

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет природоохоронний  
Кафедра загальної та теоретичної фізики

**Кваліфікаційна робота бакалавра**

на тему: Оцінка екологічних ризиків розташування АЕС в межах  
морського узбережжя з урахуванням зовнішніх факторів впливу та  
співіснування

Виконав студент 4 року навчання  
групи ТЗ-42і  
спеціальності 183 «Технології  
захисту навколишнього  
середовища»  
Нечипорук Вячеслав  
Володимирович

Керівник д.ф.-м. н., професор  
Герасимов Олег Іванович

Рецензент д.ф.-м.н.  
Ковальчук Володимир  
Володимирович

Одеса 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет \_\_\_\_\_ природоохоронний \_\_\_\_\_  
 Кафедра \_\_\_\_\_ загальної та теоретичної фізики \_\_\_\_\_  
 Рівень вищої освіти бакалавр  
 Спеціальність Напрямок підготовки 183 «Технології захисту навколишнього середовища» \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)  
 Освітня програма Технології захисту навколишнього середовища \_\_\_\_\_  
(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри загальної**  
**та теоретичної фізики,**  
**професор Герасимов О.І.**

“05”\_травня\_2021\_року

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

студенту \_\_\_\_\_ Нечипоруку Вячеслава Володимировичу \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Оцінка екологічних ризиків розташування АЕС в межах морського узбережжя з урахуванням зовнішніх факторів впливу та співіснування

керівник роботи \_\_\_\_\_ Герасимов Олег Іванович д.ф-м.н, проф. \_\_\_\_\_

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “\_\_18\_\_” грудня 2020 року  
 №\_254 – «С»\_

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_ 14.06.2021 \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Проаналізувати наслідки аварії на станції Фукусіма та сформульовані застереження до сучасної концепції розташування атомних станцій в околі берегових ареалів, зокрема, станції «Аккую».

2. Надати оцінку екстремальних коливань рівня моря та сейсмічності в районі будівництва АЕС «Аккую»

3. Висвітлити екологічні наслідки позаштатної аварії на прикладі АЕС

4. Сформулювати вимоги та заходи щодо безпеки атомних об'єктів, розташованих в межах берегових ареалів задля забезпечення навколишнього середовища та його складових серед яких найголовнішою є людина.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Рис. 1.1 - Місця вимірювань радіоактивності поверхні моря і відбору проб на радіоактивне забруднення уловів в 2011-2013 рр. Розміри кіл пропорційні активності Cs-137 в тканинах риб. Таблиця 1.1 - Динаміка рівнів забруднення проб риби, виловлених біля узбережжя Японії після аварії на АЕС «Фукусіма-1». Рис. 2.1 – Місце розташування АЕС. Таблиця 2.1 – Енергоблоки АЕС «Аккую». Рис. 3.1 - Знімок з космосу досліджуваної акваторії. Таблиця – 3.1 Максимальні позитивні амплітуди хвиль в різних пунктах, отримані по гідродинамічної моделі Середземного моря під час вибуху біля о. Санторін. Рис. 3.2 - Розрахункові значення максимальних підвищень рівня, що мали місце при катастрофічному землетрусі на о. Санторін в 15 ст. до н.е. Таблиця – 3.2 Позитивна амплітуда хвилі цунамі (см) в районі АЕС в результаті 7 землетрусів в Егейському морі і північно-східній частині Середземного моря за останні 1000 років. Таблиця 3.3 - Позитивна амплітуда хвилі цунамі (см) в районі АЕС з різними періодами повторюваності (роки), розрахована за даними за останні 1000 років. Таблиця 3.4- Величина нахату хвилі цунамі (см) в районі АЕС з різними періодами повторюваності (роки), розрахована за даними за останні 1000 років. Таблиця 3.5 - негативна амплітуда хвилі цунамі (см) в районі АЕС з різними періодами повторюваності (роки), розрахована за даними за останні 1000 років. Таблиця – 3.6 Можливий штормовий нагону (см) в районі АЕС при різних напрямках вітру, (в чисельнику - на північному узбережжі затоки, в знаменнику - в його східній частині). Рис. 3.3 Характерні висоти хвиль з періодом повторюваності раз в 100 років в акваторії, прилеглої до АЕС «Аккую». Таблиця – 3.7 Можливий максимальний підйом і можливе сумарне опускання рівня моря (см) в районі АЕС. Рис. 4.1 - розподіл в часі сейсмічності, локалізованої в радіусі 50 км від майданчика АЕС «Аккую». Рис. 4.2 - положення скупчень та епіцентрів сильних регіональних землетрусів за даними моніторингу за 2011-2015 рр. Рис. 4.3 - положення роїв землетрусів в 50-кілометровій зоні АЕС «Аккую» (1) і епіцентрів сильних регіональних землетрусів (2) за період 1911-2011 рр. Табл. 5.1 – Середні коефіцієнти розподілу і накопичення радіоактивних елементів в морських осадах і гідробіонтах .

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	Немає		


7. Дата видачі завдання 05.05.2021 р. \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
<b>1</b>	Огляд базових літературних джерел за темою дипломного проекту	04.05.- 06.05.21	80	4 (добре)
<b>2</b>	Узагальнення основних теоретичних положень проекту	07.05.- 10.05.21	80	4 (добре)
<b>3</b>	Рубіжна атестація	11- 15.05.21р	80	4 (добре)
<b>4</b>	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення електронної версії роботи. Перевірка на плагіат. Складання протоколу та авторського договору	16.05- 31.05.21	80	4 (добре)
		01.06.21		
<b>5</b>	Підготовка паперової версії і презентаційного матеріалу до процедури предзахисту. Внесення коректив. Рецензування роботи. Підготовка до публічного захисту.	02.06- 17.06.21	80	4 (добре)
	<b>Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)</b>		80	4 (добре)

Студент \_\_\_\_\_ **Нечипорук В.В.**  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ **Герасимов О.І.**  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

### **Нечипорук В. В. «Оцінка екологічних ризиків розташування АЕС в межах морського узбережжя з урахуванням зовнішніх факторів впливу та співіснування»**

**Актуальність теми.** Проблема розташування атомних електростанцій поблизу морського узбережжя є досить актуальною, бо від безпеки їх експлуатації суттєво залежить загальний рівень радіаційної безпеки. В результаті аварії на АЕС «Фукусіма-1» води Тихого океану піддалися інтенсивному радіоактивному забрудненню, яка показала що потенційна небезпека забруднення води може призвести до забруднення морепродуктів довгоживучими радіонуклідами  $^{134}\text{Cs}$  і  $^{137}\text{Cs}$ , скидання яких в океан з місця аварії триває до теперішнього часу. Тому, найголовнішою задачею для подальшого збереження людства є запровадження заходів щодо безпеки атомних об'єктів та заходів розташування АЕС в межах морського узбережжя задля захисту навколишнього середовища та запобіганню катастрофічних наслідків.

**Метою** кваліфікаційної бакалаврської роботи є оцінка екологічних ризиків розташування АЕС на прикладі «Фукусіма» та «Аккую» в межах морського узбережжя з урахуванням зовнішніх факторів впливу та їх наслідків для берегових ареалів, що стосуються головним чином морепродуктів, які потрапляють через харчові ланцюжки до споживача.

#### **Задачі дослідження.**

- Проаналізувати радіаційну катастрофу на АЕС «Фукусіма» та її наслідки;
- Надати застереження до сучасного розташування атомних в межах морського узбережжя, зокрема, станції «Аккую»;
- Проаналізувати оцінку екстремальних коливань рівня моря та

- сейсмічності, як фактори небезпеки для розташування АЕС «Аккую»
- Описати можливі екологічні наслідки потрапляння радіонуклідів через морську біоту через харчові ланцюжки до організму людини та
  - Наддати вимоги та заходи щодо безпеки атомних об'єктів, розташованих в межах морських узбережжь задля забезпечення навколишнього середовища.

Науковий керівник:

ОДЕКУ, завідувач кафедри загальної та теоретичної фізики

проф. Герасимов О.І.

Робота містить:

Сторінок - 45

Рисунків - 6

Таблиць - 10

Літературних посилань- 34

**Ключові слова:** АЕС «Аккую», АЕС «Фукусіма 1», радіаційне забруднення, морське середовище, сейсмічна зона, радіоактивне забруднення, захист населення, гіпотетична радіаційна аварія.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 РАДІАЦІЙНА КАТАСТРОФА НА АЕС «ФУКУСИМА» ТА ЇЇ НАСЛІДКИ.....	10
2 АЕС «АККУЮ» ЯК ДЖЕРЕЛО ПОТЕНЦІЙНОГО РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ, ЯКЕ РОЗТАШОВАНЕ В МЕЖАХ МОРСЬКОГО УЗБЕРЕЖЖЯ.....	17
3 ОЦІНКА ЕКСТРЕМАЛЬНИХ КОЛИВАНЬ РІВНЯ МОРЯ В РАЙОНІ АЕС «АККУЮ» .....	21
4 МОНІТОРИНГ СЕЙСМІЧНОСТІ В БЛИЖНЬОМУ РАЙОНІ МАЙДАНЧИКИ БУДІВНИЦТВА АЕС «АККУЮ».....	30
5 ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ПОЗАШТАТНОЇ АВАРІЇ НА ПРИКЛАДІ АЕС «АККУЮ» .....	34
ВИСНОВКИ.....	41
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	43

## ВСТУП

Феномен радіоактивного забруднення має глобальний екологічний характер і є, в тій чи іншій мірі, негативним фактором.

Радіація впливає, як розмори, так і зовні, завдяки концентруванню ізотопів в органах і тканинах внаслідок опромінення від джерел, що знаходяться поза організмів тварин. Радіоактивні речовини впливають на різноманітні морські біоресурси. Значною загрозою для забруднення екосистем моря радіонуклідами є підприємства ядерної енергетики.

Так, наприклад в результаті аварії на АЕС «Фукусіма-1» води Тихого океану піддалися інтенсивному радіоактивному забрудненню. За різними оцінками в океан у перший рік після аварії було скинуто від 3,5 до 41 ПБк  $^{137}\text{Cs}$  (1 ПБк= $10^{15}$  Бк) і приблизно така ж кількість  $^{134}\text{Cs}$ .

У зв'язку з поступлением в океан довгоіснуючих радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  виникла небезпека тривалого забруднення риби і морепродуктів.

У бакалаврській роботі розглянемо особливості будівництво АЕС "Аккую" в межах берегових ареалів, як потенційну екологічну загрозу.

АЕС «Аккую» - атомна електростанція, яка будується на південному узбережжі Туреччини. АЕС «Аккую» споруджується за російським проектом, що включає в себе будівництво і введення в експлуатацію чотирьох енергоблоків з реакторами типу ВВЕР-1200.

Станція будується на Середземному узбережжі, приблизно в 320 км від Анталії. З іншого боку, зовсім поруч – курорти Кіпру, Греції та інших середземноморських країн. До території майданчика АЕС впритул прилягають сільськогосподарські землі, яке звичайно, хвилює місцеве населення. Станція буде будуватися з урахуванням всіх існуючих у світовій практиці нормативів. На випадок надзвичайно малоймовірної аварії передбачені всі можливі варіанти захисту населення і навколишнього середовища стверджує керівництво АЕС. Є відповідні нормативи, що



стосуються розташування станції на певній відстані від найближчих житлових центрів, і вони мають дотримуватися самим суворим чином.

Начебто все враховано, але все одно існує можливість певних ризиків, щодо аварій на АЕС, розташованих в межах берегових ареалів(наприклад сейсмічна активність в регіоні, цунамі).

Тож, проаналізуємо можливу гіпотетичну аварію на АЕС "Аккую" ( на основі гідродинамічних розрахунків і історичних даних в районі виникнення цунамі та сейсмічності ) та її екологічні наслідки для морських та прилеглих ареалів, що стосуються головним чином морепродуктів, які потрапляють через харчові ланцюжки до споживача, які напряму впливають на здоров'я людини.

## 1 РАДІАЦІЙНА КАТАСТРОФА НА АЕС «ФУКУСІМА» ТА ЇЇ НАСЛІДКИ

Фукусіма-1 входила в число найпотужніших АЕС світу. Вона складається з 6 енергоблоків, які до аварії віддавали в електричну мережу до 4,7 гігават енергії. На момент катастрофи в робочому стані знаходилися лише 1,2 і 3-й реактори, 4, 5 і 6-й реактори були зупинені для планового ремонту, причому паливо з четвертого реактора було повністю вивантажено і знаходилося в басейні витримки. Також на момент катастрофи в басейнах витримки кожного енергоблоку знаходився невеликий запас свіжого палива і досить велика кількість відпрацьованого [1].

Аварія на АЕС Фукусіма-1 – єдина радіаційна катастрофа, викликана стихійним лихом. Землетрус, що стався 11 березня 2011 року, не можна вважати головною причиною аварії на Фукусімі – після перших поштовхів всі працюючі на АЕС реактори були заглушені системою аварійного захисту. Однак приблизно через годину станцію накрила хвиля цунамі заввишки майже 11 метрів, що призвело до фатальних наслідків – вимкнулися штатні та аварійні системи охолодження реакторів, а потім пішов ланцюжок вибухів і викидів радіації.

Аварія на атомній станції Фукусіма-1 мала надзвичайно згубні наслідки [1].

Певний внесок в це забруднення внесли вибухи на енергоблоках, які відбулися з 12 по 15 березня 2011 року - пар, викинутий з гермооболонки реакторів, ніс в собі деяку кількість радіонуклідів, які осіли навколо станції.

Однак найбільші забруднення зазнала морська вода, яка закачувалася в реактори в перший тиждень після аварії.

Викиди радіоактивних речовин змусили вже 11 березня провести евакуацію людей з 2-кілометрової зони навколо станції, а вже до 24 березня радіус зони евакуації збільшився до 30 км. Всього за різними підрахунками було евакуйовано від 185 до 320 тисяч чоловік, проте в це число входять і евакуйовані з територій, які зазнали серйозних руйнувань від землетрусу і цунамі.

В результаті зараження води в ряді районів була заборонена ловля риби, а також введена заборона на використання земель в 30-кілометровій зоні навколо Фукусіма-1.

Аварія на АЕС Фукусіма-1 мала наслідки і зовсім іншого роду. Японія через зупинку всіх своїх атомних станцій була змушена значно збільшити вироблення електроенергії на традиційних теплових станціях. Але найголовніше, що аварія стала причиною запеклих суперечок з приводу необхідності атомної енергетики для Японії, і цілком можливо, що країна до 2040-х років взагалі відмовиться від використання АЕС [1].

Основними радіологічно значущими радіонуклідами протягом перших 5-6 років після аварії на АЕС «Фукусіма-1» є ізотопи Cs-137 та Cs-134 з періодами напіврозпаду 30,07 і 2,06 року відповідно. Оскільки внесок Sr-90 у сумарному викиду радіоактивності невеликий (менше 3%), оцінку ризику доцільно проводити тільки для ізотопів цезію. Співвідношення цих ізотопів з плином часу після аварії змінюється, оскільки період напіврозпаду <sup>134</sup>Cs істотно менше, ніж <sup>137</sup>Cs. Якщо на початок аварії співвідношення даних ізотопів у викиді було приблизно рівним [2,3], то на момент написання даної роботи (початок 2015 р.) активність <sup>134</sup>Cs становить приблизно 25% від активності <sup>137</sup>Cs.

В результаті аварії на АЕС «Фукусіма-Дайті» стався викид радіонуклідів в навколишнє середовище. Оцінка викидів проводилась багатьма організаціями із застосуванням різних моделей. Велика частина викидів в атмосферу піддалася переносу де переважають вітри з розсіюванням і осадженням в північній частині Тихого океану. Невизначеності в оцінках кількості і складу викидів радіоактивних речовин було складно усунути по ряду причин, в тому числі через відсутність даних моніторингу осадження атмосферних викидів на поверхню океану.

Зміни напрямку вітру призвели до того, що на суші сталося осадження відносно невеликої частини атмосферних викидів, в основному в північно-західному напрямку від АЕС «Фукусіма-Дайті». Наявність і активність осаджень радіонуклідів в земному середовищі контролювалися шляхом

моніторингу і характеристичі. Виміряні рівні активності радіонуклідів знижуються з плином часу внаслідок процесів фізичного розпаду, перенесення в навколишньому середовищі, а також заходів з очищення.

Крім радіонуклідів, які надходили в океан в результаті атмосферного осадження, відбувалися рідкі викиди і скиди з майданчика АЕС «Фукусіма-Дайіті» безпосередньо в море. Точне переміщення радіонуклідів в океані складно оцінювати тільки шляхом вимірювань, і для оцінки розсіювання радіонуклідів в океані був використаний ряд моделей їх перенесення в океані [4].

Вивільнені радіонукліди, такі як I-131, Cs-134 і Cs-137, були виявлені у питній воді, продуктах харчування і деяких непродовольчих продуктах. В рамках реагування на аварію влади Японії ввели обмеження з метою не допустити споживання і використання цих продуктів.

Було виконано безліч оцінок викидів радіонуклідів внаслідок аварії на АЕС «Фукусіма-Дайіті» з використанням випробуваних математичних моделей, методів і відповідних комп'ютерних кодів. На ранній стадії аварії в шлейфі викидів в атмосферу також були присутні інертні гази Kr-85 і Xe-133 з періодами напіврозпаду 10,76 років і 5,25 доби, відповідно. Короткоживучий I-131 з періодом напіврозпаду 8,02 доби був одним з елементів, що сприяють накопиченню еквівалентних доз в щитовидній залозі в разі перорального або інгаляційного надходження. Більш довгоживучі Cs-134 і Cs-137 з періодами напіврозпаду 2,06 років і 30,17 років, відповідно, сприяли накопиченню еквівалентних доз і ефективних доз при зовнішньому і внутрішньому опроміненні. Хоча I-131 розпадається відносно швидко, його вплив може призвести до утворення відносно високих еквівалентних доз в щитовидній залозі. У деяких районах в навколишньому середовищі може зберігатися Cs-137; якщо не буде проведена реабілітація, він може і далі сприяти накопиченню ефективної дози у людей .

Крім того, в різних кількостях відбувався викид радіонуклідів стронцію, рутенію і деяких актинідів (наприклад, плутонію). Біля головних в'їзних воріт станції (які знаходяться приблизно в 1 км від енергоблоків 1-3) в період з 5:30 до 10:50 13 березня було зареєстровано поява нейтронів. Згідно

з оцінками, нейтрони з'явилися в результаті спонтанного ділення ядер радіонуклідів, викид яких стався в результаті пошкодження активної зони реактора. Таке явище було передбачуваним, і повідомлялося про присутність цих радіонуклідів у відносно невеликих обсягах [5].

Інертні гази становлять значну частину первинних викидів з АЕС «Фукусіма-Дайті»; згідно з оцінками обсяг викидів склав від приблизно 6000 - 12000 ПБк Хе-133 (за первинними оцінками 500-15000 ПБк). Середня загальна активність вивільнився І-131 склала приблизно 100-400 ПБк, а активність Cs-137 - приблизно 20 ПБк (або за первинними оцінками 90-700 ПБк і 7-50 ПБк). Викиди в результаті даної аварії оцінюються приблизно в одну десяту обсягу викидів, пов'язаних з аварією на Чорнобильській АЕС в 1986 році. Велика частина викидів розсіялася над північною частиною Тихого океану; в результаті повторне підтвердження обсягу і ізотопного складу вивільнився матеріалу (параметри джерела викиду) шляхом вимірювання вмісту відкладень радіонуклідів у навколишньому середовищі неможливе [4].

Велика частина викидів в атмосферу розсіялася над північною частиною Тихого океану в поверхневому шарі води. Мали місце прямі викиди, а також скиди в море з майданчика, при цьому основним джерелом високорадіоактивної води став жолоб поблизу АЕС «Фукусіма-Дайті». Піковий рівень радіоактивних викидів спостерігався на початку квітня 2011 року. Обсяг прямих викидів і скидів І-131 в море за оцінками склав 10-20 ПБк. Прямі викиди і скиди Cs-137 за оцінками в результаті більшості аналізів склали 1-6 ПБк, проте в деяких оцінках вказувалися значення від 2,3 до 26,9 ПБк.

За даними численних щоденних вимірювань радіаційного фону повітря, води і уловів, початих в березні 2011 року і тривали близько трьох років, в районах відкритих вод Тихого океану, рівень радіації не перевищував гранично-допустимого значення за Нормами радіаційної безпеки (2009) в 60 мкР/рік і в основному перебував у межах природного гамма -фон: 8-13 мкР/рік. Максимальний рівень радіації - 20 мкР/рік - був зареєстрований 26 і 28 березня 2011 року в атмосфері в районі на схід від Курильських островів.

Судячи за часом і місцем виявлення, це локальне короткочасне підвищення могло бути наслідком викидів радіоактивних речовин в атмосферу при вибухах на АЕС «Фукусіма-1», що відбулися 12-15 березня, однак через значної відстані, яку подолало забруднене повітря, рівень радіоактивності знизився до величин, лише небагато чим перевищують фоновий рівень. Проте, вже в перших пробах на радіоактивне забруднення, зібраних з уловів молодій горбуші з тихоокеанської боку Курильських островів 23 березня, тобто всього через 12 днів після аварії, зареєстрована підвищена радіоактивність: активність Cs-137 склала 8.1 Бк/кг сирової маси, що в кілька разів перевищувало величини, що спостерігалися в цьому районі до аварії (в середньому  $1.5 \pm 0.3$  Бк/кг), відзначено також присутність короткоживучого ізотопу Cs-134 з активністю 6.9 Бк/кг ( Рис. 1.1). Ця горбуша мігрувала в північно-західну частину Тихого океану з Охотського моря в жовтні-листопаді 2010 р, взимку вона мешкає в субарктичній зоні і не буває біля берегів Японії, отже, радіоактивне забруднення, нехай в невеликому, безпечному кількості, було отримано їй безпосередньо в районі нагулу, куди радіонукліди потрапили через атмосферу. У пробах з уловів в цьому ж районі 2 і 7 квітня 2011 р підвищена активність радіоізотопів цезію зберігалася. На час наступної тралової зйомки в тому ж районі, виконаної в червні-липні 2011 р, у всіх досліджених зразках горбуші і кети активність Cs-137 не перевищувала 2.6 Бк/кг, а радіонуклід  $^{134}\text{Cs}$  виявлений не був. У 2012 і 2013 роки ні у нагульних лососів, ні у лососів, які мігрували на нерест з Тихого океану в Охотське море, підвищена активність радіонуклідів в тканинах паче не спостерігалися, а в червні-липні 2013 р активність  $^{137}\text{Cs}$  знизилася до 1.8-1.5 Бк/кг, тобто нижча до аварійний рівень [6].

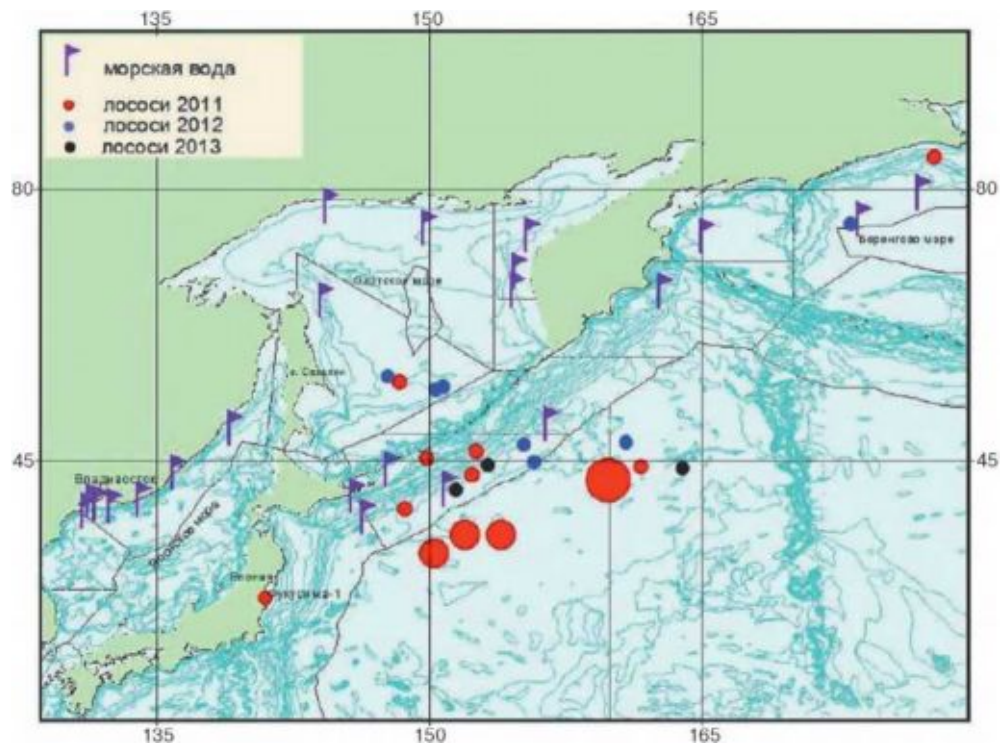


Рис. 1.1 - Місця вимірювань радіоактивності поверхні моря і відбору проб на радіоактивне забруднення уловів в 2011-2013 рр. Розміри кіл пропорційні активності Cs-137 в тканинах риб.

У таблиці 1.2 подано характеристики і частота розподілу рівнів вмісту Cs-137 з даними за 2012-2015 р.

З таблиці 1.2 видно, що до початку 2015 р. частина проб риби з перевищенням нормативу 100 Бк/кг, встановленого в Японії, істотно знизилася за порівняно з 2012 р. Результати вимірювання радіоактивності різних екологічних типів риб у 2011-2012 р. Біля узбережжя в провінціях Фукусіма, найбільш забрудненими видами риб являються донні мешканці. Концентрації цезію у них в 10-50 разів більше, ніж у поверхносних видів, в порівнянні з такими для прісноводних мешканців [7].

Рівні забруднення придонних риб вздовж узбережжя Японії відрізняються. Найбільш забрудненими є риби, вылавливаемые біля узбережжя префектур Фукусіма і Ібаракі. У провінціях північ (Міягі, Івате) і південь (Чіба) рівні забруднення нижче встановленого в Японії допустимого вмісту 100 Бк/кг, а середня концентрація в цих провінціях в 2014 р.

становила 23 Бк/кг, тоді як в інших провінціях була близька до 10 Бк/кг(табл. 1.1)

Таблиця 1.1 - Динаміка рівнів забруднення проб риби, виловлених біля узбережжя Японії після аварії на АЕС «Фукусіма-1»

Дата	Загальне число проб	Число проб з перевищенням 1 Бк/кг	Кількість проб з перевищенням 100 Бк/кг	% проб з перевищенням 100 Бк/кг
Лютий 2012 р.	1299	787	115	8,8
Серпень 2013 р.	1695	533	21	1,2
Серпень 2014 р.	1669	380	8	0,5
Грудень 2014 р. – січень 2015 р.	491	53	–	8,8

Зважаючи на вищесказане, існує проблема загрози внутрішнього опромінення споживачів рибної продукції, при використанні в харчовій промисловості радіоактивної риби. Маючи жахливий досвід з Фукусімою, здавалось б, що людство мало б замислитись над питанням безпеки при будівництві та експлуатації АЕС.

Проте, нажаль, ми бачимо явно протилежну тенденцію на прикладі Туреччини, яка дозволила будівництво АЕС в сейсмічно небезпечному районі поблизу берегових ареалів, незважаючи на попередній сумний досвід на АЕС Фукусіма [8]. І це може спричинити у майбутньому досить значні проблеми для населення такі як, опромінення, забруднення Середземного моря на сам перед, а отже і забруднення усїєї біоти.



## 2 АЕС «АККУЮ» ЯК ДЖЕРЕЛО ПОТЕНЦІЙНОГО РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ, ЯКЕ РОЗТАШОВАНЕ В МЕЖАХ МОРСЬКОГО УЗБЕРЕЖЖЯ

Проблема розташування атомних електростанцій поблизу морського узбережжя є досить актуальною, бо від безпеки їх експлуатації суттєво залежить загальний рівень радіаційної безпеки.

АЕС «Аккую» (тур. Akkuyu Nükleer Güç Santrali) - атомна електростанція, яка будується на південному узбережжі Туреччини. АЕС «Аккую» споруджується за російським проектом, що включає в себе будівництво і введення в експлуатацію чотирьох енергоблоків з реакторами типу ВВЕР-1200. Угода про будівництво станції було підписано в травні 2010 р.



Рис. 2.1 – Місце розташування АЕС

Електрична потужність кожного блоку турецької АЕС складе 1200 МВт, загальна - 4800 МВт [9]. Згідно з підписаним 10 травня 2010 року в Анкарі російсько-турецькому міжурядової угоди експлуатація першого енергоблоку повинна початися протягом семи років після отримання ліцензії на будівництво. Передбачається, що блоки будуть вводитися в дію

послідовно з інтервалами в один рік, починаючи з 2023 г. Заявлено, що проектні рішення станції АЕС «Аккую» відповідають всім сучасним вимогам світового ядерного співтовариства, закріпленим в нормах безпеки МАГАТЕ, Міжнародної консультативної групи з ядерної безпеки і вимогам EUR [10].

Таблиця 2.1 – Енергоблоки АЕС «Аккую»

Енергоблок	Тип реакторів	Потужність		Початок будівництва	Введення в експлуатацію
		Чистий	Брутто		
Аккую-1 (будується)	ВВЭР-1200/509	1114 МВт	1200 МВт	03.04.2018	квітень 2023 (план)
Аккую-2 (будується)	ВВЭР-1200/509	1114 МВт	1200 МВт	08.04.2020	квітень 2024 (план)
Аккую-3 (будується)	ВВЭР-1200/509	1114 МВт	1200 МВт	10.03.2021	квітень 2025 (план)
Аккую-4 (план)	ВВЭР-1200/509	1114 МВт	1200 МВт		квітень 2026 (план)

Що стосується проекту та обладнання турецької АЕС, то в ньому використовуватиметься реактор ВВЕР-1200, який відноситься до покоління "3+". Це одне з найбезпечніших технологічних рішень, що існують у світі на сьогоднішній день. У порівнянні з «Чорнобилем», або «Фукусімою», це більш досконала технологія нового покоління. [9,10].

Всі станції російського дизайну і АЕС «Аккую» в тому числі, пройшли стрес-тести, аналіз всіх систем безпеки і випробування надійності при умовах, аналогічних тим, що сталися на «Фукусімі».

Незважаючи на це, ймовірність аварії на складному технологічному об'єкті, такому як «Аккую», як свідчить гіркий досвід, все ж таки, присутня. В силу особливостей технології АЕС, навіть при самому сприятливому збігу обставин, вплив можливих нештатних ситуацій на навколишнє середовище має бути спрогнозованим та детально проаналізованим. Важливо уявляти, які фактори та їх наслідки можуть викликати нештатні ситуації, небезпечні для населення та навколишнього середовища, та які з них проявляють себе не

тільки в межах прилеглих ареалів, але й через харчові ланцюжки в більш глобальних масштабах.

Існує можливість певних ризиків, щодо аварій на АЕС, розташованих в межах берегових ареалів(наприклад сейсмічна активність в регіоні, цунамі).

Прикладом може бути вищезгадана жахлива аварія на станції «Фукусіма». Є такі фактори пов'язані із природними умовами і в районі станції «Аккую», будівництво якої вже наближається до завершення. Зокрема, вірогідність аварії через землетрус є досить вагомим фактором у вищезгаданому сенсі.

Навіть в самій Туреччині далеко не всі раді швидкій появі атомної станції. Турецьке Міністерство по захисту навколишнього середовища довгий час не затверджувало план «Росатому» з екологічного захисту місцевості. Екологи зажадали припинити роботи, оскільки вони йшли всупереч законодавству Турецької Республіки. Ядерний проект під назвою «Аккую» не вписувався в ці вимоги.

Водночас, Європарламент на пленарній сесії в Страсбурзі прийняв резолюцію по Туреччині, яка в числі іншого закликає Анкару відмовитися від спорудження АЕС "Аккую". У пункті 31 тексту резолюції наголошується, що "передбачувана ділянка знаходиться в регіоні, схильному до сильних землетрусів, і, отже, створюється істотна загроза не тільки для Туреччини, але і для всього середземноморського регіону"[11].

За заявою інженерно-геологічної асоціації роботи на першій турецькій атомній електростанції в Південній прибережній зоні «Аккую» ведуться без належних перевірок і можуть призвести до катастрофічних наслідків.

Також серйозну стурбованість викликає і те, що «Аккую» збираються зводити в сейсмічно небезпечній зоні.. Регіон розташований на стику тектонічних плит. За оцінками експертів, це може викликати землетрус силою до 7,9 балів за шкалою Ріхтера. Проти будівництва АЕС з кожним днем незадоволених стає все більше.

Враховуючи фактори, які призвели до аварії в Чорнобилі та Фукусімі, зокрема, пов'язані із будівництвом, розташуванням та експлуатацією АЕС, є сенс проробити потенційні можливі нештатні ситуації на АЕС «Аккую».

Тож розглянемо можливі екстремальні коливання рівня в районі проектного будівництва АЕС Аккую, які обумовлені цунамі, вітром, хвилюванням і приливами на підставі гідродинамічних розрахунків і історичних даних.

### 3 ОЦІНКА ЕКСТРЕМАЛЬНИХ КОЛИВАНЬ РІВНЯ МОРЯ В РАЙОНІ АЕС «АККУЮ»

Акваторія АЕС Аккую знаходиться на півдні Туреччини, на північному узбережжі Кілікійського моря (Рис 3.1).



Рис. 3.1 - Знімок з космосу досліджуваної акваторії

Акваторія характеризується теплим середземноморським кліматом з середніми річними температурами повітря не нижче 13°C. Зима тепла, середня температура в січні 6 - 12°C. Літо спекотне, температура в середньому 21 - 25 °С, щорічно спостерігаються температури до 35 - 40 °С. Для моря характерний сезонний хід в повторюваності сильних вітрів. Взимку в розглянутому районі вітри більше 14 м/с мають повторюваність 3 - 5%, вітри більше 20 м/с - 0,2 - 0,4%. У цей період в окремі місяці буває 6-7 днів з штормом. Середня безперервна тривалість штормів близько 15 годин, проте, в ряді випадків шторму можуть тривати більше 2,5 доби [12]. Припливи в основному півдобові, їх величина менше 1 м. Значні розміри моря та наявність сильних вітрів створюють, особливо взимку, досить інтенсивні і великі поля хвиль. У літні місяці повторюваність сильного хвилювання на морі невелика. В системі сейсмічно небезпечних зон східне Середземномор'я

входить до складу Середземно-Азіатського (або Альпійського) поясу і за своєю активністю поступається лише великому Тихоокеанському поясу. Починаючи з 2-го тисячоліття до н.е., загальна кількість відомих землетрусів в районі, так званої, грецької дуги, що проходить через Егейське море, становить 613. При цьому 41 землетрус супроводжувався хвилями цунамі, 16 з яких носили катастрофічний характер [13].

У зв'язку з тим, що район будівництва з південного боку захищена островом Кіпр, є лише три цунамонебезпечних районів:

1. Північно-східний край Середземного моря, від  $35,8^{\circ}$  до  $36,6^{\circ}$  і від  $35,2^{\circ}$  до  $36^{\circ}$  східної довготи. Це район затоки Іскендерун і вхід в цю затоку. За останні 1000 років тут сталося два землетруси [13]: в 1114 року на південно-східному березі затоки Іскендерун ( $36.50$  пн.ш.,  $36.00$  с.д.), і в 1822 р. в глибині затоки Антакья ( $36$  з. ш.,  $36$  с. д.).

2. Наступна сейсмічно небезпечна область може розташовуватися в околиці проектованої АЕС і на північному узбережжі о. Кіпр. Однак цунамонебезпечних землетрусів тут не спостерігалось.

3. Південно-східна частина Егейського моря. Ця область розташована між координатами від  $31^{\circ}$  до  $37^{\circ}$  пн.ш. і від  $24^{\circ}$  до  $36^{\circ}$  східної довготи. Згідно [13], в цьому районі, починаючи з 2000 р до н.е., відбулося 36 землетрусів.

Розрахунки цунамі були виконані від джерел [13], що знаходяться в описаних вище областях і мають інтенсивність 3 і більше. Таких землетрусів за весь час було 8: в 15 столітті до н.е., 1114, 1303, 1609, 1612, 1741, 1822 і 1956 рр. Перше було найбільш сильним: інтенсивність 8,5 (позитивна амплітуда хвилі цунамі понад 40 м), інтенсивність останнього - 4. Землетрус 1956 р сталося 9 липня неподалік від о. Аморгос (75 км на північний схід від о. Тир). У південно-західного узбережжя цього острова позитивна амплітуда хвилі цунамі склала 25м, а біля північного узбережжя о. Астіапея (80 км на схід від о. Тир) - 20м. Найбільшу популярність одержало цунамі, викликане в 15 столітті до н.е. виверженням вулкана біля острова Санторін в Егейському

морі. Новоутворена в епіцентрі вибуху гігантська хвиля обрушилася на о. Крит і, пройшовши через протоки, поширилася на східне Середземномор'я. Цунамі, обумовлене вулканічним вибухом у о. Санторін в Егейському морі, досліджувався в роботах [14, 15].

Таблиця – 3.1 Максимальні позитивні амплітуди хвиль в різних пунктах, отримані по гідродинамічної моделі Середземного моря під час вибуху біля о. Санторін

Місцезнаходження пункту	Глибина в точці (м)	Максимальний рівень (м)
о. Санторін (вихідна хвиля)		45
о. Крит	12	48
о. Анафі	5	49
Узбережжя Ізраїлю	5	4.6
Олександрія	5	6.3
Проектована АЕС «Аккую»:	50	4.5

У зв'язку з тим, що позитивна амплітуда хвилі цунамі в епіцентрі землетрусу безумовно невідома, в цьому дослідженні приймалися різні її значення в передбачуваному діапазоні. За розрахунками, які мають найтісніший контакт з археологічними даними значення рівня на узбережжі Ізраїлю і Єгипту відповідають значенням вихідної хвилі в 45 м при розмірах осередків 110 км на 60 км. В Таблиці 3.1 показані максимальні значення отриманої розрахункової амплітуди в деяких точках східного Середземномор'я для такої висоти вихідної хвилі біля острова Санторін.

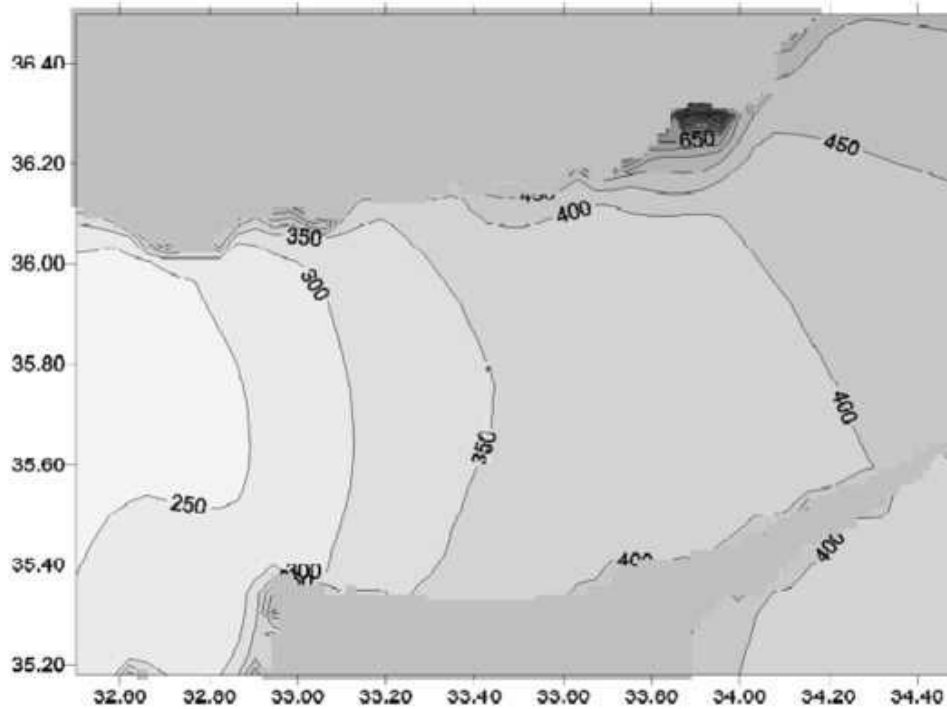


Рис. 3.2 - Розрахункові значення максимальних підвищень рівня, що мали місце при катастрофічному землетрусі на о. Санторін в 15 ст. до н.е.

На Рис. 3.2 представлена карта максимальних позитивних амплітуд при русі хвилі в області Середземного моря, що примикає до району досліджень при значенні вихідної хвилі у о. Санторін 45 м. Для вирішення завдання про небезпеку будівництва в районі АЕС «Аккую», аналізу піддавалися екстремальні цунамі, що відбулися за останні 1000 років.

Таблиця – 3.2 Позитивна амплітуда хвилі цунамі (см) в районі АЕС в результаті 7 землетрусів в Егейському морі і північно-східній частині Середземного моря за останні 1000 років

Місцезнаходження цунамі	Місцезнаходження землетрусу і рік, в якому воно відбулося						
	Північно-східна частина Середземного моря		Егейське море				
	1114	1822	1303	1609	1612	1741	1956
Північна частина	134	172	220	183	76	203	166



затоки							
Східна частина затоки	145	189	238	198	82	220	180

На основі описаної вище гідродинамічної моделі були виконані розрахунки і визначено [13], хід рівня по сітці з кроком 1 хвилина за широтою та довготою в східній частині Середземного моря в результаті кожного з 7 наведених вище випадків землетрусів протягом 8 годин після землетрусу. Параметри завдання визначалися за результатами розрахунків цунамі, спричиненої вибухом у о. Сантонін [13]. Потім ці дані використовувалися в якості граничних умов при розрахунках по дрібній сітці всередині затоки в районі проекрованої АЕС. Отримані результати зведені в таблицю 3.2 методом оцінки екстремальних подій [16, 17] були визначені позитивні амплітуди цунамі з періодами повторюваності 100, 1000 і 10000 років. Результати розрахунків наведені в таблиці 3.

Таблиця 3.3 - Позитивна амплітуда хвилі цунамі (см) в районі АЕС з різними періодами повторюваності (роки), розрахована за даними за останні 1000 років

Період повторюваності	Місцезнаходження цунамі	
	Північна частина затоки	Східна частина затоки
100	78	85
1000	226	244
10000	266	286

Накат хвилі цунамі визначався за методикою розрахунку висоти накату довгих одиничних хвиль на берег [18, 19].

Таблиця 3.4- Величина накату хвилі цунамі (см) в районі АЕС з різними періодами повторюваності (роки), розрахована за даними за останні 1000 років

Період повторюваності	Місцезнаходження цунамі	
	Північна частина затоки	Східна частина затоки

100	212	156
1000	359	315
10000	390	375

Для безаварійної роботи АЕС необхідно знати не тільки позитивну, а й негативну амплітуду хвиль цунамі. Методом оцінки екстремальних подій [13] була проведена також оцінка негативних амплітуд цунамі. Результати розрахунків наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - негативна амплітуда Хвилі цунамі (см) в районі АЕС з різними періодами повторюваності (роки), розрахована за даними за останні 1000 років

Період повторюваності	Місцезнаходження цунамі	
	Північна частина затоки	Східна частина затоки
100	-35	-41
1000	-125	-130
10000	-141	-152

### *Штормові нагони та втулки*

У районі передбачуваного будівництва АЕС «Аккую», штормові нагони можуть спостерігатися тільки при вітрах південного і західного секторів. У Таблиці 6 показані зганяння підвищення рівня в цьому районі при різних напрямках вітру і різної повторюваності, розраховані по довгохвильової моделі [12], з використанням даних про вітер в 2007-2009 рр.

Таблиця – 3.6 Можливий штормовий нагону (см) в районі АЕС при різних напрямках вітру, (в чисельнику - на північному узбережжі затоки, в знаменнику - в його східній частині)

Напрямок вітру	Період повторюваності, роки				
	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>10000</b>
ПН	14/16	16/18	22/26	27/27	32/33
ПНЗ	8/12	10/14	12/15	15/19	18/25

З	1/5	1/6	2/6	3/7	3/7
ПВЗ	5/9	6/10	8/12	9/15	11/17

### *Хвилювання, хвильової нагон і висота нахату вітрової хвилі на берег*

В результаті розрахунку по гідродинамічній моделі вітрового хвилювання [20, 21] були отримані параметри вітрового хвилювання за 2000-2009 рр. Як і при розрахунках довгих хвиль використовувалися дві вкладені сітки. Перша включала в себе Середземне море. Найбільші розраховані хвилі в точці моря, найближчої до проекрованої АЕС мають висоту близько 5-6 м і приходять з північного заходу, півночі, сходу і заходу. Однак майже в 90% випадків отримано хвилювання висотою менше 3 м і періодами менш 5 с.

Приклад отриманих характерних висот хвиль наведено на Рис.3.3

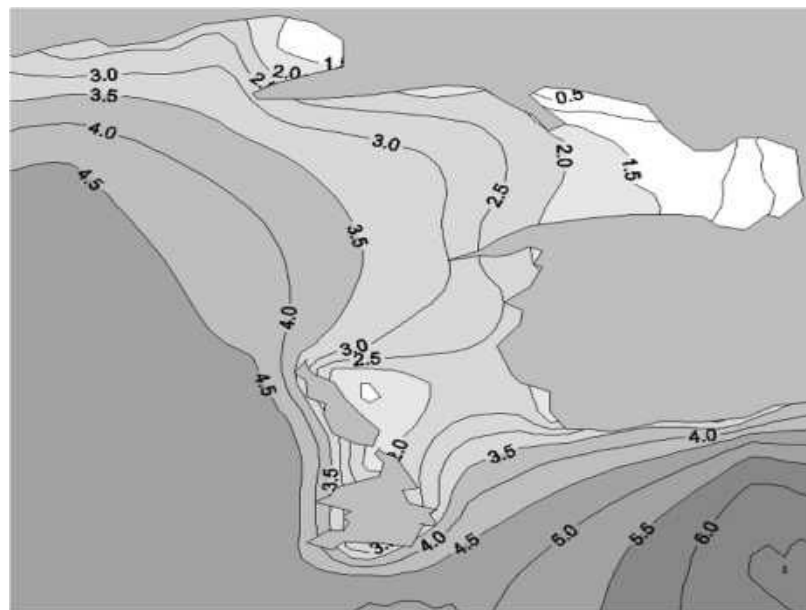


Рис. 3.3 Характерні висоти хвиль з періодом повторюваності раз в 100 років в акваторії, прилеглої до АЕС «Аккую»

Під природними причинами розуміють зміни рівня, викликані землетрусами, вітром і приливами. Розрахунок [13] проводився для двох точок в північній (точки 2 і 3) і східній частині затоки (точка 1). Підйом рівня при збігу всіх несприятливих причин може скласти в північній частині затоки

6 м, а в східній 4,6 м. Різниця викликана істотно більшою величиною нахату вітрової хвилі на північне узбережжя, так як воно менше захищене від штормового хвилювання. Найбільше опускання рівня при збігу всіх несприятливих причин для північної та східної частин затоки приблизно збігаються і становлять близько 2 м.

Таблиця – 3.7 Можливий максимальний підйом і можливе сумарне опускання рівня моря (см) в районі АЕС

Місцезнаходження розрахункової точки	Північна частина затоки	Східна частина затоки
період повторюваності	100	1000
хвильовий приплив	11	13
Накат вітрової хвилі	104	117
Накат хвиль цунамі	212	359
Позитивна амплітуда припливу	30	30
штормовий приплив	22	27
сумарний приплив	379	546
сумарний приплив	-85	-176

Тут показані характеристики рівня за даними про цунамі за останні 1000 років. Якщо ж врахувати також і катастрофічний землетрус, що стався в 15 столітті до нашої ери, то вийде, що можливий сумарний підйом рівня в районі АЕС періодичністю 1 раз в 10000 років в північній частині затоки складе 770 см, в східній - 650 см.

З наведених розрахунків випливає, що найбільшу небезпеку для безперебійної роботи АЕС «Аккую» представляють хвилі цунамі. Їх накат на берег при сучасному рівні сейсмічності може досягати 3,5-4м. Для північній частині затоки, щодо погано захищеною від штормів, небезпеку становить підйом рівня, викликаний штормами (хвильовий приплив, накат хвиль на

берег, штормовий нагону). Підйом рівня, викликаний цими причинами, приблизно в 2-3 рази поступається величиною нахату хвиль цунамі. Східна частина затоки краще захищена від штормів і цей фактор для неї не настільки важливий.

#### 4 МОНІТОРИНГ СЕЙСМІЧНОСТІ В БЛИЖНЬОМУ РАЙОНІ МАЙДАНЧИКИ БУДІВНИЦТВА АЕС «АККУЮ»

У роботі [22] розглядаються результати аналізу даних моніторингу сейсмічності, здійснюваного в ближньому районі майданчика АЕС «Аккую» з листопада 2011 р. по грудень 2015 р. локальною мережею сейсмічних станцій. Аналізувалися землетруси з 50-кілометрової зони навколо АЕС, які записані широкосмуговими сейсмометрами (Guralp CMG-3ESP і Guralp CMG-3TD) в діапазоні частот від 0.00833 до 50 гц. Точність визначення гіпоцентрів в межах мережі становить  $\pm 2$  км, для подій.

За даними моніторингу магнітуда землетрусів, локалізованих в 50-кілометровій зоні АЕС, знаходиться в діапазоні 0.4-3.9. порогова магнітуда знаходиться в межах 1.3-1.7, більш слабкі події, як правило, реєструються однією-двома станціями. Ця обставина може бути пов'язано з періодичною появою тут скупчень слабких землетрусів (рис.4.1), локалізованих як на суші, так і в морі.

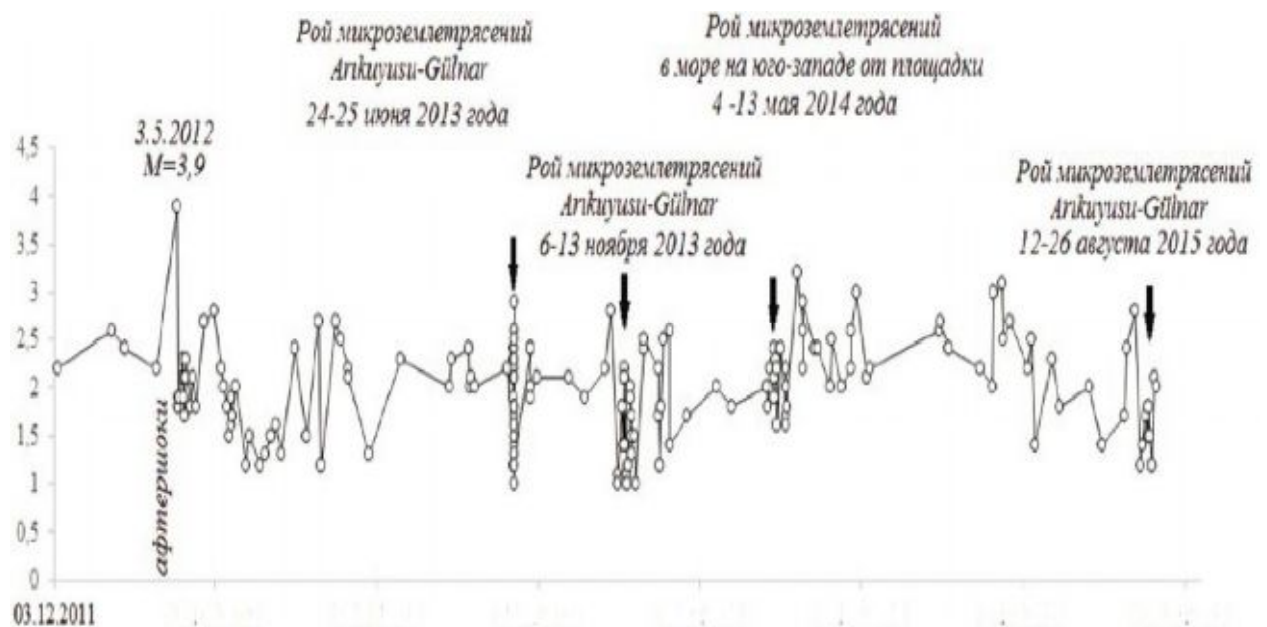


Рис. 4.1 - розподіл в часі сейсмічності, локалізованої в радіусі 50 км від майданчика АЕС «Аккую»

Наприклад, 24-25 червня 2013 року в околицях Arikuyusu-Gulnar локальною мережею станцій було зареєстровано 38 подій в діапазоні магнітуд 1.0 - 2.9 (Рис. 4.1). Сейсмічна активність тривала приблизно 24 години. Відзначимо, що останнім, що передувало цьому рою подія з магнітудою 2.5, відбулося тут 21.11.2012 р. Як видно з рис. 4.1, в цій зоні зареєстровано кілька подібних роїв землетрусів. Значна сейсмічна активність відзначалася також в акваторії Середземного моря, діапазон магнітуд 1.5 - 3.0 [23] Ще одне скупчення осередків зв'язується з найсильнішою магнітудою 3.9 з зареєстрованих з моменту початку експлуатації локальної сейсмічної мережі подією 03.05.2012. Відстань від епіцентру основного поштовху до майданчика АЕС «Аккую» становить 20.4 км. Землетрус був успішно зареєстрований більшістю станцій локальної сейсмічної мережі. Розрахункова інтенсивність в епіцентрі становила 4-5 балів, а на майданчику АЕС 3-4 бали за шкалою MSK-64. За основним поштовхом послідували декілька більш слабких подій, діапазон магнітуд 1.25 -2.4. Для регіону розміщення АЕС «Аккую» була підготовлена тектонічна карта розломів на основі існуючих джерел інформації, доповнена фотогеологічними інтерпретаціями. У розглянутій зоні найбільший інтерес представляє група пов'язаних розломів Караман-Мут, яка добре помітна на аерофотознімку. Ця група розломів складається з сегментів різної довжини (1-20 км), орієнтованих в північно-східному і північно-західному напрямках [23]

Спостережені скупчення землетрусів, можуть передувати сильним регіональним землетрусами Східного Середземномор'я з магнітудою 5.0 і вище. Епіцентри таких землетрусів за період з травня 2012 по серпень 2015 р показані на рис. 3.2. Землетрус 03.05.2012 і його афтершоки, в даному контексті також віднесені до послідовності землетрусів, передували найсильнішому за аналізований період землетрусу 10.06.2012 з магнітудою 6.0. Рій землетрусів, локалізований в кластері 1, передував слабшому землетрусу з магнітудою рівній 5.0. рої 25-26 червня 2013 року, 6-13 листопада 2013 року і 12-26 серпня 2015 р локалізовані в одному кластері

(кластер 2). при цьому першому з них не вдалося знайти відповідність серед сильних регіональних землетрусів. За другим роєм послідувала подія 28.12.2013 р з магнітудою 5.9, за третім - подія 18.08.2015 р з магнітудою 5.0. примітно, що подібні «дуплети» мали місце і раніше [24].

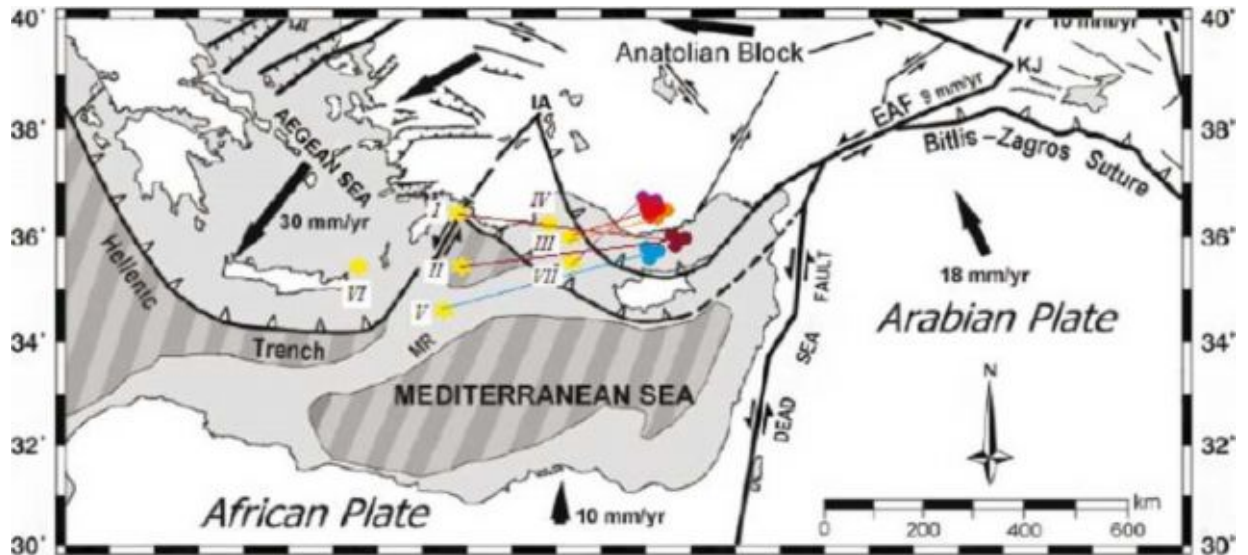


Рис. 4.2 - положення скупчень та епіцентрів сильних регіональних землетрусів за даними моніторингу за 2011-2015 рр.

Згідно інструментальному каталогу за період з 1911-2011 рр. в розглянутому районі мають місце ще кілька скупчень землетрусів. Вони включають менше число подій в силу більш високої порогової магнітуди в ті роки, пов'язаної зі зміною існуючих сейсмічних мереж. Магнітуда цих подій знаходиться в діапазоні від 2.3 до 3.0. Виділені рої, з огляду на меншу точність локалізації епіцентрів, в першому наближенні збігаються з описаними вище кластерами (рис. 3.3) і їх також можна асоціювати з сильними регіональними подіями [25]. В даному випадку послідовності роїв і сильних подій утворюють більш складні зв'язки. Так, в 1998 р за землетрусом 27 червня з магнітудою 6.2 стався рій землетрусів 22 грудня. У 1999 р спостерігалася наступна ланцюжок подій: землетрус 25 травня з магнітудою 5.6, рій 2 липня, землетрусу 11 і 17 серпня, а також 22 листопада і 5 грудня. В 2007 р.: землетрус 21 травня, рій 26 серпня, землетрус 23



вересня, рій 5 жовтня. В 2009 р .: землетрусу 17, 18 і 19 червня, рій 9 вересня, землетрусу 22 грудня. нарешті, 2010 р .: рій 6-8 квітня, землетрус 14 листопада.

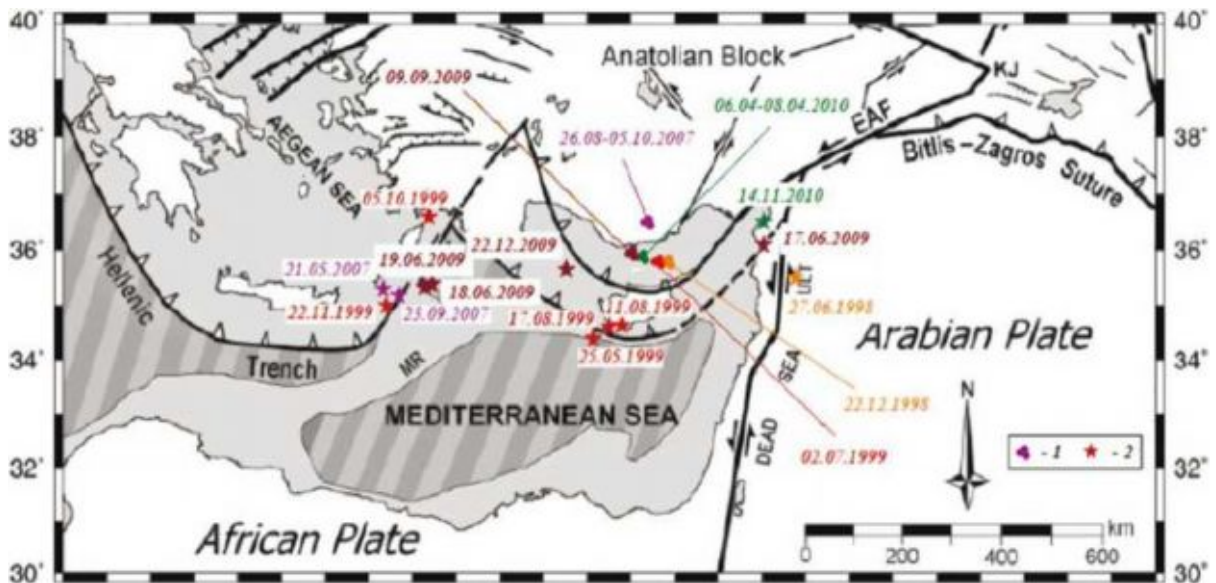


Рис. 4.3 - положення роїв землетрусів в 50-кілометровій зоні АЕС «Аккую» (1) і епіцентрів сильних регіональних землетрусів (2) за період 1911-2011 рр. [25].

Глибина сильних землетрусів і роїв 1998-1999 р становила 10-33 км. Більш вірогідно визначена глибина сильних землетрусів 21 травня і 23 вересня 2007 року - відповідно 10 і 24 км, а глибина роєвих подій - 4-5 км. У 2009 р землетрусу мали глибину 10, 39, 28, 63 км, роєві події - від 4 до 12 км [26]. З наведених даних можна зробити обережне припущення, що сильні регіональні землетруси відбуваються на великих глибинах в 50-кілометровій зоні АЕС «Аккую», що наражають на небезпеку заштатної аварійної ситуації у майбутньому.

## 5 ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ПОЗАШТАТНОЇ АВАРІЇ НА ПРИКЛАДІ АЕС «АККУЮ»

Аварія на АЕС «Аккую» через сейсмо-нестійку зону її розташування як зазначалось вище є можливою загрозою безпеки її експлуатації і може мати жахливі наслідки. А саме, при аварії викиди розповсюджуються по всім прилеглим територіям та водній акваторії, які оточують атомну станцію. Враховуючи досвід Фукусіми майже достовірно отримуємо потрапляння викидів у воду, що спричинить зараження рибних конгломерацій, які мігрують у околі узбережжя і як результат, накопичення радіоактивних елементів в організмі людини, та внутрішнє опромінення.

Найнебезпечніше у всіх радіаційних аваріях – зараження повітря, води і землі високоактивними продуктами поділу ядерного палива.

Неминуций інтерес представляють результати радіаційного контролю риб, які є резервом і джерелом білкового і мінерального балансу в раціоні людей, так і тварин.

Під впливом іонізуючого випромінювання в тканинах живого організму відбуваються складні фізичні, хімічні і біохімічні процеси в формі первинних і вторинних змін. Підтверджено, що під впливом випромінювання вода розщеплюється на водень і гідроксильну групу, які або безпосередньо, або через ланцюг вторинних перетворень утворюють продукти з високою хімічною активністю: гідратний оксид і перекис водню, які взаємодіють з молекулами органічної речовини тканини, окислюючи і руйнуючи її. Відзначаються порушення біохімічних процесів і обміну речовин в організмі, які в залежності від дози опромінення та індивідуальних особливостей організму можуть бути оборотними чи необоротними.

Зараженням радіоактивними речовинами схильні рослини і тварини. В їх організмах відбувається біологічна концентрація цих речовин, що передаються один одному через ланцюги живлення (заражені дрібні організми поїдаються більшими). Радіоактивність деяких планктонних

організмів може в 1000 разів перевищувати радіоактивність води, а деяких риб, що представляють собою одне з вищих ланок в ланцюга харчування, навіть в 50 тис. разів. Але небезпека, безпосередньо загрозна здорова людини, пов'язана також із здатністю деяких радіоактивних речовин протягом тривалого часу зберігати активність у зв'язку з тривалим періодом напіврозпаду. Ряд радіоактивних речовин може накопичуватися в морських організмах і по живильній ланцюжку передаватися на великі відстані [27].

Радіонукліди, що знаходяться в водоймах, поділяються за походженням на природні (природні, що існували в природі спочатку) і штучні (техногенні). Найбільшу небезпеку в біологічному відношенні представляють ізотопи стронцію ( $^{90}\text{Sr}$ ) і цезію ( $^{137}\text{Cs}$ ), так як є близькими аналогами фізіологічно важливих елементів - кальцію і калію, мають тривалий період напіврозпаду (28 років у Sr і 30 у Cs), високу енергію випромінювання (обидва вони  $\beta$ -випромінювачі, а Cs ще і  $\gamma$ -випромінювач). Завдяки цьому радіонукліди здатні легко включатися в біологічний круговорот і, мігруючи по харчових ланцюгах, потрапляти в організм людини, викликаючи радіоактивне опромінення [28].

У випадку аварії на АЕС і, відповідно, радіаційного зараження моря, свіжа риба, може вжити радіоактивний планктон, і у подальшому потрапити через харчові ланцюжки до споживачів. А далі, як наслідок, отримуємо радіаційне забруднення навколишнього середовища і внутрішнє опромінення людини. Ці фактори залежать від: геофізичних параметрів атмосфери, що визначають швидкість розносу викиду; картини морських течій та міграції рибних косяків, розміщення людей, тварин, сільськогосподарських угідь, житлових і виробничих будівель у зоні аварії; здійснення захисних заходів та ряду інших чинників. Хоча найбільш небезпечними із всіх аварій на АЕС, є аварії з викидом радіонуклідів в атмосферу, що призводять до радіоактивного забруднення навколишнього природного середовища, злив радіаційно забруднених вод в океан

(Туреччину омивають зі всіх сторін моря), також створює небезпеку для навколишнього середовища та людини.

Найнебезпечнішим радіонуклідом можна вважати стронцій, бо він близький за параметрами до кальцію і активно накопичується в кістках. Перебуваючи у воді, забрудненій радіоактивними речовинами, риби отримують зовнішнє опромінення. Радіоактивні речовини, що накопичуються в органах і тканинах, створюють внутрішнє джерело опромінення. Накопичення радіоактивних речовин органами і тканинами риб, а також розподіл і виділення їх залежать від цілого ряду умов, основними з яких є хімічна природа радіоізоотопів і періоди їх напіврозпаду, концентрація радіоізоотопів у воді, вид, вік, фізіологічний стан риб та екологічні умови. Спеціальні дослідження на рибах були проведені із використанням радіоізоотопів стронцію, цезію, ітрію, церію, фосфору, кальцію, урану, йоду, кобальту, полонію. Різні радіоізоотопи, потрапляючи в організм риб, розподіляються по органах і тканинах нерівномірно. Концентрація в тканинах визначається в першу чергу їх хімічними властивостями. Зустрічаючись з різними хімічними сполуками, що входять до складу тканин риб або є продуктами обміну речовин, радіоізоотопи вступають з ними в обмінні реакції. Так, стронцій дуже близький в хімічному відношенні до кальцію і, потрапляючи в організм, відкладається в тканинах, головним чином в кістках. Підвищення вмісту нерадіоактивного кальцію у водоймі веде до зниження кумуляції радіостронцію рибами. Таким чином, характер обмінних реакцій в організмі риб визначається співвідношенням між процесами накопичення і виведення радіоізоотопів організмом [29].

У риб основний шлях надходження радіонуклідів в організм харчової, тому важливий рівень забруднення нижчих організмів, які є кормом для риб. Разом з тим радіоактивні ізоотопи проникають організм риби і через зябра. Значимість цього шляху зростає з підвищенням питомої активності. Час граничного накопичення ізоотопів в тілі риб коливається 10÷120 дн. Накопичення радіоізоотопів відбувається більш інтенсивно молоддю риби, ніж дорослими особинами. В ікрі риб  $K_H$  їх може досягати десятків одиниць.

За ступенем концентрації в ікри можна скласти ряд:  $Y > Ce > Zr > Cs = Sr$ . Личинки, виключившись з радіоактивної ікри, містять мало радіонуклідів, часом їх кількість навіть менше, ніж в навколишній воді [30]. Це свідчить про захисну роль оболонки ікри, яка поглинає більшу частину радіонуклідів, запозичених з водного середовища. Накопичення радіонуклідів різко зростає через 7 днів, коли личинки переходять до самостійного харчування. Хижі риби накопичують  $^{137}\text{Cs}$  швидше, ніж рослиноїдні. Концентрація  $^{90}\text{Sr}$  не підкоряється цій закономірності. Радіонукліди нерівномірно розподіляються в організмі риб. Так, коефіцієнт накопичення  $^{90}\text{Sr}$  в кісткових тканинах і лусці риб коливається від 300 до 900, а в плавниках досягає 2500, тоді як в м'яких тканинах зміст його на 3 порядки нижче. Для  $^{137}\text{Cs}$  характерно протилежне розподіл: найбільше його в м'язах і внутрішніх органах [31].

Коефіцієнти накопичення різних нуклідів залежать від місця гідробіонтів в трофічній ланцюга (табл. 5.1).

Табл. 5.1 – Середні коефіцієнти розподілу і накопичення радіоактивних елементів в морських осадах і гідробіонтах [32].

Радіонуклід	Осади глибоко водні	Осади прибережні	Фітопланктон	Зоопланктон	Ракоподібні	Молюски	Головоногі молюски	Риби
Pb	$3 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^2$
Po	$2 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^4$	$7 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^3$
Ra	$3 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^2$
Ac	$2 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$	50
Th	$5 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^2$
Pa	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$	10	$5 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^3$	50
U	$5 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^3$	20	5	10	30	20	1

Таким чином, екологічні умови і фізіологічний стан риб відіграють значну роль у забрудненні їх радіоактивними речовинами. Вивчення процесу накопичення цезію-137 водними організмами в природних умовах проводилося для кількісної оцінки і прогнозування переходу штучних радіонуклідів із зовнішнього середовища в живі організми. В даний час найбільш цікаві дослідження проводяться в природних умовах, так як вони дозволяють отримувати реальні кількісні показники міграційного переносу радіонуклідів в ті чи інші елементи екосистеми.

Цезій в рибі накопичується поступово спочатку в бентоядних рибах, а потім і в хижих. При збереженні рівнів концентрації Cs-137 в морській воді протягом трьох-чотирьох тижнів концентрація цього нукліда в бентоядних рибах може досягти 400 Бк/кг. У разі збереження зазначеної концентрації в воді протягом декількох тижнів в хижих риб концентрація Cs-137 може вирости через 8-10 міс до 1000-2000 Бк/кг, тобто буде перевищувати встановлений в Японії норматив (500 Бк/кг).

Зважаючи на потенційну загрозу потрапляння через харчові ланцюжки радіонуклідів в організм людини-споживача рибної продукції звернемо увагу на заходи по забезпеченню населення від загрози радіаційного ураження (яке може трапитися внаслідок гіпотетичних аварій на АЕС, розташованих в берегових районах, та потрапляння радіонуклідів до морських ареалів).

Радіаційний захист населення досягається:

- організацією безперервного контролю, виявленням і оцінкою радіаційної обстановки в районах потенційного зараження;
- своєчасним впровадженням та застосуванням засобів і методів виявлення та оцінки масштабів і наслідків аварій на радіаційно-небезпечних об'єктах;
- розробкою і застосуванням, за необхідності, режимів радіаційного захисту населення і функціонування об'єктів економіки та інфраструктури в умовах зараження місцевості;

В районі аварії на АЕС «Фукусіма» вторинне радіоактивне забруднення атмосферного повітря незначне через значне розбавлення радіонуклідів в водах Тихого океану. З іншого боку радіоактивні речовини, внаслідок перенесення з морськими течіями, дійшли до берегів США і вплинули на якість морської води в усій акваторії. Незважаючи на це, респіраторне надходження РР не становить в нинішній час серйозної загрози.

Особливе занепокоєння щодо захисту прибережного населення в умовах зараженості морських акваторій викликає споживання морепродуктів та риби [32]. Як було вже вказано вище, морські гідробіонти здатні накопичувати значні дози радіації в організмі. Відомо, що населення Японії є

світовим лідером по споживанню морської риби та морепродуктів на душу населення ( $\approx 60$  кг/рік).

Захист прибережного населення від радіонуклідів, що містяться у морській рибі та морепродуктах може бути організований з виконанням наступних заходів:

- постійний радіологічний моніторинг акваторій, які піддалися зараженню РР;
- проведення на постійній основі радіологічного контролю риби, що виловлюється та морепродуктів, що добуваються в заражених акваторіях з метою недопущення перевищення встановлених максимальних рівнів вмісту радіонуклідів;
- радіопротекторна профілактика населення;
- постійне інформування населення про рівні зараження морських акваторій;
- обмеження доступу до радіоактивно-заражених територій – за необхідності;
- постійна психологічна підтримка населення прибережних територій.

Екологічна безпека на всіх етапах створення АЕС-головний принцип і основна умова розвитку атомної галузі. В рамках реалізації проектів атомних електростанцій визначені пріоритетні завдання в галузі екологічної безпеки, які складають:

- Своєчасне отримання необхідних дозвільних документів на реалізацію проекту АЕС;
- Безумовне виконання всіх вимог і норм безпечної експлуатації АЕС;
- Постійне проведення екологічного моніторингу на АЕС та на прилеглих територіях;
- Дотримання всіх діючих законів, норм і правил місцевих та міжнародних організацій: МАГАТЕ, EUR;
- Регулярне інформування населення про факти впливу АЕС на здоров'я персоналу, населення та навколишнє середовище.

- Для контролю стану навколишнього середовища при реалізації проекту передбачений цілий комплекс природоохоронних заходів, а саме:
- Меліорація та рекультивация порушених при будівництві земель;
- Захист від попадання радіоактивних і хімічних відходів в навколишнє середовище в умовах нормальної експлуатації об'єкта
- Організація викиду повітря з приміщень з високим ступенем очищення від радіоактивних продуктів;
- Виключення попадання радіонуклідів в навколишнє середовище з водою;
- Надійне зберігання відходів без контакту з навколишнім (у тому числі водним) середовищем;
- Виключення нерадіоактивних викидів забруднюючих природу речовин;
- Постійний комплексний екологічний моніторинг навколишнього середовища.

Для контролю екологічної обстановки навколо АЕС "Аккую" мають бути створені спеціально обладнані пости для проведення постійного екологічного моніторингу, який включає в себе наступні напрямки:

- сейсмологічні дослідження;
- гідрологічні спостереження;
- метеорологічні спостереження;
- спостереження за рівнем, температурою і хімічним складом наземних і підземних вод, а також прилеглих водних ареалів;
- спостереження за осадкою фундаментів і деформаціями споруд;
- спостереження за сучасними рухами земної кори і гравітаційним полем;
- радіаційний контроль рибної продукції
- радіаційні спостереження [32].



## ВИСНОВКИ

Аварія на АЕС Фукусіма-1 мала надзвичайно згубні наслідки. В результаті цього води Тихого океану піддалися інтенсивному радіоактивному забрудненню з подальшим поступовим поширенням активності в зони рибальства .

Показано, що потенційна небезпека забруднення води може призвести до забруднення морепродуктів довгоживучими радіонуклідами Cs-134 і Cs-137.

Особливе занепокоєння щодо захисту прибережного населення в умовах зараженості морських акваторій викликає споживання морепродуктів та риби через те, що морські гідробіоти здатні накопичувати значні дози радіації в організмі.

В бакалаврській роботі була розглянута можлива гіпотетична аварія на АЕС «Аккую» та її екологічні наслідки для морських та прилеглих ареалів, що стосуються головним чином морепродуктів, які потрапляють через харчові ланцюжки до споживача, які напряду впливають на здоров'я людини.

На основі гідродинамічних розрахунків і історичних даних були надані оцінки екстремальних коливань рівня моря та сейсмічності в районі АЕС «Аккую» (яка знаходиться в небезпечній районі сейсмічності).

З яких можна побачити, що незважаючи на всі запобіжні міри спорудження АЕС, що найбільшу небезпеку для безперебійної роботи «Аккую» представляють хвилі цунамі, що може мати пагубні наслідки. Їх накат на берег при сучасному рівні сейсмічності може досягати 3,5-4 м.

Зважаючи на вищесказане, існує проблема загрози внутрішнього опромінення споживачів рибної продукції, при використанні в харчовій промисловості радіоактивної риби. Маючи жахливий досвід з Фукусімою, здавалось б, що людство мало б замислитись над питанням безпеки при будівництві та експлуатації АЕС в межах морського узбережжя.

Проте, нажаль, ми бачимо явно протилежну тенденцію на прикладі Туреччини, яка дозволила будівництво АЕС в сейсмічно небезпечному районі поблизу берегових ареалів, незважаючи на попередній сумний досвід на АЕС Фукусіма. І це може спричинити у майбутньому досить значні проблеми для населення такі як, опромінення, забруднення Середземного моря на самперед, а отже і забруднення усієї біоти.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гудков І.М. Радіобіологія: Підручник для вищ. навчальних закладів. – К: НУБіП України, 2016. 485 с.
2. Гродзинський Д.М. Радіобіологія. – К.: Либідь, 2000. – 448 с.
3. Бетенеков Н. Д. Радиоэкологический мониторинг: учеб. Пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 208 с.
4. Авария на АЭС «Фукусима-дайити». Доклад генерального директора. МАГАТЭ, 2015. Вена, Австрия. 264 с.
5. АЭС Фукусима-1, Япония, 2011. [Електронний ресурс] URL: <http://industrial-disasters.ru/disasters/fukushima/>.
6. *Yoshida*. Fukushima-derived radionuclides in the ocean and biota off Japan. *Proc. National Ac. Sci., USA*, 2012, Vol. 109, No. 16, pp. 5984-5988.
7. *Aoyama, M., Y. Hamajima, M. Hult, M. Uematsu, E. Oka, D. Tsumune, and Y. Kamamoto*. <sup>134</sup>Cs and <sup>137</sup>Cs in the North Pacific Ocean derived from the March 2011 TEPCO Fukushima Dai- ici nuclear power plant accident, Japan. Part 1: Surface pathway and vertical distribution. *J. Oceanogr*, // 2016, Vol. 72, pp. 53-65, doi: 10.1007/s10872-015-0335-z.
8. Новиков А. А. Природная катастрофа в Японии и ее последствия (Фукусима-2011), Москва, 2013. с.703
9. Строительство и последующая эксплуатация: веб-сайт. URL: <http://www.akkuyu.com/tekhnologii-i-bezopasnost>
10. АЭС «Аккую» (Турция): веб-сайт. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/АЭС\\_Аккую](https://ru.wikipedia.org/wiki/АЭС_Аккую)
11. Линге И. И., Абрамова. А. А. Лучшие зарубежные практики вывода из эксплуатации ядерных установок и реабилитации загрязненных территорий. Т. 1, Москва, 2017. с.325-336.
12. Ветер и волны в океанах и морях. Справочные данные. - Л. Транспорт, 1974, 359 с.
13. Soloviev, S.L., Solovieva, O.N., Go, C.N., Kim, **K.S.**, Shchetnikov, N.A. Tsunamis in the Mediterranean Sea: 2000 B.C. - 2000 A.D.

14. Стрекалов С.С., Литвиненко Г.И., Дугинов Б.А. Моделирование экологической катастрофы в результате воздействия палеоцунами на восточное средиземноморье – Физическая экология, № 5, МГУ, с. 73-80.

15. Дугинов Б.А., Стрекалов С.С. Катастрофическое цунами на побережье острова Крит и в Египте в XIV-XV веках до нашей эры//Материалы пятой научной конференции М.: РАН; Академия городской среды, 1997. Вып. IX. с. 142-151.

16. Матушевский Г.В., Кабатченко И.М. Современная концепция определения экстремальных характеристик ветровых волн и связанных с ним процессов (ветер, течения, уровень) путем анализа штормовых выборок. - Метеорология и гидрология, 1999, № 1.

17. Petrauskas C., Aagaard P. Extrapolation of historical storm data for estimating design-wave heights. - J. Soc. Petroleum Eng., 1971, vol. 11, N 1

18. Вольцингер Н.Е., Клеванный К.А., Пелиновский Е.Н. Длинноволновая динамика прибрежной зоны. Л.: Гидрометиздат, 1989. 273с.

19. Synolakis C.E. The run-up of solitary waves.- G. Fluid Mech., 1987, v. 185. pp. 523-545.

20. Указания по расчету нагрузок и воздействия волн, судов и льда на морские гидротехнические сооружения. Р 31.3.07-01

21. Матушевский Г.В., Кабатченко И.М. Модели нерегулярных ветровых волн в прибрежной зоне - состояние проблемы и предлагаемое решение. – Изв. РАН. Физика атмосферы и океана, 1998, т.34, N 3, с. 422-429.

22. Аптикаев С. Ф., Аптикаева О. И. Результаты предварительного анализа данных микросейсмического мониторинга в ближнем районе площадки строительства АЭС" Аккую" //Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2017. – №. 5. С. 52-58.

23. Аптикаева О.И., Копничев Ю.Ф. Детальное картирование литосферы и астеносферы Гармского района по поглощению поперечных волн// Вулк. и сейсмол. 1992. №5-6. С.101-118.

24. Касахара К. Механика землетрясений. М., Мир, 1985. 264 с.

25. Шевченко В.И., Арефьев С.С., Лукк А.А. Близвертикальные скопления очагов землетрясений, не связанные с тектонической структурой земной коры // Физика Земли. 2011. №4. С.16-38.

26. Раутиан Т.Г., Халтурин В.И. и др. Экспериментальные исследования сейсмической коды. М., Наука, 1981. 144 с.

27. Мовчан А.П., Янков А. Мировой океан и международное право. Защита и сохранение морской среды. - М.: Наука, 2014. 247 с.

28. Василенко И.Я., Василенко О.И. Радиоактивный цезий // Энергия: экономика, техника, экология. – М.: – 2001. – № 7. – С. 16-22.; Василенко И.Я., Василенко О.И. Стронций радиоактивный // Энергия: экономика, техника, экология. – М.: – 2002. – № 4. – С. 26-32

29. Герасимов О.І. Теоретичні основи технологій захисту навколишнього середовища. Навчальний посібник. Одеса, ТЕС, 2018, 242с.

30. Герасимов О.І. Технології захисту навколишнього середовища. Навчальний посібник. Одеса, ТЕС, 2019, с. 268.

31. Кузин А.М. Каушанский Д.А. Прикладная радиобиология. – М: Энергоиздат, 1981. 306 с

32. Бекман И.Н. Радиохимия: Учебное пособие в 7 т. Том VI. Экологическая радиохимия и радиоэкология: учебное пособие – М.: Издатель Мархотин П. Ю., 2015. 400 с.

33. Герасимов О.І., Співак А.Я., Чувальська М.Г. Радіаційне забруднення морських водоймищ та його наслідки. VII-й ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ З'ЇЗД ЕКОЛОГІВ З МІЖНАРОДНОЮ УЧАСТЮ (25-27 вересня 2019), Вінниця, ВНТУ. с.76

34. Чувальська М.Г. Потенційні ризики спорудження АЕС у прибережних регіонах: квал.роб. бакал. /ОДЕКУ. Одеса, 2020. 48 с.