

А. С. Белоконь¹, О. Н. Маренков¹, А. И. Дворецкий²¹ Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, Днепропетровск² Днепропетровский государственный аграрный университет, Днепропетровск**СОДЕРЖАНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ИКРЕ НЕКОТОРЫХ ПРОМЫСЛОВЫХ ВИДОВ РЫБ ЗАПОРОЖСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Проведены комплексные радиационно-токсикологические исследования икры некоторых промысловых видов рыб Запорожского водохранилища. Установлено, что наибольшее количество ¹³⁷Cs (4,5 Бк/кг) и ⁹⁰Sr (3,2 Бк/кг) аккумулировала икра окуня. Исследуемые тяжелые металлы (кадмий, медь, цинк и свинец), а также природные радионуклиды ²²⁶Ra и ²³²Th в большей степени накапливались икрой леща.

Ключевые слова: радионуклиды, тяжелые металлы, промысловые рыбы, икра, Запорожское водохранилище.

Введение

По степени деградации и загрязнения окружающей природной среды, выбросам вредных веществ в атмосферу, загрязнению водных объектов и дефициту чистой воды Донецко-Приднепровский регион занимает первое место. Особая техногенная нагрузка приходится на бассейн Запорожского водохранилища, которое находится в центре мощной агропромышленной агломерации. Антропогенному влиянию наиболее подвержен верхний участок водохранилища, здесь ежегодно сбрасывается около 572 млн м³ сточных вод предприятий металлургической, 40 млн м³ химической и около 80 млн м³ угольной промышленности, которые несут в себе колоссальное количество токсических веществ. К этому всему добавляются свыше 300 млн м³ городских сточных вод [1, 2, 8].

Начиная с 1950 по 1994 г. на Приднепровском химическом заводе (ПХЗ) и Днепродзержинском комбинате (ДМК) проводили обогащение уранового сырья, а радиоактивные отходы складировали в девяти хвостохранилищах, расположенных в глиняных карьерах и ярах вдоль притоков Запорожского водохранилища. Особую угрозу представляет хвостохранилище «Днепровское», где находятся около 12 млн т отходов, в которых содержится природный уран и продукты распада уранового и ториевого рядов: ²¹⁰Po, ²¹⁰Pb, ²²⁶Ra и др. Эта «радиоактивная свалка» находится в пойме впадающей в Запорожское водохранилище р. Коноплянка. Выше хвостохранилища находятся отстойники ДМК, которые могут способствовать возможному поднятию уровня грунтовых вод и дальнейшему подмыву хвостохранилища. Далее обогащенные радионуклидами грунтовые воды поступают в русло р. Коноплянка, откуда – в Запорожское водохранилище[1].

Наиболее эффективным методом контроля является систематическая биоиндикация водных экосистем области с использованием гидробионтов в качестве индикаторов токсического и радиоактивного загрязнения. Гидробионты постоянно живут в воде, поэтому моментально реагируют на химические изменения окружающей среды и способны быстро аккумулировать токсиканты, при этом коэффициенты накопления веществ могут исчисляться в сотнях и даже тысячах. Многие гидробионты имеют хозяйственное значение и употребляются человеком в пищу, например рыбы, ракообразные и водоросли. В связи с этим, помимо научной информации о состоянии водной экосистемы, решается практический вопрос – контроль качества продукции водных биоресурсов.

В качестве индикаторных видов можно использовать рыб – в связи с ведением промысла на водохранилище они являются легкодоступными во все сезоны года. К тому же рыбы представляют собой ценный пищевой продукт для населения и по пищевой цепи токсические вещества попадают в организм человека.

В связи с этим целью наших исследований было изучение накопления радионуклидов и тяжелых металлов в икре некоторых промысловых рыб Запорожского водохранилища. В качестве индикаторов уровней загрязнения были использованы гонады половозрелых рыб, отобранные в преднерестовый период. Наибольший интерес у нас вызвал уровень содержания тяжелых металлов и радионуклидов в икре, так как помимо пищевой ценности икра является залогом успешного воспроизводства популяций рыб и в целом сохранения биоразнообразия водных экосистем региона.

Материалы и методы

Исследования проводились на акватории Запорожского водохранилища. Объектом исследований были некоторые промысловые рыбы: сазан, лещ, карась серебряный, окунь. Материалом для работы послужила икра данных видов рыб, собранная при проведении контрольных ловов в преднерестовый период 2011 г. Биологический анализ рыб и отбор тканей и органов проводился согласно классическим ихтиологическим методикам [14].

Во время проведения токсикологических исследований икры рыб тяжелые металлы в озолненных пробах определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии [17].

Концентрацию тяжелых металлов рассчитывали по формуле

$$C = \frac{K \cdot j \cdot v}{P}, \quad (1)$$

где C – концентрация металла в пробе, мг/кг; J – концентрация металла в анализируемом растворе, мкг/мл; v – объем разведения пробы, мл; P – масса золы, г; K – коэффициент озолнения, г золы/г сырой массы.

**Диапазон содержания тяжелых металлов в икре промысловых рыб,
M ± m/min–max мг/кг сырой массы**

Виды рыб	Тяжелые металлы			
	Кадмий	Медь	Цинк	Свинец
Лещ	<u>0,225 ± 0,018</u> 0,042 - 0,408	<u>1,938 ± 0,111</u> 0,825 - 3,050	<u>56,75 ± 4,28</u> 13,9 - 99,60	<u>1,124 ± 0,103</u> 0,097 - 2,15
Сазан	<u>0,0675 ± 0,004</u> 0,027 - 0,108	<u>0,955 ± 0,047</u> 0,49 - 1,42	<u>31,79 ± 2,85</u> 3,27 - 60,30	<u>0,374 ± 0,014</u> 0,234 - 0,513
Карась серебряный	<u>0,059 ± 0,0039</u> 0,020 - 0,098	<u>1,037 ± 0,077</u> 0,348 - 1,89	<u>35,80 ± 3,10</u> 4,8 - 66,8	<u>0,262 ± 0,012</u> 0,144 - 0,38
Окунь	<u>0,041 ± 0,0037</u> 0,004 - 0,078	<u>0,366 ± 0,035</u> 0,021 - 0,711	<u>3,58 ± 0,20</u> 1,56 - 5,59	<u>0,044 ± 0,004</u> 0,005 - 0,082
ПДК	0,2	10	40	1,0

По результатам токсикологических исследований уровни содержания тяжелых металлов в икре рыб Запорожского водохранилища в среднем не превышали предела допустимой концентрации (ПДК) для рыбы как пищевого продукта [12]. Но следует отметить, что в единичных экземплярах карповых рыб наблюдалось превышение содержания цинка в 1,5 - 2,5 раза. В отдельных особях леща отмечено превышение ПДК кадмия в 2,5 - 3 раза и свинца в 1,5 раза. Это свидетельствует о техногенном загрязнении водоема.

Содержание кадмия в икре сазана и карася значительно не отличалось и составило в среднем $0,063 \pm 0,04$ мг/кг. Наименьшее содержание данного элемента было в икре окуня – в среднем на 50 % меньше, чем в других рыбах ($p < 0,05$).

Подготовка проб к измерению содержания радионуклидов заключалась в отделении икры рыб с последующей гомогенизацией и озолнением [9, 13, 15]. Содержание радионуклидов в икре промысловых видов рыб определяли при помощи сцинтилляционного спектрометра энергии гамма-излучения СЕГ-001 "АКП-С" и спектрометра бета-излучения СЕБ-01-150. Удельная активность радионуклидов пересчитана с учетом коэффициента озолнения и выражена в Бк/кг на естественную массу.

Результаты и их обсуждение

Способность к воспроизводству, плодовитость и качество потомства являются самыми существенными показателями биологического благополучия любого животного организма. В то же время известна очень высокая чувствительность воспроизводительной системы животных к действию ионизирующей радиации и токсических веществ. В связи с этим нами были проведены исследования уровней содержания тяжелых металлов в икре промысловых видов рыб (таблица).

Наибольшее содержание кадмия отмечено в икре леща – $0,225 \pm 0,018$ мг/кг.

Медь в организм рыб попадает главным образом не с водой, а с пищей, в связи с этим индикатором содержания меди в воде по ихтиофауне не является показательной [16]. Наибольшее содержание меди нами отмечено в икре леща ($1,94 \pm 0,11$ мг/кг). Практически одинаковое содержание данного металла наблюдалось у карася и сазана ($1,03 \pm 0,062$ мг/кг), что может объясняться одинаковым спектром питания. У окуня концентрация меди была наименьшая – в среднем меньше на 70 % ($p < 0,05$).

Цинк в организмах гидробионтов выступает в качестве эссенциального микроэлемента, что часто объясняет его повышенное содержание в

органах и тканях [7]. Наибольшая концентрация цинка наблюдалась в икре леща ($56,7 \pm 4,28$ мг/кг). Икра карася и сазана накапливала цинк сравнительно одинаково – уровень содержания металла в ткани колебался в диапазоне от 3,27 до 66,80 мг/кг. Подобное явление объясняется придонным способом жизни обоих видов и их постоянным контактом с донными отложениями, из которых металл попадает в организм рыб. Наименьшая его концентрация отмечена в икре окуня – $3,58 \pm 0,20$ мг/кг.

Содержание свинца в икре рыб Запорожского водохранилища было довольно высокое, а в икре леща примерно в 1,5 раза превышало ПДК ($1,12 \pm 0,103$ мг/кг). В икре сазана и карася депонировалось несколько меньшее количество данного тяжелого металла – в среднем $0,318 \pm 0,056$ мг/кг. В икре окуня содержание свинца было минимальным ($0,044 \pm 0,004$ мг/кг) и отличалось от максимального значения, зарегистрированного в леще, на 95 % ($p < 0,05$).

Таким образом, по содержанию тяжелых металлов в икре исследуемых рыб можно построить следующий ряд: лещ > сазан \approx карась > окунь.

Высокое содержание тяжелых металлов в икре рыб-бентофагов можно объяснить их типом питания. Вместе с основной пищей в пищевой комок рыб, как правило, попадает детрит, который в отличие от других компонентов водной экосистемы концентрирует наибольшее количество тяжелых металлов [5, 6]. Уровни накопления тяжелых металлов в организме рыб на ранних, наиболее чувствительных, стадиях развития представляют интерес для прогнозирования возможных последствий загрязнения водоемов тяжелыми металлами и экологического нормирования допустимых уровней содержания токсических веществ в воде.

В результате аварии на ЧАЭС все водоемы Украины в различной степени были загрязнены искусственными радионуклидами [3]. Накопление радионуклидов разными органами и тканями рыб характеризуются своими отличительными особенностями.

К настоящему времени установлены особенности накопления радионуклидов водными организмами разных экологических групп и трофических уровней, в частности установлено, что мирные рыбы накапливают меньше ^{137}Cs и больше ^{90}Sr , чем хищные [3, 10, 11, 18]. В то же время неоднократно регистрируются нарушения вышеприведенных закономерностей, что, по мнению ученых [4], связано с импульсным повышением концентрации радионуклидов в абиотических компонентах водных экосистем.

Содержание ^{137}Cs в икре исследуемых рыб находилось в диапазоне от 1,50 до 4,25 Бк/кг, наибольшие показатели отмечены у окуня, наименьшие – у сазана. Содержание ^{90}Sr колебалось в диапазоне от 1,00 Бк/кг у сазана до 3,20 Бк/кг у окуня (рис. 1).

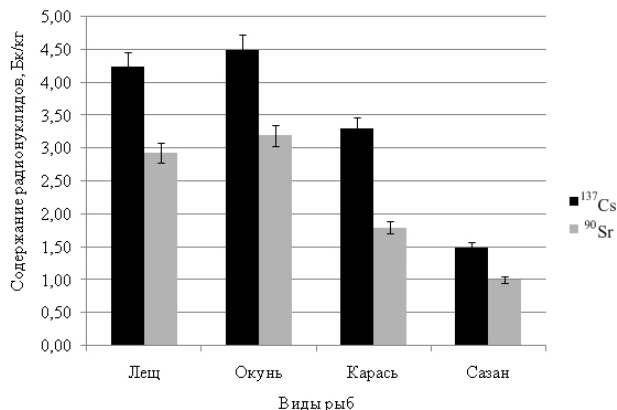


Рис. 1. Содержание техногенных радионуклидов в икре промысловых видов рыб.

Содержание радионуклидов постчернобыльского происхождения в икре исследуемых рыб имело следующий вид:

^{137}Cs : окунь > лещ > карась > сазан;

^{90}Sr : окунь > лещ > карась > сазан.

Подобные видовые отличия в степени накопления искусственных радионуклидов могут быть обусловлены характером пищевых связей и степенью усвоения различных компонентов кормов [18].

Содержание ^{40}K находилось в диапазоне от 22,5 до 56,1 Бк/кг, наибольшие показатели отмечены в икре карася, наименьшие – у сазана. Количество ^{226}Ra в икре промысловых рыб колебалось от 10,3 до 16,9 Бк/кг, при этом наибольшее его количество было в икре леща, наименьше – у сазана. Содержание ^{232}Th находилось в пределах от 4,5 Бк/кг у сазана до 7,8 Бк/кг у леща и окуня (рис. 2).

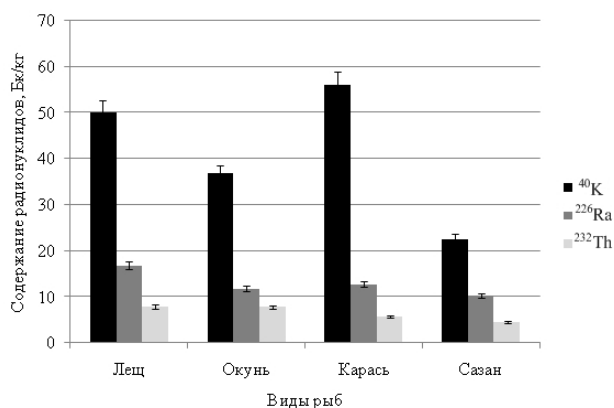


Рис. 2. Содержание радионуклидов природного происхождения в икре рыб.

Содержание техногенно усиленных природных радионуклидов в икре исследуемых видов рыб имело следующий вид:

^{40}K : карась > лещ > окунь > сазан;

^{226}Ra : лещ > карась > окунь > сазан;

^{232}Th : лещ \approx окунь > карась > сазан.

Содержание радионуклидов в икре рыб Запорожского водохранилища не превышало ПДК для рыбы как пищевого продукта. Необходимо подчеркнуть, что во время промысла гидробионтов на территориях с радиоактивным загрязнением требуется постоянный контроль содержания радионуклидов в водной экосистеме, что позволит избежать поступления радиоактивных веществ в организм человека – потребителя продукции водных биоресурсов.

Для всех радионуклидов критическими являются органы кроветворения и половые железы. Они наиболее уязвимыми и даже при малых дозах радиации в них происходят существенные изменения. Поллютанты способны оказывать влияние на развитие икры и дальнейшее выживание личинок рыб. Поэтому изучение уровней содержания, процессов накопления и распределения радионуклидов и тяжелых металлов в икре рыб во время оогенеза представляет интерес для

прогнозирования возможных отдаленных последствий дальнейшего загрязнения водоемов.

Выводы

1. Содержание тяжелых металлов в икре исследуемых рыб имело следующий вид: лещ > сазан \approx карась > окунь. В икре леща содержалось наибольшее количество кадмия, меди, цинка и свинца. При этом содержание кадмия (в единичных случаях), цинка и свинца превышало ПДК для рыбы как пищевого продукта 1,5 - 2,5 раза. У остальных видов рыб концентрация тяжелых металлов в икре находилась в пределах ПДК.

2. Наибольшее содержание искусственных радионуклидов (^{137}Cs , ^{90}Sr) отмечено в икре окуня. Содержание искусственных радионуклидов в икре исследуемых видов рыб имело следующий вид: окунь > лещ > карась > сазан.

3. Наивысшие показатели накопления таких природных радионуклидов как ^{226}Ra и ^{232}Th отмечены в икре леща. ^{40}K в наибольших количествах накапливался в икре карася. Наименьшее содержание природных радионуклидов отмечено в икре сазана.

4. Показатели содержания радионуклидов в икре рыб не превышали ПДК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоконь А.С., Лаврова Т.В., Дворецкий А.И. Радиоэкологические исследования водных экосистем в зоне влияния объектов урано-перерабатывающего предприятия // III з'їзд з радіаційних досліджень (радіобіологія і радіоекологія): Матеріали конференції. - К., 2003. - С. 274.
2. Білоконь Г.С. Накоплення радіонуклідів в промислових видах риб Дніпровського водосховища // Рибне господарство. - 2009. - Вип. 66. - С. 229 - 232.
3. Волкова Е.Н., Беляев В.В., Зарубин О.Л. и др. Динамика ^{137}Cs в гидробионтах днепровских водохранилищ // Наук. зап. Тернопільського нац. пед. ун-ту ім. Володимира Гнатюка. Сер. Біологія. - 2005. - Вип. 3 (26). - С. 66 - 71.
4. Волкова Е.Н., Беляев В.В., Пархоменко А.А., Пришляк С.П. Формирование радионуклидного загрязнения гидробионтов при изменении содержания радионуклидов в абиотических компонентах пресноводных экосистем // Радіобіологічні та радіоекологічні аспекти чорнобильської катастроф: Тези доп. міжнар. конф. - Славутич: Фітосоціоцентр, 2011. - с. 156 - 157.
5. Евтушенко Н.Ю., Данилко О.В. Особенности накопления тяжелых металлов в тканях рыб Кременчугского водохранилища // Гидробиол. журн. - 1996. - Т. 32, № 4. - С. 58 - 66.
6. Екологічний стан біоценозів Запорізького водосховища в сучасних умовах / О. В. Федоненко, Н. Б. Єсіпова, Т.С. Шрамко та ін. / Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2008. - 277 с.
7. Зубкова Н. Динамика накопления микроэлементов в *Abramis brama* из реки Днепр // Интегрированное правление природными ресурсами трансгранично бассейна Днестра: Материали междунар. конф. - Кишинев, 2004. - С. 132 - 135.
8. Кораблева А.И. Оценка уровня загрязнения Запорожского водохранилища тяжелыми металлами и предложения по разработке природоохранных мероприятий. - Днепропетровск, 1991. - 51 с.
9. Лаврухина А.К., Малишева Т.В., Павлоцкая Ф.И. Радиохимический анализ. - М.: Изд-во АН СССР. - 1963. - 220 с.
10. Маренков О.М., Дворецкий А.И., Белоконь Г.С. Радіонуклідне забруднення промислових видів риб Дніпровського водосховища // Наук. зап. Тернопільського нац. пед. ун-ту ім. Володимира Гнатюка. Сер. Біологія. Спец. вип. Гідроекологія. - 2010. - № 2 (43) - С. 338 - 341.
11. Маренков О.М. Вивчення радіоактивного забруднення молоді риб Дніпровського водосховища // Рибне господарство України. - Керч, 2011. - № 2(73). - С. 39 - 41.
12. Медико-биологические и санитарно-гигиенические нормы качества продовольственного сырья и пищевых продуктов. - М., 1990. - 164 с.
13. Методика відбору проб сільськогосподарської продукції та продуктів харчування для лабораторного аналізу на вміст радіонуклідів // Довідник для радіологічних служб Мінсільгоспспроду України. - К., 1997. - С. 3 - 14.

14. *Правдин И.Ф.* Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). - М.: Пищ. пром-сть, 1966. - 376 с.
15. *Сборник* методик определения содержания радионуклидов в рыбном сырье, продукции и воде. - М.: Минрыбхоз СССР, 1989. - 98 с.
16. *Федоненко О.В., Шарамок Т.С.* Антропогенний вплив важких металів на екосистему Запорізького (Дніпровського) водосховища // Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону. - Донецьк: ДонНУ, 2010. - №1 (10). - С. 173 - 177.
17. *Хавезов И., Цалев Д.* Атомно-абсорбционный анализ. - Л.: Химия, 1983. - 144 с.
18. *Шеханова И. А.* Радиоэкология рыб. - М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1983. - 208 с.

Г. С. Білоконь, О. М. Маренков, А. І. Дворецький

**ВМІСТ РАДІОНУКЛІДІВ ТА ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В ІКРІ
ДЕЯКИХ ПРОМИСЛОВИХ ВИДІВ РИБ ЗАПОРІЗЬКОГО ВОДОСХОВИЩА**

Проведено комплексні радіаційно-токсикологічні дослідження ікри деяких промислових видів риб Запорізького водосховища. Установлено, що найбільшу кількість ^{137}Cs (4,5 Бк/кг) та ^{90}Sr (3,2 Бк/кг) акумулювала ікра окуня. Досліджувані важкі метали (кадмій, мідь, цинк, свинець), а також природні радіонукліди ^{226}Ra та ^{232}Th у більшій кількості накопичувалися ікрою ляща.

Ключові слова: радіонукліди, важкі метали, промислові риби, ікра, Запорізьке водосховище.

G. S. Bilokon, O. M. Marenkov, A. I. Dvoretzkiy

**CONTENTS OF RADIONUCLIDES AND HEAVY METALS
IN FISH ROE OF COMMERCIAL FISH OF THE ZAPORIZHYA RESERVOIR**

Comprehensive radiation-toxicological studies of fish roe of some commercial fish of the Zaporizhya Reservoir were conducted. It was found that the greatest number of ^{137}Cs (4,5 Bq/kg) and ^{90}Sr (3,2 Bq/kg) was accumulated by fish roe of perch. Heavy metals (cadmium, copper, zinc and lead), and natural radionuclides ^{226}Ra and ^{232}Th were accumulated to a greater amount of bream fish roe.

Keywords: radionuclides, heavy metals, fish, fish roe, the Zaporizhya Reservoir.

Надійшла 26.09.2012

Received 26.09.2012