

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут післядипломної освіти
Кафедра агрометеорології та агроекології

Кваліфікаційна робота бакалавра

на тему: Моделювання забруднення радіоцезієм урожаю соняшника в умовах зрошення водами водосховищ Дніпровського каскаду

Виконала студентка групи АЕ - 5т (і) з/ф
Спеціальності 101 «Екологія»

Олєйнікова Світлана Володимирівна
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

Керівник канд. геогр. наук, доцент
Жигайло Олена Леонідівна

Консультант _____ - _____

Рецензент канд. геогр. наук, доцент
Боровська Галина Олександрівна

Одеса 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут післядипломної освіти _____

Кафедра _____ агрометеорології та агроекології _____

Рівень вищої освіти _____ бакалавр _____

Спеціальність _____ 101 «Екологія» _____

(шифр і назва)

Освітня програма «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» _____

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
агрометеорології та агроекології
_____ Польовий А.М.
« 02 » березня 2022 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

студенту (ці) _____ Олейніковій Світлані Володимирівні _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Моделювання забруднення радіоцезієм урожаю соняшника в умовах зрошення водами водосховищ Дніпровського каскаду _____

керівник роботи _____ Жигайло Олена Леонідівна канд. геогр. наук, доцент _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ОДЕКУ від « 23 » березня 2022 року № 31 - С

2. Строк подання студентом роботи _____ 01 червня 2022 року _____

3. Вихідні дані до роботи _____ Фізико-географічна характеристика Запорізької області. Щільність забруднення радіоцезієм сільськогосподарських угідь Запорізької області. Забруднення радіоцезієм вод Дніпровського каскаду. Тимчасово допустимий рівень забруднення радіоцезієм соняшникової продукції. Забруднення радіоцезієм ґрунтів і зрошувальних вод за сценарієм ЧАЕС-86. Математична динамічна модель формування активності радіонукліда в системі «вода – ґрунт – рослина – продукт», ECOSIS - 87 Методика виконання розрахунків за моделлю ECOSYS-87 _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____ Оцінити забруднення радіоцезієм сільськогосподарських угідь Запоріжжя в 1986, 2021 роках і за сценарієм ЧАЕС-86. Оптимізувати параметри моделі ECOSIS - 87 для культури соняшника і провести чисельні розрахунки забруднення радіоцезієм посівів соняшнику в районах зрошуваного землеробства і на богарі в 1986, 2021 роках і за сценарієм ЧАЕС-86. Провести чисельні розрахунки забруднення радіоцезієм продуктів харчування, соняшникового насіння і соняшникової олії в 1986, 2021 роках і за сценарієм ЧАЕС-86. _____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Динаміка формування площі листя та накопичення загальної біомаси і біомаси насіння сояшнику
Залежність забруднення радіоцезієм посівів сояшника (Бк/кг) від забруднення ґрунту (Кі/км²) і зрошувальних вод (Бк/дм³)
Забруднення радіоцезієм сояшникового насіння і сояшnikової олії в 1986 році
Забруднення радіоцезієм сояшникового насіння і сояшnikової олії в 2021 році
Забруднення радіоцезієм сояшникового насіння і сояшnikової олії за сценарієм ЧАЕС-86

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 02 березня 2022 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. Ознайомлення з літературними джерелами за темою кваліфікаційної роботи бакалавра.	02.03.2022 р. – 06.03.2022 р.	90	5 (відмінно)
2.	Написання першого та другого розділів кваліфікаційної роботи.	07.03.2022 р. – 20.03.2022 р.	90	5 (відмінно)
3.	Вивчення алгоритму моделі ECOSIS - 87. Проведення чисельних розрахунків на ПЕОМ	12.05.2022 р. – 15.05.2022 р.	90	5 (відмінно)
	Рубіжна атестація	16.05.2022 р. - 20.05.2022 р.	90	5 (відмінно)
4.	Побудова табличного та графічного матеріалу. Аналіз отриманих розрахунків. Оформлення текстової частини третього розділу кваліфікаційної роботи	21.05.2022 р. - 25.05.2022р.	95	5 (відмінно)
5.	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату.	26.05.2022р.- 01.06.2022 р.	95	5 (відмінно)
	Перевірка роботи на плагіат, складення протоколу і висновку керівника. Підписання авторського договору.	01.06.2022 р.- 03.06.2022 р.	-	-
	Підготовка презентаційного матеріалу до публічного захисту.	-	-	-
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)	-	92,0	-

Студентка _____ Олейнікова С.В.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

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

АНОТАЦІЯ

Олейнікова С.В. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра
«Моделювання забруднення радіоцезієм урожаю соняшника в умовах зрошення водами водосховищ Дніпровського каскаду»

Серед багатьох проблем, що виникли в зв'язку з аварією на Чорнобильській АЕС, однією з найгостріших і масштабних є можливість сільськогосподарської діяльності на забруднених радіонуклідами землях. Ймовірні наслідки бойових дій в безпосередній близькості до Запорізької АЕС можуть завдати у рази більшої шкоди. Тому особливо актуальним постає організація постійного моніторингу, оцінки та прогнозу забруднення ґрунтово-рослинного покриву, для отримання придатної в їжу продукції рослинництва

Мета роботи – моделювання, оцінка та прогноз забруднення радіоцезієм ґрунтів, зрошувальних вод, посівів соняшнику, що вирощуються на сільгоспугіддях Запорізької області, а також продуктів харчування, які отримують в процесах вирощування і переробки.

Основні задачі: оцінити забруднення радіоцезієм сільгоспугідь та зрошувальних вод Дніпровського каскаду в Запорізькій області в 1986, 2021 роках і за сценарієм ЧАЕС-86; провести розрахунки забруднення радіоцезієм посівів соняшнику, соняшникового насіння та соняшnikової олії в 1986 і 2021 рр. та за сценарієм ЧАЕС-86; оцінити забруднення радіоцезієм продукції соняшнику і скласти прогноз його забруднення за сценарієм ЧАЕС-86.

Об'єктом досліджень є формування активності радіоцезію в посівах, насінні і олії соняшнику. Предмет досліджень – забруднення радіоцезієм ґрунтів і зрошувальних вод на території Запорізької області та його вплив на екологічну чистоту продукції соняшника.

Для виконання розрахунків використовувалась динамічна модель формування активності радіонукліда в системі вода – ґрунт – рослина – продукт «ECOSIS - 87»

Досліджено забруднення радіонуклідами Cs-137 ґрунтів і зрошувальних вод у 1986 і 2021 роках та за сценарієм ЧАЕС-86. Досліджено забруднення радіоцезієм посівів соняшнику та продуктів харчування (насіння соняшнику та соняшnikової олії) в 1986 і 2021 роках; виконані розрахунки імовірності забруднення радіоцезієм урожаю соняшника за сценарієм ЧАЕС-86.

Робота складається із вступу, 3 розділів, висновків, списку використаної літератури. Загальний обсяг роботи 64 сторінки машинописного тексту, в т.ч. 15 таблиць і 15 рисунків.

Ключові слова: забруднення радіоцезієм, ґрунт, зрошувальна вода, модель, соняшник, насіння, олія, екологічно чистий продукт.

ЗМІСТ

ВСТУП.....		5
1	ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНИХ УМОВ ЗАПОРІЖЖЯ ...	7
	1.1 Фізико-географічна характеристика.....	7
	1.2 Земельні ресурси.....	8
	1.3 Водні ресурси.....	11
	1.4 Сучасний стан меліоративного стану зрошуваних земель...	12
2	РАДІАЦІЙНИЙ СТАН ҐРУНТІВ І ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ДНІПРОВСЬКИХ ВОДОСХОВИЩ.....	14
	2.1 Екологічна оцінка забруднення радіоцезієм ґрунтово-рослинного покриву в Запорізькій області.....	14
	2.2 Оцінка забруднення радіоцезієм поверхневих вод Дніпровського каскаду.....	19
3	МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ РАДІОЦЕЗИЕМ УРОЖАЮ СОНЯШНИКА В УМОВАХ ЗРОШЕННЯ ВОДАМИ ВОДОСХОВИЩ ДНІПРОВСЬКОГО КАСКАДУ.....	22
	3.1 Методика виконання розрахунків за моделлю ECOSYS-87.....	23
	3.2 Моделювання забруднення радіоцезієм посівів соняшнику в Запорізькій області.....	26
	3.2.1 Моделювання та оцінка забруднення радіоцезієм посівів соняшнику в 1986 і 2021 рр.....	28
	3.2.2 Моделювання та прогноз забруднення радіоцезієм посівів соняшнику в Запорізькій області за сценарієм ЧАЕС-86.....	38
	3.3 Моделювання забруднення радіоцезієм насіння соняшнику та соняшnikової олії.....	46
	3.3.1 Моделювання та оцінка забруднення радіоцезієм насіння та олії в 1986 і 2021 рр.....	47
	3.3.2 Моделювання та прогноз забруднення радіоцезієм насіння та олії за сценарієм ЧАЕС-86.....	52
ВИСНОВКИ.....		60
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....		62

ВСТУП

Серед багатьох проблем, що виникли в зв'язку з аварією на Чорнобильській АЕС, однією з найгостріших і масштабних є можливість сільськогосподарської діяльності на забруднених радіонуклідами землях. Ймовірні наслідки бойових дій в безпосередній близькості до Запорізької АЕС можуть завдати у рази більшої шкоди. Тому особливо актуальним постає організація постійного моніторингу, оцінки та прогнозу забруднення ґрунтово-рослинного покриву, для отримання придатної в їжу продукції рослинництва [6].

Для моніторингу, оцінки і прогнозу забруднення сільськогосподарської продукції радіонуклідами застосовуються різні методи. Сучасний метод математичного моделювання дозволяє комплексно оцінити і спрогнозувати формування активності радіонуклідів в продукції рослинництва за рахунок безпосереднього надходження радіонуклідів через листя, за рахунок кореневого надходження, а також активності радіонукліду у продуктах переробки в умовах зрошуваного і незрошуваного землеробства.

Метою даної роботи є моделювання, оцінка та прогноз забруднення радіоцезієм ґрунтів, зрошувальних вод, посівів соняшнику, що вирощуються на сільгоспугіддях Запорізької області, а також продуктів харчування, які отримують в процесах вирощування (соняшникового насіння) і переробки (соняшnikової олії).

Для успішного досягнення цієї мети було поставлено наступні задачі:

- Оцінити забруднення радіоцезієм сільгоспугідь Запорізької області;
- Оцінити забруднення радіоцезієм зрошувальних вод Дніпровського та Каховського водосховищ;
- Оцінити забруднення радіоцезієм ґрунтів і зрошувальної води в наслідок вибуху на Запорізькій АЕС;

- Провести розрахунки забруднення радіоцезієм посівів соняшнику в 1986 і 2021 рр.
- Провести розрахунки забруднення радіоцезієм посівів соняшнику на Запоріжжі за сценарієм ЧАЕС-86.
- Провести розрахунки забруднення радіоцезієм соняшникового насіння і соняшnikової олії в 1986 і 2021 рр.
- Провести розрахунки забруднення радіоцезієм соняшникового насіння і соняшnikової олії за сценарієм ЧАЕС-86.
- Оцінити забруднення радіоцезієм продукції соняшнику і скласти прогноз його забруднення за сценарієм ЧАЕС-86.

Для вирішення поставлених завдань у роботі використані результати агрохімічного та агроекологічного обстеження стану ґрунтів України [4], результати радіоактивного забруднення Дніпровської водної системи [2,9]. Розрахунки проведено з використанням динамічної математичної моделі формування активності радіонукліда в системі «вода – ґрунт – рослина – продукт», ECOSIS – 87 [6,7].

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНИХ УМОВ ЗАПОРІЗЖЯ

1.1 Фізико-географічна характеристика

Запорізька область розташована на південному сході України та займає, головним чином, лівобережну частину басейну нижньої течії Дніпра. Область знаходиться на півдні Східноєвропейської рівнини в степовій зоні з характерним рівнинним ландшафтом[5] з домінуванням чорноземних ґрунтів.

На півночі і північному заході вона межує з Дніпропетровською областю, на заході – з Херсонською, на сході – з Донецькою областями. На півдні її побережжя омиває Азовське море.

Площа області 27,2 тис. км² (4,5% площі України, 9-те місце серед областей).

Запорізька область поділяється на три природно-сільськогосподарські зони: степова, що займає 50,8%, степова посушлива – 34,8% і сухостепова – 14,4%.

Клімат області – степовий атлантико-континентальний.

Зима помірно-холодна, малосніжна, починається наприкінці листопада – на початку грудня. **Весна** настає в першій декаді березня і зазвичай буває короткою за рахунок інтенсивного

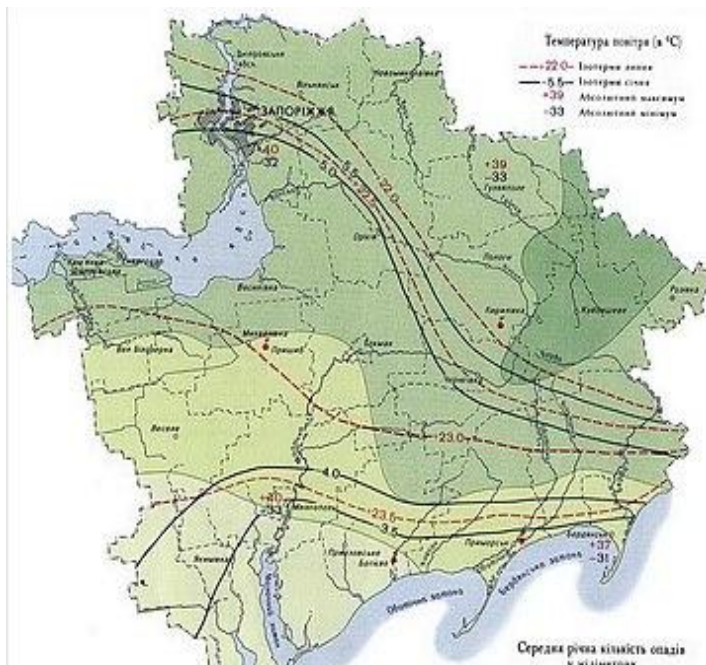


Рисунок 1.1 – Кліматична карта Запорізької області

наростання тепла, тому весняні процеси розвиваються дуже швидко. **Літо** переважно спекотне і сухе. В літньому сезоні часто виникають сильні зливи, шквали, град. **Осінь** настає як правило у третій декаді вересня [1,5].

Середня температура повітря найтеплішого місяця (липня) дорівнює $+22^{\circ}\text{C}$ (рис. 1.1), найхолоднішого (січня) становить $-4,1^{\circ}\text{C}$.

Річна кількість опадів на у північній частині дорівнює 480-510 мм, в південній частині випадає менша кількість опадів – 430-475мм (рис. 1.1). Більша їх кількість припадає на літній сезон [1,5].

Головна річка Запоріжжя – Дніпро. Басейн річки Дніпро займає північно-західну частину області та складається з Каховського та Дніпровського водосховищ.

1.2 Земельні ресурси

Україна розподіляється на наступні ґрунтові зони [4]:

- 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.

Основними ґрунтами (табл.1.1), 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 [5,11].

Таблиця 1.1 – Основні ґрунти Запорізької області

Ґрунти	Загальна площа		Площа орних ґрунтів	
	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
Каштанові, в основному на лесах	244,0	10,9	225,6	12,0

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, 1.3) і мають несприятливий водний режим [5,11].

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

Каштанові ґрунти. 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 [5,11].

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 показники родючості ґрунтів Запорізької області

Показники	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
pH 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
S ¹	46,1	42,7	36,44	34,6	-	-	26,5	29,4
V ²	93,5	92,6	95,7	96,4	94,7	98,8	-	-

Примітка: ¹ Сума поглинених основ, мг·екв/100г ґрунту; ² Ступінь насиченості основами, %

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 [11].

Земельний фонд Запоріжжя має в своєму розпорядженні родючі ґрунти [5,17]. Ґрунтовий покрив представлений чорноземами та темно-каштановими ґрунтами, які характеризуються деякою солонуватістю, особливо у приморський частині.

Зміна зональних ґрунтів на території області відбувається з північного сходу на південний захід. У цьому напрямку збільшується вміст рухомого фосфору, змінюється ступінь забезпеченості ґрунтів обмінним калієм. Якість кожного типу і підтипу ґрунту залежить від вмісту в них гумусу, насиченості ґрунтів основами, від механічного складу та інших особливостей [1,5,11].

Таблиця 1.3 – Агрохімічні показники родючості ґрунтів Запорізької області

Показники	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
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		-	

Екстенсивне використання земель викликало зниження їх продуктивності, посилило залежність сільського господарства від погодних умов. На даний час основними проблемами родючості ґрунтів області є: агрохімічна деградація ґрунтів, висока ступінь розораності земель, розвиток ерозійних процесів, збільшення площ солонцюватих та засолених ґрунтів.

Одним з основних чинників антропогенного впливу на земельні ресурси є сільське господарство. Чималу шкоду завдають промисловість, енергетика, транспорт, гірничодобувна промисловість.

Відтворення та охорона родючості ґрунтів, захист їх від деградації та забруднення є одним з першочергових завдань аграрної політики держави [5, 11,17].

1.3 Водні ресурси

Водний фонд Запорізької області складають річка Дніпро, розташовані на ній Каховське і Дніпровське водосховища з об'ємом води в них відповідно 18,2 і 3,3 км³, 3 середніх, 62 малих річок (довжиною більше 10 км). На яких створено 28 водосховищ і 1025 ставків.

На півдні Запорізька область омивається водами Азовського моря, його берегова лінія в межах області складає більше ніж 300 км. На території області розташовані 4 лимани: Білозерський, Утлюкський, Тубальський та Молочний, загальна площа яких становить 665,5 км².

Середній багаторічний об'єм поверхневого стоку р. Дніпро, що транзитом проходить по території області [5,17], складає 53,0 км³/рік, а в межах області формується лише 0,367 км³/рік поверхневих вод. Експлуатаційні запаси підземних вод (на 2021 р.) складають 110,7 млн.м³/рік.

Тому що спостерігається обмеженість ресурсів підземних вод та нерівномірність їх розподілу по території, роль р. Дніпро для господарсько-питного водопостачання населення буде зростати. Отже, на перший план виходить проблема забезпечення якісних показників Дніпровської води .

1.4 Сучасний стан меліоративного стану зрошуваних земель

Основними джерелами зрошення Запорізької області є Каховське, Дніпровське водосховища та Білозерський лиман [10].

Води Каховського водосховища в 2021 році були подані для зрошення сільгоспугідь дев'яти зрошувальних систем (Василівська, Верхньо-Тарасівська, Запорізька, Іванівська, Північно-Рогачикська, Першотравнева, Приазовська, Каховська). Води Дніпровського водосховища – для зрошення двох зрошувальних систем – Вільнянської та Шевченківської; Білозерського лиману – для зрошення земель Лиманської зрошувальної системи [10].

При наявності в Запорізькій області 241,3 тис.га зрошуваних земель переважна їх більшість має сприятливий меліоративний стан (рис 1.2), а саме:

- сприятливий – 101,8 тис.га (42,2 % від загальної площі зрошуваних земель);
- задовільний – 125,2 тис.га (51,9 %);
- незадовільний – 14,3 тис.га (5,9 %).

Причинами незадовільного меліоративного стану зрошуваних земель в районах області є солонцюватість земель, що має найбільше поширення в межах Каховської ЗС (Мелітопольський район), менше на Приазовській ЗС (Мелітопольський район), Північно-Рогачикській ЗС та Іванівській ЗС (Василівський район).

Загалом меліоративний стан зрошуваних земель в Запорізькій області має сприятливий характер та становить 94,1 %, що дає змогу отримувати сталі врожаї сільськогосподарських культур за умови використання оптимальних екологічно безпечних та ґрунтозахисних режимів зрошення сільськогосподарських культур одночасно з внесенням органічних та мінеральних добрив.

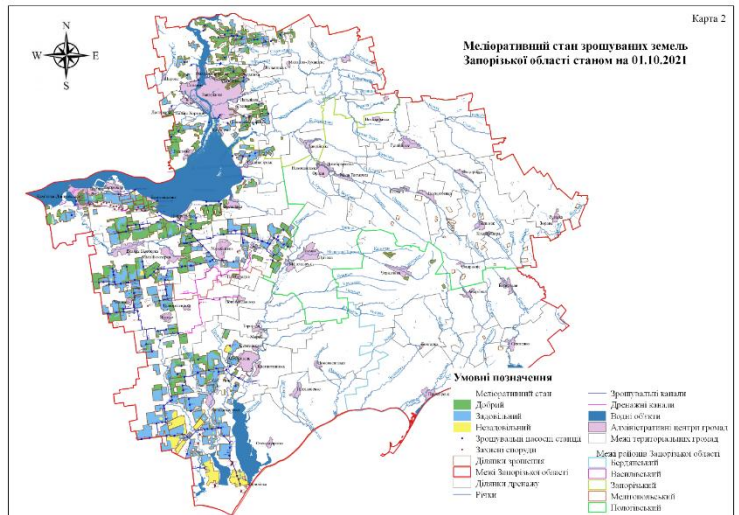


Рисунок 1.2 – Меліоративний стан зрошуваних земель Запорізької області у 2021 році [10]

2 РАДІАЦІЙНИЙ СТАН ҐРУНТІВ І ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ДНІПРОВСЬКИХ ВОДОСХОВИЩ

2.1 Екологічна оцінка забруднення радіоцезієм ґрунтово-рослинного покриву в Запорізькій області

Забруднення ґрунтів радіонуклідами. Нині масштаби та інтенсивність забруднення ґрунтів радіонуклідами різко зросли. У другій половині ХХ ст. радіоактивні випадання антропогенного походження були пов'язані з бомбардуванням атомними бомбами міст Хіросіма і Нагасакі, а також випробуваннями США, колишнім СРСР, Великою Британією та іншими країнами ядерної зброї. Разом з тим з'явилося багато джерел, де атомна енергія використовується у мирних цілях. Бурхливий розвиток атомної енергетики вимагав великої кількості ядерного палива, що призвело до екологічних порушень. Ядерно-енергетичний цикл охоплює видобування уранової руди, вилучення з неї урану, збагачення уранового палива, використання його в реакторах, транспортування, очищення та захоронення відходів. Практично в усіх ланках циклу можливе витікання радіонуклідів та забруднення ними довкілля [18].

Особливо небезпечні забруднення радіонуклідами з катастрофічними екологічними наслідками виникають через ядерні вибухи та аварії на об'єктах атомної промисловості і енергетики. Аварія, що трапилася на 4-му енергоблоці Чорнобильської АЕС 26 квітня 1986 р. сколихнула світ. І сьогодні шкоду, яку вона нанесла природі і людству, ще до кінця не оцінено, хоча абсолютно ясно, що наслідки від цієї аварії трагічні.

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.

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 [14].

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.

Забруднення радіоцезієм ґрунтового-рослинного покриву в Запорізькій області. Природний фон радіоактивності на землях Запорізької області до аварії на Чорнобильській АЕС становив 0,03-0,04 Кі/км² (табл.2.1). Після аварії на Чорнобильській АЕС (в 1986 році) за рахунок значної відстані від епіцентру вибуху і достатньо високої родючості ґрунтів (табл. 2.2) забруднення радіоцезієм ґрунтового покриву Запорізької області не було значним.

Тому що випадання опадів було плямистим, щільність забруднення радіоцезієм території Запорізької області відрізнялася строкатістю (табл. 2.1).

В Бердянському субрегіоні найбільш забрудненими були сільгоспугіддя Чернігівського району (0,10 Кі/км²). В Бердянському районі щільність забруднення ґрунту залишалася на рівні фонового, в Приморському збільшилося з 0,03 до 0,05 Кі/км²

Таблиця 2.1 – Забруднення радіоцезієм сільгоспугідь Запорізької області

Район	Ґрунти	Щільність забруднення, Кі/км ²		
		1981-1985 рр.	1986 г.	2021 р.
Бердянський субрегіон				
Бердянський	чорноземи звичайні середньогумусні	0,04	0,04	0,02
Приморський	чорноземи південні низькогумусні	0,03	0,05	0,09
Чернігівський	чорноземи південні перехідні до звичайних	0,04	0,10	0,04
Василівський субрегіон				
Василівський	чорноземи південні перехідні до звичайних	0,03	0,07	0,05
К.-Дніпровський	чорноземи південні низькогумусні	0,03	0,04	0,03
Михайлівський	чорноземи південні перехідні до звичайних	0,04	0,09	0,06
Токмакський /західна частина	чорноземи південні перехідні до звичайних	0,04	0,16	0,12
Запорізький субрегіон				
Запорізький	чорнозем звичайний низькогумусний	0,03	0,06	0,03
Вільнянський	чорноземи звичайні середньогумусні	0,04	0,12	0,03
Н-Миколаївський	чорноземи звичайні середньогумусні	0,03	0,06	0,05
Оріхівський	чорноземи звичайні низькогумусні	0,03	0,04	0,04
Мелітопольський субрегіон				
Веселівський	чорноземи південні низькогумусні	0,04	0,07	0,04
Мелітопольський	чорноземи південні низькогумусні та чорноземі південні солонцюваті	0,04	0,08	0,04
Якимівський	темно-каштанові слабо і середньо-солонцюваті	0,05	0,06	0,05
Приазовський	Каштанові середні- та сильносолонцюваті	0,04	0,11	0,04
Пологовський субрегіон				
Пологовський	чорноземи звичайні низькогумусні	0,04	0,10	0,14
Гуляйпольський	чорноземи звичайні низькогумусні	0,04	0,05	0,09
Більмакський	чорноземи звичайні низькогумусні	0,04	0,05	0,16
Токмакський /східна частина	чорноземи південні перехідні до звичайних	0,04	0,16	0,12

У Василівському субрегіоні найбільш забрудненими були ґрунти Токмакського району ($0,16 \text{ Кі/км}^2$), у Кам'яно-Дніпровському районі щільність радіоцезію в ґрунті була на рівні фонового ($0,04 \text{ Кі/км}^2$). У Василівському і Михайлівському районах вона дорівнювала $0,07 \dots 0,09 \text{ Кі/км}^2$.

У Запорізькому субрегіоні в Оріхівському районі забруднення ґрунту залишилося на рівні 1981-1985 років, в Запорізькому і Ново-Миколаївському збільшилося з $0,03$ до $0,06 \text{ Кі/км}^2$, а у Вільнянському до $0,12 \text{ Кі/км}^2$.

У Мелітопольському субрегіоні збільшення щільності забруднення ґрунту радіоцезієм спостерігалось у всіх районах. Найменшим воно було в Якимівському районі ($0,06 \text{ Кі/км}^2$), найбільшим у Приазовському ($0,11 \text{ Кі/км}^2$).

У Пологовському субрегіоні в східній частині Токмакського району спостерігалось найбільше забруднення ґрунтового покриву ($0,16 \text{ Кі/км}^2$), в Пологовському щільність забруднення радіоцезієм збільшилась до $0,10 \text{ Кі/км}^2$ (табл. 2.1). В Гуляйпольському і Більмакському районах залишалось на рівні фонового.

Таблиця 2.2 – Вміст гумусу в ґрунті. Запорізька область

№ п/п	ґрунт	Вміст гумусу, %	
		1986	2021
1	чорноземи звичайні середньогумусні	4,5	3,5
2	чорноземи звичайні низькогумусні	4,0	3,5
3	чорноземи південні перехідні до звичайних	3,5	3,0
4	чорноземи південні низькогумусні	3,0	2,5
5	чорноземи південні солонцюваті	3,0	2,5
6	темно-каштанові слабо і середньосолонцюваті	3,5	3,5
7	каштанові середні та сильно солоцюваті	3,0	2,5

У 2021 році (табл. 2.1), через тридцять п'ять років після аварії, відбувся перерозподіл радіоцезію у профілі ґрунту по всієї області.

У Бердянському субрегіоні (табл. 2.1) у більш забрудненому в рік аварії Чернігівському районі щільність забруднення радіоцезію стала меншою (з 0,10 до 0,04 Кі/км²), а в Приморському районі навпаки більшою (з 0,05 до 0,09 Кі/км²). Зменшилась щільність забруднення і в Бердянському районі (з 0,04 до 0,02 Кі/км²).

У Василівському субрегіоні у всіх районах відмічається зменшення забруднення радіоцезієм ґрунтів (табл. 2.1) У Василівському районі з 0,07 до 0,05 Кі/км², у Кам'янка-Дніпровському до фоновому, в Михайлівському з 0,09 до 0,06 Кі/км², у західній частині Токмацького району з 0,16 до 0,12 Кі/км².

У Запорізькому субрегіоні значне зменшення забруднення радіоцезієм у 2021 році в порівнянні з забрудненням в 1986 році спостерігається у Вільнянському районі (з 0,12 до 0,03 Кі/км²). В Оріхівському районі щільність забруднення радіоцезієм залишилася без змін (табл. 2.1). В Запорізькому і Ново-Миколаївському забруднення зменшилося з 0,06 до 0,03 0,05 Кі/км² відповідно.

У Мелітопольському субрегіоні в Приазовському районі забруднення ґрунту радіоцезієм в 2021 році зменшилося з 0,11 до 0,04 Кі/км², у Веселівському і Мелітопольському районах з 0,07...0,08 до 0,04 Кі/км², а в Якимівському районі – до фоновому (табл.2.1).

У Пологівському субрегіоні у Більмацькому і Гуляйпільському районах у 2021 році щільність забруднення збільшилась з 0,05 до 0,16 і 0,09 Кі/км² відповідно. Збільшилось забруднення радіоцезієм і в Пологовському районі з 0,10 до 0,14 Кі/км². В східній частині Токмацького району забруднення зменшилось (табл. 2.1).

2.2 Оцінка забруднення радіоцезієм поверхневих вод Дніпровського каскаду

Про наслідки радіоактивного забруднення водних екосистем після аварії на ЧАЕС написано дуже багато [2,9]. Дана проблема вивчалася багатьма фахівцями різних організацій.

До аварії на Чорнобильській АЕС основним джерелом радіаційного забруднення ґрунтів і поверхневих вод були радіонукліди вибухового походження, накопичені в атмосфері. Радіоактивне забруднення ґрунтів було зумовлене практично повністю багаторічним накопиченням ^{137}Cs і ^{90}Sr , які випадали з атмосфери, а забруднення поверхневих вод цими радіонуклідами визначалось їх змивом у водні об'єкти з поверхні водозборів [2].

На ранньому етапі формування аварійного викиду радіоактивного забруднення зазнали значні водозбірні території в басейні р. Дніпро, а також інші водні об'єкти, вода яких використовується в системі водопостачання й водокористування із дніпровських водоймищ. Найбільшого впливу радіоактивного забруднення зазнали водозбірні й заплавні території р. Прип'ять у близькій зоні ЧАЕС. На цій території сформувався найбільш забруднений слід стронцієвих випадінь. Саме тому заплавні території річки на довгі роки стали одним з головних вторинних джерел радіоактивного забруднення дніпровської водної системи.

Незважаючи на те, що моніторинг забруднення проводився вже у перші дні після аварії, ясна картина про масштаби й структуру радіоактивного забруднення територій як основних вторинних джерел забруднення поверхневих вод була отримана тільки через багато місяців після викиду. У той період було практично неможливо впливати на забруднення водних систем. Початковий період після аварії на ЧАЕС в 1986 р. характеризувався широким спектром радіонуклідів у воді й особливо так званими короткоживучими нуклідами, які й сформували основну дозу опромінення людей у той період [9].

Починаючи з осені 1986 р., процес формування радіоактивного забруднення вступив у тривалу фазу вторинних ефектів забруднення води річок і водоймищ за рахунок процесів змиву радіоактивності з поверхні водозборів, заплав річок і інфільтраційних стоків. Підземні стоки не виявляли істотного внеску в забруднення річок у порівнянні із процесами змиву й вторинного обміну вод із забрудненими донними відкладеннями.

Після 1987 р. у складі радіоактивного забруднення стали переважати ^{137}Cs і ^{90}Sr . З 1991 р. винос ^{90}Sr за межі зони відчуження ЧАЕС став збільшуватися, роль же цезієвої компоненти в балансі радіоактивних стоків у дніпровські водоймища поступово зменшувалося [9].

Формування рівнів радіоактивного забруднення дніпровських водоймищ відбувалося під впливом двох процесів: за рахунок річкового припливу (причому, чим вище була водність сезону або року, тим більше кількість радіонуклідів виносилася в річки), природними процесами самоочищення водної системи.

Час добігання забруднених вод, змитих із заплави річки до нижніх водоймищ каскаду, становить від 5 до 7 місяців залежно від водності й особливостей регулювання в дніпровському каскаді. Водоймища Дніпра стали своєрідним буфером та ємністю, що акумулює радіонукліди ^{137}Cs . Цей радіонуклід добре сорбується на часточках річкових наносів, значна частина яких осаджується у водоймищах як природних відстійниках. Багаторазове очищення дніпровських вод по шляху їх протікання із зони ЧАЕС до гирлової області стало результатом прояву процесів сорбції радіонуклідів на частках суспензій і їх виведення в дно в процесі седиментації. Так, більш 97% загального припливу ^{137}Cs у дніпровських водоймищах акумульоване в донних відкладеннях каскаду. Більша частина цезію-137 і інших радіонуклідів осіла на дно Київського водоймища [9].

Радіоекологічна ситуація в дніпровських водоймищах стабілізувалася й у цей час не викликає яких-небудь серйозних побоювань із погляду радіаційної безпеки [2,9].

У роки з високим повіддям найбільш забруднені заплавні території зони ЧАЕС можуть затоплюватися й здобувати функції джерела формування радіоактивних стоків у річку.

В останні роки вміст ^{90}Sr і ^{137}Cs у водосховищах Дніпровського каскаду, незважаючи на коливання водності та особливості сезонного розподілу річкового стоку, характеризується відносною стабільністю незначним трендом до зниження, на що, у першу чергу, впливають водозахисні заходи, які проводяться у зоні відчуження і природні процеси самоочищення водних мас. Незважаючи на сталу тенденцію до зменшення забруднення, в окремі роки та сезони можливі значні коливання концентрацій радіонуклідів внаслідок ускладнення радіаційної ситуації на водних об'єктах зоні відчуження під час проходження високих весняних повеней, дощових паводків тощо [2].

3 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ РАДІОЦЕЗІЄМ УРОЖАЮ СОНЯШНИКА В УМОВАХ ЗРОШЕННЯ ВОДАМИ ВОДОСХОВИЩ ДНІПРОВСЬКОГО КАСКАДУ

Моделювання перенесення радіонуклідів у сільськогосподарських екосистемах виконується в роботі на основі модифікованої математичної моделі ECOSYS-87, запропонованої Muller та Prohl [23], модифікованій А.М. Польовим, розробленої для оцінки забруднення сільськогосподарських продуктів за умов використання радіоактивно забруднених джерел води для поливного землеробства [24].

Дослідження проводились на основі агрокліматичних даних [1] та даних обстежень радіоактивного забруднення [4] всіх сільгоспугідь Запорізької області, куди увійшли сільгоспугіддя, які знаходяться у зоні зрошення водами Дніпровського каскаду.

Параметри моделі оптимізовані для посівів соняшнику, урожаю насіння та продукту його переробки (олії) в умовах забруднення радіоцезієм ґрунтового покриву та зрошувальних вод.

Накопичення радіонуклідів у рослинах на зрошуваних землях моделюється з урахуванням кореневого надходження радіонуклідів, що надійшли до у ґрунту внаслідок первинних випадінь чорнобильського і дочорнобильського походження радіонуклідів, які привносяться у ґрунт при поливі забрудненої водою, і навіть при безпосередньому надходженні води з листя.

Активність радіонуклідів у продуктах переробки розраховується з урахуванням зміни активності під час його приготування.

Структура моделі визначається біологічними уявленнями про зростання та розвиток культурних рослин; закономірностями формування кліматичного режиму та ґрунтоутворюючих процесів та їх вплив на продуктивність та якість урожаю. Модель має блочну структуру: блок

вхідної інформації, блок моделювання динаміки площі листя, блок моделювання динаміки біомаси рослин, блок динаміки накопичення радіонуклідів, як за рахунок кореневого поглинання, так і за рахунок надходження радіонуклідів через листя, окремо моделюються процеси накопичення радіонуклідів у загальній масі рослин та у господарсько-корисній частині, блок формування активності радіонукліду у продуктах переробки замикає ланцюжок міграції радіонуклідів у системі «вода - ґрунт - рослина - продукт», блок агрохімічних заходів проти забруднення ґрунту радіонуклідами [6].

3.1 Методика виконання розрахунків за моделлю ECOSYS-87 [7]

Для виконання розрахунків за допомогою моделі необхідно підготувати чотири групи даних:

- 1) опис географічного пункту (метеорологічної станції), для якого виконується розрахунок;
- 2) середня багаторічна агрометеорологічна інформація;
- 3) агроекологічна інформація конкретного року;
- 4) параметри моделі.

Опис географічного пункту (метеорологічної станції). До складу цієї групи входять: φ – географічна широта географічного пункту (метеорологічної станції), дається в градусах з десятими; $W_{\text{нв}}$ – найменша вологоємність орного шару ґрунту.

Середня багаторічна агрометеорологічна інформація. До складу цієї групи входять: n – кількість розрахункових декад від сходів (відновлення вегетації) до воскової стиглості (дозрівання); np – кількість днів у кожній розрахунковій декаді.

Щодекадні метеорологічні та агрометеорологічні дані за весь період вегетації: t_s – середня за декаду температура повітря; $W(0)$ – запаси продуктивної вологи у 0–20 см шарі ґрунту.

Агроекологічна інформація конкретного року: час від вегетаційного поливу до збору врожаю; норма вегетаційного поливу; концентрація цезію-137 у воді, Бк/дм³; час від сухого випадіння до збору урожаю; концентрація активності в повітрі [7].

Параметри моделі. До складу цієї групи входять наступні характеристики: сума ефективних температур за весь вегетаційний період; сума ефективних температур (час максимуму 1); сума ефективних температур (час максимуму 2); максимальна площа листкової поверхні; біологічний нуль культури, для якої ведеться розрахунок; швидкість утрати активності радіонукліда за рахунок погодних умов; константа радіоактивного розпаду; урожайність всієї сирової маси с.-г. культур та господарсько-корисної його частини; утримання активності радіонукліда в ґрунті на початок вегетаційного періоду; коефіцієнти розподілу та накопичення радіонуклідів в ґрунті та рослині; коефіцієнти зміни активності радіонуклідів в продуктах переробки; параметри ґрунту (вміст гумусу, кислотність, вміст рухомого калію); дози внесених в ґрунт добрив та вапна.

Введення вхідної інформації для виконання розрахунків на ПЕОМ: для моделювання забруднення радіонуклідами урожаю сільськогосподарських культур та продуктів їх переробки створено модель активності радіонукліду в системі вода-ґрунт-рослина-продукт «ЕСPLANT-87». Виконуючий розрахунки файл носить назву "есplant.exe". Програма знаходиться у фонді алгоритмів та програм кафедри агрометеорології та агроекології ОДЕКУ. Для виконання розрахунків для кожного географічного станції (області) на ПЕОМ створюється файл даних. Файлу даних, якій вводиться, надається ім'я «есplant. dat» [7].

Порядок підготовки файлу даних:

Перший рядок складається з чотирьох чисел:

- 1) назва пункту, пишеться буквами, починаючи з другої позиції;
- 2) рік складання розрахунку , пишеться дві останні цифри року через одну позицію після назви пункту;

- 3) дата розрахунку, пишеться цифрами через одну позицію після року;
- 4) місяць розрахунку, пишеться цифрами через одну позицію після дати.

Другий рядок складається з одного числа: n – кількість розрахункових декад, число ціле, записується в трьох позиціях.

Третій рядок: ts – масив середньодекадних температур повітря, число ціле, в шести позиціях з одним знаком після коми.

Четвертий рядок: $W(0)$ – масив запасів продуктивної вологи у орному шарі ґрунту, число ціле, в шести позиціях з одним знаком після коми.

П'ятий рядок: dv – масив кількості днів в розрахункових декадах. число ціле, в трьох позиціях.

Шостий рядок: dvr – масив часу вегетаційного поливу до збору врожаю, в трьох позиціях.

Сьомий рядок: $pnor$ - норма вегетаційного поливу;

Восьмий рядок: Cw – концентрація радіонукліду у воді;

Дев'ятий рядок: $dvdry$ – час сухого випадіння до збору урожаю;

Десятий рядок: $CAdry$ – концентрація активності радіонуклідів в повітрі;

Одинадцятий рядок – інформаційний масив (масив "sol") [7]. Містить тридцять шість чисел, кожне число кодується у дев'яті позиціях з шістьма знаками після коми: sol (1) – сума ефективних температур більш біологічного мінімуму від початку до кінця вегетації, °C; sol (2) – сума ефективних температур (час максимуму 1), °C; sol (3) – сума ефективних температур (час максимуму 2) °C; sol (4) – максимальна площа листкової поверхні (m^2/m^2);

sol (5) – біологічний нуль культури, для якої ведеться розрахунок, °C;

sol (6) – ефективне утримання води, (S), мм; sol (7) – швидкість втрати активності радіонукліда за рахунок погодних умов, (λ_w), 1/доб.;

sol (8) – константа радіоактивного розпаду (λ_r), 1/доб.;

sol (9) – урожай всієї сирової біомаси рослин (Y_i), kg/m^2 ; sol (10) – урожай господарсько-корисної частини (зерно, насіння, плоди) біомаси рослин (Y_{xi}), kg/m^2 ;

sol (11) – утримання активності радіонукліду в ґрунті на начало вегетаційного періоду, Ki/km^2 ; sol (12) – швидкість фіксації радіонукліду в ґрунті, (λ_f) 1/доб.; sol (13) – швидкість просочування води в ґрунті, (v_a) м/рік; sol (14) – глибина прикореневого орного шару ґрунту, (L_{pax}) м; sol (15) – щільність прикореневого орного шару ґрунту, (δ) kg/m^3 ; sol (16) – середні за вегетаційний період запаси вологи в прикореновому орному шарі ґрунту, (θ) , мм;

sol (17) – коефіцієнт розподілу, (K_d) cm^3/g ; sol (18) – коефіцієнт накопичення ґрунт-рослина, (TF) від. од.; sol (19) – тривалість вегетаційного періоду, доби; sol (20) – середній коефіцієнт переходу радіонукліду з води в рослину, (T_i) Бк/кг сирої маси/ Бк/м² угіддя; sol (21) – максимальна швидкість осадження $(v_{g\ max})$ м/с; sol (22) – коефіцієнт зміни активності радіонукліду при виготовленні продукту 1, (P_{k1}) ; sol (23) – термін зберігання продукту 1, (t_{pk}) доба;

sol (24) – коефіцієнт зміни активності радіонукліду при виготовленні продукту 2, (P_{k2}) ; sol (25) – термін зберігання продукту 2, (t_{pk}) доба; sol (26) – коефіцієнт зміни активності радіонукліду при виготовленні продукту 3, (P_{k3}) ; sol (27) – термін зберігання продукту 3, (t_{pk}) доба; sol (28) – коефіцієнт зміни активності радіонукліду при виготовленні продукту 4, (P_{k4}) ; sol (29) – термін зберігання продукту 4, (t_{pk}) доба; sol (30) – вхідний вміст калію в ґрунті, мг/100 г ґрунту; sol (31) – доза внесення калійних добрив, кг/га д.р.; sol (32) – внесення вапна; sol (33) – найменша польова вологоємність у шарі ґрунту 0-20см;

sol (34) – коефіцієнт співвідношення накопичення радіонукліду в господарсько-корисній частині до накопичення в загальній біомасі врожаю; sol (35) – рН сольовий витяжці з ґрунтового розчину, рН; sol (36) – вміст гумусу в ґрунті, % [7]

3.2 Моделювання забруднення радіоцезієм посівів соняшнику в Запорізькій області

Радіоактивне забруднення продукції рослинництва в результаті аварії на Чорнобильській АЕС. Після припинення випадання радіоактивних опадів з атмосфери (з 1987 року), основним джерелом забруднення сільськогосподарської продукції є ґрунти, основними радіонуклідами, які приводять до радіоактивного забруднення сільськогосподарської продукції є радіоцезій (^{137}Cs) і радіостронцій (^{90}Sr). Тому що дані радіонукліди мають великий період напіврозпаду (28...30 років), вони також мають високу міграційну здатність в системі «ґрунт – рослина – тварина – людина» і здатні в значних кількостях накопичуватися в сільськогосподарській продукції та надходити в організм людини [14].

Слід також відмітити, що на забруднених у результаті аварії на ЧАЕС територіях у радіоактивних випадіннях переважає ^{137}Cs . В Україні на кожні 10 га сільгоспугідь припадає 2 га забруднених радіоцезієм.

Для оцінки накопичення радіонукліда в урожаї при різній щільності забруднення ґрунту використовується коефіцієнт переходу (КП), який являє собою вміст радіонукліда в даній рослині або частині рослини при щільності забруднення ґрунту рівній одиниці.

Досліджено, що для стронцію-90 основним фактором, що визначає різні рівні накопичення його в урожаї однієї й тієї ж культури є вміст у ґрунті обмінного кальцію (Ca), тобто співвідношення радіостронцію і його носія в ґрунтах, для надходження цезію-137 у рослини поряд із впливом співвідношення радіоцезію й обмінного калію (K) в ґрунтах таке ж або навіть більший вплив можуть виявляти інші фактори [14].

Встановлено, що кислотність ґрунтового розчину сприяє збільшенню рухливості радіоцезію в ґрунтах, яка підвищує його біологічну доступність та збільшує накопичення в рослинах. Надходження радіоцезію у рослини залежить і від ряду вмісту гумусу в ґрунті, від кліматичних (погодних) умов.

Рівні радіоактивного забруднення продукції рослинництва в значній мірі залежать від біологічних особливостей культур, які вирощуються на забруднених сільськогосподарських угіддях [14].

Адміністративно-територіальний устрій Запорізької області. До 12 червня 2020 року в Запорізькій області було 20 районів (рис. 3.1 А). 12 червня 2020 року на засіданні Верховної ради України затверджено нові райони [15]. Замість 20 районів створено 5: Запорізький, Бердянський, Василівський, Мелітопольський та Пологівський з відповідними адміністративними центрами (рис. 3.1 Б).

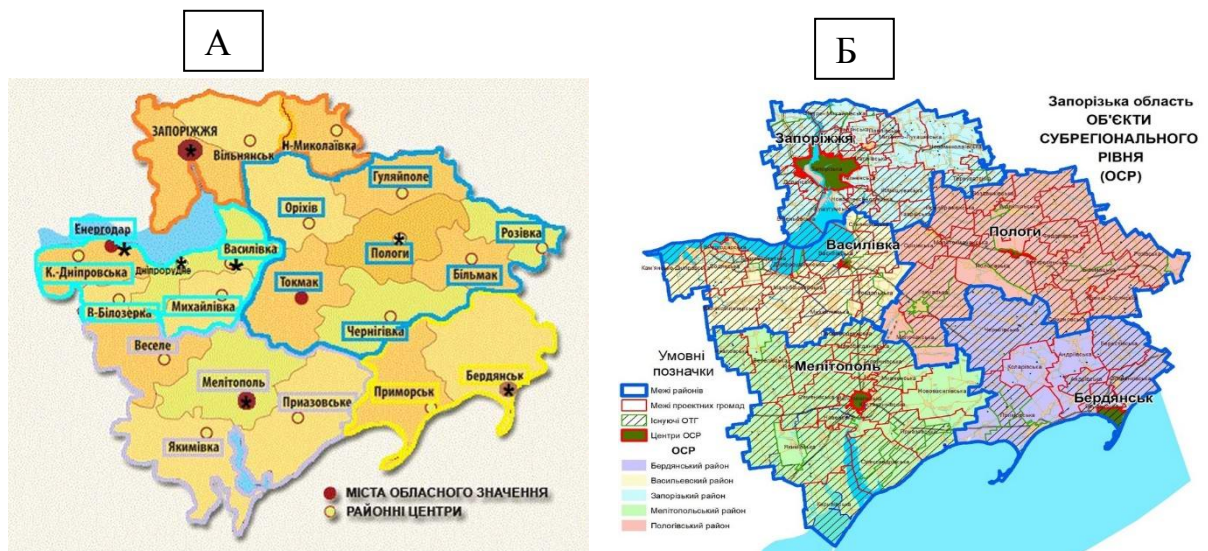


Рисунок 3.1 – Адміністративно-територіальний устрій Запорізької області: А) до 12 червня 2020 року; Б) після 12 червня 2020 року.

3.2.1 Моделювання та оцінка забруднення радіоцезієм посівів соняшнику в 1986 і 2021 рр.

Вивчення накопичення радіоцезію в посівах та продуктах харчування (соняшникове насіння та олії) на сільськогосподарських угіддях Запоріжжя проводилося за допомогою динамічної математичної моделі радіоактивного забруднення продукції рослинництва в умовах зрошення, ECOSYS-87 [6].

Вплив екологічних факторів на ріст та розвиток соняшника (*Helianthus annuus*). Математичне моделювання накопичення радіонуклідів у рослинах неможливе без моделювання динаміки росту та розвитку культур, тому нами за допомогою моделі ECOSYS-87 було виконано розрахунки формування продуктивності посівів соняшнику на сільськогосподарських угіддях на досліджуваній території. У процесі росту і розвитку рослини формують окремі вегетативні органи: корені, стебла, листя і плоди, в сумі вони складають загальну вегетативну масу. Частина вегетативної маси, що є продуктом харчування людини або тварин має назву господарсько-корисна частина рослин (зерно, насіння, плоди, коренеплоди і т.д.). Продуктивність сільськогосподарських рослин залежить від асиміляційної поверхні. Чим більше площа листя, тим вище продуктивність сільськогосподарських культур і навпаки.

Кількісні показники росту, розвитку і формування врожаю рослинницької продукції залежить від екологічних факторів основними з яких є тепло та волога.

Одним з важливих етапів роботи з моделлю було оптимізувати параметри моделі для розрахунків продуктивності посівів. В процесі роботи були отримані основні агроекологічні показники: тривалість вегетаційного періоду, сума ефективних температур, норма вегетаційних поливів та їх кількість.

Встановлено, що тривалість вегетаційного періоду соняшнику становить 126 днів, на період сходів накопичується 145°C ефективних температур, для настання фази утворення суцвіть необхідна сума ефективних температур 730°C , а для цвітіння – 1035°C . На кінець вегетаційного періоду сума ефективних температур становить 1440°C . Умови оптимального зволоження в орному шарі ґрунту (НВ – 45 мм) підтримуються нормами поливу рівними $500 \text{ м}^3/\text{га}$ протягом усього вегетаційного періоду. Поливи даються в декади основних фаз розвитку: посів, сходи, утворення суцвіть та цвітіння. Період утворення суцвіть - цвітіння для соняшника є

критичним періодом по відношенню до вологи. Останні дві декади поливи не проводяться. Загальна зрошувальна норма становила $2500 \text{ м}^3/\text{га}$. Загальна кількість поливів дорівнює 5.

В результаті чисельних розрахунків за моделлю для посівів соняшнику отримані характеристики росту та розвитку посівів соняшнику: загальна біомаса і біомаса насіння, та площа листя (рис. 3.2, табл.). В середньому по області вегетаційний період від сходів до досягання триває 112 днів. За цей період формування площі листя має таку динаміку (рис. 3.2): перші дві декади вегетації листя має повільний ріст, з третій по п'яту декаду спостерігається найбільш інтенсивний ріст, далі їде наростання площі і максимум її припадає на 8 декаду вегетації ($6,93 \text{ м}^2/\text{м}^2$), в цей період починаються створюватися суцвіття. З цього моменту площа листя зменшується за рахунок усихання нижнього листя.

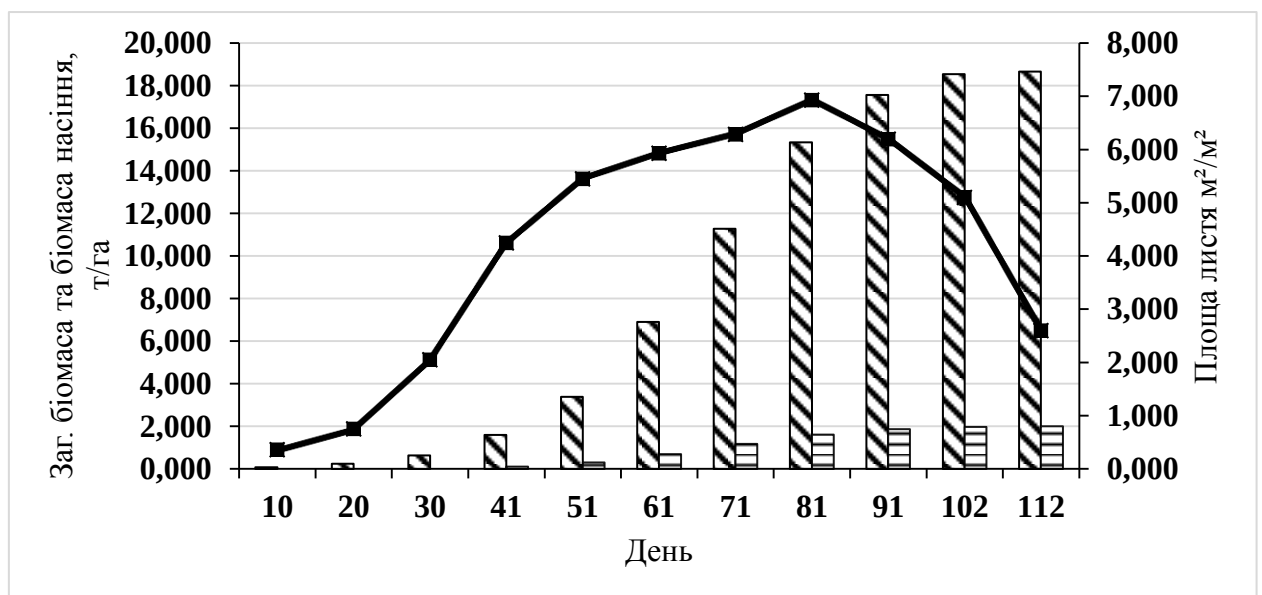


Рисунок 3.2 – Динаміка формування площі листя (LAI) та накопичення загальної біомаси (M) і біомаси насіння (m_p) посівів соняшнику. Запорізька область. 2021 рік.

Фотосинтетичний апарат, що сформувався за період від сходів до досягання, визначив динаміку накопичення загальної біомаси (коренів, стебел, листя, суцвіть та насіння). За цей період загальна біомаса зростає від

0,075 т/га до 18,67 т/га. Максимальні прирости загальної біомаси спостерігаються у 6 і 7 декадах вегетації. В цей період їде інтенсивне формування всіх вегетативних органів. Після настання фази цвітіння інтенсивність приросту вегетативних органів знижується, починається перетік органічних речовин в генеративні органи (суцвіття та насіння), тобто їде формування врожаю насіння. Максимальні прирости спостерігаються в 7-ій і 8-ій декадах і дорівнюють 0,5 т/га. У наступні декади приріст маси насіння зменшується. У цей період формується якість насіння (олійність).

Наслідки забруднення рослин радіонуклідами. Забруднення рослин триває досить довгий період часу, оскільки ґрунт досить міцно утримує радіонукліди. Тому забруднений ґрунт слід вважати основним джерелом радіонуклідів, що потрапляють у харчові ланцюги. Велику небезпеку являють собою стронцій-90 та цезій-137, що можуть накопичуватись і тривалий час зберігатися у ґрунтах.

Маючи подібні хімічні властивості до кальцію і калію, стронцій- 90 та цезій-137 інтенсивно поглинаються рослинами. Потім з продуктами рослинного чи тваринного походження вони потрапляють до людського організму, де стронцій накопичується в кісткових, цезій – у м'язових тканинах. Маючи період напіврозпаду відповідно 28,6 та 30,2 року, радіонукліди тривалий час зберігаються в зараженому організмі і нерідко накопичуються в кількостях, що спричиняють шкоду здоров'ю людини.

У людей, які проживають на забруднених територіях, спостерігається цілковита жіноча та часткова чоловіча стерильність, збільшується кількість хворих на лейкоз і рак, підвищується смертність [14].

Забруднення радіоцезієм посівів соняшника. В розділі 2 ми вже відзначали, що в Україні з 10 га сільськогосподарських земель 2 га забруднені радіоцезієм. Тому в роботі виконані чисельні розрахунки забруднення посівів соняшника саме радіоцезієм.

Розрахунки і в 1986, і 2021 роках проводилися по районах, що були до 2020 року. Після 2020 року на Запоріжжі, як і по всій країні, було створено новий адміністративно-територіальний устрій і на даний час утворено п'ять адміністративних субрегіонів (районів) [15]: Бердянський, Василівський, Запорізький, Мелітопольський і Пологовський.

У Бердянський субрегіон входять сільгоспугіддя Чернігівського, Приморського і Бердянського районів (тал. 3.1). Бердянський район має в своєму розпорядженні чорноземи звичайні середньогумусні, які за вмістом гумусу є кращі ніж ґрунти Чернігівського і Приморського районів. Щільність забруднення на чорноземах звичайних середньогумусних була найменшою і в рік аварії і через 35 років після неї. Найбільш забрудненими були чорноземи південні низькогумусні.

Таблиця 3.1 – Забруднення радіоцезієм посівів соняшнику в Бердянському субрегіоні Запорізької області

Район	Рік	Щільність забруднення ґрунту, Кі/км ²	Вміст гумусу, %	Концентрація цезію-137 в загальній біомасі, Бк/кг
Бердянський (БЗ)	1986	0,04	4,5 (1)	0,35
	2021	0,02	3,5 (1)	0,26
Приморський (БЗ)	1986	0,05	3,0 (4)	0,78
	2021	0,09	2,5 (4)	1,64
Чернігівський (БЗ)	1986	0,10	3,5 (3)	1,28
	2021	0,04	3,0 (3)	0,63
Середнє	1986	0,06	3,7	0,80
	2021	0,05	3,0	0,84

Примітка: 1 – чорноземи звичайні середньогумусні; 3 – чорноземи південні перехідні до звичайних; 4 – чорноземи південні низькогумусні; БЗ – сільгоспугіддя без зрошення.

Розрахунки забруднення радіоцезієм загальної маси показали (табл. 3.1), що найбільша його концентрація спостерігається в посівах, що

виросли також в Приморському і Чернігівському районах. В середньому по Бердянському району в 1986 і 2021 роках щільність забруднення радіоцезієм була низькою, отже забруднення посівів також не уявляло небезпеки.

Слід зазначити, що в Бердянському субрегіоні соняшник вирощується на богарі.

У Василівському субрегіоні сільгоспугіддя чотирьох районів (табл. 3.2) зрошуються водами Каховського водосховища Дніпровського каскаду. Ґрунти в даному субрегіоні переважно чорноземи південні перехідні до звичайних, тому вони також є низькогумусними.

Таблиця 3.2 – Забруднення радіоцезієм посівів соняшнику у Василівському субрегіоні Запорізької області

Район	Рік	Щільність забруднення ґрунту, Кі/км ²	Вміст гумусу, %	Концентрація цезію-137 в загальній біомасі, Бк/кг
Василівський (ЗК)	1986	0,07	3,5(3)	39,80
	2021	0,05	3,0(3)	21,67
К.-Дніпровський (ЗК)	1986	0,04	3,0(4)	41,65
	2021	0,03	2,5(4)	22,33
Михайлівський (ЗК)	1986	0,09	3,5(3)	40,05
	2021	0,06	3,0(3)	21,83
Токмакський (ЗК)/ західна частина	1986	0,16	3,5(3)	40,95
	2021	0,12	3,0(3)	22,77
Середнє	1986	0,09	3,4	40,61
	2021	0,07	2,9	22,15

Примітка: 3 – чорноземи південні перехідні до звичайних; 4 – чорноземи південні низькогумусні; ЗК – зрошення з Каховського водосховища

Розрахунки показали, що при вирощуванні соняшнику на зрошуваних з Каховського водосховища землях, активність радіоцезію в посівах в

порівнянні з вирощуванням на богарі зростає. Якщо у Бердянському районі концентрація радіоцезію в 1986 році становила 0,35...1,28 Бк/кг, а в 2021 році 0,26...0,63 Бк/кг (табл. 3.1), то у Василівському районі активність його зростає до 39,80...41,65 (1986 рік) Бк/кг і 21,67...22,77 Бк/кг (2021 рік). Активність радіоцезію в посівах зростає за рахунок його накопичення рослинами протягом вегетації, який надходить не тільки з ґрунту, а й зі зрошувальних вод (тал. 3.2).

Слід зазначити, що у Василівському субрегіоні посіви соняшника зрошуються водами Каховського водосховища, концентрація радіоцезію в якому в 1986 році становила 0,20 Бк/дм³, у 2021 році вона знизилась до 0,10 Бк/дм³. Кожний вегетаційний полив супроводжується зростанням концентрації радіоцезію в біомасі соняшника.

В Запорізькому субрегіоні зрошення сільгоспугідь проводилось з Дніпровського та Каховського водосховищ. Концентрація радіоцезію в Дніпровському водосховищі на сезон зрошення в 1986 році була 0,37 Бк/дм³, в 2021 році знизилась до 0,27 Бк/дм³. Концентрація радіоцезію в Каховському водосховищі описана вище.

Тому, що сумарний вплив забруднення радіоцезієм посівів соняшнику більшою мірою залежить від забруднення зрошувальними водами, розглянемо як впливають зрошувальні води Дніпровського і Каховського водосховищ на активність накопичення його в біомасі.

Розрахунки показали, що при зрошенні посівів соняшника водами Каховського водосховища в 1986 році активність накопичення в загальній біомасі становила 36,47...36,90 Бк/кг, при зрошенні водами Дніпровського водосховища концентрація радіоцезію зростала майже в 2 рази. У 2021 році забруднення радіоцезієм вод стало менше і концентрація його в посіві зменшилася, але Н-Миколаївському і Оріхівському районах активність радіоцезію була вищою за активність його в Запорізькому і Вільнянському районах (табл. 3.3).

Слід зазначити, що на концентрацію радіоцезію в рослинах соняшника впливає також вміст гумусу в ґрунті. Порівняльний аналіз посівів соняшника, що вирощувались (табл. 3.2) на чорноземах південних перехідних до звичайних і чорноземах південних низькогумусних активність накопичення радіоцезію в загальній біомасі була вищою за активність його накопичення в загальній біомасі соняшника, що вирощувався на чорноземах звичайних середньо - та низькогумусних (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Забруднення радіоцезієм посівів соняшнику у Запорізькому субрегіоні Запорізької області

Район	Рік	Щільність забруднення ґрунту, Кі/км ²	Вміст гумусу, %	Концентрація цезію-137 в загальній біомасі, Бк/кг
Запорізький (ЗК)	1986	0,06	4,0(2)	36,47
	2021	0,03	3,5(2)	20,21
Вільнянський (ЗК)	1986	0,12	4,5(1)	36,99
	2021	0,03	3,5(1)	20,21
Середнє	1986	0,09	4,3	36,73
	2021	0,03	3,5	20,21
Н-Миколаївський (ЗД)	1986	0,06	4,5(1)	66,39
	2021	0,05	3,5(1)	52,89
Оріхівський (ЗД)	1986	0,04	4,0(2)	66,21
	2021	0,04	3,5(2)	55,74
Середнє	1986	0,05	4,3	66,30
	2021	0,05	3,5	54,32
Середнє	1986	0,07	4,3	51,52
	2021	0,04	3,5	37,26

Примітка: 1 – чорноземи звичайні середньогумусні; 2 – чорноземи звичайні низькогумусні; ЗК – зрошення з Каховського водосховища; ЗД – зрошення з Дніпровського водосховища.

Забруднення радіоцезієм посівів соняшнику в Мелітопольському субрегіоні наведені в таблиці 3.4. В даному субрегіоні соняшник вирощувався на зрошенні у Веселівському, Мелітопольському та Якимівському районах (табл. 3.4). У Приазовському районі зрошення немає. Для Мелітопольського району характерними ґрунтами є низькогумусні південні чорноземи та темно-каштанові і каштанові ґрунти.

Таблиця 3.4 – Забруднення радіоцезієм посівів соняшнику у Мелітопольському субрегіоні Запорізької області

Район	Рік	Щільність забруднення ґрунту, Кі/км ²	Вміст гумусу, %	Концентрація цезію-137 в загальній біомасі, Бк/кг
Веселівський (ЗК)	1986	0,07	3,0(4)	42,12
	2021	0,04	2,5(4)	22,52
Мелітопольський (ЗК)	1986	0,08	3,0(4)	42,28
	2021	0,04	2,5(4)	22,52
Якимівський (ЗК)	1986	0,06	3,5(6)	39,67
	2021	0,05	3,0(6)	21,67
Середнє	1986	0,07	3,0	41,36
	2021	0,04	2,5	22,24
Приазовський (БЗ)	1986	0,11	3,0(7)	2,48
	2021	0,04	2,5(7)	1,48

Примітка: 4 – чорноземи південні низькогумусні; 6 – темно-каштанові слабо і середньосолонцюваті; 7 – каштанові середні та сильно солоцюваті.; БЗ – сільгоспугіддя без зрошення; ЗК – зрошення з Каховського водосховища.

В районах зрошення забруднення радіоцезієм посівів у 1986 році становило 39,67...42,28 Бк/кг, в Приазовському 2,48 Бк/кг. В 2021 році активність накопичення радіоцезія знижувалась і знаходилась в районах зрошення в межах 21,67...22,52 Бк/кг (табл. 3.4), а в районі без зрошення активність радіоцезію дорівнювала 1,48 Бк/га, яка в десятки разів є меншою в порівнянні з концентрацією його в посівах, що вирощувались на зрошенні.

Розрахунки забруднення радіоцезієм посівів соняшника у Пологовському субрегіоні наведені в таблиці 3.5. В даному районі соняшник вирощується на богарі. Ґрунти району представлені чорноземами південними, що переходять до звичайних і чорноземами південними низькогумусними.

В 1986 році при середній щільності забруднення ґрунту $0,09 \text{ Кі/км}^2$ активність накопичення радіоцезія рослинами була в межах $1,19 \dots 2,81 \text{ Бк/кг}$. Найбільш забруднені були ґрунти у Токмацькому районі ($0,16 \text{ Кі/км}^2$), тому й активність накопичення радіоцезію посівами була більшою ($2,81 \text{ Бк/кг}$). Найменш забрудненими були ґрунти в Гуляйпільському та Більмакському районах ($0,05 \text{ Кі/км}^2$), забруднення посівів становило $1,19 \text{ Бк/кг}$. За рахунок міграції радіоцезію по профілю ґрунту в 2021 році щільність забруднення стала більшою ($0,13 \text{ Кі/км}^2$), що призвело до зростання його концентрації в загальній біомасі ($2,17 \dots 3,27 \text{ Бк/кг}$).

Таблиця 3.5 – Забруднення радіоцезієм посівів соняшнику у Пологовському субрегіоні Запорізької області

Район	Рік	Щільність забруднення ґрунту, Кі/км^2	Вміст гумусу, %	Концентрація цезію-137 в загальній біомасі, Бк/кг
Пологовський (БЗ)	1986	0,10	4,0 (4)	1,63
	2021	0,14	3,0(4)	2,96
Гуляйпольський (БЗ)	1986	0,05	4,0(4)	1,19
	2021	0,09	3,0(4)	2,17
Більмакський (БЗ)	1986	0,05	4,0(4)	1,19
	2021	0,16	3,0(4)	3,27
Токмакський (БЗ)/ східна частина	1986	0,16	3,5(3)	2,81
	2021	0,12	3,0(3)	2,64
Середнє	1986	0,09	4,0	1,71
	2021	0,13	3,0	2,76

Примітка: 3 – чорноземи південні перехідні до звичайних; 4 – чорноземи південні низькогумусні; ¹ – сільгоспугіддя без зрошення.

Таким чином, як у 1986 , так і в 2021 роках найбільш забрудненими радіоцезієм були посіви соняшнику в Н-Миколаївському і Оріхівському районах Запорізького субрегіону (рис. 3.3). Найменш забрудненими були посіви соняшнику, що вирощувались у Бердянському субрегіоні.

Слід зазначити, що у всіх субрегіонах і районах Запорізької області забруднення радіоцезієм загальної біомаси соняшнику в рік аварії було значно менше тимчасово допустимого рівня (ТДР), через 35 років після аварії концентрація радіоцезію в посівах соняшника залишалася також менше ТДР.

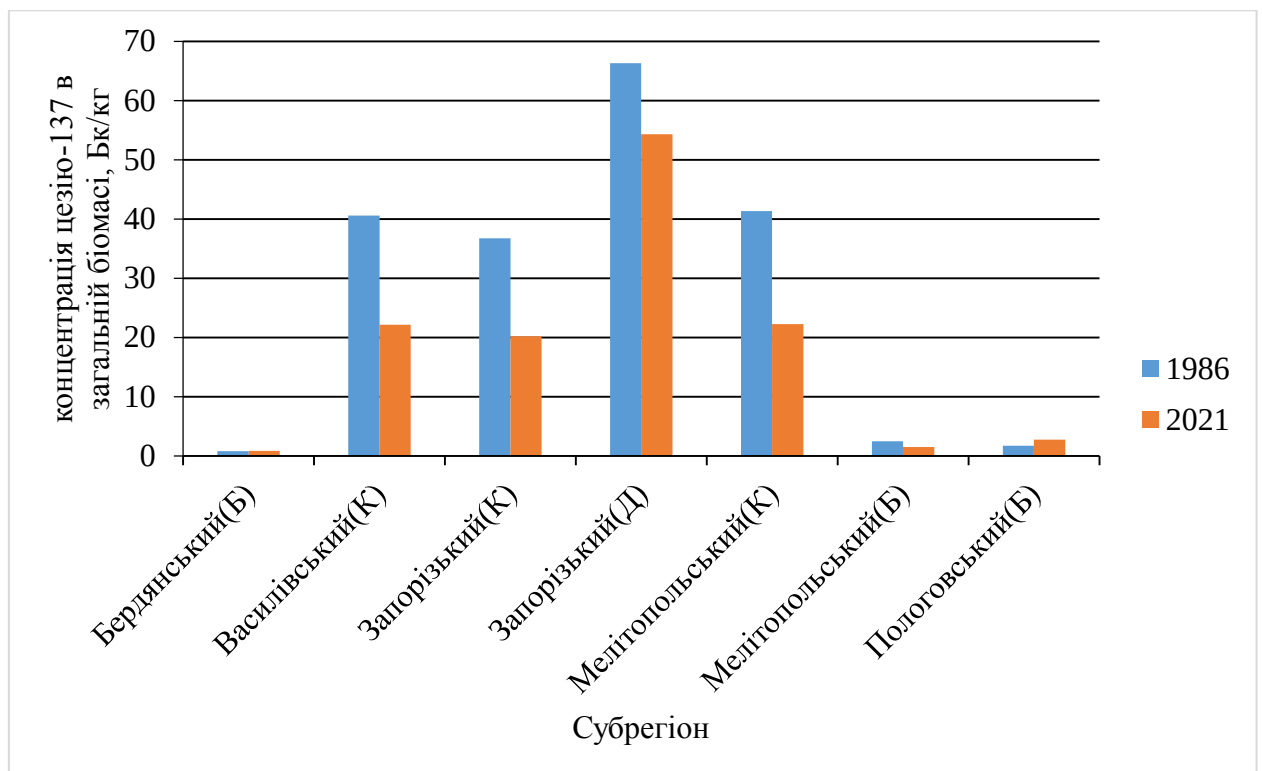


Рисунок 3.3 – Залежність забруднення радіоцезієм посівів соняшника (Бк/кг) від забруднення ґрунту (Кі/км^2) і зрошувальних вод (Бк/дм^3) в Запорізькій області

3.2.2 Моделювання та прогноз забруднення радіоцезієм посівів соняшнику в Запорізькій області за сценарієм ЧАЕС-86

Чим небезпечна можлива аварія на Запорізькій АЕС. У ніч проти 4 березня 2022 року на території Запорізької атомної електростанції точилися

важкі бої із застосуванням артилерійської зброї. В результаті було пошкоджено будівлю реакторного відділення енергоблоку №1 та будівлю навчально-тренувального центру; ще два снаряди потрапили до району розміщення майданчика сухого сховища відпрацьованого ядерного палива. Поки що, за даними МАГАТЕ, викиду радіації не відбулося – зміни радіаційного стану в Запорізькій області не зафіксовано.

Наші електростанції, що є стійкими до різних зовнішніх впливів: вони можуть витримати найсильніші з можливих на цій території землетруси, навіть такі лиха, як смерчі. Навіть можуть витримати падіння легкого літака. Але вони не розраховані на те, щоб по них стріляли з важкого озброєння [20].

На Запорізькій АЕС шість реакторів типу ВВЕР-1000/320, які вважаються безпечнішими, ніж реактор типу РБМК-1000, встановлений на ЧАЕС, де сталася аварія 1986-го. Однак навіть це не гарантує, що на реакторі такого типу неможлива радіаційна аварія. Особливо внаслідок можливого обстрілу артилерією. І зараз в умовах бойових дій аварію, що може статися, не буде ліквідовувати ніхто. Україна просто не має на це ресурсів.

Слід пам'ятати, що внаслідок можливої аварії на Запорізькій АЕС, у навколишнє середовище виділятимуться радіоактивні ізотопи цезію, йоду та в менших кількостях – стронцію. Саме з ними зіткнулися люди після аварії на Чорнобильській АЕС 1986 року.

Цезій є аналогом калію. Калій грає важливу роль в нашому організмі і насамперед міститься у м'язах. Цезій легко заміщає його і, поки перебуває в організмі, опромінює його, що підвищує ймовірність онкологічних захворювань. Метал довго залишається в екосистемах, звідки його складно видалити, а отже, важко уникнути [20].

У йоду порівняно невеликий період напіврозпаду – вісім із половиною доби. Іншими словами, незабаром після можливої аварії він майже зникне у навколишньому середовищі. Проблема в тому, що населення України має дефіцит йоду в організмі. Це означає, що радіоактивний йод (якщо він з'явиться у навколишньому середовищі) компенсує цей дефіцит,

накопичується насамперед у щитовидній залозі. Його радіоактивний розпад призводить до опромінення цього органу та збільшує ймовірність онкологічних захворювань щитовидної залози.

Стронцій, з погляду біології, є аналогом кальцію (він входить до складу кісток). Це означає, що він так само замінюватиме його в людських організмах і також призводить до опромінення тканин та органів [20].

Слід також не забувати, що потенційна аварія може бути загрозою не лише Україні. Якщо буде південно-східний вітер, а він був під час боїв, радіоактивне забруднення пошириться на Крим, Мелітополь, Ростов, Туреччину, Чорне море. Але Чорне море з'єднується із Середземним, а тому, радіоактивне забруднення пошириться по всьому басейну і зашкодить набагато більшій кількості країн.

Моделювання та оцінка забруднення радіоцезієм посівів соняшнику за сценарієм ЧАЕС-86. В роботі був взятий сценарій аварії на Чорнобильській АЕС у 1986 році, де епіцентром вибуху було місто Чорнобиль. Тут і досі існує зона відчуження (30-км зона, де забруднення ґрунтового покриву перевищує 40 Ки/км^2). А на відстані 50 км в рік аварії забруднення ґрунтів становило більш 20 Ки/км^2 [4].

З урахуванням відстані сільськогосподарських угідь Київської області від епіцентру вибуху та їх забруднення радіоцезієм на рік аварії, було проведено серію чисельних експериментів по забрудненню сільгоспугідь Запорізької області.

Забруднення радіоцезієм зрошувальних вод Дніпровського каскаду розглядалося на період активної вегетації культурних рослин у 1987 році [9].

Результати розрахунків забруднення радіоцезієм посівів соняшнику за сценарієм ЧАЕС-86 в Запорізькій області наведені в табл. 3.6 – 3.10.

В Бердянському субрегіоні щільність забруднення радіоцезієм ґрунтів на момент аварії буде становити $0,22 \dots 0,51 \text{ Ки/км}^2$ (табл. 3.6), що в десятки разів буде більшим за забруднення до аварії (у 2021 р.), це вплине на активність накопичення радіоцезію в загальній біомасі соняшнику. Якщо у

2021 році концентрація радіоцезію була в середньому по району 0,84 Бк/кг, то в рік аварії його активність накопичення зросте і очікується в межах 3,47...9,94 Бк/кг.

За сценарієм найбільше забруднення посівів очікується у Чернігівському районі (9,94 Бк/кг проти 8,04 Бк/кг), хоча щільність забруднення ґрунту буде більшою у Бердянському районі (0,51 Кі/км² проти 0,44 Кі/км²). На більше накопичення радіоцезію в біомасі вплинуло вміст гумусу в ґрунті, в чорноземах південних перехідних до звичайних його менше, тому міграція цезію-137 з ґрунту в рослину буде більшою.

Таблиця 3.6 – Забруднення радіоцезієм посівів соняшнику в Бердянському субрегіоні за сценарієм ЧАЕС-86

Район	Рік, сценарій	Щільність забруднення ґрунту, Кі/км ²	Вміст гумусу, %	Концентрація цезію-137 в загальній біомасі, Бк/кг
Бердянський (БЗ)	2021	0,02	3,5(1)	0,26
	ЧАЕС-86	0,51		8,04
Приморський (БЗ)	2021	0,09	2,5(4)	1,64
	ЧАЕС-86	0,22		3,47
Чернігівський (БЗ)	2021	0,04	3,0(3)	0,63
	ЧАЕС-86	0,44		9,94
Середнє	2021	0,05	3,0	0,84
	ЧАЕС-86	0,39		7,15

Примітка: 1 – чорноземи звичайні середньогумусні; 3 – чорноземи південні перехідні до звичайних; 4 – чорноземи південні низькогумусні; БЗ – сільгоспугіддя без зрошення.

Розрахунки, які були виконані для Василівського субрегіону, показали, що за сценарієм ЧАЕС-86 Кам'янко-Дніпровський район буде в так званій зоні відчуження, забруднення ґрунтів у випадку аварії на Запорізькій АЕС в даному районі становитиме більше 40 Кі/км² і сільськогосподарська діяльність буде забороненою.

У Василівському районі щільність забруднення радіоцезієм ґрунтів очікується більшою за 20 Кі/км^2 , в зрошувальній воді його концентрація становитиме 2 Бк/дм^3 , а активність накопичення в загальній біомасі дорівнюватиме 740 Бк/кг , що є вище на 140 Бк/кг ТДР.

У Михайлівському та Токмаковському районах щільність забруднення радіоцезієм ґрунтів буде в чотири рази меншою ніж у Василівському (табл. 3.7), але зрошувальні води з Каховського водосховища річки Дніпро будуть значно збільшувати його концентрацію в загальній біомасі соняшнику до $484...492 \text{ Бк/кг}$. В порівнянні з 2021 роком концентрація радіоцезію в біомасі зросте у 22 рази. Хоча забруднення в порівнянні з ТДР буде нижчим на 100 Бк/кг , але все одно воно буде залишатися високим.

Таблиця 3.7 – Забруднення радіоцезієм посівів соняшнику у Василівському субрегіоні за сценарієм ЧАЕС-86

Район	Рік, сценарій	Щільність забруднення ґрунту, Кі/км^2	Вміст гумусу, %	Концентрація цезію-137 в загальній біомасі, Бк/кг
Василівський (ЗК)	2021	0,05	3,0(3)	22
	ЧАЕС-86	21,36		740
К.-Дніпровський (ЗК)	2021	0,03	2,5(4)	22
	ЧАЕС-86	>40	Сільськогосподарська діяльність заборонена	
Михайлівський (ЗК)	2021	0,06	3,0(3)	22
	ЧАЕС-86	5,61		492
Токмакський (ЗК) /західна частина	2021	0,12	3,0(3)	23
	ЧАЕС-86	5,12		484

Примітка: 3 – чорноземи південні перехідні до звичайних; 4 – чорноземи південні низькогумусні; ЗК – зрошення з Каховського водосховища

За сценарієм ЧАЕС-86 в Запорізькому субрегіоні щільність забруднення радіоцезієм ґрунтів в порівнянні з 2021 роком (табл. 3.8) дуже значно зростатиме ($2,11...7,02 \text{ Кі/км}^2$ проти $0,03...0,05 \text{ Кі/км}^2$).

Забруднення радіоцезієм посівів соняшнику в Запорізькому та Вільнянському районах збільшиться з 20,21 Бк/кг до 436,66 ...491,85 Бк/кг, а в Н.-Миколаївському та Оріхівському районах з 52,89...55,74 Бк/кг до 455,42....514,08 Бк/кг.

Найбільше забруднення посівів соняшнику очікується в Оріхівському районі (514,08 Бк/кг), а найменше у Вільнянському районі (436,66 Бк/кг).

Таблиця 3.8 – Забруднення радіоцезієм посівів соняшнику у Запорізькому субрегіоні за сценарієм ЧАЕС-86

Район	Рік, сценарій	Щільність забруднення ґрунту, Кі/км^2	Вміст гумусу, %	Концентрація цезію-137 в загальній біомасі, Бк/кг
Запорізький (ЗК)	2021	0,03	3,5(2)	20,21
	ЧАЕС-86	5,61		491,85
Вільнянський (ЗК)	2021	0,03	3,5(1)	20,21
	ЧАЕС-86	2,11		436,66
Н-Миколаївський (ЗД)	2021	0,05	3,5(1)	52,89
	ЧАЕС-86	2,30		455,42
Оріхівський (ЗД)	2021	0,04	3,5(2)	55,74
	ЧАЕС-86	7,02		514,08

Примітка: 1 – чорноземи звичайні середньогумусні; 2 – чорноземи звичайні низькогумусні; ЗК– зрошення з Каховського водосховища; ЗД – зрошення з Дніпровського водосховища.

У Мелітопольському районі, найближчому до епіцентру в Мелітопольському субрегіоні (табл. 3.9), щільність забруднення ґрунту очікується $7,02 \text{ Кі/км}^2$, у Веселівському – $5,61 \text{ Кі/км}^2$, в Якімівському – $3,28 \text{ Кі/км}^2$. У Приазовському районі, що знаходиться далі за всіх від епіцентру, щільність забруднення ґрунту буде $0,22 \text{ Кі/км}^2$. Посіви соняшника у перших трьох районах зрошуватимуться водами з Каховського водосховища, тому активність радіоцезію в загальній біомасі, також буде накопичуватися за рахунок цезію-137 в ґрунті і зрошувальній воді.

Найбільша кількість радіоцезію в біомасі очікується в Мелітопольському районі (514,08 Бк/кг), найменша в Якимівському (455,11 Бк/кг). В порівнянні з 2021 роком концентрація радіоцезію в біомасі за сценарієм буде в 20 разів вище. Це вказує на те, що таку біомасу неможливо буде використовувати наприклад для годування худоби.

В Приазовському районі за рахунок незрошуваного землеробства забруднення загальної біомаси соняшнику не представлятиме небезпеки (табл. 3.9).

Таблиця 3.9 – Забруднення радіоцезієм посівів соняшнику у Мелітопольському субрегіоні за сценарієм ЧАЕС-86

Район	Рік, сценарій	Щільність забруднення ґрунту, Ки/км^2	Вміст гумусу, %	Концентрація цезію-137 в загальній біомасі, Бк/кг
Веселівський (ЗК)	2021	0,04	2,5 (4)	22,52
	ЧАЕС-86	5,61		491,85
Мелітопольський (ЗК)	2021	0,04	2,5 (4)	22,52
	ЧАЕС-86	7,02		514,08
Якимівський (ЗК)	2021	0,05	3,0 (6)	21,67
	ЧАЕС-86	3,28		455,11
Приазовський (БЗ)	2021	0,04	2,5 (7)	1,48
	ЧАЕС-86	0,22		3,47

Примітка: 4 – чорноземи південні низькогумусні; 6 – темно-каштанові слабо і середньосолонцюваті; 7 – каштанові середні та сильно солоцюваті.; БЗ – сільгоспугіддя без зрошення; ЗК– зрошення з Каховського водосховища.

Забруднення радіоцезієм ґрунтів у Пологовському субрегіоні за сценарієм ЧАЕС-86 наведені в таблиці 3.10. Самим близьким до епіцентру можливого вибуху в даному регіоні є Токмакський район, за сценарієм забруднення ґрунту тут очікується $5,12 \text{ Ки/км}^2$. Зрошення в східній частині району немає, тому активність радіоцезію в посівах соняшнику накопичуватиметься тільки за рахунок надходження його з ґрунту і

становитиме 80,73 Бк/кг, що в 6 разів буде меншою за ТДР. Ще меншою активність накопичення радіоцезію очікуватиметься в Пологівському, Гуляйпольському та Більмакському районах (табл. 3.10). В порівнянні з 2021 роком, найбільші відмінності спостерігатимуться в Токмакському районі (80,73 Бк/кг проти 2,64 Бк/кг), найменші в Пологовському (9,94 Бк/кг проти 2,96 Бк/кг).

Таблиця 3.10 – Забруднення радіоцезієм посівів соняшнику у Пологовському субрегіоні за сценарієм ЧАЕС-86

Район	Рік, сценарій	Щільність забруднення ґрунту, Кі/км^2	Вміст гумусу, %	Концентрація цезію-137 в загальній біомасі, Бк/кг
Пологовський (БЗ)	2021	0,14	3,0(4)	2,96
	ЧАЕС-86	0,44		9,94
Гуляйпольський (БЗ)	2021	0,09	3,0(4)	2,17
	ЧАЕС-86	0,44		9,94
Більмакський (БЗ)	2021	0,16	3,0(4)	3,27
	ЧАЕС-86	0,93		14,66
Токмакський (БЗ) /східна частина)	2021	0,12	3,0(3)	2,64
	ЧАЕС-86	5,12		80,73

Примітка: 3 – чорноземи південні перехідні до звичайних; 4 – чорноземи південні низькогумусні; БЗ – сільгоспугіддя без зрошення.

Отже, в зону відчуження попадуть сільськогосподарські угіддя Кам'яно-Дніпровського району, де забруднення радіоцезієм ґрунтів очікуватиметься більш 40 Кі/км^2 . У Василівському районі забруднення радіоцезієм буде більше 20 Кі/км^2 . У Мелітопольському й Оріхівському забруднення цезієм-137 становитиме більш 7 Кі/км^2 . У Михайлівському, Токмакському, Запорізькому і Веселівському районах щільність забруднення радвоцезієм очікується більш 5 Кі/км^2 , у Якимівському – більше 3 Кі/км^2 . В

Пологовському і Бердянському субрегіонах забруднення сільгоспугідь не буде перевищувати 1 Ки/км^2 .

Таким чином, в Запорізькій області за сценарієм ЧАЕС-86 посіви соняшника в умовах зрошуваного землеробства будуть мати дуже високий рівень забруднення радіоцезієм. У Василівському районі активність накопичення становитиме 740 Бк/кг. У Запорізькому і Мелітопольському субрегіонах 436...514 Бк/кг. Тому без повного комплексу захисних заходів чистої продукції отримати буде неможливо.

В Кам'яно-Дніпровському районі ведення сільськогосподарської діяльності зовсім буде заборонено.

В районах, що будуть перебувати на достатньо безпечному рівні від епіцентру вибуху, вирощування соняшника буде можливим, але без зрошення високих врожаїв очікувати не буде можливим.

3.3 Моделювання забруднення радіоцезієм насіння соняшнику та соняшникової олії

Радіація проникає в наш організм двома способами – від зовнішніх джерел та зсередини. Перший вид опромінення менш небезпечний, тому що частково захищають нас від нього одяг, стіни будівель, різні предмети.

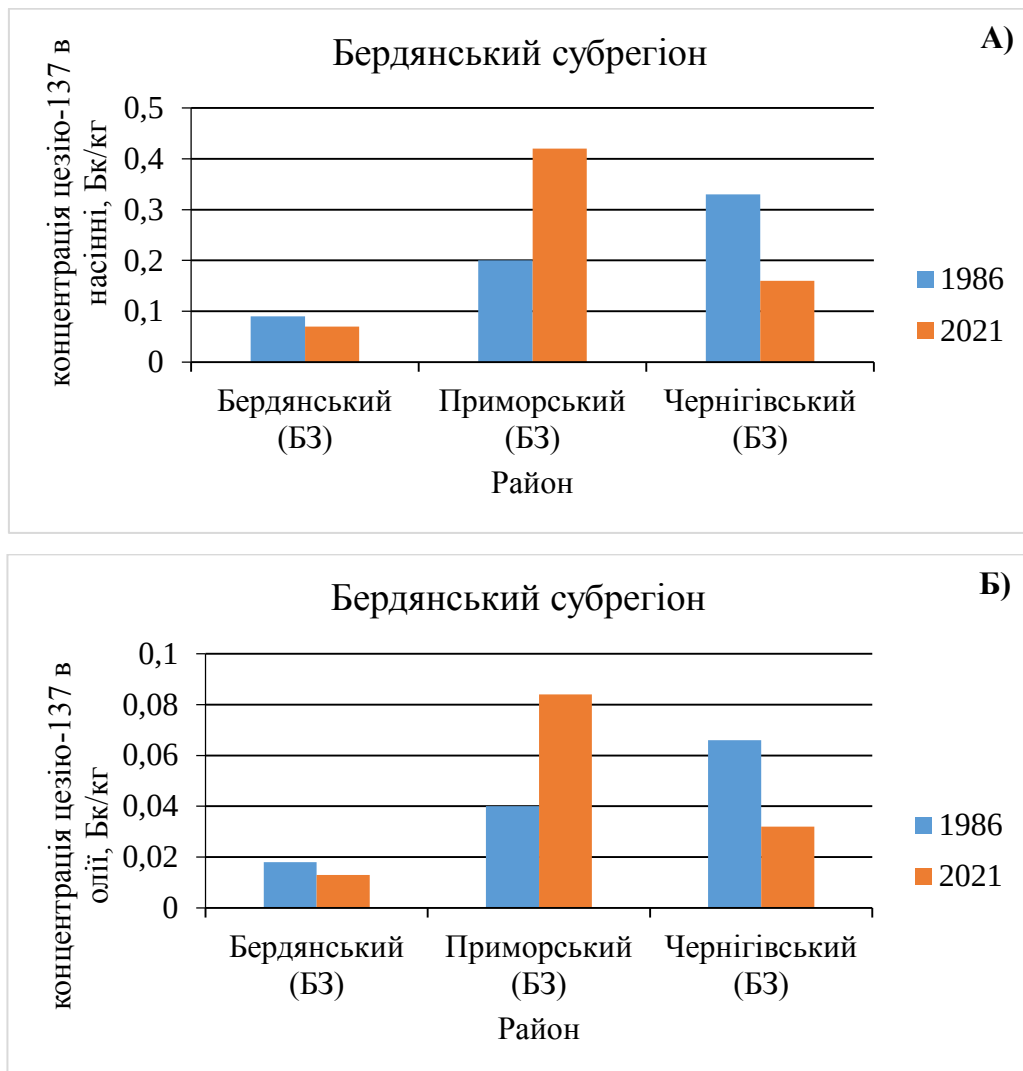
Перед джерелами радіоактивного забруднення, що проникли в організм, ми абсолютно беззахисні. Потрапляючи внутрішньо з продуктами харчування та водою, вони безперешкодно впливають на шлунок, кишечник, нирки та інші життєво важливі органи [3].

За допомогою моделі ECOSYS-87 [7] були виконані розрахунки забруднення радіоцезієм насіння соняшнику та соняшникової олії.

3.3.1 Моделювання та оцінка забруднення радіоцезієм насіння та олії в 1986 і 2021 рр

Аналіз розрахунків показав, що в Бердянському субрегіоні в готових для харчування продуктах, насінні та олії, концентрація радіоцезію була в рази меншою тимчасово допустимого рівню (рис. 3.4 А,Б).

Так у Бердянському районі в 1986 році активність ^{137}Cs в насінні становила 0,09...0,33 Бк/кг (рис. 3.4А), в олії була 0,018...0,066 Бк/кг (рис. 3.4Б), в 2021 році вона дорівнювала 0,07...0,42 Бк/кг і 0,013...0,084 Бк/кг відповідно.



Примітка: БЗ – сільгоспугіддя без зрошення

Рисунок 3.4 – Забруднення радіоцезієм: А) соняшникового насіння; Б) соняшникової олії в Бердянському субрегіоні.

У Василівському районі (рис. 3.5), за рахунок зрошення, концентрація радіоцезію була набагато вищою, у 1986 році в насінні вона становила 21,11...21,58 Бк/кг (рис. 3.5А), в олії – 4,203...4,297 Бк/кг (рис. 3.5Б). В 2021 році концентрація радіоцезію в порівнянні з 1986 роком знижується в 2 рази, але в порівнянні з активністю його в продукції харчування в Бердянському районі, вона буде значно більшою.

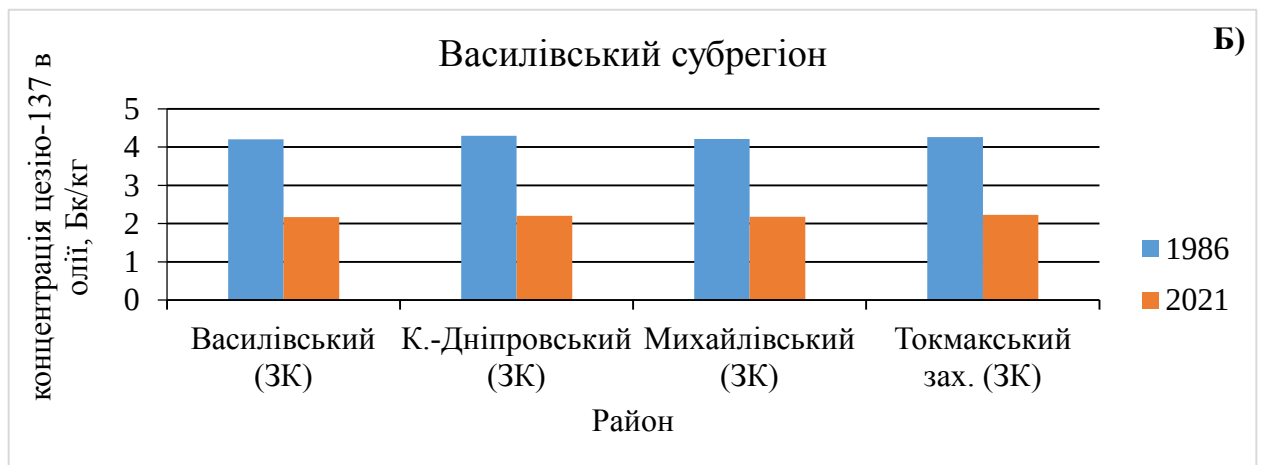
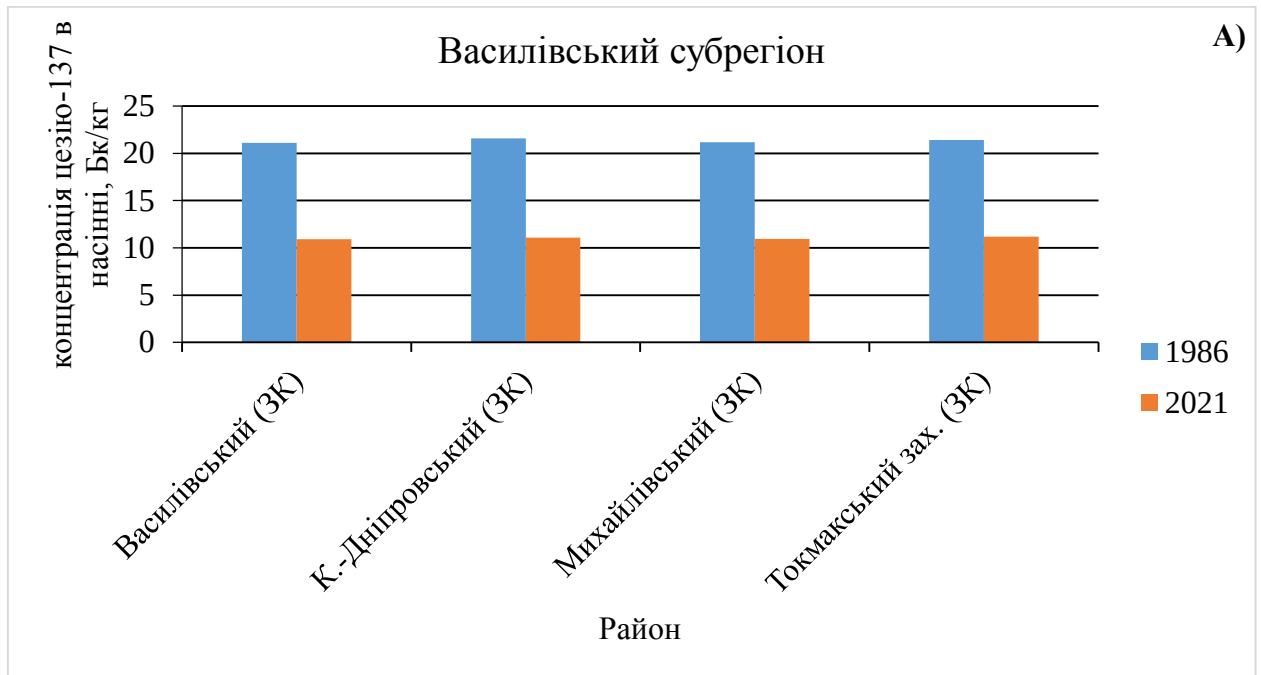


Рисунок 3.5 – Забруднення радіоцезієм: А) соняшникового насіння; Б) соняшnikової олії у Василівському субрегіоні.

Накопичення радіоцезію в насінні в Запорізькому субрегіоні в 1986 році було в межах 20,32 Бк/кг і 37,33 Бк/кг (рис. 3.6А), в олії становило 4,045 і 7,43 Бк/кг (рис. 3.6Б). В 2021 році за рахунок зниження концентрації радіоцезію у ґрунті та воді, активність радіоцезію в насінні та олії також була нижчою за концентрацію в цих продуктах у рік аварії.

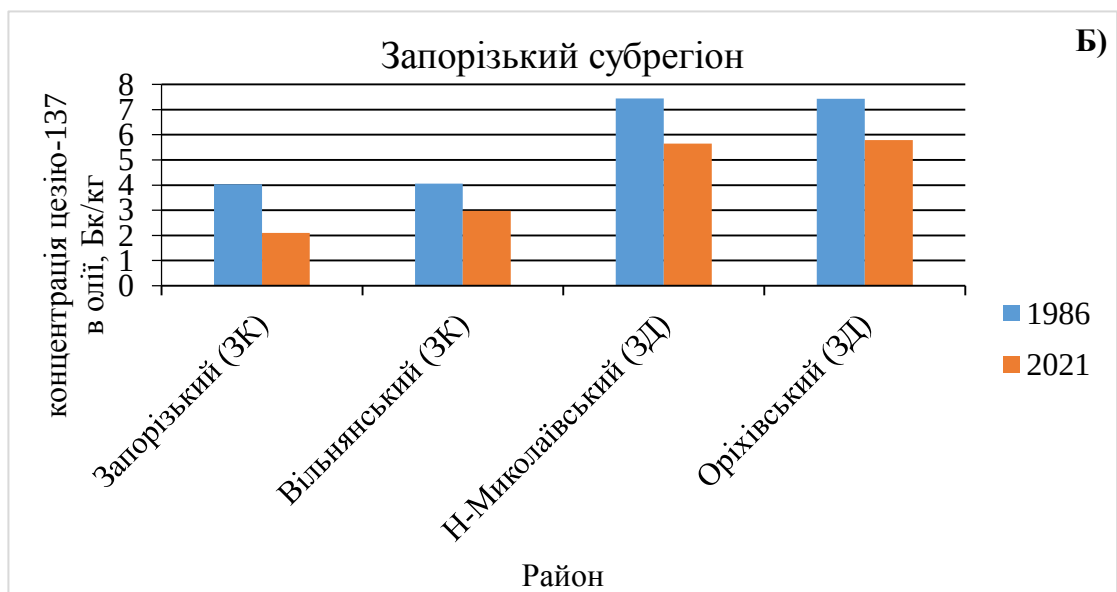
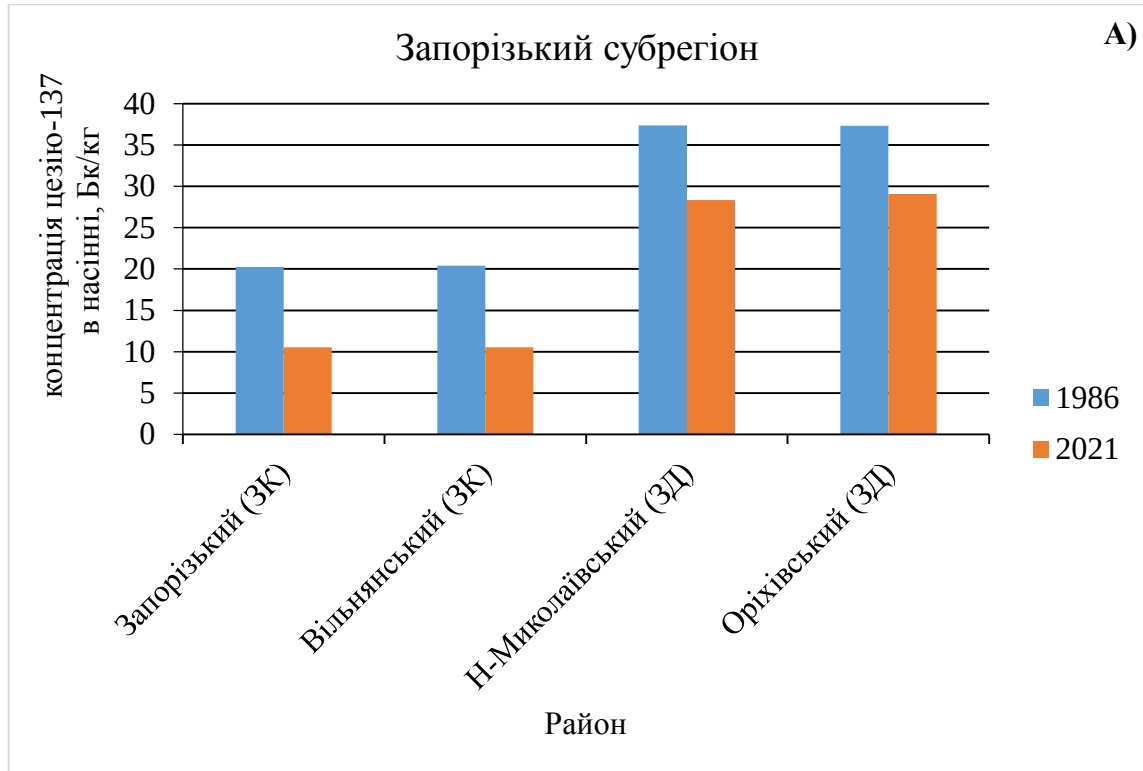


Рисунок 3.6 – Забруднення радіоцезієм: А) соняшникового насіння; Б) соняшникової олії у Запорізькому субрегіоні

Забруднення радіоцезієм насіння соняшника в Мелітопольському субрегіоні наведені на рисунку 3.7А. У Веселівському, Мелітопольському та Якимівському районах (на зрошенні) у 1986 році концентрація радіоцезію становила 21,07...21,70 Бк/кг. У Приазовському районі (на богарі) 0,44 Бк/кг.

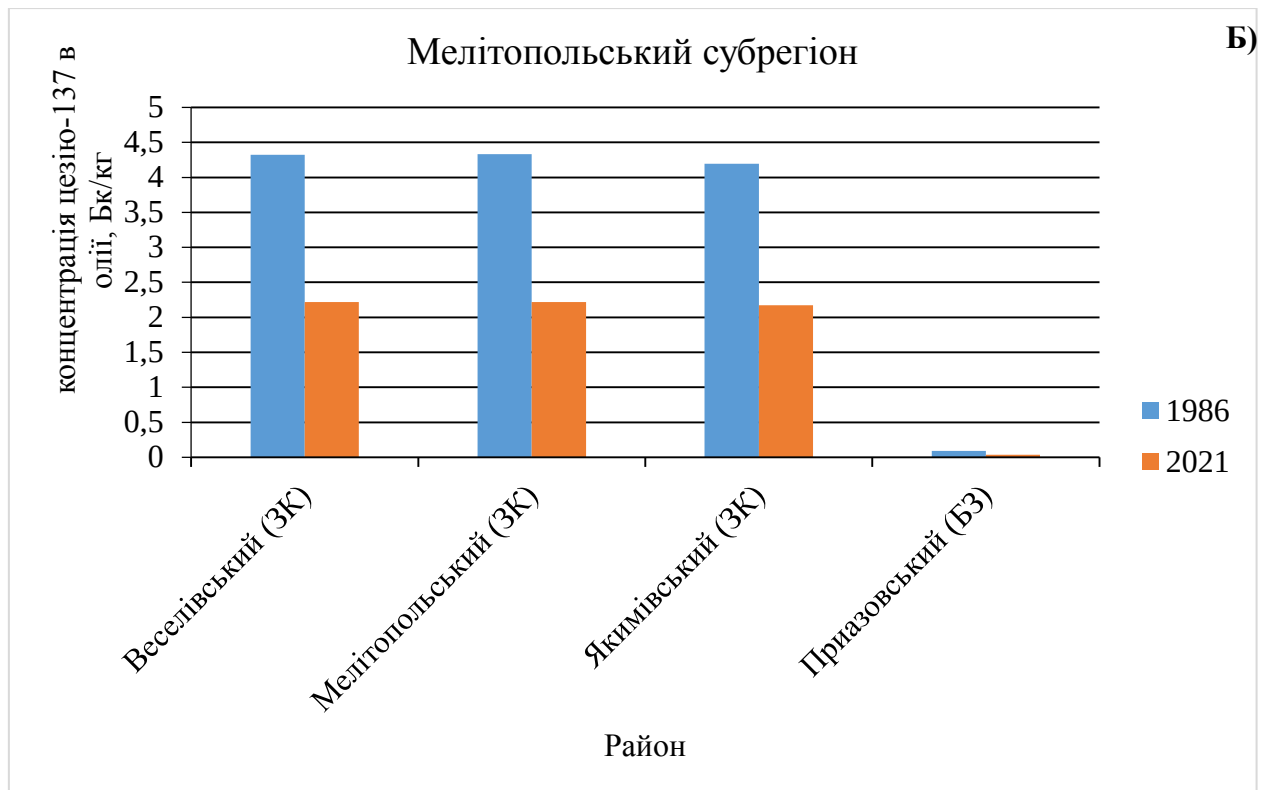
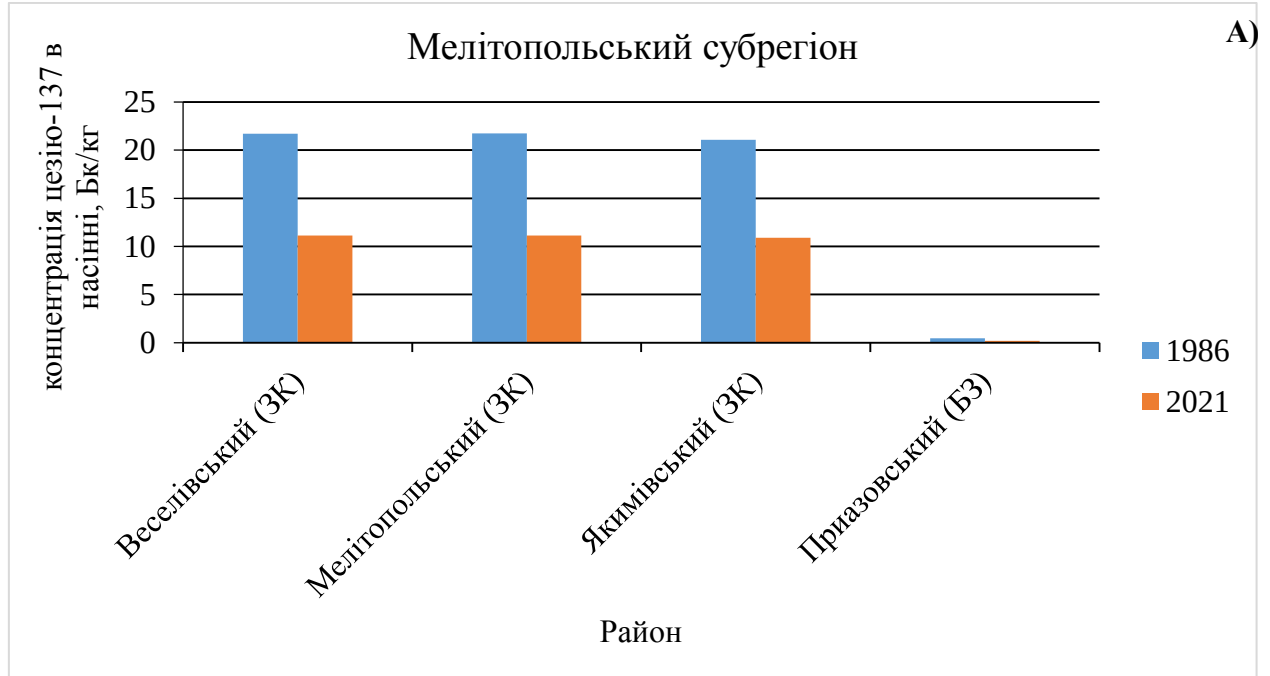


Рисунок 3.7 – Забруднення радіоцезієм: А) соняшникового насіння; Б) соняшникової олії у Мелітопольському субрегіоні .

В соняшниковій олії (рис. 3.7Б) концентрація радіоцезію на зрошенні становила 4,282 Бк/кг, а на богарі – 0,089 Бк/кг. Для 2021 року характерно зниження концентрації радіоцезію в цих продуктах, в насінні – до 11,06 Бк/кг і 0,19 Бк/кг відповідно, а в олії до 2,202 Бк/кг і 0,037 Бк/кг відповідно.

Концентрація ^{137}Cs в 1986 році у Пологовському субрегіоні в насінні дорівнювала 0,11...0,53 Бк/кг (рис. 3.8А), а в олії – 0,049 Бк/кг (рис. 3.8Б). У 2021 році за рахунок зростання концентрації ^{137}Cs в ґрунті, спостерігається його збільшення в насінні до 0,52 Бк/кг і в олії до 0,103 Бк/кг.

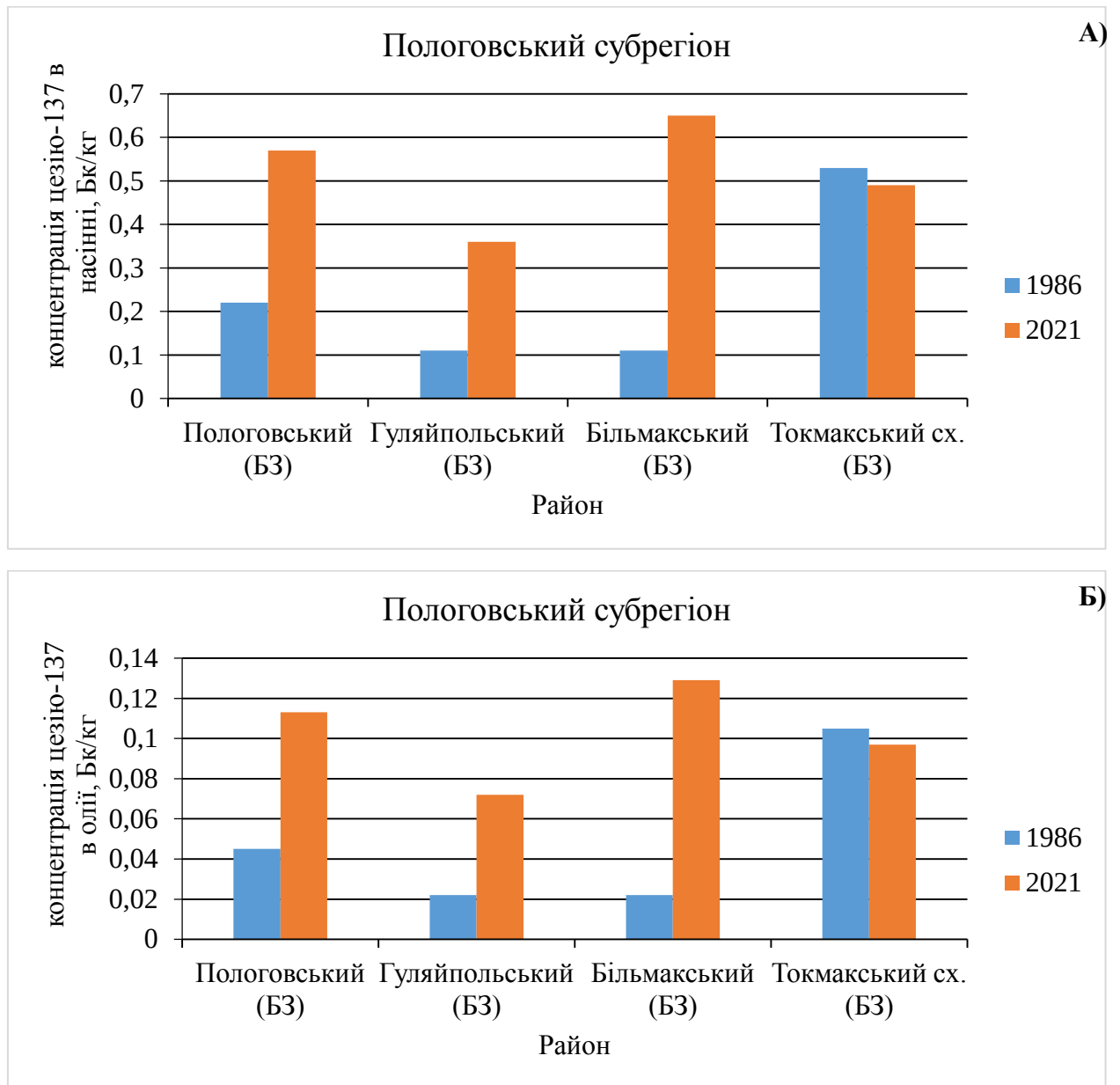


Рисунок 3.8 – Забруднення радіоцезієм: А) соняшникового насіння; Б) соняшникової олії у Пологовському субрегіоні.

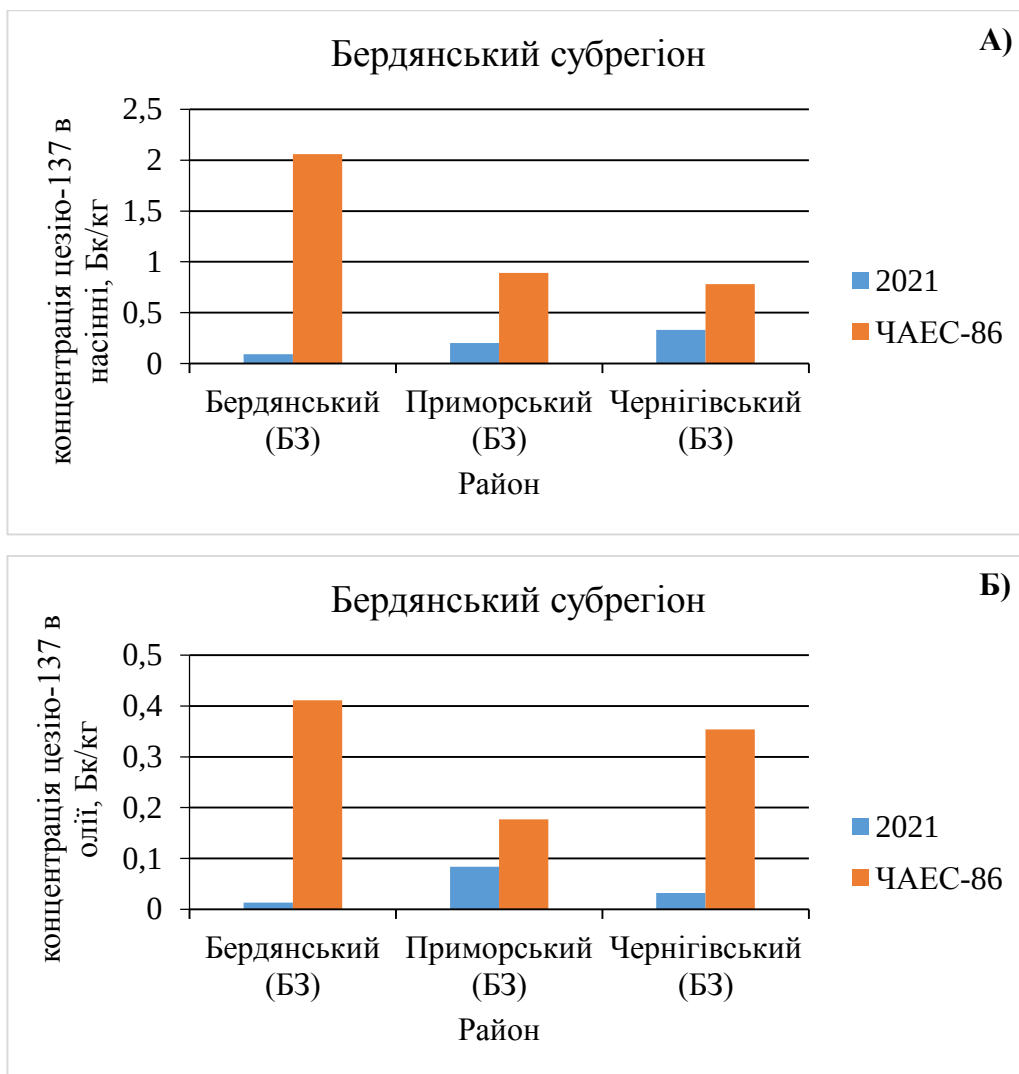
Таким чином, в цілому по області найбільша концентрація радіоцезію в насінні соняшнику була як у 1986 , так і в 2021 роках в Ново-Миколаївському і Оріхівському районах Запорізького субрегіону (рис. 3.6). Найменша концентрація в насінні була у Бердянському субрегіоні (рис. 3.4). Така ж закономірність забруднення простежується і в соняшниковій олії.

Розрахунки показали, що активність радіоцезію як в насінні соняшнику, так і в соняшниковій олії значно менше тимчасово допустимого рівня. Отже, і насіння соняшнику, і соняшникова олія були «чистими» і могли без обмежень вживатися в їжу.

3.3.2 Моделювання та прогноз забруднення радіоцезієм насіння та олії за сценарієм ЧАЕС-86

У соняшника насіння є продуктом вже готовим для вживання в їжу, тому дуже важливо, щоб концентрація в насінні не переважала тимчасово допустимого рівня, який, згідно Державних гігієнічних нормативів [16], дорівнює 70 Бк/кг. В соняшниковій олії тимчасово допустимий рівень радіоцезію становить 60 Бк/кг.

Аналіз забруднення радіоцезієм насіння соняшника в Бердянському субрегіоні показав (рис. 3.9 А), що його концентрація за сценарієм ЧАЕС-86 в порівнянні з 2021 роком буде більшою (0,78...2,06 Бк/кг проти 0,07...0,42 Бк/кг), але в порівнянні з тимчасово допустимим рівнем ця концентрація є безпечною. При переробці насіння в олію (рис. 3.9 Б) концентрація цезію-137 буде ще меншою (0,14...0,41 Бк/кг).



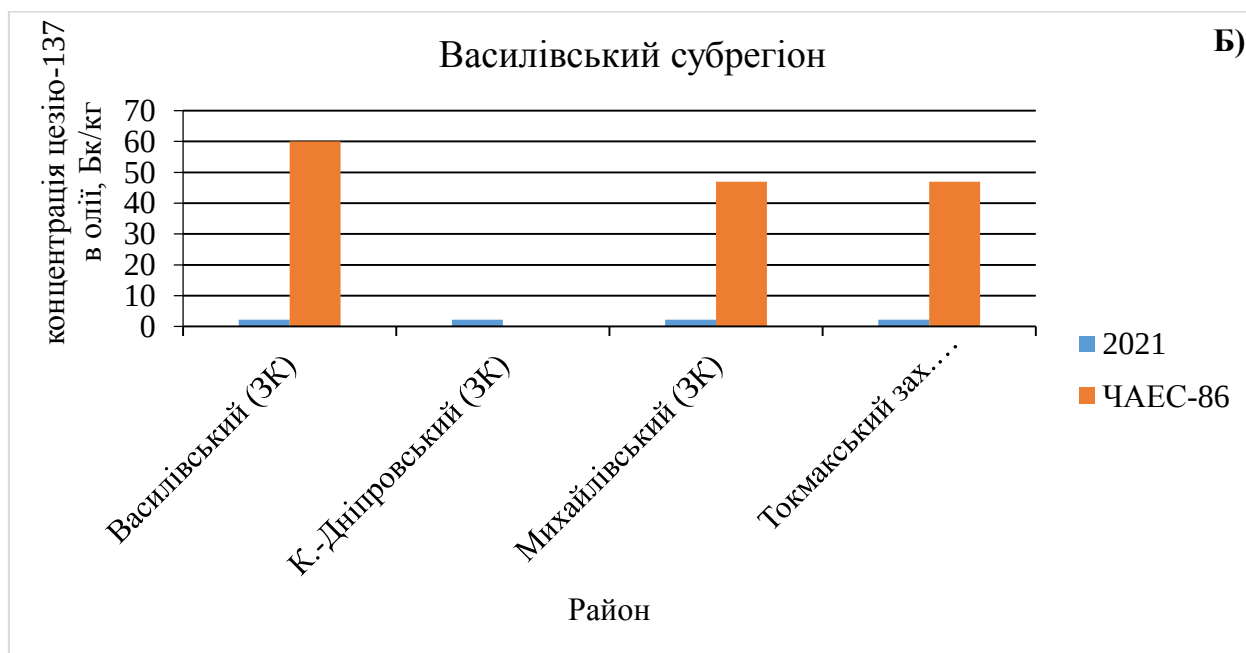
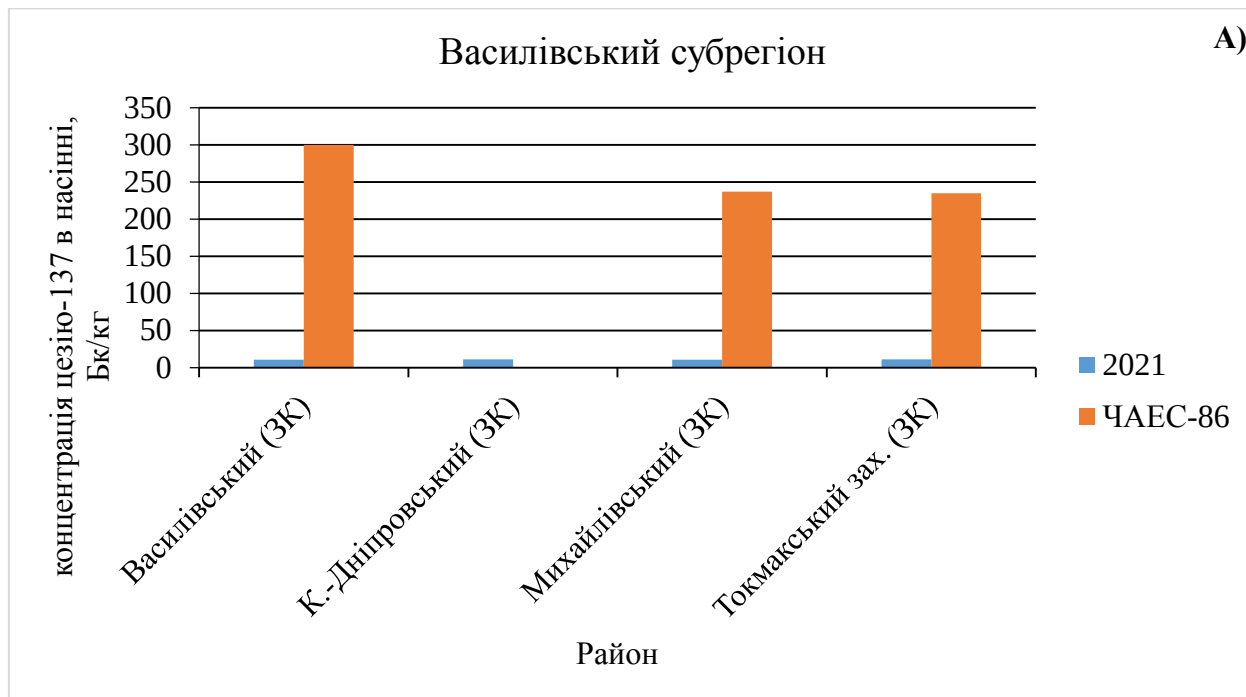
Примітка: БЗ – сільгоспугіддя без зрошення

Рисунок 3.9 – Забруднення радіоцезієм: А) насіння соняшнику та Б) соняшникової олії Бердянському субрегіоні у 2021 році та за сценарієм ЧАЕС-86 .

У Василівському субрегіоні забруднення радіоцезієм соняшникового насіння та переробленої з нього олії за сценарієм ЧАЕС-86 по районам очікується таким.

Концентрація радіоцезію у Василівському районі в насінні соняшнику буде в чотири рази перевищувати тимчасово допустимий рівень (рис. 3.10А), а при переробці насіння на соняшкову олію, активність буде дорівнювати

тимчасово допустимому рівню (рис. 3.10Б). Отже, таку продукцію неможливо буде використовувати в їжу.



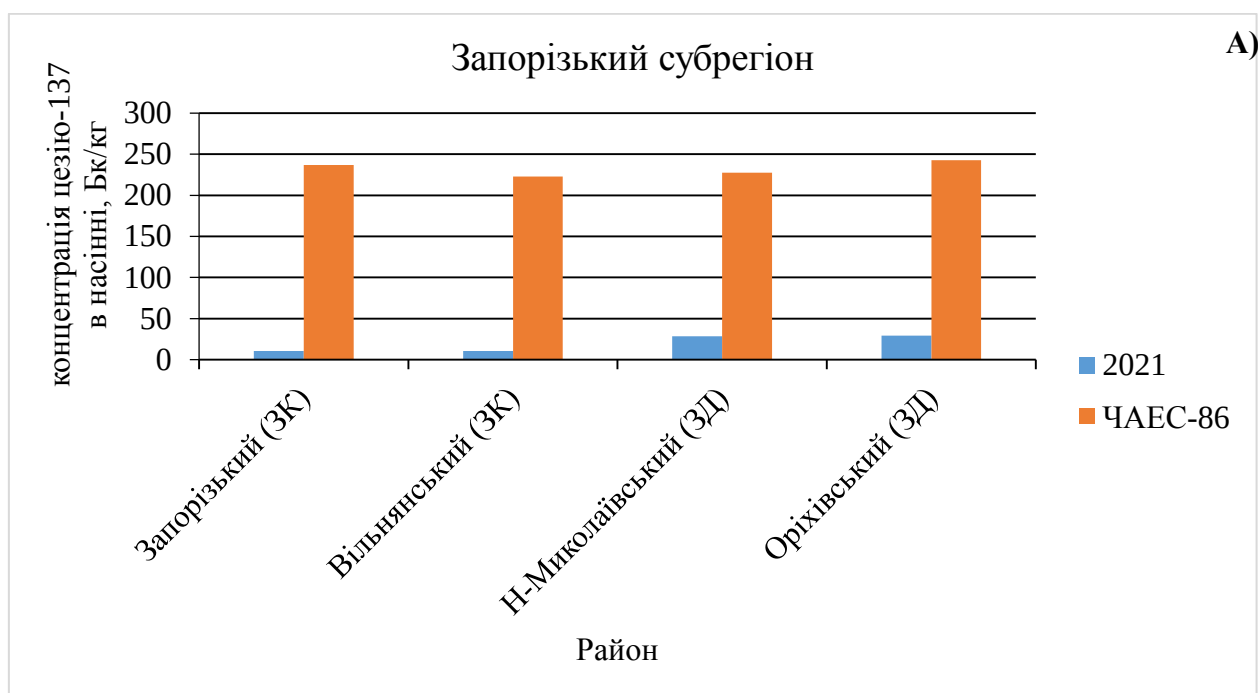
Примітка: ЗК – зрошення з Каховського водосховища

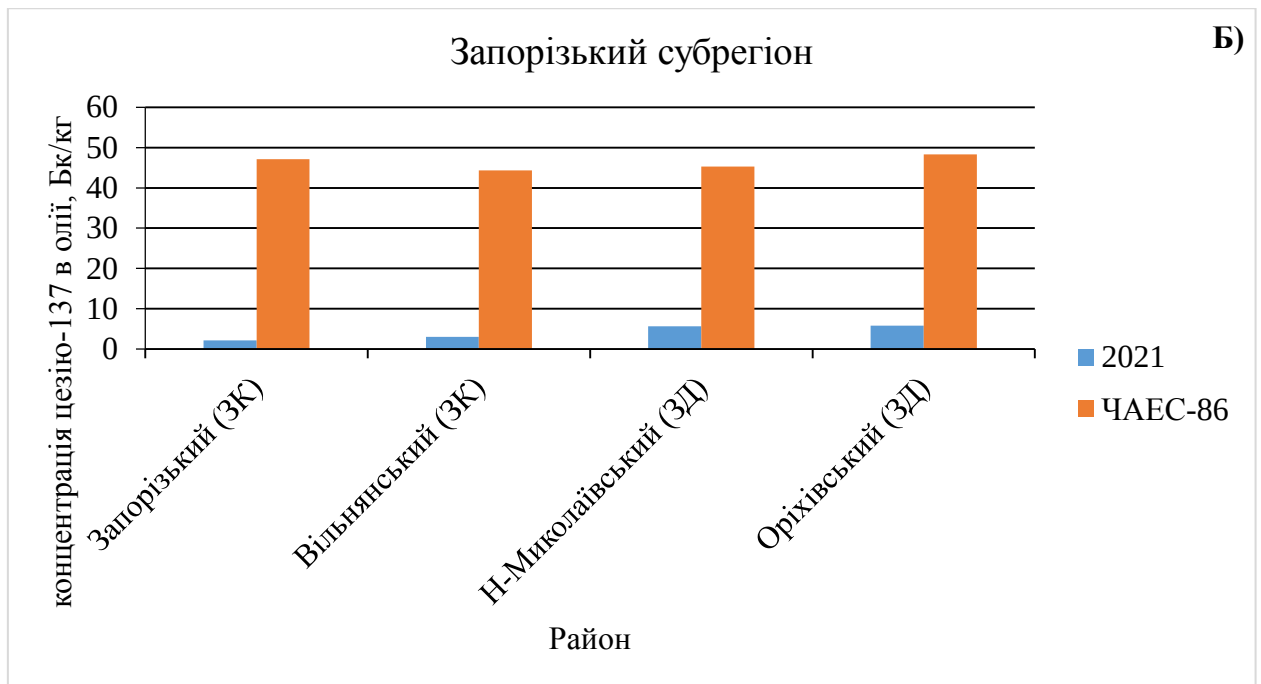
Рисунок 3.10 – Забруднення радіоцезієм: А) насіння соняшнику та Б) соняшникової олії у Василівському субрегіоні в 2021 році та за сценарієм ЧАЕС-86 .

У Михайлівському та Токмаковському районах активність накопичення радіоцезію в насінні соняшника також буде дуже високою (рис.3.10А). В порівнянні з 2021 роком його концентрація в насінні зросте у 21 раз, а в порівнянні з ТДР буде у 2,5 рази вищою. При переробці на соняшникову олію, активність буде меншою за ТДР, але всього лише на 13 Бк/кг (рис. 3.10Б). Тому, використовувати для харчування таку продукцію не можна.

Аналіз забруднення радіоцезієм продуктів харчування в Запорізькому субрегіоні показав, що за сценарієм ЧАЕС-86 забруднення радіоцезієм насіння в порівнянні з 2021 роком в Запорізькому та Вільнянському районах збільшуватиметься у 20-21 раз, а в Н.-Миколаївському та Оріхівському районах в 8 разів (рис. 3.11А). Насіння з такою високою концентрацією радіоцезію буде непридатним для використання в їжу.

Отримана з цього насіння соняшникова олія буде мати концентрацію радіоцезію у перших двох районах в 22-24 рази вищою за концентрацію в олії у 2021 році. В порівнянні з ТДР, активність накопичення буде нижче, але не набагато (рис. 3.11Б).



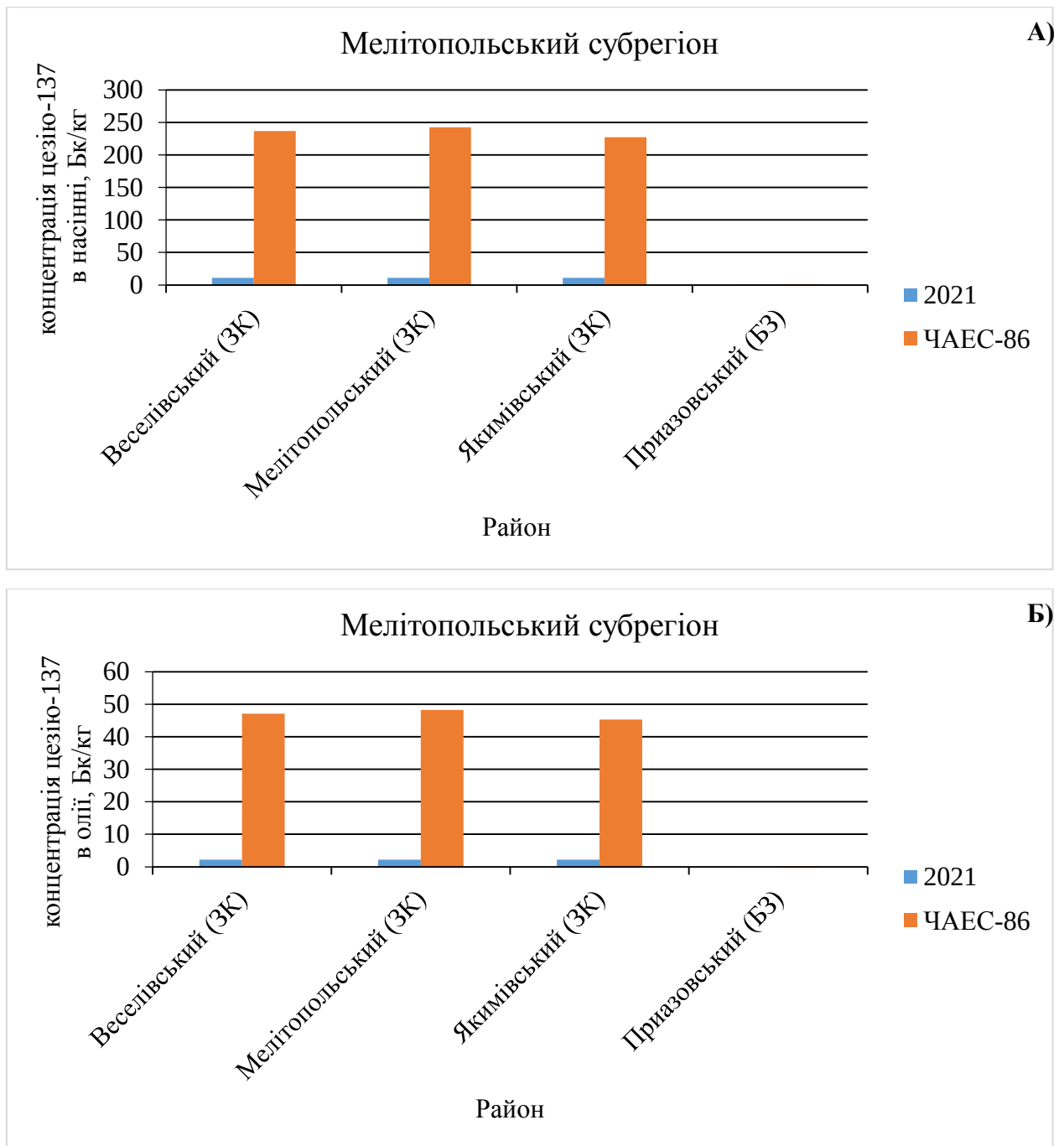


Примітка: ЗК– зрошення з Каховського водосховища; ЗД– зрошення з Дніпровського водосховища.

Рисунок 3.11 – Забруднення радіоцезієм: А) насіння соняшнику та Б) соняшникової олії у Запорізькому субрегіоні в 2021 році та за сценарієм ЧАЕС-86 .

За сценарієм ЧАЕС-86 у Мелітопольському субрегіоні забруднення радіоцезієм насіння на зрошуваних ділянках з соняшником (рис. 3.12А) очікується дуже великим в порівнянні з 2021 роком (227,45...242,57 Бк/кг) і в 3 рази буде вище за тимчасово допустимий рівень. В незрошуваному Приазовському районі забруднення насіння буде вище ніж у 2021 році, але воно не буде представляти небезпеки при вживанні насіння в їжу.

При переробці насіння соняшника, отриманого на зрошуваних сільгоспугіддях Мелітопольського субрегіону, в соняшникову олію, активність радіоцезію буде нижче за ТДР всього на 13 Бк/кг, тому для вживання в раціон харчування вона буде небезпечною. Олію, яку отримують з насіння, що вирощуватиметься в Приазовському районі, вживати в їжу буде можна (рис. 3.12Б).

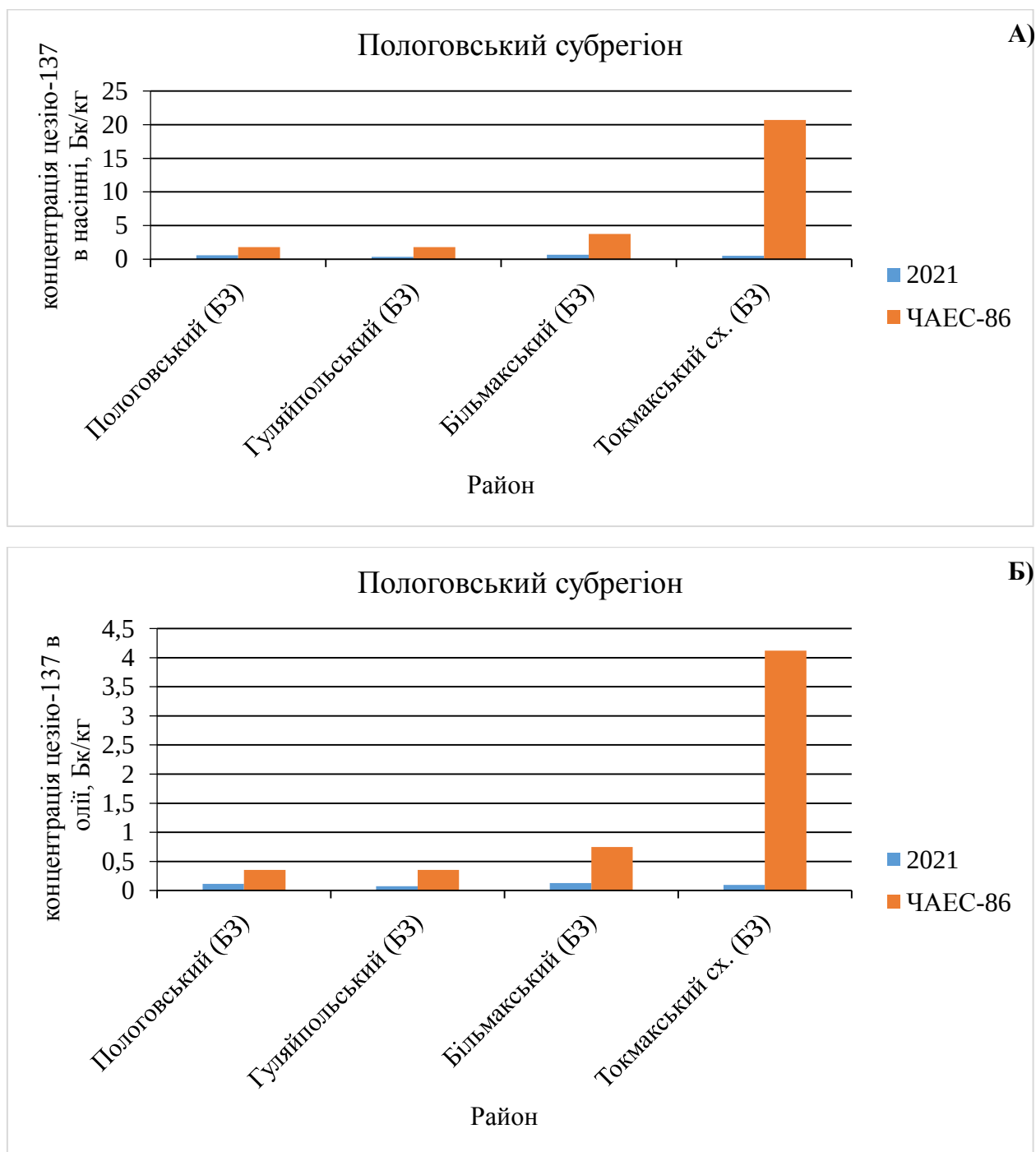


Примітка: БЗ – сільгоспугіддя без зрошення; ЗК – зрошення з Каховського водосховища.

Рисунок 3.12 – Забруднення радіоцезієм: А) насіння соняшнику та Б) соняшникової олії в 2021 році та за сценарієм ЧАЕС-86 .

За сценарієм ЧАЕС-86 забруднення радіоцезієм насіння у Токмацькому районі Пологовського субрегіону (рис. 3.13А) буде в десятки разів більшим в порівнянні з 2021 роком, але не перевищувати ТДР (20,7

Бк/кг проти 70 Бк/кг). В інших районах забруднення насіння радіоцезієм буде ще менше (1,78...3,76 Бк/кг проти 0,36...0,65 Бк/кг).



Примітка: БЗ – сільгоспугіддя без зрошення.

Рисунок 3.13 – Забруднення радіоцезієм: А) насіння соняшнику та Б) соняшникової олії у Пологовському субрегіоні в 2021 році та за сценарієм ЧАЕС-86 .

Забруднення радіоцезієм соняшnikової олії у всіх районах буде низьким (рис. 3.13Б), але також вище ніж у 2021 році.

Продукти харчування, соняшnikове насіння та соняшnikову олію, які отримуватимуть в Пологовському субрегіоні можливо буде вживати в раціон харчування людини.

Отже, в Запорізькій області за сценарієм ЧАЕС-86 продукти харчування, насіння соняшнику та соняшnikова олія, що будуть отримані при вирощуванні посівів соняшнику в умовах зрошення, стануть не придатними для вживання їх в їжу. У Василівському районі концентрація радіоцезію в насінні дорівнюватиме 300 Бк/кг, а в олії – 60 Бк/кг, в інших районах відповідно 222...242 Бк/кг і 47...48 Бк/кг. Використовувати для харчування можливо буде лише продукти, які отримають при вирощуванні соняшнику в районах, що будуть перебувати на достатньо безпечній відстані від епіцентру вибуху, до них належать Пологівський та Бердянський субрегіони області. Активність накопичення радіоцезію в насінні і соняшnikової олії становитиме відповідно 1,78...20,7 Бк/кг і 0,354...4,122 Бк/кг.

ВИСНОВКИ

В результаті виконаної кваліфікаційної роботи можна зробити наступні висновки:

1. Вивчені природні умови Запорізької області.
2. Дана оцінка забруднення радіоцезієм ґрунтово-рослинного покриву в Запорізькій області. Встановлено, що щільність забруднення ґрунту і в рік аварії, і через 35 років не перевищує 1 Кі/км^2 .
3. Дана оцінка забруднення радіоцезієм зрошувальних вод з Дніпровського і Каховського водосховищ. Встановлено, що забруднення радіоцезієм вод Дніпровського каскаду в Запорізькій області на перевищувало у 1986 році і не перевищує у 2021 році 1 Бк/дм^3 .
4. Дана оцінка забруднення радіоцезієм ґрунтів в разі вибуху на Запорізькій АЕС за сценарієм ЧАЕС-86. Встановлено, що в зону відчуження попадуть сільськогосподарські угіддя Кам'янка-Дніпровського району, де забруднення радіоцезієм ґрунтів очікуватиметься більш 40 Кі/км^2 . У Василівському районі забруднення радіоцезієм буде більше 20 Кі/км^2 . У Мелітопольському й Оріхівському забруднення цезієм-137 становитиме більш 7 Кі/км^2 . У Михайлівському, Токмакському, Запорізькому і Веселівському районах щільність забруднення радіоцезієм очікується більш 5 Кі/км^2 , у Якимівському – більше 3 Кі/км^2 . В Пологовському і Бердянському субрегіонах забруднення сільгоспугідь не буде перевищувати 1 Кі/км^2 .
5. Дана оцінка забруднення радіоцезієм зрошувальних вод в разі вибуху на Запорізькій АЕС за сценарієм ЧАЕС-86. Встановлено, що концентрація радіоцезію дорівнюватиме 2 Бк/дм^3 .
6. За допомогою моделі ECOSYS-87 виконані розрахунки забруднення радіоцезієм посівів соняшнику в 1986 і 2021 роках. Встановлено, що у всіх субрегіонах і районах Запорізької області забруднення радіоцезієм посівів соняшнику в рік аварії (1986 рік) було значно менше тимчасово

допустимого рівня (ТДР), через 35 років після аварії концентрація радіоцезію в посівах соняшника залишалася також менше ТДР.

7. Виконані розрахунки забруднення радіоцезієм посівів соняшнику за сценарієм ЧАЕС-86. Встановлено, що за сценарієм на зрошуваних з Каховського і Дніпровського водосховищ землях посіви соняшника матимуть дуже високий рівень забруднення радіоцезієм. У Василівському районі активність накопичення досягатиме 740 Бк/кг. У Запорізькому і Мелітопольському субрегіонах становитиме 436...514 Бк/кг. Тому без повного комплексу захисних заходів якісної продукції отримати буде неможливо. В Кам'яно-Дніпровському районі ведення сільськогосподарської діяльності зовсім буде заборонено. В районах, що будуть перебувати на достатньо безпечному рівні від епіцентру вибуху, вирощування соняшника буде можливим, але без зрошення високих врожаїв очікувати не буде можливим.
8. Виконані розрахунки забруднення радіоцезієм соняшникового насіння і соняшникової олії в 1986 і 2021 роках. Встановлено, що активність радіоцезію як в насінні соняшнику, так і в соняшниковій олії значно менше тимчасово допустимого рівня. Отже, і насіння соняшнику, і соняшникова олія були «чистими» і могли без обмежень вживатися в їжу.
9. Виконані розрахунки забруднення радіоцезієм соняшникового насіння і соняшникової олії за сценарієм ЧАЕС-86. Встановлено, що продукти харчування, насіння соняшнику та соняшникова олія, що будуть отримані при вирощуванні посівів соняшнику в умовах зрошення, стануть не придатними для вживання їх в їжу. У Василівському районі концентрація радіоцезію в насінні дорівнюватиме 300 Бк/кг, а в олії – 60 Бк/кг, в інших районах відповідно 222...242 Бк/кг і 47...48 Бк/кг. Використовувати для харчування можливо буде лише продукти, які отримають при вирощуванні соняшнику в районах, що будуть перебувати на достатньо безпечній відстані від епіцентру вибуху, до них належать Пологівський та Бердянський субрегіони області, тому що активність накопичення радіоцезію в насінні і соняшниковій олії становитиме відповідно 1,78...20,7 Бк/кг і 0,354...4,122 Бк/кг.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агрокліматичний довідник по Запорізькій області / Гол. ред. Т.І. Адаменко. Кам'янець-Подільський. 2010. 186 с.
2. Гірій В.А., Закорчевний В.О., Косовець О.О., Лебо Ю.Г. Динаміка радіоактивного забруднення вод Дніпровського каскаду. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2003. Вип. 252. с. 124-130. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://uhmi.org.ua/pub/np/252/15_Kos_Gir_Zak_Lebo.pdf.
3. Гудков І.М., Кашпаров В.О., Паренюк О.Ю. Радіоекологічний моніторинг: навчальний посібник. Київ: НУБіП України. 2018. 194с. <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/52/048/52048850.pdf>
4. Довідник з агрохімічного та агроекологічного стану ґрунтів України./ под ред. Б.С. Носка, Б.С. Прістера, М. В. Лободи. Київ: "Урожай", 2006. 334 с.
5. Екологічний паспорт Запорізької області за 2020 рік. Запоріжжя. 2021. 164 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.zoda.gov.ua/article/2557/ekologichniy-pasport-zaporizkoji-oblasti-za-2020-rik.html>
6. Жигайло Е.Л. Метод агроэкологической оценки радиоактивного загрязнения первичной биологической продукции. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2007. №2. с. 16-23.
7. Жигайло О. Л. Методичні вказівки з дисципліни "Моделювання антропогенного забруднення ґрунтів та методи контролю" до виконання курсового проекту студентами 5 курсу екологічного факультету. Напрямок підготовки "Екологія". Спеціальність "Агроекологія". Одеса. ОДЕКУ. 2009. 40 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://eprints.library.odetu.edu.ua/id/eprint/8464>
8. ЗАЭС: Радиацию может разнести куда угодно, в зависимости от метеоусловий. Міндовкілля. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.pravda.com.ua/rus/news/2022/03/4/7328040/> – Назва з екрана.

9. Лось І.П., Войцехович О.В., Шепелевич К.І. Радіація і вода: Досвід забезпечення радіологічного захисту в управлінні якістю води після аварії на Чорнобильській АЕС: монографія. Київ: Науковий центр радіоційної медицини АМН України, Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут, 2001. 104 с.
10. Моніторинг зрошувальних земель. БУВР річок Приазов'я, 2021 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://buvrzp.gov.ua/>.
11. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України /Балюк С.А., Медведєв В.В., Тараріко О.Г. та ін... Київ: ТОВ «ВИК ПРИНТ», 2010. 111с. http://www.iogu.gov.ua/wp-content/uploads/2013/07/stan_gruntiv.pdf
12. Полевой А.Н. Моделирование процесса формирования продуктивности зерновых культур в условиях радиоактивного загрязнения агроэкосистем. *Метеорология и гидрология*. 1993. №3. С. 97 –105.
13. Польовий А.М., Божко Л.Ю., Жигайло О.Л., Барсукова О.А., Толмачова А.В. Методичні вказівки до виконання бакалаврських кваліфікаційних робіт для студентів за спеціальністю 101 «Екологія» (Агроекологія та управління агроєкосистемами). Рівень вищої освіти - бакалавр. Одеса: ОДЕКУ. 2019 р. 30 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://eprints.library.odetu.edu.ua/id/eprint/5803>
14. Проблемы сельскохозяйственной радиологии. / под. ред. Б.С. Пристера. Киев: Укр. НИИСХР, 1996, Вып. 4. 240 с.
15. Про визначення адміністративних центрів та затвердження територій територіальних громад Запорізької області: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 12.06. 2020 № 713-р [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/713-2020-%D1%80#Text/>
16. Про затвердження Державних гігієнічних нормативів «Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді»: Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 03.05.2006 N 256 // Верховна рада України. Законодавство України. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0845-06#Text>.

- 17.Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Запорізької області у 2020 році Запоріжжя: ЗОДА. Департамент захисту довкілля. 2021. 276 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/files/docs/EkoMonitoring/2021/regional/>
- 18.Стефанишин О.О., Гарасимів Т.Г., Мах В.В. Радіаційне забруднення на території України. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/132578069.pdf> .
- 19.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.
- 20.Чем опасна возможная авария на Запорожской АЭС. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://hromadske.ua/ru/posts/chem-opasna-vozmozhnaya-avariya-na-zaporozhskoj-aes> – Назва з екрана.
- 21.Чугай А.В., Ковальчук В.И. Системы радиационного мониторинга в Украине. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2010. №7. С. 23-28. http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/4218/1/uhmj_7_2010_23.pdf
- 22.**Baranovskyi M., 2020.** Subregional level of administrative and territorial reform in Ukraine: debatable aspects. *Visnyk Kyivskogo nacionalnogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka, Geografiya* [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Geography], 1/2 (76/77), 37-43 (in Ukrainian, abstr. in English), doi: 10.17721/1728-2721.2020.76-77.5 https://visnyk-geo.knu.ua/?page_id=8066&lang=uk.
- 23.Muller H., Prohl G. ECOSYS-87. A dynamik model for the assessment of the radiological consequences of nuclear accidents // *Health Phys.* 1993. V.64.p.232-252.
- 24.Polevoy A. Description of growth and radionuclide uptake model // PHYTOR Evaluation of Willow Plantations for the Phytorehabilitation of Contaminated Arable Land and Flood Plane Areas. Intermediary report #2. – Belgium, INCO-COPERNICUS. 2000. P.66-79.