

УДК [574.34: 581.526.3]

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

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ^{137}Cs В
НАДЗЕМНОЙ И ПОДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЕ
ГЕЛОФИТОВ**

Изучены особенности формирования радионуклидного загрязнения в надземной и подземной фитомассе *Phragmites australis*, *Typha angustifolia* и *Glyceria maxima*. Установлено, что удельное содержание ^{137}Cs в корнях растений в 9—15 раз выше, чем в надземных органах. В подземных органах растений сосредоточено от 74 до 87% накопленного ^{137}Cs .

Ключевые слова: высшие водные растения, гелофиты, ^{137}Cs , подземные и надземные органы.

Известно, что высшие водные растения участвуют в процессах миграции радионуклидов в водоемах. К настоящему времени выполнено значительное количество работ, направленных на определение закономерностей накопления радионуклидов высшими водными растениями. Ранее [2—5, 8—10, 13] были описаны особенности формирования радионуклидного загрязнения разных видов растений, относящихся к различным экологическим группам, рассмотрена специфика накопления радиоактивных веществ растениями водоемов разного типа и с различным уровнем содержания радионуклидов в абиотических компонентах. Однако до сих пор мало исследованы особенности формирования радионуклидного загрязнения подземных органов растений, без чего практически невозможно определить роль растительности в процессах миграции радионуклидов в пресноводных экосистемах.

Цель работы — изучить закономерности распределения ^{137}Cs в надземных и подземных органах гелофитов и определить показатели его миграции, обусловленные отмиранием фитомассы.

Материал и методика исследований. Исследования проводили в период 2010—2014 гг. на территории водохранилищно-речного и водохранилищно-го участков Киевского водохранилища. Объектами исследований были представители группы гелофитов: тростник обыкновенный — *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steud; рогоз узколистый — *Typha angustifolia* L.; манник большой — *Glyceria maxima* (C. Gartm.) Holmb. Растения отбирали в августе — начале сентября, то есть в период достижения максимальной фи-

© С. П. Пришляк, В. В. Беляев, Е. Н. Волкова, А. А. Пархоменко,
А. Л. Савицкий, 2015

томассы [6, 11, 12]. Надземную массу растений определяли в монозарослях исследуемых видов общепринятым в гидробиологии методом пробных площадок [7, 12]. Подземную массу растений определяли методом мелких монолитов [12], который был усовершенствован нами для условий работы на неосушаемых участках. Для определения подземной массы растений с ограниченной рамкой пробной площадки 0,25 м² трубкой известной площади отбирали не менее трех кернов донных отложений глубиной 30 см. Выбор глубины отбора кернов обусловлен тем, что в подобных биотопах именно в этом слое расположена основная масса корневищ и почвенных корней исследуемых видов [11]. Из кернов выделяли корневища и придаточные корни и определяли их воздушно-сухую массу с последующим перерасчетом на единицу площади фитоценозов.

Содержание ¹³⁷Cs в образцах растений определяли стандартным [7] гамма-спектрометрическим методом на установке, собранной на базе полупроводникового детектора ДГДК-100, анализатора SBS-30 и свинцовой защиты толщиной 5 см; ПШПВ 4,2 кеВ по линии 1333 кеВ, эффективность регистрации гамма-квантов ¹³⁷Cs составляла 0,4—1,0%. Удельная активность ¹³⁷Cs приведена в беккерелях на килограмм воздушно-сухой массы растений.

Результаты исследований и их обсуждение

Основные заросли высших водных растений сосредоточены в речном и водохранилищно-речном районах Киевского водохранилища. Наибольшее количество органического вещества, как в целом по водохранилищу, так и в рамках обозначенных районов, продуцируют гелофиты, среди которых по биомассе доминируют рогоз узколистный и тростник обыкновенный [8, 11]. Установлено, что в настоящее время удельная активность ¹³⁷Cs в гидатофитах, как правило, значительно выше, чем в надземных органах гелофитов [2, 3, 5, 8—10, 13]. Тем не менее, благодаря высоким продукционным показателям, в целом по водоемам именно гелофиты доминируют по накопленной в надземной фитомассе активности. Учитывая, что большинство гелофитов являются корневищными видами, для корректной оценки запасов ¹³⁷Cs в фитоценозах необходимо учитывать подземную массу растений.

Согласно литературным данным, величина подземной массы гелофитов зависит от типа донных отложений и глубины произрастания растений [6]. Донные отложения мелководий Киевского водохранилища в основном сложены песками разной степени заиленности [1]. Проведенные нами исследования показали, что подземная масса гелофитов, развивающихся на обозначенных грунтах, составляла 33—64% общей растительной массы (табл. 1).

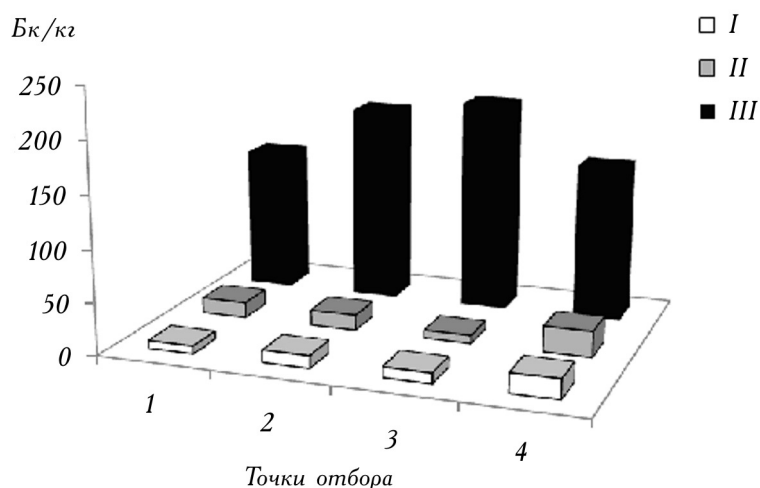
На примере Киевского водохранилища нами было показано, что уровень радионуклидного загрязнения надземных органов высших водных растений зависит от особенностей миграции радионуклидов по акватории с водными массами [2]. Поэтому удельная активность ¹³⁷Cs в растениях одного вида, отобранных на разных участках водохранилища, значительно отличалась. Тем не менее, независимо от уровня радионуклидного загрязнения биотопа, удельная активность ¹³⁷Cs в придаточных почвенных корнях растений в несколько раз выше, чем в надземных органах и корневищах (рис. 1).

1. Распределение фитомассы в монозарослях гелофитов для глубины слоя донных отложений 30 см, г/м² воздушно-сухой массы

Виды	Надземная часть	Подземная часть		
		корневища	корни	вклад в общую, %
Рогоз узколистный	1523	603	169	33
Тростник обыкновенный	1100	1444	481	64
Манник большой	668	224	356	47

Соотношение удельной активности ¹³⁷Cs в надземных органах, корневищах и корнях рогоза узколистного в среднем составило 1:3,0:15,0, тростника обыкновенного — 1:1,1:11,0, манника большого — 1:1,1:9,3, соответственно.

Содержание радиоактивных изотопов в отдельных органах растительных организмов определяется, с одной стороны, удельной активностью каждого радионуклида в том или ином органе, с другой — массой этого органа. На основании данных об удельной активности ¹³⁷Cs в органах растений, отобранных в районе с. Страхолесье (табл. 2), и показателей их массы (см. табл. 1), мы проанализировали особенности распределения радионуклида между надземной и подземной фитомассой в монозарослях каждого вида (рис. 2). Расчеты показали, что в августе-сентябре в надземной фитомассе рогоза узколистного сосредоточено 26% от общего содержания ¹³⁷Cs на единицу площади, тростника обыкновенного — 13, манника большого — 15%. Таким образом, высокая удельная активность почвенных придаточных корней обеспечивает накопление значительных запасов ¹³⁷Cs в подземной фитомассе на площадях фитоценозов гелофитов.



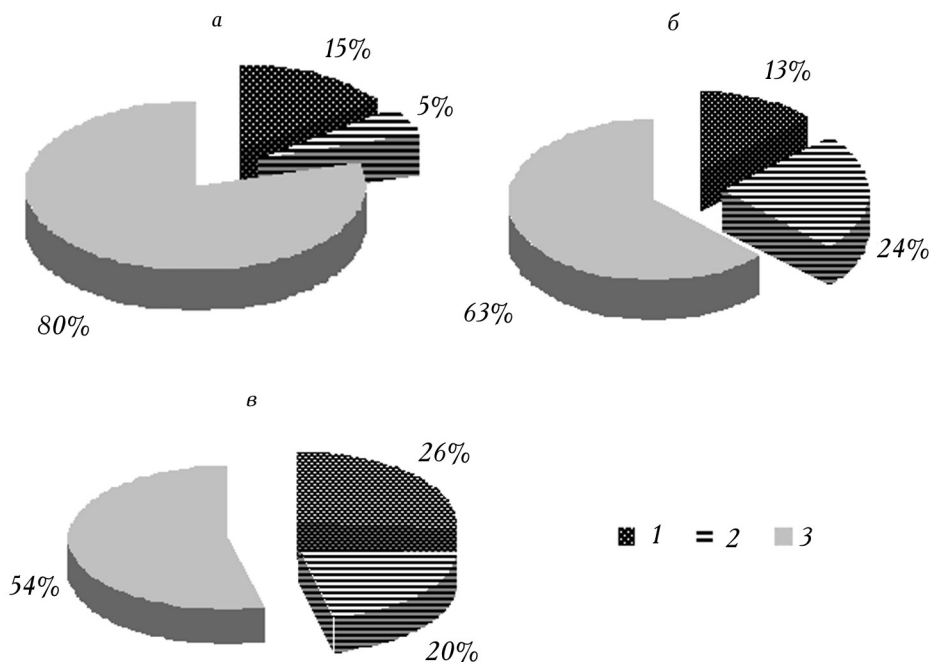
1. Величина удельной активности ¹³⁷Cs в надземных (I) и подземных (II — корневища; III — корни) органах рогоза узколистного: 1 — с. Страхолесье; 2 — с. Теремцы; 3 — устье р. Тетерев; 4 — п-ов Домантовский.

2. Удельная активность ^{137}Cs в надземных и подземных органах гелофитов правобережного участка верхней части Киевского водохранилища

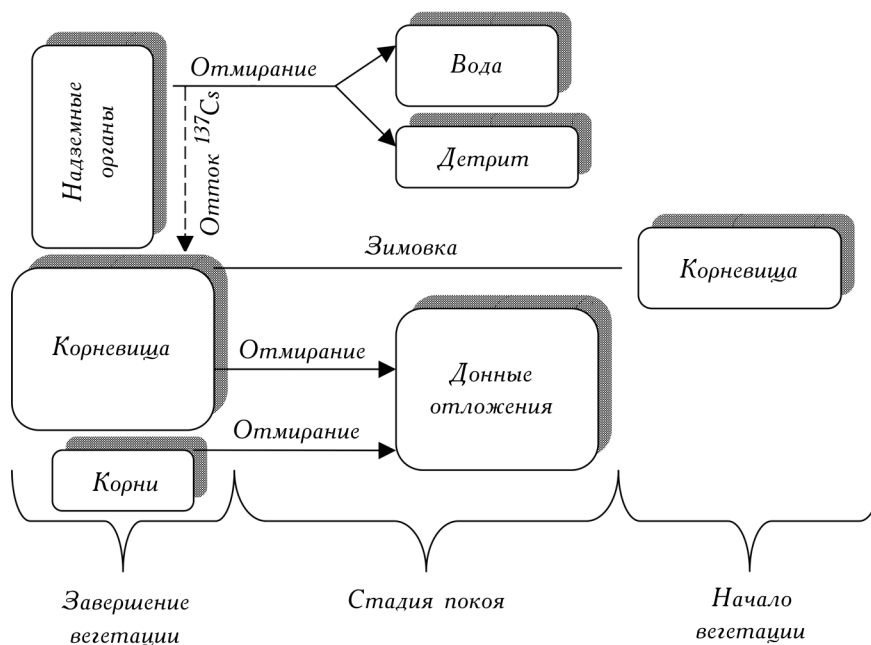
Виды	Удельная активность, Бк/кг		
	надземные органы	корневища	корни
Рогоз узколистный	$7,6 \pm 1,9$	$15,0 \pm 3,0$	$139,0 \pm 25,0$
Тростник обыкновенный	$28,1 \pm 4,1$	$39,0 \pm 6,6$	$308,2 \pm 51,0$
Манник большой	$29,0 \pm 4,2$	$29,3 \pm 3,9$	$288,0 \pm 43,0$

Исследованные виды гелофитов — травянистые многолетники, чьи надземные органы в конце вегетационного сезона отмирают, поэтому часть накопленных в надземной фитомассе радионуклидов возвращаются в водные массы, остальные поступают в детрит (рис. 3). Жизнедеятельность корневищ продолжительнее — у тростника обыкновенного свыше трех лет, у рогоза узколистного и манника большого — около двух лет, придаточные корни обновляются ежегодно [6].

Известно, что в течение вегетационного сезона происходит перераспределение биогенных элементов между надземными и запасующими подземными органами гелофитов [6]. В процессе исследований мы не зарегистрировали достоверного увеличения активности в корневищах растений, связанного с оттоком ^{137}Cs из надземных органов. Формально этот процесс



2. Распределение ^{137}Cs в надземных и подземных органах гелофитов, доля от общего содержания на единицу площади монозарослей, %: 1 — надземные органы; 2 — корневища; 3 — почвенные придаточные корни; а — манник большой; б — тростник обыкновенный; в — рогоз узколистный.



3. Схема миграции ^{137}Cs , обусловленной отмиранием гелофитов.

учитывается, если при расчетах использовать величины удельной активности органов растений, определенные в конце сезона вегетации. Таким образом, зная, какая часть ^{137}Cs , накопленного в фитомассе, сосредоточена в надземных и подземных органах растений, можно определить основные параметры миграции радионуклида, связанной с их отмиранием.

Согласно литературным данным, в надземных органах рогоза узколистого в среднем около 25% ^{137}Cs находится в потенциально обменных формах, тростника обыкновенного — 38, манника большого — 46% [4, 14]. В надземных органах исследованных видов содержится 13—26% ^{137}Cs общего количества на единицу площади (см. рис. 2). Следовательно, только 5—7% накопленного на единицу площади фитоценозов ^{137}Cs может вернуться в водные массы (табл. 3). При расчетах показателей, связанных с отмиранием подземных органов, приняли, что у рогоза узколистного и манника большого ежегодно отмирает половина биомассы корневищ, у тростника обыкновенного — третья часть, а почвенные придаточные корни отмирают полностью. При таких условиях с отмершими подземными органами в донные отложения ежегодно переходит 64—82% накопленного рассматриваемым видами растений радионуклида. К началу следующего вегетационного сезона в запасующих органах останется до 16% накопленного растением ^{137}Cs .

Необходимо отметить, что приведенные нами расчеты выполнены для показателей фитомассы гелофитов в пик вегетации. С учетом продукции надземных органов их вклад в процессы миграции ^{137}Cs увеличится.

3. Параметры миграции ^{137}Cs , обусловленной отмиранием органов и тканей гелофитов, %

Показатели	Рогоз узколистный	Тростник обыкновенный	Манник большой
Надземные органы			
Переход в водные массы	6,6	5,0	6,9
Переход в детрит	19,7	8,1	8,1
Подземные органы			
Захоронение в донных отложениях	63,5	70,9	82,4
Остаток в зимующих корневищах	10,2	16,0	2,6

Заключение

Исследования особенностей формирования радионуклидного загрязнения надземных и подземных органов гелофитов на мелководьях Киевского водохранилища показали, что в августе-сентябре 2010—2014 гг. удельная активность ^{137}Cs в придаточных почвенных корнях исследованных видов растений была в 9—15 раз выше, чем в надземных органах. Удельная активность ^{137}Cs в корневищах рогоза узколистного в два раза превышала активность в надземных органах. Удельная активность ^{137}Cs надземных органов и корневищ манника большого и тростника обыкновенного достоверно не отличалась. Установлено, что в надземной фитомассе рогоза узколистного сосредоточено 26% от общего содержания ^{137}Cs на единицу площади, тростника обыкновенного — 13, манника большого — 15%. Таким образом, высокая удельная активность почвенных придаточных корней обеспечивает накопление значительных запасов ^{137}Cs в подземной фитомассе гелофитов.

В результате отмирания только подземных органов исследованных видов растений в донных отложениях ежегодно захоранивается 64—82,5% общего количества ^{137}Cs , накопленного в фитоценозах за вегетационный сезон.

**

*Вивчено особливості формування радіонуклідного забруднення надземних та підземних органів *Phragmites australis*, *Typha angustifolia* та *Glyceria maxima* Київського водосховища. Встановлено, що вміст ^{137}Cs у корнях рослин у 9—15 разів вищий, ніж у надземних органах. У підземних органах рослин зосереджено від 74 до 87% накопиченого на одиницю площі ^{137}Cs .*

**

*The features of radionuclide contamination of overground and underground organs of *Phragmites australis*, *Typha angustifolia* and *Glyceria maxima* species were studied. ^{137}Cs content in plant roots are in 9—15 times higher than in overground organs. In underground plant parts are concentrated from 74 to 87% of the accumulated ^{137}Cs .*

**

1. *Беляєв В.В., Холодько О.П., Волкова О.М. та ін.* Особливості радіонуклідного забруднення донних відкладів Київського водосховища // *Современные проблемы гидробиологии. Перспективы, пути и методы решений: Материалы III Междунар. науч. конф., г. Херсон, 17—19 мая 2012 г.* — Херсон, 2012. — С. 136—139.
2. *Волкова Е.Н., Беляев В.В., Пришляк С.П. и др.* Особенности формирования радионуклидного загрязнения высших водных растений Киевского водохранилища // *Ядерная физика та енергетика.* — 2012. — т. 13, № 2. — С. 160 — 165.
3. *Волкова О.М.* Техногенні радіонукліди у гідробіонтах водойм різного типу: Автореф. дис. ... докт. біол. наук. — К., 2008. — 34 с.
4. *Ганжа Х.Д., Кленус В.Г., Гудков Д.І.* Фізико-хімічні форми ^{90}Sr та ^{137}Cs у вегетативних органах повітряно-водних рослин Чорнобильської зони відчуження / *Современные проблемы гидробиологии. Перспективы, пути и методы решений: Материалы III Междунар. науч. конф., г. Херсон, 17—19 мая 2012 г.* — Херсон, 2012. — С. 139—143.
5. *Гудков Д.І.* Радіонукліди в компонентах водних екосистем зони відчуження Чорнобильської АЕС: розподіл, міграція, дозові навантаження, біологічні ефекти: Автореф. дис. ... докт. біол. наук. — К., 2006. — 34 с.
6. *Лукина Л. Ф., Смирнова Н. Н.* Физиология высших водных растений — К.: Наук. думка, 1988. — 188 с.
7. *Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / За ред. В. Д. Романенка.* — К.: ЛОГОС, 2006. — 408 с.
8. *Паньков И.В., Волкова Е.Н., Широкая З.О. и др.* Радиоэкологические исследования фитоценозов высших водных растений в верховьях Киевского водохранилища // *Гидробиол. журн.* — 1997. — Т. 33, № 2. — С. 76—88.
9. *Радиоактивное и химическое загрязнение Днепра и его водохранилищ после аварии на Чернобыльской АЭС.* — Киев: Наук. думка, 1992. — 194 с.
10. *Радіонукліди у водних екосистемах України.* — К.: Чорнобильінтерінформ, 2001. — 318 с.
11. *Растительность и бактериальное население Днепра и его водохранилищ.* — Киев: Наук. думка, 1989. — 232 с.
12. *Садчиков А.П., Кудряшов М.А.* Экология прибрежно-водной растительности (учеб. пособие для студентов вузов). — М.: Изд-во НИИ-Природа, РЭФИИ, 2004. — 220 с.
13. *Томілін Ю.А.* Радіонукліди в компонентах водних екосистем південного регіону України: міграція, розподіл, накопичення і контрзаходи: Автореф. дис. ... докт. біол. наук. — К., 2007. — 40 с.
14. *Ganzha Ch., Gudkov D., Ganzha D. et al.* Physicochemical forms of ^{90}Sr and ^{137}Cs in components of Glyboke Lake ecosystem in the Chornobyl exclusion zone // *J. of Environmental Radioactivity.* — 2014. — Vol. 127. — P. 176—181.