

ОСОБЛИВОСТІ НАКОПИЧЕННЯ ^{90}Sr ТА ^{137}Cs ДВОСТУЛКОВИМИ МОЛЮСКАМИ ЗАМКНЕНИХ ВОДОЙМ У ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ

Х. Д. Ганжа, В. Г. Кленус, Д. І. Гудков

Інститут гідробіології НАН України, e-mail: krisgan@rambler.ru

Досліджено фізико-хімічні форми радіонуклідів у двостулкових молюсках дрейсена мінлива, перлівниця клиноподібна та жабурниця звичайна в умовах водойм Чорнобильської зони відчуження. Розглянуто особливості розподілу фізико-хімічних форм ^{137}Cs та ^{90}Sr у різних частинах тіла двостулкових молюсків.

Ключові слова: двостулкові молюски, радіонукліди, ^{90}Sr , ^{137}Cs , Чорнобильська зона відчуження, фізико-хімічні форми радіонуклідів.

Ganzha Ch. D., Klenus V. G., Gudkov D. I. Accumulation feature of ^{90}Sr and ^{137}Cs by bivalve mollusks in the closed reservoirs within the Chernobyl exclusion zone. Distributing of the physicochemical forms of radionuclides by bivalve molluscs *Dreissena polymorpha* L., *Unio tumidus* Phil. and *Anodonta cygnea* L. in the Chernobyl exclusion zone was studied. The distribution features of the physicochemical forms of ^{137}Cs and ^{90}Sr in different parts of body of the bivalve molluscs was considered.

Key words: bivalves molluscs, radionuclides, ^{90}Sr , ^{137}Cs , Chernobyl exclusion zone, physical and chemical forms of radionuclides

Вступ

Двостулкові молюски відносять до видів-індикаторів радіоактивного забруднення водойм. Вони відіграють значну роль у процесах перерозподілу та біоаккумуляції радіонуклідів у водних екосистемах, а також їм властива значна біомаса серед представників водної фауни. Двостулкові молюски відносяться до видів-фільтраторів, що сприяє ефективному очищенню води від зависей, які часто містять порівняно високі активності радіонуклідів через їх вміст на поверхні колоїдів [1]. Це свідчить про важливість дослідження особливостей накопичення біологічно доступних радіоактивних елементів ^{90}Sr і ^{137}Cs та їх фізико-хімічних форм у двостулкових молюсках та їх вплив форми перебування радіонуклідів у прісноводних екосистемах [2].

Матеріали і методи

Для дослідження відбирали проби двостулкових молюсків дрейсени мінливої *Dreissena polymorpha* L. у водоймі-охолоджувачі Чорнобильської АЕС (ЧАЕС), перлівниці клиноподібної *Unio tumidus* Phil. в оз. Далеке та жабурниці звичайної *Anodonta cygnea* L. в оз. Глибоке, що розташовані в межах Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ). Озера Глибоке та Далеке розташовані на території лівобережної заплави р. Прип'ять, відповідно, на відстані 7 км та 4 км від ЧАЕС і разом з водомою-охолоджувачем є найбільш забрудненими водними об'єктами ЧЗВ.

Фізико-хімічні форми ^{90}Sr та ^{137}Cs в молюсках визначали методом послідовної екстракції на основі методики [3], яка була нами модифікована для аналізу двостулкових молюсків. Для аналізу тіло молюсків розділяли на черепашки та м'які тканини, які аналізували окремо. Екстракцію різних типів препаратів проводили за запропонованою нами схемою. Екстракцію радіонуклідів з черепашок проводили в такій послідовності:

- 1) водорозчинна форма – екстракція розчином $\text{H}_2\text{O}_{\text{дист}}$;
- 2) обмінна форма – екстракція розчином $\text{CH}_3\text{COONH}_4$;
- 3) кислоторозчинна форма – екстракція розчином HCl (1 М);
- 4) форма зв'язана з органічною речовиною – екстракція розчином 35% $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{HNO}_3$;
- 5) нерозчинна форма – розкладення залишку концентрованою HCl .

Екстракцію із м'яких тканин проводили в такій послідовності:

- 1) обмінна форма – екстракція $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (1М);
- 2) внутріклітинні катіони – екстракція розчином HCl (1 М);
- 3) форма зв'язана з органічною речовиною – екстракція розчином 35% $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{HNO}_3$;
- 4) нерозчинна форма – розкладення залишку концентрованою HCl .

Вимірювання ^{137}Cs проводили в препаратах на гамма-спектрометрі SBS-30. Вимірювання активності ^{90}Sr проводили радіохімічно за оксалатною методикою на установці малого фону УМФ-2000 [4].

Результати та обговорення

Дослідження розподілу фізико-хімічних форм радіонуклідів у черепашках та м'яких тканинах дрейсени мінливої проводили впродовж 2008–2010 рр. Аналіз розподілу радіонуклідів в черепашках молосків, відібраних у 2008 р., показав нерівномірний розподіл фізико-хімічних форм радіонуклідів (рис. 1). Для ^{90}Sr характерне незначне накопичення у водорозчинній та обмінній формах (1 та 4%, відповідно). В кислоторозчинній формі вміст радіонукліда дещо зростає – до 10%. Максимальне накопичення ^{90}Sr спостерігали в органічній формі – 54 %. Мінеральний залишок склав 31%. Вміст ^{137}Cs у водорозчинній та обмінній формі вкрай незначний – 1 та 2%, відповідно. В кислоторозчинній формі знаходиться 34% радіонукліда. Суттєво менше ^{137}Cs в органічній формі. В мінеральному залишку реєстрували максимальну кількість радіонукліда – 48 %.

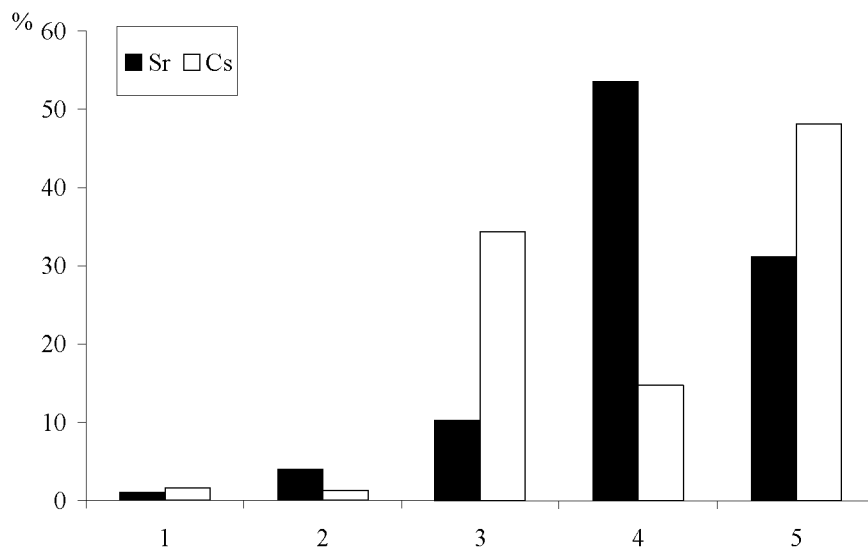


Рис. 1 Розподіл фізико-хімічних форм ^{90}Sr та ^{137}Cs у черепашках *Dreissena polymorpha* у 2008 р.: 1 – водорозчинна форма; 2 – обмінна форма; 3 – кислоторозчинна форма; 4 – органічна форма; 5 – мінеральний залишок

Аналіз форм радіонуклідів у м'яких тканинах дрейсени мінливої показав, що в обмінній формі знаходиться 20% ^{90}Sr (рис. 2). У внутріклітинній формі знаходиться максимальна кількість радіонукліда – 49 %. В органічній формі – 28%. Мінімальна кількість ^{90}Sr зафіксована в мінеральному залишку, а саме 3%. В обмінній формі знаходиться мінімальна частка ^{137}Cs – 13 %. У внутріклітинній формі частка радіонукліда становить 21 %. Приблизно однакова і основна частка ^{137}Cs припадає на органічну форму та мінеральний залишок (32; 33 %, відповідно).

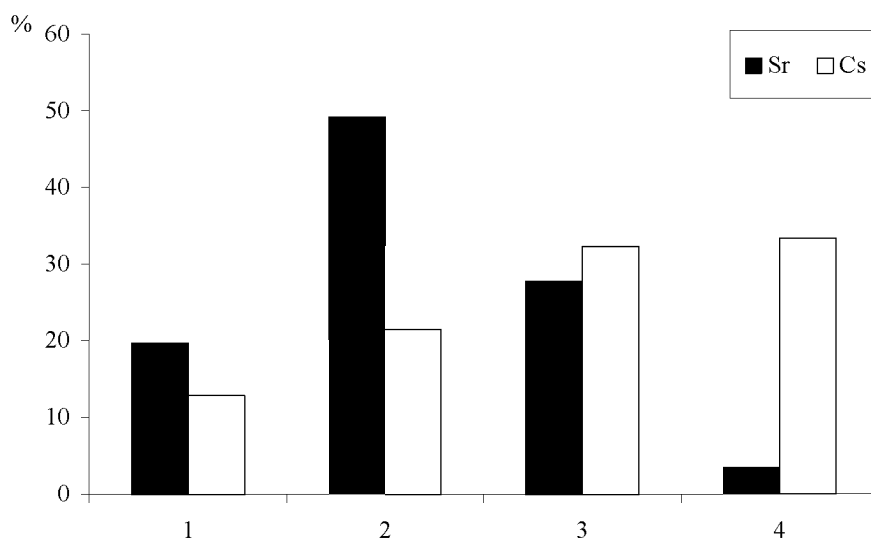


Рис. 2 Розподіл фізико-хімічних форм ^{90}Sr та ^{137}Cs у м'яких тканинах *Dreissena polymorpha* у 2008 р.: 1 – обмінна форма; 2 – внутріклітинні катіони; 3 – органічна форма; 4 – мінеральний залишок

Дослідження розподілу радіонуклідів у черепашках дрейсени мінливої у 2010 р. (рис. 3) показало незначну частку радіонуклідів у водорозчинній та обмінній формах (^{137}Cs – 9 та 2 %, ^{90}Sr – 1 та 2 %, відповідно). Переважна їх частка локалізується в органічній формі, мінеральному залишку та кислоторозчинній формі (^{90}Sr – 38, 39 та 21 %; ^{137}Cs – 43, 27 та 18 %, відповідно).

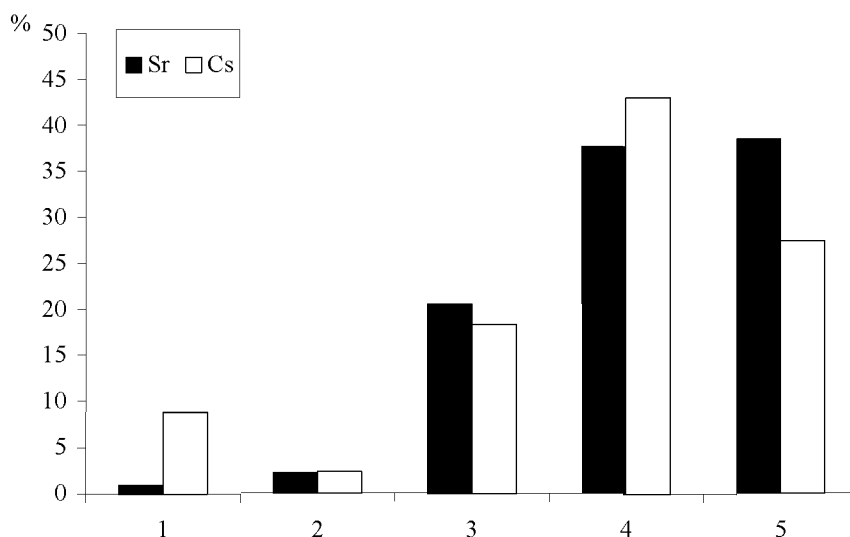


Рис. 3 Розподіл фізико-хімічних форм ^{90}Sr та ^{137}Cs у черепашках *Dreissena polymorpha* у 2010 р.: 1 – водорозчинна форма; 2 – обмінна форма; 3 – кислоторозчинна форма; 4 – органічна форма; 5 – мінеральний залишок

Результати аналізу м'яких тканин показали суттєве переважання вмісту ^{137}Cs у порівнянні з черепашками (рис. 4). Найбільша його частка виявилася в формі зв'язаній з органічною речовиною (47 %). Переважна частка ^{90}Sr містилася у внутріклітинній формі (54 %).

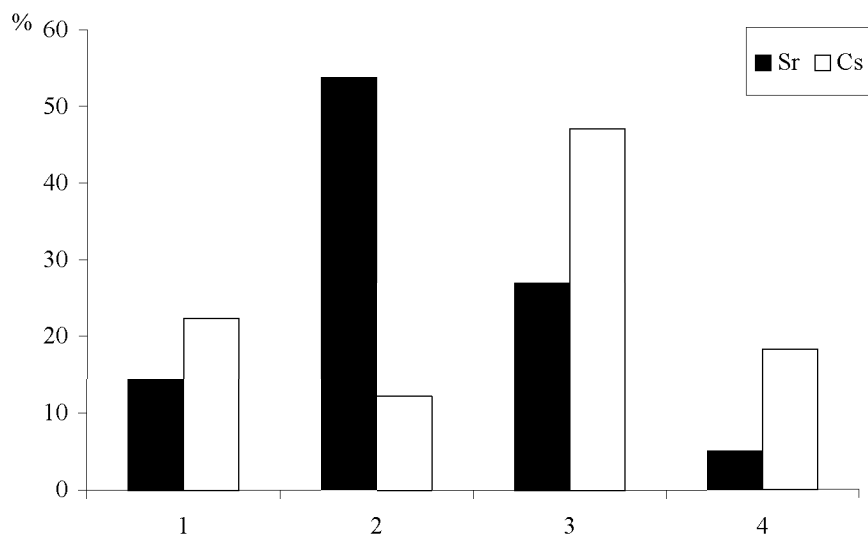


Рис. 4 Розподіл фізико-хімічних форм ^{90}Sr та ^{137}Cs у м'яких тканинах *Dreissena polymorpha* у 2010 р.: 1 – обмінна форма; 2 – внутріклітинні катіони; 3 – органічна форма; 4 – мінеральний залишок

Дослідження фізико-хімічних форм радіонуклідів у перлівниці клиноподібної показали нерівномірний розподіл форм нуклідів в обох типах препаратів. Як і очікувалося переважна частка належить ^{90}Sr , біогеохімічна міграція якого суттєво перевищує ^{137}Cs в водних екосистемах ЧЗВ (рис. 5). Особливістю розподілу форм ^{137}Cs в черепашках є те що його частка у водорозчинній, внутріклітинній та зв'язаній з органічною речовиною формах практично однакова і вкрай незначна (11, 10 та 9 %, відповідно). В черепашках цей нуклід, навпаки, знаходиться переважно в обмінній формі та мінеральному залишку (37 та 33 %, відповідно), що може бути пов'язано з сорбуванням на поверхні, за рахунок обростань водоростями. Переважна частка ^{90}Sr знаходиться в водорозчинній та карбонатній формах (43 та 53 %, відповідно). Значний внесок останньої форми пов'язаний з тим що черепашки на 98% складаються з CaCO_3 [5], який утворює певну кількість подвійних солей зі стронцієм [6]. Суттєва

кількість ^{90}Sr в водорозчинній фракції пов'язана з розчинністю мінеральної речовини, що утворює черепашку, і складає 14 мг/л [7]. Частка ^{90}Sr в обмінній формі становить 4 %.

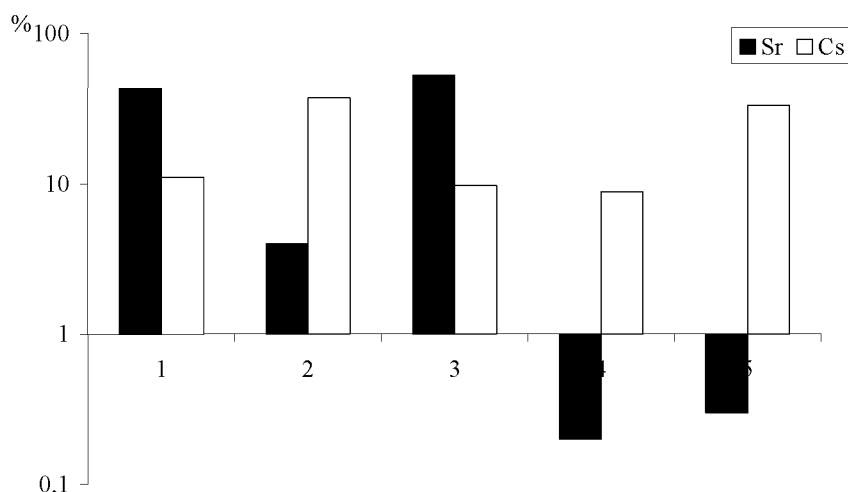


Рис. 5 Розподіл фізико-хімічних форм ^{90}Sr та ^{137}Cs у черепашках *Unio tumidus*: 1 – водорозчинна форма; 2 – обмінна форма; 3 – кислоторозчинна форма; 4 – органічна форма; 5 – мінеральний залишок

Найменша кількість радіонукліда знаходиться в формі зв'язаній з органічною речовиною та мінеральному залишку (0,2 та 0,3 %, відповідно). Частка ^{90}Sr в обмінній формі та мінеральному залишку, як і ^{137}Cs , пов'язана з обростанням зовнішньої поверхні черепашок.

Дані фракціонування м'яких тканин двостулкових молюсків показали переважання ^{90}Sr та ^{137}Cs в обмінній формі (78 і 47 %, відповідно). Такий результат свідчить про сорбування цих нуклідів на поверхні клітин. Переважання ^{90}Sr у внутріклітинній формі (41 %) можливо пов'язане з тим, що цей радіонуклід локалізується в цитоплазмі клітини. Оскільки ^{90}Sr і ^{137}Cs слабо фіксуються органічною речовиною, тому їх вміст в формі зв'язаній з органічною речовиною незначний (рис. 6).

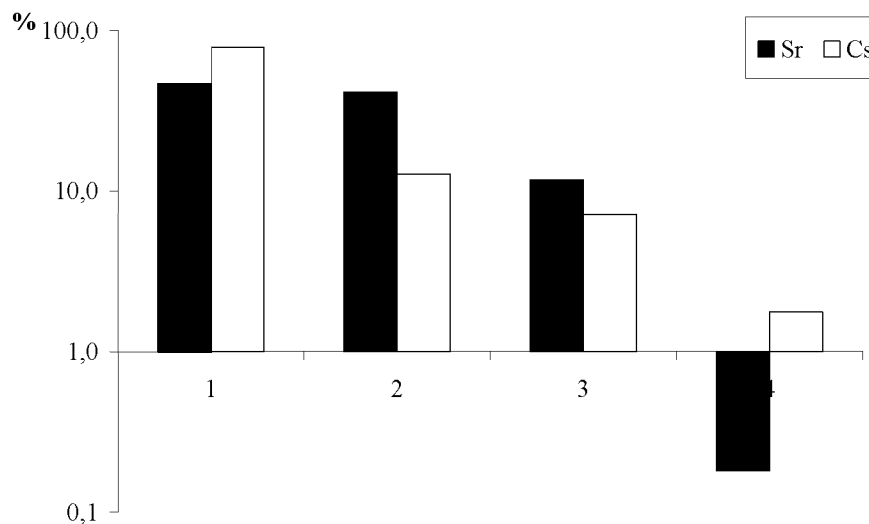


Рис. 6 Розподіл фізико-хімічних форм ^{90}Sr та ^{137}Cs у м'яких тканинах *Unio tumidus*: 1 – обмінна форма; 2 – внутріклітинні катіони; 3 – органічна форма; 4 – мінеральний залишок

Дослідження радіонуклідів у жабурниці звичайної показало, що основний внесок у питомої активності молюсків формується за рахунок ^{90}Sr (рис. 7). Найменшою часткою характеризувалися водорозчинна та обмінна форми (0,4 та 4%, відповідно). В кислоторозчинній формі зареєстроване незначне підвищення вмісту ^{90}Sr (9 %). Переважна частка радіонукліда знаходиться у формі зв'язаній з органічною речовиною та мінеральному залишку (46 та 40 %, відповідно). Особливістю розподілу форм ^{137}Cs в черепашках є те що його частка у водорозчинній формі складає 10% (рис. 7). В обмінній формі частка ^{137}Cs складає 14%, в кислоторозчинній та зв'язаній з органічною речовиною формах – 12 та 16%, відповідно. У мінеральному залишку частка радіонукліда становить 40%.

Дані фракціонування м'яких тканин моллюсків показали значне переважання ^{90}Sr у водорозчинній формі – 73% (рис. 8). Вміст радіонукліда в обмінній формі значно знижується (11%). У внутріклітинній та зв'язаній з органічною речовиною формах частка радіонукліда становить по 8%. Мінімальна частка ^{90}Sr знаходиться у мінеральному залишку (0,4%). Дослідження ^{137}Cs у м'яких тканинах показало, що основна частка радіонукліда знаходиться в водорозчинній формі (84%). Для обмінної, внутріклітинної, зв'язаної з органічною речовиною форм та мінерального залишку частка радіонукліда не переважає 6%.

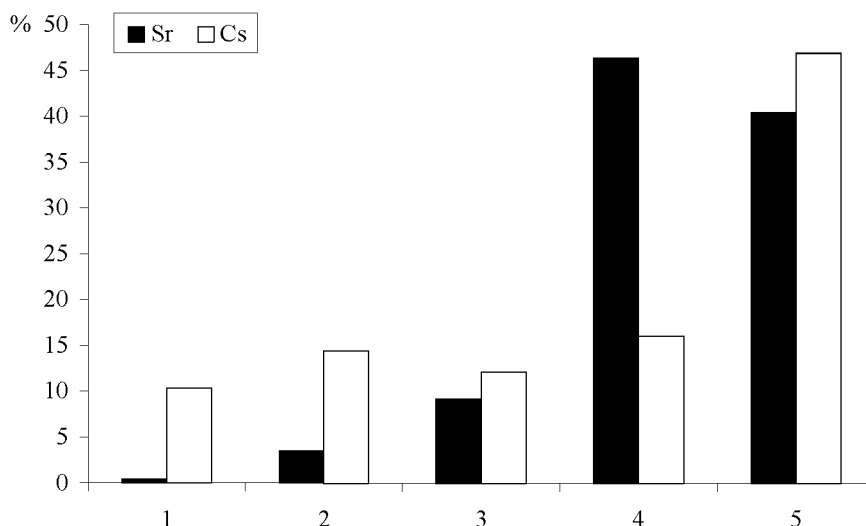


Рис. 7 Розподіл фізико-хімічних форм ^{90}Sr та ^{137}Cs у черепашках *Anodonta cygnea* L.: 1 – водорозчинна форма; 2 – обмінна форма; 3 – кислоторозчинна форма; 4 – органічна форма; 5 – мінеральний залишок

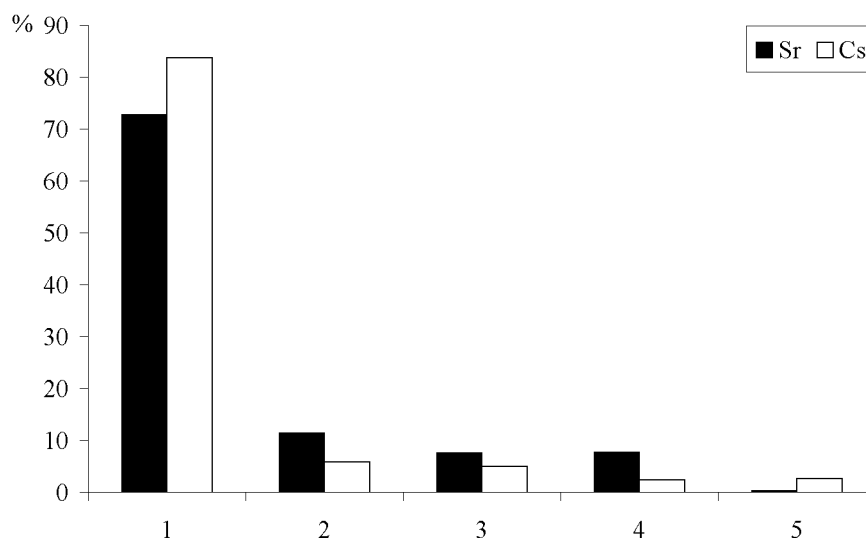


Рис. 8 Розподіл фізико-хімічних форм ^{90}Sr та ^{137}Cs у м'яких тканинах *Anodonta cygnea* L.: 1 – водорозчинна форма; 2 – обмінна форма; 3 – внутріклітинні катіони; 4 – органічна форма; 5 – мінеральний залишок

Висновки

Аналіз отриманих даних показав, що основна частка радіонуклідів у черепашках дрейсени мінливої знаходиться органічній формі та мінеральному залишку. Переважання ^{90}Sr та ^{137}Cs у даних формах пов'язане з тим, що черепашки двостулкових моллюсків складаються з двох шарів – зовнішнього органічного шару – періостракуму та основної частини, яка утворена CaCO_3 з невеликим вмістом органічних речовин. Високий вміст ^{90}Sr можна пояснити, тим, що даний елемент входить до складу неорганічної фракції черепашки, на відміну від ^{137}Cs . Також, ^{90}Sr здатен ізоморфно заміщати Ca в кристалічній ґратці карбонату. Виявлений ^{137}Cs , очевидно, може бути пов'язаний з органічною частиною черепашки двостулкових моллюсків. Оскільки досліджувані радіонукліди є ліофільними елементами, тому їх основна частка зосереджена в органічній формі та мінеральному залишку. Дослідження м'яких

тканин дрейсени мінливої показало, що переважна частка радіонуклідів знаходиться в обмінній та внутріклітинній формах.

Проведене дослідження розподілу фізико-хімічних форм у перлівниці клиноподібної показало, що розподіл радіонуклідів в різних частинах тіла молюсків відрізняється. Так, ^{90}Sr знаходиться в черепашках у водорозчинній та кислоторозчинній формах, а в м'яких тканинах його вміст переважає в обмінній та внутріклітинній формах. ^{137}Cs , в свою чергу, переважає в обмінній формі у черепашках та м'яких тканинах двостулкових молюсків даного виду.

Проведене дослідження фізико-хімічних форм радіонуклідів у черепашках жабуриці звичайної показало, що переважна частка ^{90}Sr знаходиться у формі зв'язаній з органічною речовиною. Мінімальна частка зосереджена у водорозчинній формі. У м'яких тканинах основна частка обох досліджуваних радіонуклідів знаходиться в водорозчинній формі. Вміст ^{90}Sr переважає в обмінній та внутріклітинній формах. ^{137}Cs , в свою чергу, переважає в обмінній формі в черепашках та м'яких тканинах молюсків. Причиною такого розподілу є хімічні, геохімічні властивості нуклідів та біохімічна специфіка тканин молюсків.

Література

1. *Паньков И.В.* Накопление долгоживущих радионуклидов моллюсками рода *Dreissena* в условиях днепровских водохранилищ / Паньков И.В. // Гидробиол. журн. – 1994. – Т. 30, №2. – С. 93 – 98.
2. Радиоактивное и химическое загрязнение Днепра и его водохранилищ после аварии на Чернобыльской АЭС / [Романенко В. Д., Кузьменко М. И., Евтушенко Н. Ю. и др.] – К.: Наукова думка, 1992. – 194 с.
3. *Bolsunovsky A.* Accumulation and release of ^{241}Am by macrophytes of the Yenisei River (*Elodea canadensis*) / Bolsunovsky A., Zotina T., Bondareva L. // Journal of Environmental Radioactivity. (2005). 81. P. 33 – 46.
4. Активність бета-випромінних радіонуклідів в лічильних зразках. Методика виконання вимірювань з використанням сцинтиляційних спектрометрів і програмного забезпечення АК-1 / В. В. Бабенко, О. С. Казимиров, О. Ф. Рудик. Затверджено: ген. директор ДНВП “Метрологія” Г. С. Сидоренко, Головний державний сан. лікар України Л. С. Некрасова, ген. директор НВП “Атом Комплекс Прилад” О. С. Казимиров. — НВП “Атом Комплекс Прилад”, 1998. — 27 с.
5. *Жадин В. И.* Пресноводные моллюски СССР / Жадин В. И. – Ленинград: Всесоюзный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства, ОГИЗ Ленснбтехиздат. 1933. 232 с.
6. *Юбельт Р.* Определитель минералов / Р. Юбельт. – Москва: Издательство «МИР». 1978. 328 с.
7. Химическая энциклопедия: В 5 т.: т. 2: Даффа – Меди / Редкол.: Кнунянц И.Л. (гл. ред.) и др. Москва: Сов. энцикл. (1990). 671 с.

Стаття поступила до редакції 01.09.2012 р.; Стаття прийнята до друку 20.11.2012 р.

Ганжа Х. Д. - аспірантка Інституту гідробіології НАН України.

Клеус В. Г. - науковий співробітник Інституту гідробіології НАН України.

Гудков Д. І. - науковий співробітник Інституту гідробіології НАН України.

Рецензент: кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та екології Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника **Сіренко А. Г.**