

Київський національний університет
імені Тараса Шевченка

Лукашов Дмитро Володимирович

УДК 504.064.4.054:594.141

Роль двостулкових молюсків у міграції радіонуклідів в екосистемі
водойми-охолоджувача Чорнобильської АЕС

03.00.01 - радіобіологія

автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата біологічних наук

Київ - 2001

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі зоології біологічного факультету
Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Науковий керівник:

доктор біологічних наук, професор,
Войціцький Володимир Михайлович
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
професор кафедри біохімії.

Офіційні опоненти:

доктор біологічних наук,
Гайченко Віталій Андрійович
Науково-методичний інститут міжнародної освіти
та проблем управління,
заступник генерального директора;

доктор біологічних наук, професор,
Булах Анатолій Андрійович

Провідна установа:

Інститут клітинної біології та генетичної
інженерії НАН України, м. Київ.

Захист відбудеться " 21 " січня 2002 року о 16⁰⁰ годині на засіданні
спеціалізованої вченої ради Д 26.001.24 Київського національного
університету імені Тараса Шевченка за адресою:

03127, м. Київ, проспект Глушкова 2, корпус 12,
біологічний факультет, ауд. 215.

Поштова адреса: 01033, Київ-33, вул. Володимирська, 64.
Спецрада Д 26.001.24, біологічний факультет.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Київського
національного університету імені Тараса Шевченка за адресою:
м. Київ, вул. Володимирська, 58.

Автореферат розісланий "13" грудня 2001 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Брайон О.В.

Загальна характеристика роботи

Актуальність проблеми. Внаслідок аварії у квітні 1986 р. на Чорнобильській АЕС відбувся потужний викид радіоактивних речовин у навколишнє середовище. Основна частина радіонуклідів випала в радіусі 30 км. На сьогодні найбільшу небезпеку становлять радіоактивні ізотопи ^{137}Cs , ^{90}Sr та ^{241}Am . Значна кількість цих елементів потрапила під час аварії у водойму-охолоджувач ЧАЕС. За приблизними оцінками, в 1999 р. у цій водоймі знаходилося $11,1 \cdot 10^{13}$ Бк ^{137}Cs та $37,0 \cdot 10^{12}$ Бк ^{90}Sr [Sorochinsky et al., 2000]. Ці радіонукліди становлять значну небезпеку у зв'язку з постійною фільтрацією води з водойми-охолоджувача, разом з якою відбувається їх надходження до гідросистеми Дніпра. Тому актуальною проблемою є розробка наукових основ контролю та заходів по зменшенню виносу радіонуклідів по дніпровському каскаду водосховищ. Крім того, особливу увагу привертає радіоактивне забруднення водойми-охолоджувача у зв'язку з остаточним виведенням ЧАЕС з експлуатації та вирішенням подальшої долі водойми. Двостулкові молюски утворюють значні за біомасою та чисельністю поселення у прісноводних водоймах. Вони відіграють значну роль у процесах депонування ^{90}Sr в донних відкладах завдяки накопиченню його у своїх черепашках та їх подальшому похованню після відмирання особин [Паньков, 1997]. За рахунок значної фільтраційної активності поселень молюсків відбувається інтенсивне очищення води від зависів, які часто є основною причиною її радіоактивного забруднення через значний вміст радіонуклідів на поверхні колоїдів [Паньков, 1990]. Двостулкові молюски є важливим кормовим об'єктом для багатьох видів тварин і можуть впливати на інтенсивність процесів міграції радіонуклідів за трофічними ланцюгами. Все це свідчить про необхідність детального дослідження ролі двостулкових молюсків у процесах перерозподілу радіонуклідів у водних екосистемах та визначає актуальність обраної теми дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Виконані дослідження були складовою частиною комплексної науково-дослідної теми №97091 кафедри зоології Київського національного університету імені Тараса Шевченка: "Дослідження тваринного світу України як складової частини світової фауни, морфологічних і екологічних особливостей тварин та регуляції деяких параметрів їх популяцій в умовах якісних змін довкілля", № держреєстрації 0197U003535. Базовою для підготовки дисертації, крім того, була науково-дослідна тема №13/185н-99 Державного підприємства "Чорнобильський науково-технічний центр міжнародних досліджень" (ДП ЧоНТЦМД): "Двостулкові молюски як фіксатори радіонуклідів (^{90}Sr) в умовах Зони відчуження ЧАЕС", № держреєстрації 0199U002623.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи було визначення ролі поселень двостулкових молюсків у міграції ^{137}Cs та ^{90}Sr в умовах водойми-охолоджувача ЧАЕС. Для досягнення мети були поставлені та виконані такі завдання:

1. Визначити видовий склад двостулкових молюсків водойми-охолоджувача ЧАЕС.
2. Проаналізувати біотопічний розподіл, динаміку видової, розмірно-вікової, статевої та морфологічної структури поселень молюсків, показники чисельності, біомаси та визначити характер впливу на ці параметри основних екологічних факторів. Оцінити загальні запаси двостулкових молюсків у водоймі-охолоджувачі
3. Дослідити видову специфічність накопичення радіонуклідів двостулковими молюсками та з'ясувати розподіл радіонуклідів в їх органах і тканинах.
4. Оцінити загальні запаси акумульованих молюсками радіонуклідів та вплив седиментаційної активності цих тварин на інтенсивність процесів депонування радіонуклідів у донних відкладах.

Об'єктом дослідження виступає техногенне радіоактивне забруднення та процеси міграції радіонуклідів у водних екосистемах.

Предметом дослідження є процеси міграції ^{137}Cs та ^{90}Sr в екосистемі водойми-охолоджувача ЧАЕС за участю двостулкових молюсків

Для досягнення мети та вирішення поставлених завдань використовували гідробіологічні, спектрометричні, радіохімічні методи досліджень та методи математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів. Встановлено видовий склад двостулкових молюсків та проведено оцінку їхніх загальних запасів у водоймі-охолоджувачі ЧАЕС у післяаварійний період. Виявлені особливості морфологічної, розмірно-вікової та статеві структури популяцій. Досліджено результативність фільтрації зависів з води двостулковими молюсками у водоймі-охолоджувачі та видоспецифічність накопичення ними ^{137}Cs та ^{90}Sr . Проведено порівняльну оцінку загальної активності радіонуклідів, акумульованих та осаджених молюсками у донні відклади за вегетаційний сезон.

Практичне значення одержаних результатів. Результати роботи можуть бути використані для створення цілісної моделі міграції радіонуклідів по компонентах водних екосистем, а також для прогнозів радіоекологічної ситуації як безпосередньо у водоймі-охолоджувачі ЧАЕС, так і в інших водних об'єктах, куди можливе надходження радіоактивних речовин. Результати досліджень використовуються у навчальному процесі при читанні лекцій з спецкурсу "Радіоекологія" у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка та Національному університеті "Києво-Могилянська Академія".

Особистий внесок здобувача. Автор самостійно був проведений аналіз наукової літератури, визначені напрямки та завдання досліджень, сплановані та виконані основні експерименти. Вимірювання вмісту радіонуклідів у експериментальних зразках проводили співробітники лабораторії Відділу міжнародних аналітичних досліджень ДП ЧоНЦМД. Результати досліджень, викладені в дисертації, отримані особисто автором. Обговорення результатів проводили разом зі співавторами публікацій.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи були оприлюднені на таких міжнародних наукових форумах: Third International Symposium on Environmental Contamination in Central and Eastern Europe (Warsaw, 1996); Міжнародна наукова конференція молодих вчених "Водные биоресурсы и пути их рационального использования" (Київ, 2000); Міжнародна конференція "Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях" (Москва, 2000); Fifth International Symposium on Environmental Contamination in Central and Eastern Europe (Prague, 2000); I Міжнародна наукова конференція "Структура та функціональна роль тваринного населення в природних та трансформованих екосистемах" (Дніпропетровськ, 2001); Міжнародна конференція "Екологія кризових регіонів" (Дніпропетровськ, 2001).

Публікація матеріалів. За матеріалами дисертації опубліковано 11 наукових робіт, з яких 5 статей у наукових фахових виданнях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, огляду наукової літератури, розділів, що відображають методи, результати власних досліджень та їх обговорення, висновків та списку наукової літератури, який містить 180 джерел. Роботу викладено на 156 сторінках машинопису, ілюстровано 37 рисунками та 19 таблицями.

Основний зміст роботи

Матеріали та методи досліджень

Молюсків збирали протягом 1998 – 2000 років (квітень–листопад) в 27 постійних пунктах відбору проб (рис. 1) за допомогою стандартних гідробіологічних методів [Жадин, 1960]. Визначення видів двостулкових молюсків проводили за системою [Старобогатов, 1977]. В кожному пункті досліджували видовий склад молюсків, їх питому чисельність та біомасу, розмірно-частотну, вікову та статеву структури поселень, морфологічну мінливість (родина *Dreissenidae*) та особливості лінійного росту (родина *Unionidae*). Були досліджені 17971 особина роду *Dreissena* (*D. bugensis* – 12894, *D. polymorpha* – 5077) та 2557 особин родини *Unionidae* (роду *Unio* – 1953, роду *Colletopterum* – 604 екземпляри).

Рис. 1 Схема водойми-охолоджувача ЧАЕС та розташування пунктів відбору проб молюсків (вказані порядковими номерами). Ізобати через проведені через 2 м.

Для вивчення основних показників фільтраційної активності двостулкових молюсків застосовували метод [Михеев, 1966; Stanczykowska, 1977]. Для вимірювання кількості седиментованих зависів використовували розроблені нами спеціальні апарати (рис. 2). Кількість сухої седиментованої молюсками речовини обчислювали за наступним рівнянням:

$$SM = ST - SG,$$

де SM – маса седиментованої молюсками речовини; ST – загальна маса осаду, що накопичувалась у експериментальних апаратах (з молюсками); SG – маса осаду, що пасивно осіла у контрольних апаратах (без молюсків). Седиментаційну активність молюсків розраховували на середню масу ($g/2 \cdot добу$) та щільність особин в апаратах ($g/екз. \cdot добу$) [Львова, 1980].

Рис. 2 Схема апарату для вимірювань кількості седиментованого молюсками осаду.

1 – досліджувані молюски; 2 – металічна сітка (розмір отворів – 10×10 мм); 3 – седиментований осад; 4 – затиск Мора.

Дослідження питомої активності ^{137}Cs проводили на базі спектрометричної лабораторії ОМАИ ДП ЧоНЦМД. Вміст ^{137}Cs у зразках визначали прямим спектрометричним вимірюванням за допомогою германієвого детектора *Canberra Well GCW2022-7500SL* (55×58 мм) на пристрої *EG&G ORTEC OMNIGAM*. Вміст ^{90}Sr у зразках визначали після попереднього радіохімічного виділення стронцію екстрагентом дициклогексил-18-краун-6 у хлороформі з кислого середовища [Тузова и др., 1993]. Вимірювання концентрації ^{90}Sr проводили за вмістом дочірнього ^{90}Y за допомогою рідинно-синтиляційного лічильника "*1220-Quantulus*". За час досліджень було проведено вимірювання вмісту ^{137}Cs у 589 зразках м'яких тканин двостулкових молюсків, 45 зразках зависів, 21 пробі черепашок та 15 пробах води; ^{90}Sr – у 48 зразках м'яких тканин молюсків, 392 зразках черепашок, 15 зразках зависів та 20 пробах води. Питому активність радіонуклідів розраховували у Бк/кг чи Бк/л.

Обробку експериментальних даних проводили стандартними методами варіаційної статистики [Плохинский, 1970; Лакин, 1990]. Також застосовували методи кореляційного, регресійного та кластерного аналізів [Терентьев та Ростова, 1977; Дюран та Оделл, 1977].

Результати досліджень та їх обговорення

Еколого-фізіологічні особливості масових видів двостулкових молюсків в умовах водойми-охолоджувача ЧАЕС. У водоймі-охолоджувачі ЧАЕС виявлено 8 видів двостулкових молюсків: *Dreissena bugensis* (54–100% від загальної кількості особин у поселеннях *Dreissena*) та *D. polymorpha*; (12–46%) *Unio tumidus falcatus* (12% від загальної кількості особин у поселеннях *Unionidae*), *U. conus borysthenicus* (28%), *U. pictorum ponderosus* (47%), *U. limosus graniger* (7%), *U. rostratus* (2%), *Colletopterum piscinale* (4%). Найбільшого розвитку у водоймі досягають поселення прикріплених молюсків роду *Dreissena*, площа поселень яких в 1999-2000 рр. у перифітоні складала 1,02 км², у бентосі – 5,86 км², у заростях очерету – 0,38 км². Загальна площа їх поселень складала 7,26 км², а біомаса 48,0±7,7 тис. т. Площа, яку займали поселення молюсків родини *Unionidae* складала 1,6 км², а загальна біомаса становила 0,71±0,30 тис. т.

Аналіз динаміки чисельності, біомаси та розмірно-частотної структури поселень *Dreissena* показав, що найбільший вплив на кількісний та якісний розвиток цих молюсків має фактор підвищеної температури скидних вод АЕС [Афанасьев, Протасов, 1987]. Підтверджено, що найбільш динамічною частиною поселень *Dreissena* у водоймі-охолоджувачі є перифітонні угруповання в районі надходження відпрацьованих вод. Найнижча питома біомаса цих молюсків (1862 г/м²) була зареєстрована у районі, де спостерігався найбільший підігрів води (до 35⁰С, пункт №3, 1,7 км від гирла скидного каналу), найвища (25333 г/м²) – в найбільш віддаленому від скиду районі (пункт №27, 18,4 км від гирла скидного каналу). В 1998 р. співвідношення видів *Dreissena* у перифітонних поселеннях залежало від їх віддаленості від скидного каналу, що може бути

пов'язано з поступовим зниженням температури води: на відстані 1,7 км *D. bugensis* складала 7%, 4 км – 17%, 6 км – 54%, 18,4 км – 69%. В 2000 р. *D. bugensis* домінувала у більшості перифітонних поселень незалежно від їх розташування відносно гирла скидного каналу, і її особини складала 87-97% поселення. Бентосні угруповання характеризуються більш стабільними показниками біомаси (2910-10352 г/м²), що свідчить про менший вплив підвищеної температури води. У бентосних поселеннях відмічена повна відсутність *D. polymorpha*.

Температура скидних вод не впливає на кількісний розвиток поселень *Unionidae*, оскільки безпосередньо в районі гирла скидного каналу спостерігали поселення із значною біомасою (397 г/м²). Головну роль у розподілі поселень цих моллюсків відіграє тип донних відкладів на глибинах до 4 м. Аналіз розмірно-частотної структури угруповань та темпів лінійного росту особин *Unionidae* показав, що умови підвищеної температури води більш сприятливі для розвитку поселень *U. pictorum* та *U. conus* (частка молодих особин складає 12-30%, лінійний ріст характеризується значними темпами). Поселення *U. limosus* та *Unio tumidus* в районі, який найменше підпадає під вплив скидних вод, знаходяться у більш стабільному стані, ніж на ділянках з підвищеною температурою.

Дослідження морфологічної мінливості *Dreissena* показало, що особини *D. bugensis*, які мешкають у перифітонних поселеннях, характеризуються більшими лінійними розмірами та масивнішими черепашками у порівнянні з екземплярами бентосних угруповань. Характер малюнку периостракуму *D. polymorpha* може відображати особливості субстрату, на якому мешкають особини.

Надходження до водойми скидних вод зі станції впливає на строки дозрівання гонад: особини, які мешкають в районі гирла скидного каналу навесні приступають до розмноження раніше, ніж особини з водозабірною каналу. Співвідношення статей у поселеннях моллюсків близьке до 1 : 1. Особливості накопичення ¹³⁷Cs та ⁹⁰Sr двостулковими моллюсками. Рівень накопичення радіонуклідів моллюсками може відображати як їх вміст у навколишньому середовищі, так і його біотичні та абіотичні особливості, які впливають на інтенсивність накопичення цих радіонуклідів (табл. 1). Встановлено, що ¹³⁷Cs накопичується переважно у м'якій частині моллюсків: його концентрація у черепашках після їх ретельного відмивання у проточній воді була у 3,5 – 5 разів нижча, ніж у м'якій частині тіла. Концентрація ⁹⁰Sr у черепашках приблизно в 100 разів більша, ніж у м'яких тканинах. В 2000 р. найбільший вміст ¹³⁷Cs у м'якому тілі *Dreissena* був характерний для особин з бентосного поселення в пункті №22 (2379±116 Бк/кг), у перифітоні – в пункті №21 (1666±60 Бк/кг). Найменший вміст цього радіонукліду відмічено у перифітоні в пункті №19 (370±46 Бк/кг), а у бентосі – №13 (442±48 Бк/кг). Максимальне значення питомої активності ⁹⁰Sr у моллюсках з перифітонних поселень було відмічено в пункті №16 (4074±461 Бк/кг), у бентосних – в пункті №17 (5984±598 Бк/кг). Мінімальні показники накопичення цього радіонукліду спостерігали у перифітоні в пункті №25 (1778±167 Бк/кг), у бентосі – в пункті №23 (2682±300 Бк/кг).

Максимальні рівні накопичення ¹³⁷Cs у м'яких тканинах *C. piscinale* виявлені у пунктах №12 – 13 (1417–1604 Бк/кг); *U. conus* – в пунктах №4 – 6 (2051–2135 Бк/кг); *U. tumidus* – в пунктах №6 та №9 (2341–2338 Бк/кг); *U. pictorum* – у пункті №12 (1853±201 Бк/кг); *U. limosus* – у пункті №4 (2020±319 Бк/кг); *U. rostratus* – у пункті №9 (1211±185 Бк/кг). Отже, найменшу питому активність ¹³⁷Cs мали моллюски, які мешкали у поселеннях в районі надходження теплих скидних вод.

Таблиця 1.

Питома активність основних радіонуклідів (Бк/кг) в моллюсках водойми-охолоджувача ЧАЕС.

Максимальна концентрація ⁹⁰Sr в черепашках особин *C. piscinale* відмічена у пунктах №18–19 (4440–4456 Бк/кг); в черепашках *U. conus* – у пунктах №19–20 (12109–12334 Бк/кг); в черепашках *U. tumidus* – у пункті №23 (18602±2090 Бк/кг); в черепашках *U. pictorum* – у пункті №18 (10487±1573 Бк/кг). Таким чином, найбільша питома активність ⁹⁰Sr у черепашках *Unionidae* була властива особинам, які мешкали у поселеннях віддаленого від скидного каналу району. Для більшості поселень моллюсків була характерна зворотня залежність накопичення ¹³⁷Cs від розмірів особин: дрібні екземпляри мали вищу питому активність радіонукліду, ніж більші за

розміром. Для *D. bugensis* ця залежність описується рівнянням $A=aL^{-1,49\pm 0,38}$, а для *U. pictorum* – $A=aL^{-1,61\pm 0,23}$, де A – питома активність ^{137}Cs у м'яких тканинах молюсків, Бк/кг; L – довжина особини, мм; a – коефіцієнт пропорційності, який описує загальний рівень накопичення радіонукліду.

Розподіл радіонуклідів по органах та частинах тіла досліджували у представників родини *Unionidae*. Встановлено, що питома активність ^{137}Cs знижувалася, а ^{90}Sr збільшувалася в такому порядку: нога < мантия < зябра (рис. 3). Значний вміст ^{137}Cs у нозі пов'язаний із розташуванням в ній травного тракту, через який надходить основна кількість цього радіонукліду до організму молюска [Hamilton, 1983]. Високі показники питомої активності ^{90}Sr у зябрах можуть бути пов'язані з тим, що саме на зябрах розташовані численні кальцієві канали, через які надходить Ca^{2+} з води до організму молюсків [Borgh, Puymbroeck, 1966].

Рис. 3. Розподіл питомої активності ^{137}Cs (1) та ^{90}Sr (2) по окремих частинах м'якого тіла *Unionidae* в умовах водойми-охолоджувача ЧАЕС.

Виходячи з отриманих показників запасів двостулкових молюсків у водоймі-охолоджувачі ЧАЕС, була зроблена кількісна оцінка загальної активності радіонуклідів, акумульованих ними (табл. 2).

Встановлено, що у м'яких тканинах молюсків було накопичено $(1,79-3,85)\cdot 10^{10}$ Бк ^{137}Cs та $(6,07-9,43)\cdot 10^8$ Бк ^{90}Sr , що відповідно складає 0,02–0,03% та 0,002–0,003% від сучасних загальних запасів цих радіонуклідів в екосистемі водойми-охолоджувача ЧАЕС. У черепашках молюсків було депоновано $(7,87-9,63)\cdot 10^{10}$ Бк ^{90}Sr , що складає 0,21–0,26% від загальної активності ^{90}Sr в екосистемі.

Таблиця 2.

Запаси масових груп двостулкових молюсків та активність акумульованих ними радіонуклідів у водоймі-охолоджувачі ЧАЕС, 2000 р.

Фільтрація та седиментація зависів з води поселеннями молюсків. Двостулкові молюски, що мешкають у водоймі-охолоджувачі ЧАЕС, є фільтраторами. Дослідження фільтраційної активності видів родини *Unionidae* показало відсутність достовірної відмінності в активності різних видів, тому у подальших експериментах використовували представників масових видів водойми-охолоджувача – *U. conus* та *D. bugensis*. Порівняння швидкості седиментації *U. conus* та *D. bugensis* показало, що маса осадженого осаду за добу (в середньому за вегетаційний сезон) однією особиною *U. conus* більше, ніж на порядок перевищує цей показник для *D. bugensis* (відповідно $0,033\pm 0,0009$ та $0,0026\pm 0,0007$ г/екз.•доба). Але при переході до інших одиниць виміру седиментаційної активності отримуємо, що 1 г живої маси *D. bugensis* седиментує за добу в середньому $0,0029\pm 0,0009$ г зависів, а 1 г живої маси *U. conus* – лише $0,0005\pm 0,00001$ г. Встановлено, що найбільший вплив на інтенсивність седиментації зависів молюсками має температура води. Порівняння інтенсивності седиментації зависів *D. bugensis* в районах з різним температурним режимом (серпень 2000 р.) показало, що швидкість седиментації зависів молюсками в умовах впливу теплих скидних вод в середньому в 6 разів перевищувала цей показник для району, який менше зазнає підігріву (табл. 3).

Таблиця 3.

Показники седиментаційної активності молюсків у різних районах водойми-охолоджувача ЧАЕС, 2000 р. ($M\pm m$, $n=24$)

Як зависи, так і седиментовані молюсками осади характеризувалися високими рівнями вмісту радіонуклідів. Середня питома активність ^{137}Cs у седиментованих осадах у серпні 2000 р. складала

229 ± 24 кБк/кг, а ^{90}Sr – $58,0 \pm 5,9$ кБк/кг. Значна концентрація радіоцезію пов'язана з процесами адсорбції на тонких зависях [Кузнецов и др., 1974], причому сорбований на зависях ^{137}Cs визначає до 70% від загальної концентрації цього радіонукліда у воді [Каглян и др., 1992]. Вміст радіонуклідів у седиментованих моллюсками осадах тісно корелював із вмістом радіонуклідів у водних зависях (рис. 4). Таким чином, проходження сестону крізь фільтраційний апарат моллюсків не впливає на радіонуклідний склад седиментованих осадів.

Рис. 4 Вміст ^{137}Cs в седиментованому *D. bugensis* осаді (1) та у водних зависях (2), 1999 р.

На основі експериментально отриманих середніх величин седиментаційної активності моллюсків в різних районах водойми та розподілу їх біомаси по біотопах була проведена кількісна оцінка загальної активності радіонуклідів, які осаджуються разом із зависями і накопичуються у донних відкладах за рік. Виходячи з того, що 1 г *Dreissena* за добу в середньому за вегетаційний сезон 1999–2000 рр. відфільтровує з води $0,0029 \pm 0,0009$ г зависів (суха маса), отримуємо, що перифітонним поселенням *Dreissena* площею один квадратний метр з середньою біомасою 12482 ± 1385 г/м² за добу було седиментовано близько $36,2 \pm 3,0$ г зависів. Моллюски з одного квадратного метра бентосних поселень із середньою біомасою 5716 ± 580 г/м² осаджували в середньому $16,6 \pm 1,1$ г за добу. Вся сукупність поселень моллюсків роду *Dreissena* за добу відфільтровувала з води $139,2 \pm 22,3$ т зависів, а *Unionidae* – $350,0 \pm 13,6$ кг. Отже, за вегетаційний період 2000 р. двостулкові моллюски водойми-охолоджувача ЧАЕС могли седиментувати $27,7 \pm 4,7$ тис. т зависів, які містили $(5,28-7,44) \cdot 10^{12}$ Бк ^{137}Cs та $(1,34-1,88) \cdot 10^{12}$ Бк ^{90}Sr , що складає 4,8–6,7% загальної кількості ^{137}Cs та 3,6–5,1% ^{90}Sr , яка в даний час знаходиться в екосистемі водойми-охолоджувача ЧАЕС.

Таким чином, двостулкові моллюски у водомі-охолоджувачі ЧАЕС створюють численні поселення зі значною біомасою. Їх акумуляційна та фільтраційна активність призводить до прискорення процесів очищення води та нагромадження радіонуклідів у донних відкладах.

Висновки

Комплексні дослідження стану популяцій двостулкових моллюсків у водоймі-охолоджувачі ЧАЕС (вивчення видового складу, біотопічного розподілу видів, аналіз розмірної, вікової та статеві структури поселень, морфологічної мінливості, інтенсивності фільтрації зависів та їх седиментації до донних відкладів) дозволили визначити основні закономірності накопичення ^{137}Cs та ^{90}Sr цими моллюсками та їх роль у загальних процесах міграції даних радіонуклідів в екосистемі водойми. У водоймі-охолоджувачі ЧАЕС виявлено 8 видів двостулкових моллюсків: *Dreissena bugensis* (54–100% від загальної кількості особин у поселеннях моллюсків родини *Dreissenidae*) та *D. polymorpha* (12–46%); *Unio tumidus falcatus* (12% від загальної кількості особин у поселеннях моллюсків родини *Unionidae*), *U. conus borysthenticus* (28%), *U. pictorum ponderosus* (47%), *U. limosus graniger* (7%), *U. rostratus* (2%), *Colletopterum piscinale* (4%). Співвідношення статей у поселеннях всіх видів близьке до 1 : 1.

Встановлено, що одним із головних факторів, які визначають розвиток поселень двостулкових моллюсків у водоймі-охолоджувачі ЧАЕС, є підвищена температура скидних вод енергоблоків. Умови району водойми-охолоджувача, куди надходять теплі скидні води, найбільш сприятливі для розвитку поселень *Unio pictorum ponderosus* та *U. conus borysthenticus* – спостерігається значна частка молодих особин – 12–30%, лінійний ріст характеризується значними темпами (відповідно 0,46 та 0,43 мм на рік). Поселення моллюсків *U. limosus graniger* та *U. tumidus falcatus* за цими ознаками в даному районі водойми знаходяться у пригніченому стані (відсутність молодих особин, щорічний приріст відповідно 0,28 та 0,35 мм на рік). Найбільша питома біомаса моллюсків

роду *Dreissena* була відмічена поблизу водозабору АЕС, найменша – в районі надходження скидних вод.

Визначена залежність інтенсивності накопичення ^{137}Cs м'якими тканинами двостулкових молюсків (вміст якого в них у 3,5–5,0 разів більше, ніж у черепашках) від лінійних розмірів особин. Дрібні екземпляри накопичують ^{137}Cs у більших кількостях, ніж великі; концентрація радіонукліду в різних частинах тіла зменшується в такому порядку: нога>мантія>зябра.

Доведено, що найбільше накопичували ^{137}Cs у м'яких тканинах особини *Unio tumidus falcatulus* (1779 ± 271 Бк/кг), а найменше – особини *D. bugensis* (943 ± 175 Бк/кг).

Питома активність ^{90}Sr у черепашках приблизно в 100 разів більше, ніж у м'яких тканинах; найвищою вона була в *Unio tumidus falcatulus* – 13831 ± 1356 Бк/кг, найменшою – в *Colletopterum piscinale* – 2951 ± 322 Бк/кг.

У м'яких тканинах двостулкових молюсків водойми-охолоджувача ЧАЕС було накопичено $1,79 \cdot 10^{10}$ – $3,85 \cdot 10^{10}$ Бк ^{137}Cs та $6,07 \cdot 10^8$ – $9,43 \cdot 10^8$ Бк ^{90}Sr , що відповідно складає 0,02 – 0,03% та 0,002–0,003% від сучасних загальних запасів цих радіонуклідів в даній екосистемі. У черепашках було депоновано $7,87 \cdot 10^{10}$ – $9,63 \cdot 10^{10}$ Бк ^{90}Sr , що складає 0,21–0,26% від загальної активності ^{90}Sr в екосистемі.

На основі визначених в 1998 – 2000 рр. загальної площі поселень молюсків родини *Dreissenidae* у водойми-охолоджувачі ЧАЕС (в середньому $7,26 \text{ км}^2$) та їх біомаси ($48,0 \pm 7,7$ тис. т), родини *Unionidae* (відповідно $1,6 \text{ км}^2$ та $0,7 \pm 0,3$ тис. т), а також встановленої фільтраційної активності цих молюсків і вмісту зависів у воді, розраховано, що за вегетаційний період двостулкові молюски здатні відфільтрувати в середньому 42,3 млрд. м^3 води і седиментувати $27,7 \pm 4,7$ тис. т зависів, які містять $5,28 \cdot 10^{12}$ – $7,44 \cdot 10^{12}$ Бк ^{137}Cs та $1,34 \cdot 10^{12}$ – $1,88 \cdot 10^{12}$ Бк ^{90}Sr , що складає близько 4,8 – 6,7% загальної кількості ^{137}Cs та 3,6 – 5,1% ^{90}Sr , які в даний час знаходяться в екосистемі водойми-охолоджувача ЧАЕС.

Список праць, опублікованих за темою дисертації

Лукашев Д.В. Морфологическая изменчивость *Dreissena bugensis* Andrusov в условиях зарегулированного стока Днепра // Гидробиол. журн. – 1999. – Т. 35, № 2. – С. 43-50.

Лукашев Д.В. Особенности накопичення радіонуклідів прісноводними двостулковими молюсками у водойми-охолоджувачі ЧАЕС // Вісник Київського національного ун-ту. Біологія. – 2000. – Вип. 32. – С. 58–59.

Лукашев Д.В., Зарубин О.Л. Накопление радионуклидов раковинами отмерших двустворчатых моллюсков // Збірник наукових праць Інституту ядерних досліджень. – 2001. – Т. 1, № 3. – С. 171-174.

Лукашев Д.В. Современное состояние популяций дрейссены в водоеме-охладителе Чернобыльской АЭС // Гидробиол. журн. – 2001. – Т. 37, № 3. – С. 40-45.

Лукашев Д.В. Вплив температурного режиму водойми-охолоджувача Чорнобильської АЕС на інтенсивність фільтраційної активності двостулкових молюсків // Наукові записки Тернопільського педуніверситету. Серія: біологія. – 2001. – Т. 15, №4. – С. 137-139.

Лукашев Д.В., Заліський О.О. Оцінка ролі двостулкових молюсків у кругооберті радіонуклідів у прісноводних екосистемах та можливість їх використання для реабілітації водойм від радіоактивного забруднення // Матеріали междунар. научн. конф. молодых ученых “Водные биоресурсы и пути их рационального использования” – Киев, 2000. – С. 124–125.

Лукашев Д.В., Зарубин О.Л. Оценка роли двустворчатых моллюсков в круговороте радионуклидов в пресноводных экосистемах // Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях: Тез. докл., Москва, 24–26 апреля 2000 г. – СПб., Гидрометеиздат, 2000. – С. 263.

Лукашев Д.В. Роль двустворчатых моллюсков в процессах депонирования радионуклидов в донных отложениях // Тез. доп. науч. конф. “Структура та функціональна роль тваринного населення в природних та трансформованих екосистемах”. – Дніпропетровськ, 2001. – С. 29-31.

Лукашев Д.В., Балан П.Г., Вервес Ю.Г., Войцицкий В.М. Оценка роли поселений двустворчатых моллюсков в биогенной миграции радионуклидов в пресноводных экосистемах на примере

водоема-охладителя ЧАЭС // Тез. доп. наук. конф. "Екологія кризових регіонів України". – Дніпропетровськ, 2001. – С. 130.

Lukashov D. The investigation of polymorphism of morphological traits of *Dreissena polymorpha* (Pall.) and *Dreissena bugensis* (Andr.) from the Dnieper river // Third Intern. Symp. on Environmental Contamination in Central and Eastern Europe: abstr., Warsaw, 1996. – P. 139.

Lukashov D.V. Freshwater mussels as sedimentators and accumulators of some radionuclides in the Chernobyl nuclear Power Plants' water cooler pond: comparison of ecological significance // Fifth Intern. Symp. on Environmental Contamination in Central and Eastern Europe: proc., Praga, 2000. – P. 61-67.

АНОТАЦІЯ

Лукашов Д.В. Роль двостулкових молюсків у міграції радіонуклідів в екосистемі водойми-охолоджувача Чорнобильської АЕС. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук за спеціальністю 03.00.01 – радіобіологія. – Київський національний університет імені Тараса Шевченка. – Київ. – 2002 р.

Дисертація присвячена вивченню ролі двостулкових-молюсків у міграції ^{137}Cs та ^{90}Sr в екосистемі водойми-охолоджувача ЧАЕС. Робота містить результати комплексних досліджень еколого-фізіологічних особливостей популяцій 8 видів двостулкових молюсків у водоймі-охолоджувачі: вивчення біотопічного розподілу видів, сезонної та багаторічної динаміки біомаси їх поселень, аналіз розмірної, вікової та статеві структури поселень, морфологічної мінливості, інтенсивності фільтрації зависів та їх седиментації у осади, дослідження основних закономірностей накопичення ^{137}Cs та ^{90}Sr молюсками. Встановлено, що загальна біомаса поселень молюсків родини *Dreissenidae* в середньому за вегетаційний сезон дорівнювала $48,0 \pm 7,7$ тис. т, *Unionidae* – $0,7 \pm 0,3$ тис. т. В м'яких тканинах молюсків було накопичено $1,79 \cdot 10^{10}$ – $3,85 \cdot 10^{10}$ Бк ^{137}Cs та $6,07 \cdot 10^8$ – $9,43 \cdot 10^8$ Бк ^{90}Sr , що відповідає 0,02–0,03% та 0,002–0,003% загальної активності цих радіонуклідів у даній екосистемі. У черепашках щорічно нагромаджується $7,87 \cdot 10^{10}$ – $9,63 \cdot 10^{10}$ Бк ^{90}Sr , або 0,21 – 0,26% від його загальної кількості у водоймі. Встановлено, що протягом вегетаційного сезону поселення молюсків профільтровують близько $42,3$ млрд. м^3 води та осаджують $27,7 \pm 4,7$ тис. т зависів, що містять $5,28 \cdot 10^{12}$ – $7,44 \cdot 10^{12}$ Бк ^{137}Cs та $1,34 \cdot 10^{12}$ – $1,88 \cdot 10^{12}$ Бк ^{90}Sr , що відповідно становить 4,8–6,7% та 3,6–5,1% від загальної активності цих радіонуклідів у водоймі-охолоджувачі ЧАЕС.

Ключові слова: ^{137}Cs , ^{90}Sr , двостулкові молюски, акумуляція, біофільтрація.

АННОТАЦИЯ

Лукашев Д.В. Роль двустворчатых моллюсков в миграции радионуклидов в экосистеме водоема-охладителя Чернобыльской АЭС. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата биологических наук по специальности 03.00.01 - радиобиология. – Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко. – Киев. – 2002 г.

Диссертация посвящена изучению роли двустворчатых моллюсков в миграции ^{137}Cs и ^{90}Sr в условиях водоема-охладителя ЧАЭС. В работе приведены результаты комплексных исследований эколого-физиологических параметров популяций 8 видов двустворчатых моллюсков: *Dreissena bugensis*, *D. polymorpha*, *Unio tumidus falcatus*, *U. conus borysthenticus*, *U. pictorum ponderosus*, *U. limosus graniger*, *U. rostratus*, *Colletopterum piscinale*. Проанализировано распределение видов по основным биотопам, размерная, возрастная и половая структуры их поселений. Экспериментально оценена интенсивность фильтрации взвесей и их седиментация доминирующими видами моллюсков в поселениях, обитающих в различных температурных условиях. Показано, что 1 г живой массы *D. bugensis* седиментирует за сутки в среднем $0,0029 \pm 0,0009$ г взвеси, *U. conus* – $0,0005 \pm 0,00001$ г. Изучены видоспецифичность накопления радионуклидов моллюсками, распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr по органам и тканям, установлена зависимость интенсивности накопления ^{137}Cs от линейных размеров особи, показаны возможные пути поступления ^{90}Sr в организм моллюсков.

Изучены особенности сезонной и многолетней динамики развития поселений моллюсков в различных районах водоема-охладителя. Основным фактором, влияющим на количественное развитие поселений моллюсков сем. *Dreissenidae* является повышенная температура сбросных вод. Показано, что общая биомасса поселений моллюсков сем. *Dreissenidae* в водоеме-охладителе в среднем за вегетационный сезон составляет $48,0 \pm 7,7$ тыс. т, сем. *Unionidae* – $0,7 \pm 0,3$ тыс. т. В мягких тканях двустворчатых моллюсков было накоплено $1,79 \cdot 10^{10}$ – $3,85 \cdot 10^{10}$ Бк ^{137}Cs и $6,07 \cdot 10^8$ – $9,43 \cdot 10^8$ Бк ^{90}Sr , что соответственно составляет 0,02–0,03% и 0,002–0,003% от современных запасов данных радионуклидов в водоеме-охладителе. В раковинах ежегодно депонируется $7,87 \cdot 10^{10}$ – $9,63 \cdot 10^{10}$ Бк ^{90}Sr , что составляет 0,21–0,26% от его общей активности в экосистеме.

Установлено, что за вегетационный сезон они способны профильтровать в среднем $42,3$ млрд. м^3 воды и седиментировать $27,7 \pm 4,7$ тыс. т взвеси, которая содержит $5,28 \cdot 10^{12}$ – $7,44 \cdot 10^{12}$ Бк ^{137}Cs и $1,34 \cdot 10^{12}$ – $1,88 \cdot 10^{12}$ Бк ^{90}Sr , что составляет 4,8 – 6,7% общей активности ^{137}Cs и 3,6 – 5,1% ^{90}Sr , которые в настоящее время находятся в экосистеме водоема-охладителя ЧАЭС. Ключевые слова: ^{137}Cs , ^{90}Sr , двустворчатые моллюски, аккумуляция, биофильтрация.

SUMMARY

Lukashov D.V. Role of mussels in migration of radionuclides in Chernobyl NPP cooler reservoir's ecosystem. – Manuscript.

Thesis for candidate's degree by the speciality 03.00.01 – Radiobiology. – Kyiv Taras Shevchenko National University. – Kyiv. – 2001.

The dissertation is devoted to the investigation of mussel's role in the ^{137}Cs and ^{90}Sr migration process in Chernobyl NPP cooler reservoir conditions. The study contain results of linking research of ecology-physiological population's parameters of 8 mussels species: biotope distribution of species; seasonal and multiyear dynamics of settlement's biomasse; analysis of dimensional, age and sexual structures; morphological variability, filtration rate of suspensions and subsequent sedimentation in to the bottom deposits; peculiarity and intensity of radionuclid accumulations of mussels. Full biomasse of *Dreissenidae* mussels in pond averaged $48,0 \pm 7,7$ thousand tons, *Unionidae* – $0,7 \pm 0,3$ thousand tons. This amount of mussels contained approximately $1,79 \cdot 10^{10}$ – $3,85 \cdot 10^{10}$ Bk of ^{137}Cs and $6,07 \cdot 10^8$ – $9,43 \cdot 10^8$ Bk of ^{90}Sr , that coincided 0,02–0,03% and 0,002–0,003% of full amount this radionuclides in this ecosystem. In the all shells annual was stored $7,87 \cdot 10^{10}$ – $9,63 \cdot 10^{10}$ Bk ^{90}Sr or 0,21 – 0,26% from full amount Sr^{90} in cooler pond. All mussels settlements filtrated $42,3$ milliard m^3 of water and sedimented more than $27,7 \pm 4,7$ thousand tons of suspended matter during vegetation season. This mass sediments contain around $5,28 \cdot 10^{12}$ – $7,44 \cdot 10^{12}$ Bk of ^{137}Cs and $1,34 \cdot 10^{12}$ – $1,88 \cdot 10^{12}$ Bk of ^{90}Sr , that coincided 4,8 – 6,7% and 3,6 – 5,1% from full amount these radionuclides in Chernobyl NPP cooler reservoir's ecosystem. Key words: ^{137}Cs , ^{90}Sr , freshwater mussels, accumulation, biofiltration.