МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет природоохоронний
Кафедра загальної та теоретичної фізики

Бакалаврська кваліфікаційна робота

на тему: Потенційні ризики спорудження АЕС у прибирежних регіонах

Виконав студент 4 року навчання
групи ТЗ-41
спеціальності 183 «Технології
захисту навколишнього
середовища»
Чувальська Марина Георгіївна

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

Рецензент доктор техн. наук, проф.
Софронков Олександр Наумович

Одеса 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ

ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ____природоохоронний_____
Кафедра __загальної та теоретичної фізики_____
Рівень вищої освіти бакалавр
Спеціальність ____ Напрям підготовки 183 «Технолгії захисту навколишнього середовища»_____**(шифр і назва)**

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

"20"____квітня___2020__року

З А В Д А Н Н Я

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

_____ Чувальській Марині Георгіївні_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи___ Потенційні ризики спорудження АЕС у прибирежних регіонах

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 "__16_" квітня 2020 року №_39 – «С»__

2.Строк подання студентом роботи___14.06.2020_____

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. Послідовно висвітлюються можливі сценарії виникнення як самих нештатних ситуацій, так і шляхів потрапляння радіонуклідів через морську біоту(з урахуванням топології її розподілу та динаміки і масштабів міграції) через харчові ланцюжки до організму людини.
3. Сформулювати вимоги та заходи щодо безпеки атомних об'єктів, розташованих в межах берегових ареалів задля убезпечення навколишнього середовища та його складових серед яких найголовнішою є людина

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Рис 1 – Сейсмічна карта зон Туреччини Рис. 2 і 2.1 – Місця забору проб та результати вимірювань вмісту ізотопів цезію в пробах риби; карта забруднення вод Тихого океану писля аварії 11 березня 2012р Рис. 3 і 3.1- оцінка рівнів забруднення морів і океанів цезіем 137 ; частотний розподіл питомої акимвності цезія 137 в пробах риби, виловленної в пребрежних водах Японії Рис. 4 – Результати підрахунків просторового розповсюдження цезію -137 зі шляхами міграції риб та точок замірів Рис. 5 і 5.1 – блок-схема стаціонарної камерної моделі Чорного моря; харчовий ланцюжок потрапляння радіонуклідів в організм людини

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання_____22.04.2020 р.__

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Огляд базових літературних джерел за темою дипломного проекту	27.04. – 04.05.20	90	5 відмінно
2	Узагальнення основних теоретичних положень проекту	05.05.- 10.05.20	90	5 відмінно
3	Рубіжна атестація	11- 16.05.20р	90	5 відмінно
4	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення електронної версії роботи. Перевірка на плагіат. Складання протоколу та авторського договору	17.05.20р 08.06.20	90	5 відмінно
5	Підготовка паперової версії і презентаційного матеріалу до процедури предзахисту. Внесення корректив. Рецензування роботи. Підготовка до публічного захисту.	09.06.20 14.06.20	90	5 відмінно
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		90,0	5 відмінно

Студент _____ **Чувальська М.Г.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

АНОТАЦІЯ

«Потенційна загроза радіаційного зараження від радіоактивних контамінацій у морському середовищі »

Мета кваліфікаційної бакалаврської роботи – є прогнозування можливої гіпотетичної аварії на АЕС "Аккую" та її наслідків для морських та прилеглих ареалів, що стосуються головним чином морепродуктів, які потрапляють через харчові ланцюжки до споживача.

Задачею бакалаврської кваліфікаційної роботи є:

- Проаналізувати наслідки аварії на станції Фукусіма та сформульовані застереження до сучасної концепції розташування атомних станцій в околі берегових ареалів, зокрема, станції «Аккую».
- Послідовно висвітлюються можливі сценарії виникнення як самих нештатних ситуацій, так і шляхів потрапляння радіонуклідів через морську біоту(з урахуванням топології її розподілу та динаміки і масштабів міграції) через харчові ланцюжки до організму людини.
- Сформулювати вимоги та заходи щодо безпеки атомних об’єктів, розташованих в межах берегових ареалів задля убезпечення навколишнього середовища та його складових серед яких найголовнішою є людина.

Ключові слова: гіпотетична радіаційна аварія, харчовий ланцюжок, морська біота, радіаційне забруднення, внутрішнє опромінення .

Науковий керівник: д.ф-м.н, проф. Герасимов О.І.

Робота містить:

Сторінок – 48;

Рисунків – 7;

Літературних посилань – 15.

ЗМІСТ

ВСТУП.…….……..… 6
1 АТОМНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ РОЗТАШОВАНІ В МЕЖАХ БЕРЕГОВИХ АРЕАЛІВ ЯК ДЖЕРЕЛА ПОТЕНЦІЙНОГО РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ(НА ПРИКЛАДІ АЕС «ФУКУСІМА» ТА «АККУЮ»)….....8
2 АНАЛІЗ РАДІАЦІЙНОЇ КАТАСТРОФИ НА АЕС «ФУКУСІМА». ЇЇ НАСЛІДКИ ДЛЯ МОРСЬКИХ І ПРИБЕРЕЖНИХ АРЕАЛІВ……...12
3 РАДІОЄМНІСТЬ ЕКОСИСТЕМ ……..….22
4 НАКОПИЧЕННЯ І ВМІСТ ЦЕЗІЮ - 137 В ОРГАНІЗМІ РИБ……..….29
5 ПОТЕНЦІЙНИЙ СЦЕНАРІЙ МОЖЛИВОЇ ПОЗАШТАТНОЇ СИТУАЦІЇ(АВАРІЇ) ТА ЇЇ НАСЛІДКІВ(НА ПРИКЛАДІ АЕС «АККУЮ»)……34
ВИСНОВКИ…….….....44
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ……..….47

ВСТУП

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}Cs (1 ПБк=10^{15} Бк) і приблизно така ж кількість ^{134}Cs. Поряд з ізотопами цезію, зареєстровано також надходження в океан інших довгоіснуючих радіонуклідів, серед яких радіологічних значущим є тільки ^{90}Sr.

У зв'язку з поступлением в океан довгоіснуючих радіонуклідів ^{137}Cs, ^{134}Cs і ^{90}Sr виникла небезпека тривалого забруднення риби і морепродуктів. До аварії на АЕС «Фукусіма-1» води Тихого океану були забруднені ^{137}Cs і ^{90}Sr у результаті випробувань ядерної зброї в атмосфері, а також внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС.

Таким чином, масштаби викиду радіонуклідів та їх перенесення на значні відстані від місця скидання стали передумовами для постановки в якості актуальної задачі оцінки радіаційного ризику, пов'язаного зі споживанням населенням всього світу риби, виловлюємо промисловими судами у 61 зоні FAO (Продовольча сільськогосподарська організація при ООН) в Тихому океані, Охотському і Японському морях.

В якості мотивації до наступного, розглянемо особливості договору про будівництво АЕС "Аккую" - першої в світовому атомному проекті станції, яка будуватиметься за принципом «build — own — operate», «будуй — володій — експлуатуй».

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. І все це, 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 якщо прийняти до уваги, що абсолютно все врахувати неможливо, випливає ідея розглянути, а що може трапитися, якщо….

Спрогнозуємо можливу гіпотетичну аварію на АЕС "Аккую" та її наслідків 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 АТОМНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ РОЗТАШОВАНІ В МЕЖАХ БЕРЕГОВИХ АРЕАЛІВ ЯК ДЖЕРЕЛА ПОТЕНЦІЙНОГО РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ(НА ПРИКЛАДІ АЕС «ФУКУСІМА» ТА «АККУЮ»)

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

Тому важливо розібратись у питанні, чи дійсно безпечно будувати АЕС, зокрема,«Аккую» поблизу берегів Середземномор’я, маючи гіркий досвід з «Фукусімою»?

Втім, 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"[1, 2].

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. Якби на "Фукусімі" були впроваджені аналогічні заходи безпеки, до тих що зараз застосовуються на споруджуваних атомних об'єктах, то таких наслідків можливо могло б взагалі не статися [2,3].

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 «Аккуя», 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 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.

Будівництвом першої в Туреччині АЕС "Аккую" на південному, середземноморському, узбережжі в провінції Мерсін, займається компанія ЗАТ "Атомстройекспорт-"Росатома". Проект передбачає спорудження чотирьох енергоблоків потужністю по 1,2 гігават. Угода про будівництво була підписана в 2010 році. У 2011 році Верховний суд Анкари тимчасово призупинив будівництво АЕС, через масові протести місцевого населення, а також жителів О. Кіпр. У червні 2017 Євросоюз зажадав від Туреччини відмовитися від будівництва АЕС через певні ризики при будівництві АЕС. Перший енергоблок АЕС в Мерсіні повинен бути зданий в експлуатацію в 2019 році.

Друга АЕС, на півночі Туреччини на березі Чорного моря біля р. Синоп, в провінції Синоп — це проект будівництва від спільного підприємства Atmea (французької Areva і японської Mitsubishi Heavy Industries). Вартість проекту становить близько 25 млрд доларів. Планується спорудити 4 блоки із загальною потужністю 4800 МВт. Проект був схвалений на рівні прем'єр-міністрів Туреччини та Японії 3 травня 2013 року.

На початок вересня 2016 Туреччина і КНР підписали угоду про співпрацю в атомній енергетиці. Китай, ймовірно, буде будувати третю турецьку АЕС з використанням технологій Westinghouse [4] .

За заявою інженерно-геологічної асоціації роботи на першій турецькій атомної електростанції в Південній прибережній зоні «Аккую» ведуться без належних перевірок і можуть призвести до катастрофічних наслідків. Зазначимо, що повідомлення про будівництво станції «Аккую» викликали серйозні побоювання з моменту його початку в 2018 році і посилилися травневими новинами про тріщини, що двічі відкрилися в фундаментах.

Викликає серйозну стурбованість і те, що «Аккую» збираються зводити в сейсмічно небезпечній зоні. Регіон розташований на стику тектонічних плит .В 80 кілометрах від берега стикаються Анатолійська і Чорноморська літосферні плити(див.Рис.1.1).

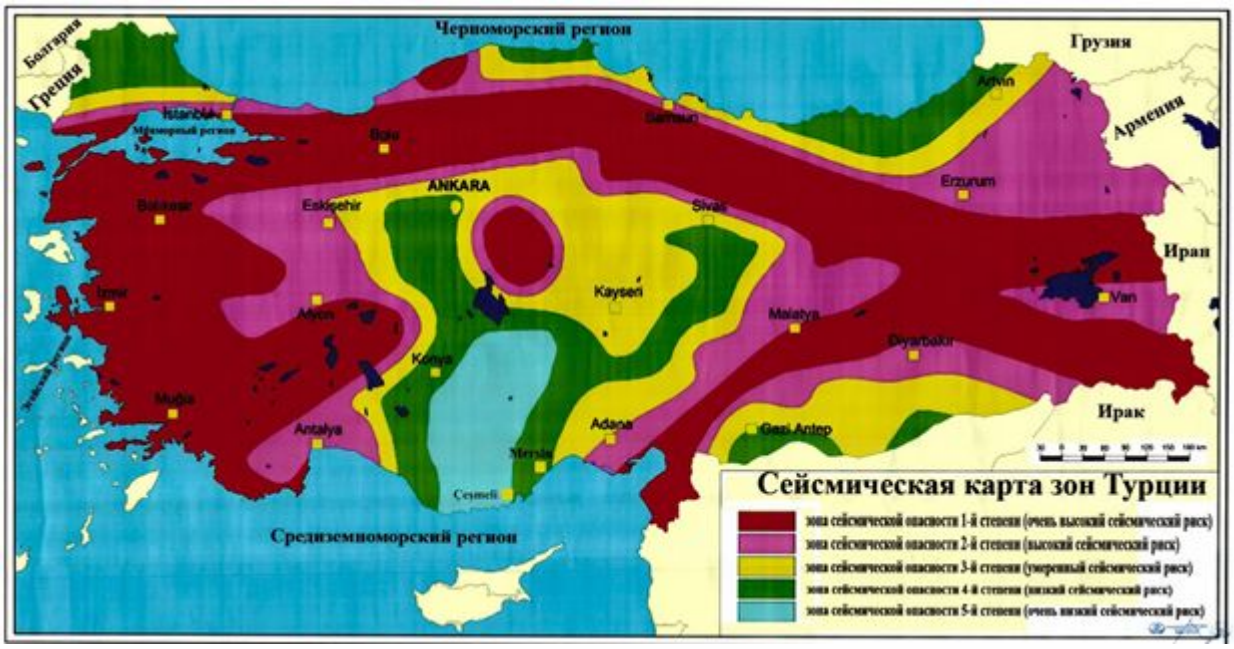

Рис.1.1 – Сейсмічна карта зон Туреччини

У 1999 році рух цих плит призвів до жахливого землетрусу, загинули десятки тисяч людей. Крім того, майданчик АЕС «Аккую» складається з вапнякових порід. Експерти переконують владу оприлюднити доповідь Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) про загрози, які несе будівництво станції. Однак міністерство енергетики Туреччини відмовилося публікувати ці матеріали. В Південно-Східній Анатолії основна частина епіцентрів землетрусів може бути пов'язана з північним продовженням дрифту

Мертвого моря і східно-Африканських дрифтів, Східно-Анатолийских розломів Північно-Східного простягання.

За минулі чотири роки на АЕС «Аккую Нуклеар» за допомогою фахівців Босфорської, Близькосхідного технічного та Середземноморського університетів, провідних турецьких інжинірингових компаній Envi Energie ve Cherve Yatyrimlary i Sondage ve Ishaat Muhendislik Mushavirlik були проведені додаткові дослідження, спрямовані на уточнення аспектів, пов'язаних із сейсмологією, гідрогеологією, карстовими пустотами та іншими природними явищами, які можуть проявлятися у районі розташування станції. Проте, треба зауважити, що результати вищевказаних досліджень не можуть гарантувати в повній мірі майбутню сейсмічну безпеку регіону [5].

Враховуючи фактори, які призвели до аварії в Чорнобилі та Фукусімі, зокрема, пов’язані із будівництвом, розташуванням та експлуатацією АЕС, є сенс проробити нехай і гіпотетичний сценарій можливих нештатних ситуацій на АЕС «Аккую» (незважаючи на те, що як вже згадувалося, вона має реактор ВВЕР-1200 ,який відноситься до покоління "3+", один з найбезпечніших, що існують у світі на сьогоднішній день реакторів).

2 АНАЛІЗ РАДІАЦІЙНОЇ КАТАСТРОФИ НА АЕС «ФУКУСІМА». ЇЇ НАСЛІДКИ ДЛЯ МОРСЬКИХ І ПРИБЕРЕЖНИХ АРЕАЛІВ

Повернемся до аварії на Фукусімі. Саме тоді 11 березня 2011 року в Японії стався найсильніший землетрус в історії країни - силою 9 балів, який викликав цунамі з хвилями висотою до 40 метрів. Катастрофа призвела до трьох ядерних аварій і трьох вибухів водню на АЕС "Фукусіма-Дайіті". Вісім років по тому на Фукусімі зберігається більше 1 мільйона тонн забрудненої води (див рис 2.1). Цунамі призвело до перегріву і розплавлення активної зони реактора, тому ліквідатори закачували воду в активну зону, щоб охолодити її.

Після аварії грунтові води також просочилися під реактори і змішалися з радіоактивним матеріалом. Для зберігання цієї забрудненої води в даний час існує 1000 герметичних резервуарів. Але вода все ще накопичується. Протягом літа 2022 року буде ще достатньо місця для зберігання забрудненої рідини, але після цієї дати виникає катастрофічна ситуація. На брифінгу в Токіо міністр навколишнього середовища Японії Йошиаки Харада заявив, що після 2022 року «єдиний варіант - це злити її в море і розбавити» забруднену воду. Відправка цієї забрудненої води в океан потенційно призведе до її міграції до прилеглих берегів, наприклад, Південної Кореї, і в свою чергу може привести до забруднення місцевої біоти. «Море - це не смітник», - сказав Ян Хакервамп, експерт з ядерної енергії в Грінпіс. «Море є спільним домом для всіх людей і істот і має бути захищене» [6].

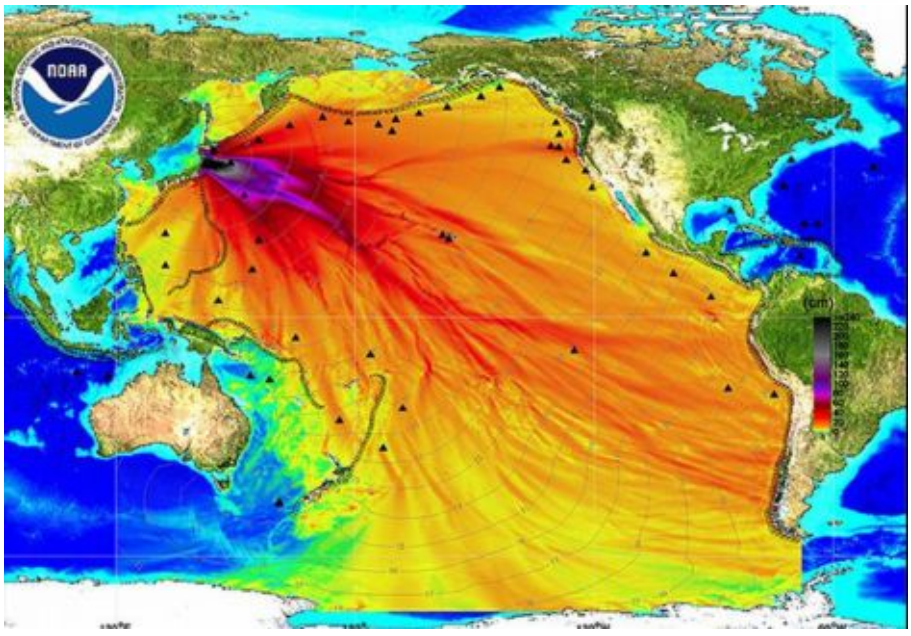

Рис.2.1 – Карта забруднення Тихого океану пусля аварії на АЕС «Фкусима-1»

Поряд з оцінкою рівнів забруднення води, в морських експедиціях наукових судів «Павло Гордієнко» (2011) та «Академік Шокальський» (2012) та «Професор Хлюстин» (2014 р.) відбиралися також проби риби з визначення рівнів вмісту радіоізотопів цезія. На рис. 2.2, за даними, опублікованими в журналі «Радіаційна гігієна», наводяться результати оцінки сумарного вмісту ізотопів цезію в рибі.

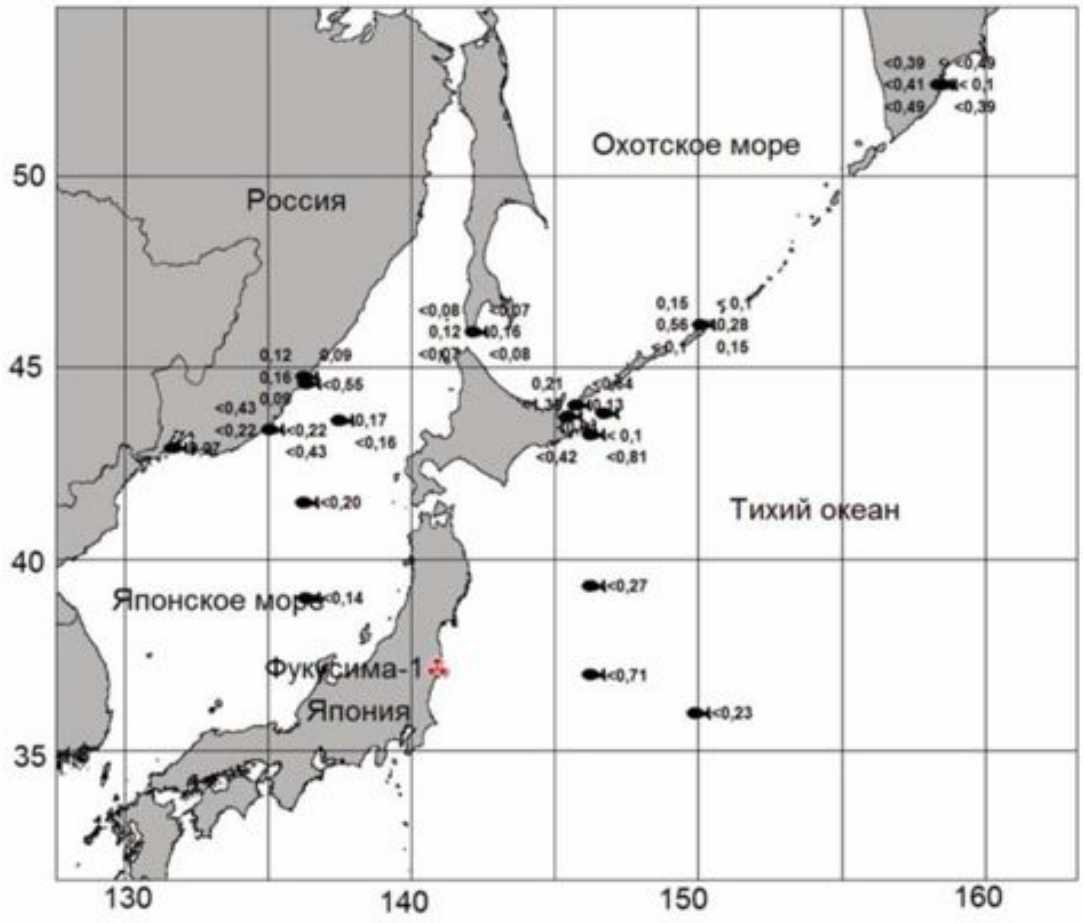

Рис. 2.2 – Місця відбору проб та результати вимірювань вмісту ізотопів цезію в пробах риби

Важливо зазначити, що концентрація ізотопів цезію в всіх пробах риби, відібраних в 2011 і 2012 і 2014 р., не перевищувала 0,7 Бк/кг.

Приблизні оцінки рівнів забруднення морської біоти можна визначити теоретично, використовуючи концентраційні множники (КМ, л/кг), рекомендованні МАГАТЕ в технічному доповіді TRS-422 (табл. 2.1).

Таблиця 2. 1 - Концентраційні множники для біоти в морському середовищі (КМ, л/кг) згідно TRS-422, МАГАТЕ, 2004

Хімічний елемент	Риба	Ракоподібні	Молюски,	Водорості
Цезій	100	50	60	50
Стронцій	30	5	10	10

При тривалому утриманні радіонуклідів в морської води на передбачуваному рівні забруднення морської води 3 Бк/м^3 (0,003 Бк/л) ^{137}Cs в північних зонах риболовства (Охотське море, Тихий океан), можна очікувати, концентрації в морській біоті, що мешкає в цій морській зоні, будуть відповідати значенням, затвердженими в табл. 2.2

Таблиця 2.2 - Оцінка очікуваних концентрацій ^{137}Cs (Бк/кг) в морський біоті при тривалому утриманні їх у морській воді з концентрацією 0,003 Бк/л

Радіонукліди	**Риба**	**Ракоподібні**	**Молюски,**	**Водорості**
Цезій-137	0,3	0,15	0,18	0,15

Зіставляючи фактичні дані і теоретичні оцінки рівнів забруднення риби, представлені в табліці 2.1, можна бачити, що вони не суперечать один одному. Підвищений інтерес до забруднення риби в Японському та Охотському морях визначається у зв'язку не тільки з аварії на АЕС «Фукусіма-1», але і з затопленням у цих морях радіоактивних відходів, інформація про яких представлена в Білій книзі. Таблиця 3 свідчить про те, що аварія на АЕС «Фукусіма-1», затоплення радіоактивних відходів до теперішнього часу надають впливу на рівні радіоактивного забруднення риби. (Див.рис 2.3)

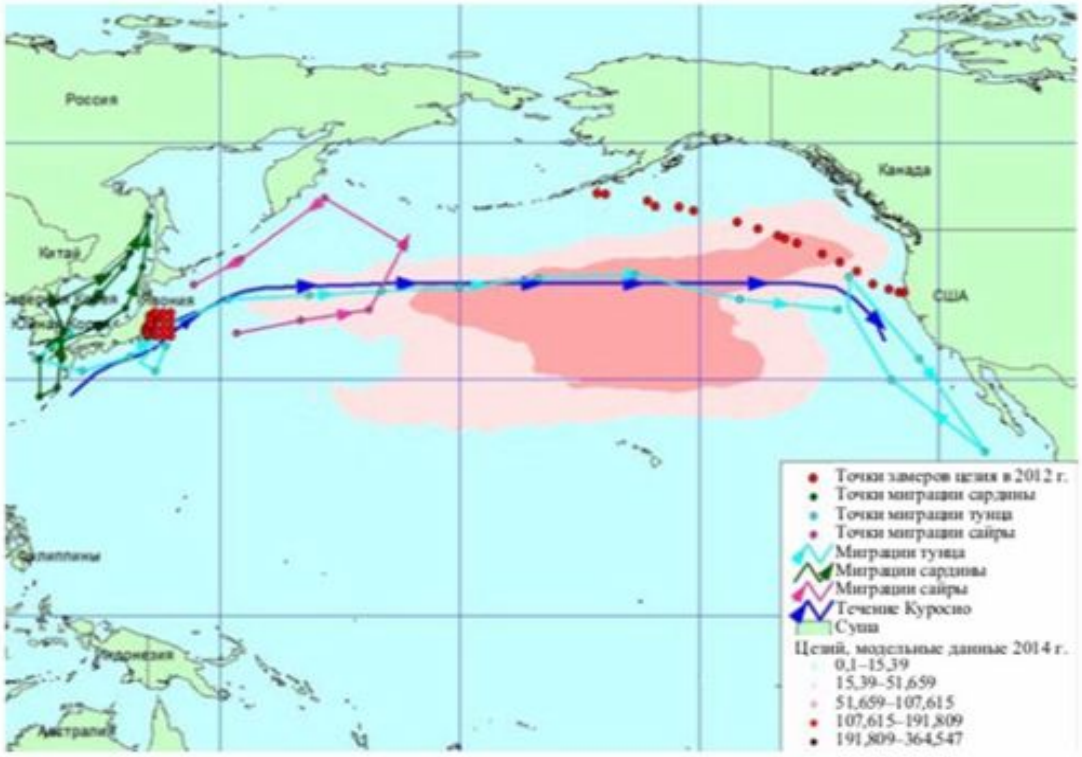

Рис.2.3 – Результати підрахунків просторового розповсюдженя цезію - ^{13} Cs зі шляхами міграції риб та точок замірів(концентрація цезію в морській воді, Бк/м^3

Інша картина з забрудненням риби складається у побережья Японії. У пресрелізах Міністерства здоров'я Японії [5] регулярно публікуються матеріали за вмістом ізотопів цезію в морських продуктах, які мешкають в японських водах. У таблиці 3 подано характеристики і частота розподілу рівнів вмісту ^{137}Cs з даними за 2012-2015 р. З таблиці 3 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 провінціяхі Фукусіма, за даними роботи , показали, що 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.

Таблиця 2.3 - Динаміка рівнів забруднення проб риби, виловлених біля узбережжя Японії після аварії на АЕС «Фукусіма-1»

Дата	Загальне число	Число проб з перевищенням Кількість проб з перевищенням		% проб з перевищенням
	Проб	1 Бк/кг	100 Бк/кг	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	–	

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 концентра-ція в цих провінціях в 2014 р. становила 23 Бк/кг, тоді як в інших провінціях була близька до 10 Бк/кг(Див. табл. 2.3)

Аналогічна картина поступового зниження рівнів забруднення риби спостерігалася після аварії на ЧАЕС в Чорному морі. Морські течії Чорного моря винесення вод з річки Дніпро, які, в свою чергу, зазнали і продовжують наражатися інтенсивному радіоактивному забрудненню довго живуть ізотопами цезію і стронцію після аварії на ЧАЕС внаслідок виносу радіоактивних речовин із зони відчуження, а також змиву і перенесення радионуклідів із забруднених територій по притокам Дніпра. За даними роботи, концентрація ^{137}Cs у придонних риб севастопольських бухт (камбала, калкан, йорж) у 1986 р. до-стігала 30 Бк/кг, однак у період з 1986 по 2005 р. надходило поступове зниження концентрації до рівнів, що передували аварії на ЧАЕС.

Основними радіологічно значущими радіонуклідами протягом перших 5-6 років після аварії на АЕС «Фукусіма-1» є ізотопи 137 Cs та 134 Cs з періодами напіврозпаду 30,07 і 2,06 року відповідно. Оскільки внесок 90 Sr 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 134 Cs істотно менше, ніж 137 Cs. Якщо на початок аварії співвідношення даних ізотопів у викиді було приблизно рівним [5,9], то на момент написання даної роботи (початок 2015 р.) активність 134 Cs становить приблизно 25% від активності 137 Cs.

Значення дозових коефіцієнтів, що використовуються для розрахунку ефективної дози залежать від віку, тому для забезпечення радіаційного захисту населення використовується поняття критичної (найбільш опромінюваної) групи населення. Для 137 Cs та 134 Cs критичною групою населення є дорослі жителі, для яких дозові коефіцієнти, наведені в НРБ-99/2009, рівні 1,3.10 -8 і 1,9.10 -8 Зв/Бк відповідно. Множачи дозові коефіцієнти на величину номінального коефіцієнт шкоди, отримаємо оцінку ризику віддалених наслідків на 1 Бк надходження радіонукліда в організм: 7,4.10-10 для 137 Cs і 10,8.10 -10 для 134 Cs. Величина активності, що надійшла в організм, залежить від питомої активності радіонукліду в харчовому продукті і маси споживання цього продукту.

У відповідності з представленою схемою, оцінку ризику за рахунок споживання риби з підвищеним рівнем радіоактивного забруднення після аварії на АЕС«Фукусіма-1» можна зробити за допомогою наступного виразу:

$$R = m(УA_{137}\, r_{137} + УA_{134}\, r_{134}), \qquad (2.1)$$

де m – маса річного споживання риби, виловленої в далекосхідних регіонах видобутку, кг;

$УA_{137}$ і $УA_{134}$ – питома активність 137Cs та 134Cs відповідно, Бк/кг;

r_{137} та r_{134} – коефіцієнти ризику на 1 Бк надходження для 137Cs та134 Cs відповідно, Бк-1 Практична реалізація оцінки ризику за допомогою виразу 1 зводиться до вибору сценарію, згідно з яким встановлюються необхідні для

розрахунків маса річного споживання і значення питомої активності радіонуклідів.

Найбільшими імпортерами сушеної, солоної і копче-ної риби є Росії, Естонія, Китай, Таїланд і В'єтнам. Більше половини імпорту цієї продукції (52%) забезпечує Китай. Треба зазначити, що обсяги поставок з Китаю стрімко зростають в останні роки. Кожна людина в середньому в рік вживає в їжу приблизно 24 кг риби і морепродуктів. Для жителів прибережних регіонів споживання риби вище, ніж середнє. За повідомленнями, представленим на сайті ТОВ ФИШНЕТ, середньодушове споживання морепродуктів в Японії становить 65 кг/рік. Виходячи з представлених даних, у якості помірно консервативного рівня споживання морепродуктів можна прийняти для розрахунків округлене значення споживання риби 50 кг/рік жителями які живуть поблизу до місця аварії регіонів.

Градація рівнів ризику, запропонована Всесвітньою організацією охорони здоров'я у 2000 р.	
Якісний рівень ризику	Значення індивідуального довічного ризику
Високий (De Manifestis) – не прийнятний для виробництва і населення. Необхідно реалізувати заходи по усуненню або зниженню ризику	$> 10^{-3}$
Середній – припустимо для виробничих умов; при дії шкідливих факторів на все населення необхідні динамічний контроль і поглиблене вивчення джерел і можливих наслідків несприятливих впливів для процедури управління ризиком	$10^{-3} – 10^{-4}$
Низький – допустимий ризик. Відповідно йому встановлюються гігієнічні нормативи для Населення	$10^{-4} – 10^{-6}$
Мінімальний (De Minimus) – бажані величини ризику при проведенні оздоровчих і природоохоронних заходів	$<10^{-6}$

Для оцінки очікуваної концентрації можна скористатися оцінками P. Povinec [10] про те, що аварія на АЕС «Фукусіма-1» в 2011 р. внесла близько 10% від загальної радіоактивності у водах Тихого океану. Тобто, якщо до аварії концентрація ^{137}Cs в північній частині Тихого океана була близько 2,7 Бк/м^3, то за рахунок викидів 2011 р. концентрація може зрости до 3 Бк/м^3. Однак необхідно врахувати, що скидання радіонуклідів в Тихий океан триває до теперішнього часу. Про це свідчить щомісячні повідомлення компанії ТЕРКО.

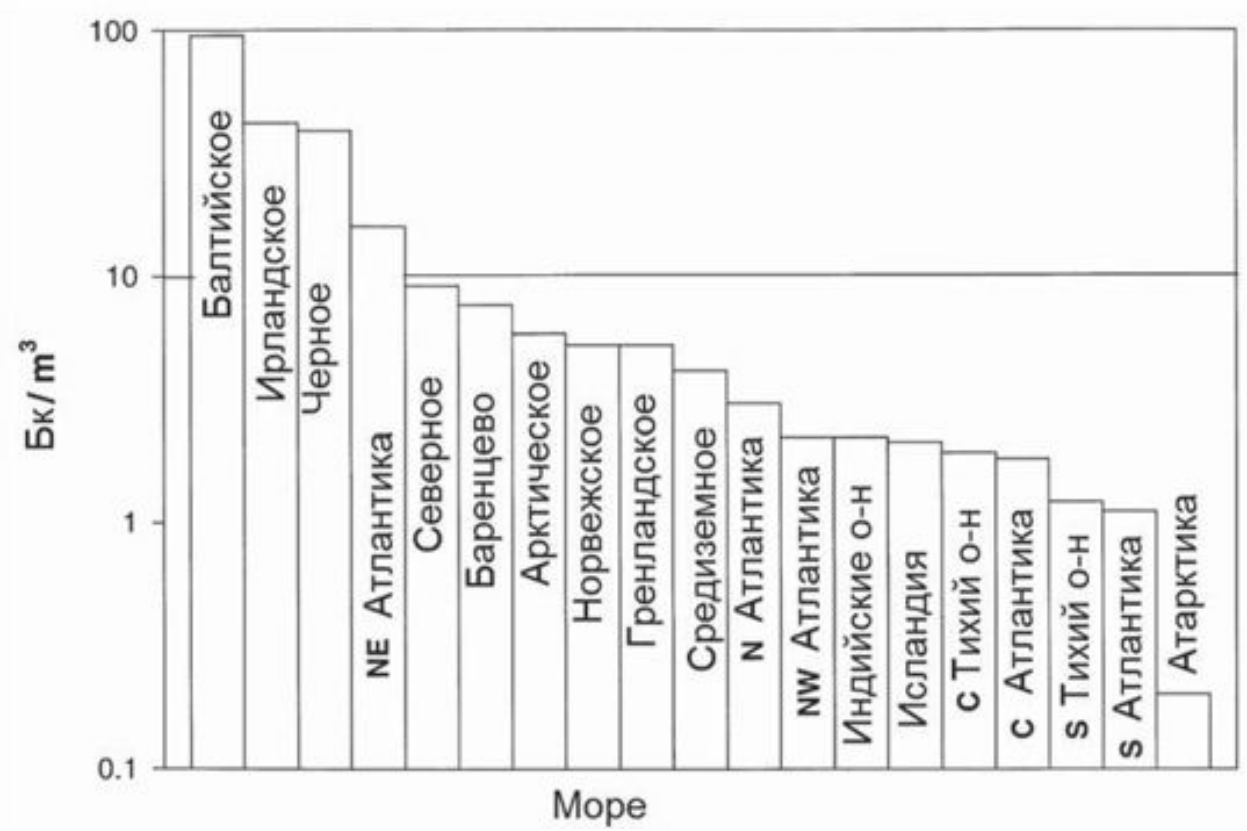

Рис.2.4 - Оцінка рівнів забруднення морів і океанів ^{13}Cs і 2011р. за даними

Знаючи те, що аварія спричинила розповсюдження радіонуклідів, що потрапили у воду швидко поширювались по всій території нашої планети. Через десять днів після аварії на Фукусімі невелике перевищення радіаційного фону фіксувалося в деяких штатах США, Південній Кореї, на судах, які проходили заражену водну ділянку. Після події, кілька країн, у тому числі Росія, заборонили ввезення риби з територій Японії.

Після аварії рибу, наприклад, тунця з підвищеним вмістом цезію-137 ловили в Каліфорнії. На думку фахівців, рибі знадобилося близько чотирьох місяців, щоб припливти до берегів Америки. Можливо, в момент аварії цей

косяк знаходився якраз в районі Фукусіми. Ще одним аргументом на користь поширення радіонуклідів з водними масами стали переміщення бетонного пірсу масою 160 тон. Після цунамі через 15 місяців пірс прибило до берегів Каліфорнії. Це означає, що радіоактивна вода могла поширитися у воді і на більш далекі відстані. (див рис.3)

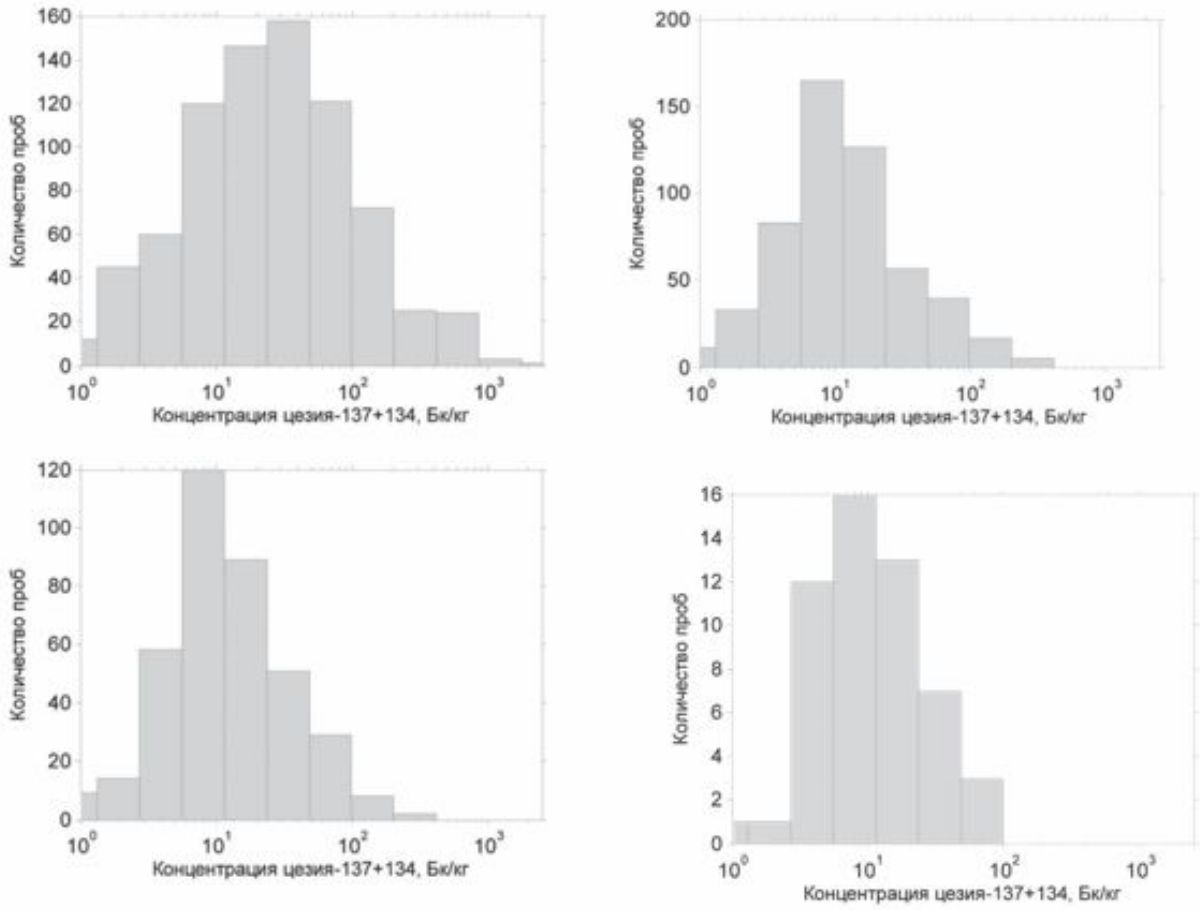

Рис.2.5 - Частотний розподіл питомої активності ^{13}Cs в пробах риби, виловленої в прибрежних водах Японії. Схема побудована на основі даних Міністерства охорони здоров'я Японії за 2012-15р.

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 [7]. І це може спричинити у майбутньому досить значні проблеми для населення такі як, опромінення, забруднення Середземного моря на сам перед, а отже і забруднення усієї біоти.

3 РАДІОЄМНІСТЬ ЕКОСИСТЕМ

Радіоємність екосистеми – це максимальна кількість радіонуклідів, що може міститись у певній екосистемі, не порушуючи її основних трофічних властивостей, тобто продуктивності, кондиціонування і надійності. Для порівняння за радіоємністю різних екосистем введено поняття *питома радіоємність* – відношення радіоємності певної екосистеми до площі, яку вона займає. Зазначене в попередніх розділах дає змогу сформулювати важливий постулат: будь-яка екосистема, мала чи велика, проста чи складна, здатна міцно і досить довго утримувати радіонукліди, що надходять до неї, шляхом активного накопичування чи пасивної сорбції, а то й фіксування на тривалий час значних за активністю кількостей радіонуклідів. Проте потрібно враховувати, що високі рівні активності радіонуклідів (до $3{,}7 \cdot 10^{7}$ Бк, або (10^{-3} Кі/кг) і більше можуть бути зумовлені дуже малими їх хімічними концентраціями, до яких закон діючих мас незастосовний, і тому токсикологічних проблем щодо екосистем, забруднених радіонуклідами, як правило, не виникає.

Відсутність властивості міцно утримувати накопичені радіонукліди за будь-якої природної ситуації означає порушення трофічних зв'язків між компонентами екосистеми, руйнування шляхів міграції і поглинання елементів живлення чи їхньої сорбції, а звідти і деградацію екосистеми. Здатність екосистем накопичувати і міцно утримувати радіонукліди, що надходять до них, є їхньою фундаментальною властивістю. Мірою цієї властивості екосистем може бути *фактор радіоємності* – відношення активності радіонуклідів, що міцно сорбовані компонентами екосистеми, до всієї радіоактивності цієї екосистеми. Верхньою межею є такий ступінь активності радіонуклідів, який ще не порушує функціонування екосистеми, тобто не знижує її продуктивності, зданості до кондиціювання і надійності.

Тривалі антропогенні впливи можуть так уплинути на вихідну екосистему, що вона необоротно заміниться новою екосистемою, яка більше відповідає зміненим умовам. Усе це означає, що кількісну оцінку продуктивності, кондиціювання і надійності потрібно давати для кожної конкретної екосистеми, обов'язково зазначаючи особливості супутніх умовМоря і океани є кінцевими депо захоронення радіонуклідів, куди поступово переміщуються всі радіонукліди, викинуті на великі території. Так, стік радіонуклідів унаслідок Чорнобильської аварії каскадом Дніпровських водосховищ практично весь депонується в північно-західній частині Чорного моря, в основному в прибережній зоні. Відбувається дуже слабкий обмін з іншими частинами Чорного моря і виніс радіонуклідів з видобутою морською біопродукцією. Незначна частина радіонуклідів унаслідок хвильової обробки берегів потрапляє в зону рекреації, тобто на пляжі. Основна відмінність за радіоємністю морів і океанів від більшості прісноводних водоймищ – це значно більша їх глибина. Тому чинник радіоємності *F* у визначенні радіоємності морів і океанів, як і середня активність біоти (на одиницю об'єму води), у цьому випадку відіграє третьорядну роль.

Прикладом морської екосистеми є Чорне море, яке може бути представлене простою стаціонарною камерною моделлю з п'яти камер (рис. 3.1).

Запишемо систему простих диференціальних рівнянь для характеристики такої стаціонарної камерної моделі:

$$\frac{dA_o}{dt} = KA - K_o A_o \tag{3.1}$$

$$\frac{dA_1}{dt} = K_o A_o - K_1 A_1 \tag{3.2}$$

$$\frac{dA_2}{dt} = K_1 A_1 \tag{3.3}$$

$$\frac{dA_3}{dt} = K_2 A_1 \tag{3.4}$$

$$\frac{dA_4}{dt} = K_3 A_1 \tag{3.5}$$

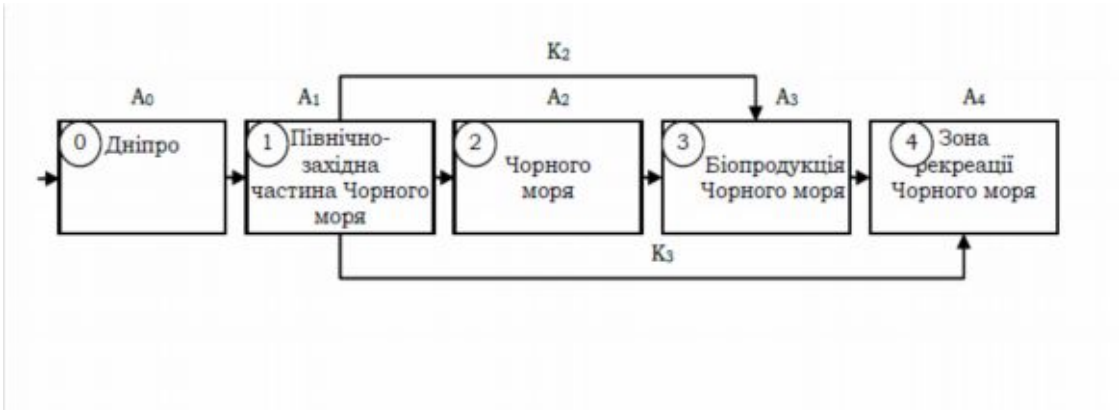

Рис.3.1 Блок-схема до рівнянь

де *A* – активність радіонуклідів, що надходять у Дніпро внаслідок аварійного викиду зі швидкістю *K*. Розв'язуючи цю систему рівнянь, можна розрахувати ступінь радіоємності північно-західної частини Чорного моря в будь-який конкретний момент часу після аварії (*FM* – чинник радіоємності морської екосистеми — в цьому випадку частка активності радіонуклідів,утримуваних у цій частині Чорного моря):

$$F_M(t) = 1 - \frac{A_2(t) + A_3(t)}{A_0(t)} = \frac{A_1(t)}{A_0(t)} \qquad (3.6)$$

Попередні оцінки продемонстрували, що істотних втрат радіонуклідів із Північно-західної частини Чорного моря не відбувається, а чинник її радіоємності становить близько 0,7–0,9. Природно, що як депо кінцевого захоронення радіонуклідів Чорне море має досить високу радіоємність.

Наведені вище відомості щодо радіоємиості екосистем дають змогу розглянути міграцію радіонуклідів у різних великих екосистемах – морських, прісноводних, наземних і агроекосистемах. У цьому розділі розглянемо принципи розподілу таких радіонуклідів серед компонентів морських екосистем і спробуємо оцінити радіоємність шельфів, тобто особливо багатих на біоту ділянок морів, що межують із суходолом.

Роль морів і океанів у підтриманні стабільності всієї біосфери величезна. Для розуміння цієї ролі розглянемо явище транспортування радіонуклідів, трасерів (міток) чи маркерів, що характеризують екосистеми.

Найбільші надходження радіонуклідів у моря й океани були під час випробувань ядерної зброї в атмосфері у 1950–60-х рр. Додаткове локальне забруднення морських екосистем відбувається від скидань і викидів ядерних реакторів, заводів із виробництва ядерного палива, від захоронювання у морях радіоактивних відходів, а також аварій та інших джерел. Природні радіонукліди потрапляють у моря внаслідок ерозії гірських порід. Більшість ядерних військових випробувань проводилися на континентальному шельфі й островах Тихого океану в 1946–62-х рр. Так, Велика Британія провела кілька ядерних випробувань на Тихому океані в 1952–58-х рр., Росія проводила ядерні випробування на полігонах у полярних морях біля Кольського півострова і на Новій Землі.

Ядерні випробування у Тихому океані призвели до локальних радіонуклідних забруднень. Дослідники вважають, що внаслідок таких випробувань у океани і моря, які займають 71% земної поверхні, випадає більше радіонуклідів, ніж на сушу. Частина радіонуклідів, що випали на сушу, потрапляє в океан через вітровий і поверхневий стоки. Найважливішою складовою поверхневого стоку радіонуклідів у морські екосистеми є стік рік. Так, стік Дніпра є визначальним в оцінці депонування радіонуклідів, зумовлених Чорнобильською аварією, в Чорному морі й Світовому океані. За натурними даними активність стоку радіонуклідів у Чорне море становить $(185–740)\cdot10^{10}$ Бк (50–200 Кі) на рік. Добре відомі ситуації з потраплянням у моря й океани радіонуклідів із локальних джерел радіонуклідного забруднення. Так, наприклад, у водах річки Колумбія (США), що впадає в Тихий океан, міститься близько $3,7\cdot10^{13}$ Бк (10^3 Кі) активності радіонуклідів на добу.

Джерелом такого забруднення є фірма з виробництва радіоактивних препаратів, розташована за 370 миль вище за течією цієї річки. Цей стік містить близько 60 різних радіонуклідів. У морській воді містяться також природні радіонукліди. Це насамперед ^{40}К, уран, торій, радій і рубідій. Штучні радіонукліди представлені продуктами поділу урану і

радіонуклідами, що утворилися зі стабільних елементів після активації нейтронами. Найважливішими продуктами поділу ядер, що виявлені в морській воді і біоті, є ^{90}Sr, ^{90}У, ^{137}Cs, ^{144}Ce, ^{95}Zr-Nb, ^{103,106}Ru, ^{103,106} Rh і короткоживучі ізотопи – ^{131}I і ^{140}Ba. Основні продукти активації – це ^{55}Fe, ^{59}Fe, ^{65}Zn, ^{57}Co, ^{60}Co,^{54}Мп. У низьких концентраціях містяться в морській воді ^{51}Cr, ^{14}C і ^{3}H, в дуже низьких – ^{239}Pu та інші трансуранові елементи (ТУЕ).

Фізико-хімічні форми радіонуклідів значною мірою виливають на їх міграцію в природному середовищі. Різноманітність речовин, що містяться у морській воді, утруднює передбачення фізичних і хімічних форм перебування для більшості радіонуклідів. Радіонукліди ^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{95}Zr знаходяться тут в йонній формі, а тенденція для ^{103}Ru, ^{144}Ce, ^{90}Zn, ^{90}У,^{95}Nb і ^{59}Fe – перебувати в морській воді у вигляді колоїдів. Встановлено, що радіонукліди ^{57}Co, ^{54}Мп і ^{59}Fe містяться в морській воді в нерозчинній формі. Розчинні радіонукліди, такі як ^{90}Sr, можуть необоротно зв'язуватися із кальцієм і переходити в нерозчинний стан.

Океан порівняно з прісноводними екосистемами є відносно гомогенним середовищем. Проте і в ньому також можна виділити кілька різних підсистем: а) відкритий океан, б) глибоководну частину, в) континентальний шельф, г) коралові рифи, д) естуарії (гирла) рік з унікальними властивостями. Середні глибини океану становлять 4 км і містять вони $1{,}4 \cdot 10^9$ км^3 води. Це величезне депо радіонуклідів. Континентальні шельфи займають лише 6% поверхні океану, але вони найважливіші для його біологічної продуктивності. Океанічні води вертикально стратифіковані чи розподілені за температурою і густиною, що залежить від температури і вмісту солей. Глибинні води холодніші, ніж поверхневі, і містять більше солей. Поверхневі води змішуються дуже швидко до глибини термоклину, пікноклину (різкий перепад за температурою і щільністю води) і галоклину (різкий перепад за солоністю води на великих глибинах). Верхній шар води під дією вітру і хвиль відносно

легко розподіляється у глибину до 75 м. Глибинні шари води нижче від пікноклину також перемішуються, але повільніше. На рівні термоклину звичайний рух води припиняється. Тому горизонтальне розсіювання в морі завжди відбувається швидше, ніж вертикальне. Інший важливий чинник міграції радіонуклідів у морях і океанах – це хімічний склад води. Встановлено, що вміст H, O, Na, Cl досягає 10–19 г/л, а K і Ca – 380–400 мкг (у прісній воді їх вміст становить близько 10^{-8} г). Унаслідок цього прісноводні організми, у тому числі риби, поглинають значно більше ^{137}Cs і ^{90}Sr, ніж морські (табл. 3.1).

Табл 3.1 Типові коефіцієнти накопичення ^{137}Cs і ^{90}Sr в деяких компонентах морської і прісноводної екосистем

Компонент	Коефіцієнт накопичення для екосистеми			
	^{137}Cs		^{90}Sr	
	прісноводної	морської	прісноводної	морської
Молюски	600	8	600	1
Риби	3000	15	200	0,1
Ракоподібні	4000	23	200	1

Інша причина меншого накопичення цих радіонуклідів у морських організмах полягає в тому, що море, на відміну від прісноводних водоймищ, містить величезний об'єм води для розведення радіонуклідів. Радіонукліди ^{137}Cs і ^{90}Sr у морській воді містяться в розчинній формі й унаслідок високої концентрації хімічних аналогів (носіїв) у незначній кількості входять до складу морської біоти. У відкритому океані, де мала кількість біоти, радіонукліди перерозподіляються між водою і різними суспензіями. Значна частина радіонуклідів міститься на глибині менш ніж 100 м, а решта – до 1000 м. Біота справляє незначний вплив на рух радіонуклідів у морській воді.

Ступінь радіаційного впливу на біоту визначається головним чином типом радіонуклідів, хоча і залежить від деяких інших чинників середовища. Так, планктон і вищі організми накопичують радіонукліди в значній кількості

і захоронюють їх завдяки екскреції. Популяції малих організмів, наприклад фітопланктон, для якого характерні швидкі процеси обміну, переносять значні кількості радіонуклідів у глибокі шари води й у седименти після відмирання.

Підсумовуючи дані щодо накопичення радіонуклідів у морях і океанах, можна зробити висновок, що продукти розподілу й активації, що існують переважно в колоїдній формі, краще захоронюються в морських екосистемах, ніж ^{137}Cs і ^{90}Sr. У прісноводних водоймах навпаки. Незважаючи на нерозчинну форму, ^{103}Ru, ^{144}Ce і ^{65}Zn легко акумулюються в морських фільтрувальних організмах, у тому числі зоопланктоні й молюсках.

Радіонукліди ^{65}Zn, ^{59}Fe, ^{57}Co і ^{54}Мп легко акумулюються в морському планктоні, але тільки ^{65}Zn і ^{59}Fe добре акумулюються вищими консументами і хижаками. Радіонукліди ^{95}Zr, ^{59}Fe, Al, ^{14}C і ^{32}P можуть концентруватися в морських трофічних ланцюгах, оскільки їх вміст у морі є незначним. У коралах добре концентрується ^{90}Sr.

Радіонукліди ^{65}Zn, ^{59}Fe, ^{57}Co і ^{54}Мп легко акумулюються в морському планктоні, але тільки ^{65}Zn і ^{59}Fe добре акумулюються вищими консументами і хижаками. Радіонукліди ^{95}Zr, ^{59}Fe, Al, ^{14}C і ^{32}P можуть концентруватися в морських трофічних ланцюгах, оскільки їх вміст у морі є незначним. У коралах добре концентрується ^{90}Sr.

Отже, морські організми концентрують практично всі радіонукліди (табл. 3.1), тоді як континентальні – в основному ^{137}Cs і ^{90}Sr. Видокремлюють дві основні причини різної міграції радіонуклідів у морських, континентальних і прісноводних екосистемах: 1) ^{137}Cs і ^{90}Sr більше розбавляються калієм і кальцієм, яких у морській воді більше, ніж у прісноводних водоймах і 2) фільтрувальні організми (зоопланктон і молюски) здатні активно накопичувати нерозчинні форми радіонуклідів.

4 НАКОПИЧЕННЯ І ВМІСТ ЦЕЗІЮ - 137 В ОРГАНІЗМІ РИБ

Роботу з вивчення забруднення риб радіоактивними речовинами за своєю спрямованістю можна розділити на дві групи. Одна з них присвячена вивченню надходження, накопичення і перерозподілу радіоактивних речовин в організмі риб, а так само виведення їх з органів і тканин риб, інша – питанням біологічної дії радіації на організм риб [8].

Накопичення радіоактивних речовин органами і тканинами риб, а також розподіл і виділення їх залежить від цілого ряду умов, основними з яких є: хімічна природа радіоізотопів і періоди їх напіврозпаду, концентрація радіоізотопів у воді, вид, вік і фізіологічний стан риб, екологічні умови.

Забруднення риб відбувається шляхом безпосередньої адсорбції радіоактивних речовин поверхнею тіла, через їжу і в результаті інших обмінних процесів між організмом і навколишнім середовищем. У внутрішні органи риб радіоактивні елементи проникають через шкіру, зябра і ротову порожнину.

Одним з важливих джерел зараження риб є передача радіоактивних речовин по харчових ланцюгах. Молодняк більшості риб і багато дорослих особини риби харчуються планктоном, який здатний накопичувати радіонукліди до концентрацій в сотні і тисячі разів більших, ніж в навколишній воді. Тому при малому вмісті радіоактивних речовин у воді надходження їх в організм риб обумовлює в першу чергу забрудненою їжею.

При знаходженні у воді, забрудненій радіоактивними речовинами, риби отримують зовнішнє опромінення. Адсорбована на поверхні їх тіла активність створює опромінення організму. У свою чергу радіоактивні речовини, що накопичуються в органах і тканинах, створюють внутрішнє джерело опромінення [9].

Радіонукліди так само, як і всі стабільні нукліди, надходять в тіло гідробіонтів через шлунок, зябровий апарат і покривні тканини.

Інтенсивність засвоєння організмом радіонуклідів багато в чому визначається ступенем фізико-хімічної тотожності їх зі стабільними нуклідами, необхідними для оптимального функціонування біонта, а також агрегатним станом, концентрацією у вигляді, функціональним станом організму і т. п.

Інтенсивність надходження в організм радіонукліда в якійсь мірі залежить від шляху його проникнення. Радіоактивні речовини, що містяться в твердих частинках, гідробіонтами практично не засвоюються. На відміну від цього радіонукліди, що знаходяться в іонному стані, поглинаються гідробіонтами інтенсивно [10].

Кумуляція радіоізотопів органами і тканинами риб залежить від концентрації цих радіоізотопів у воді і часу перебування в ній риб. Чим вище ступінь радіоактивності води, тим більше ступінь забрудненості риб.

При одноразовому забрудненні риб навіть великими кількостями радіоізотопів накопичення їх організмі буває незначним. При тривалому ж забрудненні низькими концентраціями радіоізотопи можуть накопичуватися в організмі у великих кількостях, яскравим прикладом служить аварія на АЕС Фукусима-1.

Найбільш інтенсивна кумуляція радіоактивних речовин відбувається в першу добу. При рівності процесів надходження і виведення радіоактивних елементів через 2 – 3 місяці настає граничне накопичення радіоізотопів органами і тканинами. При досягненні межі накопичення радіоактивних речовин організмом подальша кумуляція припиняється.

Молоді і швидкозростаючі риби кумулюють радіоізотопи швидше і у відносно великих кількостях, ніж риби середнього і старого віку. У донних риб накопичення радіоізотопів йде швидше, ніж у пелагічних. Таким чином,

екологічні умови та фізіологічний стан риб відіграють значну роль у забрудненні їх радіоактивними речовинами [11].

Вивчення накопичення цезію - 137 водними організмами в природних умовах пов'язано з кількісною оцінкою і прогнозуванням переходу штучних радіонуклідів із зовнішнього середовища в живі організми. В даний час найбільш цікаві дослідження в природних умовах, так як вони дозволяють отримати реальні кількісні показники міграційного перенесення радіонуклідів в ті чи інші елементи екосистеми.

Численними дослідженнями в природі встановлено, що рівні накопичення рибами радіонуклідів знаходяться в зворотній залежності від мінералізації водойм і вмісту у воді їх хімічних аналогів [12].

Істотно впливають на накопичення радіонуклідів в тілі риб сезонна зміна року і температура води: чим вище температура, тим активніше відкладаються радіонукліди. При одночасному забрудненні радіонуклідом води і корму накопичення в тканинах риби зазвичай вище, ніж у разі його надходження тільки з кормом.

Радіонукліди, що потрапили в океан або моря, осіли на дно, але оскільки водні рослини і безхребетні тварини мають здатність легко накопичувати розчинні у воді мінеральні речовини, в тому числі і радіонукліди, частина їх, головним чином цезій-137 і стронцій-90, концентрується в гідробіонтах: личинках комах, зоо- і фітопланктоні, водоростях, молюсках.

Забруднення риб відбувається шляхом безпосередньої адсорбції радіоактивних речовин поверхнею тіла, в результаті обмінних процесів між організмом і навколишнім середовищем. У внутрішні органи риб радіоактивні елементи проникають через шкіру, зябра і ротову порожнину. В основному, в організм риб радіонукліди потрапляють по харчовому ланцюжку.

Багато видів риб, що мешкають в морях Середземномор'я, харчуються планктоном, який навіть при низьких рівнях радіації накопичує радіонукліди в значних кількостях, таким чином будучи джерелом забрудненої радіонуклідами їжею для рослиноїдних риб. Харчуючись забрудненою їжею, риби накопичують в тілі в 2-3 рази більше цезію-137, ніж його міститься в кормі. У свою чергу хижі риби, поїдаючи забруднені радіонуклідами мирні види риб і своїх же дрібних одноплемінників, теж стають джерелами радіації. Риби, які харчуються донними тваринами, накопичують набагато більше радіоактивних речовин, ніж пелагічні риби.

Радіонукліди, що надійшли в організм риб, концентруються в залежності від своїх хімічних властивостей в різних органах і тканинах. Цезій-137, подібний за хімічним складом з калієм, концентрується в м'язах риб і молюсків, а стронцій-90, що є аналогом кальцію, накопичується в кістковій тканині риб і в раковинах молюсків.

Відрізняються ці радіонукліди і за швидкістю виведення з організму, значно повільніше виводиться стронцій-90, локалізований в кістковій тканині риб і раковинах, цезій-137 порівняно швидко виводиться з м'язів.

Таким чином, риби, забруднені радіоізотопами, можуть стати небезпечними джерелами зараження інших тварин, в тому числі і людини.

Існують відмінності в рівнях накопичення у різних видів риб, що мешкають в одній водному середовищі. Найбільш забруднені цезієм - 137 хижі види риб. Рівень накопичення радіоцезію в організмах цих видів риб в залежності від місця лову змінювався від 42 до 2414 Бк/кг (сира маса).

Можна відзначити, що вміст радіонуклідів у великих видів більше, ніж у дрібних екземплярів того ж даного виду, особливо це яскраво виражено у хижих риб.

Любителям риби необхідно взяти собі на замітку, що рибу слід ловити тільки в проточних водоймах, наприклад, в річках, а також в штучно створених водосховищах, де для вирощування риб використовують чисті

корми. У водоймах, які знаходяться на забруднених територіях , і особливо, де зберігається більш висока концентрація радіонуклідів, ловити рибу не слід.

При приготуванні риби, виловленої у водоймах, розташованих на забрудненій радіонуклідами території, необхідно слідувати правилам: перше і основне правило – перевіряти улов в місцевих центрах радіаційного контролю на предмет вмісту в рибі радіонуклідів. При перевищенні вмісту в рибі радіоцезію понад встановлені норми виключити таку рибу з раціону і утилізувати.

5 ПОТЕНЦІЙНИЙ СЦЕНАРІЙ МОЖЛИВОЇ ПОЗАШТАТНОЇ СИТУАЦІЇ(АВАРІЇ) ТА ЇЇ НАСЛІДКІВ(НА ПРИКЛАДІ АЕС «АККУЮ»)

Аварія на АЕС «Аккую» через сейсмо-нестійку зону її розташування 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.

Туреччина – це країна, що омивається 4 морями і, звичайно ж, в її прибережних та морських ареалах існує велика кількість морських мешканців, в залежності від сезону .

Цікавою особливістю тут є те, що заморожену рибу місцеві майже не використовують. Майже всі споживають в Туреччині рибу свіжою, в охолодженому вигляді. 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(а як ми

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

При радіоактивному забрудненні радіонуклідами елементів харчових ланцюжків на перше місце виходить проблема прогнозу та мінімізації вмісту радіонуклідів у харчовій продукції, в першу чергу в молоці, м'ясі та рибі. З цими продуктами харчування в організм людини надходить 70-90% радіонуклідів йоду, цезію та стронцію, які викликають внутрішнє опромінення населення та особливо його критичної групи – дітей.

Основним завданням щодо зменшення дозового навантаження на організм людини є отримання на забруднених радіонуклідами територіях харчової продукції, яка відповідає вимогам радіаційної безпеки - допустимим рівням вмісту радіонуклідів 137Cs і 90Sr в харчових продуктах і подальше зниження вмісту радіонуклідів до значень контрольних рівнів [14].

Досліди на рибах ставили з радіоізотопами стронцію, цезію, ітрію, церію, фосфору, кальцію, урану, йоду, кобальту, полонію. Різні радіоізотопи, 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, радіоізотопи вступають з ними в обмінні реакції. Так, радіостронцій дуже близький в хімічному відношенні до кальцію і, потрапляючи в тваринний організм, відкладається в кальцій-містять тканинах, головним чином в кістках. Підвищення вмісту нерадіоактивного кальцію у водоймі веде до зниження кумуляції рибами.

Таким чином, характер обмінних реакцій в організмі риб визначається співвідношенням між процесами накопичення і виведення радіоізотопів організмом.

Акумуляція (або кумуляція) радіоізотопів органами і тканинами риб залежить, перш за все, від концентрації цих радіоізотопів у воді і часу

перебування в ній риб. Чим вище ступінь радіоактивності води, тим більше ступінь забрудненості риб.

У воді з високою концентрацією радіоізотопів їх кумуляція відбувається в одних тканинах, а з низькою - в інших. При одноразовому забрудненні риб навіть великими кількостями радіоізотопів накопичення їх в організмі буває незначним.

При тривалому ж забрудненні низькими концентраціями радіоізотопи можуть накопичуватися в організмі у великих кількостях. Найбільш інтенсивна кумуляція радіоактивних речовин відбувається в першу добу. При різниці процесів надходження і виведення радіоактивних елементів через два-три місяці настає граничне накопичення радіоізотопів органами і тканинами. При досягненні межі накопичення радіоактивних речовин організмом подальша кумуляція припиняється.

Таким чином, екологічні умови і фізіологічний стан риб відіграють значну роль в забрудненні їх радіоактивними речовинами. Вивчення накопичення цезію-137 водними організмами в природних умовах знадобилося для кількісної оцінки і прогнозування переходу штучних радіонуклідів із зовнішнього середовища в живі організми.

В даний час найбільш цікаві дослідження в природних умовах, так як вони дозволяють отримувати реальні кількісні показники міграційного переносу радіонуклідів в ті чи інші елементи екосистеми.

Накопичення радіонуклідів в тканинах багато в чому залежить і від фізіологічної активності риби: чим активніше її спосіб життя і чим вона молодша, тим, як правило, більше відкладається в її тканинах радіонуклідів хоча питання про радіаційному ураженні риб вивчений ще далеко недостатньо, проте наявні матеріали призводять до основного висновку, що іонізуючі випромінювання надають гнітючу і руйнівну дію на риб (можливо, крім найнижчих доз опромінення). Таке руйнівну дію проявляється на всіх

стадіях розвитку: на запліднені ої і розвивається ікрі, на личинках, мальках і дорослих рибах, на виробниках і на їх статевих продуктах - ікрі і сперміях.

У потомстві опромінених виробників можна очікувати значних генетичних уражень, правда, ще мало вивчених. Залежно від дози опромінення спостерігаються важкі ураження статевих залоз, кровотворних та інших життєво важливих органів, дефекти в розвитку і каліцтва у ембріонів і личинок, відставання в рості і т. д. Крім того, під дією опромінення у риб відзначаються гіпоксія (нестача кисню), різко виражена лейкопенія (зниження кількості лейкоцитів), уповільнення зростання, загальна м'язова слабкість, зниження реакції на зовнішнє роздратування і в кінцевому підсумку - висока смертність.

Ще більш, ніж риби, чутливі до радіації кормові об'єкти риб - планктонні і бентосні безхребетні тварини. На водні рослини радіація робить менший вплив, а ось якщо порівнювати з ссавцями, то у риб велика резистентність (стійкість організму) до радіації. Тобто смертельною для риб є доза 3500-4000 рентген. Перші зміни в організмі з'являються при дії дози в 600 рентген. Так, у молоді коропа після такої дози опромінення з'являються зміни в крові (лейкопенія - зменшення кількості лейкоцитів).

Підвищення дози до 1400 рентген веде до подальшого розвитку лейкопенії і соматичних порушень. Личинки риб можуть жити деякий час після дії на них 20 000-40 000 рентген. Дія, вироблене на риб великими дозами опромінення, виражається у вигляді шоку або, навпаки, підвищеного збудження. При невеликих дозах опромінення ці явища відсутні. Абсолютно смертельні дози для риб значно вищі, ніж для ссавців, і тільки розвивається ікра надзвичайно чутлива, особливо на самих ранніх стадіях дроблення в певні моменти мітотичного циклу.

Неприємний і небезпечний момент для любителів риби в тому, що характерною особливістю дії опромінення риб є наявність прихованого періоду, протягом якого в організмі не можна виявити будь-яких змін. Він

триває у риб одну-три тижні, а потім з'являються ураження. Надалі настає період, коли риби гинуть або одужують. Гонади відносяться до найбільш радіочутливим органам, причому не тільки у риб. У ссавців репродуктивні органи теж максимально чутливі до опромінення.

Зміни в статевих залозах позначаються як на плодючості риб, так і на життєздатності і повноцінності потомства. У сім'яниках уражаються молоді сперматоцити і відбувається порушення клітинних ядер, що веде до зниження плодючості самців. В яєчниках в першу чергу уражаються молоді овоцити і значно пізніше - зрілі статеві клітини. У нашій країні вчені досить детально досліджували наслідки аварії у водоймах охолоджувачах атомної електростанції Фукусима-1. Отримані цифри і факти, на жаль, підтверджують експериментальні спостереження фахівців.

Так, рибне населення водойми-охолоджувача АЕС в доаварійний період було представлено 33-ма видами з семи сімейств, серед яких найбільшим видовим багатством відзначалося сімейство лососевих (подан 7 видів). Інші сімейства (окуневі, сомові, щукові та ін.) представлені одним, двома видами. Основна частина риб потрапила в ставок-охолоджувач через океан і її заплавної системи при спорудженні водойми, а деякі (білий і строкатий товстолобики, сом канальний, форель, большеротий буффало) були завезені сюди з цілю рибництва. У доаварійний період забруднення іхтіофауни у водоймі-охолоджувачі АЕС відбувалося переважно ізотопами цезію, вміст яких у риб різних видів був у верхніх межах норми. Під час аварії на АЕС Фукусима риб'яче населення піддалося сильному радіоактивному опроміненню і всі наступні роки перебувало в умовах хронічної дії малих доз радіації.

Дослідження рівня і динаміки накопичення радіоактивних речовин в органах і тканинах риб різних трофічних ланок показало, що залежать вони перш за все від характеру харчування. Найменш забруднені рослиноїдні риби, які знаходяться в другій ланці трофічного ланцюга. Вони переважно

харчуються, як відомо, фітопланктоном і детритом. Найбільші кількості радіоактивних речовин накопичували типові хижаки.

З огляду на дані про природну міграцію риби в морях, які омивають Туреччину, в залежності від сезону можна спрогнозувати потенціальну якісну картину , шляхи та масштаби її зараження. Наприклад, в зимовий сезон переважає вилов хамси і барабульки. З серпня по січень - паламута і люфера. У квітні з'являється риба меч. А в травні - краби, омари і червона кефаль. Сезонність риби в Середземному морі в берегових водах Туреччини у свою чергу залежить від течій, які омивають цю країну (див.рис.3)

Активна міграція рибних косяків(див.,наприклад,Рис.4) також створює умови для глобального потрапляння зараженої риби до харчових ланцюжків в ареалах суттєво віддалених від місць локального зараження [13].

Риба отримує радіоактивне забруднення через адсорбцію радіоактивних речовин на шкірі, через їжу, воду, зябра, завдяки поїданню радіоактивного планктону(який може в тисячу разів більше накопичити нуклідів, ніж будь-який інший організм). Потрапивши всередину організму, радіоактивні речовини починають опромінювати рибу з середини. Засвоєння нуклідів залежить від пори року, температури води, та деяких інших параметрів, як внутрішніх так і зовнішних [14].

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 радіоізотопів і періоди їх напіврозпаду, концентрація радіоізотопів у воді, вид, вік, фізіологічний стан риб та екологічні умови. Спеціальні дослідження на рибах були проведені із

використанням радіоізотопів стронцію, цезію, ітрію, церію, фосфору, кальцію, урану, йоду, кобальту, полонію. Різні радіоізотопи, 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, радіоізотопи 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 радіоізотопів організмом [14].

Акумуляція радіоізотопів органами і тканинами риб залежить, перш за все, від концентрації цих радіоізотопів у воді і часу перебування в ній риб. Чим вище ступінь радіоактивності води, тим більше ступінь забрудненості риб. При одноразовому забрудненні риб навіть великими кількостями радіоізотопів накопичення їх в організмі може бути і незначним. При тривалому ж забрудненні низькими концентраціями радіоізотопи можуть накопичуватися в організмі у великих кількостях. Найбільш інтенсивна кумуляція радіоактивних речовин відбувається в першу добу. При розбалансі процесів надходження і виведення радіоактивних елементів через два-три місяці настає може трапитися граничне накопичення радіоізотопів органами і тканинами. При досягненні межі накопичення радіоактивних речовин організмом подальша кумуляція припиняється. Молоді і швидкозростаючі риби акумулюють радіоізотопи швидше і у відносно великих кількостях, ніж риби середнього і старшого віку. У донних риб накопичення радіоізотопів йде швидше, ніж у пелагічних [15] .

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.

Для наочності представляємо у вигляді таблиці(див.табл. 5.1) дані про накопичення радіонуклідів деякими видами морських риб [14] .

Табл.5.1 Накопичення радіонуклідів деякими видами морських риб

Вид риб	Тип харчування	Зміст калия, г/кг сирої маси	Зміст цезію-137, пКи	Спостережуване відношення на кг сирій массі риби	на кг сирої масси риби у воді	На г калію у рибі
Вобла	Бентофаг	2,15	211,41	6,7	9,8	1,5
Кутум	3,42	203,46	6,7	5,8	0,9	___
Сазан	2,65	261,00	6,7	9,8	1,5	___
Севрюга	Змішаний	1,50	497,68	6,7	32,6	4,7
Осетер	2,00	597,81	6,7	29,5	4,2	___
Кілька анчоусовидная	Планктофаг	3,00	647,81	6,7	21,3	3,2
Каспійський пузанок	3,00	694,32	6,7	23,0	3,4	___
Оселедець більшеглазая	Ихтиофаг	3,12	12825,45	6,7	41,1	6,1
Оселедець-Черноспинка	2,82	15623,30	6,7	55,4	8,2	___
Судак	2,43	636,56	13,5	26,0	1,9	___
Жерех	2,82	705,15	13,5	24,8	1,8	___

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

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:

- Дотримання всіх діючих законів, норм і правил місцевих та міжнародних організацій: МАГАТЕ, EUR;
- 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;
- Публікація щорічного звіту з екологічної безпеки;
- 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 рекультивація 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:

- гідрологічні спостереження;
- метеорологічний;
- спостереження за рівнем, температурою і хімічним складом наземних і підземних вод, а також прилеглих водних ареалів;
- сейсмометричний;
- спостереження за осадкою фундаментів і деформаціями споруд;
- спостереження за сучасними рухами земної кори і гравітаційним полем;
- радіаційні спостереження;
- моніторинг здоров'я населення
- радіаційний контроль рибної продукції

Проект спорудження АЕС "Аккую" поки що реалізується, в основному, за виключенням деяких вищеописаних зауважень, з дотриманням всіх перерахованих вище пріоритетних завдань і заходів з метою забезпечення безпечної і надійної експлуатації АЕС при мінімальному впливі на навколишнє середовище (яке включає прилеглі водні ареали), населення і персонал, тому розглянутий вищє сценарій є виключно гіпотетичним.

ВИСНОВКИ

В результаті аварії на АЕС «Фукусіма-1» води Тихого океану піддалися інтенсивному радіоактивному загрязнению з подальшим поступовим поширенням активності в зони рибальства .

На підставі огляду даних літератури та даних, що публікуються в ежемесячних звітах Міністерства охорониздоров'я Японії, найбільш високі рівні забрудгання риби 100 Бк/кг і більше реєструються у побережья провінції Фукусіма. На основі даних до 2015 р. ризик для здоровья населення дальневосточних регіонів за рахунок споживання риби, виловлюємо в зонах риболовства після аварії на АЕС «Фукусіма-1», у відповідності зі шкалою ризиків Всесвітньої організації охорони здоров'я більш-менші не перевищує ризик за рахунок споживання риби в Чорному і Балтійському морях, забруднених після аварії на ЧАЕС.

Ризик за рахунок споживання риби, виловленої біля узбережжя Японії, в 10-100 разів вище, ніж ризик споживання риби, добутої в зонах рибальства, але і ця величина ризику класифікується за шкалою ВООЗ як ризик.

Представлені в роботі оцінки радіаційного риска, засновані на поточних даних про утриманні зтопів цезію в рибі, не враховують рівні забруднення і споживання інших морепродуктів, у зв'язку з чим ризики можуть бути недооціненими.

В історії атомної енергетики в результаті аварії на АЕС «Фукусіма-1» вперше відбувається настільки масштабнтй викид у води Світового океану. Дослідження з уточнення радіаційної обстановки, шляхів міграції та зітриманню радіонуклідів в промислових видах риб і морепродуктах, що мешкають у водах Тихого океана і далекосхідних морях, на мою думку, призведуть до отримання нових науко-експериментальних даних і окажут вплив як на уточнення коефіцієнтів накопичення радіонуклідів по харчовому ланцюжку, так і на оцінку і рівень радіаційного ризику.

У бакалаврській роботі було розглянуто гіпотетичну аварію(скажімо на АЕС «Аккую»), яка може статися несподівано, наприклад, через сейсмічну активність в зоні її розташування, відповідні радіаційні викиди можуть розповсюдитися по всім прилеглим територіям та водній акваторії Середземного, Егейського, Чорного та Мраморного морів, які оточують Туреччину. Ці всі викиди призведуть до опромінення, як зовнішнього та і внутрішнього, на сам перед морської біоти, а потім через харчові ланцюжки і її споживача(див. рис.5), тобто-людини.

В данній роботі розглянуті, можливі наслідки гіпотетичної аварії на АЕС ,яка споруджується в сейсмічно активному регіоні і до того ж на узбережжі і в безпосередньому околі водних ареалів міграції рибних конгломерацій.

Рибне господарство (в розглянутому прикладі узбережжя Туреччини) є досить багатим, що заставляє нас ще більше звернути увагу на небезпеку розташування АЕС в межах берегових ареалів внаслідок існування потенційної небезпеки потрапляння нуклідів в харчовий ланцюжок. Навіть мізерно мала маса радіоактивних речовин при високій їх радіоактивності викликає внутрішнє опромінення і вибіркове накопичення радіонуклідів в критичних органах При внутрішньому опроміненні можуть виникати променеві ураження. Перед джерелами радіоактивного забруднення, що проникли в організм, людина майже беззахисна. Потрапляючи всередину з продуктами харчування і водою, радіаційні речовини безперешкодно впливають на шлунок, кишковий тракт, нирки та інші життєво важливі органи.

Концентрація радіоактивних речовин в окремих органах може досягати високих значень через нерівномірний розподіл джерел радіації в тканинах.

Наприклад,вплив найбільш небезпечного внутрішнього альфа-випромінювання нічим не обмежений (в той час як при зовнішньому

опроміненні ці радіоактивні частинки практично затримуються роговим шаром шкіри)[11].

При внутрішньому опроміненні небезпечними стають всі види іонізуючого випромінювання. Їх руйнівна дія зберігається до тих пір, поки не розпадуться, або не будуть виведені в результаті фізіологічного обміну радіаційних речовин.

Таким чином, доходимо до висновку, що незважаючи на всі запобіжні міри та економічні вигоди, спорудження АЕС(і зокрема в берегових ареалах) все ж таки несе певну потенційну(у багатьох сенсах додаткову) загрозу, збурює головну парадигму – захисту людини і виступає, таким чином, викликом раціональному людському розуму.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Строительство и последующая эксплуатация: веб-сайт. URL: http://www.akkuyu.com/tekhnologii-i-bezopasnost
2. АЭС «Аккую» (Турция): веб-сайт. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/АЭС_Аккую
3. 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.
4. Козлов В. В. Российская атомная энергетика за рубежом: развитие, кризис, возрождение: история событий глазами участника., Москва, 2018. с.215
5. Сейсмическая картина в Турции: веб-сайт. URL: http://propertyturkey.ru/zemlatreseniya-v-turcii.htm
6. Новиков А. А. Природная катастрофа в Японии и ее последствия (Фукусима-2011), Москва, 2013. с.**703**
7. Ahnelt, H., 1991: Some rare fishes from the western Mediterranean Sea. Annalen d es Naturhistorischen Museums in Wien, 2015. Vol. 92, №2. P. 49-58
8. Буянов Н.И. Накопление и выведение искусственных радионуклидов организмами пресноводных рыб . Вып.№4. «Экология».Москва ,1983.,
9. Перцов Л.А. Биологические аспекты радиоактивного загрязнения моря. Москва, 1978, с.348
10. Ромашов Д.Д. Радиоактивное заражение рыб. Труды совещаний ихтиологической комиссии академии наук СССР. Вып. 10, Москва, 1960.
11. Федорова, Г.В. О радиоактивном загрязнении рыб. Рыбное хозяйство. Москва, 1962, с.245
12. Герасимов О.І. Технології захисту навколишнього середовища. Навчальний посібник. Одеса, ТЕС, 2019, с. 268.

13. Перцов Л.А. Биологические аспекты радиоактивного загрязнения моря, Киев, 2017. С.324
14. Герасимов О.І. Теоретичні основи технологій захисту навколишнього середовища. Навчальний посібник. Одеса, ТЕС, 2018, 242с.
15. 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