

УДК [510.721:574.5] (262.5)

Н.Ю. МІРЗОЄВА

Інститут біології південних морів НАН України
пр-т Нахімова, 2, Севастополь 99011

РОЗПОДІЛ І МІГРАЦІЯ ^{90}Sr У ВОДЯНОМУ СЕРЕДОВИЩІ БАСЕЙНУ ДНІПРА І ЧОРНОГО МОРЯ ПІСЛЯ АВАРІЇ НА ЧАЕС

Встановлено, що тенденції зміни концентрації ^{90}Sr у воді досліджуваних водойм у часі, з достатнім ступенем адекватності, описуються експоненціальними функціями. У воді прісних водойм і північно-західної частини Чорного моря прогнозований час зниження концентрації ^{90}Sr до передаварійних рівнів складе 39–44 роки.

Ключові слова: водойма-охолоджувач ЧАЕС, Київське і Каховське водосховища, Північно-Кримський канал (ПКК), Чорне море, вода, стронцій-90, перерозподіл, міграція, прогноз

Дослідження розподілу ^{90}Sr аварійного походження в біотичних і абіотичних компонентах екосистем Чорного моря і водойм басейну р. Дніпро є актуальними для сучасної гідробіології [3, 9] у зв'язку з тим, що вони дозволяють оцінити вплив радіаційного забруднення на якість водяного середовища, окремі особини, популяції і біоценози гідробіонтів, а також визначити роль живої та косної речовини в міграції радіонукліда у водоймах.

У цій статті, враховуючи стан вивченості проблеми, представлені результати порівняльного дослідження динаміки вмісту, оцінки запасів післяаварійного ^{90}Sr у водній товщі водяних екосистем і особливостей його міграції від джерела аварії до пониззя Дніпра, включно Чорного моря.

Мета досліджень – виявлення закономірностей розподілу і міграції ^{90}Sr після аварії на ЧАЕС у воді водойми-охолоджувача ЧАЕС (ВО), Київського і Каховського водосховищ, Південно-Кримського каналу (ПКК) і акваторії Чорного моря в період 1986–2006 рр., а також прогноз часу досягнення доаварійних рівнів вмісту ^{90}Sr у воді досліджуваних водойм.

Матеріал і методи досліджень

Матеріалом для дослідження слугували результати визначення концентрації ^{90}Sr у воді ВО, Київського і Каховського водосховищ, ПКК і Чорного моря, отримані у 1990–2006 рр. Також використовувалася база даних ВРХБ по концентрації ^{90}Sr у компонентах екосистем Чорного моря з 1986 р. до 1994 р. та літературні дані [1, 2, 4, 7, 8, 12].

За період досліджень була оброблена і проаналізована 1341 проба прісної і морської води. Метод визначення ^{90}Sr ґрунтується на радіохімічному виділенні радіонукліда, вимірюванні ^{90}Sr за черенковським випромінюванням його дочірнього продукту ^{90}Y з використанням низькофонового рідинного сцинтиляційного лічильника (LSC) LKB «Quantulus-1220» та наступній математичній обробці даних [6, 11]. Контроль коректності методів і достовірності отриманих результатів здійснювався шляхом постійної участі в міжнародній калібрації в період 1990–2005 рр. під егідою МАГАТЕ (Відень, Австрія) і Національної Лабораторії (РІСОЕ, Данія).

Результати досліджень та їх обговорення

На підставі отриманих нами і літературних даних виявлені такі закономірності поетапної реакції водяного середовища водойм на Чорнобильську аварію: первинне підвищення концентрації ^{90}Sr у воді в порівнянні з доаварійними рівнями в перші місяці після аварії: у 100 тисяч разів у ВО, у 309 разів у Київському водосховищі; в 9 разів у Каховському водосховищі і ПКК; в середньому в 3 рази у воді різних районів Чорного моря; наступне різке, протягом 1–2 років, зниження концентрації ^{90}Sr у воді водойм відбувалося за рахунок: міграції радіонукліда в нижче розташовані водойми; перерозподілу між компонентами екосистем; у Чорному морі, в основному, за рахунок перемішування в шарі 0–50 м і міграції ^{90}Sr у глибинні води (переважно до 200 м); вторинне надходження ^{90}Sr з водами верхнього Дніпра виявилось більш значимим джерелом забруднення ^{90}Sr води Каховського водосховища, ПКК, Північно-Західного району і регіону Кримського узбережжя Чорного моря, ніж випадання радіонукліда з атмосферними опадами. Згідно наших розрахунків концентрація ^{90}Sr у воді збільшилася порівняно з доаварійним рівнем: у 70 разів у воді Каховського водосховища, у 77 разів у воді ПКК, у 22 рази у воді району Дніпровсько-Бугського лиману й у 7,6 разів у районі біля Кримського узбережжя Чорного моря.

Як відомо [5], однією з можливостей прогнозування є метод екстраполяції апроксимуючих функцій. При цьому об'єктивність прогнозних характеристик визначається якістю підбору цих функцій, а також динамічними властивостями об'єкта прогнозування. З метою пошуку адекватних функцій ми розглянули особливості зміни середньої концентрації ^{90}Sr у воді ВО [2, 4, 12]. Встановлено (рис. 1), що в розглянутому масштабі дані задовільно розподіляються уздовж прямої лінії (коефіцієнт детермінації R^2 дорівнює 0.87), що свідчить про достатній ступінь адекватності опису цього процесу експоненціальною функцією. При цьому період зменшення концентрації ^{90}Sr вдвічі (T_{05}) є постійною часу експоненціальних функцій і може використовуватися як параметр з метою прогнозування методом екстраполяції апроксимуючої прямої. Цей підхід до вивчення й аналізу процесу динаміки концентрації ^{90}Sr у воді ВО застосовувався нами, з урахуванням адекватності, при аналізі аналогічних процесів для всіх досліджуваних водойм.

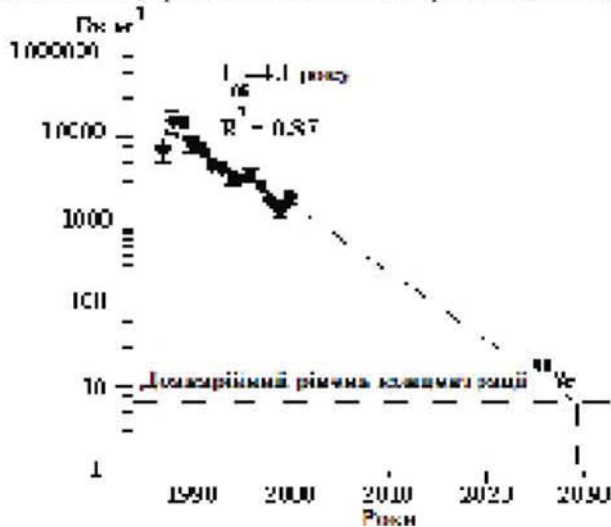


Рис. 1. Динаміка і прогнозна оцінка зміни середньорічної концентрації ^{90}Sr у воді ВО

Встановлено, що подальше експоненціальне зменшення концентрації ^{90}Sr у різних водоймах відбувалося з T_{05} : 4,1 роки для ВО, 6,1 років – для Київського водосховища; 5,7 років – для Каховського водосховища, 7,6 років для ПКК, від 7,3 років до 24,3 років у воді різних районів Чорного моря (табл. 1).

До 1999–2003 рр. концентрація ^{90}Sr у воді ВО, Київського водосховища, Каховського водосховища і ПКК у 300,0, 14,7, 21,7 і 22,0 рази відповідно перевищувала доаварійний рівень.

Необхідно відзначити, що практично у всіх регіонах Чорного моря, за винятком Дніпровсько-Бугського лиману, концентрація ^{90}Sr у воді набула доаварійного рівня (табл.1). Встановлено, що прогнозоване зменшення концентрації ^{90}Sr у воді ВО і Київського водосховища до доаварійного рівня буде продовжуватися протягом 44 років, Каховського водосховища – 36 років, ПКК – 44 роки, Дніпровсько-Бугського лиману Чорного моря – 39 років.

Таблиця 1

Період зменшення вдвічі (T_{05}) і повний період зниження концентрації ^{90}Sr до доаварійного рівня (Т) у воді Чорного моря

Райони акваторії Чорного моря	T_{05} (роки)	Т (роки)	Відношення часу фізичного розпаду радіонукліда до T_{05}	Час зниження концентрації ^{90}Sr до доаварійного рівня (рік)
Дніпровсько-Бугський лиман	14,0	39,0	2,1	2025
Гирло р. Дністер	7,3	4,0	3,9	1990
Гирло р. Дунай	8,1	8,0	3,6	1994
Район біля узбережжя Криму	9,2	16,0	3,1	2002
Західна частина	12,5	17,0	2,3	2003
Верхньо-Босфорська течія	13,5	9,0	2,1	1995
Східна частина	24,3	17,0	1,2	2003

Встановлено, що у 1986–2005 рр. в усіх досліджуваних водоймах, крім ВО (у період 1986–1997 рр.), концентрація ^{90}Sr у воді не перевищувала ГДК, прийнятих в Україні в 1991р. і 1997 р.

(доповнення 2000 р., 2002, 2005 р.). До 2004 р. концентрація ^{90}Sr [2] у воді ВО складала 80% від ГДК.

Нами оцінені середні потоки біогеохімічного самоочищення води досліджуваних водойм від поставарійного ^{90}Sr : для ВО – 0,9 ТБк, для Київського і Каховського водосховищ – 0,3 і 0,5 ТБк, відповідно, а ПКК – 80,9 ГБк у рік. Щорічний винос ^{90}Sr з Чорного моря через протоку Босфор у період досліджень складав 1,6–1,9% від вмісту цих радіонуклідів у шарі 0–50 м [10], тобто Чорне море не є кінцевим депо радіонуклідів, що надійшли і надходять у нього після Чорнобильської аварії. Отримані нами прогноз і оцінка балансових компонентів для ^{90}Sr у воді Чорного моря показали, що через 39 років (до 2025 р.) у екосистемі моря загальний вміст радіонукліда складе $1946,1 \pm 231,4$ ТБк, що на 446,1 ТБк перевищує доаварійний рівень. Ймовірно, що ця кількість радіонукліда перерозподілиться між біотичними і абіотичними компонентами Чорного моря.

Висновки

Отже, проведені дослідження показали, що використовувані підходи, зроблений прогноз і отримані закономірності розподілу і міграції ^{90}Sr у воді прісноводних екосистем і Чорного моря після аварії на ЧАЕС мають практичне значення для прогнозування наслідків при можливих аварійних ситуаціях у вивченому регіоні.

1. База данных ОРХБ (за период 1964–2006 гг.): Вода. Гидробионты. Донные отложения [Электронный ресурс]; разработана Д.Б. Евтушенко, В.Н. Егоровым, 1992. – Севастополь: ОРХБ, ИнБИОМ, 2006. – Систем. требования: Pentium-266; 32 Mb RAM; Windows 98; программный пакет Paradox. – Название с титул. экрана.
2. Гудков Д.І. Радіонукліди в компонентах водних екосистем зони відчуження Чорнобильської АЕС: розподіл, міграція, дозові навантаження, біологічні ефекти : автореф. дис. ... докт. біол. наук: 03.00.01 “Радіобіологія” / Д.І. Гудков. – К., 2006. – 34 с.
3. Константинов А.С. Общая гидробиология: [Учеб. для биол. спец. вузов] / А.С. Константинов. – [4-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Высш. школа, 1986. – 472 с.
4. Мониторинг радиоактивного загрязнения поверхностных и подземных вод после Чернобыльской аварии: монография / О.В. Войцехович, В.М. Шестопалов, А.С. Скальский [и др.] — К.: Укр. науч.-исслед. гидрометеорол. Ин-т ; Ин-т геол. наук НАНУ, 2001. – 148 с.
5. Налимов В.В. Теория эксперимента / В.В. Налимов. – М.: Наука, 1971. – 207 с.
6. Поликарпов Г.Г. Радиоэкология морских организмов / Г.Г. Поликарпов. М.: Атомиздат, 1964. 295 с.
7. Поликарпов Г.Г. Концентрация ^{90}Sr в водной среде нижнего Днепра в направлении Чёрного моря [Текст] / Г. Г. Поликарпов, В. И. Тимошук, Л. Г. Кулебакина // Докл. АН УССР. Сер. Б. – 1988. – № 3. – С. 77–79.
8. Радиоактивное загрязнение днепровских водохранилищ в результате аварии на ЧАЭС / В. Д. Романенко, М. И. Кузьменко, П. И. Дробот [и др.] // Радиационные аспекты Чернобыльской аварии: (сб. в двух частях): Ч. II. Экологические и радиобиологические проблемы. – К.: АН УССР, 1989. – С. 9–16.
9. Романенко В.Д. Основы гидроэкологии: учебник для студентов высш. учеб. заведений / В.Д. Романенко. – К.: Генеза, 2004. – 664 с.
10. Egorov V.N. Long-term post-Chernobyl ^{90}Sr and ^{137}Cs profiles as the indicators of the large-scale vertical water mixing in the Black Sea / V. N. Egorov, N. A. Stokozov, N. Yu. Mirzoeva // Intern. conf. on the study of environmental change using isotope techniques, 23–27 Apr. 2001: book of extend. synopses. – Vienna, Austria, 2001. – P. 182–184.
11. Harvey B.K. Analytical procedures for the determination of strontium radionuclides in environmental materials : analytical methods / [B.K. Harvey, R.D. Ibbett, M.B. Lovett, K.J. Williams]. — Lowestoft : S. a., 1989. – 33 p. (Series : Aquatic environmental protection ; № 5).
12. Kryshev I.I. Radioactive contamination of aquatic ecosystems following the Chernobyl accident / I.I. Kryshev // J. Environ. Radioactivity. – 1995. – Vol. 27, N 3. – P. 207–220.

Н.Ю. Мирзоева

Институт биологии южных морей НАН Украины, Севастополь

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И МИГРАЦИЯ ^{90}Sr В ВОДНОЙ СРЕДЕ БАССЕЙНА ДНЕПРА И ЧЕРНОГО МОРЯ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧАЭС

Установлено, что тенденции изменения концентрации ^{90}Sr в воде исследуемых водоемов во времени, с достаточной степенью адекватности, описываются экспоненциальными функциями. В воде пресных водоемов и северо-западной части Черного моря прогнозируемое время снижения концентрации ^{90}Sr до предаварийных уровней составит 39–44 года.

Ключевые слова: водоем-охладитель ЧАЭС, Киевское и Каховское водохранилища, Северо-Крымский канал, Чорне море, вода, стронцій-90, перерозподілення, міграція, прогноз

N. Yu. Mirzoyeva

Institute of Biology of the Southern Seas of NAS of Ukraine, Sevastopol

DISTRIBUTION AND MIGRATION OF ⁹⁰Sr IN WATER ENVIRONMENT OF THE DNIEPER RIVER BASIN AND BLACK SEA ECOSYSTEMS AFTER THE CHERNOBYL NPP ACCIDENT

It is determined that tendencies of ⁹⁰Sr concentration change in water of investigated water reservoirs in time, with a sufficient degree of adequacy, are described by exponential functions. In water of fresh water reservoirs and a northwest part of the Black Sea predicted time of ⁹⁰Sr concentration decrease up to Chernobyl NPP pre-accident levels will make 39-44 years.

Key words: reservoir-cooler of Chernobyl NPP, Kyiv and Kakhovka reservoirs, Black sea, water, strontium-90, redistribution, migration, prognosis

УДК 5474.4:628.357.(252.5)

О.А. МИРОНОВ

Севастопольский национальный технический университет
ул. Университетская, 33, Севастополь 99053, Украина

ЛИПИДНО–УГЛЕВОДОРОДНЫЙ СОСТАВ CYSTOSEIRA SP. И RISSOA SP. В ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ СЕВАСТОПОЛЯ (ЧЕРНОЕ МОРЕ)

Впервые установлен липидно–углеводородный состав массовых представителей бентоса – риссон и цистозеры в прибрежной акватории Севастополя. По абсолютным величинам и по сезонной динамике липидов и углеводов различия между акваториями Приморского бульвара и Парка Победы не выявлены.

Ключевые слова: липиды, углеводороды, прибрежная акватория моря

Липидно-углеводородному составу морских организмов Чёрного моря посвящен ряд работ, выполненных в 80-х гг. прошлого века и включенных в монографические работы по взаимодействию морских организмов с нефтяным загрязнением [1, 2, 4]. Несколько лет назад эти работы возобновились и первые результаты вошли в монографию по санитарно–биологическим исследованиям в прибрежной акватории региона Севастополя [5]. Следует отметить, что липидно–углеводородный состав изучался в основном на морских животных и лишь небольшое число исследований посвящено растительным объектам [5].

Многочисленная придонная икhtiофауна, обитающая в зарослях макрофитов, использует для питания все составные части этого сообщества. Рыбы, обитающие в зарослях макрофитов, хорошо приспособлены к питанию такой жесткой пищей, как макрофиты и моллюски. Последние у ряда видов рыб составляют значительную долю в пищевом комке желудка. Таким образом, заросли макрофитов могут увеличивать рекреационный потенциал побережья, например, за счет развития спортивного рыболовства. Поэтому, на наш взгляд, представляет интерес изучение в зарослевых сообществах липидов и углеводов, которые могут быть использованы как для оценки их пищевой ценности, так и служить биоиндикатором экологического состояния морской акватории. Известно, что ткани гидробионтов, богатые жиром, способны накапливать углеводороды нефти [4]. При этом необходимо подчеркнуть, что углеводороды постоянно сопутствуют липидам и имеют сходные с ними химические свойства. Кроме того, по своему составу углеводороды, синтезируемые морскими организмами, близки или идентичны углеводородам нефти.

Целью настоящей работы было изучение липидно–углеводородного состава двух массовых представителей зарослевых сообществ в акватории прибрежной зоны Севастополя: растения – бурой водоросли *Cystoseira* sp. и животного – брюхоногого моллюска *Rissoa* sp.

Материал и методы исследований

Районы отбора проб находились в акваториях, прилегающие к рекреационным зонам – Приморский бульвар и Парк Победы. Дно пляжей у Приморского бульвара и Парка Победы представлено крупной галькой с выходом скальных пород, что создает хорошие условия для прикрепления цистозеры. Материал собирали в осенне-зимний период 2009–2010 гг. с глубины 1 м. Всего было