

© 2011 О. Л. Зарубин, В. А. Лактионов, Б. А. Мошна,  
**В. В. Бабенко**, Т. А. Литвинская, В. А. Костюк, И. А. Малюк*Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев***ТЕХНОГЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ПРЭСНОВОДНЫХ РЫБАХ УКРАИНЫ  
ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧАЭС**

Подведены итоги многолетних исследований содержания  $^{131}\text{I}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в пресноводных рыбах Украины после аварии на ЧАЭС. Изучено распределение данных радионуклидов в различных органах и тканях рыб.

*Ключевые слова:* ЧАЭС, рыбы, содержание,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ .

**Введение**

Не считая ядерных установок различного предназначения, в настоящее время в мире только на АЭС существуют более 450 ядерных промышленных энергоблоков и ни один из них не защищен на 100 % от аварийных ситуаций, при которых искусственные радионуклиды (РН) могут поступать в водные экосистемы. Даже самые высокие современные технологии не могут гарантировать безаварийную работу АЭС при стихийных бедствиях, что продемонстрировано в марте 2011 г. авариями (с поступлением РН во внешнюю среду) на японских АЭС Онагава и Фукусима-1, вызванных землетрясением.

В результате аварии на ЧАЭС все водоемы Украины в различной степени были загрязнены РН. Наибольшие уровни удельной активности фиксировались в водоемах 30-километровой зоны и водоеме-охладителе ЧАЭС (ВО), где суммарное содержание РН в рыбах превышало 1000 кБк/кг. Чернобыльские РН накапливались разными органами и тканями рыб различных видов неодинаково. Кроме того, параметры накопления РН рыбами во многом зависят от физико-химической формы поступления этих РН в водные экосистемы. Например, коэффициенты накопления  $^{103}\text{Ru}$  рыбами разных водоемов увеличивались с расстоянием от ЧАЭС, что, очевидно, связано с распространением более мелких фракций топливных частиц, содержащих  $^{103}\text{Ru}$ , на большие расстояния как аэрозольным, так и водным путем и/или изменением формы нахождения этого РН при его поступлении в разные водоемы.

**Материал и методика исследований**

С 1 мая 1986 г. основная часть исследований содержания РН в рыбах проведена на акватории Каневского водохранилища р. Днепр (КВ) и с августа 1986 г. на акватории ВО.

Отлов рыб проводился сотрудниками Института ядерных исследований НАН Украины любительскими снастями (спиннинг, удочка) и ставными сетями с размером ячеи от 20 до 150 мм.

Подготовка к измерениям заключалась в отделении органов и тканей рыб друг от друга с последующей гомогенизацией отобранного материала. Подготовку к измерениям и измерения содержания  $^{90}\text{Sr}$  проводили стандартными радиохимическими методами. Измерения содержания остальных РН проводили по стандартным методикам гамма-спектрометрии. Аппаратура была аттестована и проходила регулярные плановые проверки.

В связи с относительно коротким периодом полураспада большинства РН после 1990 г. основное внимание уделялось изучению содержания в рыбах  $^{137}\text{Cs}$ , который активно накапливался рыбами.

Удельная активность РН в рыбах рассчитана на сырую, естественную массу.

**Результаты исследований и их обсуждение**

В упрощенной форме основные закономерности накопления РН рыбами и распределение их по органам и тканям (кроме желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) и его содержимого) представлены в таблице.

**КВ.** По-видимому, из-за короткого периода полураспада и труднодоступной для рыб физико-химической формы  $^{132}\text{Te}$ ,  $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{239}\text{Np}$ , в рыбах нами не были обнаружены, хотя присутствовали в воде и водной растительности.

$^{131}\text{I}$  и  $^{140}\text{Ba}$  в рыбах регистрировали в рыбах КВ уже через 1 - 4 сут после поступления этих РН в акваторию КВ (01-04.1986 г.), причем удельная активность этих РН в ихтиофагах достигала 2,5 кБк/кг и была значительно выше по сравнению с рыбами низких трофических уровней. Это свидетельствует о ведущей роли накопления рыбами  $^{131}\text{I}$  и  $^{140}\text{Ba}$  непосредственно из во-

**Накопление искусственных радионуклидов органами и тканями рыб различных экологических групп после аварии на ЧАЭС**

Нуклид	Основные группы рыб-концентраторов	Основные органы-накопители (в порядке снижения удельной активности нуклида)
<sup>131</sup> I	Ихтиофаги, бентофаги	Мягкие ткани, все тело
<sup>140</sup> Ba	Ихтиофаги, бентофаги	Мягкие ткани, все тело
<sup>54</sup> Mn	Планктофаги, бентофаги, полифаги	Все тело
<sup>154</sup> Eu	Бентофаги, планктофаги, полифаги	Чешуя, кожа, голова, кости, печень, почки, икра, плавники, мышцы
<sup>125</sup> Sb	Планктофаги, бентофаги, фитофаги, полифаги	Голова, жабры, плавники, печень
<sup>95</sup> Zr	Планктофаги, бентофаги, полифаги	Голова, жабры, плавники, чешуя
<sup>95</sup> Nb	Планктофаги, бентофаги, полифаги	Жабры, голова, плавники, чешуя
<sup>141</sup> Ce, <sup>144</sup> Ce	Планктофаги, бентофаги	Плавники, жабры, чешуя
<sup>103</sup> Ru, <sup>106</sup> Ru	Планктофаги, бентофаги, полифаги	Чешуя, плавники, голова, жабры
<sup>65</sup> Zn	Бентофаги, планктофаги, ихтиофаги (судак)	Плавники, чешуя, голова, икра, кожа, жабры, позвоночник, почки
<sup>60</sup> Co	Планктофаги, бентофаги, фитофаги, полифаги	Почки, икра, плавники
<sup>110m</sup> Ag	Планктофаги, бентофаги	Печень, почки, икра, плавники
<sup>137</sup> Cs, <sup>134</sup> Cs	Ихтиофаги, полифаги, бентофаги	Белые мышцы, сердце, красные мышцы, позвоночник, половые продукты, мягкие ткани
<sup>90</sup> Sr	Бентофаги, фитофаги, полифаги	Чешуя, кости, позвоночник, плавники, голова

ды, вероятно, через кожу и жабры. При этом пищевой путь поступления <sup>131</sup>I и <sup>140</sup>Ba организм рыб представляется менее значимым. По органам и тканям рыб <sup>131</sup>I и <sup>140</sup>Ba распределялись относительно равномерно.

**ВО.** В первые годы после аварии на ЧАЭС удельная активность <sup>54</sup>Mn в рыбах ВО была значительно, на несколько порядков величин, ниже активности других РН (см. таблицу) и находилась в пределах 0,01 - 0, 50 кБк/кг.

Бентофаги и планктофаги содержали несколько больше <sup>54</sup>Mn по сравнению с ихтиофагами. В организме рыб <sup>54</sup>Mn распределялся относительно равномерно [1].

Сходными с <sup>54</sup>Mn характеристиками накопления рыбами ВО обладает <sup>154</sup>Eu. Его удельная активность в рыбах по сравнению с другими РН тоже была значительно ниже (0,01 - 4,50 кБк/кг). Как и <sup>54</sup>Mn, <sup>154</sup>Eu распределялся по организму рыб также относительно равномерно.

<sup>125</sup>Sb встречался в отдельных пробах «мирных» видов рыб. В рыбах он регистрировался, в основном, в пищевом комке и в ЖКТ планктофагов, бентофагов и фитофагов (до 7,2 кБк/кг) [2].

<sup>95</sup>Zr регистрировался в девяти видах рыб, причем за исключением одной пробы ихтиофага – жереха, все остальные пробы были представлены «мирными» видами рыб – планктофагами, бентофагами и фитофагами. Наибольшее количество <sup>95</sup>Zr (до 60 кБк/кг сырой массы) обнаруживалось в ЖКТ бентофагов. По-видимому, практически весь <sup>95</sup>Zr находился в виде нерас-

творимых частиц, которые попадали с кормом в содержимое ЖКТ. Вероятно, отдельные частицы могли быть фиксированы на органах и тканях рыб, которые непосредственно контактируют с водой [3].

Параметры накопления <sup>95</sup>Nb рыбами ВО, в том числе распределение <sup>95</sup>Nb по органам и тканям рыб, сходны с таковыми у <sup>95</sup>Zr, но уровни удельной активности <sup>95</sup>Nb в рыбах ВО были примерно в 2 раза выше. Так, в отдельных образцах содержимого ЖКТ планктофагов удельная активность <sup>95</sup>Nb достигала 80–200 кБк/кг.

В 1987 - 1988 гг. в ВО в рыбах низких трофических уровней эпизодически регистрировался <sup>141</sup>Ce, причем, как правило, он находился в ЖКТ и в его содержимом (до 5 кБк/кг). Иногда <sup>141</sup>Ce регистрировался в наружных органах (до 1 кБк/кг) [4].

Наибольшее количество <sup>144</sup>Ce, как правило, отмечалось во внутренних органах и ЖКТ планктофагов, бентофагов и фитофагов, где его удельное содержание обычно варьировало от 1 до 500 кБк/кг. Максимум удельной активности <sup>144</sup>Ce в рыбах был отмечен в ЖКТ белого толстолоба в октябре 1987 г., где она достигала 7500 кБк/кг. В меньших количествах (0,01 - 1 кБк/кг) этот РН регулярно регистрировался в органах и тканях, непосредственно контактирующих с водой: жабры, плавники, чешуя. Гораздо реже <sup>144</sup>Ce отмечался в мышечной, костной и жировой тканях, где его содержание редко превышало 0,10 кБк/кг [5].

$^{106}\text{Ru}$ , в основном, регистрировался в ЖКТ бентофагов, фитофагов, планктофагов и рыб со смешанным типом питания. В ихтиофагах  $^{106}\text{Ru}$  был отмечен только в судаке и жерехе, где его удельная активность была значительно ниже, чем в рыбах низких трофических уровней. Максимум удельной активности  $^{106}\text{Ru}$  (2800 кБк/кг) зарегистрирован в ЖКТ белого толстолоба. В других органах и тканях его удельное содержание не превышало 100 кБк/кг. В мышцах и позвоночнике  $^{106}\text{Ru}$  встречался в исключительных случаях в незначительном количестве. Частое присутствие  $^{106}\text{Ru}$  в плавниках возможно обусловлено поверхностной фиксацией частиц, содержащих  $^{106}\text{Ru}$ , однако это предположение неоднозначно и требует дальнейшего анализа [6].

$^{103}\text{Ru}$  встречался в рыбах значительно реже, чем  $^{106}\text{Ru}$ , и также, в основном, регистрировался в ЖКТ бентофагов, фитофагов, планктофагов и рыб со смешанным типом питания, в которых его удельное содержание не превышало 7 кБк/кг. Иногда  $^{103}\text{Ru}$  регистрировался в органах и тканях, непосредственно контактирующих с водой, что предполагает их поверхностное загрязнение этим РН. Следует отметить, что в отличие от  $^{106}\text{Ru}$  интенсивность накопления  $^{103}\text{Ru}$  рыбами увеличивается с расстоянием от ЧАЭС, что, очевидно, связано с изменением размера топливных частиц, содержащих  $^{103}\text{Ru}$ , и/или изменением формы нахождения этого РН [7].

$^{65}\text{Zn}$  в подавляющем большинстве проб компонентов ВО встречался в рыбах, в которых его удельная активность достигала 6 кБк/кг сырой массы. Наибольшая удельная активность  $^{65}\text{Zn}$  чаще регистрировалась в плавниках, чешуе, жабрах, голове, коже и других органах и тканях, непосредственно контактирующих с водой, а также в икре [8].

Удельная активность  $^{60}\text{Co}$  в рыбах не превышала 3 кБк/кг (за исключением одной единственной пробы внутренних органов белого толстолоба, в которой она  $^{60}\text{Co}$  составила 44 кБк/кг). Наибольшее удельное содержание  $^{60}\text{Co}$  регистрировалось в рыбах низких трофических уровней – в белом и пестром толстолобах (планктофаги) и сазане (бентофаг). Менее всего  $^{60}\text{Co}$  было обнаружено в судаке и жерехе (облигатные ихтиофаги). Распределение  $^{60}\text{Co}$  по различным органам и тканям рыб было неодинаково. Как правило, максимум содержания  $^{60}\text{Co}$  регистрировался в почках, затем во внутренних органах, содержимом кишечника, икре и плавниках. Минимум удельного содержания  $^{60}\text{Co}$  был обнаружен в сердце, желудке сома обыкновенного и сома канального, ребрах, жире. Остальные органы и ткани в содержании  $^{60}\text{Co}$  занимали промежуточ-

ное положение. По частоте встречаемости  $^{60}\text{Co}$  среди исследованных образцов органов и тканей рыб на первые места выходят внутренние органы, голова, жабры, плавники, кожа, икра, печень, плавательный пузырь, жир, красные мышцы, позвоночник.

Натурные экспериментальные работы, проведенные на акватории ВО, показали, что  $^{60}\text{Co}$  поступает в организм исследованных видов рыб как по трофической цепи, так и непосредственно из воды. Вклад трофического пути в накопление  $^{60}\text{Co}$  рыбами низких трофических уровней, вероятно, более значим по сравнению с накоплением этого РН ихтиофагами [9].

$^{110\text{m}}\text{Ag}$  встречался, в основном, в планктофагах и бентофагах. Максимум его удельного содержания зарегистрирован во внутренних органах белого и пестрого толстолобов – до 2,3 кБк/кг. Основными органами-накопителями  $^{110\text{m}}\text{Ag}$  являются печень и икра. В костной ткани  $^{110\text{m}}\text{Ag}$  обнаружен не был. Ряд повышения содержания  $^{110\text{m}}\text{Ag}$  в органах и тканях представляется следующим образом: мышцы < чешуя < жабры < плавники < содержимое ЖКТ < икра < почки < внутренние органы (все вместе внутренние органы с содержимым ЖКТ) < печень. За исключением жереха,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$  в ихтиофагах найден не был [10].

В течение 1987 - 2004 гг. содержание  $^{90}\text{Sr}$  в воде ВО было всегда ниже, чем  $^{137}\text{Cs}$ . Такое отношение  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$  в воде, всегда < 1, исключительно, и среди других водоемов 30-километровой зоны ЧАЭС характерно только для ВО [11]. В других исследованных водоемах вклад  $^{90}\text{Sr}$  в суммарную удельную активность рыб может существенно возрастать.

Низкое (относительно  $^{137}\text{Cs}$ ) содержание  $^{90}\text{Sr}$  в воде ВО обуславливает довольно малое содержание этого РН в рыбах ВО. Наибольшая удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  (до 3,5 кБк/кг) была характерна для рыб низких трофических уровней (фитофаги, детритофаги, бентофаги) и полифагов. Так как коэффициент перехода  $^{90}\text{Sr}$  по участку пищевой цепи «мирные рыбы → хищные рыбы» < 1, то в ихтиофагах ВО  $^{90}\text{Sr}$  регистрировался в меньшем количестве – до 0,2 кБк/кг. В основном  $^{90}\text{Sr}$  аккумулируется в костной ткани, чешуе и коже. Наименьшее его удельное содержание регистрировалось в мышцах, половых продуктах и печени рыб. В исследованных водоемах удельная активность  $^{90}\text{S}$  в мышцах рыб значительно, на 1-2 порядка, ниже удельной активности  $^{137}\text{Cs}$ .

Хотя поведение  $^{134}\text{Cs}$  в экосистеме ВО имеет некоторые особенности [16], все же основные закономерности распределения этого РН по компонентам ВО и параметры его накопления рыба-

ми сходны с таковыми у  $^{137}\text{Cs}$ , поэтому отдельно  $^{134}\text{Cs}$  здесь мы не рассматриваем.

Почти 100 %  $^{137}\text{Cs}$  поступает в организм пресноводных рыб по пищевому пути [12, 13] и активно накапливается рыбами. После аварии 1986 г. радионуклидное загрязнение рыб низких трофических уровней и полифагов ВО достигло максимальных значений в течение четырех месяцев. Так, в мышцах канального сома в августе 1986 г. удельное содержание  $^{137}\text{Cs}$  достигало 613 кБк/кг. В этот период наиболее высокое содержание  $^{137}\text{Cs}$  регистрировалось в «мирных» видах рыб, а через 4 - 18 месяцев – в хищных рыбах [14, 15]. В дальнейшем удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в рыбах начинает снижаться. Характерный ряд усредненной удельной активности содержания  $^{137}\text{Cs}$  в мышцах различных видов рыб ВО представлен на примере 1990 г. (кБк/кг): белоглазка (4,90) < красноперка (7,07) < карп зеркальный (9,81) < лещ (10,65) < густера (12,42) < плотва (13,00) < карась серебряный (14,52) < сазан (15,14) < сом канальный (15,76) < толстолоб белый (16,87) < язь (18,35) < бычки разных видов (30,52) < сом (32,51) < чехонь (40,05) < жерех (45,10) < окунь (62,26) < судак (81,02).

К 2008 - 2010 гг. удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в мышцах рыб ВО снизилась до 1,5 - 20 кБк/кг.

На примере белого толстолоба, отловленного на акватории ВО 7 марта 1990 г., показан характерный ряд удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  (кБк/кг) в органах и тканях рыб: жир (0,54) < глаза (1,10) < плавательный пузырь (1,19) < плавники (1,26) < кожа (1,31) < чешуя (2,06) < жабры (2,32) < печень (2,38) < голова (3,06) < мышцы красные (3,67) < почки (5,09) < икра (6,57) < позвоночник (9,85) < сердце (11,26) < мышцы белые (14,45) < содержимое ЖКТ (67,20).

Независимо от снижения удельной активности в рыбах ВО с течением времени, с 1988 - 1990 гг. по 2010 г. распределение  $^{137}\text{Cs}$  по органам и тканям рыб ВО практически не меняется.

### Выводы

$^{132}\text{Te}$ ,  $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{239}\text{Np}$ , по-видимому, из-за короткого периода полураспада и, вероятно, труднодоступной физико-химической формы, не успевали значительно накапливаться рыбами.

Удельная активность  $^{131}\text{I}$  и  $^{140}\text{Ba}$  в рыбах достигла наибольших значений уже через несколько дней после поступления этих РН в водоемы, обуславливая в этот период значительные дозы облучения рыб.  $^{131}\text{I}$  и  $^{140}\text{Ba}$ , в основном, накапливались рыбами непосредственно из воды, причем распределялись эти РН по органам и тканям относительно равномерно.

В ВО, за редким исключением, образцы, со-

держащие  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{106}\text{Ru}$  и  $^{103}\text{Ru}$ , состояли из внутренних органов (все вместе внутренние органы с содержимым ЖКТ) либо из органов и тканей, непосредственно контактирующих с водой. В мышцах и костной ткани данные РН почти не встречались.

В хищных видах рыб ВО  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{106}\text{Ru}$  и  $^{103}\text{Ru}$  встречались крайне редко. Бентофаги при питании заглатывают некоторое количество донных отложений. Планктофаги получают значительное количество РН, зафиксированных на их корме – планктоне и взвесьях. Наличие  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{106}\text{Ru}$  и  $^{103}\text{Ru}$  во внутренних органах и пробах «целиком» планктофагов и бентофагов ВО наверняка объясняется попаданием этих РН в ЖКТ вместе с пищей. Присутствие  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ , и  $^{103}\text{Ru}$  в слизи, чешуе, коже, жабрах и плавниках позволяет сделать предположение об их поверхностном загрязнении данными РН, а не об активном их накоплении. Таким образом, в ВО не было активного накопления  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{106}\text{Ru}$  и  $^{103}\text{Ru}$  рыбами, что, вероятно, связано с недоступностью этих РН для рыб, так как данные РН находились, в основном, в виде труднорастворимых топливных частиц. Все же объяснить частое присутствие  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{106}\text{Ru}$  и  $^{103}\text{Ru}$  в тканях, непосредственно контактирующих с водой *только* поверхностной фиксацией частиц, содержащих данные РН, очевидно недостаточно. Данная проблема неоднозначна и требует дальнейшего анализа.

$^{65}\text{Zn}$ ,  $^{60}\text{Co}$  и  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ , активно накапливаясь рыбами как по трофическому пути, так и непосредственно из воды, могут представлять угрозу как для биоты, так и для человека при потенциальном поступлении в водную среду.

Повышенная, по сравнению с большинством РН, растворимость  $^{90}\text{Sr}$  в воде исследованных водоемов определяет его доступность для гидробионтов, в том числе рыб. Уровни удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  в воде определяют степень радиационной опасности данного РН для гидробионтов каждого конкретного водоема.

Начиная с августа 1986 г. и по настоящее время (2010 г.),  $^{137}\text{Cs}$  является основным дозообразующим РН для рыб большинства крупных пресноводных водоемов Украины.

По сравнению с другими РН коэффициенты накопления  $^{137}\text{Cs}$  органами и тканями пресноводных рыб являются одними из самых высоких и достигают 10000. Накапливаясь в мышцах,  $^{137}\text{Cs}$  представляет существенную опасность для рыб и человека.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ

1. Зарубін О.Л. Вміст  $^{54}\text{Mn}$  в екосистемі водойми-охолоджувача ЧАЕС // Бюлетень екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. - 2008. - № 2 (32). - С. 26 - 30.
2. Зарубин О.Л. Содержание  $^{125}\text{Sb}$  в водных экосистемах после аварии на Чернобыльской АЭС // Сб. науч. ст. XV Междунар. науч.-практ. конф. «Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов» (4 - 8 июня 2007 г., г. Шелкино, АР Крым) в 2-х т. - Т. 2 / УкрГНТЦ «Энергосталь». - Харьков: Издательство «Сага», 2007. - С. 233 - 239.
3. Зарубін О.Л. Вміст  $^{95}\text{Zr}$  у компонентах екосистеми водойми-охолоджувача ЧАЕС // Бюлетень екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. - 2007. - № 2 (30). - С. 44 - 49.
4. Зарубін О.Л. Вміст  $^{141}\text{Ce}$  у компонентах водних екосистем після аварії на ЧАЕС // Зб. тез Всеукраїн. наук. семінару «Біомедична електроніка та фізичні методи в екології». - 13 - 16 вересня 2007 р. - Львів-Ворохта, Україна. - С. 44.
5. Зарубин О.Л.  $^{144}\text{Ce}$  в компонентах водных и прибрежных экосистем водоема-охладителя и Каневского водохранилища после аварии на Чернобыльской АЭС // Зб. науч. ст. III Міжнар. наук.-практ. конф. «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення», м. Алушта, АР Крим, Україна, 10 - 14 вересня 2007 р., т. 1. - Харків: Райдер, 2007. - С. 217 - 220.
6. Зарубин О.Л. Содержание  $^{106}\text{Ru}$  в рыбах Каневского водохранилища и водоема-охладителя Чернобыльской АЭС после аварии 1986 г. // Сб. науч. ст. XVI Междунар. науч.-практ. конф. «Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов» (2 - 6 июня 2008 г., г. Шелкино, АР Крым) в 2 т. - Т. 1 / УкрГНТЦ «Энергосталь». - Харьков: Издательство «Сага», 2008. - С. 43 - 48.
7. Зарубин О.Л. Содержание  $^{103}\text{Ru}$  в компонентах пресноводных и прилегающих к ним наземных экосистем после аварии на ЧАЭС // Ядерная физика та енергетика. - 2007. - № 4 (22). - С. 94 - 99.
8. Зарубін О.Л. Вміст  $^{65}\text{Zn}$  в рибах водойми-охолоджувача ЧАЕС // Бюлетень екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. - 2008. - № 1 (31). - С. 30 - 34.
9. Зарубін О.Л. Вміст  $^{60}\text{Co}$  у компонентах екосистеми водойми-охолоджувача ЧАЕС // Там же. - 2009. - № 2 (34). - С. 29 - 36.
10. Зарубин О.Л. Радиоактивное серебро в пресноводных экосистемах Украины после аварии на ЧАЭС // Гидробиол. журн. - 2001. - Т. 37, № 4. - С. 62 - 68.
11. Зарубин О.Л. Динамика содержания радионуклидов в воде водоема-охладителя Чернобыльской АЭС (1978 - 2004) // Ядерная физика та енергетика. - 2006. - № 1 (17). - С. 73 - 85.
12. Зарубин О.Л. Влияние доступности корма на накопление  $^{137}\text{Cs}$  рыбами в водоеме-охладителе Чернобыльской АЭС // Гидробиол. журн. - 2005. - Т. 41, № 2. - С. 58 - 72.
13. Зарубин О.Л. Количественные характеристики путей поступления  $^{137}\text{Cs}$  в организм карпа и канального сома в водоема-охладителя Чернобыльской АЭС // Там же. - 2006. - Т. 42, № 3. - С. 74 - 80.
14. Зарубин О.Л. Динамика распределения  $^{137}\text{Cs}$  в наружных и внутренних органах и тканях рыб различных экологических групп водоема-охладителя Чернобыльской АЭС // Зб. науч. праць Ін-ту ядерних досл. - 2005. - № 1 (14). - С. 119 - 127.
15. Зарубин О.Л.  $^{137}\text{Cs}$  в съедобной части промысловых видов рыб зоны отчуждения и зоны безусловного (обязательного) отселения // Проблемы радиационной медицины та радіобіології. - 2005. - Вип. 11. - С. 558 - 564.
16. Зарубин О.Л., Шатрова Н.Е. Поведение Cs-137 и Cs-134 в некоторых компонентах зоны отчуждения ЧАЭС // Матеріали щорічної наук. конф. Ін-ту ядерних досл. - К., 1997. - С. 365 - 368.

О. Л. Зарубін, В. О. Лактіонов, Б. О. Мошна,  
**В. В. Бабенко**, Т. О. Літвінська, В. А. Костюк, І. А. Малюк

### ТЕХНОГЕННІ РАДІОНУКЛІДИ У ПРІСНОВОДНИХ РИБАХ УКРАЇНИ ПІСЛЯ АВАРІЇ НА ЧАЕС

Підбито підсумки багаторічних досліджень вмісту  $^{131}\text{I}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  і  $^{137}\text{Cs}$  у прісноводних рибах України після аварії на ЧАЕС. Вивчено розподіл цих радіонуклідів у різних органах і тканинах риб.

Ключові слова: ЧАЕС, риби, вміст,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ .

O. L. Zarubin, V. A. Laktionov, B. O. Moshna,  
V. V. Babenko, T. A. Litvinska, V. A. Kostyuk, I. A. Malyuk

**TECHNOGENIC RADIONUCLIDES IN FRESHWATER FISHE OF UKRAINE  
AFTER THE ACCIDENT AT THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT**

Results of long-term research of  $^{131}\text{I}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  content in freshwater fish of Ukraine after the Chernobyl accident were summing-up. The distribution of these radionuclides in various organs and tissues of fish was studied.

*Keywords:* Chernobyl Nuclear Power Plant, fish, content,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ .

Поступила в редакцию 04.04.11,  
после доработки - 30.05.11.