

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК
НА РЫБ КАНЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА© 2010 Е. Н. Волкова¹, В. В. Беляев¹, О. Л. Зарубин², В. А. Костюк²¹ Институт гидробиологии НАН Украины, Киев² Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Изучали формирование поглощенной дозы облучения для разных видов рыб Каневского водохранилища от инкорпорированных радионуклидов, воды и донных отложений. При расчете учитывали особенности миграционного поведения рыб и пространственное распределение радионуклидов по площади дна. Установлено, что годовая доза облучения рыб составляет от 170 до 1300 мкГр/год.

Ключевые слова: рыбы, поглощенная доза, Каневское водохранилище, ¹³⁷Cs.

Вступление

Влияние ионизирующего излучения на естественные биологические системы составляет важную проблему радиобиологии. В настоящее время значительное внимание уделяется разработке регулирующих нормативов для защиты окружающей среды от эффектов хронического облучения, в частности сформулирована количественная шкала соотношений «мощность дозы – эффекты» для рыб северных и умеренных широт [1].

Большинство работ по определению дозовых эффектов у рыб проводилось в экспериментальных условиях, для которых определение поглощенной организмом дозы не вызывает затруднений. В естественных экосистемах во многих случаях тяжело определить четкую зависимость “доза – эффект”. В особенности это актуально для пресноводных экосистем, где возникает ряд проблем с определением дозовых нагрузок на организмы подвижных форм гидробионтов. Прежде всего это относится к представителям ихтиофауны со сложным миграционным поведением. Известно, что в пресноводных экосистемах основная масса радионуклидов сосредоточена в донных отложениях [2, 3]. При оценке дозы облучения рыб от донных отложений рекомендуется учитывать такие временные факторы, как погружение в донные отложения и пребывание на их поверхности [4]. Однако для пресноводных рыб вышеназванные факторы не изучались. Кроме того, при определении вклада донных отложений в формирование дозы облучения представителей ихтиофауны континентальных водоемов необходимо учитывать временной фактор пребывания рыб разных видов на различном расстоянии от поверхности донных отложений. Поэтому целью работы была оценка влияния миграционного поведения разных видов рыб Каневского водохранилища на формирование поглощенной дозы с учетом уровней радионуклидного загрязнения компонентов экосистемы в настоящее время.

Материалы и методы

В работе использованы литературные [5, 6] и собственные данные о содержании радионуклидов в водных массах, донных отложениях и промысловых видах рыб Каневского водохранилища. За период 2004 – 2007 гг. объектами исследований Каневского водохранилища были: плотва обыкновенная – *Rutilus rutilus* L.; линь озерный – *Tinca tinca* L.; густера – *Blicca bjoerkna* L.; лещ обыкновенный – *Abramis brama* L.; карась серебряный – *Carassius auratus* gibelio (Bloch); толстолобик белый – *Hypophthalmichthys molitrix* Valenciennes; сом обыкновенный – *Silurus glanis* L.; щука – *Esox lucius* L.; судак обыкновенный – *Stizostedion lucioperca* L.; окунь речной – *Perca fluviatilis fluviatilis* L. Дозовые нагрузки от инкорпорированных радионуклидов рассчитывались по [7]. При расчете дозовых нагрузок от внешнего облучения учитывалось только гамма-излучение радионуклидов. Для расчета дозовых нагрузок внешнего облучения рыб в приближении бесконечной геометрии использовались дозовые коэффициенты по [8].

Результаты исследований и их обсуждение

Дозовые нагрузки на организм рыб формируются за счет внешнего облучения – от воды и донных отложений и за счет внутреннего – от инкорпорированных радионуклидов. Доза внутреннего облучения рассчитывается по формуле

$$D = \sum C_{f(i)} K_{d(i)(\beta)} t, \quad i = 1, k, \quad (1)$$

где $C_{f(i)}$ – концентрация i -го радионуклида в организме рыбы, Бк/кг; $K_{d(i)(\beta)}$ – дозовый коэффициент i -го радионуклида (α - и β -излучение), (Гр/сут)/(Бк/кг); t – время облучения, сут.; k – количество радионуклидов.

В общем случае дозу облучения рыб от воды рассчитывают по формуле

$$D = \sum C_{w(i)} K_{d(i)(\gamma)} t, \quad i = 1, k, \quad (2)$$

где $C_{w(i)}$ – концентрация i -го радионуклида в водных массах, Бк/л; $K_{d(i)(\gamma)}$ – дозовый коэффициент i -го радионуклида (γ -излучение), (Гр/сут)/(Бк/кг); t – время облучения, сут; k – количество γ -излучающих радионуклидов.

Таким образом, для того чтобы определить сформированную за год поглощенную дозу внутреннего облучения рыб, достаточно иметь данные о среднегодовом содержании радионуклидов в организме разных видов. Внешнее облучение от воды рассчитывают исходя из среднегодовой концентрации радионуклидов в воде. При изменении удельного содержания радионуклида в организме или водных массах применяется средняя концентрация за период времени, в течение которого изменением концентрации можно пренебречь, затем суммируется доза, полученная организмом за такие периоды.

Сложнее оценить дозу облучения рыб от донных отложений. Во-первых, она обусловлена концентрацией и вертикальным распределением радионуклидов в донных отложениях. Как правило, радионуклиды, поступившие в экосистему крупных равнинных водохранилищ, распределяются по площади дна неравномерно. Для такого случая дозу облучения рыб от донных отложений рассчитывают по формуле

$$D = \sum \sum g_k P_i t_{ki}, \quad k = 1, l; \quad i = 1, n, \quad (3)$$

где P_i – мощность дозы на поверхности донных отложений различных участков водоема, мкГр/сут; g_k – поправка на геометрические условия облучения рыб, учитывающая и поглощение в слое воды (геометрический фактор); t_{ki} – время нахождения рыбы в зоне влияния донных отложений на различных участках при геометрическом факторе g_k , сут; l – количество периодов с разными значениями g_k ; n – количество участков водоема с разной мощностью дозы облучения на поверхности донных отложений. Для случая, когда послонную стратификацию радионуклидного загрязнения донных отложений можно представить в приближении бесконечной геометрии, мощность дозы на поверхности донных отложений рассчитывается по формуле [9]

$$P = 0,5 \sum C_{sed(i)} K_{d(i)(\gamma)}, \quad i = 1, n, \quad (4)$$

где $C_{sed(i)}$ – концентрация i -го радионуклида в донных отложениях, Бк/кг естественной влажности; $K_{d(i)(\gamma)}$ – дозовый коэффициент i -го радионуклида, (Гр/сут)/(Бк/кг).

Таким образом, поглощенная доза зависит также от миграционного поведения рыб, которое обуславливает геометрический фактор облучения (g_k) и время облучения в этих условиях (t_k).

Оценивая величину сформированной за год поглощенной дозы облучения рыб от донных отложений, мы попытались, с одной стороны, учесть особенности поведения рыб разных видов, с другой – выявить общие для разных видов закономерности поведения и максимально упростить оценку дозовых нагрузок на организм. Поведение рыб обуславливают несколько групп факторов. Пищевое поведение зависит от состава рациона и расположения кормовых объектов относительно донных отложений [10 – 12], что, в свою очередь, влияет на вертикальное распределение рыб разных видов в водных массах и, в конечном итоге, на величину геометрического фактора облучения рыб. Время нахождения рыб в разных слоях водных масс зависит от способа добывания пищи, подвижности рыб, погодных условий и особенностей зимовки [10 – 12].

Для расчета дозовых нагрузок на организм рыб от донных отложений мы ограничились тремя периодами годового жизненного цикла этих гидробионтов – нагула, неблагоприятных метеорологических условий (шторм, ливни и др.) и зимовки. Кроме того, выделили четыре условных уровня расположения рыб относительно донных отложений: 1-й – нахождение в толще донных отложений; 2-й – на поверхности донных отложений; 3-й – на расстоянии около 50 см от дна; 4-й – на расстоянии более чем 50 см от дна. В настоящее время для рыб водоемов Украины основным дозообразующим от донных отложений радионуклидом является ^{137}Cs . Поэтому величину геометрического коэффициента облучения рассчитывали именно для этого радионуклида на основании методических указаний [9]. Для рыб, находящихся в донных отложениях, доза облучения соответствует дозе, создаваемой γ -излучением в объеме донных отложений. На поверхности донных отложений геометрический коэффициент принят равным 0,5, на 3-м уровне – 0,05, на 4-м – 0. Таким образом, можно выделить восемь временных экологических группировок рыб референтных видов (табл. 1). Группировку А(2) составляют типичные бентофаги и придонный хищник, которые в период нагула не менее 40 – 60 % времени находятся на поверхности донных отложений; А(3) – подстерегающие хищники, располагающиеся в зоне воздействия донных отложений, а группировку А(4) – типичные плантофаги и хищники, преследующие добычу в водной толще. В период неблагоприятных погодных условий (шторм, сильный ветер, ливни), как правило, практически все виды пресноводных рыб перемещаются в глубоководные участки [11, 12] и образуют группировку Б(2). Рыбы,

зимующие в толще донных отложений, формируют группировку В(1), в зимовальных ямах – В(2). Хищники, не погружающиеся на зимний

период в спячку, и планктофаги, зимующие в толще воды, образуют группировки В(3) и В(4).

Таблица 1. Видовой состав временных экологических группировок рыб Каневского водохранилища

Уровни	Период нагула	Период неблагоприятных условий	Период зимовки
1	-*	-*	В(1): карась, линь
2	А(2): карась, линь, лещ густера, плотва, сом	Б(2): карась, линь, лещ густера, плотва, сом, щука, окунь, толстолобик, судак	В(2): лещ густера, плотва, сом
3	А(3): щука, окунь	-*	В(3): щука, окунь
4	А(4): толстолобик, судак	-*	В(4): толстолобик, судак

* Для выбранных референтных видов группировка не образуется.

Примечание. А(i), Б(i), В(i) – экологические группировки.

Учитывая особенности поведения рыб в течение года [10 – 12], мы оценили время пребывания рассматриваемых нами видов в зоне влияния донных отложений в различные периоды годового жизненного цикла (табл. 2). Это позволило вывести коэффициенты вертикального распределения, которые учитывают не только геометрию облучения рыб, но и временные интервалы пребывания рыб разных видов в зонах, отличающихся степенью влияния донных отложений (табл. 3).

Таблица 2. Время нахождения рыб в зоне влияния донных отложений в различные периоды годового жизненного цикла, сут/год

Виды рыб	Периоды		
	А	Б	В
Карась, линь, лещ, плотва, густера	50	54	120
Сом	71	72	120
Окунь, щука	67	72	120
Судак, толстолобик	0	54	0

Таблица 3. Коэффициенты вертикального распределения (К_v) для промысловых видов рыб

Виды рыб	Периоды		
	А	Б	В
Карась, линь	0,14	0,15	0,66
Сом	0,29	0,20	0,33
Лещ, плотва, густера	0,14	0,15	0,33
Окунь, щука	0,02	0,2	0,03
Судак, толстолобик	0	0,15	0

Обычно в крупных водоемах, где происходят сложные гидрологические процессы, интенсивнее загрязнены ¹³⁷Cs донные отложения глубоководных участков, т. е. зимовальных ям и акваторий, где рыбы находятся во время неблагоприятных погодных условий. Таким образом, формула (3) для расчета дозы облучения от ¹³⁷Cs, находящегося в донных отложениях, с учетом фор-

мулы (4) и коэффициентов, представленных в табл. 2, примет вид

$$D = 0,5K_{DOS} [C_A K_{V(A)} + C_B K_{V(B)} + C_V K_{V(B)}] 365, (5)$$

где K_{DOS} – дозовый коэффициент ¹³⁷Cs (γ-излучение), (Гр/сут)/(Бк/кг).

Теперь мы можем оценить суммарную дозу внутреннего и внешнего облучения рыб Каневского водохранилища от разных источников. На основании наших данных о содержании радионуклидов в ихтиофауне Каневского водохранилища было принято, что концентрация ⁹⁰Sr в организмах рыб составляет 5, ¹³⁷Cs – 10 и 30 Бк/кг для «мирных» и «хищных» видов соответственно. Среднегодовое содержание ¹³⁷Cs в водных массах в 1998 - 2007 гг. не превышало 20 Бк/м³ [5, 6]. На основании многолетних исследований пространственного и вертикального распределения радионуклидов в донных отложениях Каневского водохранилища нами установлено, что в местах нагула большинства бентосоядных видов рыб концентрация ¹³⁷Cs в дне составляет приблизительно 30 Бк/кг. Для более глубоководных участков, где рыбы находятся в период штормов, характерны величины порядка 300, для зимовальных ям – 600 Бк/кг естественной влажности. Подставив вышеперечисленные величины в формулы (1), (2), (5), мы определили годовую дозу облучения представителей ихтиофауны Каневского водохранилища (табл. 4).

Следует отметить, что на современном этапе водные массы вносят в суммарную дозу облучения рыб Каневского водохранилища менее 0,1 %. Вклад инкорпорированных радионуклидов в суммарную дозу облучения рыб мирных видов составляет 3 - 24 %, хищников – 8 - 34 %.

Таким образом, вклад водных масс в суммарную поглощенную за год дозу облучения половозрелых представителей промысловой ихтиофа-

Таблица 4. Оценка доз внутреннего и внешнего облучения промысловых видов рыб Каневского водохранилища в 2004 - 2008 гг., мкГр/год

Виды рыб	Источник облучения			Суммарная доза
	Инкорпорированные радионуклиды	Водные массы	Донные отложения	
Карась, линь	41	0,06	1267	1308
Сом	66	0,06	759	825
Лещ, плотва, густера	41	0,06	704	745
Окунь, щука	66	0,06	224	290
Судак	66	0,06	128	194
Толстолобик	41	0,06	128	169

уны Каневского водохранилища настолько незначителен, что им можно пренебречь. Поглощенная за год доза облучения рыб более чем на 60 % обусловлена донными отложениями. При

этом особенности поведения половозрелых особей обуславливают различия величин поглощенной за год дозы облучения рыбами разных видов до восьми раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крышев А.И. Динамическое моделирование переноса радионуклидов в гидробиоценозах и оценка последствий радиоактивного загрязнения для биоты и человека: Автореф. дис. ... доктора биол. наук / НПО "Тайфун". - Обнинск, 2008. - 50 с.
2. Радиогеоэкология водных объектов зоны влияния аварии на ЧАЭС / Под ред. О. В. Войцеховича. - К.: Чернобыльинтеринформ, 1997. - Т. 1 - 308 с.
3. Гидроэкологические уроки аварии на Чернобыльской АЭС / В. Д. Романенко, Д. И. Гудков, В. Г. Кленус и др. // Гидробиол. журн. - 2006. - Т. 42, № 4. - С. 3 - 37.
4. Handbook for assessment of the exposure of biota to ionising radiation from radionuclides in the environment / Ed. by J. Brown, P. Strand, Al. Hosseini. - Project within the EC 5th Framework Programme, Contract № FIGE-CT-2000-00102. - Framework for Assessment of Environmental Impact, 2003.
5. Зарубин О. О., Канивец В. В. Содержание радионуклидов в воде Каневского водохранилища после аварии на ЧАЭС 1986 г. // Зб. наук. праць Ін-ту ядерних досл. - 2005. - № 3 (16). - С. 110 - 121.
6. Екологічний стан урбанізованих заплавної водойми. Затока Берковщина / В. М. Тімченко, П. М. Линник, В. І. Щербак та ін. ; За ред. В. М. Тімченка, С. С. Дубняка. - К.: Ін-т гідробіології НАН України, 2009. - 68 с.
7. Гродзинский Д. М. Методика применения радиоактивных изотопов в биологии. - К.: Изд-во УАСХН, 1962. - 171 с.
8. Савинский А. К., Попов В. И., Кулямин В. А. Спектры ЛПЭ и коэффициент качества инкорпорированных радионуклидов: Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 144 с.
9. Защита от ионизирующих излучений: В 2 т. Т.1. Физические основы защиты от излучений / Н. Г. Гусев, В. А. Климанов, В. П. Машкович, А. П. Суворов; Под ред. Н. Г. Гусева. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 512 с.
10. Ивлев В. С. Экспериментальная экология питания рыб. - К.: Наук. думка, 1977. - 272 с.
11. Сабанев Л. П. Жизнь и ловля пресноводных рыб. - 7-е изд., стер. - К.: Урожай, 1994. - 608 с.
12. Изменчивость рыб пресноводных экосистем / Ред. Б. В. Кошелев, Ю. С. Решетников. - М.: Наука, 1979. - 218 с.

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ДОЗОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА РИБ КАНІВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

О. М. Волкова, В. В. Беляєв, О. Л. Зарубін, В. А. Костюк

Вивчали формування поглиненої дози опромінення для різних видів риб Канівського водосховища від інкорпорованих радіонуклідів, води та донних відкладів. Враховували особливості міграційної поведінки риб та просторовий розподіл радіонуклідів на площі дна. Установлено, що сформована за рік поглинена доза опромінення риб Канівського водосховища становить від 170 до 1300 мкГр/рік.

Ключові слова: риби, поглинена доза, Канівське водосховище, ^{137}Cs .

PARTICULARITIES OF DOSE LOAD FORMING FOR THE FISH IN KANEV RESERVOIR

O. M. Volkova, V. V. Belyaev, O. L. Zarubin, V. A. Kostyuk

Formation of absorbed dose for different species of fishes Kanev reservoir from incorporated radionuclides, water and sediment was studied. The distinct migratory behavior of fish and the spatial distribution of radionuclides in bottom area were considered. The absorbed radiation dose per year of fish ranged from 170 to 1300 $\mu\text{Gy}/\text{year}$.

Keywords: fishes, absorbed dose, Kanev reservoir, ^{137}Cs .

Поступила в редакцию 24.02.10,
после доработки - 19.04.10.