

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

Институт гидробиологии НАН Украины, Киев, Украина

*Ответственный автор: belyaev-vv@ukr.net

ОТМИРАНИЕ ВОЗДУШНО-ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ КАК ФАКТОР МИГРАЦИИ ^{137}Cs В ВОДОЕМАХ

Определены количественные параметры миграции ^{137}Cs в донные отложения эвтрофного (Киевское водохранилище) и олиготрофного (оз. Белое) водоемов после отмирания *Phragmites australis*, *Typha angustifolia*, *Glyceria maxima* и *Scirpus lacustris*. Удельная активность ^{137}Cs в надземных органах и корневищах растений составляла 8 - 522 Бк/кг, в грунтовых корнях – 139 - 3410 Бк/кг. После отмирания растений в водные массы поступает 1,6 - 8,7 % от общего накопленного в фитомассе ^{137}Cs , в детрит – 4,9 - 19,7 %, в донные отложения – 63,5 - 83,9 %. На мелководных участках исследованных водоемов в результате отмирания воздушно-водных растений в донные отложения ежегодно поступает от 0,3 до 1,1 % ^{137}Cs от его общего количества в верхнем 30-сантиметровом слое донных отложений.

Ключевые слова: водоемы, воздушно-водные растения, миграция ^{137}Cs , донные отложения.

Введение

Известно, что растения участвуют в процессах миграции и перераспределения вещества, в том числе радиоактивных элементов, в природных экосистемах. Накопление радионуклидов растениями это сложный процесс, зависящий от многих факторов. Для каждой экологической группы растений, произрастающих в определенном биотопе (степи, леса, болота, водоемы и т.д.), значимость каждого из факторов, определяющих накопление радионуклидов, отличается. Закономерно, что большинство исследований, направленных на изучение формирования радионуклидного загрязнения растительных организмов, в частности накопление радионуклидов в подземных органах, выполнены для сельскохозяйственных культур, т. е. для наземных экосистем [8], а применять результаты исследований, полученные в сельскохозяйственной радиологии, для водных растений не всегда корректно.

В свою очередь, высшим водным растениям присущ высокий продукционный потенциал и, как правило, именно эта группа растительных организмов доминирует по биомассе в пресноводных водоемах. Поэтому к настоящему времени разработан ряд методологий, авторы которых предлагают для улучшения радиологической ситуации в водных экосистемах применять метод аквафитодезактивации, основанный на способности высших водных растений поглощать и накапливать радионуклиды [5, 11]. Существенным недостатком таких методологий можно считать отсутствие количественной оценки потоков радиоактивных веществ в водоемах, обусловлен-

ных жизнедеятельностью макрофитов. В какой-то мере это связано с тем, что в процессе мониторинговых исследований радионуклидного загрязнения пресноводных экосистем в основном определяли удельное содержание радиоактивных элементов в надземной массе растений. Однако существует большая группа макрофитов (это воздушно-водные растения и некоторые виды с плавающими на поверхности воды листьями) со значительной подземной фитомассой. Анализ литературных данных свидетельствует об ограниченном количестве сведений о закономерностях формирования подземной массы воздушно-водных растений, а проведенные нами в последние годы исследования показали, что удельная активность радионуклидов в их подземных и надземных органах значительно отличается.

Кроме того, известно, что продуктивность воздушно-водных растений в эвтрофных водоемах значительно выше, чем в олиготрофных. Отличается также и скорость перераспределения радионуклидов по компонентам водоемов разного трофического статуса [2].

В связи с тем, что в результате Чернобыльской аварии большая часть территории Европы была загрязнена летучими формами радионуклидов [8, с. 222] и после распада короткоживущих радиоактивных изотопов повышенные уровни радионуклидного загрязнения компонентов пресноводных экосистем формируются ^{137}Cs , целью исследований было определение количественных параметров миграции ^{137}Cs в пресноводных водоемах разного трофического статуса, обусловленных жизнедеятельностью воздушно-водных растений.

© Е. Н. Волкова, В. В. Беляев, С. П. Пришляк, А. А. Пархоменко, 2018

Материал и методика исследований

Исследования проводили в 2013 - 2014 гг. на двух водоемах разного типа и трофического статуса – Киевском водохранилище (эвтрофный водоем) и оз. Белое, расположенном на территории Владимирецкого района Ровенской области (непроточный олиготрофный водоем). Объектами исследований были представители группы воздушно-водных растений, доминирующие по биомассе на мелководных участках акватории Киевского водохранилища: рогоз узколистный – *Typha angustifolia* L.; тростник обыкновенный – *Phragmites australis* (Cav.) Trin.; манник большой – *Glyceria maxima* (C. Gartm.). На мелководьях озера зарегистрированы тростник обыкновенный, рогоз узколистный и камыш озерный – *Scirpus lacustris* L., ставшие объектами наших исследований.

Наземную массу растений определяли на площадях монозарослей исследуемых видов общепринятым в гидробиологии методом учетных площадок [7]. Подземную массу растений определяли методом мелких монолитов [10], модифицированным для работы на неосушаемых мелководьях. С площади рамок трубкой известной площади отбирали не менее 5 зернов донных отложений глубиной 30 см. Выбор глубины отбора зернов обусловлен тем, что в этом слое расположена основная часть корневищ и грунтовых корней исследуемых видов растений [9]. Из зернов выделяли корневища и грунтовые корни и определяли их массу с последующим пересчетом на единицу площади фитоценозов. Результаты представлены на воздушно-сухую массу.

Удельную активность ^{137}Cs в донных отложениях (Бк/кг сухой массы) и растениях (Бк/кг воздушно-сухой массы) определяли общепринятыми γ -спектрометрическими методами [7]. Плотность загрязнения донных отложений ^{137}Cs (кБк/м²) в монозарослях растений рассчитывали по удельной активности радионуклида в слоях донных отложений с учетом их водно-физических свойств.

В данной статье под биотрансформацией ^{137}Cs мы понимаем изменение глубины нахождения радионуклида в донных отложениях и изменение соотношений его физико-химических форм в донных отложениях, обусловленное накоплением ^{137}Cs в растениях и их отмиранием. Количественное выражение биотрансформации – активность ^{137}Cs в отмерших органах растений.

Результаты исследований и их обсуждение

Ранее нами было установлено, что уровни радиоактивного загрязнения высших водных рас-

тений на мелководьях Киевского водохранилища зависят от особенностей миграции радионуклидов по акватории водоема с водными массами. Поэтому удельная активность ^{137}Cs в растениях одного вида, отобранных на разных участках водохранилища, значительно отличалась, а наиболее высокие показатели регистрировали на правобережных территориях верхнего водохранилищно-речного участка [1]. В свою очередь, именно водохранилищно-речной участок характеризуется интенсивным зарастанием водной растительностью, в частности обширными фитоценозами воздушно-водных растений. Поэтому для решения поставленных задач выбрали акватории правобережных мелководий верхней части Киевского водохранилища, где условия существования растений и уровни содержания ^{137}Cs в абиотических компонентах позволяют использовать фитоценозы в качестве полигонных для оценки поведения радионуклида в эвтрофных водоемах. Озеро Белое, расположенное на расстоянии около 400 км от Чернобыльской АЭС, выбрано для сравнительного анализа не только в связи с его олиготрофным статусом, но и по причине аномально высоких уровней содержания ^{137}Cs в гидробионтах, зарегистрированных нами ранее [3].

Исследования продукционных характеристик растений показали, что надземная фитомасса рогоза узколистного и тростника обыкновенного из озера была примерно в три раза ниже, чем величины, полученные нами для соответствующих видов растений Киевского водохранилища (табл. 1), что объясняется различным трофическим статусом водоемов. Так, на исследуемых участках Киевского водохранилища в монозарослях рогоза узколистного наблюдали 116 - 172 стебля на 1 м² при максимальной их высоте 250 см, в оз. Белое – 24 - 36 стеблей высотой до 190 см.

Относительный вклад подземных органов в общую фитомассу рогоза узколистного и тростника обыкновенного из оз. Белое оказался больше, чем у соответствующих видов растений из Киевского водохранилища. Это можно объяснить тем, что донные отложения мелководных участков озера, где развиваются воздушно-водные растения, составлены исключительно промытыми песками, Киевского водохранилища – заиленными песками, а произрастание растений на почвах с низким содержанием органических веществ стимулирует развитие их корневой системы [6].

Таблица 1. Распределение фитомассы в монозарослях воздушно-водных растений, г/м²

Виды	Надземная	Подземная		
		корневища	корни	вклад в общую, %
Киевское водохранилище				
Рогоз узколистный	1523 ± 258	603 ± 109	169 ± 29	34
Тростник обыкновенный	1100 ± 220	1444 ± 216	481 ± 87	64
Манник большой	668 ± 100	224 ± 29	356 ± 71	46
Оз. Белое				
Рогоз узколистный	414 ± 62	980 ± 176	494 ± 74	78
Тростник обыкновенный	355 ± 57	1000 ± 160	82 ± 12	75
Камыш озерный	108 ± 15	80 ± 18	89 ± 13	61

Исследования особенностей формирования радиоактивного загрязнения надземных и подземных органов растений показали, что в Киевском водохранилище удельная активность ¹³⁷Cs в надземных органах и корневищах достоверно не

отличалась, в грунтовых корнях была в 10 - 17 раз больше. В оз. Белое, где уровни накопления ¹³⁷Cs растениями значительно выше, отмечена такая же тенденция (табл. 2).

Таблица 2. Удельная активность ¹³⁷Cs в надземных и подземных органах воздушно-водных растений, Бк/кг

Виды	Надземные органы	Корневища	Корни
Киевское водохранилище			
Рогоз узколистный	8 ± 2	15 ± 3	139 ± 28
Тростник обыкновенный	28 ± 6	39 ± 7	308 ± 61
Манник большой	29 ± 6	29 ± 8	288 ± 60
Оз. Белое			
Рогоз узколистный	66 ± 13	82 ± 16	627 ± 93
Тростник обыкновенный	139 ± 32	107 ± 21	3410 ± 511
Камыш озерный	522 ± 104	395 ± 80	1920 ± 288

На основании продукционных показателей и результатов измерения удельной активности ¹³⁷Cs в органах растений (см. табл. 1 и 2) рассчитаны запасы ¹³⁷Cs в надземной и подземной фитомассе. Установлено, что 52,5 - 79,8 % от общих запасов ¹³⁷Cs в фитомассе на единицу площади

монозарослей растений из Киевского водохранилища сосредоточено в грунтовых корнях, оз. Белое – 64,1 - 74,2 % (табл. 3). При этом вклад грунтовых корней в общую фитомассу растений составлял 5,7 - 32,1 %.

Таблица 3. Распределение запасов фитомассы (m, % от общей фитомассы) и активности ¹³⁷Cs (A, % от общего содержания радионуклида в фитомассе) в монозарослях растений

Виды	Надземные органы		Корневища		Корни	
	m	A	m	A	m	A
Киевское водохранилище						
Рогоз узколистный	66,4	27,2	26,3	20,2	7,4	52,5
Тростник обыкновенный	36,4	13,1	47,7	23,9	15,9	63,0
Манник большой	53,5	15,1	17,9	5,1	28,5	79,8
Оз. Белое						
Рогоз узколистный	21,9	6,5	51,9	19,3	26,2	74,2
Тростник обыкновенный	24,7	11,3	69,6	24,5	5,7	64,1
Камыш озерный	39,0	21,8	28,9	12,2	32,1	66,0

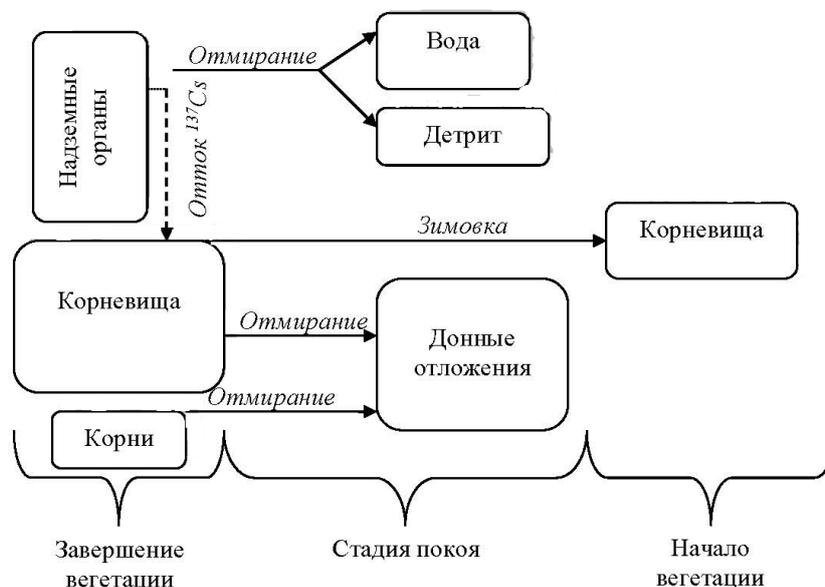
Таким образом, высокая удельная активность ¹³⁷Cs в грунтовых корнях обусловила его значительные запасы в подземной массе растений.

Исследованные виды растений являются травянистыми многолетниками с отмирающими в конце вегетационного сезона надземными органами. ¹³⁷Cs накапливается в растительных орга-

низмах в обменных и связанных формах [4, 12], при этом содержащиеся в надземной фитомассе обменные формы могут перейти в водные массы, связанные – поступают в детрит. При отмирании подземных органов депонированный в них ¹³⁷Cs захоранивается в донных отложениях. Следует учитывать, что грунтовые корни воздушно-

водных растений обновляются ежегодно, а жизнедеятельность корневищ продолжается дольше – у тростника обыкновенного около трех лет, у рогоза узколистного и манника большого – око-

ло двух лет [6]. Поэтому накопленный за предыдущий вегетационный сезон ^{137}Cs весной может из корневищ поступить в развивающиеся надземные органы (рисунок).



Потоки ^{137}Cs в водоемах, обусловленные отмиранием воздушно-водных растений.

На протяжении вегетационного сезона биогенные элементы перераспределяются между надземными и запасующими подземными органами воздушно-водных растений. В процессе исследований мы не зарегистрировали достоверного увеличения активности в корневищах растений, которое было бы связано с оттоком ^{137}Cs из надземных органов. Формально этот процесс можно считать учтенным, если при расчетах использовать зарегистрированную в конце сезона вегетации величину удельной активности органов растений. Таким образом, зная, какая активность радионуклида, накопившегося в фитомассе, сосредоточена в надземных и подземных органах

растений, можно определить основные параметры миграции ^{137}Cs , связанные с их отмиранием.

Согласно литературным данным [12] в листьях и стеблях рогоза узколистного в среднем около 25 % ^{137}Cs находится в потенциально обменных формах, тростника обыкновенного – 38 %, манника большого – 46 %. Учитывая то, что в надземных органах этих видов содержится 13 - 26 % ^{137}Cs от общего количества в фитомассе на единицу площади, только 5 - 7 % накопленного радионуклида после отмирания надземных органов растений Киевского водохранилища может вернуться в водные массы (табл. 4).

Таблица 4. Параметры миграции ^{137}Cs , обусловленные отмиранием растений Киевского водохранилища, % от содержания радионуклида в фитомассе

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

При расчетах, связанных с отмиранием подземных органов, приняли, что у рогоза узколистного, манника большого и камыша озерного ежегодно отмирает половина биомассы корневищ, у тростника обыкновенного – треть, а грунтовые корни исследованных видов обновляются ежегодно. При таких условиях с отмершими подземными органами в донные отложения ежегодно

переходит 64 - 82 % радионуклида, накопленного растениями Киевского водохранилища. К началу следующего вегетационного сезона в корневищах остается 7 - 16 % от общего количества накопленного растениями ^{137}Cs . Приблизительно такие же закономерности были отмечены и для растений, отобранных в оз. Белое (табл. 5).

Таблица 5. Параметры миграции ¹³⁷Cs, обусловленные отмиранием растений из оз. Белое, % от содержания радионуклида в фитомассе

Показатели	Рогоз узколистный	Тростник обыкновенный	Камыш озерный
Надземные органы			
Переход в водные массы	1,6	4,3	8,7
Переход в детрит	4,9	7,0	13,1
Подземные органы			
Захоронение в донных отложениях	83,9	76,4	72,1
Остаток в зимующих корневищах	9,6	12,3	6,1

С целью установления роли высших водных растений в процессах перераспределения ¹³⁷Cs в водных экосистемах определили плотность ра-

диоактивного загрязнения дна исследованных водоемов на участках монозарослей растений (табл. 6).

Таблица 6. Плотность загрязнения ¹³⁷Cs донных отложений в монозарослях воздушно-водных растений, кБк/м²

Виды растений на участках монозарослей	Киевское водохранилище	Оз. Белое
Тростник обыкновенный	18,3	57,7
Рогоз узколистный	11,2	50,4
Манник большой	18,1	—*
Камыш озерный	—	55,6

* Не определяли.

Воздушно-водные растения поглощают растворенные формы радионуклидов, а при их отмирании радионуклиды переходят в окружающую среду в других формах. В дальнейшем в донных отложениях также происходит трансформация форм радионуклидов в отмерших остатках. Общее содержание ¹³⁷Cs в донных отложениях в десятки раз больше, чем его запасы в высших водных растениях (см. табл. 1, 2, 6), поэтому мы не учитывали изменения форм содержания радионуклидов в донных отложениях, связанные с ежегодным отмиранием растений, и рассматривали валовую биотрансформацию ¹³⁷Cs, обусловленную отмиранием растительности.

Относительные показатели валовой миграции биотрансформированных форм радионуклида в донные отложения рассчитывали по формуле

$$A_p = [vA_{p1} + A_{p2} + A_{p3}/t_3] / A_0 \cdot 100,$$

где A_p – годовое количество ¹³⁷Cs, перераспределяющегося на 1 м² донных отложений за счет отмирания растений, %; A_0 – плотность загрязнения донных отложений, Бк/м²; A_{p1} – активность надземной продукции на единицу площади, Бк/м²; A_{p2} – активность корней на единицу площади, Бк/м²; A_{p3} – активность корневищ на единицу площади, Бк/м²; t_3 – время жизни корневищ, год; v – доля необменных форм ¹³⁷Cs в надземных органах.

Наиболее активно биотрансформация ¹³⁷Cs происходит в монозарослях тростника обыкновенного (табл. 7), поскольку для этого вида характерны наибольшая фитомасса и уровни накопления радионуклида. В евтрофном водоеме количество биотрансформированного ¹³⁷Cs в зарослях тростника обыкновенного почти в 1,8 раза больше, чем в олиготрофном. Количество биотрансформированного радионуклида в зарослях рогоза узколистного в водоемах разного типа достоверно не отличается.

Таблица 7. Биотрансформация ¹³⁷Cs, % от содержания в донных отложениях

Виды	Киевское водохранилище			Оз. Белое		
	1 год	30 лет		1 год	30 лет	
		с детритом	без детрита		с детритом	без детрита
Тростник обыкновенный	1,1	32,1	28,9	0,6	18,9	17,3
Рогоз узколистный	0,3	9,4	7,1	0,3	9,5	8,3
Манник большой	0,6	19,3	17,5	—*	—	—
Камыш озерный	—	—	—	0,4	11,9	10,1

* Не определяли.

Расчеты показали, что на мелководных участках исследованных водоемов в результате отмирания воздушно-водных растений ежегодно подвергается биологической трансформации от 0,3 до 1,1 % ^{137}Cs от его общего количества в верхнем 30-сантиметровом слое, а за 30 лет эта величина может достичь 32 %. Однако учитывая то, что в результате волновых явлений детрит, как правило, перемещается с мелководных участков на глубоководные, его вклад корректнее не учитывать.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования показали, что в водоемах, отличающихся трофическим статусом и уровнем радиоактивного загрязнения, относительные показатели распределения ^{137}Cs между надземными и подземными органами воздушно-водных растений достоверно не отличаются.

Установлено, что 52,5 - 79,8 % от общих запа-

сов ^{137}Cs в фитомассе на единицу площади монозарослей исследованных видов растений Киевского водохранилища сосредоточено в грунтовых корнях, оз. Белое – 64,1 - 74,2 %. После отмирания и разложения надземных органов изученных видов растений в водные массы может вернуться не более 10 % ^{137}Cs от его общего количества, накопившегося в фитомассе; 63 - 82 % ^{137}Cs от общего количества, накопившегося в фитомассе, поступает в нижние слои донных отложений при отмирании подземных органов.

В зарослях исследованных видов растений активность ^{137}Cs в отмерших подземных органах составляет от 0,3 до 1,1 % его общего количества в верхнем 30-сантиметровом слое донных отложений. За 30 лет, прошедших после аварии, отмирание воздушно-водных растений обусловило биотрансформацию 7 - 29 % от общего количества ^{137}Cs в верхнем 30-сантиметровом слое донных отложений мелководий эвтрофного водоема и 8 - 17 % олиготрофного.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Е.Н. Волкова и др. Особенности формирования радионуклидного загрязнения высших водных растений Киевского водохранилища. *Ядерная физика та енергетика* 13(2) (2012) 160.
2. О.М. Волкова, В.В. Беляев, О.О. Пархоменко, С.П. Пришляк. Параметри розподілу радіонуклідів у водоймах різного трофічного статусу. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій: зб. наук. пр.* 11 (2014) 127.
3. О.М. Волкова. Техногенні радіонукліди у гідробіонтах водойм різного типу: автореф. дис. ... д-ра біол. наук (К.: Сталь, 2008) 34 с.
4. Х.Д. Ганжа. Фізико-хімічні форми стронцію-90 та цезію-137 у водних рослинах озерної екосистеми в Чорнобильській зоні відчуження. Наукові записки Терноп. нац. пед. ун-ту ім. Володимира Гнатюка. Сер. Біологія. Спец. вип.: Гідроекологія 2(43) (2010) 78.
5. М.В. Гринжевський. *Аквакультура України* (організаційно-економічні аспекти) (Львів: Вільна Україна, 1998) 365 с.
6. Л.Ф. Лукина, Н.Н. Смирнова. *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. Б.С. Пристер, Н.А. Лошилов, О.Ф. Немец, В.А. Поярков. *Основы сельскохозяйственной радиологии*. 2-е изд. переработ. и доп. (К.: Урожай, 1991) 472 с.
9. Л.А. Сиренко и др. *Растительность и бактериальное население Днепра и его водохранилищ* (К.: Наук. думка, 1989) 232 с.
10. А.П. Садчиков, М.А. Кудряшов. *Экология прибрежно-водной растительности*: учеб. пос. для студ. вузов (Москва: Изд-во НИИ-Природа, РЭФИА, 2004) 220 с.
11. Ю.А. Томілін. Радіонукліди в компонентах водних екосистем південного регіону України: міграція, розподіл, накопичення і контрзаходи: автореф. дис. ... д-ра біол. наук (Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2007) 40 с.
12. Ch. Ganzha et al. Physicochemical forms of ^{90}Sr and ^{137}Cs in components of Glyboke Lake ecosystem in the Chernobyl exclusion zone. *Journal of Environmental Radioactivity* 127 (2014) 176.

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

Институт гідробиології НАН України, Київ, Україна

*Відповідальний автор: belyaev-vv@ukr.net

ВІДМИРАННЯ ПОВІТРЯНО-ВОДЯНИХ РОСЛИН ЯК ФАКТОР МІГРАЦІЇ ^{137}Cs У ВОДОЙМАХ

Визначено кількісні параметри міграції ^{137}Cs у донні відклади евтрофного (Київське водосховище) та олиготрофного (оз. Біле) водойм після відмирання *Phragmites australis*, *Typha angustifolia*, *Glyceria maxima* та *Scirpus lacustris*. Питома активність ^{137}Cs у надземних органах і кореневищах рослин становила 8 - 522 Бк/кг, у ґрунто-

вих коренях – 139 - 3410 Бк/кг. Після відмирання рослин у водні маси надходить 1,6 - 8,7 % від загального накопиченого у фітомасі ^{137}Cs , у детрит – 4,9 - 19,7 %, у донні відклади – 63,5 - 83,9 %. На мілководних ділянках досліджених водойм унаслідок відмирання повітряно-водяних рослин до донних відкладів щорічно надходить від 0,3 до 1,1 % ^{137}Cs від його загальної кількості у верхньому 30-сантиметровому шарі донних відкладів.

Ключові слова: водойми, повітряно-водяні рослини, міграція ^{137}Cs , донні відклади.

O. M. Volkova, V. V. Belyaev*, S. P. Pryshlyak, O. O. Parkhomenko

Institute of Hydrobiology, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*Corresponding author: belyaev-vv@ukr.net

DYING OUT OF THE HELOPHYTES AS THE FACTOR OF MIGRATION OF ^{137}Cs IN WATER BODIES

Quantitative parameters of migration of ^{137}Cs to the bottom sediments of eutrophic (Kyiv reservoir) and oligotrophic (Lake Beloe) water bodies after the dying out of *Phragmites australis*, *Typha angustifolia*, *Glyceria maxima* and *Scirpus lacustris* were determined. The specific activity of ^{137}Cs in the overground organs and plant rhizomes was 8 - 522 Bq/kg, in soil roots – 139 - 3410 Bq/kg. After the dying out of the plants, 1.6 - 8.7 % of the total ^{137}Cs accumulated in the phytomass enters the water masses, 4.9 - 19.7 % enters the detritus, and 63.5 - 83.9 % enters the bottom sediments. In shallow water areas of the studied water bodies as a result of the dying out of helophytes, from 0.3 to 1.1 % of ^{137}Cs of its total number in the upper 30 cm layer of bottom sediments are annually transferred to bottom sediments.

Keywords: water bodies, helophytes, ^{137}Cs migration, bottom sediments.

REFERENCES

1. E.N. Volkova et al. Peculiarities of forming radioactive contamination of higher aquatic plants from Kyiv reservoir. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 13(2) (2012) 160. (Rus)
2. O.M. Volkova, V.V. Belyayev, O.O. Parkhomenko, S.P. Pryshlyak. Radionuclide distribution parameters in water bodies of different trophic status. *Pryroda Zakhidnogo Polissya ta prylyglykh terytorii* 11 (2014) 127. (Ukr)
3. O.M. Volkova. Technogenic radionuclides in hydrobionts of water bodies of various types. Thesis abstract (Kyiv: Stal, 2008) 34 p. (Ukr)
4. Kh.D. Ganzha. Physico-chemical forms of strontium-90 and cesium-137 in aquatic plants of the lake ecosystem in the Chernobyl exclusion zone. *Naukovi zapysky Ternop. nats. ped. universytetu im. Volodymyra Gnatyuka. Ser. Biologiya. Hidroekologiya* 2(43) (2010) 78. (Ukr)
5. M.V. Grynzhivs'kyi. *Aquaculture of Ukraine* (organizational and economic aspects) (Lviv: Vilna Ukrayina, 1998) 365 p. (Ukr)
6. L.F. Lukina, N.N. Smirnova. *Physiology of Higher Aquatic Plants* (Kyiv: Naukova dumka, 1988) 188 p. (Rus)
7. *Methods of Hydroecological Surveys of Surface Waters*. Ed. V. D. Romanenko (Kyiv: LOGOS, 2006) 408 p. (Ukr)
8. B.S. Prister, N.A. Loshchilov, O.F. Nemets, V.A. Poyarkov. *Fundamentals of Agricultural Radiology*. 2-nd ed. (Kyiv: Urozhaj, 1991) 472 p. (Rus)
9. L.A. Sirenko et al. *Vegetation and Bacterial Population of the Dnieper and its Reservoirs* (Kyiv: Naukova dumka, 1989) 232 p. (Rus)
10. A.P. Sadchikov, M.A. Kudryashov. *Ecology of Coastal-Aquatic Vegetation* (Moskva: Izdatelstvo NIA-Priroda, REFIA, 2004) 220 p. (Rus)
11. Yu.A. Tomilin. Radionuclides in the components of the water ecosystems of the southern region of Ukraine: migration, distribution, accumulation and countermeasures. Thesis abstract (Mykolayiv: MDGU imeni Petra Mogyly, 2007) 40 p. (Ukr)
12. Ch. Ganzha et al. Physicochemical forms of ^{90}Sr and ^{137}Cs in components of Glyboke Lake ecosystem in the Chernobyl exclusion zone. *Journal of Environmental Radioactivity* 127 (2014) 176.

Надійшла 30.01.2018

Received 30.01.2018