

Е. Н. Волкова, В. В. Беляев, С. П. Пришляк, А. А. Пархоменко, В. А. Карапыш

Інститут гідробіології НАН України, Київ

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВЫСШИХ ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ КИЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Изучены особенности формирования радионуклидного загрязнения высших водных растений Киевского водохранилища в 2010 г. Впервые проанализированы уровни содержания  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в растениях разных участков водохранилища. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в растениях зарегистрировано в диапазоне от 5 до 588 Бк/кг,  $^{90}\text{Sr}$  – от 0,5 до 50 Бк/кг. Уровни радионуклидного загрязнения высших водных растений зависели от особенностей миграции радионуклидов по акватории с водными массами.

*Ключевые слова:* высшие водные растения,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , водная экосистема, Киевское водохранилище.

Киевское водохранилище является одним из наиболее загрязненных радионуклидами водоемов Украины, а его верхняя часть расположена в пределах зоны отчуждения ЧАЭС. Основные источники водоснабжения Киевского водохранилища – реки Припять и Днепр, образующие в верхней его части Припятский и Днепровский отроги. В свою очередь на территории водосбора р. Припять сосредоточена значительная часть радионуклидов чернобыльского выброса, а в экосистему водохранилища радиоактивные элементы поступают вследствие смыва с площади водосбора рек во время весенних паводков [1 - 5]. Первые результаты, отражающие закономерности накопления радионуклидов высшими водными растениями днепровских водохранилищ, были получены нами в течение вегетационного сезона 1986 г. [2, 3]. Значительные различия уровней накопления радионуклидов растениями, отобранными на разных участках Киевского водохранилища, можно было объяснить неравномерным выпадением аэрозолей на поверхность водоема. В дальнейшем, с 1987 г. и до настоящего времени, нами проводится постоянный мониторинг уровней радионуклидного загрязнения биотических компонентов полигонного участка в верхней части водохранилища, что позволяло отслеживать многолетнюю динамику содержания радионуклидов в растениях [2]. В то же время анализ данных, полученных в результате периодических отборов на других участках, показывал значительную (до 10 раз) вариабельность по акватории уровней содержания радионуклидов в растениях одного вида. Очевидно, что через много лет после аварии такая вариабельность уже не связана с первичными выпадениями и может зависеть от особенности поступления и перемещения радионуклидов по акватории с водными массами. Поэтому целью нашей работы

было определение уровней радионуклидного загрязнения растений, произрастающих в зонах влияния водных масс разного генезиса, на участках с разным уровнем загрязнения донных отложений. При этом были исследованы растения, поглощающие радионуклиды исключительно из водных масс, и виды, для которых существуют два источника поступления радионуклидов – вода и донные отложения.

### Материалы и методы

Высшие водные растения отбирали в вегетационный сезон 2010 г. на акваториях речного, водохранилищно-речного и водохранилищного районов Киевского водохранилища. Определяли содержание  $^{137}\text{Cs}$  в растениях различных (по классификации [6 - 8]) экологических групп: воздушно-водных (тростник обыкновенный – *Phragmites australis* (Cav.) Trin., рогоз узколистный – *Typha angustifolia* L.); растениях с плавающими на поверхности воды листьями (кубышка желтая – *Nuphar lutea* L. Smith., водяной орех – *Trapa natans* L., сальвиния плавающая – *Salvinia natans* L. All.); погруженных (рдест пронзеннолистный – *Potamogeton perfoliatus* L.); уруть колосистая – *Myriophyllum spicatum* L., роголистник погруженный – *Ceratophyllum demersum* L.). Выбор видов растений был обусловлен, с одной стороны, их доминированием, с другой – типом минерального питания. Для тростника обыкновенного, рогоза узколистного, кубышки желтой и водяного ореха характерно поступление необходимых для жизнедеятельности веществ из донных отложений и воды, для остальных исследованных видов – только из водных масс [8].

Участки для отбора проб выбирали на основании анализа особенностей миграции водных

© Е. Н. Волкова, В. В. Беляев, С. П. Пришляк,  
А. А. Пархоменко, В. А. Карапыш, 2012

масс в экосистеме Киевского водохранилища [3, 4, 9]. Станции отбора № 1 и 3 расположены на акватории Днепровского отрога – район русловой части и литоральный участок у левого берега соответственно, № 5 – акватория Припятского отрога в районе старого русла, № 2 – выше устья р. Тетерев, литоральный участок у правого берега, № 4 – в средней части у левого берега

(рис. 1). Следует отметить, что заросли высших водных растений в основном сосредоточены на территории речного и водохранилищно-речного районов. Водохранилищный район Киевского водохранилища характеризуется слабым зарастанием мелководий высшей водной растительностью [10, 11].

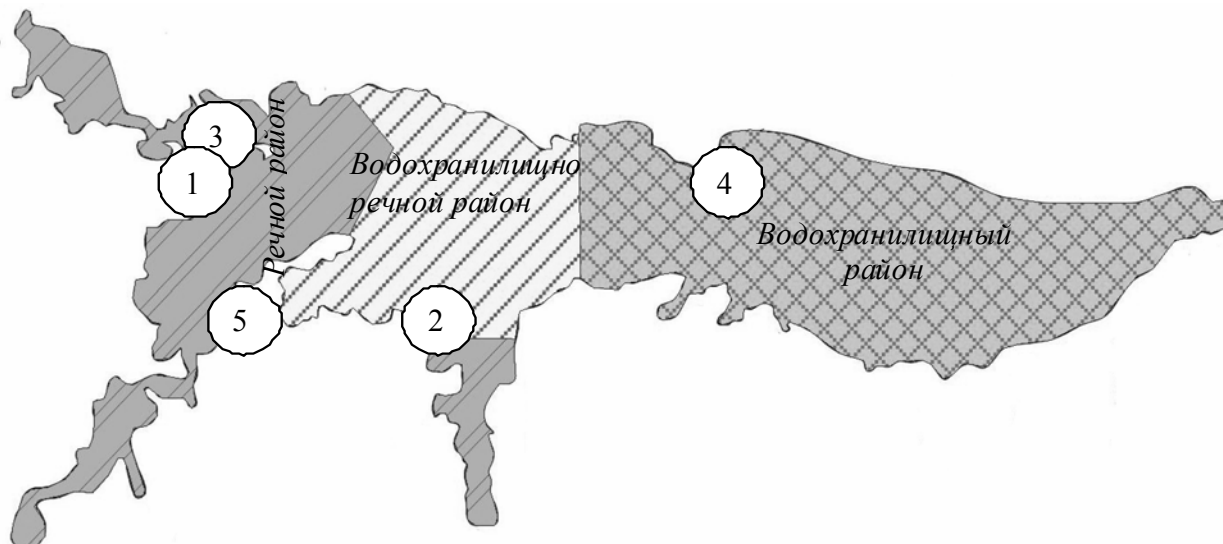


Рис. 1. Станции отбора высших водных растений на территории Киевского водохранилища.

Содержание радионуклидов определяли в целых неукорененных растениях и в надземной части укорененных видов. Отбирали 5 или более экземпляров растений, высушивали до постоянной воздушно-сухой массы и сжигали при температуре до 450 °С. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в образцах определяли стандартными гамма-спектрометрическими методами [12] на установке, собранной на базе полупроводникового детектора ДГДК-100, анализатора SBS-30 и свинцовой защиты толщиной 5 см; ПППВ 4,2 кеВ по линии 1333 кеВ, эффективность регистрации гамма-квантов  $^{137}\text{Cs}$  составляла 0,4 - 1,0 %. Содержание  $^{90}\text{Sr}$  определяли радиохимическим оксалатным методом [12]. Удельная активность радионукли-

дов приведена в беккерелях на килограмм воздушно-сухой массы растений. Результаты представлены в виде средней величины  $\pm$  STD.

#### Результаты исследований и их обсуждение

Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в отдельных образцах высшей водной растительности зарегистрирована в диапазоне величин от 5 (рогоз узколистный на станции № 3) до 588 Бк/кг (роголистник погруженный на станции № 2). При этом значительно отличалось содержание радионуклида не только в растениях на разных станциях отбора, но и в пределах отдельных станций в разных видах (таблица).

#### Содержание $^{137}\text{Cs}$ в высших водных растениях Киевского водохранилища

Вид растений	Удельная активность, Бк/кг				
	№ станции отбора				
	1	2	3	4	5
Тростник обыкновенный	$7 \pm 1$	$28 \pm 3$	$6 \pm 1$	$6 \pm 1$	$19 \pm 3$
Рогоз узколистный	$10 \pm 2$	$40 \pm 5$	$5 \pm 1$	$8 \pm 1$	$20 \pm 3$
Кубышка желтая	$29 \pm 3$	$111 \pm 15$	$24 \pm 3$	$17 \pm 2$	$151 \pm 17$
Водяной орех	$22 \pm 2$	-*	$13 \pm 2$	$20 \pm 4$	$121 \pm 15$
Сальвиния плавающая	$35 \pm 4$	$100 \pm 11$	$35 \pm 5$	$22 \pm 3$	$108 \pm 15$
Рдест пронзеннолистный	$74 \pm 10$	$412 \pm 53$	$51 \pm 7$	$63 \pm 8$	$233 \pm 31$
Уруть колосистая	$83 \pm 11$	-	$43 \pm 5$	$64 \pm 7$	$180 \pm 24$
Роголистник погруженный	-	$588 \pm 77$	$55 \pm 7$	$73 \pm 11$	$240 \pm 29$

\* Не определяли.

Анализ видоспецифичности накопления радионуклида высшими водными растениями показывает, что наименьшее содержание  $^{137}\text{Cs}$  присуще группе воздушно-водных растений. Несколько выше были уровни накопления радионуклида растениями с плавающими на поверхности воды листьями, еще больше  $^{137}\text{Cs}$  содержали погруженные растения. По возрастанию удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  мы можем расположить исследованные нами виды высших водных растений, принадлежащие к разным экологическим группам, в следующей последовательности: воздушно-водные растения < растения с плавающими на поверхности воды листьями < погруженные растения (рис. 2).

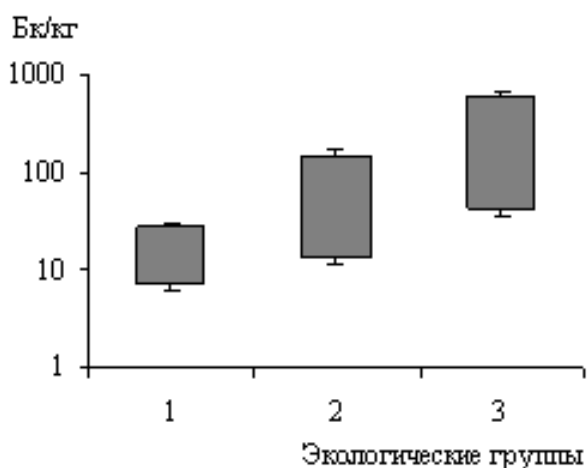


Рис. 2. Диапазоны величин удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в растениях разных экологических групп Киевского водохранилища: 1 – воздушно-водные; 2 – с плавающими на поверхности воды листьями; 3 – погруженные.

Так, на всех станциях удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в рогозе узколистом была почти на порядок меньше, чем в рдесте пронзеннолистном. Тростник обыкновенный и рогоз узколистный поглощают минеральные вещества, в том числе и радионуклиды, как из воды, так и из донных отложений, но при этом характеризуются наименьшей среди исследованных видов площадью контакта вегетативных органов с водой. И именно в этих видах на всех станциях отбора отмечены наименьшие уровни радионуклидного загрязнения. Среди видов с плавающими на воде листьями есть укорененные (кубышка желтая и водяной орех) и неукорененные (сальвиния плавающая) виды. Листья этих растений лежат на поверхности воды и площадь их контакта с водной средой на единицу массы приблизительно одинаковая. Удельная активность радионуклидов в укорененных и неукорененных видах этой группы растений достоверно не отличалась. И, наконец, среди погруженных растений мы также изучали укорененные (рдест пронзеннолистный и уруть

колосистая) и неукорененные (роголистник погруженный). При этом необходимо отметить, что корни укорененных погруженных растений выполняют только функцию органов прикрепления, а источником минеральных веществ являются водные массы [8], роголистник погруженный с дном не контактирует. Вегетативные органы погруженных растений расположены в толще водных масс, листья тонкие, у роголистника погруженного и урути колосистой рассеченные, что и обеспечивает растениям максимальную площадь контакта с водой.

Таким образом, больше радионуклидов накапливают те виды растений, для которых характерна большая площадь контакта вегетирующих органов с водной средой. Указанные соотношения уровней накопления  $^{137}\text{Cs}$  растениями разных экологических групп зарегистрированы на всех исследованных участках водохранилища. Следует отметить, что такие закономерности характерны и для растений других водоемов [2, 5, 13, 14].

Анализ особенностей радионуклидного загрязнения фитоценозов на разных участках водохранилища показывает, что по мере увеличения содержания  $^{137}\text{Cs}$  в высших водных растениях исследованные нами биотопы можно расположить в следующей последовательности: станция № 3 и станция № 4 < станция № 1 < станция № 5 < станция № 2. Следовательно, наименьшие уровни накопления радионуклида были присущи биотопу, который расположен в Днепровском отроге ближе к левому берегу и в средней части водохранилища у левого берега. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в растениях биотопа, расположенного в Днепровском отроге ближе к фарватеру, было несколько выше. И, наконец, наибольшие уровни радионуклидного загрязнения растений зарегистрированы в Припятском отроге и на литоральном участке выше устья р. Тетерев (рис. 3).

Удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  в отдельных образцах высшей водной растительности зарегистрирована в диапазоне величин от 0,5 (тростник обыкновенный на станции № 4) до 50 Бк/кг (роголистник погруженный на станции № 2). Таким образом, содержание  $^{90}\text{Sr}$  в высших водных растениях Киевского водохранилища было приблизительно на порядок ниже, чем  $^{137}\text{Cs}$ . Такое явление объясняется разными миграционными свойствами этих радионуклидов в водных экосистемах. Так, более 60 %  $^{137}\text{Cs}$ , поступившего в Киевское водохранилище, задерживается в экосистеме и может включаться в процессы биологической миграции, в то время как для  $^{90}\text{Sr}$  эта величина составляет приблизительно 20 % [1 - 4].

Наименьшие уровни накопления  $^{90}\text{Sr}$  были характерны для представителей группы воздушно-

водных растений, а удельная активность радионуклида в погруженных и с плавающими на поверхности воды листьями растений достоверно не отличалась (рис. 4).

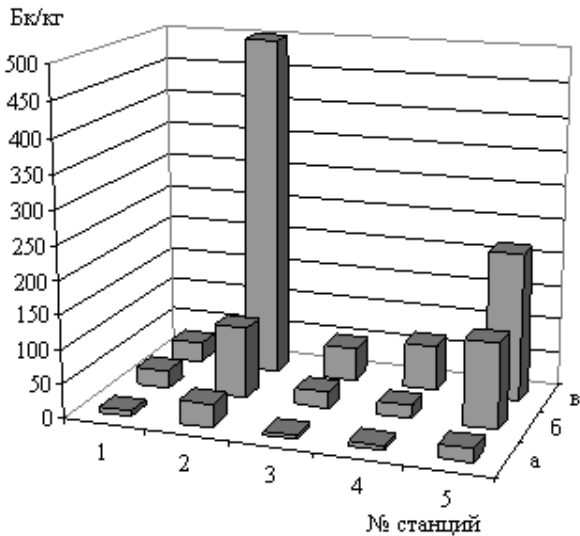


Рис. 3. Среднее содержание  $^{137}\text{Cs}$  в высших водных растениях разных экологических групп: а – воздушно-водные; б – с плавающими на поверхности воды листьями; в – погруженные.

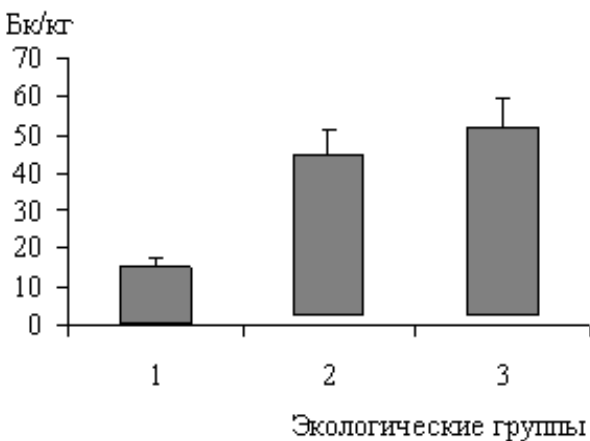


Рис. 4. Диапазоны величин удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  в растениях разных экологических групп Киевского водохранилища: 1 – воздушно-водные; 2 – с плавающими на поверхности воды листьями; 3 – погруженные.

Относительно уровней накопления  $^{90}\text{Sr}$  растениями разных районов водохранилища можно отметить, что, как и в случае  $^{137}\text{Cs}$ , меньше радионуклида накапливали растения, отобранные на левобережных станциях. В растениях на станциях № 2 и 5 удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  была значительно выше (рис. 5).

Отмеченные пространственные закономерности формирования радионуклидного загрязнения высшей водной растительности Киевского водохранилища можно объяснить особенностями миграции водных масс, а с ними и радиоактивных веществ, в экосистеме этого водоема. Выше

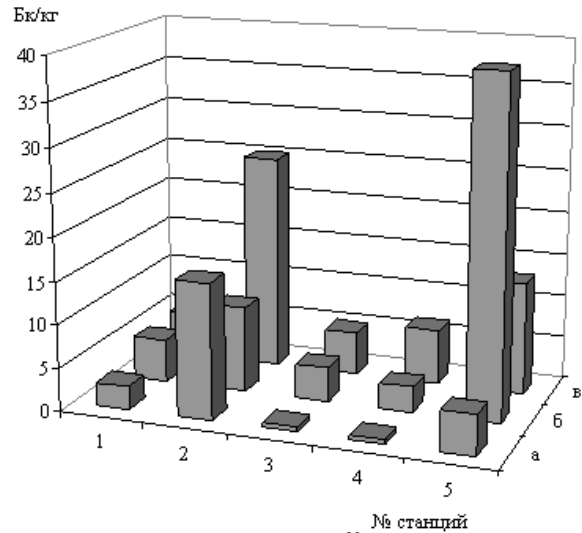


Рис. 5. Среднее содержание  $^{90}\text{Sr}$  в высших водных растениях разных экологических групп: а – воздушно-водные; б – с плавающими на поверхности воды листьями; в – погруженные.

было указано, что основными источниками поступления радионуклидов в экосистему Киевского водохранилища являются водосборные территории рек Припять и Днепр, при этом концентрация радионуклидов в припятских водах выше, чем в днепровских.  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  мигрируют с площадей водосбора Днепра и Припяти в основном во время весенних паводков. В этот период мощное течение Днепра прижимает припятские воды к правому берегу, поэтому на большей части акватории Киевского водохранилища водные массы, поступившие из Днепра и Припяти, не смешиваются [9]. В 1986 г. такая направленность внутриводоемных течений сформировала поля радионуклидного загрязнения донных отложений Киевского водохранилища, и наибольшее содержание  $^{137}\text{Cs}$  регистрировали в илах старого русла р. Припять и вдоль правого берега почти до плотины Киевской ГЭС. Основные черты этого распределения длительное время оставались практически неизменными [1, 3, 15] и, по нашим данным, сохранились до настоящего времени. Так, на станциях № 1, 3 и 4, расположенных в зоне влияния днепровских вод, содержание  $^{137}\text{Cs}$  в верхнем 5-сантиметровом слое донных отложений составляло 14 - 35 Бк/кг, на станциях № 2 и 5 (зона влияния припятских вод) – 91 - 1800 Бк/кг. Следовательно, на станциях с наиболее загрязненными донными отложениями нами зарегистрировано высокое содержание радионуклидов в растениях. Однако приведенный нами выше анализ видоспецифичности накопления  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  показывает, что в настоящее время в Киевском водохранилище доминирует водный путь поступления радионуклидов в организм растений, а подтверждением этого предположе-

ния являются зарегистрированные нами высокие уровни накопления радионуклидов неукорененными видами. Наши результаты согласуются с данными о том, что со временем количество биологически доступных форм радионуклидов в донных отложениях уменьшается [5].

Таким образом, поступление радионуклидов в Киевское водохранилище с водами р. Припять обуславливает высокие уровни накопления радионуклидов высшими водными растениями его правобережной части. Кроме того, на участках с

быстрым течением  $^{137}\text{Cs}$  задерживается в меньшей степени, чем в заливах. В частности, фитоценозы воздушно-водных растений создают благоприятные условия для осаждения взвешенных веществ [8, 11], а именно на взвесьях аккумулируется около 50 % сосредоточенного в водных массах  $^{137}\text{Cs}$  [1, 3, 4]. Поэтому на литоральных правобережных участках акватории водохранилища, особенно в верхней его части, возникают благоприятные условия для накопления радионуклидов в фитомассе высших водных растений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Чернобыль: Радиоактивное загрязнение природных сред* / Ю. А. Израэль, С. М. Вакуловский, В. А. Ветров и др. - Л.: Гидрометеиздат, 1990. - 296 с.
2. *Волкова О. М.* Техногенні радіонукліди у гідробіотах водойм різного типу: Автореф. дис. ... д-ра біол. наук / ІГБ НАН України. - К.: ТОВ «Видавництво «Сталь», 2008. - 34 с.
3. *Радиоактивное* и химическое загрязнение Днепра и его водохранилищ после аварии на Чернобыльской АЭС / В. Д. Романенко, М. И. Кузьменко, Н. Ю. Евтушенко и др. - К.: Наук. думка, 1992. - 194 с.
4. *Радіонукліди у водних екосистемах України* / М. І. Кузьменко, В. Д. Романенко, В. В. Деревець та ін. - К.: Чорнобильінтерінформ, 2001. - 318 с.
5. *Техногенні радіонукліди у прісноводних екосистемах* / М. І. Кузьменко, Д. І. Гудков, С. І. Кіреєв та ін. - К.: Наук. думка, 2010. - 262 с.
6. *Федченко Б.А.* Высшие растения // Жизнь пресных вод СССР. - М., Л.: Сов. наука, 1949. - С. 311 - 338.
7. *Потульницький П. М., Погребеник В. П., Кучерява Л. Ф.* Екологічна типологія макрофітів // Укр. ботан. журн. - 1973. - Т. 30. - С. 584 - 590.
8. *Лукина Л.Ф., Смирнова Н.Н.* Физиология высших водных растений. - К.: Наук. думка, 1988. - 188 с.
9. *Киевское водохранилище.* Гидрохимия, биология, продуктивность / Отв. ред. Я. Я. Цееб, Ю. Г. Майстренко. - К.: Наук. думка, 1972. - 460 с.
10. *Накопление* радионуклидов высшими водными растениями и структура их зарослей в Припятском отроге Киевского водохранилища / В. М. Клоков, З. О. Широкая, И. В. Паньков и др. // Гидробиол. журн. - 1993. - Т. 29, № 5. - С. 61 - 72.
11. *Радиоэкологические* исследования фитоценозов высших водных растений в верховьях Киевского водохранилища. / И. В. Паньков, Е. Н. Волкова, З. О. Широкая и др. // Гидробиол. журн. - 1997. - Т. 33, № 2. - С. 76 - 88.
12. *Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод* / За ред. В. Д. Романенка / Ін-т гідробіології НАН України. - К.: ЛОГОС, 2006. - 408 с.
13. *Куликов Н.В., Молчанова И.В.* Континентальная радиоэкология (почвенные и пресноводные экосистемы). - М.: Наука, 1975. - 180 с.
14. *Паньков И.В., Волкова Е.Н., Широкая З.О.* Содержание осколков деления урана в водных растениях днепровских водохранилищ // Гидробиол. журн. - 1990. - Т. 26, № 4. - С. 73 - 77.
15. *Войцехович О.В., Шестопалов В.М.* До дискусії щодо ідеї спуску Київського водосховища // Бюлетень екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. - № 14, жовтень 1999. - С. 45.

**О. М. Волкова, В. В. Беляев, С. П. Пришляк, О. О. Пархоменко, В. А. Карапиш**

#### **ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ РАДІОНУКЛІДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВИЩИХ ВОДНИХ РОСЛИН КИЇВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА**

Вивчалися особливості формування радіонуклідного забруднення вищих водних рослин Київського водосховища у 2010 р. Уперше проаналізовано рівні вмісту  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  у рослинах різних ділянок водосховища. Вміст  $^{137}\text{Cs}$  у рослинах зареєстровано на рівні від 5 до 588 Бк/кг,  $^{90}\text{Sr}$  - від 0,5 до 50 Бк/кг. Рівні радіонуклідного забруднення вищих водних рослин залежали від особливостей міграції радіонуклідів в акваторії водосховища із водними масами.

*Ключові слова:* вищі водні рослини,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , водна екосистема, Київське водосховище.

---

O. M. Volkova, V. V. Belyaev, S. P. Prishlyak, O. O. Parhomenko, V. A. Karapysh

**PECULIARITIES OF FORMING RADIOACTIVE CONTAMINATION  
OF HIGHER AQUATIC PLANTS FROM KYIV RESERVOIR**

Peculiarities of forming radioactive contamination of higher aquatic plants from Kyiv reservoir in 2010 was studied. For the first time the levels of content  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in plants from different parts of reservoir was analyzed. Content of  $^{137}\text{Cs}$  in plants was registered on the level from 5 to 588 Bq/kg,  $^{90}\text{Sr}$  – from 0,5 to 50 Bq/kg. Levels of radioactive contamination of higher aquatic plants depended on peculiarities of radionuclides migration in water area of the reservoir with water masses.

*Keywords:* higher aquatic plants,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , aquatic ecosystems, Kyiv reservoir.

Надійшла 29.03.2012

Received 29.03.2012