

О. М. Волкова – доктор біологічних наук, провідний науковий співробітник відділу прісноводної радіоекології Інституту гідробіології НАН України;

В. В. Беляєв – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу прісноводної радіоекології Інституту гідробіології НАН України;

Ю. М. Ситник – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу екологічної токсикології Інституту гідробіології НАН України;

А. М. Михалевич – студентка факультету природничих наук Національного університету «Кієво-Могилянська Академія»

Радіоекологічні проблеми водних екосистем Шацького національного природного парку

Роботу виконано у відділі прісноводної радіоекології Інституту гідробіології НАН України,

Наведено вміст ^{90}Sr та ^{137}Cs у воді, донних відкладах та рибах озер Шацького національного природного парку. Описано математичну модель розрахунку рівнів вмісту ^{90}Sr та ^{137}Cs , у воді та їхтїофауні за умов зменшення рівнів води в озерах. Розраховано прогнозні концентрації радіонуклідів у воді та рибах за зменшення рівня води на 0,2, 0,5 та 1 м. Показано, що за зменшення рівня води вміст радіонуклідів у рибах деяких озер може перевищити допустимі рівні.

Ключові слова: Шацький національний природний парк, озера, ^{90}Sr , ^{137}Cs , риба.

Волкова Е. Н., Беляев В. В., Сытник Ю. М., Михайлович А. М. Радиоэкологические проблемы водных экосистем Шацкого национального природного парка. Приведено содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде, донных отложениях и рыбе озер Шацкого национального природного парка. Описана математическая модель расчета уровней содержания ^{90}Sr та ^{137}Cs в воде и ихтиофауне при условии уменьшения уровня воды в озерах. Рассчитаны прогнозные концентрации радионуклидов в воде и рыбах при уменьшении уровня воды на 0,2, 0,5 и 1 м. Показано, что при уменьшении уровня воды содержание радионуклидов в рыбах некоторых озер может превышать допустимые уровни.

Ключевые слова: Шацкий национальный природный парк, озера, ^{90}Sr , ^{137}Cs , рыба.

Volkova O. M., Belyaev V. V., Sytnyk Y. M., Mykhalevych A. M. Radioecological Problems of Aquatic Ecosystems of Shatsk National Nature Park. That article represents ^{90}Sr and ^{137}Cs content in the water, sediments and fishes from lakes of Shatsk National Nature Park. We described the mathematical model which calculates the levels of ^{90}Sr and ^{137}Cs in the water and in the fishes if water level in the lakes decreases. Calculated ^{90}Sr and ^{137}Cs 's concentrations in the water and fishes if level of water was decreasing by 0,2, 0,5 and 1 m. Results show, if water level decreases then the concentrations of radionuclides increase, and in fishes from same lakes may exceed standards.

Key words: Shatsk National Nature Park, Lake, ^{90}Sr , ^{137}Cs , fish.

Постановка наукової проблеми та її значення. Внаслідок аварії на ЧАЕС, яка сталася 26 квітня 1986 р., практично всі водойми України різною мірою були забруднені радіоактивними речовинами. Шацький національний природний парк (ШНПП) розташований на межі північно-західного сліду чорнобильського викиду. Щільність радіонуклідного забруднення ґрунтів території парку відносно невелика – від 2 до 20 кБк/м² [1]. Однак наші дослідження особливостей формування радіонуклідного забруднення водних екосистем показують, що вміст радіоактивних елементів у компонентах водойм, зокрема в рибах, не завжди корелює зі щільністю випадіння на площу водозбору. Так, навіть на території найбільш забруднених регіонів Західного Полісся є водойми і з незначним, і з дуже високим рівнем вісту ^{137}Cs в організмі риб. Це пов'язано з тим, що на формування радіоекологічної ситуації у водоймах впливають гідрологічні чинники, перш за все, швидкість водообміну. Було встановлено, що радіонукліди фактично не затримуються у водотоках, і навпаки, в озерах залишається 100 % радіоактивних речовин, що надійшли до екосистеми [2; 3]. Водообмін більшості Шацьких озер уповільнений [4], отже їх можна віднести до категорії **водоїм-аккумуляторів** радіонуклідів. Тому дослідження радіоекологічної ситуації та прогнозування поведінки радіонуклідів в екосистемах Шацьких озер є **актуальними**.

Аналіз останніх досліджень із цієї проблеми. На сьогодні в науковій літературі наявна інформація про рівні радіонуклідного забруднення води та донних відкладів окремих озер у 1993, 1996 та у 2000 рр., представників іхтіофауни – у 1996 та 1997 рр. [5; 6].

Формулювання мети та завдань статті. Експлуатація Хотиславського кар'єру може призвести до обмілення Шацьких озер. Тому мета нашої роботи – прогнозна оцінка вмісту радіонуклідів у воді та іхтіофауні у разі зменшення рівня води в озерах.

Матеріали та методи. У роботі використано результати наших досліджень, які наведено у [5; 6], та дані про вміст ^{137}Cs у *Esox lucius*, *Scardinius erythrophthalmus*, та *Ictalurus nebulosus*, які були виловлені в оз. Світязь у жовтні 2011 р. Визначення вмісту радіонуклідів проводили загальноприйнятими методами.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Уперше оцінку рівнів вмісту радіонуклідів у компонентах екосистем Шацьких озер було виконано у 1993 р. У цей період визначено концентрацію ^{90}Sr та ^{137}Cs у воді п'яти озер, яку було зареєстровано у діапазоні від 69 до 72 та від 237 до 280 Бк/м³, відповідно. Вміст ^{90}Sr та ^{137}Cs у верхньому 10-ти сантиметровому шарі донних відкладів досліджених озер зареєстровано у діапазоні величин від 3 до 80 та від 9 до 71 Бк/кг. При цьому відзначено, що в пісках обох радіонуклідів їх накопичилося значно менше, ніж у сапропелях.

У 1996 та 2000 рр. було продовжено дослідження особливостей формування рівнів радіонуклідного забруднення компонентів екосистем Шацьких озер. У 1996 р. концентрація розчинених у воді ^{90}Sr та ^{137}Cs , у різних озерах складала 2–50 та 1–40 Бк/м³, у 2000 р. – у воді трьох досліджених озер становила 6–7 та 16–23 Бк/м³ відповідно. Загалом можна відзначити, що концентрація радіонуклідів у воді досліджених озер не перевищувала встановлених законодавством нормативів і перебувала на рівні, який був характерним для більшості прісноводних водойм України.

Рівні радіонуклідного забруднення дна Шацьких озер значною мірою залежали від типу донних відкладів. У 2000 р. для озер Світязь, Чорне Велике та Люцимер найменшу концентрацію ^{90}Sr та ^{137}Cs було відзначено в пісках (від 1 до 7 та від 4 до 12 Бк/кг, відповідно) значно більшою активністю характеризувалися сапропелі (від 16 до 23 та від 126 до 327 Бк/кг, відповідно).

У 1996–1997 рр. досліджували вміст радіонуклідів у рибах шести озер. Однак, з 29 видів риб, які зареєстровані у Шацьких озерах [4], рівні радіонуклідного забруднення визначали лише у дев'яти видах. Як недоліки проведених досліджень потрібно відзначити ще й те, що відрізнявся видовий склад вибірок із різних озер, а кількість екземплярів деяких видів була недостатньою для коректного порівняльного аналізу. Так, визначено вміст радіонуклідів у плітці та окуні з оз. Кримно, у лині та карасі – з оз. Соминець, у сомі, окуні, лящі та судаку з оз. Пулемецьке. На рисунку 1 наведено діапазони, зареєстровані у рибах Шацьких озер питомої активності ^{90}Sr та ^{137}Cs . Найбільші рівні радіонуклідного забруднення були характерні для риб з озер Пулемецьке та Люцимер. Однак, враховуючи вищезгадані недоліки, ми не можемо стверджувати, що таке явище пов'язане з особливостями формування радіоекологічної ситуації в екосистемах зазначених водойм. Саме у цих озерах досліджено найбільшу кількість видів та екземплярів риб, тому можна припустити, що в разі одержання репрезентативної вибірки з інших озер результати будуть відрізнятися.

Вміст ^{90}Sr в організмах досліджених представників іхтіофауни Шацьких озер зареєстрований у межах від 1 до 10, ^{137}Cs – від 1 до 51 Бк/кг. У науковій літературі відсутні відомості щодо рівнів радіонуклідного забруднення біотичних компонентів екосистем Шацьких озер до аварії на Чорнобильській АЕС, тому порівняємо результати наших досліджень із даними про вміст ^{90}Sr та ^{137}Cs у рибах інших прісноводних водойм України. Зокрема відомо, що вміст зазначених радіонуклідів у рибах Дніпровських водосховищ не перевищував 3 Бк/кг, в інших водоймах був ще нижчим [3]. Таким чином, питома активність ^{90}Sr у більшості відібраних зразків риб відповідала доаварійним величинам, і лише в деяких випадках перевищувала їх у три рази. Рівні накопичення ^{137}Cs в основному, до 15 разів, значно перевищували доаварійні значення.

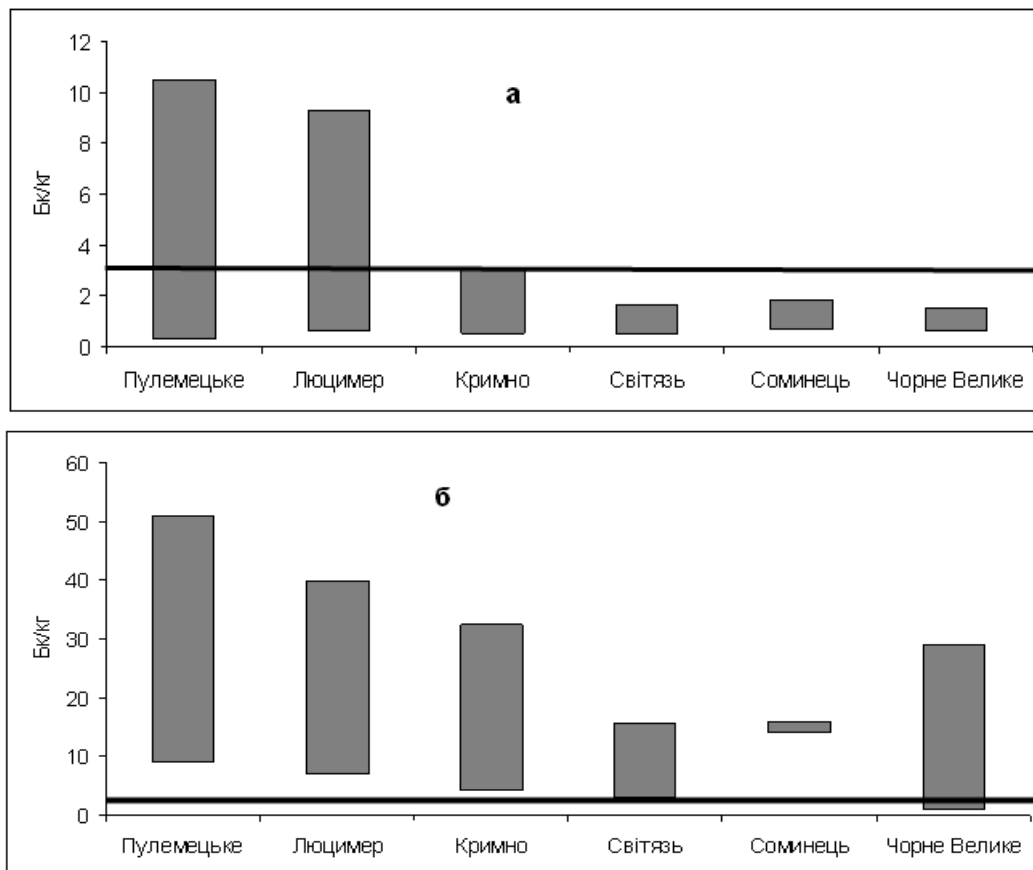


Рис. 1. Діапазони питомої активності радіонуклідів в організмі риб Шацьких озер у 1996 р., а – ^{137}Cs , б – ^{90}Sr

У жовтні 2011 р. вміст ^{137}Cs у рибах із оз. Світязь зареєстрований в діапазоні від 3,7 до 20,3 Бк/кг. Найвищий рівень радіонуклідного забруднення був відзначений у щуці, при цьому відзначено значні коливання питомої активності ^{137}Cs в окремих екземплярах, що свідчить про хронічне надходження радіоактивних речовин до екосистеми [2; 3].

З наведених даних видно, що за 15 років рівні радіонуклідного забруднення риб оз. Світязь практично не змінилися. Можна припустити, що однією з причин такого явища може бути постійне надходження ^{137}Cs в екосистему внаслідок його змиву з площі водозбору. Доказом нашого припущення можуть слугувати радіоекологічні дослідження наземних екосистем, у яких автори підкреслюють високу рухомість ^{137}Cs у ґрунтах ШНПП [1]. Крім того, потрібно відзначити, що питома активність ^{137}Cs в рибах більшості досліджених озер ШНПП була вищою, ніж у досліджених видах риб оз. Світязь. У таких озерах, як Пулемецьке і Люцимер, питома активність радіонукліда в рибах була майже у 2,5 вищою від зафіксованої кількості в озері Світязь. Якщо припустити, що за період 1996–2011 рр. питома активність ^{137}Cs у рибах цих озер також не зменшилася, рівень їхнього радіонуклідного забруднення буде приблизно відповідати величинам, що в останні роки спостерігаються у Київському водосховищі, тобто у водоймі, що межує з зоною відчуження [7].

Отже, сьогодні існує дефіцит вхідної інформації для проведення коректного радіоекологічного прогнозу. Водночас відомо, що зміни гідрологічного режиму водойм призводять до зміни радіоекологічної ситуації в екосистемі [7]. Зокрема, не виключається можливість зниження рівня води у Шацьких озерах внаслідок експлуатації Хотиславського кар'єру, що може призвести до певних змін радіоекологічного стану водойм. Зрозуміло, що зважаючи на ці дані, можна оцінити лише спрямованість процесів, які відбудуться у разі зниження рівня води. Однак, незважаючи на нестачу вхідних параметрів, буде доцільним проведення прогнозу, який дозволить оцінити вплив змін гідрологічного стану Шацьких озер на формування радіоекологічної ситуації.

Змілення замкнених озер спричиняє збільшення концентрації радіонуклідів у водних масах, яке відбувається за рахунок зменшення об'єму води в екосистемі та внаслідок виходу рухомих форм радіонуклідів з донних відкладів осушених ділянок. Вплив саме цих процесів беремо до уваги у наших розрахунках. Крім того, зміна концентрації радіонуклідів у водних масах може відбуватися ще й за рахунок сорбції чи десорбції радіонуклідів із донних відкладів неосушених ділянок. Але через відсутність даних про радіонуклідне забруднення донних відкладів глибоководних ділянок озер та форм знаходження в них радіонуклідів цей процес ми не враховували.

Для визначення змін об'єму озер, які відбудуться внаслідок зниження рівнів води, та площі осушених ділянок враховують морфологічні показники озер [4] і подають у вигляді конуса або усіченого конуса. Тоді збільшення питомої активності водних мас описують такою формулою:

$$\Delta A = (\Delta S \cdot A_1 \cdot F + \Delta V \cdot C_1) / [(V - \Delta V) \cdot C_1] \cdot 100,$$

де ΔA – збільшення концентрації радіонукліда у воді, %; ΔS – площа осушуваних ділянок, m^2 ; F – доля водорозчинної фракції; V – об'єм озера, m^3 ; ΔV – зміна об'єму озера, m^3 ; A_1 – щільність забруднення донних відкладів, Bk/m^2 ; C_1 – концентрація радіонукліда у воді, Bk/m^3 .

На підставі раніше проведених досліджень [3] F обрано рівним 0,1. Характерна для Шацьких озер щільність радіонуклідного забруднення донних відкладів прибережних ділянок розрахована на основі результатів досліджень, наведених у [5], та прийнята для ^{137}Cs рівною 2 kBk/m^2 , для ^{90}Sr – 600 Bk/m^2 . На основі найменших величин, зареєстрованих у 2000 р. в озерах Шацького парку [5] та характерних для слабкозабруднених радіонуклідами водойм України [3], питома активність ^{90}Sr та ^{137}Cs у воді озер Шацького НПП прийнята 10 Bk/m^3 .

У таблиці 1 наведено розрахунки, виконані для трьох довільно обраних варіантів зменшення рівня води в озерах. Результати моделювання показують, що зниження води на 0,2 м призведе до підвищення концентрації ^{90}Sr у воді глибоководних озер, таких, як Світязь, Пулемецьке, Пісочне та Люцимер, на 5–10 %, у воді мілководних підвищення може досягти 95 %. У разі зменшення рівня води на 1 м концентрація радіонукліда у воді мілководних озер може збільшитися в 2–10 разів. За прийнятими у моделі параметрами концентрація ^{137}Cs у воді озер зміниться у 2–3 рази більше, ніж концентрація ^{90}Sr .

Таблиця 1

Прогнозна оцінка збільшення концентрації радіонуклідів у воді озер Шацького НПП за зменшення рівня води, %

Озеро	Середня глибина, м	^{90}Sr			^{137}Cs		
		Зменшення рівня води, м			Зменшення рівня води, м		
		0,2	0,5	1,0	0,2	0,5	1,0
Світязь	6,9	5	12	26	9	23	48
Пулемецьке	4,1	10	26	58	22	57	127
Луки	2,1	26	74	189	63	178	459
Перемут	2,2	28	78	190	70	196	485
Острів'янське	2,3	24	66	161	56	158	392
Пісочне	6,9	5	12	26	9	23	48
Чорне Мале	1,2	95	305	998	269	867	2871
Соминець	1,7	43	128	352	112	333	928
Мошно	2	30	85	223	73	210	554
Клімівське	1,5	63	190	552	172	523	1530
Линовець	1,6	28	79	198	69	195	495
Люцимер	4,4	9	24	52	19	50	111
Кримно	2,9	17	46	106	39	106	249
Чорне Велике	3	16	42	97	36	97	225
Озерце	1,6	54	160	449	144	431	1222

Тепер можемо розрахувати, як підвищення концентрації ^{90}Sr та ^{137}Cs у воді вплине на рівні радіонуклідного забруднення риб. У радіоекології прийнято проводити консервативні оцінки рівнів

накопичення радіонуклідів продуктами харчування, тому для прогнозування рівнів радіонуклідного забруднення іхтіофауни обрано максимально зареєстровані у рибах із досліджених озер величини питомої активності радіонуклідів. Зміни рівнів накопичення радіонуклідів рибами – пропорційні змінам концентрації радіонуклідів у воді. Отже, істотні зміни рівнів радіонуклідного забруднення прогнозуються для риб мілководних озер (рис. 2).

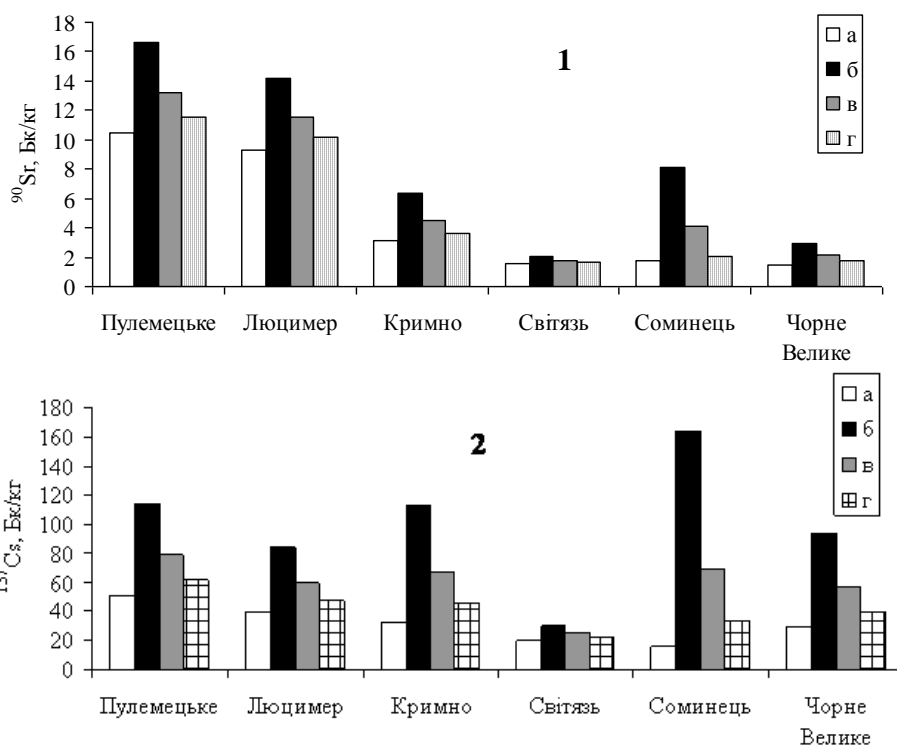


Рис. 2. Прогнозна оцінка рівнів вмісту ^{90}Sr (1) та ^{137}Cs (2) у рибах Шацьких озер за зниження рівня води у водоймах: а – максимальні зареєстровані рівні, б, в, г – прогнозовані рівні у разі зниження рівня води на 1 м, 0,5 м та 0,2 м, відповідно

Так, за зменшення рівня води на 0,2 м в оз. Світязь, вміст ^{90}Sr у рибах збільшиться лише на 5 %, на 1 м – на 26 %, збільшення вмісту ^{137}Cs становитиме 9 % та 48 %, відповідно, тоді як у рибах мілководного оз. Соминець при відповідних гідрологічних змінах вміст ^{137}Cs зросте у 2 та 10 разів.

Необхідним складником екологічного моніторингу є оцінка результатів щодо відповідності встановленим нормативам. Згідно з прогнозними оцінками, за зниження рівня води на 0,2–0,5 м, в рибах оз. Пулемецького, де була зареєстрована найбільша питома радіоактивність риб, сумарний вміст радіонуклідів наблизиться до рівня, встановленого ДР-2006 [8], а за зменшення рівня води на 1 м, вміст радіонуклідів у рибах перевищить встановлені нормативи (рис. 3).

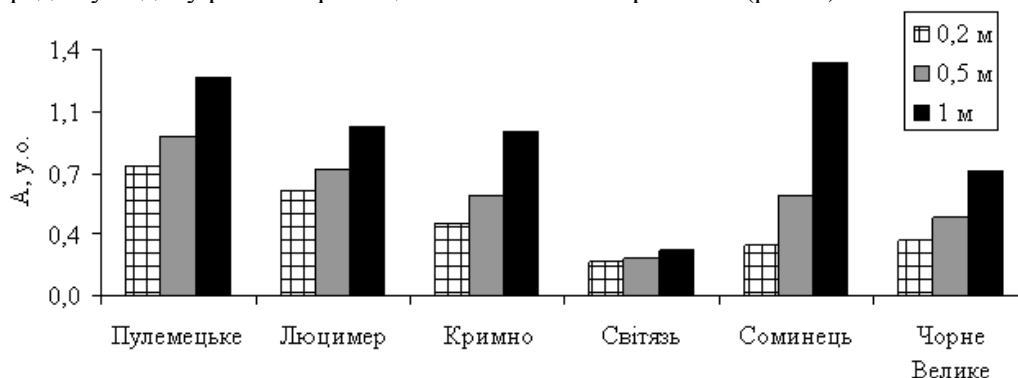


Рис. 3. Прогнозна оцінка сумарного вмісту радіонуклідів у рибах Шацьких озер за зниження рівня води у водоймах на 0,2 м, 0,5 м та 1 м (1 у. е. – допустимий вміст радіонуклідів згідно ДР-2006)

Щодо мілководних озер, де можна передбачити значне підвищення концентрації радіонуклідів у воді, рівні радіонуклідного забруднення було оцінено лише у рибах оз. Соминець. Якщо зважати на

наявні дані, сумарний вміст ^{90}Sr та ^{137}Cs у рибах цієї водойми перевищить встановлені нормативи за зменшення рівня води на 1 м. Однак раніше відзначалося, що вибірку риб із оз. Сомінець не можна вважати репрезентативною. Зокрема, не визначені рівні вмісту радіонуклідів у організмі іхтіофагів, які, як правило, накопичують у 2–3 рази більше ^{137}Cs , ніж бентофаги [2; 3]. Якщо припустити, що в рибах мілководних озер максимальні рівні вмісту радіонуклідів досягають величин, зареєстрованих в озерах Пулемецьке, Люцимер та Кримно, то навіть за зниження рівня води на 0,2 м вміст радіонуклідів у рибах таких озер може перевищити встановлені нормативи.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Перш за все потрібно відзначити, що у ході реалізації програми моніторингу в зоні впливу Хотиславського кар'єру, яку була затверджено у 1994 р., радіоекологічні дослідження водних екосистем залишилися практично поза межами уваги наукової спільноти. Зрозуміло, що на основі отриманих на сьогодні даних про вміст радіонуклідів у компонентах водних екосистем Шацького парку неможливо оцінити радіоекологічний стан природного комплексу, який включає понад 20 унікальних озер і є рекреаційною зоною. Однак, з огляду на можливість погіршення радіоекологічної ситуації внаслідок зміни гідрологічного стану водойм, ми визнали за доцільне спрогнозувати можливі зміни рівнів радіонуклідного забруднення води та іхтіофауни в разі зменшення рівня води в озерах. Моделювання радіоекологічної ситуації показало, що за несприятливого збігу обставин зниження рівня води мілководних озер на 0,2 м може призвести до перевищення встановлених законодавством рівнів вмісту радіонуклідів у рибах.

Слід ще раз відзначити вкрай обмежену кількість використаних нами для моделювання вхідних даних. Для коректного прогнозування поведінки радіонуклідів в екосистемах озер потрібно визначити горизонтальну та вертикальну стратифікацію щільності забруднення радіонуклідами дна озер, фізико-хімічні форми (в першу чергу водорозчинну та обмінні) радіонуклідів у донних відкладах, баланс радіоактивних речовин у водних масах. Крім того, для уникнення порушень санітарно-гігієнічних нормативів, потрібно ретельно дослідити закономірності формування радіонуклідного забруднення біотичних компонентів озерних екосистем.

Список використаної літератури

1. Шацьке поозер'я : характеристика абіотичних і біотичних компонентів екосистем / за ред. Й. В. Царика. – Львів : Євросвіт, 2008. – 216 с.
2. Волкова О. М. Техногенні радіонукліди у гідробіонтах водойм різного типу : автореф. дис. ... д-ра біол. наук.: спец. 03.00.17 / О. М. Волкова. – К. : Сталь, 2008. – 34 с.
3. Радіонукліди в водних екосистемах України / М. І. Кузьменко, В. Д. Романенко, В. В. Деревець та ін. – К. : Чорнобильінтерінформ, 2001. – 318 с.
4. Львович М. В. Загальна характеристика Шацького національного природного парку / М. В. Львович, А. А. Горун // Шацький національний природний парк : наук. дослідж. 1983–1993 рр. – Світязь, 1994. – С. 4–20.
5. Радіоекологічні дослідження озерних екосистем Шацького національного природного парку: стронцій-90 і цезій-137 у воді та донних відкладах (1993–2000 рр.) / Ю. М. Ситник, В. Г. Кленус, О. Є. Каглян та ін. // Наук. вісн. Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки. – 2009. – № 1. – С. 172–179.
6. Радіоекологічна ситуація в екосистемах Шацьких озер / О. М. Волкова, З. О. Широка, Ю. М. Ситник, П. Г. Шевченко // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту ім. Володимира Гнатюка. Серія : Біологія. Спец. вип. «Гідроекологія». – 2005. – № 3 (26). – С. 69–71
7. Радіоекологічні наслідки порушення режиму експлуатації Київської ГЕС у 2010 р. / О. М. Волкова, В. В. Беляєв, О. О. Пархоменко та ін. // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту ім. Володимира Гнатюка. Серія : Біологія. – 2011. – № 2 (47). – С. 62–64.
8. Державний гігієнічний норматив «Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді» (ДР-2006), наказ МОЗ України від 03.05.2006, № 256.

Статтю подано до редколегії
06.09.2012 р.