

УДК (577.34 : 597) (285.33)

Е. Н. Волкова, В. В. Беляев, Н. И. Гончаренко

ФОРМИРОВАНИЕ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК НА РЫБ КИЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Изучали формирование поглощенной дозы излучения для разных видов рыб Киевского водохранилища от инкорпорированных радионуклидов, воды, донных отложений. При расчете учитывали особенности миграционного поведения рыб и пространственное распределение радионуклидов по площади дна. Установлено, что поглощенная за год доза облучения рыб составляет от 400 до 7700 мкГр.

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

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 создана количественная шкала соотношений «мощность дозы — эффекты» для рыб северных и умеренных широт [7].

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 сложно определить четкую зависимость «доза — эффект». Особенно 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, поскольку рыбы разных экологических групп отличаются характером вертикального распределения и поведением на нагульных площадях и в период миграций [1, 15]. Известно, что в пресноводных экосистемах основная масса радионуклидов сосредоточена в донных отложениях [10—12]. При оценке дозы облучения рыб от донных отложений рекомендуется учитывать такие временные факторы, как погружение в донные отложения и пребывание на их поверхности [16]. Однако для пресноводных рыб влияние выше-названных факторов на формирование доз не изучалось. 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

© Волкова Е. Н., Беляев В. В., Гончаренко Н. И., 2010

оценка влияния миграционного поведения разных видов рыб Киевского водохранилища на формирование поглощенной дозы с учетом уровня радионуклидного загрязнения компонентов экосистемы.

Материал и методика исследований. В работе использованы литературные [6, 9, 10, 12] и собственные данные о содержании радионуклидов в водных массах, донных отложениях и половозрелых особях промысловых видов рыб Киевского водохранилища. Объектами исследований 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. Особенности видового поведения рыб определяли с учетом литературных данных [1, 4, 5, 8, 15]. Дозовые нагрузки от инкорпорированных радионуклидов рассчитывали по методике, предложенной Д. М. Гродзинским [2]. При расчете дозовых нагрузок от внешнего облучения учитывали только гамма-излучение радионуклидов. Для расчета дозовых нагрузок внешнего облучения рыб в приближении бесконечной геометрии использовали дозовые коэффициенты по [14].

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 -, 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 гамма-излучающих радионуклидов.

Таким образом, для того чтобы определить поглощенную рыбами за год дозу внутреннего облучения, 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 суммируются дозы, полученные 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

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

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} — продолжительность 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 послойную стратификацию радионуклидного загрязнения донных отложений можно представить в приближении бесконечной геометрии, мощностей дозы на поверхности донных отложений рассчитывается по следующей формуле [4]:

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

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 поглощенной рыбами за год дозы облучения от донных отложений, мы в рамках поставленных задач 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 [4, 5, 8, 13], что, в свою очередь, влияет на вертикальное распределение рыб разных видов в водных массах и, в конечном итоге, на величину геометрического фактора облучения. Время нахождения рыб в разных слоях водных масс зависит от погодных условий, способа добывания пищи, фазы годового жизненного цикла (нагул, нерест, зимовка) [4, 5, 8, 13].

Для расчета дозовых нагрузок на организм рыб от донных отложений мы ограничились наиболее продолжительными по времени периодами годового жизненного цикла этих гидробионтов — периодами нагула и зимовки, а также учли влияние неблагоприятных метеорологических условий (шторма, ливня, ветра и т. д.), на которые реагируют все рыбы, независимо от видовой принадлежности. 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 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 [3]. Для рыб, находящихся в донных отложениях, доза облучения соответствует дозе, создаваемой гамма-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. Для унификации производимых расчетов виды рыб можно сгруппировать в 8 временных группировок (табл. 1). Группировку А(2) составляют типичные и факультативные бентофаги и придонные хищники, которые в период нагула не менее 40—60% времени находятся на поверхности донных отложений, А(3) — подстерегающие хищники, располагающиеся в зоне воздействия донных отложений. Группировку А(4) образуют типичные планктофаги и хищники, преследующие добычу в водной толще. В период неблагоприятных погодных условий практически все виды пресноводных рыб перемещаются на глубоководные участки [5, 13], что позволяет считать их находящимися в равных условиях по отношению ко дну и объединить в 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).

Исходя из особенностей поведения рыб в течение года, мы рассчитали время пребывания каждого из рассматриваемых видов в составе отдельных группировок. Это позволило вывести коэффициенты вертикального распределения (K_v), которые учитывают не только геометрию облучения рыб, но и временные интервалы пребывания рыб разных видов в зонах, отличающихся степенью влияния донных отложений (табл. 2).

Обычно в крупных водоемах, где происходят сложные гидрологические процессы, интенсивнее загрязнены ^{137}Cs донные отложения глубоководных участков, то есть зимовальных ям и акваторий, где рыбы находятся во время неблагоприятных погодных условий. Таким образом, формула 3 для расчета дозы облучения от ^{137}Cs , депонированного в донных отложениях, с учетом формулы 4 и коэффициентов, представленных в таблице 2, примет вид:

$$D = 0,5 K_{DOS} [C_a K_{V(A)} + C_b K_{V(B)} + C_b K_{V(B)}] 365, \quad (5)$$

где K_{DOS} — дозовый коэффициент γ -излучения ^{137}Cs , (Гр/сут)/(Бк/кг); C_a , C_b , C_b — удельная активность ^{137}Cs в слое донных отложений соответствен-

1. Видовой состав временных экологических группировок рыб

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, щука, лещ, густера, плотва, сом, 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

Примечание. А(і), Б(і), В(і) — экологические группировки; × — для выбранных референтных видов группировка не образуется.

2. Коэффициент вертикального распределения (K_v) для промысловых видов рыб Киевского водохранилища

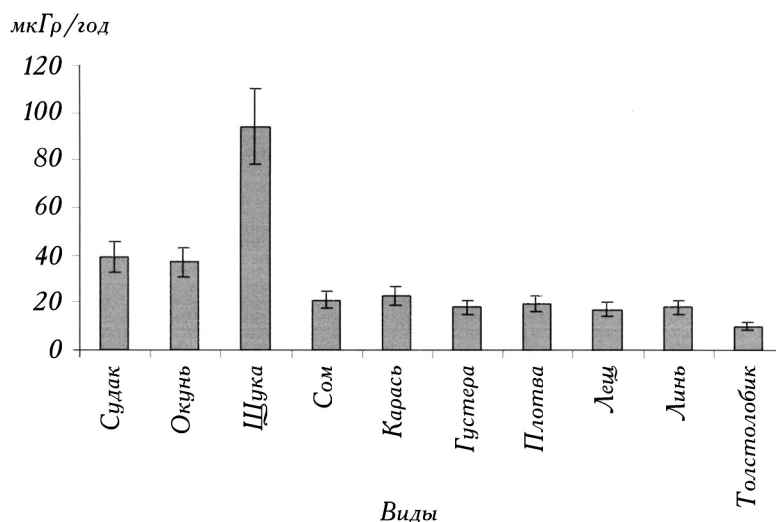
Виды рыб	Периоды		
	А	Б	В
Карась, линь	0,14	0,15	0,66
Сом	0,29	0,20	0,33
Лещ, плотва, густера	0,14	0,15	0,33
Окунь, щука	0,02	0,20	0,03
Судак, толстолобик	0,00	0,15	0,00

но в местах нагула, пребывания при неблагоприятных погодных условиях и зимовки, Бк/кг естественной влажности.

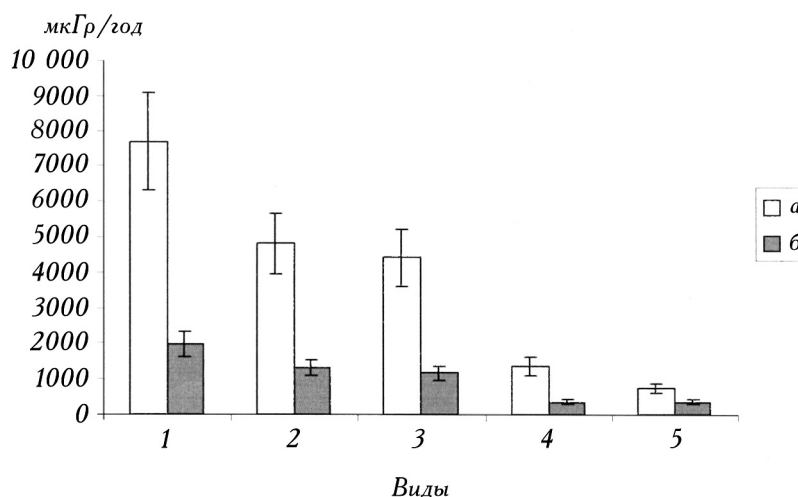
Теперь мы можем оценить суммарную дозу внутреннего и внешнего облучения рыб Киевского водохранилища от разных источников. На основании наших данных о содержании ^{90}Sr и ^{137}Cs в организмах рыб разных видов в 2009 г. установлено, что мощность дозы облучения рыб Киевского водохранилища от инкорпорированных радионуклидов составляла 10,2—112 мкГр/год (рис. 1). При этом достоверных различий уровня дозовых нагрузок для рыб одного и того же вида, выловленных на разных участках водохранилища, не зарегистрировано.

Среднегодовое содержание ^{137}Cs в водных массах в 2002—2008 гг. не превышало 0,1 Бк/л [6], из чего следует, что доза облучения рыб от воды не превышала 0,3 мкГр/год.

На акватории Припятского отрога Киевского водохранилища в местах нагула большинства бентосоядных видов рыб концентрация ^{137}Cs в донных отложениях составляет приблизительно 2000 Бк/кг. Для более глубоководных участков, где рыбы находятся в период штормов, характерны величины порядка 3500, для зимовальных ям — 7000 Бк/кг естественной влажности.



1. Мощность дозы облучения рыб Киевского водохранилища от инкорпорированных радионуклидов, 2009 г.



2. Мощность дозы облучения рыб Киевского водохранилища от донных отложений, 2009 г.: а — Припятский отрог; б — средняя и нижняя части плеса; 1 — карась, линь; 2 — сом; 3 — густера, плотва, лещ; 4 — щука, окунь; 5 — судак, толстолобик.

Для донных отложений средней и нижней частей плеса Киевского водохранилища в местах нагула характерны величины порядка 100, глубоководных участков и зимовальных ям — 1700 Бк/кг. Подставив вышеперечисленные величины в формулу 5, мы определили годовую дозу облучения представителей ихтиофауны Киевского водохранилища от донных отложений (рис. 2).

Полученные на основании расчетов данные свидетельствуют о том, что среди исследованных нами видов рыб наибольшие годовые дозы характерны для карася и линя, периодически зарывающихся в донные отложения, а

наименьшие — для рыб, ведущих преимущественно пелагический образ жизни, — судака и толстолобика. Обнаруженная зависимость величины полученной рыбами разного вида дозы от особенностей их поведения проявлялась на участках акватории Киевского водохранилища, загрязненных радионуклидами в разной степени.

Следует отметить, что на современном этапе водные массы вносят в суммарную дозу облучения рыб Киевского водохранилища менее 0,1%, инкорпорированные радионуклиды — не более 10%, то есть вклад этих составляющих в суммарную поглощенную за год дозу облучения половозрелых представителей промысловой ихтиофауны Киевского водохранилища незначителен. Поглощенная за год доза облучения рыб более чем на 90% определяется донными отложениями. При этом особенности пищевого поведения и пространственного распределения половозрелых особей в толще воды обуславливают различия величин поглощенной за год дозы облучения рыбами разных видов в 8—10 раз.

Заключение

Установлено, что формирование поглощенной дозы излучения для разных видов аборигенных рыб Киевского водохранилища от инкорпорированных радионуклидов, воды и донных отложений зависит преимущественно от концентрации радионуклидов в донных отложениях и от особенностей пространственного поведения рыб разных экологических групп в толще воды.

Величина поглощенной дозы излучения, при прочих равных условиях, определяется расстоянием от поверхности дна до слоя воды, в котором рыба осуществляет свое нагульное, зимовальное и другое поведение, а также временем нахождения рыбы в этом слое. Особенности поведения половозрелых особей обуславливают различия величин поглощенной рыбами разных видов за год дозы γ -излучения от дна на порядок.

**

Вивчали формування поглиненої дози опромінення для різних видів риб Київського водосховища від інкорпорованих радіонуклідів, води та донних відкладів. Враховували особливості міграційної поведінки риб та просторовий розподіл радіонуклідів на площі дна. Встановлено, що поглинена упродовж року рибами Київського водосховища доза складає від 400 до 7700 мкГр.

**

The formation of absorbed dose for different species of fishes of Kiev 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 400 to 7700 μ Gy.

**

1. Біологічне різноманіття України. Дніпропетровська область. Круглороті (Cyclostomata). Риби (Pisces) / За загальн. ред. проф. О. Є. Пахомова. — Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2008. — 304 с.

2. Гродзинский Д.М. Методика применения радиоактивных изотопов в биологии. — Киев: Изд-во УАСХН, 1962. — 171 с.
3. Защита от ионизирующих излучений.: В 2 т. Т.1. Физические основы защиты от излучений / Под ред. Н. Г. Гусева. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 512 с.
4. Ивлев В.С. Экспериментальная экология питания рыб. — Киев: Наук. думка, 1977. — 272 с.
5. Изменчивость рыб пресноводных экосистем / Под ред. Б. В. Кошелева, Ю. С. Решетникова. — М.: Наука, 1979. — 218 с.
6. Кірссв С.І., Гогун Б.О., Нікіміна Т.І. Радіаційний стан території зони відчуження у 2008 році // Бюл. екол. стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. — 2009. — № 1 (33). — С. 3—23.
7. Крышев А.И. Динамическое моделирование переноса радионуклидов в гидробиоценозах и оценка последствий радиоактивного загрязнения для биоты и человека: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. — Обнинск, 2008. — 50 с.
8. Никольский Г.В. Экология рыб.— М.: Высш. шк., 1979. — 368 с.
9. Новиков Б.И. Аккумуляция радиоактивных церия и цезия в верхней части Киевского водохранилища (1986—1990 гг.) // Проблемы чернобыльской зоны відчуження. — 1996. — Вип. 4. — С. 22—25.
10. Радиоактивное и химическое загрязнение Днепра и его водохранилищ после аварии на чернобыльской АЭС / В. Д. Романеко, М. И. Кузьменко, Н. Ю. Евтушенко и др. — Киев: Наук. думка, 1992. — 194 с.
11. Радиогеоэкология водных объектов зоны влияния аварии на ЧАЭС / Под ред. О. В. Войцеховича. — К.: Чернобыльинтеринформ, 1997. — Т. 1 — 308 с.
12. Романенко В.Д., Гудков Д.И., Кленус В.Г. и др. Гидроэкологические уроки аварии на Чернобыльской АЭС // Гидробиол. журн. — 2006. — Т. 42, № 4. — С. 3—37.
13. Сабанеев Л. П. Жизнь и ловля пресноводных рыб. — 7-е изд., стер. — Киев: Урожай, 1994. — 608 с.
14. Савинский А. К., Попов В. И., Кулямин В. А. Спектры ЛПЭ и коэффициент качества инкорпорированных радионуклидов: Справочник. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 144 с.
15. Фауна Украины. В 40 т. Т. 8. Рыбы. — Вып. 2, ч. 2. / Ю. В. Мовчан, А. И. Смирнов. — К.: Наук. думка, 1983. — 360 с.
16. 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.