

РАДИОНУКЛИДЫ В ВЫСШИХ ВОДНЫХ РАСТЕНИЯХ ВОДОЕМОВ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Д. И. Гудков¹, А. Б. Назаров², В. В. Деревец², М. И. Кузьменко¹

¹ Институт гидробиологии НАН Украины, Киев

² Государственное научно-производственное предприятие "РАДЭК" МЧС Украины, Чернобыль

Анализируются результаты исследований содержания радионуклидов ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs в тканях высших водных растений водоемов зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. Изучен видовой состав водных фитоценозов и выявлены виды-индикаторы радиоактивного загрязнения. Изучена сезонная динамика содержания радионуклидов в макрофитах и показана роль основных растительных группировок в процессах распределения ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs в биотической компоненте биоценозов.

Введение

Высшие водные растения (макрофиты) являются одним из доминирующих по биомассе компонентов пресноводных экосистем. Они обладают высоким продукционным потенциалом и способностью активно накапливать радиоактивные вещества. Занимая в большинстве пресных водоемов литоральную и частично сублиторальную зоны, растительные сообщества играют важную роль в процессах самоочищения водных экосистем. В первую очередь это обусловлено их способностью ассимилировать радиоактивные вещества из воды и донных отложений, которая зависит от биомассы и структуры зарослей макрофитов. При смыве радионуклидов с территории водосбора фитоценозы высших водных растений выполняют функцию естественного биофильтра, который, накапливая и осаждая радионуклиды со взвешьями, на некоторое время выводит их из круговорота веществ водной экосистемы, препятствуя дальнейшему распространению.

Материалы и методы исследований

Водными объектами исследований были выбраны оз. Азбучин, Яновский (Припятский) затон, пруд-охладитель ЧАЭС, озера левобережной поймы р. Припять - Глубокое и Далекое-1, а также рек Уж и Припять. На р. Уж станция пробоотбора располагалась в устьевой части реки, на р. Припять пробы отбирались на двух станциях - выше (траверз с. Довляды) и ниже (причал у Чернобыля) по течению от ЧАЭС (рис. 1).

Анализ радиоэкологической ситуации в водоемах и выявление организмов-индикаторов проводили с использованием следующих видов высших водных растений: гелофиты или воздушно-водные растения: тростник обыкновенный (*Phragmites communis* Trin.), рогоз узколистый (*Typha angustifolia* L.), манник большой (*Glyceria maxima* C. Hartm), осока острая (*Carex acuta* L.), сусак зонтичный (*Butomus umbellatus* L.), стрелолист стреловидный (*Sagittaria saggitifolia* L.); неукорененные гидатофиты: роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum* L.); укорененные гидатофиты: уруть колосовидная (*Myriophyllum spicatum* L.), рдест гребенчатый (*Potamogeton pectinatus* L.); укорененные плейстофиты: кубышка желтая (*Nuphar luteum* L.), кувшинка чисто-белая (*Nymphaea candida* L.); неукорененные или свободноплавающие плейстофиты: телорез алоевидный (*Stratiotes aloides* L.), многокоренник (*Spirodella polyrhiza* L.), водяной орех (*Trapa natans* L.), водокрас обыкновенный (*Hydrocharis morsus-ranae* L.).

Сбор макрофитов проводили согласно стандартным методикам, общепринятым в гидробиологических и радиоэкологических исследованиях в весенний, летний и осенний периоды 1997 – 1999 гг. Результаты измерений содержания радионуклидов приведены в

Бк/кг массы естественной влажности. Способность водных организмов аккумулировать радионуклиды, традиционно выражаемая в единицах коэффициента концентрирования (КК) или накопления, определяли отношением удельной активности радионуклидов в тканях растений к их содержанию в воде мест обитания в течение вегетационного периода.

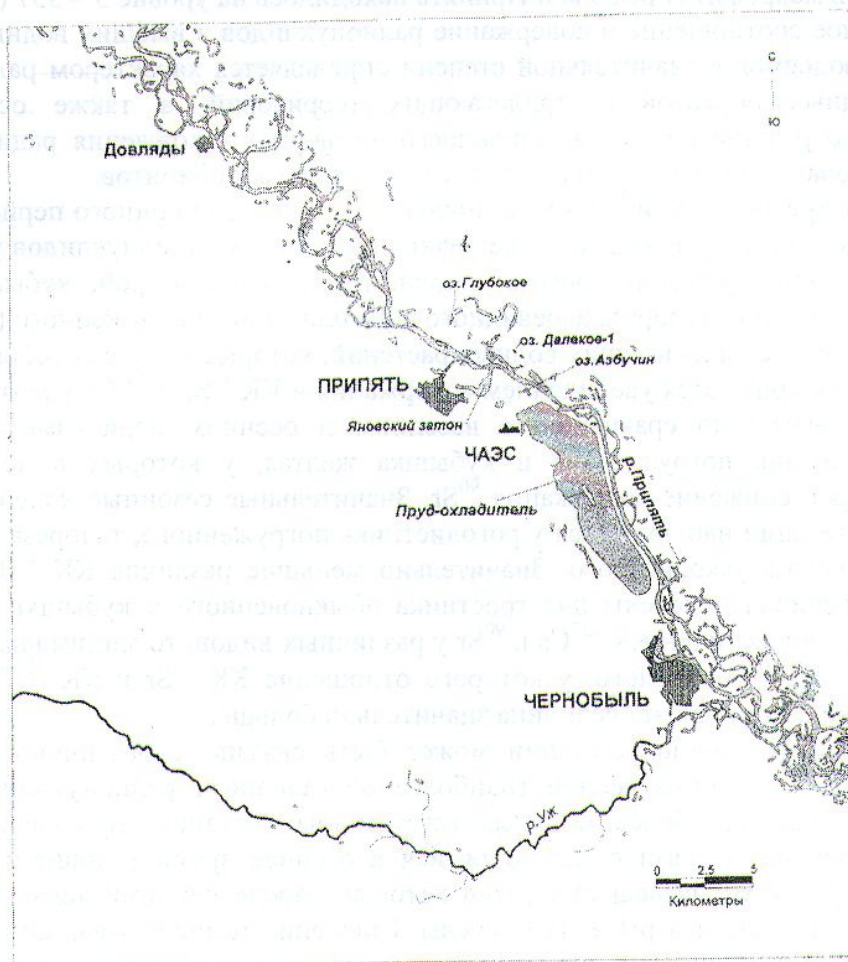


Рис. 1. Карта-схема полигонных водоемов.

Результаты исследований и их обсуждение

Исследование содержания радионуклидов в высших водных растениях водоемов ближней зоны отчуждения ЧАЭС показало, что наибольшими концентрациями ^{137}Cs характеризуются макрофиты из непроточных и слабопроточных водных объектов. Максимальные активности отмечены для оз. Глубокого – 925 – 22000 (6534) Бк/кг, несколько меньшими концентрациями характеризуются высшие водные растения из оз. Далекое-1 – 220 – 13000 (4089) Бк/кг; оз. Азбучин и пруд-охладитель ЧАЭС по этому показателю находятся приблизительно на одном уровне – 220 – 4500 (2002) и 380 – 3100 (2098) Бк/кг соответственно. Минимальные значения активности ^{137}Cs для водоемов этого типа были зарегистрированы в Яновском затоне – 38 – 1702 (779) Бк/кг. Высшие водные растения из проточных водных объектов, таких как реки Уж и Припять, характеризовались содержанием ^{137}Cs в пределах 4 – 185 (54) Бк/кг.

Распределение удельной активности ^{90}Sr в высших водных растениях водоемов ближней зоны отчуждения ЧАЭС носит несколько иной характер. Максимальные значения отмечены для макрофитов оз. Азбучин – 740 – 16280 (4335) Бк/кг, несколько меньшие – для

оз. Глубокого – 67 – 14060 (2752) Бк/кг и приблизительно на одном уровне находится содержание ^{90}Sr в растениях оз. Далекого-1 и Яновского затона – 200 – 1700 (811) и 110 – 2200 (667) Бк/кг соответственно. Минимальными значениями для непроточных и слабопроточных водоемов характеризовался пруд-охладитель ЧАЭС – 40 – 510 (213) Бк/кг. Содержание ^{90}Sr в макрофитах рек Уж и Припять находилось на уровне 3 – 357 (28) Бк/кг.

Характерное соотношение и содержание радионуклидов в высших водных растениях исследованных водоемов в значительной степени определяется характером радиоактивного загрязнения водных объектов и прилегающих территорий, а также особенностями гидрохимического режима водоемов, влияющего на формы нахождения радионуклидов в водоемах и, следовательно, на степень их доступности для гидробионтов.

Анализ содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в различные сезоны вегетационного периода позволил выявить сезонную динамику и видовую специфику накопления радионуклидов у следующих видов высших водных растений: рогоза узколистного, осоки острой, кубышки желтой, тростника обыкновенного, телореза алоевидного и роголистника погруженного (рис. 2).

Практически все виды высших водных растений, которые удалось отобрать в течение трех сезонов, характеризуются увеличением содержания и КК ^{90}Sr и ^{137}Cs в разгар вегетации (конец июля – август) по сравнению с весенним и осенним периодами. Исключение составили роголистник погруженный и кубышка желтая, у которых в летний период отмечено некоторое снижение содержания ^{90}Sr . Значительные сезонные колебания КК для ^{137}Cs в период вегетации наблюдаются у роголистника погруженного, телореза алоевидного, осоки острой и рогоза узколистного. Значительно меньшие различия КК ^{137}Cs в течение вегетационного периода отмечены для тростника обыкновенного и кубышки желтой. Что касается соотношения величин КК ^{137}Cs к ^{90}Sr у различных видов, то минимальные значения отмечены для рогоза узколистного, у которого отношение КК ^{90}Sr к КК ^{137}Cs составляет около 2. Для остальных видов эта величина значительно больше.

Снижение КК в конце вегетации может быть связано с частичным отмиранием растений и оседанием старых частей (наиболее обогащенных радионуклидами) на дно водоема [1]. Что касается более молодых вегетативных органов, то содержание в них радионуклидов меньше в связи с меняющимися в осеннее время условиями накопления минеральных и органических веществ, среди которых определяющими являются снижение температуры, освещенности и рН водной среды. Снижение температуры, как отмечает ряд авторов [2, 3, 4, 5 и др.], приводит к замедлению физиологических процессов растительных организмов и ухудшению растворимости радионуклидов, отражаясь на их миграционной способности и эффективности концентрирования макрофитами. Уменьшение светового дня в осенний период также может оказывать влияние на процесс концентрирования радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs , поскольку накопление химических веществ и в том числе радионуклидов растениями находится в прямой зависимости от интенсивности процесса фотосинтеза [6, 7], которая во второй половине вегетационного периода снижается. Кроме этого, с понижением температуры в осенний период и затуханием фотосинтезирующей активности в воде увеличивается содержание двуокси углерода и величина рН снижается во всей ее толще. Известно, что интенсивность миграции большинства химических элементов в природных водах зависит от их щелочно-кислотных условий, определяющих их состояние в растворе, а следовательно, и сорбционные свойства. При рН выше 7,0 радионуклиды удерживаются клеточными оболочками растений, при понижении этого показателя усиливается десорбция радионуклидов и их переход в растворенное состояние [8].

Необходимо также отметить, что хорошо развитая корневая система воздушно-водных растений выполняет роль запасающего органа и достигает максимального развития к осени, когда происходит отток питательных веществ в корневище. При этом фитомасса, продуцируемая подземной частью некоторых видов (рогозы, тростник обыкновенный) может в 2 – 3 раза превышать массу надземных органов [9]. Простираясь в горизонтальной плоскости по всей площади фитоценоза, корневые системы воздушно-водных растений

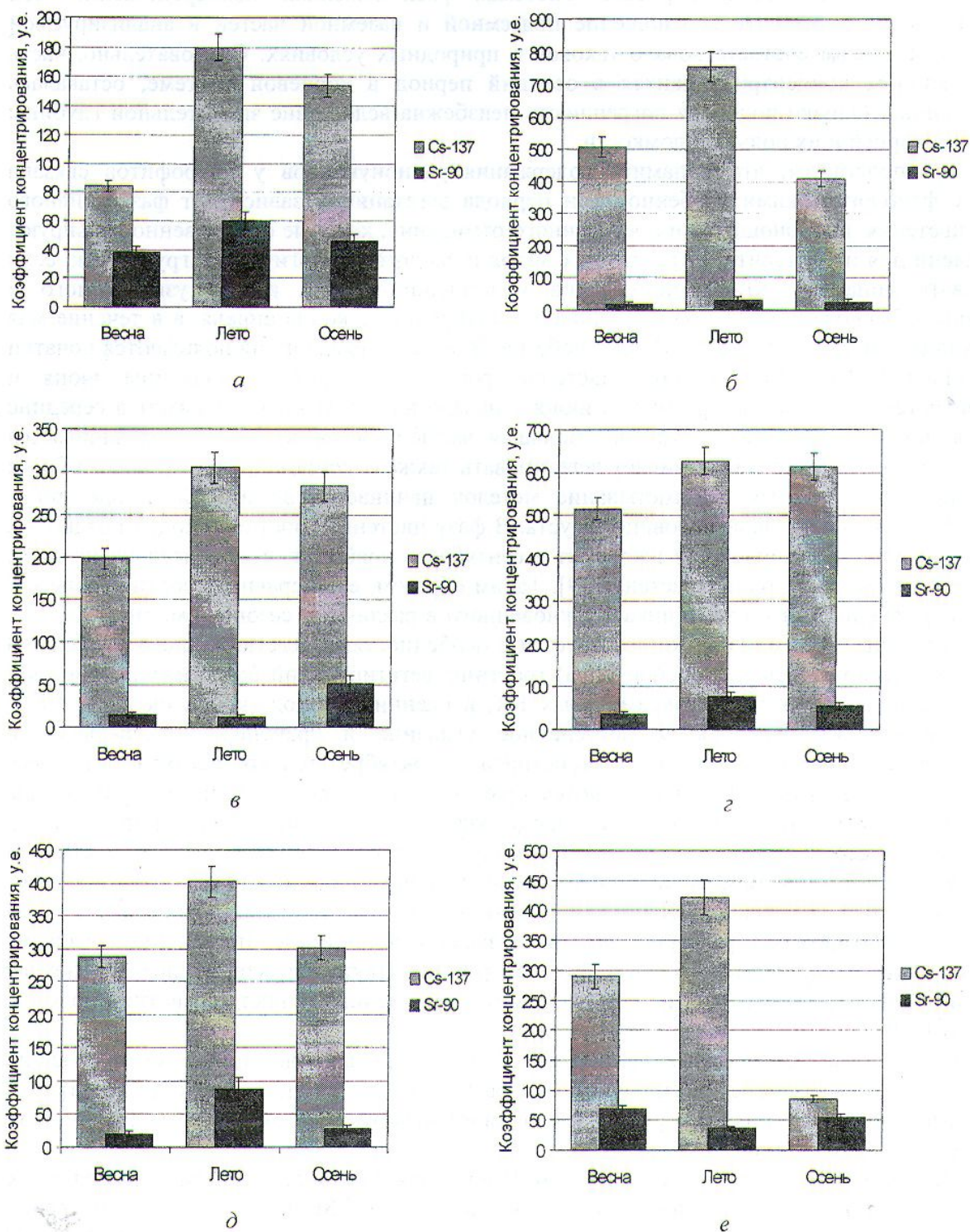


Рис. 2. Соотношение и сезонная динамика КК ^{137}Cs и ^{90}Sr у высших водных растений водоемов зоны отчуждения ЧАЭС: а – рогоз узколистный; б – осока острая; в – кубышка желтая; г – тростник обыкновенный; д – телорез алоевидный; е – роголистник погруженный.

служат накопителями биогенных веществ, поэтому к концу вегетации минеральные и органические вещества, включая радионуклиды, поступают из надземных органов в подземные [10, 11, 12]. Учитывая, что при отборе проб рогоза и тростника извлекалась

наиболее доступная часть корневой системы, расположенная непосредственно под отбираемым растением, то соотношение подземной и наземной частей в анализируемой аликвоте не совсем соответствовало таковой в природных условиях. Следовательно, часть радионуклидов, концентрирующихся в осенний период в корневой системе, оставалась недоучтенной. Однако подобная погрешность неизбежна вследствие значительной глубины залегания корней и их большой ломкости.

Предполагается, что динамика содержания радионуклидов у макрофитов связана также с фенологическими особенностями периода вегетации и зависит от фаз активного роста, цветения, плодоношения и постепенного отмирания, которые существенно варьируют во времени для представителей различных видов и эколого-биологических групп. Так, если сравнивать динамику КК радионуклидов у воздушно-водных рогоза узколистного и тростника обыкновенного, то рогоз начинает вегетировать с конца апреля, а в течение мая происходит наиболее интенсивный рост побегов. В первой декаде июня появляются початки и начинается фаза бутонизации. Цветение рогоза начинается в середине июня и заканчивается довольно быстро (конец июня – начало июля). Плоды созревают в середине октября, початки начинают “пушить”, большая часть побегов засыхает – заканчивается период вегетации. Тростник начинает вегетировать также в конце апреля и рост его более интенсивен, чем у рогоза. Выметывание метелок начинается во второй декаде июля, выколашивание – во второй половине августа. В фазу цветения тростник входит поздно – в начале сентября. Плодоношение наступает в сентябре – ноябре, т. е. значительно позднее, чем у других высших водных растений [9]. Таким образом, если сравнить соотношение КК для рогоза узколистного и тростника обыкновенного в различные сезоны (см. рис. 2, а и з), то их динамика достаточно четко согласуется с особенностями вегетационного периода. В конце мая (период весеннего пробоотбора) тростник, вегетирующий более интенсивно, чем рогоз, уже подходит к пику максимальных КК, в осенний период (конец октября) КК у рогоза снижается – начинается постепенное увядание и транспорт минеральных и органических веществ в корни. У тростника в октябре только наступает процесс плодоношения, поэтому КК ^{137}Cs остаются практически на уровне летнего периода. Для кубышки желтой также характерен более продолжительный вегетационный период – вплоть до ноября, что отражается и на незначительном снижении КК ^{137}Cs . Кроме этого, с сентября по октябрь у кубышки желтой начинается второй период цветения [13]. Очевидно, этим можно объяснить увеличение КК ^{90}Sr в осенний период. У осоки острой и телореза алоевидного в конце октября период вегетации заканчивается и идет постепенное увядание растений. Для погруженных видов, таких как роголистники, характерно позднее начало вегетационного периода, но и относительно укороченный цикл развития побегов, протекающий за 2 – 2,5 мес.

Полученные усредненные данные КК ^{90}Sr и ^{137}Cs для различных видов высших водных растений в течение полного вегетационного периода позволило построить диаграммы, представленные на рис. 3 и 4 и демонстрирующие видовую специфичность накопления радионуклидов макрофитами.

Представленные данные (см. рис. 3 и 4) позволяют дифференцировать исследуемые виды по их способности концентрировать радионуклиды ^{90}Sr и ^{137}Cs и соответственно выявить виды-индикаторы радиоактивного загрязнения в условиях водоемов зоны отчуждения ЧАЭС (табл. 1 и 2).

Представленные данные (см. рис. 3 и 4 и табл. 1 и 2), свидетельствуют о невозможности соотнесения КК с разделением высших водных растений из водоемов зоны отчуждения ЧАЭС на группы, характеризующие связь их вегетативных органов с воздухом, водой или грунтом, поскольку в группы концентраторов различных порядков входят виды различной экологической классификации, а особенность накопления радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs обладает выраженной видовой специфичностью.

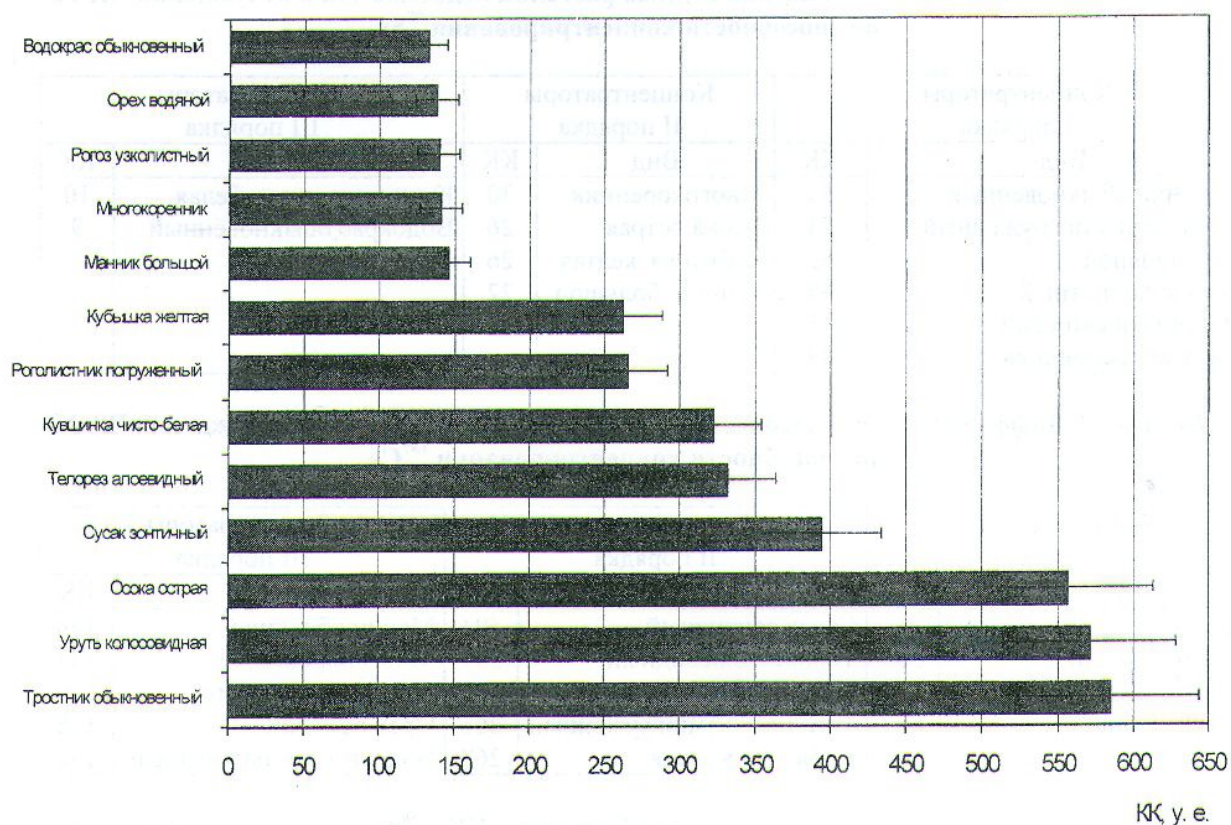


Рис. 3. Средние величины Кк для ^{137}Cs у высших водных растений водоемов зоны отчуждения ЧАЭС за вегетационный период.

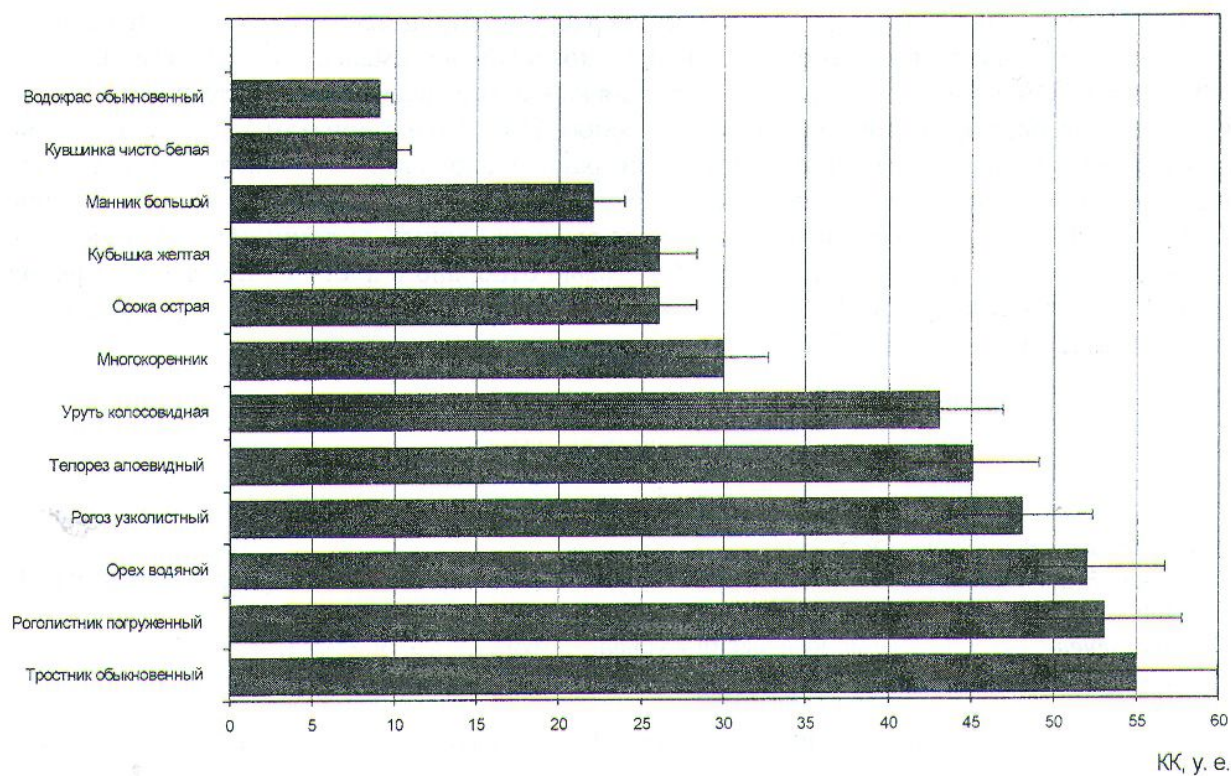


Рис. 4. Средние величины Кк для ^{90}Sr у высших водных растений водоемов зоны отчуждения ЧАЭС за вегетационный период.

Таблица 1. Дифференциация высших водных растений водоемов зоны отчуждения ЧАЭС по способности концентрирования ^{90}Sr

Концентраторы I порядка		Концентраторы II порядка		Концентраторы III порядка	
Вид	КК	Вид	КК	Вид	КК
Тростник обыкновенный	55	Многокоренник	30	Кувшинка чисто-белая	10
Роголистник погруженный	53	Осока острая	26	Водокрас обыкновенный	9
Орех водяной	52	Кубышка желтая	26		
Рогоз узколистный	48	Манник большой	22		
Телорез алоевидный	45				
Уруть колосовидная	43				

Таблица 2. Дифференциация высших водных растений водоемов зоны отчуждения ЧАЭС по способности концентрирования ^{137}Cs

Концентраторы I порядка		Концентраторы II порядка		Концентраторы III порядка	
Вид	КК	Вид	КК	Вид	КК
Тростник обыкновенный	585	Сусак зонтичный	394	Манник большой	146
Уруть колосовидная	571	Телорез алоевидный	331	Многокоренник	141
Осока острая	557	Кувшинка чисто-белая	322	Рогоз узколистный	139
		Роголистник погруженный	265	Орех водяной	138
		Кубышка желтая	262	Водокрас обыкновенный	132

Следует также отметить, что наибольшие КК ^{90}Sr среди высшей водной растительности были зарегистрированы для рдестов (*Potamogeton perfoliatus* L. и *P. pectinatus* L.). Средние значения этого показателя составили около 86, что в 1,5 раза превышает аналогичные для тростника, который отмечен нами как вид с максимальным КК по ^{90}Sr . Очевидно, это связано со способностью рдестов в процессе фотосинтеза интенсивно сорбировать на своей поверхности кальций, который не смывается при стандартном пробоотборе. При этом в отделенном от растения карбонате кальция может содержаться в 7–20 раз больше радиостронция, чем в самих тканях [14]. Таким образом, рдесты могли бы оказаться весьма перспективными объектами радиозэкологического мониторинга водных объектов как специфические накопители ^{90}Sr . Однако если говорить о водоемах зоны отчуждения ЧАЭС, то представители этого рода высших водных растений не являются здесь массовыми видами и за период 1997–1999 гг. было отобрано в достаточном для измерения количестве всего три пробы. Поэтому результаты измерений для рдестов не приведены в диаграммах на рис. 3 и 4, что обусловлено недостатком данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Куликов Н.В., Молчанова И.В. Континентальная радиозэкология. Почвенные и пресноводные экосистемы. – М.: Наука, 1975.
- Куликов Н.В., Ожegov Л.Н., Чеботина М.Я., Боченин В.Ф. // Тр. Ин-та экол. раст. и жив. УНЦ АН СССР. – Свердловск, 1978. – Вып. 110. – С. 65.
- Марчуленене Д.П. // Гидробиологический журнал. – 1990. – Т. 26, № 2. – С. 71.
- Марчуленене Д.П., Душаускене-Дуж Р.Ф., Мотеюнене Э.Б. и др. // Экология. – 1982. – № 2. – С. 49.
- Трапезников А.В., Чеботина М.Я., Трапезникова В.Н., Куликов Н.В. // Экология. – 1983. – № 4. – С. 68.
- Бессонов Б.И., Бельчева Н.Н., Саенко Т.Н. и др. // Тр. Междунар. симп. "Взаимодействие между водой и живым веществом". – М.: Наука, 1979. – Т. 1. – С. 103.

7. Боченин В.Ф., Чеботина М.Я., Фелинская В.Ю. // Тр. Ин-та экол. растений и животных УНЦ АН СССР. – Свердловск, 1978. – Вып. 110. – С. 3.
8. Романенко В.Д., Кузьменко М.И., Евтушенко Н.Ю. и др. Радиоактивное и химическое загрязнение Днепра и его водохранилищ после аварии на Чернобыльской АЭС. – Киев: Наук. думка, 1992.
9. Корелякова И.Л., Горбик В.П. Высшая водная растительность Днепра и его водохранилищ // Растительность и бактериальное население Днепра и его водохранилищ. – Киев: Наук. думка, 1989.
10. Мережко А.И., Смирнова Н.И., Горбик В.П. // Гидробиологический журнал. – 1979. – Т.15, № 1. – С. 20.
11. Мережко А.И., Смирнова Н.И., Горбик В.П. // Гидробиологический журнал. – 1980. – № 5. – С. 127.
12. Смирнова Н.И. // Гидробиологический журнал. – 1980. – Т. 16, № 3. – С. 60.
13. Дубына Д. С. Кувшинковые Украины (видовой состав, распространение, запасы, биология, использование, охрана и обогащение): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Киев, 1976.
14. Лайнерте М.П., Сейсума З.К. // Высшие водные и прибрежно-водные растения: Тез. докл. I-й Всесоюз. конф. (Борок, 7–9 сент. 1977 г.). – Борок, 1977. – С. 117.

РАДИОНУКЛИДИ У ВИЩИХ ВОДЯНИХ РОСЛИНАХ ВОДОЙМ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС

Д. І. Гудков, О. Б. Назаров, В. В. Деревець, М. І. Кузьменко

Аналізуються результати досліджень вмісту радіонуклідів ^{90}Sr і ^{137}Cs у тканинах вищих водяних рослин водойм зони відчуження Чорнобильської АЕС. Вивчено видовий склад водних фітоценозів і визначено види-індикатори радіоактивного забруднення. Вивчено сезонну динаміку вмісту радіонуклідів у вищих водяних рослин і показано роль основних рослинних угруповань у процесах розподілу ^{90}Sr та ^{137}Cs в абіотичній компоненті біогідроценозів.

RADIONUCLIDES IN HIGHER AQUATIC PLANTS OF WATER RESERVOIRS WITHIN THE CHERNOBYL NPP EXCLUSION ZONE

D. I. Gudkov, A. B. Nazarov, V. V. Derevets, M. I. Kuzmenko

The results of radionuclides ^{90}Sr and ^{137}Cs content in higher aquatic plants of water objects within Chernobyl NPP exclusion zone have been analysed. Biodiversity of phytocenose was studied and species-indicators of radioactive contamination are exposed as well. The seasonal dynamics of radionuclides content in macrophytes was studied and the role of main aquatic plant clumps in processes of ^{137}Cs and ^{90}Sr distribution in abiotic component of biohydrocenoese have been demonstrated.