АГРОНОМІЯ

УДК 504.5:581.526.3:620.267(477.41/.42)

Закономірності накопичення ^{137}Cs у надземних та підземних органах повітряно-водяних рослин водойм Полісся та Лісостепу України

Волкова О.М.[1], Беляєв В.В.[1], Скиба В.В.[2], Пришляк С.П.[1], Гейко М.М.[2]

[1] Інститут гідробіології НАН України
[2] Білоцерківський національний аграрний університет

Волкова О.М., Беляєв В.В., Скиба В.В., Пришляк С.П., Гейко М.М. Закономірності накопичення ^{137}Cs у надземних та підземних органах повітряно-водяних рослин водойм Полісся та Лісостепу України. Збірник наукових праць «Агробіологія», 2021. № 1. С. 15–22.

Volkova O.M., Belyaev V.V., Skyba V.V., Prishlyak S.P., Gejko M.M. Zakonomirnosti nakopychennja ^{137}Cs u nadzemnyh ta pidzemnyh organah povitrjano-vodjanyh roslyn vodojm Polissja ta Lisostepu Ukrai'ny. Zbirnyk naukovyh prac' «Agrobiologija», 2021. no. 1, pp. 15–22.

Рукопис отримано: 09.02.2021 р.
Прийнято: 24.02.2021 р.
Затверджено до друку: 25.05.2021 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2021-163-1-15-22

Метою дослідження було встановлення закономірностей накопичення ^{137}Cs у надземних та підземних органах повітряно-водяних рослин у різнотипних водоймах Полісся та Лісостепу України, які розташовані на територіях різного ступеня радіонуклідного забруднення.

Дослідження виконували у 2014–2018 рр. Вищі водяні рослини відбирали в евтрофних, оліготрофних та дистрофних водоймах – великих і малих водосховищах, озерах і ставках різного призначення. Водойми розташовані на територіях, які за щільністю забруднення ^{137}Cs вважаються умовно чистими, або належать до зон посиленого радіоекологічного контролю, гарантованого добровільного відселення, безумовного (гарантованого) відселення та зони відчуження. Об'єктами досліджень були 8 видів повітряно-водяних рослин, які широко розповсюджені у прісних водоймах Полісся та Лісостепу України. Питомий вміст ^{137}Cs у надземних органах, кореневищах і коренях рослин визначали загальноприйнятими гамма-спектрометричними методами.

Аналіз отриманих даних довів загальну, характерну для рослин з усіх досліджених водойм закономірність – рівні вмісту ^{137}Cs у надземних органах і кореневищах рослин здебільшого достовірно не різнилися, а у ґрунтових коренях були значно вищими. Питома активність ^{137}Cs у ґрунтових коренях *Phragmites australis* перевищувала його активність у надземних органах у 6–25, *Typha angustifolia* – у 5–20, *Glyceria maxima* – у 7–10, *Scirpus lacustris* – у 4–9, *Alisma plantago-aguatica* – у 3, *Sagittaria saggitifolia* – у 2, *Butomus umbellatus* – у 3, *Iris pseudacorus* – у 4 рази. Рівні вмісту ^{137}Cs в надземних органах та кореневищах у більшості досліджених рослин достовірно не різнилися.

Результати дослідження надалі дадуть змогу оцінити внесок повітряно-водяних рослин у формування радіонуклідного забруднення донних відкладень та вдосконалити уявлення про значення вищих водяних рослин у процесах міграції та перерозподілу радіоактивних елементів у водних екосистемах. Виявлені закономірності формування рівнів вмісту ^{137}Cs у підземних органах рослин необхідно враховувати під час визначення дози опромінення рослин у забруднених радіонуклідами водоймах.

Ключові слова: повітряно-водяні рослини, надземні органи, підземні органи, корені, кореневища, ^{137}Cs, водосховища, озера, ставки.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Упродовж останнього століття техногенна діяльність та впровадження наукових досягнень без належного оцінювання їх впливу на довкілля призвели до низки серйозних наслідків – глобального потепління, забруднення екосистем відходами техногенного виробництва, важкими металами, пестицидами, штучними радіоактивними елементами. Внаслідок експлуатації підприємств атомної енергетики та аварій на підприємствах ядерного паливного циклу до навколишнього середовища надходять техногенні радіонукліди, які стають постійно діючим чинником впливу на біосистеми різного рівня організації. Численними дослідженнями, які було розпочато після виникнення проблем, пов'язаних із надходженням штучних радіонуклідів до навколишнього середовища, доведено важливе значення прісноводних екосистем у процесах розповсю-

дження радіоактивних речовин. Було доведено, що континентальні водойми є основними резервуарами накопичення радіонуклідів, а водотоки – транспортними магістралями, якими радіоактивні речовини мігрують на значні відстані [1, 2, 3]. Отже, предметом багатьох радіоекологічних досліджень стали гідробіонти, зокрема вищі водяні рослини, які розглядали як невід'ємну складову водних екосистем, що бере участь у процесах міграції та перерозподілу радіоактивних речовин [4].

Нині одними з пріоритетних напрямів радіоекологічних досліджень водних екосистем є вивчення закономірностей міграції радіоактивних речовин у компонентах водойм та прогнозне оцінювання забруднення водних екосистем методами математичного моделювання [5, 6]. У водній радіоекології більшість моделей присвячено визначенню динаміки вмісту радіонуклідів у воді та іхтіофауні, тимчасом дослідження міграції радіонуклідів за участю вищих водяних рослин вкрай обмежені. Значною мірою це пов'язано з тим, що основний масив даних щодо накопичення радіоактивних речовин вищими водяними рослинами стосується формування радіонуклідного забруднення їх надземних органів [7, 8, 9, 10, 11]. Значення у процесах перерозподілу радіоактивних речовин за компонентами водних екосистем вищих водяних рослин, зокрема повітряно-водяних, які домінують за біомасою у прісних водоймах з уповільненою течією та мають розвинену кореневу систему, дотепер не визначено, оскільки закономірності накопичення радіонуклідів у підземних органах рослин досліджено не повним обсягом. У фаховій літературі є відомості про те, що питома активність ^{90}Sr та ^{137}Cs у підземних органах деяких видів рослин вища, ніж у надземних. Таке явище відзначено для очерету звичайного та рогозу вузьколистого з Київського та Канівського водосховищ [1, 12] та очерету звичайного з водойми-охолоджувача ЧАЕС [11, 13]. Недоліком цих робіт можна вважати те, що у процесі досліджень корені не відокремлювали від кореневищ. У деяких публікаціях наведені дані про значне, порівнюючи з надземними органами, накопичення радіонуклідів у коренях деяких видів водяних рослин, однак не визначали рівні радіонуклідного забруднення кореневищ [12, 14]. Наведено результати визначення питомої активності ^{90}Sr та ^{137}Cs у надземних органах, кореневищах та коренях очерету звичайного з водойм зони відчуження Чорнобильської АЕС та відзначено, що найвища питома активність обох радіонуклідів зареєстрована у ґрунтових коренях [11].

Дослідження особливостей радіонуклідного забруднення підземних органів рослин необхідні й для визначення дози їх внутрішнього опромінення, оскільки упродовж останнього десятиріччя спостерігають низку цитогенетичних порушень у тканинах ґрунтових коренів повітряно-водяних рослин [15, 16, 17, 18]. Крім того, наразі ефективними та низькозатратними вважаються способи очищення стічних вод, що базуються на використанні водної рослинності, яка здатна ефективно акумулювати різні забруднювальні речовини, зокрема радіонукліди. До таких технологій належать різофільтрація (аквафітодезактивація) та фітоекстракція [19, 20, 21, 22]. Подальші дослідження закономірностей накопичення радіоактивних елементів в окремих органах та тканинах рослин сприятимуть удосконаленню наявних технологій.

Метою дослідження було встановлення закономірностей накопичення ^{137}Cs у надземних та підземних органах повітряно-водяних рослин у водоймах різного типу Полісся та Лісостепу України, які розташовані на територіях різного ступеня радіонуклідного забруднення.

Матеріал і методи дослідження. Дослідження виконували у 2014–2018 рр. Вищі водяні рослини відбирали у водоймах різного типу, розташованих у лісостеповій та поліській зонах України – Київському (район с. Страхолісся) та Канівському (м. Ржищів) водосховищах, Повчанському водосховищі на р. Жерів (Лугинський район Житомирської області), озерах Глибоке (зона відчуження ЧАЕС), Біле (Володимирецький район Рівненської області), Лісове (Іванківський район Київської області), рибоводних ставках (м. Біла Церква та с. Кардани Таращанського району Київської області), ставках комплексного призначення (с. Шкнева, Іванківський район Київської області). Водойми різняться за трофічним статусом та щільністю забруднення прибережних територій (табл. 1) і розташовані на територіях, які за щільністю забруднення ^{137}Cs вважаються умовно чистими або належать до зон посиленого радіоекологічного контролю, гарантованого добровільного відселення, безумовного (гарантованого) відселення та зони відчуження.

Об'єктами досліджень були повітряно-водяні рослини: рогіз вузьколистий – *Typha angustifolia* L., очерет звичайний – *Phragmites australis* (Cav.), лепешняк великий – *Glyceria maxima* (C. Gartm.), куга озерна – *Scirpus lacustris* L., стрілолист стрілолистий – *Sagittaria saggitifolia* L., півники болотні – *Iris pseudacorus* L., частуха подорожникова – *Alisma plantago-aguatica* L. та сусак зонтичний – *Butomus umbellatus* L. Проби відбирали у період форму-

Таблиця 1 – **Характеристика досліджуваних водойм та щільність забруднення ^{137}Cs прибережних територій за 1996–2021** [5]

Зона	Типи*	Водойма	Трофічний статус	Щільність, кБк/м^2
Полісся	1	Київське водосховище	Евтрофна	185
	2	Повчанське водосховище	Евтрофна	1480
	3	Глибоке	Евтрофна	40000
	3	Лісове	Дистрофна	1480
	3	Біле	Оліготрофна	185
	4	Ставки, с. Шкнева	Евтрофна	20–40
Лісостеп	1	Канівське водосховище	Евтрофна	20–40
	5	Ставки, м. Біла Церква	Евтрофна	185
	5	Ставки, с. Кирдани	Евтрофна	180

Примітка: 1 – велике водосховище; 2 – мале водосховище; 3 – озеро 4 – стави комплексного призначення; 5 – рибоводні стави.

вання найбільшої за вегетаційний сезон маси надземних органів – липні – серпні. Рослини, які не утворюють щільних заростей, викопували з подальшим відокремлюванням надземних органів, ґрунтових коренів та кореневищ. У монодомінантних заростях на одну пробу надземної частини відбирали 5–8 окремих пагонів, підземної – 5–8 кернів донних відкладів потужністю 30 см і відокремлювали корені та кореневища від ґрунту за допомогою гідрологічних сит. Обмежувалися відбором 30-сантиметрового шару тому, що згідно з [23], саме в цьому шарі зосереджено 90 % підземної частини повітряно-водяних рослин. Проби висушували на повітрі до постійної маси.

Питому активність ^{137}Cs у рослинах (Бк/кг повітряно-сухої маси) визначали у відділі водної радіоекології Інституту гідробіології НАН України на гамма-спектрометрі з детекторами ДГДК-100В та амплітудним аналізатором SBS-30, і на кафедрі безпеки життєдіяльності Білоцерківського національного аграрного університету – на УСК «Гамма Плюс».

Результати дослідження та їх обговорення. Досліджені види повітряно-водяних рослин є трав'янистими багаторічниками, у яких надземні органи відмирають наприкінці вегетаційного сезону, тому частина накопичених у надземній фітомасі радіонуклідів повертається до водних мас, а решта надходить у детрит. Саме тому оцінювали вміст ^{137}Cs в усіх надземних органах загалом, включаючи стебла, листя, генеративні органи та стеблові корені. Ґрунтові корені рослин також оновлюються кожен рік, однак життєдіяльність кореневищ триває довше. Так, у очерету звичайного кореневища оновлюються упродовж трьох років, у рогоза вузьколистого та лепешняка великого – приблизно за два роки, тобто на початку наступного вегетаційного сезону зосереджений у зимуючих кореневищах ^{137}Cs може надійти до надземних органів [4]. Отже, доцільно було визначити питому активність радіонукліда у кореневищах та ґрунтових коренях рослин, що дасть змогу у подальших дослідженнях оцінити їх значення у процесах захоронення ^{137}Cs у донних відкладах.

Типовими представниками екологічної групи повітряно-водяних рослин, які широко розповсюджені у прісноводних водоймах України та утворюють монодомінантні зарості на мілководдях досліджених водойм, є очерет звичайний та рогіз вузьколистий. Середня питома активність ^{137}Cs у надземних органах очерету звичайного зареєстрована у діапазоні величин від 4 до 7394, у кореневищах – від 4 до 5752, у ґрунтових коренях – від 32 до 44958 Бк/кг (табл. 2).

Закономірно, що найвища активність радіонукліда відзначена у рослинах з оз. Глибоке, яке розташоване у зоні відчуження ЧАЕС і характеризується найвищою серед досліджених водойм щільністю забруднення площі водозбору (табл. 1). Приблизно у 3 рази меншим виявився рівень забруднення рослин з оз. Лісове – зона обов'язкового відселення. Варто відзначити, що у місцях відбору рослин у Повчанському водосховищі щільність забруднення прибережних територій була приблизно такою самою, як в оз. Лісове, а питома активність ^{137}Cs в очереті звичайному – на два порядки меншою. Вміст радіонукліда у рослинах, відібраних в оз. Біле, також був вищим, ніж у проточних водоймах з відповідною щільністю забруднення прибережних територій. Останнє можна пояснити тим, що рівні радіонуклідного забруднення водяних рослин залежать не лише від щільності радіоактивних випадінь на площу водозбору та поверхню водойм, а й від швидкості їх водообміну, і у фахових джерелах є відомості про аномально високе накопичення радіонуклідів гідробіонтами замкнених озер [1, 6].

Таблиця 2 – **Питома активність ^{137}Cs у надземних та підземних органах очерету звичайного (Бк/кг) та відношення активність коренів/активність надземних органів (К)**

Водойми	Органи			К
	Надземні	Кореневища	Корені	
Київське водосховище	34±5	38±6	385±5	11,3
Канівське водосховище	30±6	29±5	368±70	12,3
Повчанське водосховище	44±9	35±7	452±91	10,3
Оз. Глибоке	7394±3800	5752±862	44958±6700	6,1
Оз. Біле	139±21	107±16	3410±511	24,5
Оз. Лісове	2578±387	2875±431	28566±4285	11,1
Стави, м. Біла Церква	35±7	50±10	280±43	8,0
Стави, с. Шкнева	6±2	12±4	70±13	11,6
Стави, с. Кирдани	4±1	4±2	32±6	8,0

Аналіз отриманих даних довів загальну, характерну для повітряно-водяних рослин з усіх досліджених водойм закономірність – питома активність ^{137}Cs у ґрунтових коренях очерету звичайного була значно вищою, ніж у надземних органах. У рослинах більшості досліджених водойм відношення активність ґрунтових коренів/активність надземних органів зареєстровано у діапазоні величин 6,1–12,3, а в середньому становило 10. Виключенням було відношення активність коренів/активність надземних органів для рослин з оліготрофного оз. Біле, яке становило 24,5.

У більшості досліджених водойм питома активність ^{137}Cs у кореневищах очерету звичайного, які є видозміненими стеблами, достовірно не різнилася від рівнів його накопичення у надземних органах, і лише у рослин із ставків комплексного призначення, які розташовані на території с. Шкнева, вміст ^{137}Cs у кореневищах був у 2 рази вищим, ніж у надземних органах.

Середня питома активність ^{137}Cs у надземних та підземних органах рогозу вузьколистого була дещо меншою, ніж очерету звичайного, і становила у надземних органах 3–1580, кореневищах – 3–1400, у коренях – 24–8500 Бк/кг (табл. 3).

Однак, як і у разі очерету звичайного, питома активність радіонукліда у ґрунтових коренях значно перевищувала рівні радіонуклідного забруднення надземних органів і кореневищ. У рогозу вузьколистого з більшості досліджених водойм відношення активність коренів/активність надземних органів становило 8–20, і лише у рослин з оз. Лісове – 5,4.

Існує тенденція до збільшення величини відношення активність коренів/активність надземних органів рогозу вузьколистого із прискоренням водообміну водойм, тобто зазначене відношення найменшим було у замкнених озерах. Питома активність ^{137}Cs у кореневищах рогозу вузьколистого достовірно не різнилася від його вмісту у надземних органах.

Особливості накопичення ^{137}Cs у надземних та підземних органах були проаналізовані ще для 6-ти видів повітряно-водяних рослин, які зустрічалися у межах досліджених фітоценозів лише в окремих водоймах (табл. 4).

Питома активність ^{137}Cs у ґрунтових коренях лепешняка великого перевищувала його вміст у надземних органах у 6,6–9,8 раза, куги озерної – у 3,7–9,2, частухи подорожникової – у 2,7–3, стрілолиста стрілолистого – у 1,9–2,1, сусака зонтичного та півників болотних – у 2,7 та 3,6 раза, відповідно. Активність ^{137}Cs у надземних органах та кореневищах зазначених видів рослин достовірно не різнилася, і лише у кореневищах лепешняка великого з Повчанського водосховища перевищувала активність коренів приблизно у 2 рази, а у кореневищах півників болотних із ставків у м. Біла Церква була у 2 рази меншою за активність коренів.

Таблиця 3 – **Питома активність ^{137}Cs у надземних та підземних органах рогозу вузьколистого (Бк/кг) та відношення активність коренів/активність надземних органів (К)**

Водойми	Органи			К
	Надземні	Кореневища	Корені	
Київське водосховище	4±1	7±2	80±24	20,0
Канівське водосховище	5±2	9±3	94±28	18,0
Повчанське водосховище	16±3	24±7	222±24	13,9
Оз. Біле	66±10	82±12	627±94	9,5
Оз. Лісове	1580±240	1400±210	8500±1300	5,4
Стави, м. Біла Церква	23±6	28±10	272±40	11,0
Стави, с. Шкнева	214±	17±5	215±42	10,0
Стави, с. Кирдани	3±1	3±1	24±6	8,0

Таблиця 4 – **Питома активність ^{137}Cs у надземних та підземних органах деяких видів повітряно-водяних рослин (Бк/кг) та відношення активність коренів/активність надземних органів (К)**

Водойми, види рослин	Органи			К
	Надземні	Кореневища	Корені	
Київське водосховище, лепешняк великий	30±6	29±6	295±65	9,8
Київське водосховище, стрілолист стрілолистий	119±25	115±24	250±59	2,1
Київське водосховище, частуха подорожникова	110±24	105±21	297±59	2,7
Канівське водосховище, куга озерна	10±2	9±3	92±22	9,2
Канівське водосховище, стрілолист стрілолистий	129±27	86±24	242±30	1,9
Канівське водосховище, сусак зонтичний	38±8	45±9	102±24	2,7
Повчанське водосховище, лепешняк великий	59±13	100±21	387±79	6,6
Оз. Біле, куга озерна	522±101	395±83	1920±450	3,7
Оз. Лісове, частуха подорожникова	3765±950	3100±600	11160±2800	3,0
Стави, м. Біла Церква, півники болотні	22±3	12±2	80±12	3,6

Висновки. За результатами досліджень рівнів вмісту ^{137}Cs у надземних та підземних органах повітряно-водяних рослин у різнотипних водоймах, які за щільністю забруднення ^{137}Cs вважаються умовно чистими, або належать до зон посиленого радіоекологічного контролю, гарантованого добровільного відселення, безумовного (гарантованого) відселення та зони відчуження, виявлено загальну, характерну для рослин з усіх водойм закономірність – питома активність ^{137}Cs у ґрунтових коренях була значно вищою, ніж у надземних органах.

Питома активність ^{137}Cs у ґрунтових коренях очерету звичайного, рогозу вузьколистого та лепешняка великого перевищувала активність надземних органів у 5–20 разів, куги озерної – у 4–9, стрілолиста стрілолистого, частухи подорожникової, сусака зонтичного та півників болотних – у 2, 3, 3 та 4 рази, відповідно. Рівні вмісту ^{137}Cs в надземних органах та кореневищах у більшості досліджених рослин достовірно не різнилися.

Результати дослідження надалі дадуть змогу оцінити внесок повітряно-водяних рослин у радіонуклідне забруднення донних відкладів та вдосконалити уявлення щодо значення вищих водяних рослин у процесах міграції та перерозподілу радіоактивних елементів у водних екосистемах. Виявлені закономірності формування рівнів вмісту ^{137}Cs у підземних органах рослин необхідно враховувати під час визначення дози опромінення рослин у забруднених радіонуклідами водоймах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Волкова О.М. Техногенні радіонукліди у гідробіонтах водойм різного типу: дис. … д-ра біол. наук: 03.00.17. Київ, 2008. 348 с.

2. Марей А.Н. Санитарная охрана водоемов от загрязнений радиоактивными веществами. М.: Атомиздат, 1976. 224 с.

3. Радіонукліди у водних екосистемах України / М.І. Кузьменко та ін. К.: Чорнобильінтерінформ, 2001. 318 с.

4. Лукина Л.Ф., Смирнова Н.Н. Физиология высших водных растений. К.: Наук. думка, 1988. 188 с.

5. 25 років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього: національна доповідь України. К.: КІМ, 2011. 356 с.

6. Radiation-induced cytogenetic and hematologic effects on aquatic biota within the Chernobyl exclusion zone / D.I. Gudkov et al. Journal Environ. Radioactivity. 2016. 151(2). 438 p.

7. Техногенні радіонукліди у прісноводних екосистемах / М.І. Кузьменко та ін. К.: Наукова думка, 2010. 262 с.

8. Радиоэкологический мониторинг пресноводных экосистем / А.В. Трапезников и др.; отв. ред. И.М. Донник. Ин-т экологии растений и животных. Екатеринбург: АкадемНаука, 2019. Т. 4. 447 с.

9. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Коржавин А.В. Динамика радиоэкологического состояния пресноводных экосистем, подверженных многолетнему воздействию атомной электростанции в границах наблюдаемой зоны. Радиационная биология. Радиоэкология. 2015. Т. 55. № 3. С. 302–313. DOI: https://doi.org/10.7868/S0869803115020150.

10. Современное гидробиологическое и радиоэкологическое состояние водоема-охладителя Чернобыльской АЭС: доповіді Національної академії наук України

/ Д.И. Гудков и др. 2015, № 1. С. 173–179. DOI: https://doi.org/10.15407/dopovidi2015.01.173

11. Physicochemical forms of (90)Sr and (137)Cs in components of Glyboke Lake ecosystem in the Chornobyl exclusion zone / Ch. Ganzha et al. Journal of Environmental Radioactivity. 04 May 2013, 127. P. 176–181. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.03.013

12. Радиоактивное и химическое загрязнение Днепра и его водохранилищ после аварии на Чернобыльской АЭС / В.Д. Романеко и др. К.: Наукова думка, 1992. 194 с.

13. Accumulation and distribution of radionuclides in higher aquatic plants during the vegetation period / Ganzha Ch.D. et al. Journal of Environmental Radioactivity. 10 Aug 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106361

14. Павлютин А.П., Бабуцкий В.А. Высшая водная растительность в озере, загрязненном радионуклидами: состав, распределение, запасы и накопление цезия-137. Гидробиол. журн. 1996. Т. 32. № 4. С. 79–86.

15. Shevtsova N.L.,. Gudkov D.I. Cytogenetic damages in the common reed Phragmites australis in the water bodies of the Chornobyl exclusion zone. Hydrobiological Journal. 49 (2). 2013. 85 p. DOI: https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v49.i2.80

16. Shevtsova N.L., Yavniuk A.A., Gudkov D.I. Effect of rest period on germination of the common reed seeds from the water bodies of the Chornobyl exclusion zone. Hydrobiological Journal. 50 (5). 2014. 78 p.

17. Aquatic Plants and Animals in the Chernobyl Exclusion Zone: Effects of Long-Term Radiation Exposure on Different Levels of Biological Organization / D. Gudkov et al. In: Genetics, Evolution and Radiation. 2017. 287 p.

18. Гудков І.М. Радіобіологія. Херсон ОЛДИ-ПЛЮС, 2016. 504 с.

19. Гринжевський М.В. Аквакультура України (організаційно-економічні аспекти). Львів: Вільна Україна, 1998. 365 с.

20. Використання гідрофітних систем для відновлення якості забруднення забруднених вод / Міхєєв О.М. та ін. К.: Центр учбової літератури, 2018. 171 с.

21. Остроумов С.А. О самоочищении водных экосистем. Антропогенное влияние на водные экосистемы: материалы конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Н.С. Строганова: сборник статей / под редакцией О.Ф. Филенко. М.: Т-во научных изданий КМК, 2005. С. 94–119.

22. Томілін Ю.А. Радіонукліди в компонентах водних екосистем південного регіону України: міграція, розподіл, накопичення і контрзаходи: автореф. дис. … д-ра біол. наук: 03.00.01. Миколаїв: Видавництво МДГУ ім. Петра Могили, 2007. 40 с.

23. Растительность и бактериальное население Днепра и его водохранилищ / Сиренко Л.А. и др. К.: Наук. Думка. 1989. 232 с.

REFERENCES

1. Volkova, O.M. (2008). Tehnogenni radionuklidy u gidrobiontah vodojm riznogo typu: dys. … d-ra biol. nauk: 03.00.17 [Man-caused radionuclides in aquatic organisms of reservoirs of different types: dis. Dr. Biol. Science: 03.00.17]. Kyiv, Institute of Hydrobiology of the National Academy of Sciences of Ukraine, 348 p.

2. Marej, A.N. (1976). Sanitarnaja ohrana vodoemov ot zagrjaznenij radioaktivnymi veshhestvami [Sanitary protection of water bodies from radioactive contamination]. Moscow, Atomizdat, 224 p.

3. Kuz'menko, M.I., Romanenko, V.D., Derevec', V.V., Volkova, O.M. (2001). Radionuklidy u vodnyh ekosystemah Ukrai'ny [Radionuclides in aquatic ecosystems of Ukraine]. Kyiv, Chornobylinterinform, 318 p.

4. Lukina, L.F., Smirnova, N.N. (1988). Fiziologija vysshih vodnyh rastenij [Physiology of higher aquatic plants]. Kyiv, Scientific thought, 188 p.

5. 25 rokiv Chornobyl's'koi' katastrofy [25 years of the Chernobyl disaster]. Bezpeka majbutn'ogo: nacional'na dopovid' Ukrai'ny [Security of the future: a national report of Ukraine]. Kyiv, KIM, 2011, 356 p.

6. Gudkova, D.I., Shevtsova, N.L., Pomortseva, N.A., Dzyubenko, E.V., Kaglyana, A.E., Nazarov, A.B. (2016). Radiation-induced cytogenetic and hematologic effects on aquatic biota within the Chernobyl exclusion zone. Journal Environ. Radioactivity. 151(2), 438 p.

7. Kuz'menko, M.I., Gudkov, D.I., Kirjejev, S.I., Beljajev, V.V., Volkova, O.M., Klenus, V.G., Kagljan, O.Je., Shevcova, N.L., Shyroka, Z.O., Nasvit, O.I., Nazarov, O.B., Dzjubenko, O.V., Zarubin, O.L., Jurchuk, L.P., Karapysh, V.A., Mardarevych, M.G. (2010). Tehnogenni radionuklidy u prisnovodnyh ekosystemah [Man-made radionuclides in freshwater ecosystems]. Kyiv, Scientific thought, 262 p.

8. Trapeznykov, A.V., Trapeznykova, V.N., Korzhavyn, A.V., Nykolkyn, V.N. (2019). Radiojekologicheskij monitoring presnovodnyh jekosistem [Radioecological monitoring of freshwater ecosystems]. In-t jekologii rastenij i zhivotnyh [Institute of Plant and Animal Ecology]. Ekaterinburg, AkademNauka, Vol. 4, 447 p.

9. Trapeznikov, A.V., Trapeznikova, V.N., Korzhavin, A.V. (2015). Dinamika radiojekologicheskogo sostojanija presnovodnyh jekosistem, podverzhennyh mnogoletnemu vozdejstviju atomnoj jelektrostancii v granicah nabljudaemoj zony [Dynamics of the radioecological state of freshwater ecosystems subject to long-term effects of a nuclear power plant within the observed zone]. Radiacionnaja biologija. Radiojekologija [Radiation biology. Radioecology]. Vol. 55, no. 3, pp. 302–313. Available at: https://doi.org/10.7868/S0869803115020150.

10. Gudkov, D.I., Protasov, A.A., Shherbak, V.I., D'jachenko, T.N., Kagljan, A.E., Silaeva, A.A., Pashkova, O.V. (2015). Sovremennoe gidrobiologicheskoe i radiojekologicheskoe sostojanie vodoema-ohladitelja Chernobyl'skoj AjeS: dopovidi Nacional'noi' akademii' nauk Ukrai'ni [The current hydrobiological and radioecological state of the cooling pond of the Chernobyl nuclear power plant: additional findings of the National Academy of Sciences of Ukraine], no. 1, pp. 173–179. Available at: https://doi.org/10.15407/dopovidi2015.01.173

11. Ganzha, Ch., Gudkova, D., Ganzhab, D., Klenusa, V., Nazarovc, A. (2013). Physicochemical forms of (90) Sr and (137)Cs in components of Glyboke Lake ecosystem in the Chornobyl exclusion zone. Journal of Environmental Radioactivity. 127, pp. 176–181. Available at: https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.03.013

12. Romanenko, V.D., Kuz'menko, M.Y., Evtushenko, N.Ju. (1992). Radioaktivnoe i himicheskoe zagrjaznenie Dnepra i ego vodohranilishh posle avarii na chernobyl'skoj AjeS [Radioactive and chemical contamination of the Dnieper and its reservoirs after the accident at the Chernobyl nuclear power plant]. Kyiv, Scientific thought, 194 p.

13. Ganzha, Ch.D., Gudkov, D.I., Ganzha, D.D., Nazarov, A.B. (2020). Accumulation and distribution of radionuclides in higher ajauatic plants during the vegetation period. Journal of Environmental Radioactivity. Available at: https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106361

14. Pavljutin, A.P., Babucki,j V.A. (1996). Vysshaja vodnaja rastitel'nost' v ozere, zagrjaznennom radionuklidami: sostav, raspredelenie, zapasy i nakoplenie cezija-137 [Higher aquatic vegetation in a lake contaminated with radionuclides: composition, distribution, stocks and accumulation of cesium-137]. Gidrobiol. zhurn. [Hydrobiological Journal]. Vol. 32, no. 4, pp. 79–86.

15. Shevtsova, N.L.,. Gudkov, D.I. (2013). Cytogenetic damages in the common reed Phragmites australis in the shhater bodies of the Chornobyl ehclusion zone. Hydrobiological Journal. 49 (2), 85 p. Available at: https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v49.i2.80

16. Shevtsova, N.L., Javniuk, A.A., Gudkov, D.I. (2014). Effect of rest period on germination of the common reed seeds from the shhater bodies of the Chornobyl ehclusion zone. Hydrobiological Journal, 50 (5), 78 p.

17. Gudkov, D., Shevtsova, N., Pomortseva, N., Dzyubenko, E. (2017). Ajauatic Plants and Animals in the Chernobyl Ehclusion Zone: Effects of Long-Term Radiation Ehposure on Different Levels of Biological Organization. Genetics, Evolution and Radiation. 287 p. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-48838-7_24

18. Gudkov, I.M. (2016). Radiobiologija [Radiobiology]. Kherson, OLDY-PLJuS, 504 p.

19. Grynzhevs'kyj, M.V. (1998). Akvakul'tura Ukrai'ny (organizacijno-ekonomichni aspekty) [Aquaculture of Ukraine (organizational and economic aspects)]. Lviv, Free Ukraine, 365 p.

20. Mihjejev, O.M., Madzhd, S.M., Lapan', O.V., Kulynych, Ja.I. (2018). Vykorystannja gidrofitnyh system dlja vidnovlennja jakosti zabrudnennja zabrudnenyh vod [Use of hydrophytic systems to restore the quality of polluted water pollution]. Kyiv, Center for Educational Literature, 171 p.

21. Ostroumov, S.A. (2005). O samoochishhenii vodnyh jekosistem. Antropogennoe vlijanie na vodnye jekosistemy: materialy konferencii, posvjashhennoj 100-letiju so dnja rozhdenija N.S. Stroganova: sbornik statej [On self-purification of aquatic ecosystems. Anthropogenic Influence on Aquatic Ecosystems: proceedings of the conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of N.S. Stroganov: collection of articles]. Moscow, KMK Scientific Publishing Partnership, pp. 94–119.

22. Tomilin, Ju.A. (2007). Radionuklidy v komponentah vodnyh ekosystem pivdennogo regionu Ukrai'ny: migracija, rozpodil, nakopychennja i kontrzahody: avtoref. dys. … d-ra byol. nauk: 03.00.01 [Radionuclides in components of aquatic ecosystems of the southern region of Ukraine: migration, distribution, accumulation and countermeasures: author's ref. dis. Dr. Biol. Science: 03.00.01]. Mykolaiv, Petro Mohyla Moscow State University Publishing House, 40 p.

23. Sirenko, L.A., Koreljava, I.A., Mihajlenko, L.E. (1989). Rastitel'nost' i bakterial'noe naselenie Dnepra i ego vodohranilishh [Vegetation and bacterial population of the Dnieper and its reservoirs]. Kyiv, Scientific thought, 232 p.

Закономерности накопления ^{137}Cs в надземных и подземных органах воздушно-водяных растений водоемов Полесья и Лесостепи Украины

Волкова О.Н., Беляев В.В., Скыба В.В., Пришляк С.П., Гейко М.Н.

Целью исследования было установление закономерностей накопления ^{137}Cs в надземных и подземных органах воздушно-водных растений из разнотипных водоемов Полесья и Лесостепи Украины, расположенных на территориях различной степени радиоактивного загрязнения.

Исследования выполняли в 2014–2018 гг. Высшие водные растения отбирали в эвтрофных, олиготрофных и дистрофных водоемах – больших и малых водохранилищах, озерах и прудах различного назначения. Водоемы расположены на территориях, которые относительно плотности загрязнения ^{137}Cs считаются условно чистыми, либо отнесены к зонам усиленного радиологического контроля, гарантированного добровольного отселения, безусловного (гарантированного) отселения и зоны отчуждения. Объектами исследований были 8 видов воздушно-водных растений, которые широко распространены в пресных водоемах Полесья и Лесостепи Украины. Удельное содержание ^{137}Cs в надземных органах, корневищах и корнях растений определяли общепринятыми гамма-спектрометрическими методами.

Анализ полученных данных доказал общую, характерную для растений из всех исследованных водоемов закономерность – уровни содержания ^{137}Cs в надземных органах и корневищах растений в основном достоверно не отличались, а в грунтовых корнях были значительно выше. Удельная активность ^{137}Cs в грунтовых корнях Phragmites australis превышала его активность в надземных органах в 6–25, Typha angustifolia – 5–20, Glyceria maxima – 7–10, Scirpus lacustris – 4–9, Alisma plantago-aguatica – 3, Sagittaria saggitifolia – 2, Butomus umbellatus – 3, Iris pseudacorus – в 4 раза. Уровни содержания ^{137}Cs в надземных органах и корневищах в большинстве исследованных растений достоверно не отличались.

Результаты исследования в дальнейшем позволят оценить вклад воздушно-водных растений в формирование радиоактивного загрязнения донных отложений и усовершенствовать представление о значении высших водных растений в процессах миграции и перераспределения радиоактивных элементов в водных экосистемах. Выявленные закономерности формирования уровней содержания ^{137}Cs в подземных органах растений необходимо учитывать при определении дозы облучения растений в загрязненных радионуклидами водоемах.

Ключевые слова: воздушно-водные растения, надземные органы, подземные органы, корни, корневища, ^{137}Cs, водохранилища, озера, пруды.

The regularities of ^{137}Cs accumulation in the above- and underground parts of aerial-and-aquatic plants originated from various types of reservoirs in the Polissia and the Forest-Steppe of Ukraine

Volkova O., Belyaev V., Skyba V., Prishlyak S., Heiko M.

The aim of the study was to establish the regularities of ^{137}Cs accumulation in the above- and underground parts of aerial-and-aquatic plants originated from various types of reservoirs in the Polissia and the Forest-Steppe of Ukraine,

located in territories varying in the degrees of radioactive contamination.

The studies were carried out in 2014–2018. Higher aquatic plants were sampled in eutrophic, oligotrophic, and dystrophic reservoirs including large and small ones as well as lakes and ponds used for various purposes. The reservoirs were located in the areas that are considered conditionally clean relative to the density of ^{137}Cs contamination, or are classified as zones of enhanced radiological control, guaranteed voluntary resettlement, unconditional (guaranteed) resettlement and exclusion zones. The objects of research were 8 species of aerial aquatic plants widespread in the fresh water reservoirs of the Polissya and the Forest-Steppe of Ukraine. The specific content of ^{137}Cs in the aboveground parts, rhizomes, and roots of the plants was determined by common gamma-spectrometric methods.

The analysis of the obtained results revealed a common regularity typical of plants from all the studied reservoirs – the levels of ^{137}Cs in the aboveground parts and the rhizomes did not differ significantly, but in the ground roots they were significantly higher. The specific activity of ^{137}Cs in ground roots of *Phragmites australis* exceeded its activity in above ground parts by 6–25 times, in *Tupha angustifolia* – by 5–20, *Glyceria maxima* by 7–10, *Scirpus lacustris* by 4–9, *Alisma plantago-aquatica* – by 3 times, *Sagittaria saggitifolia* - by 2, *Butomus umbellatus* – by 3, *Iris pseudacorus* - by 4 times. The levels of ^{137}Cs content in aboveground parts and rhizomes in most of the studied plants did not differ significantly.

The results of the study will further make it possible to assess the role of aerial-and-aquatic plants in the bottom sediments radioactive contamination and to improve the understanding of the role of higher aquatic plants in the processes of radioactive elements migration and redistribution in aquatic ecosystems. The revealed regularities of ^{137}Cs levels formation in the underground parts of plants should be taken into account in determining the radiation dose of plants growing in radionuclides contaminated reservoirs.

Key words: aerial-and-aquatic plants, aboveground parts, underground parts, roots, rhizomes, ^{137}Cs, reservoirs, lakes, ponds.

Copyright: Волкова О.М. та ін.© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Волкова О.М. https://orcid.org/0000-0002-5868-4842
Беляєв В.В. https://orcid.org/0000-0003-4465-7816
Скиба В.В. https://orcid.org/0000-0002-3605-1147
Пришляк С.П. https://orcid.org/0000-0002-3838-3073