Повна стиглість середньостиглих сортів кукурудзи в південних районах набирає чинності по закінченні серпня. На півночі – на 5-7 днів пізніше.

Відхилення від середніх термінів дозрівання кукурудзи як в сторону запізнювання, так і прискорення досягають 10-20 днів. Різниця між крайніми термінами дозрівання кукурудзи на зерно становить 20-40 днів.

Таблиця 1.3 – Дати настання фаз розвитку кукурудзи (*Zea mays*) [1]

№ і назва держсортодільниці (назва адміністративного району)	Сорт	сівба	сходи	3-й лист	Викидання волоті	цвітіння	повна стиглість
1. Червоноармійська ДСД (Запоріжжя)	Броунконти	26 IV	10 V	20 V	11 VII	17 VII	13 IX
4.Осиповська ДСД (Оріхівський)	- «» -	25 IV	14 V	23 V	9 VII	13 VII	3 IX
8. Якимівська ДСД (Якимівський)	- «» -	25 IV	11 V	21 V	16 VII	10 VII	30 VIII
9. Гуляйпільська ДСД (Гуляйпільський)	- «» -	26 IV	13 V	23 V	10 VII	19 VII	5 IX
14. Кирилловка ДСД (Пологовський)	- «» -	23 IV	13 V	22 V	12 VII	22 VII	4 IX
17. Пришиб ДСД (Василівський)	- «» -	27 IV	12 V	20 V	8 VII	12 VII	24 VIII
26. Мелітополь ДСД (Мелітопольський)	- «» -	24 IV	10 V	16 V	2 VII	10 VII	27 VIII
32. Ботієво ДСД (Приазовський)	- «» -	18 IV	12 V	20 V	5 VII	13 VII	24 VIII

2 МОДЕЛЮВАННЯ НАКОПИЧЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ В АГРОЦЕНОЗАХ В УМОВАХ ЗРОШЕННЯ

У басейні Дніпра зрошується більш ніж 1,8 млн. га сільськогосподарських угідь. При цьому 72 % з них зрошується водами Каховського водоймища. У Запорізькій області загальна площа сільськогосподарських угідь становить 2225 тис. га, з них 272 тис. га зрошуються водами Дніпровського каскаду з Каховського водоймища, що становить приблизно 12% від загальної площі [6].

Для оцінки забруднення урожаю кукурудзи і продуктів її переробки в умовах використання радіоактивно забруднених джерел води для поливного землеробства використовується математична модель ECOSYS-87, яка запропонована Muller і Prohl та модифікована Польовим А.М. [9]

Блок-схема моделі представлена на рис. 2.1.

Наведена схема має блочну структуру й ділиться на блоки: вхідної інформації; динаміки площі листів; динаміки біомаси (загальної й господарсько-корисної частини); динаміки накопичення радіонуклідів з урахуванням: а) кореневого поглинання; б) надходження радіонуклідів у рослини з поливними водами; накопичення радіонуклідів у загальній біомасі рослин і в господарсько-корисній їх частині; вмісту радіонуклідів у продуктах переробки; агрохімічні заходи зниження рівня забруднення.

Накопичення радіонуклідів у рослинах на зрошуваних землях відбувається внаслідок кореневого надходження радіонуклідів, які перебувають у ґрунті внаслідок первинних випадінь чорнобильського й дочорнобильського походження радіонуклідів, які привносяться в ґрунт при поливі забрудненою водою, а також при безпосередньому надходженні радіонуклідів з поливної води до листя.

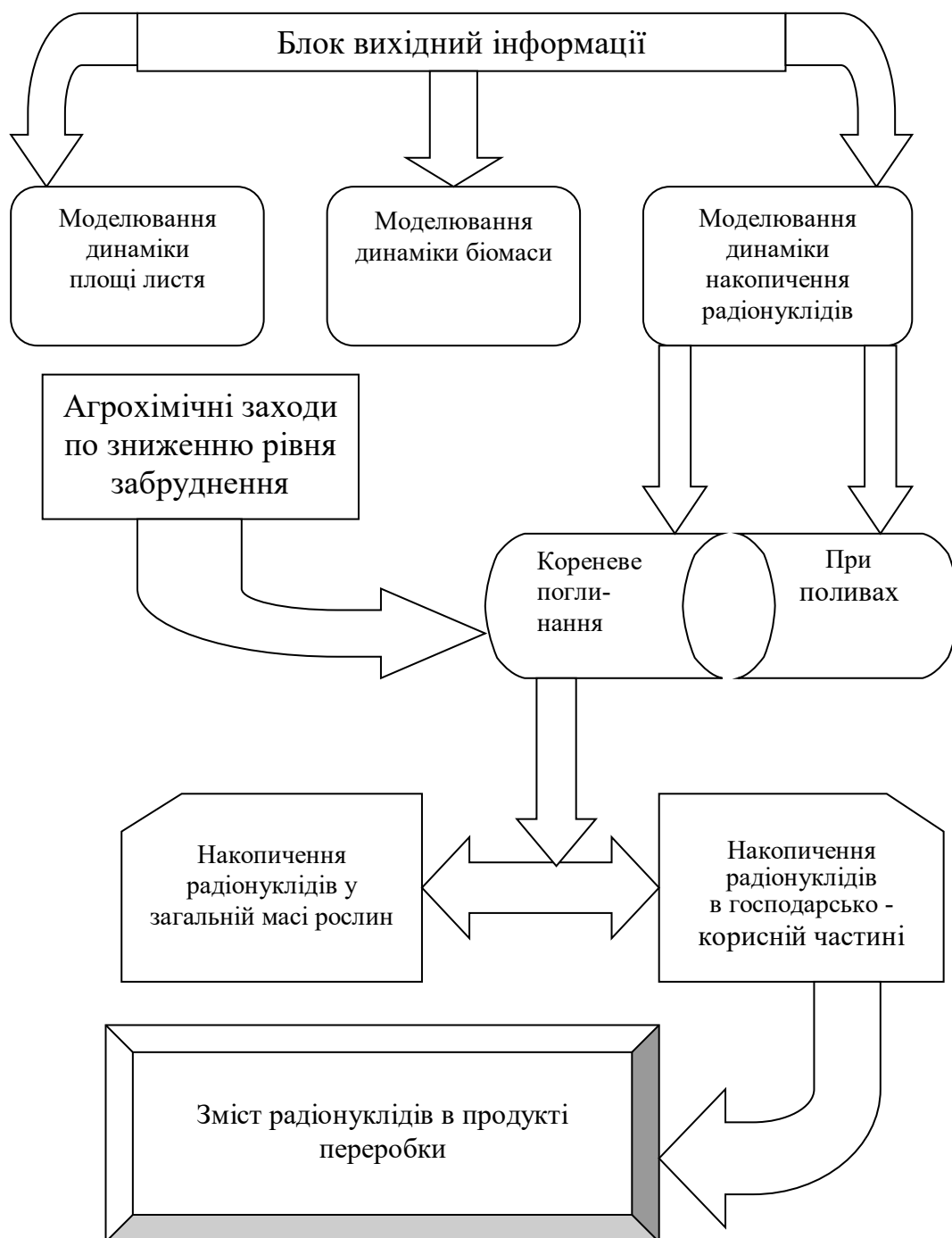


Рисунок 2.1 – Блок - схема моделі забруднення сільськогосподарських продуктів в умовах використання радіоактивно забруднених джерел води для поливного землеробства, ECOSYS-87 [9].

2.1 Моделювання активності радіонуклідів, що утримується надземною частиною рослини при поливі

Сумарна активність, яка утримується надземною частиною рослин при поливі, може бути представлена як

$$A_i = f_{w,i} A_w, \quad (2.1)$$

де A_i – сумарна питома активність на рослині виду i ;

$f_{w,i}$ – фракція утримання для рослини виду i ;

A_w - питома поверхнева активність внесена при поливі.

Радіонукліди, що утримуються рослиною визначаються за формулою

$$f_{w,i} = \frac{LAI_i S_i}{R} \left[1 - \exp\left(\frac{-\ln 2}{3 \cdot S_i} \cdot R\right) \right], \quad (2.2)$$

де S_i - ефективне утримання води для рослини виду i ;

LAI_i - поверхня листової частини рослин, яке припадає на одиницю площі їх росту;

R - питомий об'єм поливу на одиницю площі листової поверхні.

У випадку, якщо значення фракції утримання радіонуклідів перевищує 1, значення $f_{w,i}$ приймається рівним 1. Об'єм поливу рослин наведено в табл. 2.1. Значення ефективного утримання води S_i , які використовуються в моделі, ураховуються для ^{137}Cs рівними 0,2-0,3 мм, а для ^{90}Sr – 0,4-0,6 мм залежно від виду рослин. Значення LAI залежать від сезону року.

Для кожного виду розглянутих рослин функції LAI табульовані.

Активність радіонуклідів в рослинних продуктах формується як за рахунок безпосереднього надходження радіонуклідів через листя, і також за рахунок кореневого надходження:

$$C_i(t) = C_{i,l}(t) + C_{i,r}(t), \quad (2.3)$$

де $C_i(t)$ – загальна активність у рослині виду i , Бк/кг;

$C_{i,l}(t)$ – активність у рослині виду i від надходження через листя, Бк/кг;

$C_{i,r}(t)$ – активність у рослині виду i від кореневого надходження, Бк/кг [9].

Таблиця 2.1 – Середні по Україні зрошувальні норми, м³/га за сезон

Рослина	Зрошувальна норма	Рослина	Зрошувальна норма
Трави	600-1500	Кукурудза	1000-1500
Озима пшениця	1000-2000	Буряк	600-1000
Яриця	1000-2000	Картопля	600-1000
Озимий ячмінь	1000-2000	Листові овочі	2000-3000
Яровий ячмінь	1000-2000	Плодові овочі	1000-1500
Овес	1000-2000	Овочі-коренеплоди	600-2000
Жито	1000-2000		

В моделі наводяться рівняння, що ураховують надходження радіонуклідів у рослини через листя та надходження радіонуклідів від кореневої системи рослин [9].

2.2 Моделювання надходження радіонуклідів у рослини через листя

Концентрація активності $C_{i,l}(t)$ у момент t після поливу визначається початковою активністю в рослинах, втратами активності за рахунок погодних факторів (дощ, вітер), радіоактивним розпадом, а також ефектом "розведення" внаслідок росту біомаси рослин. При розрахунку вмісту радіонуклідів у рослинах необхідно розрізняти рослини, що вживаються людиною або тваринами в їжу цілком (листові овочі, трави й т.п.) і рослини, у яких використовується тільки окрема частина (зерно, насіння, бульби, коренеплоди, плоди і т.д.). Для рослин, що вживаються цілком, за винятком пасовищних трав, ріст біомаси враховується в неявному виді, тому активність, яка поглинається листям, залежить від урожайності. Таким чином, концентрація активності може бути виражена як

$$C_{i,l}(\Delta t) = \frac{A_i}{Y_i} \exp[-(\lambda_w + \lambda_r)\Delta t] , \quad (2.4)$$

де $C_{i,l}(\Delta t)$ – концентрація активності в рослині виду i у період збору врожаю;
 A_i – загальна питома активність на рослині виду i , що залежить від LAI даної рослини в момент поливу;

Y_i – урожайність рослини виду i у період збору врожаю;

λ_w – швидкість втрати активності за рахунок впливу погодних факторів;

λ_r – константа радіоактивного розпаду;

Δt – час, який пройшов з моменту поливу до збору врожаю [9].

Періоди збору врожаю й урожайність різних культур відомі й задаються.

Для рослин, які вживаються в їжу лише частково, розглядається процес переносу радіонуклідів від листів до їстівної частини рослини. Цей механізм залежить від фізіологічних властивостей розглянутого елемента: він має велике значення при надходженні радіоцезію й практично не впливає на активність у випадку надходження радіостронцію. При надходженні радіостронцію має значення лише безпосереднє надходження у їстівну частину рослини. Крім того, кількість перенесеної активності залежить від тривалості періоду Δt між поливом і збором врожаю.

У моделі переносу описується коефіцієнт переходу $T_i(\Delta t)$, що являє собою фракцію активності, перенесену від листів у їстівну частину рослини до моменту збору врожаю. Коефіцієнт залежить від елемента, виду рослини, а також часу, який пройшов від поливу до збору врожаю [9].

Концентрація радіонукліда в рослинах виду i , зібраних через Δt днів після поливу визначається за формулою

$$C_{i,l}(\Delta t) = \frac{A_i}{Y_i} T_i(\Delta t) \exp(-\lambda_r \Delta t), \quad (2.5)$$

де $T_i(\Delta t)$ – коефіцієнт переходу для рослини виду i ;

Y_i – урожайність їстівної частини рослини виду i .

2.3 Моделювання кореневого надходження радіонуклідів у рослини

Концентрація радіонукліду в рослинах, що надійшла кореневим шляхом, розраховується з використанням концентрації радіонукліда в ґрунті й коефіцієнтів накопичення TF_i . Коефіцієнти накопичення виражають співвідношення концентрацій активності в рослині та ґрунті. При цьому враховується вплив агрохімічних властивостей ґрунту, а також внесення калійних добрив і вапнування на процес накопичення радіонуклідів коріннями рослин:

$$C_{i,r}(t) = [TF_i C_s(t)] A_{xim} (1 - F_{ud} / F_{izv}), \quad (2.6)$$

де $C_{i,r}(t)$ – концентрація радіонукліда в рослині виду i від кореневого надходження в момент t після поливу;

TF_i – коефіцієнт накопичення в системі ґрунт – рослина для рослини виду i ;

$C_s(t)$ – концентрація радіонукліда в прикореневій області ґрунту в момент t ;

A_{xim} – узагальнена функція впливу агрохімічних властивостей ґрунту на накопичення коріннями радіонуклідів;

F_{ud} – функція впливу внесення калійних добрив на накопичення радіонуклідів коріннями рослин;

F_{izv} – функція впливу внесення вапна на кореневе накопичення радіонуклідів [9].

Узагальнена функція впливу агрохімічних властивостей ґрунту на накопичення коріннями радіонуклідів визначається з виразу

$$A_{xim} = (F_{pH} F_{gum} F_{KO})^{0,333}, \quad (2.7)$$

де F_{pH} – функція впливу pH сольової витяжки на накопичення радіонуклідів корінням:

$$F_{pH} = 40,699 - 22,372pH + 4,703pH^2 - 0,445pH^3 + 0,016pH^4, \quad (2.8)$$

де F_{gum} – функція впливу вмісту гумусу в ґрунті (G) на накопичення радіонуклідів корінням:

$$F_{gum} = 1,085 - 1,068G + 0,449G^2 - 0,090G^3 + 0,007G^4, \quad (2.9)$$

де F_{KO} – функція впливу вмісту рухливого калію (K) в ґрунті на накопичення коріннями радіонуклідів:

$$F_{KO} = 2,012 - 17,424K + 63,161K^2 - 111,57K^3 + 95,330K^4 - 31,553K^5. \quad (2.10)$$

Ефективність внесення різних доз калійних добрив для зниження накопичення радіонуклідів у рослині багато в чому визначається вмістом рухливого калію в ґрунті, куди вносяться ці добрива. Чим більша кількість рухливих форм калію утримується в ґрунті, тим нижче ефект внесення калійних добрив. Функція ефективності впливу калійних добрив на накопичення рослиною радіонуклідів описується системою рівнянь, яка отримана для різних рівнів вмісту рухливих форм калію в ґрунті. У загальному вигляді ця функція записується як

$$F_{ud} = a_0 + a_1K_{norm} + a_2(K_{norm})^2 + a_3(K_{norm})^3 + a_4(K_{norm})^4 + a_5(K_{norm})^5, \quad (2.11)$$

при $K_{krit1} < K_s \leq K_{krit2}$,

де K_{norm} – доза внесення калійних добрив;

K_{krit1} і K_{krit2} – межі інтервалу вмісту рухливого калію в ґрунті;

K_s – вміст рухливого калію в ґрунті;

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ – параметри рівняння (2.11) при різних інтервалах вмісту рухливого калію в ґрунті, які наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Чисельні значення параметрів рівняння (2.11)

Вміст K_2O у ґрунті, мг/100г		Чисельні значення параметрів рівняння (3.11)					
K_{krit1}	K_{krit2}	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
—	<1,51	$4,34 \cdot 10^{-1}$	$5,16 \cdot 10^{-3}$	$-2,34 \cdot 10^{-5}$	$5,41 \cdot 10^{-8}$	$-6,08 \cdot 10^{-11}$	$2,64 \cdot 10^{-14}$
1,51	3,01	$1,73 \cdot 10^{-1}$	$7,36 \cdot 10^{-3}$	$-3,72 \cdot 10^{-5}$	$1,01 \cdot 10^{-7}$	$-1,38 \cdot 10^{-10}$	$7,25 \cdot 10^{-14}$
3,01	5,01	$5,13 \cdot 10^{-2}$	$5,86 \cdot 10^{-3}$	$-2,33 \cdot 10^{-5}$	$5,27 \cdot 10^{-8}$	$-6,12 \cdot 10^{-11}$	$2,80 \cdot 10^{-14}$
5,01	8,01	$2,80 \cdot 10^{-2}$	$4,51 \cdot 10^{-3}$	$-1,53 \cdot 10^{-5}$	$3,31 \cdot 10^{-8}$	$-3,98 \cdot 10^{-11}$	$1,98 \cdot 10^{-14}$
8,01	15,01	$-1,47 \cdot 10^{-2}$	$3,81 \cdot 10^{-3}$	$-1,43 \cdot 10^{-5}$	$3,77 \cdot 10^{-8}$	$-5,33 \cdot 10^{-11}$	$2,97 \cdot 10^{-14}$
>15,01	—	$-1,40 \cdot 10^{-2}$	$2,04 \cdot 10^{-3}$	$-5,80 \cdot 10^{-6}$	$1,56 \cdot 10^{-8}$	$-2,42 \cdot 10^{-11}$	$1,048 \cdot 10^{-14}$

Вапнування в комбінації із внесенням калійних добрив приводить до значного зниження накопичення радіонуклідів рослиною. Ефективність вапнування визначається багато в чому дозою внесених калійних добрив, функція цього ефекту в загальному виді записується як

$$F_{izv} = P_{izv}, \text{ якщо } (K_{norm})_{krit1} < K_{norm} \leq (K_{norm})_{krit2}, \quad (2.12)$$

де P_{izv} – ефективність вапнування при визначеному діапазоні внесення калійних добрив;

$(K_{norm})_{krit1}$ і $(K_{norm})_{krit2}$ – межі діапазону норми внесення калійних добрив. Зменшення надходження радіонуклідів у рослини при вапнуванні залежно від дози внесених калійних добрив наведено в табл. 2.3.

Якщо надходження у ґрунт відбувається в період росту рослини, то для кореневого надходження використовується коригувальний коефіцієнт, який зменшує кореневе надходження. Цей коефіцієнт являє собою відношення проміжку часу від поливу до збору врожаю, тобто до всього періоду тривалості вегетації [9].

Концентрація в прикореновому шарі ґрунту розраховується за формулою

$$C_s(t) = \frac{A_s}{L\delta} \exp[-(\lambda_s + \lambda_f + \lambda_r)t], \quad (2.13)$$

де A_s – загальна питома активність на ґрунті;

L – глибина прикореневого шару;

δ – щільність ґрунту;

λ_s – швидкість зменшення активності через переміщення за межі прикореневого шару;

λ_f – швидкість фіксації радіонуклідів у ґрунті.

Значення λ_s розраховується за формулою

$$\lambda_s = \frac{v_a}{L(1 + \frac{K_d \delta}{\Theta})}, \quad (2.14)$$

де v_a – швидкість просочування води в ґрунті;

K_d – коефіцієнт розподілу;

Θ – вміст води в ґрунті.

Таблиця 2.3 – Зменшення вступу радіонуклідів у рослини при вапнуванні залежно від дози внесених калійних добрив

Доза внесення калійних добрив, кг(д.р.)/га		Кратність зменшення накопичення радіонуклідів при внесенні вапна
$(K_{norm})_{krit1}$	$(K_{norm})_{krit2}$	
	<61	1,5
61	121	2,0
181	241	3,0
241	301	3,5
301	361	4,0
361	421	4,25
421	481	4,5
481	541	4,75
>541	–	4,85

Ураховується, що глибина прикореневого шару для ріллі й пасовищ становить, відповідно, 0,25 і 0,10 м. Середньорічна швидкість просочування

води передбачається близько 2 м/рік, щільність ґрунту – $1,4 \cdot 10^{-3}$ кг/м³ і середній вміст води в ґрунті вважається рівним 20 %. Коефіцієнт розподілу K_d для стронцію рівний 100 см³/г, а для цезію – 1000 см³/г. Швидкість фіксації радіонуклідів у ґрунті λ_f ураховується для ^{137}Cs – $2,2 \cdot 10^{-4}$ доб.⁻¹, а для ^{90}Sr – $9 \cdot 10^{-5}$ доб.⁻¹ [9].

При виконанні розрахунків були використані відомості про коефіцієнти накопичення ґрунт – рослина TF_i (табл. 2.4), урожайності сільськогосподарських культур в областях басейну р. Дніпро (табл. 2.5), коефіцієнтах переходу радіонуклідів з поливних вод у сільськогосподарські культури (табл. 2.6), а також інформація про значення коефіцієнтів переходу радіонуклідів із ґрунту в сільськогосподарські культури (табл. 2.7) [9,18].

Таблиця 2.4 – Коефіцієнти накопичення ґрунт – рослина TF_i (Бк/кг)/(Бк/кг)

Рослина	^{137}Cs	^{90}Sr
Трави	0,05	0,5
Картопля	0,01	0,02
Злаки	0,02	0,03
Листові овочі	0,02	0,03
Овочі-коренеплоди	0,01	0,02
Плодові овочі	0,01	0,02

Таблиця 2.5 – Урожайність сільськогосподарських культур в областях басейну р. Дніпро, ц/га

Область	Зернові й зернобобові	Пшениця озима і яра	Кукурудза	Ячмінь озимий і ярий	Картопля	Овочеві	Цукровий буряк	Плоди і ягоди
Чернігівська	20,3	23,2	33,4	19,9	137	122	233	20,1
Київська	26,6	30,5	39,5	23,3	110	132	269	12,9
Черкаська	28,1	32,9	35,0	25,7	113	120	258	10,6
Полтавська	28,2	31,3	36,7	28,2	93	111	214	30,9
Кіровоградська	26,8	29,3	30,3	28,3	56	87	213	10,4
Дніпропетровська	28,4	32,9	24,7	28,1	76	130	229	23,8
Запорізька	25,8	29,2	26,4	22,1	77	119	153	27,5
Херсонська	25,4	28,6	34,5	20,4	69	149	–	25,8
Миколаївська	27,0	29,1	26,3	28,7	67	128	226	9,2
АР Крим	30,7	31,0	36,9	30,0	105	169	–	36,4

Таблиця 2.6 – Середні коефіцієнти переходу радіонуклідів з поливних вод у сільськогосподарські культури 10^{-3} (Бк/кг сирової маси)/(Бк/м² угідь), коефіцієнт варіації 50-100 %

Елемент	Спосіб поливу	Озима пшениця зерно	Люцерна, зелена маса	Кукурудза, зерно	Буряк, коренеплід	Томати, плоди	Огірки, плоди	Капуста, качан
¹³⁷ Cs	По борозні	1,0	2,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,5
¹³⁷ Cs	Дощування	2,0	6,0	0,6	0,8	0,6	0,6	0,8
⁹⁰ Sr	По борозні	3,0	7,0	0,06	0,8	0,3	0,4	0,8
⁹⁰ Sr	Дощування	4,0	7,0	0,13	0,8	1,0	0,4	1,0

Таблиця 3.7 – Середнє значення коефіцієнтів переходу радіонуклідів із ґрунту в сільськогосподарські культури 10^{-3} (Бк/кг)/(Бк/м² угідь),

Продукція	Дерново-підзолистий піщаний ґрунт		Дерново-підзолистий суглинний ґрунт		Сірий лісовий суглинний ґрунт		Чорнозем звичайний		Чорнозем потужний	
	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
Зерно злакових	3,0	0,81	0,72	0,25	0,16	0,12	0,13	0,062	0,056	0,042
Коренеплоди		0,30	0,65	0,8	0,30	0,04	0,12	0,02	0,055	0,01
Картопля	2,0	0,30	0,48	0,10	0,11	0,05	0,09	0,03	0,04	0,02
Вегетативна маса польових та овочевих культур			2,2	0,35	0,50	0,16	0,40	0,10	0,18	0,07
Сіно природних трав	420	13	95	4,4	21	1,9	17	1,1	7,5	0,68

Примітка: коефіцієнт варіації 50 %

2.4 Моделювання активності радіонуклідів у продуктах харчування, готових до вживання

Концентрацію активності в продукті k одержують із концентрації активності в сирому продукті з виразу:

$$C_k(t) = C_{k0}(t-t_{pk})P_{k,}, \quad (2.15)$$

де $C_k(t)$ – концентрація активності в готовому до вживання продукті k у момент t ;

$C_{k0}(t)$ – концентрація активності в сирому продукті в момент t ;

P_k – коефіцієнт зміни активності при готуванні продукту k . [9].

Забруднення продуктів харчування й кормів розраховується з урахуванням зміни концентрації активності в процесі обробки й готування, а також часу обробки й зберігання.

Коефіцієнти зміни активності радіонуклідів при готуванні продуктів наведені в табл. 2.8. При переробці молока зміна концентрації кінцевого продукту не ураховується до уваги.

Таблиця 2.8 – Коефіцієнти зміни активності при обробці й готуванні продуктів

Оброблюваний продукт	Коефіцієнт зміни, концентрація в сирому продукті = 1		
	^{90}Sr	^{137}Cs	Інші
Пшеничне борошно	0,5	0,5	0,5*
Пшеничні висівки	3	3	3**
Житнє борошно	0,5	0,6	0,5*
Житні висівки	3,5	2,7	3**
Очищена картопля	0,8	0,8	0,8
Овочі	0,8	0,8	0,8
Олія соняшникова	0,2	0,2	1
Вершки, 30 % жирності	0,4	0,7	1
Згущене молоко	2,7	2,7	2,7
Сир	0,8	0,6	1

Примітка: * для P_i ураховується значення 0,2; ** для P_i ураховується значення 4.

3 ОЦІНКА РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ ЗАПОРІЗЬКОЇ ОБЛАСТІ ТА УРОЖАЮ КУКУРУДЗИ І ПРОДУКТІВ ЇЇ ПЕРЕРОБКИ

3.1 Радіоактивне забруднення ґрунтово-рослинного покриву Запорізької області

У сфері сільськогосподарського виробництва присутні радіонукліди, які діляться на дві категорії: природні та штучні [14,19]. До групи природних радіонуклідів відносять радіонукліди природного радіаційного фону. Їм характерний дуже тривалий період напіврозпаду. Вони містяться в складі Землі як планети з моменту її утворення. До найбільш важливих природних радіонуклідів, що входять до складу Землі відносять такі радіонукліди як ^{40}K (калій), ^{226}Ra (радій), ^{232}Th (торій), ^{238}U (уран). Крім того, біогенні важливі природні радіонукліди надходять на Землю з повітря (^3H , ^{14}C і ін.). Деякі природні радіонукліди, такі як ^{40}K , ^{226}Ra , грають важливу роль при міграції по сільськогосподарських ланцюжках. Другу групу радіонуклідів становлять штучні радіонукліди (радіонукліди техногенного походження). До них відносяться продукти розподілу урану і плутонію – ^{90}Sr , ^{131}I , ^{137}Cs та ін., Нукліди з наведеною активністю (^{54}Mn , $^{55,59}\text{Fe}$, ^{60}Co , ^{65}Zn і ін.), трансуранові радіонукліди (^{239}Pu , ^{241}Am та ін.) .

Основними джерелами в аграрній сфері є залишкові кількості довготривалих радіонуклідів, які надійшли в неї в результаті випробувань ядерної зброї, викидів і скидів радіонуклідів при роботі атомних електростанцій та інших підприємств повного ядерного паливного циклу, таких як підприємства з видобутку уранової сировини, заводи з переробки відпрацьованого ядерного палива та ін. Особливу проблему представляє безвідповідальне ставлення до радіоактивних відходів на цих підприємствах, що тягне за собою надходження радіонуклідів в навколишнє середовище,

останні, в свою чергу включаються в міграцію по сільськогосподарським ланцюжках. Нові ядерні технології, які застосовуються в різних галузях господарської діяльності людини, є додатковим джерелом штучних радіонуклідів в біосферу. Дуже серйозним джерелом техногенних радіонуклідів для навколишнього середовища, в тому числі і для аграрної сфери, з'явилися великі радіаційні аварії в атомній промисловості і ядерній енергетиці: аварія на Південному Уралі (1957 р); аварія в Уіндскейлі, Великобританія (1957 р); аварія на Чорнобильській атомній електростанції (1986 г.). На полігонах, де проводилися випробування ядерної зброї, і прилеглих до них територіях зберігаються залишкові кількості радіонуклідів. Зростання хімізації сільського господарства веде до збільшення застосування добрив і меліорантів з підвищеним вмістом природних радіонуклідів. Відомо, що деякі види гірської сировини, що використовується при отриманні мінеральних добрив, в першу чергу фосфорних, містять у великих кількостях ^{238}U , ^{232}Th і дочірні продукти їх розпаду [18].

Після випадання радіонуклідів на місцевість і первинних взаємодій відбувається їх розподіл між основними компонентами наземних екосистем: ґрунтом і біотою, переважно – рослинами [19].

3.1.1 Радіоактивне забруднення ґрунтового покриву після аварії на Чорнобильській АЕС

Аварія, яка сталася 26 квітня 1986 року на Чорнобильській АЕС – найстрашніша аварія на АЕС [19]. Від вибуху на четвертому блоці станції викид радіоактивних речовин в атмосферу тривав до 6 травня, тобто практично 12 діб. За оцінками експертів, стався витік 50 мега кюрі небезпечних ізотопів і 50 мега кюрі хімічно інертних радіоактивних газів. Згідно з оцінками фахівців різних країн, судячи з виділенням радіонукліда цезій-137, сумарне радіоактивне забруднення еквівалентне випадінню радіоактивних речовин від вибуху декількох десятків атомних бомб кинутих

над Хіросімою. В результаті цього викиду були забруднені води, ґрунти, рослини, будівлі, дороги на десятки й сотні кілометрів. У найбільш небезпечну зону потрапили м. Чорнобиль, Прип'ять, з яких населення в кількості близько 116 тис. чоловік було евакуйовано. Випадання радіоактивних опадів в кількості, що перевищують допустимі, були відзначені в багатьох районах північного заходу, центрі, південного заходу України, в Білорусії та Росії (табл.3.1).

Радіоактивне забруднення зазначалося в столицях північної Європи (Швеції, Норвегії), досягло півночі Англії. Тільки в Наприкінці 1986 р нормалізувалася радіаційна обстановка в Києві, рівень радіації став близький до фонового. За даними досліджень радіобіології, радіоактивне забруднення навколишнього середовища викликало порушення імунітету, як у людей, так і у тварин, що призвело до нервових стресів, збільшення числа захворювань, особливо у дітей. Наслідки опромінення найбільш активно можуть почати позначатися після десятирічного періоду [19].

Перш за все, радіонукліди, що надійшли в атмосферу, випали на ґрунт, рослини і води. У ряді районів тварини і люди зазнали радіоактивного випромінювання. Висока міграційна здатність радіонуклідів в харчових ланцюжках ґрунт – рослини – продукція рослинництва – тварини – продукція тваринництва зумовили їх надходження в організм людини. До зовнішнього опромінення додалося ще і внутрішнє.

Таблиця 3.1 – Площа забруднення територій в результаті вибуху на Чорнобильській АЕС

ДЕРЖАВА	ПЛОЩА ЗАБРУДНЕННЯ ТЕРИТОРІЇ, КМ ²			
	1-5 Кі/км ²	5-15 Кі/км ²	15-40 Кі/км ²	Более 40Кі/км ²
Росія	46222	5450	2130	310
Білорусь	29920	10170	4210	2150
Україна	37090	1990	820	640
Молдова	50	-	-	-

На зовнішнє опромінення припадає основна частина дози опромінення людини і тварин за короткий період часу. Такого роду опромінення обумовлено в першу чергу радіонуклідами з коротким періодом напіврозпаду. До них відносять – ^{132}Te , $^{131,132}\text{I}$ і ін. Присутність довготривалих радіонуклідів в харчових ланцюжках сприяє внутрішньому опроміненню людини і тварини протягом багатьох десятиліть після забруднення. До довготривалих радіонуклідів відносять і ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ і ін.

Особливість радіоактивного забруднення ґрунтового покриву полягає в тому, що маса радіоактивних домішок дуже мала і вони не призводять до кількісних змін основних властивостей ґрунту: вміст гумусу; елементи живлення; ємність катіонного обміну, кислотність ґрунтів не змінюються. Суттєве значення має розподіл радіонуклідів за профілем ґрунту, їх концентрація в ґрунтовому розчині, ступінь рухливості і доступності рослинам.

Ґрунти важкого гранулометричного складу з високим вмістом гумусу здатні поглинати велику кількість радіонуклідів і протистояти їх надходженню в рослини. Однак рівень радіоактивного забруднення може в таких ґрунтах з часом збільшуватися [17].

У легких ґрунтах з низьким вмістом органічної речовини (дерново-підзолисті, сірі опідзолені) в умовах промивного водного режиму спостерігається значна міграція радіонуклідів за профілем, існує небезпека забруднення ґрунтових вод.

В умовах жорстокого вітрового режиму, при зниженій вологості ґрунту і відсутності рослинності існує небезпека перенесення радіонуклідів потоками вітру, змив їх зі схилів і потрапляння у водойми з водами поверхневого стоку [18].

Забруднення рослин триває досить довгий період часу, тому що ґрунт досить міцно утримує радіонукліди. Тому забруднення ґрунтів слід вважати основним джерелом радіонуклідів, які надходять в кормові харчові ланцюги.

Велику небезпеку становлять собою ^{90}Sr і ^{137}Cs . Ці радіонукліди можуть накопичуватися і дуже тривалий час зберігатися в ґрунтах. Маючи подібні хімічні властивості з Ca і K , ^{90}Sr і ^{137}Cs інтенсивно поглинаються рослинами, потім з продуктами рослинного і тваринного походження вони надходять в організм людини, де ^{90}Sr накопичується в кісткових, а ^{137}Cs – в м'язових тканинах. Ці радіонукліди тривалий час зберігаються в зараженому організмі, тому що мають період напіврозпаду 28,6 і 30,2 року, відповідно. Вони можуть накопичуватися в такій кількості, що можуть завдати шкоди здоров'ю людини.

У людей, які проживають на забруднених територіях, спостерігається повністю жіноча і частково чоловіча стерильність, збільшується кількість хворих на лейкоз і рак, зростає смертність серед населення [19].

3.1.2 Забруднення радіонуклідами річки Дніпро та дніпровських водосховищ

Початковий період після аварії на Чорнобильській АЕС у 1986 р характеризувався широким спектром радіонуклідів у воді і особливо короткотривалими нуклідами (наприклад, ^{131}I), які і сформували основну дозу опромінення людей в той період [6,11].

Після 1987 року в складі радіоактивного забруднення стали переважати ^{90}Sr і ^{137}Cs . З 1991 року винос ^{90}Sr за межі зони відчуження ЧАЕС став збільшуватися, роль же цезієвої компоненти в балансі радіоактивних стоків в дніпровські водосховища поступово зменшувалася.

Формування рівнів радіоактивного забруднення дніпровських водосховищ відбувалося під впливом двох процесів: за рахунок річкового припливу, чим вище водність сезону (року), тим більша кількість радіонуклідів виносилося в річки; природними процесами самоочищення водної системи. Основні чинники самоочищення - природне зменшення вмісту радіонуклідів у верхньому шарі ґрунтів водозбірних територій,

адсорбція радіонуклідів частинками річковий суспензії і їх седиментація в водосховищах і природний радіоактивний розпад.

Встановлено, що час добігання забруднених вод, змитих у заплави річок до нижніх водосховищ каскаду, становить від 5 до 7 місяців в залежності від водності і особливостей регулювання в дніпровському каскаді. Водосховища Дніпра стали своєрідним буфером і акумулюючою ємністю для радіонуклідів ^{137}Cs . Цей радіонуклід добре сорбується на частинках річкових наносів, значна частина яких осідає в водосховищах як природних відстійниках. Багаторазове очищення дніпровських вод шляхом їх протікання із зони ЧАЕС до гирлової області стало результатом прояву процесів сорбції радіонуклідів на частинках суспензій і їх виведення в дно в процесі седиментації. Відзначається [6], що понад 97% загального припливу ^{137}Cs в дніпровські водосховища акумульовано в донних відкладеннях каскаду.

Всього в донних відкладеннях водоймищ на 2004 рік, за роки після аварії накопичено близько 4500 Кі ^{137}Cs , який міцно зафіксований на глинистих частинках дна.

Радіоекологічна ситуація в дніпровських водосховищах стабілізувалася і в даний час не викликає яких-небудь серйозних побоювань з точки зору радіаційної безпеки. Природна система водосховищ сама впоралася з проблемою, і радіонукліди ^{137}Cs в донних відкладеннях вже не роблять істотного впливу на вторинне забруднення вод.

Змив цезію-137 з водозборів річки в даний час також не є суттєвим. Цей радіонуклід настільки міцно пов'язаний з ґрунтами, що навіть безпосереднє промивання забруднених заплавлених земель в ближній зоні відчуження Чорнобильської АЕС не має значного впливу на його додаткове надходження в річку.

В сучасних умовах і на перспективу головним довгостроковим джерелом формування радіоактивного забруднення дніпровських водосховищ, залишатимуться стічні води із зони Чорнобильської АЕС, забруднені ^{90}Sr . Водний же шлях буде єдиною сполучною ланцюгом

екологічних проблем цієї зони і районами водокористування з водосховищ Дніпра.

Як перспективної технології для запобігання процесів виносу радіонуклідів за межі зони відчуження в водну систему р. Дніпро розглядається застосування методів фітостабілізації дна шляхом засадження осушеного водоймища вербою Шелюги, визначеними сортами тополь і інший спеціально культивованої рослинністю [11].

3.1.3 Забруднення радіонуклідами Cs-137 сільськогосподарських угідь Запорізької області

Природний фон радіоактивності на землях Запорізької області до аварії на Чорнобильській АЕС становив 0,03 - 0,04 Ки/км² (табл.3.2). Після аварії на Чорнобильській АЕС за рахунок випадання радіоактивних опадів сталося значне забруднення сільськогосподарських угідь Запорізької області радіонуклідами Cs-137 [7]. Так як випадання опадів було плямистим, то і щільність забруднення радіонуклідами Cs-137 території Запорізької області відрізнялася строкатістю (рис 3.1). Порівняно високою була щільність забруднення радіонуклідами Cs-137 в Токмацькому адміністративному районі і досягала 0,16 Ки/км². У меншій мірі (0,11 - 0,12 Ки/км²) виявилися забрудненими Вільнянський і Приазовський райони. У більшості районів області: Якимівський, Василівський, Веселівський, Запорізький, Мелітопольський, Михайлівський, Новомиколаївський, Пологівський і Чернігівський рівень забруднення був в межах 0,06 - 0,10 Ки/ км². На решті частини Запорізької області щільність забруднення радіоцезієм склала 0,04 - 0,05 Ки/км².

У 2016 році (рис.3.2), через тридцять років після аварії на Чорнобильській АЕС, в одних районах спостерігається зниження рівня забруднення ґрунтів радіонуклідами Cs-137 до природного фону [20]. До

таких районів належать – Запорізький, Вільнянський, Оріхівський, Кам'яно-Дніпровський, Чернігівський, Веселовський, Мелітопольський, Приазовський, Бердянський і Якимівський. В інших районах можна бачити підвищення забруднення ґрунтово-рослинного покриву. Окремий осередок відзначається в північно-східній частині області. Збільшення радіаційного фону поширюється з півночі на схід. Як видно з таблиці 3.2 в Новомиколаївському (3) районі радіоактивність Cs-137 в 1,5 рази перевищує природний фон і в порівнянні з 1986р. практично не змінилася. У Гуляйпільському (5) районі активність радіоцезію збільшилася в два рази, тоді як в 1986 р. лише на $0,01\text{Ки/км}^2$. У Пологівському (10) районі в 1981-1985г.г. щільність забруднення становила $0,04\text{Ки/км}^2$, в 1986р. - $0,10\text{Ки/км}^2$, а в 2016р. збільшилася більш ніж в три рази ($0,13\text{Ки/км}^2$). У Розівському (11) щільність забруднення становить $0,16\text{Ки/км}^2$, що в чотири рази перевищує природний фон.

Другий осередок відзначається в центрі області. Сюди увійшли Василівський (7) і Михайлівський (8) райони, де щільність забруднення радіоцезієм в півтора рази перевищує природний фон і в порівнянні з 1986р. радіоактивність знизилася лише на $0,02\text{Ки/км}^2$. Слід зазначити в центрі ще один район – Токмацький (9). Тут активність радіонукліда Cs-137 в порівнянні з природним фоном збільшилася в три рази, а в порівнянні з 1986р. ($0,16\text{Ки/км}^2$) знизилася лише на $0,04\text{Ки/км}^2$ ($0,12\text{Ки/км}^2$).

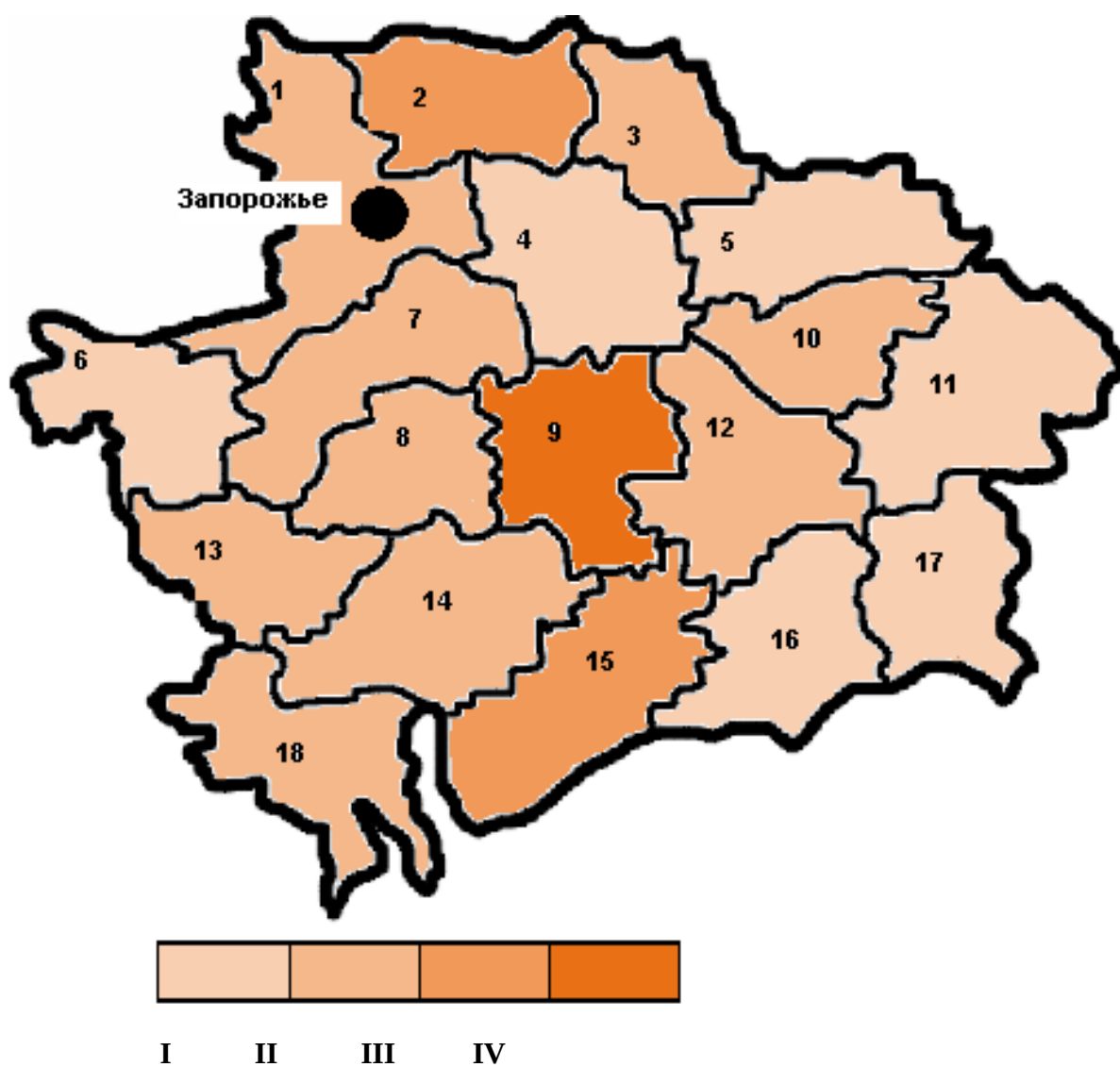
Третій осередок спостерігається на півдні області в Приморському (16) районі. Якщо в 1986 р. щільність забруднення радіоцезієм була на $0,02\text{Ки/км}^2$ більше, то в 2016 році її значення склало $0,09\text{Ки/км}^2$, що в три рази більше природного фону.

Щільність забруднення радіоцезієм в 1986р. в Вільнянському (2), Чернігівському (12) та Приазовському (15) районах збільшилася в 2,5-3 рази в порівнянні з природним фоном, а в 2016році відбулося зниження до фонового рівня.

Таблиця 3.2 – Рівень радіоактивного забруднення Cs-137 сільськогосподарських угідь Запорізької області

Адміністративний район	Щільність забруднення, Кюрі/км ²		
	1981-1985 рр.	1986 р.	2016 р.
1	2	3	4
17. Бердянський	0,04	0,04	0,03
7. Василівський	0,03	0,07	0,05
13. Веселівський	0,04	0,07	0,04
2. Вільнянський	0,04	0,12	0,03
5. Гуляйпільський	0,04	0,05	0,09
1. Запорізький	0,03	0,06	0,03
6. Кам'янсько-Дніпровський	0,03	0,04	0,03
14. Мелітопольський	0,04	0,08	0,04
8. Михайлівський	0,04	0,09	0,06
3. Новомиколаївський	0,03	0,06	0,05
4. Оріхівський	0,03	0,04	0,04
10. Пологівський	0,04	0,10	0,13
15. Приазовський	0,04	0,11	0,04
16. Приморський	0,03	0,05	0,09
11. Розівський	0,04	0,05	0,16
9. Токмацький	0,04	0,16	0,12
12. Чернігівський	0,04	0,10	0,04
18. Якимівський	0,05	0,06	0,05

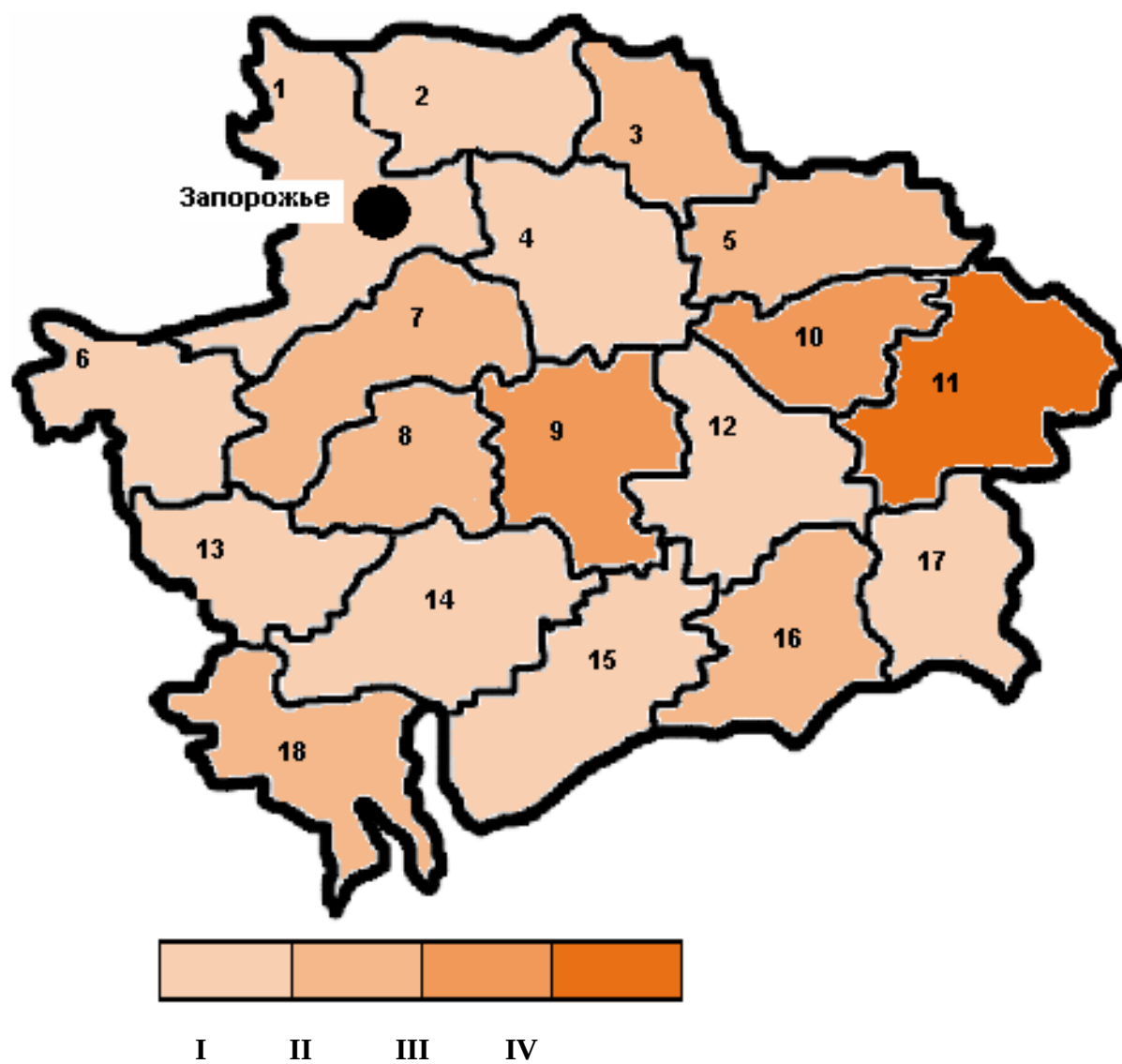
1986 рік



I – 0,01 – 0,05; II – 0,06 – 0,10; III – 0,11 – 0,15; IV – 0,15 – 0,20.

Рисунок 3.1 – Питома щільність радіоактивного забруднення радіонуклідами Cs-137 ґрунтово-рослинного покриву в Запорізькій області, Ки/км².

2016 рік



I – 0,01 – 0,04; II – 0,05 – 0,10; III – 0,11 – 0,15; IV – 0,15 – 0,20.

Рисунок 3.2 – Питома щільність радіоактивного забруднення радіонуклідами Cs-137 ґрунтово-рослинного покриву в Запорізькій області, Кі/км².

3.2 Особливості накопичення Cs-137 в урожаї кукурудзи та продуктах її переробки

3.2.1 Вплив екологічних факторів на ріст та розвиток кукурудзи (*Zea mays*)

Для математичного моделювання забруднення рослин радіонуклідами необхідно знати динаміку формування врожаю культури. У процесі росту і розвитку рослини формують окремі вегетативні органи: корені, стебла, листя і плоди. В сумі вони становлять загальну вегетативну масу. Частина вегетативної маси, яка використовується у виробництві сільськогосподарської продукції, називається господарсько-корисної і є продуктом харчування людини.

Продуктивність сільськогосподарських рослин залежить від розмірів асиміляційної поверхні листя. Чим більше площа листя, тим вище продуктивність сільськогосподарських культур і навпаки. Кількісні показники зростання і розвитку сільськогосподарських культур, в свою чергу, визначаються основними екологічними факторами: теплом і вологою.

Нами за допомогою математичної моделі ECOSYS-86 була досліджена динаміка формування асиміляційної поверхні кукурудзи, динаміка накопичення загальної біомаси і господарсько-корисної її частини (зерна) з урахуванням термічного режиму і режиму зволоження в посушливій дуже теплій зоні України в умовах зрошення на території Запорізької області.

Тривалість вегетаційного періоду кукурудзи на зерно становить 128 днів. На період сходів накопичується 160°C ефективних температур. Для настання фази викидання волоті необхідна сума ефективних температур 700°C, цвітіння - 840°C. На кінець вегетаційного періоду сума ефективних температур складає 1300°C. Умови оптимального зволоження в орному шарі ґрунту (НВ - 45 мм) підтримуються нормами поливу рівними 357 м³/га

протягом усього вегетаційного періоду. Поливи даються в декади основних фаз розвитку: посів, сходи, викидання волоті і цвітіння. Період 10 днів до викидання волоті і 20 днів після викидання є критичним періодом по відношенню до вологості. Тому в численних експериментах в даний період вегетації поливи вважалися чотири декади поспіль. В останні дві декади поливи не проводяться. Загальна зрошувальна норма становила 2500 м³/га. Загальна кількість поливів -7.

Динаміка площі асиміляційної поверхні, загальної біомаси рослин і біомаси продуктивних органів культури кукурудза на зерно була проведена на основі виконання розрахунків за допомогою моделі.

Як приклад ілюстрації результатів такого розрахунку наведено дані на рис. 3.3 для одного з районів Запорізької області (Вільнянського району).

Формування площі листя в перші декади вегетації в період сходів йде сповільнено. Найбільш інтенсивний ріст листя йде в 4 - 6 декадах, до 9 декаді - фазі цвітіння формується досить великий фотосинтетичний апарат. Максимальна площа листя спостерігається в фазу цвітіння і становить 7,8 м²/м². У 10 -11 декадах площа листя поступово знижується до 6 м²/м² (відбувається відтік асимілятів в зерно). До кінця вегетації площа листя зменшується до 0,01 м²/м². Такий хід площі листя визначив і динаміку накопичення загальної маси урожаю. В перші дві декади прирости загальної біомаси були невеликі і становили 1,8-3,7 ц/га за декаду. Максимальні прирости, коли йде інтенсивне формування всіх вегетативних органів, спостерігалися в 6-7 декадах і досягали 30...43 ц/га. Після настання фази цвітіння завершується формування вегетативних органів і йде формування врожаю зерна.

Максимальна наростання маси зерна спостерігається в 7-8 декадах вегетації і досягає 18 ц/га. У наступні декади приріст маси зерна зменшується. У цей період формується якість зерна (йде налив зерна).

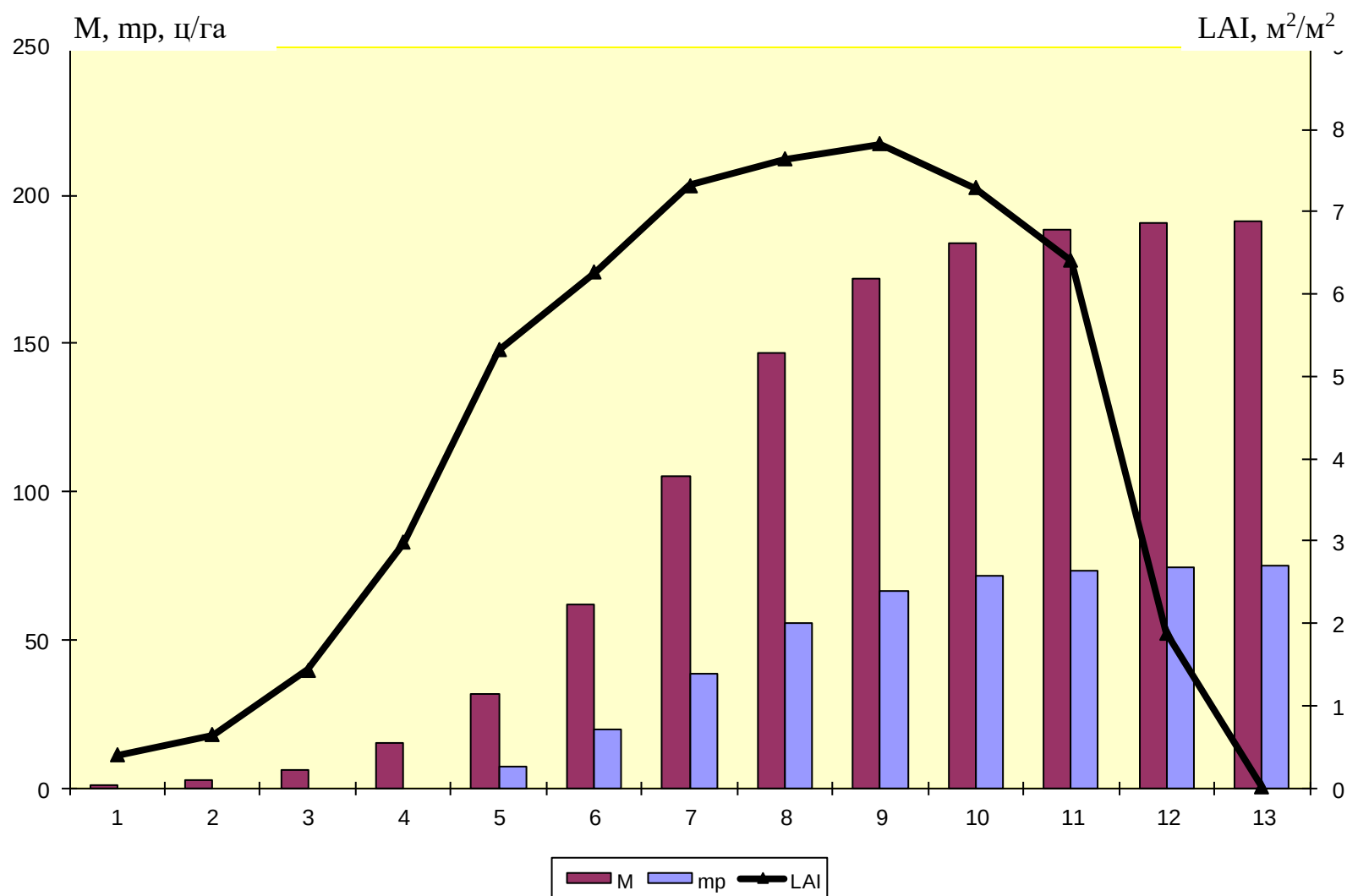


Рисунок 3.3 – Динаміка формування площі листя (LAI) і накопичення загальної біомаси (M) і біомаси зерна (mp) кукурудзи. Запорізька область. Вільнянський район

3.2.2 Особливості накопичення Cs-137 в процесі розвитку зрошуваної кукурудзи

Серед факторів, що визначають якість зерна кукурудзи, важливе значення має питома активність Cs -137 в ньому.

За допомогою математичної моделі був проведений чисельний експеримент накопичення активності Cs -137 в загальній біомасі кукурудзи і в господарській її частині (зерні). Експеримент проводився з урахуванням ґрунтів Запорізької області, на прикладі чорноземів звичайних. Кислотність чорноземів звичайних близька до нейтральної (рН - 6,5 - 7,0). Вміст гумусу - в межах 6%, обмінного калію - 17,0 мг / 100г ґрунту. Питома активність Cs-137 в ґрунті змінювалася залежно від адміністративного району області (табл. 3.2). Розглядалися радіоактивні умови, що склалися в 1986р. і через тридцять років після аварії.

У чисельних експериментах враховувалося, що сільськогосподарські угіддя Запорізької області зрошуються водами Каховського водосховища. Концентрація радіонуклідів Cs-137 в зрошувальній воді в 1986р. становить 0,17 Бк/л, в 2016г. - 0,10 Бк/л.

За допомогою динамічної моделі ECOSYS - 86 були проведені розрахунки та отримані дані за питомою активністю Cs-137 в загальній біомасі культури по фазах розвитку на чорноземах звичайних в 1986 і 2016 рр. (рис. 3.4).

З рисунка видно, що зі старінням рослин питома активність Cs -137 в фітомасі кукурудзи збільшується. Це відбувається як у 1986 р., так і 2016 р. Однак в 1986 р. накопичення було більше, ніж у 2016р.

У загальній біомасі і в зерні накопичується різна кількість радіонукліда Cs-137 (табл. 3.3). У фазу викидання волоті в загальній біомасі активність радіонукліда Cs-137 склала в 1986 р. 20,36 Бк/кг, в зерні – 3,03 Бк/кг.

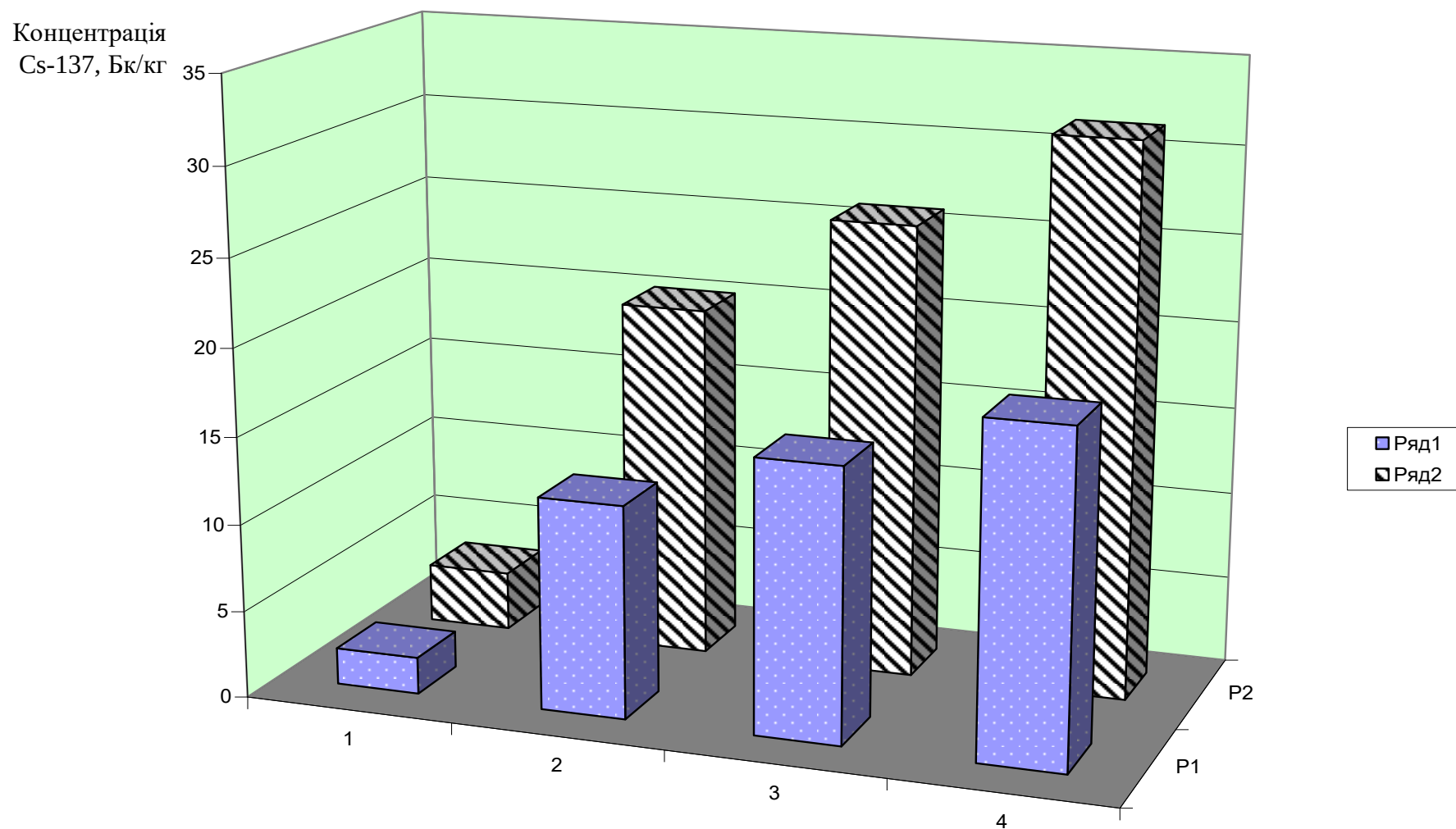


Рисунок 3.4 викидання волоті, 3 – фаза цвітіння, 4 – фаза повної стиглості), ряд 1 – 2016 рік, ряд 2 – 1986 – Розподіл активності Cs-137 в загальній біомасі кукурудзи за фазами розвитку (1 – фаза сходів, 2 – фаза рік. Запорізька область. Вільнянський район.

У фазу повної стиглості – в загальній масі 31,74 Бк/кг, в зерні – 9,75 Бк/кг. В 2016 році питома активність, як в загальній біомасі, так і в зерні знизилася на 40%. Однак питома активність в зерні становить 30% від активності радіоцезію в загальній біомасі.

Аналогічні розрахунки виконані для кожного з адміністративних районів Запорізької області за 1986 і 2016 роки, сільськогосподарські угіддя яких зрошуються водами Каховського водосховища. Ці результати наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.3 – Питома активність радіоцезію в загальній і в зерні кукурудзи на чорноземах звичайних. Запорізька область. Вільнянський район.

Фаза розвитку	Питома активність Cs -137 (Бк/кг) у:	
	загальній біомасі	зерні
1986 рік		
Сходи	3,44	-
Викидання волоті	20,36	3,03
Цвітіння	26,15	4,32
Повна стиглість	31,74	9,75
2016 рік		
Сходи	2,14	-
Викидання волоті	12,25	1,77
Цвітіння	15,71	2,53
Повна стиглість	19,05	5,72

З таблиці 3.4 видно, що щільність забруднення всіх зрошуваних водами Каховського водосховища сільськогосподарських угідь в 1986 р.

була в межах 0,04-0,012 Бк / кг, в 2016 р. – 0,03-0,05 Бк / кг. Тому по районам питома активність радіоцезію в загальній біомасі і в зерні культури практично не змінювалася. Значне зниження відбулося через тридцять років після аварії на Чорнобильській АЕС. Такі зміни спостерігаються за рахунок зниження активності радіоцезію в зрошувальних водах.

Таблиця 3.4 – Накопичення радіонуклідів Cs-137 в загальній біомасі кукурудзи та її зерні на чорноземах звичайних. Запорізька область

№ району	Адміністративний район	Щільність забруднення ґрунту, Кі/км²	Питома активність радіонуклідів (Бк/кг) у:	
			загальній біомасі	зерні
1986 рік				
7	Василівський	0,07	31,69	9,74
13	Веселівський	0,07	31,69	9,74
2	Вільнянський	0,12	31,74	9,75
1	Запорізький	0,06	31,67	9,73
6	Кам'янсько-Дніпровський	0,04	31,65	9,72
4	Оріхівський	0,04	31,65	9,72
2016 рік				
7	Василівський	0,05	19,08	5,73
13	Веселівський	0,04	19,07	5,73
2	Вільнянський	0,03	19,05	5,72
1	Запорізький	0,03	19,05	5,72
6	Кам'янсько-Дніпровський	0,03	19,05	5,72
4	Оріхівський	0,04	19,07	5,73

3.2.3 Накопичення Cs-137 в продуктах переробки зерна кукурудзи

Інтерес до поведінки радіонуклідів в процесі переробки харчової сировини протягом тривалого часу був незначним, так як вважалося, що вміст радіонуклідів в кінцевих продуктах (борошні, цукрі, олії) вкрай мало і не представляє небезпеки для людей. Однак недооцінка ролі процесів кулінарної і промислової переробки сільськогосподарської сировини в зниженні вмісту радіонуклідів в продуктах харчування і використання в розрахунках значень загальної активності радіонуклідів в сирих продуктах приводили до завищення прогнозованих величин дозових навантажень [15].

За допомогою динамічної моделі ECOSYS-87 проводився чисельний експеримент накопичення радіонукліда Cs-137 в продуктах переробки кукурудзи: борошні і висівках. Дані про зміст Cs-137 в кінцевих продуктах переробки кукурудзи представлені в таблиці 3.5. Враховувалося, що коефіцієнт зміни активності Cs-137 при обробці для борошна становить 0,5, для висівок - 3,0.

Отримані результати розрахунків показали, що в зерні кукурудзи концентрація активності Cs-137 в 1986 р становить 9,75 Бк/кг, в 2016 р. – 5,72 Бк/кг. При технологічній переробці зерна кукурудзи в борошно концентрація радіонуклідів знижується, в рік аварії вона становить 4,85 Бк/кг, через тридцять років після аварії – 2,85 Бк/кг. При отриманні висівок концентрація активності Cs-137 збільшується до 29,12 Бк/кг в 1986 р. і до 17,09 Бк/кг в 2016 р.

Процентний вміст питомої активності Cs-137 в продукції кукурудзи (рис. 3.5) розподіляються так: зерно - 22%, борошно - 11% і висівки - 67%. Значення питомої активності Cs-137 у всіх продуктах кукурудзи на порядок нижче величин ТДР (тимчасово допустимого рівня).

Таблиця 3.5 – Питома активність радіоцезію в зерні продуктах переробки кукурудзи. Запорізька область.

№ району	Адміністративний район	Концентрація активності цезію–137 у продукті готовому до вживання, Бк/кг. У:		
		зерні	борошні	висівках
1986 рік				
7	Василівський	9,74	4,85	29,09
13	Веселівський	9,74	4,85	29,08
2	Вільнянський	9,75	4,85	29,12
1	Запорізький	9,73	4,84	29,07
6	Кам'янсько-Дніпровський	9,72	4,84	29,06
4	Оріхівський	9,72	4,84	29,06
2016 рік				
7	Василівський	5,73	2,85	17,11
13	Веселівський	5,73	2,85	17,10
2	Вільнянський	5,72	2,85	17,09
1	Запорізький	5,72	2,85	17,09
6	Кам'янсько-Дніпровський	5,72	2,85	17,09
4	Оріхівський	5,73	2,85	17,10

Отримані результати підтверджують, що харчові продукти - зерно, борошно і крупа є практично «чистими» і можуть без обмеження використовуватися в харчуванні.

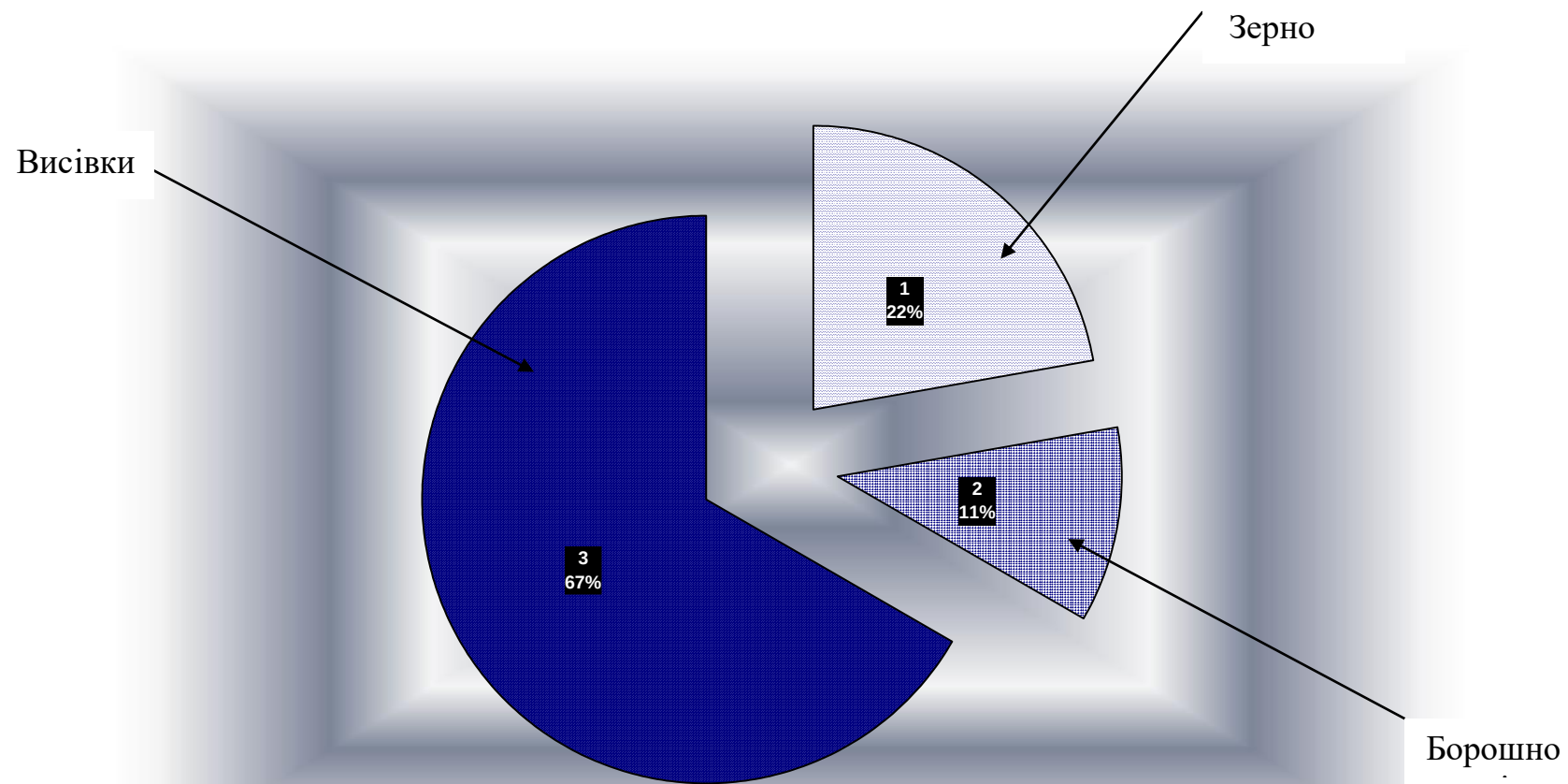


Рисунок 3.5 – Розподіл питомої активності Cs-137 в продукції кукурудзи. Запорізька область.

ВИСНОВКИ

В результаті виконаної бакалаврської кваліфікаційної роботи можна зробити наступні висновки:

1. Вивчено природні умови Запорізької області.
2. Вивчено особливості радіоактивного забруднення ґрунтів та дніпровської водної системи в результаті аварії на Чорнобильській атомній електростанції.
3. Дана оцінка забруднення радіонуклідами ^{137}Cs сільськогосподарських угідь області в 1986 і 2016 рр. Встановлено, що рівні забруднення в 1986 р. у всіх 18-ти адміністративних районах вище фонового, в десяти районах рівень забруднення перевищує фоновий в два рази. У Вільнянському та Токмацькому районах - в 4 рази. У 2016 році рівень забруднення в більшості районів знизився до фонових значень.
4. Вивчено модель радіоактивного забруднення продукції рослинництва в умовах зрошення. Освоєно способи підготовки вхідної інформації моделі радіоактивного забруднення.
5. Підготовлено вихідні матеріали для виконання розрахунків по території адміністративних районів і на основі моделі виконано оцінку забруднення врожаю кукурудзи та продукції її переробки в Запорізькій області.
6. Встановлено, що питома активність радіоцезію в загальній біомасі в 1986 р. в середньому дорівнювала 31,68 Бк/кг, в зерні кукурудзи значення радіоцезію становили 9,73 Бк/кг. Через тридцять років після аварії питома активність радіоцезію знизилася майже в два рази, в загальній біомасі до 19,06 Бк / кг, а в зерні до 5,73 Бк / кг.
7. В борошні концентрація в 1986 році дорівнює 4,85 Бк/кг, а в 2016 році зменшується до 2,85 Бк/кг, це в два рази менше ніж у зерні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агрокліматичний довідник по Запорізькій області / Гол. ред. Т.І. Адаменко – Кам'янець-Подільський. 2010. –186 с.
2. Агроэкология. Методология, технология, экономика / В.А. Черников, И.Г. Грингоф, В.Т. Емцев и др.; Под ред. В.А. Черникова, А.И. Чекереса. М.: Колос, 2004. 400 с.
3. Атлас почв Украинской ССР / Под ред. Н.К. Крупского, Н.И. Полупана. К.: Урожай, 1979, 180 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://padaread.com/?book=47519&pg=2> – Назва з екрана
4. Антропогенне забруднення геологічного середовища та ґрунтово-рослинного покриву. /Т.А. Сафранов, А.М. Польовий та інші. Навчальний посібник. Одеса: “ТЄС”, 2003, 260с.
5. Вольвач О.В, Вольвач В.В. Агрометеорологічні вимірювання. Одеса, : «Екологія», 2006. 150 с.
6. Войцехович О.В. Управление качеством поверхностных вод в зоне влияния аварии на Чернобыльской АЭС. К.: УкрНИГМИ, 2001. 135 С.
7. Довідник з агрохімічного та агроекологічного стану ґрунтів України./ под ред. Б.С. Носка, Б.С. Прістера, М. В. Лободи. К.: “Урожай”, 2006. 334 с.
8. Жигайло Е.Л. Метод агроэкологической оценки радиоактивного загрязнения первичной биологической продукции //Український гідрометеорологічний журнал. 2007. № 2. с. 16-23.
9. Жигайло О.Л. Моделювання антропогенного забруднення ґрунтово-рослинного покриву та методи контролю: конспект лекцій. Дніпропетровськ: „Економіка”, 2005. 107с.
10. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. М.: Колос. 1996, 367 с.

11. Лось И.П., Войцехович О.В., Шепелевич К.И. Радиация и вода: опыт обеспечения радиологической защиты в управлении качеством воды после аварии на Чернобыльской АЭС. К.: УкрНИГМИ, 2001. 103 с.
12. Польовий А.М. Сільськогосподарська метеорологія. Одеса: «ТЕС». 2012, 630 с.
13. Полупан Н.И. Почвы Украины и повышение их плодородия. Том1. Экология,режимы и процессы, классификация и генетико-производственные аспекты. К.: Урожай, 1988, 296 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.twirpx.com/file/1063511/> – Назва з екрана
14. Писаренко В.М., Писаренко П.В., Писаренко В.В. Агроекологія. Навчальний посібник. Полтава, 2008, 255.
15. Проблемы сельскохозяйственной радиологии. / под ред. Н.А. Лощилова. Киев: Укр. НИИСХР, Вып. 3,1993 247 с.
16. Проблемы сельскохозяйственной радиологии. / под ред. Б.С. Пристера. Киев: Укр. НИИСХР, Вып. 4,1996 - 240 с.
17. Прохоров В.П. Миграция радиоактивных загрязнений в почвах. Физико-химические механизмы и моделирование. / под ред. Р.М. Алексахина. – М.: Энергоиздат, 1881. – 98 с.
18. Сельскохозяйственная экология / Н.А. Уразаев, А.А. Вакулин, А.В. Никитин и др. М. : Колос, 2000, 304 с.
19. Фокин А.Д., Лур'є а А.А, Торшин С.П. Сельскохозяйственная радиология. М.:Дрофа, 2005, 367с.
20. Холоша В.І. Атлас. Україна. Радіоактивне забруднення. Розроблено ТОВ «Інтелектуальні системи ГЕО» на замовлення Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://radatlas.isgeo.com.ua/> – Назва з екрана.

ДОДАТКИ

```
=====
MODEL FORMIROVANIJ AKTIVNOSTI RADIONUKLIDA V RASTENII
( E C O S Y S - 8 7 )
=====
```

```

common ts(25),Wpax(25),dv(25)
common sol1(36),pnor(25),dvp(25),Cw(25),dvdry(25),CAdry(25)
common n
Character*4 a1,a2,a3,a4
character*12 flout
real inf
integer t0,dv
kb=1
open (unit=5,file='ecpln16.dat',status='old',form='formatted')
Open (UNIT=6,FILE='ecpln18b.res')
read(5,100) kb
do 30 i=1,kb
read(5,116) a1,a2,a3,a4
read(5,100) n
read(5,102) (ts(j),j=1,n)
read(5,102) (Wpax(j),j=1,n)
read(5,115) (dv(j),j=1,n)
read(5,103) (dvp(j),j=1,n)
read(5,103) (pnor(j),j=1,n)
read(5,103) (Cw(j),j=1,n)
read(5,103) (dvdry(j),j=1,n)
read(5,103) (CAdry(j),j=1,n)
read(5,101) (sol1(j),j=1,36)
close (unit=5)
write(6,147)
147 format(1x,74('='))
print*, 'MODEL FORMIROVANIJ AKTIVNOSTI RADIONUKLIDA V SISTEME '
print*, '          VODA - POCHVA - RASTENIE - PRODUKT          '
print*, '          ( E C O S Y S - 8 7 )          '
write(6,147)
write(6,117)
117 format(10x,'          V X O D N A J      I N F O R M A Z I J      ')
write(6,118)
write(6,116) a1,a2,a3,a4
write(6,100) n
write(6,102) (ts(j),j=1,n)
write(6,102) (Wpax(j),j=1,n)
write(6,115) (dv(j),j=1,n)
write(6,103) (dvp(j),j=1,n)
write(6,103) (pnor(j),j=1,n)
write(6,103) (Cw(j),j=1,n)
write(6,103) (dvdry(j),j=1,n)
write(6,103) (CAdry(j),j=1,n)
118 format(1x,74('-'))
write(6,118)
write(6,101) (sol1(j),j=1,36)
write(6,119)
119 format(1x,74('*'))
write(6,120)
120 format(1x,'          R E Z U L T A T I      R A S C H E T O V      ')
print*, '          P O      M O D E L I      '
print*, '      KKKKKKKK'
write(6,119)
call dmpp
100 format(4i3,f6.2)
101 format(5f14.6)
102 format(14f5.1)
103 format(9f8.3)
```



```

115 format(24i3)
116 format(4a4)
30 continue
stop
end
=====
subroutine dmpp
dimension ts1m(25),ts2m(25)
common ts(25),Wpax(25),dv(25)
common sol1(36),pnor(25),dvp(25),Cw(25),dvdry(25),CAdry(25)
dimension j1m(25),gim(25),tss(250),ts11(25),
4dL(25),x11(25),x21(25),Aw(25),Ruop(25),Fw(25),Asum(25),
5CLw(25),Cs(25),CLwx(25),vg(25),Ad(25),CA(25),CLd(25),CLdx(25),
6d21(25),d22(25),d23(25),d24(25),d25(25),d26(25),d27(25),d28(25),
7d29(25),d31(25),d32(25),d33(25),d34(25),d35(25),Efud(25),d2(25),
8 d3(25),d4(25),d5(25),d6(25),d7(25),d8(25),dM(25),dmp(25),
9 d9(25),d10(25)

real Lmnds,Csn,Cspr,CLwsmx,rgr,Crkor,Efizv,Crsumx,Agrxim,FpH,
4FHum,FKO,DDM,ddmp
integer t0,dv,gi,g2,gim
common n
real jj
4 CLwsum,Cssm,CLdsum,CLdsmx,Ct,Ctx,Crsum,CPR1,CPR2,CPR3,CPR4
=====
j1=1
CLdsum=0
CLdsmx=0
CLwsum=0
Cspr=0
CLwsmx=0
Crsum=0
Crsumx=0
DDM=0
ddmp=0
gi=0
ts2=0
j2=0
331 format(1x,4f7.3)
write(6,121)
121 format(' ')
120 format(1x,74('-'))
do 300 j=1,n
nn=dv(j)
do 310 i=1,nn
ts1=ts(j)-sol1(5)
if(ts1.lt.0)ts1=0
ts2=ts2+ts1
tss(i+j2)=ts2
310 continue
j2=j2+dv(j)
ts11(j)=ts1
300 continue
do 99 j=1,n
ts1=ts11(j)
nn=dv(j)
do 400 i=1,nn
ts2=tss(gi+1)
gi=gi+1
400 continue

```

=====

O P I S A N I E parametrov i peremennix " ECOSYS - 87 "

=====

P A R A M E T R I

sol(1)-summa effekt.t-r vische 5 grad. ot nachala do konza vegetazii
 sol(2)-summa effekt.t-r do kolschenij-zvetenij (vremj maksimuma -1
 sol(3)-summa effekt.t-r do molochnoy spelosti (vremj maksimuma -2
 sol(4)-maksimalnaj ploschad listejv (LAI_{max}),m²/m²
 sol(5)- biologicheskiy nol s/x kulturi
 sol(6)-effektivnoe udergjanie vodi (S) ,mm
 sol(7)-skorost poteri aktivnosti za schet vlijnij pogodnix
 faktorov (ljmbda w),1/sutki
 sol(8)- konstanta radioaktivnogo raspada (ljmbda r),1/sutki
 sol(9)-urogjaynost vsej siroy (fresch)biomassi rasteniy (Yi),kg/m²
 sol(10)-urogjaynost xozjystvenno poleznoy chasti (zerno i t.p.)biomassi
 rasteniy (Yxi),kg/m²
 sol(11)- udelnaj aktivnost v pochve na nachalo vegetazionnogo
 perioda,Kuri/km²
 sol(12)-skorost fiksazii radionuklidov v pochve (Ljmbda f),1/sutki
 sol(13)-skorost prosachivaniy vodi v pochvi (Va),m/god
 sol(14)-glubina prikorneвого paxotnogo sloj pochvi (Lpax),m
 sol(15)- plotnost prikorneвого paxotnogo sloj pochvi (delta),kg/m³
 sol(16)- srednie za vegetazionniy period zapasi wlagi
 v prikornevom paxotnom sloe pochvi (teta),mm
 sol(17)-koeffizient raspredelenij (Kd),sm³/g
 sol(18)-koeffizient nakoplenij pochva-rastenie (TF), (Bk/kg)/(Bk/m²)
 sol(19)- prodolgjitelnost vegetazionnogo perioda ,sutki
 sol(20)-sredniy koeffizient perexoda radionuklidov iz vodi v
 rastenij (Ti), (Bk/kg siroy massi)/(Bk/m² ugodiy)
 sol(21)-maksimalnaj skorost osagjdenij (vg max),m/sek
 sol(22)- KOEFFIZIENT IZMENENIJ AKTIVNOSTI PRI PRIGOTOVLENII PRODUKTA 1,
 processing faktor (Pk)
 sol(23)-VREMJ XHRANENIJ PRODUKTA 1 (t pk),sutki
 sol(24)- KOEFFIZIENT IZMENENIJ AKTIVNOSTI PRI PRIGOTOVLENII PRODUKTA 2
 sol(25)-VREMJ XHRANENIJ PRODUKTA 2 (t pk),sutki
 sol(26)- KOEFFIZIENT IZMENENIJ AKTIVNOSTI PRI PRIGOTOVLENII PRODUKTA 3
 sol(27)-VREMJ XHRANENIJ PRODUKTA 3 (t pk),sutki
 sol(28)- KOEFFIZIENT IZMENENIJ AKTIVNOSTI PRI PRIGOTOVLENII PRODUKTA 4
 sol(29)-VREMJ XHRANENIJ PRODUKTA 4 (t pk),sutki
 sol(30)-isxodnoe soderganie kalij v pochve, mg/100 g pochvi
 sol(31)-doza vnesehiy kaliynix udobreniy, kg/ga deystw.weschestvo
 sol(32)- vnesenie izvesti, 1- vnesena, 0 - ne vnesena
 sol(33)- naimeschaj polevaj v sloe 0-20, mm
 sol(34)-koeffizient sootnoschenij nakoplenij v xozjystvennoy chasti
 k nakopleniju v obschey masse urogaj
 sol(35)-pH solevoy vitjgki,
 sol(36)- soderganie gumusa v pochve, %

+++++

1 Kuri/km²=3.7*10**4 Bk/m²

P E R E M E N N I E

CAdry(j)-konzentrazij aktivnosti v vozduxe ,Bk/m³
 dvdry(j)-vremj ot syxogo vipadenij do sbora urogjaj ,sutki
 dL(j)-ploschad listjev,m²/m² (LAI)
 vg(j)-skorost osagjdenij (vg),m/sek
 CLd(j)- obschaj aktivnosti radionuklida v rastenii posle odnogo suxogo
 vipadenij- vo vsej biomasse(CLd),Bk/kg
 CLdsum- obschaj aktivnosti radionuklida v rastenii posle vsej suxix
 vipadeniy- vo vsej biomasse(CLd),Bk/kg
 CLdx(j)- obschaj aktivnosti radionuklida v rastenii posle odnogo suxogo

vipadenij- v xozjystvenno poleznoy chasti
 CLdsmx- obschaj aktivnosti radionuklida v rastenii posle vsej suxix
 vipadenij- v xozjystvenno poleznoy chasti
 urogjaj biomassi(zerne i t.p.) (CLdx),Bk/kg
 CA(j)- summarno-nakopitelnej po vremeni koncentrazij aktivnosti
 v vozduxe posle odnogo syxogo vipadenij(Ca) , (Bk*sek)/(m*3)
 Ad(j)-suxie osagjdenij na rastenie (Ad),Bk/m*2
 Aw(j)-udelnej poverxnostnej aktivnost ,privnesennaj pri polive,Bk/m*2
 pnor(j)-norma vegetazionnogo poliva, m*3/ga
 dvp(j)-vremj ot vegetazionnogo poliva do sbora urogjaj(delta t),sutki
 Cw(j)-koncentrazij radionuklida v vode , Bk/litr
 Ruop(j)-udelnyj objem poliva na edinizu ploschadi listovoy poverxnosti,mm
 Fw(j)- frakzij udergjjanij, bezrazmernaj
 Asum(j)-summarnaj aktivnost,udergjannaj nadzemnoy chastju rastenij
 pri odnom ot delnom vegetazionnom polive,Bk/m*2
 CLw(j)-koncentrazij aktivnosti radionuklida v rastenii posle odnogo
 ot delnog poliva(Ci,l),Bk/kg
 CLxw(j)-koncentrazij aktivnosti radionuklida v rastenii posle odnogo
 ot delnog poliva- v xozjystvenno poleznoy chasti
 urogjaj biomassi(zerne i t.p.) (Ci,l),Bk/kg
 CLwsum- obschaj aktivnosti radionuklida v rastenii posle vsej
 vegetazionnix polivov- vo vsej biomasse(Ci,l sum),Bk/kg
 CLwsmx- obschaj aktivnosti radionuklida v rastenii posle vsej
 vegetazionnix polivov- v xozjystvenno poleznoy chasti
 urogjaj biomassi(zerne i t.p.) (Ci,l sum),Bk/kg
 Lmds-skorost umenschenij aktivnosti iz-za peremeschenij za predeli
 pri kornevoj sloj (ljmbda s), 1/sutki
 Csn-fonovaj koncentrazij aktivnosti radionuklida v pri kornevoj sloe
 pochvi (nachalnej na nachalo vegetazii s uchetom skorosti
 umenschenij ,fiksazii i raspada v techenii vegetazii(Cs(t)),kBk/m*2
 Cs(j)-koncentrazij aktivnosti radionuklida v pri kornevoj sloe pochvi
 posle ocherednog ot delnog poliva(Cs(t)),Bk/m*2
 Efud(j)- efekt vnesenij kaliynix udobrenij, otn.ed.
 Efizv - efekt vneseniz izvesti, otn.ed.
 Cspr-koncentrazij aktivnosti radionuklida v pri kornevoj sloe pochvi
 posle vsej polivov s uchetom korrektirujuschego koeffizienta,
 umenschajuschego kornevoj postuplenie v zavisimosti ot
 srokov polivov (Cs(t)),Bk/m*2
 Csm- obschaj (s uchetom na nachalo vegetazii) udelnej aktivnost radio-
 nuklida v pochve posle vsej vegetazionnix polivov(Cs(t)),Bk/m*2
 Crkor - koncentrazij ot kornevoj nakoplenij za dekadu, Bk/kg
 Crsum -koncentrazij aktivnosti radionuklida v rastenii ot kornevoj
 postuplenij posle vsej polivov (Cr(t)),Bk/kg
 Lmds-skorost umenschenij aktivnosti iz-za peremeschenij za predeli
 pri kornevoj sloj (ljmbda s), 1/sutki
 Ct- obschaj aktivnosti radionuklida v rastenii posle vsej suxix
 vipadenij, polivov i kornevoj pogloschenij - vo vsej
 biomasse(C),Bk/kg
 Ctx- obschaj aktivnosti radionuklida v rastenii posle vsej suxix
 vipadenij polivov i kornevoj pogloschenij- v xozjystvenno
 poleznoy chasti
 urogjaj biomassi(zerne i t.p.) (Cx),Bk/kg
 CPR1 - koncentrazij aktivnosti v gotovom k upotreblenij produkte 1
 pitanij (Ck(t)),Bk/kg
 CPR2 - koncentrazij aktivnosti v gotovom k upotreblenij produkte 2
 pitanij (Ck(t)),Bk/kg
 CPR3 - koncentrazij aktivnosti v gotovom k upotreblenij produkte 3
 pitanij (Ck(t)),Bk/kg
 CPR4 - koncentrazij aktivnosti v gotovom k upotreblenij produkte 4
 pitanij (Ck(t)),Bk/kg
 AgrXim - funkcij vlijnij agrochimicheskix svoystv pochy na nakoplenie
 radionuklidov, otn.ed.
 FpH - funkcij vlijnij "pH" na nakoplenie radionuklidov , otn. ed.c FHum
 - funkcij vlijnij "Humusa" na nakoplenie radionuklidov , otn. ed.

FKO - funkcij vlijnij "Kaliy" na nakoplenie radionuklidov , ot ed.
M - summarnaj biomassa narostayuschim itogom, zent./gektar
mp - biomassa xozjystv. chasti narostayuschim itogom, zent./gektar

```
=====
=
      R A S C H E T      P L O S C H A D I      L I S T J E V - 1
=====
=
      x11(j)=ts2/sol1(2)
      if(ts2.lt.sol1(2)) dL(j)=(0.044297+0.026099*x11(j)+0.87814*
4(x11(j))**2+3.146*(x11(j))**3-3.1015*(x11(j))**4)*sol1(4)*
4(Wpax(j)/sol1(33))**0.5
      if(ts2.gt.sol1(2).and.ts2.lt.sol1(3)) dL(j)=sol1(4)*
4(Wpax(j)/sol1(33))**0.5
      x21(j)=(ts2-sol1(3))/(sol1(1)-sol1(3))
      if(ts2.gt.sol1(3)) dL(j)=(1.0069-0.35619*x21(j)+0.74286*
4(x21(j))**2-1.3867*(x21(j))**3)*sol1(4)*
4(Wpax(j)/sol1(33))**0.5
      if(dL(j).lt.0.01) dL(j)=0.01
=====
      L I S T O V O E      P O G L O S C H E N I E      - 1
-----
      S U X I X      V I P A D E N I Y      - 1
-----
      vg(j)=sol1(21)*(dL(j)/sol1(4))
      CA(j)=CAdry(j)*dvdry(j)*86400
      Ad(j)=vg(j)*CA(j)
      CLd(j)=(Ad(j)/sol1(9))*exp(-(sol1(7)+sol1(8))*dvdry(j))
      CLdx(j)=(Ad(j)/sol1(10))*sol1(20)*exp(-sol1(8)*dvdry(j))
      CLdsum=CLdsum+CLd(j)
      CLdsmx=CLdsmx+CLdx(j)
      if(ts2.lt.(0.5*sol1(2))) CLdsmx=0
-----
      W L G J N I X      V I P A D E N I Y      ( P O L I V O V ) - 1
-----
+++++++
      a=(2.3026*(2/(0.5*sol1(1)))*10**(2-(2/(0.5*sol1(1)))*(ts2)))*
4 ts1*dv(j)
      b=(1+10**(2-(2/(0.5*sol1(1)))*(ts2)))*2
      rgr=a/b
+++++++

      Aw(j)=(pnor(j)*Cw(j)*1000)/10000
      Ruop(j)=(pnor(j)/10)/dL(j)
      if(Ruop(j).eq.0) Ruop(j)=0.000001
      Fw(j)=((dL(j)*sol1(6))/Ruop(j))*(1-exp(-0.6931*Ruop(j)/3*
4sol1(6)))*10
      Asum(j)=Fw(j)*Aw(j)
      if(dvp(j).eq.0) dvp(j)=0.00001
      CLw(j)=(Asum(j)/sol1(9)*rgr)*exp(-(sol1(7)+sol1(8))*dvp(j))
      CLw(j)=(Asum(j)/(dL(j))+0.05)*3
      if(pnor(j).eq.0) CLw(j)=0

      CLwsum=CLwsum+CLw(j)
      CLwx(j)=(Asum(j)/sol1(10)*rgr)*sol1(20)*exp(-sol1(8)*dvp(j))
      CLwx(j)=((Asum(j)/sol1(10)*(rgr+0.001)/0.1))/25)*2.5
      if(pnor(j).eq.0) CLwx(j)=0
      CLwsmx=CLwsmx+CLwx(j)
      if(ts2.lt.(0.5*sol1(2))) CLwsmx=0
```

```

=====
K O R N E V O E   P O G L O S C H E N I E   -   1
=====

Lmds=(sol1(13)/365)/(sol1(14)*(1+(sol1(17)*sol1(15)/(Wpax(j)/
4 0.1*sol1(15))))
+++++
a=(2.3026*(2/(0.5*sol1(1)))*10** (2-(2/(0.5*sol1(1)))*(ts2)))*
4 ts1*dv(j)
b=(1+10** (2-(2/(0.5*sol1(1)))*(ts2)))*2
rgr=a/b
+++++
if(sol1(30).lt.1.51) Efud(j)=(4.34e-01)+(5.1649e-03)*sol1(31)
4 -(2.3413e-05)*(sol1(31)**2)+(5.4072e-08)*(sol1(31)**3)
4 -(6.0838e-11)*(sol1(31)**4)+(2.6380e-14)*(sol1(31)**5)
if(sol1(30).gt.1.51.and.sol1(30).lt.3.01) Efud(j)=(1.7267e-01)+
4 (7.3577e-03)*sol1(31)-(3.7195e-05)*(sol1(31)**2)+(1.0133e-07)*
4 (sol1(31)**3)-(1.3746e-10)*(sol1(31)**4)+
4 (7.2544e-14)*(sol1(31)**5)
if(sol1(30).gt.3.01.and.sol1(30).lt.5.01) Efud(j)=(5.1333e-02)+
4 (5.8655e-03)*sol1(31)-(2.3264e-05)*(sol1(31)**2)+(5.2715e-08)*
4 (sol1(31)**3)-(6.1198e-11)*(sol1(31)**4)+
4 (2.8028e-14)*(sol1(31)**5)
if(sol1(30).gt.5.01.and.sol1(30).lt.8.01) Efud(j)=(2.80e-02)+
4 (4.5110e-03)*sol1(31)-(1.5273e-05)*(sol1(31)**2)+(3.3141e-08)*
4 (sol1(31)**3)-(3.9839e-11)*(sol1(31)**4)+
4 (1.9785e-14)*(sol1(31)**5)
if(sol1(30).gt.8.01.and.sol1(30).lt.15.01) Efud(j)=-(1.467e-02)+
4 (3.8078e-03)*sol1(31)-(1.4297e-05)*(sol1(31)**2)+(3.7679e-08)*
4 (sol1(31)**3)-(5.3239e-11)*(sol1(31)**4)+
4 (2.9677e-14)*(sol1(31)**5)
if(sol1(30).gt.15.01) Efud(j)=-(1.40e-02)+
4 (2.0348e-03)*sol1(31)-(5.8040e-06)*(sol1(31)**2)+(1.5548e-08)*
4 (sol1(31)**3)-(2.4146e-11)*(sol1(31)**4)+
4 (1.4839e-14)*(sol1(31)**5)
if(Efud(j).lt.0.05)Efud(j)=0.05
if(sol1(31).lt.5.1)Efud(j)=1.0
if(sol1(31).gt.5.1.and.sol1(31).lt.25)Efud(j)=0.90
+++++
if(sol1(32).eq.0)Efizv=1.0

if(sol1(32).eq.1)Efizv=1.5
if(sol1(32).eq.1.and.sol1(31).gt.61.and.sol1(31).lt.121)Efizv
4=2.0
if(sol1(32).eq.1.and.sol1(31).gt.121.and.sol1(31).lt.181)Efizv
4=2.5
if(sol1(32).eq.1.and.sol1(31).gt.181.and.sol1(31).lt.241)Efizv
4=3.0
if(sol1(32).eq.1.and.sol1(31).gt.241.and.sol1(31).lt.301)Efizv
4=3.5
if(sol1(32).eq.1.and.sol1(31).gt.301.and.sol1(31).lt.361)Efizv
4=4.0
if(sol1(32).eq.1.and.sol1(31).gt.361.and.sol1(31).lt.421)Efizv
4=4.25
if(sol1(32).eq.1.and.sol1(31).gt.421.and.sol1(31).lt.481)Efizv
4=4.5
if(sol1(32).eq.1.and.sol1(31).gt.481.and.sol1(31).lt.541)Efizv
4=4.75
if(sol1(32).eq.1.and.sol1(31).gt.541)Efizv=4.85

+++++

```

```

Csn=(sol1(11)*3.7*10000/(sol1(14)*sol1(15)))*EXP(-(Lmds+
4 sol1(12)+sol1(8))*sol1(19))*15
Csn=(sol1(11)*3.7*10000)/1000

d3(j)=15*EXP(-(Lmds+sol1(12)+sol1(8))*sol1(19))
Cs(j)=(Aw(j)/(sol1(14)*sol1(15)))*EXP(-(Lmds+sol1(12)+sol1(8))*
4dvp(j))
Cs(j)=Aw(j)
Cspr=Cspr+(Cs(j)*(dvp(j)/sol1(19)))
Csm=Csn+Cspr
FpH=40.699-22.372*sol1(35)+4.7032*sol1(35)**2-0.44534*
4 sol1(35)**3+0.01595*sol1(35)**4
if(FpH.lt.0.04)FpH=0.04
FHum=1.0847-1.0675*sol1(36)+0.44929*sol1(36)**2-
4 0.089465*sol1(36)**3+0.0067637*sol1(36)**4
if(FHum.lt.0.01)FHum=0.01
FKO=2.0124-17.424*sol1(30)+63.161*sol1(30)**2
4 -111.57*sol1(30)**3+95.330*sol1(30)**4-31.553*
4sol1(30)**5
if(FKO.lt.0.07)FKO=0.07
Agrxim=((FpH**0.5)*(FHum**0.5)*(FKO**0.5))**0.3333
Agrxim=((FpH**0.25)*(FHum**0.25)*(FKO**0.25))**0.3333
Agrxim=(FpH*FHum*FKO)**0.3333

Agrxim=(1.156-0.927*ALOG(sol1(30))-0.955*ALOG(sol1(35))
4-0.204*ALOG(sol1(36)))/(1.156-0.927*ALOG(0.15)-0.955*ALOG(4.7)
4-0.204*ALOG(0.5))
ZLOG=(1.156-0.927*ALOG(sol1(30))-0.955*ALOG(sol1(35))
4-0.204*ALOG(sol1(36)))
Agrxim=ALOG(862)
4-0.204*ALOG(sol1(36))
/(1.156-0.927*ALOG(0.15)-0.955*ALOG(4.7)
4-0.204*ALOG(0.5))
Crkor=sol1(18)*(Csm)*rgr*Agrxim*((1-Efud(j))/Efizv)
Crkor=sol1(18)*(Csm)*rgr

Crkor=sol1(18)*(Csm)
Crsum=Crsum+Crkor
Crsumx=Crsum/sol1(34)
if(ts2.lt.(0.5*sol1(2)))Crsumx=0
dM(j)=sol1(9)*rgr*100
DDM=DDM+dM(j)
dmp(j)=sol1(10)*rgr*100
if(ts2.lt.(0.5*sol1(2)))dmp(j)=0
ddmp=ddmp+dmp(j)

=====
S U M M A R N O E   N A K O P L E N I E   V S E X   V I D O V   -   1
-----

Ct=CLdsum+CLwsum+Crsum
Ctx=(CLdsmx+CLwsmx+Crsumx)

if(ts2.lt.(0.5*sol1(2)))Ctx=0
=====
RASCHET KONZENTRAZII AKTIVNOSTI V GOTOVOM K UPOTREBLENIJ PRODUKTE
-----

CPR1=Ctx*sol1(22)*exp(-sol1(8)*sol1(23))
CPR2=Ctx*sol1(24)*exp(-sol1(8)*sol1(25))
CPR3=Ctx*sol1(26)*exp(-sol1(8)*sol1(27))
CPR4=Ct*sol1(28)*exp(-sol1(8)*sol1(29))
=====

j1m(j)=j

```

```

gim(j)=gi
ts1m(j)=ts1
ts2m(j)=ts2
j1=j1+1
d21(j)=CLdsum
d22(j)=CLdsmx
d23(j)=CLwsum
d24(j)=CLwsmx
d25(j)=Cssm
d26(j)=Crsum
d27(j)=Ct
d28(j)=Ctx
d29(j)=Cspr
d31(j)=CPR1
d32(j)=CPR2
d33(j)=CPR3
d34(j)=CPR4
d35(j)=Efizv
d2(j)=Csn
d4(j)=Crsumx
d5(j)=Agrxim
    d5(j)=ZLOG
d6(j)=FpH
d7(j)=FHum
d8(j)=FKO
d9(j)=DDM
d10(j)=ddmp
99  continue
    j1=j-1
140  format(4x,74('-'))
    write(6,140)
    write(6,333)
333  format(1x,'i','dek','i','cyt','i',2x,'TS1 ',2x,'i',2x,' TS2 ',2x,
1'i',2x,' M ',2x,'i',' mp      i LAI i')
    write(6,140)
    do 188 j=1,n
        write(6,220)j,gim(j),TS1M(j),TS2M(j),d9(j),d10(j),dL(j)
220  format(1x,'i',i3,'i',i3,'i',f7.3,' i',f9.2,'i',f7.3,'i',f7.3,'
4 i', f7.3,' i')
188  continue
    write(6,140)
    print*,'TS2 -summa temperatur narost. itogom, gradus.'
    print*,'M -summarnaj biomassa narost. itogom, zent./gektar'
    print*,'mp -biomassa xoz. chasti narost. itogom, zent./gektar'
    print*,'LAI - ploschad listjev, m*2/m*2 '

    write(6,140)
    write(6,5333)
5333 format(1x,'i','dek','i','cyt','i',1x,'CLdsum ',2x,'i',1x,'CLdx ',
42x,'i',2x,'CLdsmx',2x,'i','      CA   i Ad   i')
    write(6,120)
    do 88 j=1,n
        write(6,222)j,gim(j),d21(j),CLdx(j),d22(j),CA(j),Ad(j)
222  format(1x,'i',i3,'i',i3,'i',3(f7.3,' i'),f12.3,' i', f7.3,' i')
88  continue
    write(6,140)
    write(6,601)
601  format(1x,'i','dek','i','cyt','i',2x,'Aw ',2x,'i',2x,'Ruop ',
42x,'i',2x,'Fw ',2x,'i',' CLw ', 4x,' i   CLwx i')
    write(6,120)
    do 61 j=1,n
        write(6,602)j,gim(j),Aw(j),Ruop(j),Fw(j),CLw(j),CLwx(j)
602  format(1x,'i',i3,'i',i3,'i',3(f7.3,' i'),f7.3,' i', f8.6,' i')
61  continue

```

```

write(6,140)
write(6,140)
write(6,603)
603 format(1x,'i','dek','i','cyt','i',2x,'CLwsum',2x,'i',2x,'CLwsmx',
42x,'i',2x,'Cs ','i',' Csm ',' , 4x,' i ' Cspr i Csn ')
write(6,120)
do 62 j=1,n
write(6,604)j,gim(j),d23(j),d24(j),Cs(j),d25(j),d29(j),d2(j)
604 format(1x,'i',i3,'i',i3,'i',3(f8.4,' i'),f8.2,' i',2(f9.4,' i'))
62 continue
write(6,140)
print*, '          NAKOПЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДА В ОБСЧЕY '
print*, '    БИОМАССЕ ( Bk/kg ) - ПЕРВИЧНОY ПРОДУКЦИИ '
write(6,140)
write(6,607)
607 format(1x,'i','dek','i','cyt','i',2x,'CLdsum',2x,'i',4x,'CLwsum',
44x,'i',4x,'Crsum ',3x,'i',5x,' Ct ' , 12x,' i')
write(6,120)
do 64 j=1,n
write(6,608)j,gim(j),d21(j),d23(j),d26(j),d27(j)
608 format(1x,'i',i3,'i',i3,'i' ,f7.3,' i',f15.5,'i',f15.5,' i',
4f20.5,'i')
64 continue
write(6,140)
print*, 'CLdsum - активност рад-а в растении после суxix vipadeniy'
print*, 'CLwsum - активност рад-а в растении после поливов'
print*, 'Crsum - активност рад-а в растении от корневого поглоsch.'
print*, 'Ct -   obschaj активност рад-а во всеy masse растений'
write(6,140)
print*, 'НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДА В ХОЗЙСТВЕННО-ПОЛЕЗНОY ЧАСТИ'
print*, '          УРОГJAJ ( Bk/kg ) - ПЕРВИЧНОY ПРОДУКЦИИ '
write(6,140)
write(6,6051)
6051 format(1x,'i','dek','i','cyt','i',2x,'CLdsmx',2x,'i',4x,'CLwsmx',
46x,'i',4x,'Crsumx ',6x,'i',5x,' Ctx ' , 8x,' i')
write(6,120)
do 636 j=1,n
write(6,6061)j,gim(j),d22(j),d24(j),d4(j),d28(j)
6061 format(1x,'i',i3,'i',i3,'i',f10.7,' i',f15.5,'i',f15.5,' i',
4f20.5,'i')
636 continue
write(6,140)
print*, '    Xozjystvenno-poleznaj chast urogjaj(x.-p.ch.)'
print*, 'CLdsmx - активност радionуклида после суxix vipadeniy'
print*, 'CLwsmx - активност радionуклида после поливов'
print*, 'Crsumx - активност радionуклида от корневого поглоschenij'
print*, 'Ctx - obschaj активност радionуклида в x.-p.ch. urogjaj'
write(6,140)
write(6,140)
print*, '    КОНЦЕНТРАЦИИ АКТИВНОСТИ В ГОТОВОМ К УПОТРЕБЛЕНИY'
print*, 'ПРОДУКТЕ , ПРИГОТОВЛЕННОМ ИЗ ПЕРВИЧНОГО ПРОДУКТА ( Bk/kg )'
write(6,140)
write(6,605)
605 format(1x,'i','dek','i','cyt','i',2x,'CPR1',8x,'i',2x,'CPR2',47x,'i')
write(6,120)
do 63 j=1,n
write(6,606)j,gim(j),d31(j),d32(j)
606 format(1x,'i',i3,'i',i3,'i',2(f12.6,' i'))
63 continue
write(6,140)
print*, 'CPR1 - концентracий активности в готовом к употреблению '
print*, '    продукте 1 ,приготовленном из первичного продукта '
print*, 'CPR2 - концентracий активности в готовом к употреблению '
print*, '    продукте 2 ,приготовленном из первичного продукта '

```



```

print*, 'CPR3 - koncentrazij aktivnosti v gotovom k upotreblenij '
print*, '      produkte 3 ,prigotovlennom iz pervichnogo produkta '
print*, 'CPR4 - koncentrazij aktivnosti v gotovom k upotreblenij '
print*, '      produkte 4 ,prigotovlennom iz pervichnogo produkta '
write(6,140)
write(6,140)
print*, 'EFFEKTIVNOST VNESENUJ UDOBRENIY -Efud, otn.ed.'
print*, '  EFFEKTIVNOST VNESENIJ IZVESTI - EFizv, otn.ed.'
print*, 'funkzij vlijnij "pH" na nakopl. rad.-FpH , otn.ed.'
print*, ' funkzij vlijnij "Humusa" na nakopl. rad.-FHum , otn.ed.'
print*, ' funkzij vlijnij "Kalij" na nakopl. rad.-FKO , otn.ed.'
print*, 'funkzij vlijnij agrochim. svoystv pochyi na nakoplenie '
print*, ' radionuklidov -AgrXim , otn.ed.'
write(6,140)
write(6,634)
634  format(1x,'i','dek','i','cyt','i',2x,'Efud ',3x,'i',' Efizv'
4 , 4x,' i',2x,'Agrxim','i',1x,'Fph',1x,'i',4x,'FHum',1x,'i',
44x,'FKO')
write(6,120)
do 53 j=1,n
write(6,638)j,gim(j),Efud(j),d35(j),d5(j),d6(j),d7(j),d8(j)
638  format(1x,'i',i3,'i',i3,'i',6(f5.3,4x,' i'))

53  continue
write(6,140)
print*, 'Efud - EFFEKTIVNOST VNESENUJ UDOBRENIY , otn.ed.'
print*, ' EFizv - EFFEKTIVNOST VNESENIJ IZVESTI , otn.ed.'
print*, 'FpH - funkzij vlijnij "pH" na nakopl. rad. , otn.ed.'
print*, ' FHum -funkzij vlijnij "Humusa" na nakopl. rad., otn.ed.'
print*, ' FKO - funkzij vlijnij "Kalij" na nakopl. rad., otn.ed.'
print*, 'AgrXim-funkzij vlijnij agrochim. svoystv pochyi na nakopl.'
print*, ' radionuklidov , otn.ed.'

print*, 'CPR1 - koncentrazij aktivnosti v gotovom k upotreblenij '
print*, '      produkte 1 ,prigotovlennom iz pervichnogo produkta '
print*, 'CPR2 - koncentrazij aktivnosti v gotovom k upotreblenij '
print*, '      produkte 2 ,prigotovlennom iz pervichnogo produkta '
print*, 'CPR3 - koncentrazij aktivnosti v gotovom k upotreblenij '
print*, '      produkte 3 ,prigotovlennom iz pervichnogo produkta '
print*, 'CPR4 - koncentrazij aktivnosti v gotovom k upotreblenij '
print*, '      produkte 4 ,prigotovlennom iz pervichnogo produkta '
write(6,140)
print*, '      I T O G O V I E      V E L I C H I N I      '
write(6,140)
WRITE(6,959) Lmds
959  FORMAT(1X,'Ljmbda s (1/sutki) = ',F20.15)
WRITE(6,951) Csn
951  FORMAT(1X,'Csn (Bk/m*2) = ',F20.10)
WRITE(6,348) CLdsum
348  FORMAT(1X,'CLdsum (Bk/kg) = ',F20.10)
WRITE(6,317) CLwsum
317  FORMAT(1X,'CLwsum (Bk/kg) = ',F20.10)
WRITE(6,316) Crsum
316  FORMAT(1X,'Crsum (Bk/kg) = ',F20.10)
WRITE(6,344) Ct
344  FORMAT(1X,'Ct (Bk/kg) = ',F20.10)
WRITE(6,343) CLdsmx
343  FORMAT(1X,'CLdsmx (Bk/kg) = ',F20.10)
WRITE(6,342) CLwsmx
342  FORMAT(1X,'CLwsmx (Bk/kg) = ',F20.10)
write(6,140)
write(6,140)
print*, 'soderzhanie radionuklidov v obschey biomasse'
WRITE(6,341) Ct

```

```

341  FORMAT(1X,'Ct (Bk/kg) = ',F20.10)
      write(6,140)
      print*,'soderhgjanie radionuklidov v xoz.poleznoy chasti urogjaj'
      WRITE(6,364) Ctx
364  format(1x,'Ctx    (Bk/kg) = ',F20.10)
      write(6,140)
      print*,'CPR1 - koncentrazij aktivnosti v gotovom k upotreblenij '
      print*,'      produkte 1 ,prigotovlennom iz pervichnogo produkta '
      WRITE(6,366) CPR1
366  format(1x,'CPR1    (Bk/kg) = ',F20.10)
      write(6,140)
      print*,'CPR2 - koncentrazij aktivnosti v gotovom k upotreblenij '
      print*,'      produkte 2 ,prigotovlennom iz pervichnogo produkta '
      WRITE(6,367) CPR2
367  format(1x,'CPR2    (Bk/kg) = ',F20.10)
      write(6,140)
      write(6,140)
      print*,'CPR3 - koncentrazij aktivnosti v gotovom k upotreblenij '
      print*,'      produkte 3 ,prigotovlennom iz pervichnogo produkta '
      WRITE(6,368) CPR3
368  format(1x,'CPR3    (Bk/kg) = ',F20.10)
      write(6,140)
      print*,'CPR4 - koncentrazij aktivnosti v gotovom k upotreblenij '
      print*,'      produkte 4 ,prigotovlennom iz pervichnogo produkta '
      WRITE(6,369) CPR4
369  format(1x,'CPR4    (Bk/kg) = ',F20.10)
      write(6,140)

      write(6,140)

      WRITE(6,365) d6(n)
365  format(1x,'d6    (otn.ed.) = ',F20.10)
-----
      write(6,120)
      close (unit=6)
      return
      end

```