

Лабораторная работа 5. СРАВНИТЕЛЬНОЕ НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ

Впервые особенности накопления радионуклидов водной растительностью были изучены В.И Вернадским в 30-е годы двадцатого столетия. Он в модельных аквариумах исследовал закономерности поступления и накопления растениями естественных радионуклидов (урана, тория и радия). К настоящему времени доказано, что основное влияние на накопление радионуклидов водной растительностью оказывают такие факторы, как филогенез, экотип и биологические особенности растений. Установлено, что одноклеточные и нитчатые водоросли накапливают больше радионуклидов, чем водные растения. А среди водных растений больше накапливают радионуклиды те растения, которые имеют более раннее эволюционное происхождение. Из пяти групп экотипов водных растений максимальное накопление Cs-137 и Sr-90 наблюдается у погруженных в воду растений, не имеющих связи с дном, а также плавающих на поверхности воды (ряска). Меньше накапливают радионуклиды растения таких групп, как погруженные в воду прикрепленные ко дну, погруженные в воду и прикрепленные ко дну с плавающими на поверхности листьями (кубышка) и прибрежно-водные. Из водной растительности высокой аккумулярующей способностью обладают ряска малая, рдест, элодея, кубышка.

Большое влияние на накопление радионуклидов растительностью оказывают физико-химические свойства радионуклидов и концентрация в воде их изотопных и неизотопных носителей. Носителем называется элемент одноименный или схожий по химическим свойствам с радиоактивным изотопом. Наиболее высокие коэффициенты накопления у водной растительности характерны для изотопов фосфора (P-32), железа (Fe-59), кобальта (Co-60), в меньшей степени накапливаются изотопы серы (S-35), кальция (Ca-45), рубидия (Rb-86), стронция (Sr-90), кадмия (Cd-115), цезия (Cs-137).

Накопление стронция водной растительностью находится в обратной зависимости от содержания в воде его химических макроаналогов – кальция и магния, а накопление цезия – от содержания калия. Большинство видов водной растительности накапливают кальция и калия больше, чем стронция и цезия. Установлена положительная связь между коэффициентами накопления Sr-90 и содержанием кальция в растениях. Виды, содержащие много кальция, поглощают и накапливают больше стронция. Существует такая же зависимость между содержанием калия в водных растениях и поглощением ими радиоцезия. На поверхности растений в зонах их контакта с водой образуются карбонатные соединения кальция и стронция. Образование карбонатов является одним из механизмов удаления кальция и стронция из воды и перехода их в донные отложения после отмирания растений. Концентрация Sr-90 в карбонатном осадке в 3 раза меньше, чем кальция. Процесс образования карбонатов стронция и кальция на поверхности водной растительности возрастает в щелочной среде. В кислой среде возрастает поступление в растения Sr-90 и Cs-137 в ионной форме, поскольку ионно-обменные реакции и диффузия являются основными или преобладающими механизмами поступления радионуклидов в растения. Таким образом, с уменьшением кислотности воды возрастает поступление радионуклидов в растительность. Корневое поступление радионуклидов у водных растений менее значимо по сравнению с их поступлением через органы, погруженные в воду.

Накопление радионуклидов растительностью зависит от сезона года, светового и температурного режимов. Максимальное накопление наблюдается осенью (сентябрь, октябрь). Повышение накопления радионуклидов от весны к осени является закономерным процессом, поскольку в этом сезонном интервале происходит основное увеличение общей вегетативной массы, минеральных веществ и радионуклидов. С увеличением уровня освещенности водной среды возрастают диффузия и активный перенос ионов, адсорбированных поверхностью клеток водных растений через мембраны клеток. Это способствует увеличению накопления одно- и двухвалентных ионов K^+ , Cs^+ , Sr^{2+} , Ca^{2+} в растениях. Соотношение процессов адсорбции и переноса ионов через мембрану клетки неодинаково у разных видов водных растений. В экспериментах установлено влияние температурного режима на накопление радионуклидов. При нагревании воды от 12 до 28°C накопление Sr-90 возрастает в 1–5 раз, Cs-137, Ca^{2+} – в 2–3 раза, а Co-60 – в 4–5 раз.

Влияние всех факторов на накопление радионуклидов особенно резко проявляется в дистрофных водоёмах, характеризующихся очень низким содержанием в воде кальция, калия, натрия, магния. Растения дистрофных водоёмов накапливают Sr-90 в 4 раза больше,

чем растения мезотрофных водоемов, и в 2,6 раза больше, чем растения эвтрофных водоемов.

Установлена прямая связь между величиной коэффициента накопления радионуклидов и прочностью их фиксации живыми и мёртвыми тканями водной растительности. Из всех радионуклидов менее прочно фиксируются тканями растений изотопы Sr-90 и Cs-137. Из живых тканей выделяется в воду более 50% этих радионуклидов, а из мёртвых разложившихся тканей – до 95–99% Sr-90 и до 60–80% Cs-137.

Из тканей живых и разлагающихся растений Cs-137 и Sr-90 выделяются в воду в подвижных формах и легко вступают в повторные циклы миграции в водоёмах. Отмёршая водная растительность обладает высокой сорбционной способностью, поэтому закрепляет радионуклиды в донных отложениях.

Цель работы: определить содержание Cs-137 и K-40 в водной растительности.

Материалы и оборудование: гамма-радиометр РКГ–01“Алиот”, образцы проб водной растительности, весы лабораторные.

Выполнение работы. 1. Включить радиометр тумблером “сеть”, расположенным на задней панели прибора. Выдержать радиометр во включенном состоянии 10 мин. 2. Произвести измерение фона. Для этого установить в свинцовую защиту детекторного блока сосуд Маринели, закрыть крышку и нажать кнопку “пуск” на панели электронного блока. Через 10 минут нажать кнопку “стоп”. 3. Произвести измерение удельной активности радионуклидов Cs-137 и K-40 в конкретных пробах. Сосуд Маринели заполнить исследуемой пробой до метки 0,5 или 1 литр и взвесить на лабораторных весах. Далее массу пустого сосуда (76 г) следует отнять от полученного результата. Значение “чистой” массы пробы набрать на цифровом поле электронного блока радиометра и нажатием кнопки “В” ввести в память процессора. Кнопкой “объем” задать объем измеряемой пробы. Нажать кнопку “пуск”. Максимальное время измерения проб – 10 минут (прибор может закончить измерение раньше установленного времени автоматически при достижении заданной погрешности). После завершения измерения снять показания радиометра в Бк/кг (информация о содержании K-40 в пробе выводится на индикатор электронного блока радиометра нажатием кнопки “Ф”), затем путем нажатия кнопки “ед. измер” перевести результаты в Ки/кг.

Полученные результаты занести в табл. 30 отчета по работе.

Т а б л и ц а 30. Содержание Cs-137 и K-40 в водной растительности

Вид водной растительности	Содержание Cs-137		Содержание K-40		Отношение $^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$
	Бк/кг	Ки/кг	Ки/кг	Бк/кг	
Ряска малая					
Элодея					
Кубышка жёлтая					
Рдест					
Лютик пекнолистный					
Аир обыкновенный					
Стрелолист					
Горец водяной					
Хвощ топяной					
Сусан болотный					
Вейник					

По результатам измерений сделать выводы и занести в отчет по работе.

ВИДОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ РЫБОЙ

Накопление радионуклидов планктоном и организмами зообентоса варьирует в очень широких пределах и зависит от многих факторов. Среди них выделяют вид, возраст, анатомическое строение организмов, а также тип водной системы, характеристику среды обитания, сезон года и концентрацию радионуклидов в воде.

Организмы по накоплению радионуклидов располагаются в следующем убывающем

порядке: низшие ракообразные > моллюски и высшие ракообразные > рыбы > насекомые > животные. Коэффициенты накопления радионуклидов данными классами организмов имеют значения от 10 до 250, т.е. характеризуются высоким уровнем и варьированием.

Планктон, состоящий из низших ракообразных, микроводорослей и инфузорий, может иметь высокие концентрации Ru-106, Cs-137, Sr-90. У высших организмов Cs-137 и Sr-90 распределяются по определённым органам. Так, до 95% Sr-90 накапливается в раковинах, хитиновых кутикулах, костной ткани, а цезий-137 – в мягких тканях.

Из всех водных организмов пресноводной экосистемы только рыбы и раки связаны с пищевыми цепочками человека. Поступление радионуклидов в их организм осуществляется двумя путями: алиментарным и осмотическим. Алиментарный путь – это поступление радионуклидов с водой и пищей через рот. При низкой концентрации радионуклидов в воде этот путь является основным. Осмотический путь – это поступление радионуклидов из воды непосредственно через кожу, жабры, слизистые оболочки, хвостовой плавник. Такое поступление радионуклидов приводит к повышению их концентрации в организме рыб на несколько порядков в сравнении с их концентрацией в среде обитания (воде).

Установлено, что до 90% стронция-90 и кальция поступают в организм рыб через жабры и слизистую оболочку ротовой полости, а 10% этих элементов поступает с кормом. Исключением из этой закономерности является карп, у которого до 92% Sr-90 поступает с кормом и только 8% из воды. Радиоцезий в основном поступает с кормом.

Поступившие в организм радионуклиды концентрируются в органах и тканях. До 95% Sr-90 концентрируется в костной ткани (голова, скелет, плавники) и в чешуе. В мышцах и внутренних органах содержание Sr-90 на 1–3 порядка ниже, чем в костях. Радиоцезий накапливается преимущественно в мышцах и внутренних органах.

Накопление радионуклидов рыбой разных видов зависит от их биологических особенностей (хищные или мирные рыбы), способа питания, места обитания в водном биоценозе, типа водной системы и концентрации в ней калия, кальция, натрия, магния и радионуклидов, от сезона года, возраста и размера рыб и ряда других факторов.

В теле хищных рыб (окунь, щука, судак) содержание Cs-137 в 2–5 раз больше, чем в теле мирных рыб (лещ, плотва, карась). Это связано с особенностями типа питания рыб. Хищные рыбы (ихтиофаги) питаются молодью других рыб. Мирные рыбы (бентофаги) питаются личинками, моллюсками, водорослями. Высокую концентрацию Cs-137 в организме обычно имеют те виды рыб, которые обитают в придонном слое водоемов (карась, линь, карп, сом). Минимальное количество Cs-137 накапливают виды, обитающие в основном в верхних слоях водной системы (плотва, судак, голавль, лещ).

Имеющиеся литературные данные по уровню накопления Sr-90 разными видами рыб весьма разнообразны. Установлено, что придонные виды рыб, как правило, накапливают всегда больше Sr-90 в сравнении с верховыми видами, однако различия в накоплении этого радионуклида между ними незначительны. Максимальное накопление Sr-90 наблюдается у плотвы и леща при потреблении основных кормов с высоким содержанием данного радионуклида.

Уровень накопления Cs-137 и Sr-90 организмом рыб зависит от проточности водной системы. Концентрация Cs-137 в органах и тканях озёрных рыб выше, чем у речных рыб, в 2,7–30 раз. Тип озера и связанное с ним содержание в воде калия и кальция оказывает прямое влияние на поступление радионуклидов в организм рыб. Максимальное количество радионуклидов накапливается органами и тканями рыб, обитающими в дистрофных озёрах. Установлена прямая связь между накоплением радионуклидов рыбой и степенью загрязнения водных систем. Как правило, у более крупных и старых рыб в сравнении с молодыми особями содержится больше Cs-137 в мышцах и больше Sr-90 в костях.

Существуют сезонные колебания в накоплении радионуклидов в организме рыб. Обычно максимум накопления радионуклидов наблюдается зимой и минимум – осенью. Весной и в начале лета накопление радионуклидов выше, чем осенью. Концентрация радионуклидов (особенно Cs-137) в организме рыб повышается перед нерестом и во время него. Такая зависимость объясняется разным режимом и интенсивностью питания по временам года и биологическим циклам рыб.

В водной среде во время нереста рыбы радионуклиды также аккумулируются икрой. Радионуклиды, находящиеся в воде на поверхности взвешенных частичек и в виде

коллоидов, сорбируются преимущественно на оболочке икры. Нуклиды, находящиеся в воде в ионной форме, могут проникать во внутреннее содержимое икринок и вызывать их облучение. Это вызывает снижение выхода мальков, появление у них различных морфологических аномалий, изменения в развитии, снижение интенсивности роста и продуктивности.

Из организма всех видов рыб Sr-90 выводится значительно медленнее, чем Cs-137. При смене более загрязнённой радионуклидами среды обитания на менее загрязнённую происходит самоочищение организма рыб за счёт выделения радионуклидов в водную среду через поверхностные ткани и систему выделения. Биологический период полувыведения Sr-90 составляет около 1000 суток, Cs-137 – около 100 суток.

Цель работы: определить содержание Cs-137 и K-40 в образцах пресноводных видов рыб.

Материалы и оборудование: гамма-радиометр РКГ-01 “Алиот”, образцы рыбы, весы лабораторные.

Выполнение работы. Выполнить последовательно пункты 1–3 работы 12. Результаты измерений записать в отчет по работе (табл. 31).

Сравнить содержание Cs-137 в образцах рыбы с Республиканскими допустимыми уровнями содержания Cs-137 и Sr-90 в продуктах питания и воде. Сделать выводы и предложения по использованию рыбы.

Т а б л и ц а 31. Сравнительное содержание Cs-137 и K-40 в рыбе

Вид рыбы	Содержание ¹³⁷ Cs		Содержание ⁴⁰ K	
	Бк/кг	Ки/кг	Бк/кг	Ки/кг
Щука				
Окунь				
Плотва				
Карп				
Карась				
Линь				
Лещ				

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕХОДА ЦЕЗИЯ-137 И КАЛИЯ-40 ИЗ ВОДЫ В ВОДНЫЕ ОРГАНИЗМЫ

Для количественной характеристики поступления радионуклидов в водные организмы используется коэффициент перехода, который также иногда называют коэффициентом накопления. Коэффициент перехода (накопления) – это отношение содержания радионуклида в водном организме к его содержанию в воде. У водных организмов коэффициенты перехода более высокие в сравнении с наземными организмами. Это связано с формами нахождения радионуклидов в среде обитания и с особенностями поступления радионуклидов в организмы гидробионтов. Чем выше концентрация радионуклидов в воде, тем больше коэффициенты перехода. Коэффициенты перехода Sr-90 во все водные организмы выше, чем Cs-137. Это связано с более высокой подвижностью Sr-90 в воде.

Цель работы: определить коэффициенты перехода Cs-137 и K-40 в водную растительность и рыбу.

Материалы и оборудование: гамма-радиометр РКГ-01 “Алиот”, пробы воды из водоемов, образцы растительности и рыбы из тех же водоемов, результаты измерений содержания Cs-137 и K-40 в растительности и рыбе из работ 1 и 2, калькулятор.

Выполнение работы. Определить содержание Cs-137 и K-40 (Бк/л) в воде. Для этого выполнить последовательно пункты 1–3 работы 12. Результаты измерений записать в табл. 30 отчета по работе. В эту же таблицу внести результаты определения содержания Cs-137 и K-40 в водной растительности и рыбе из работ 18 и 19. Рассчитать при помощи калькулятора коэффициенты перехода Cs-137 и K-40 из воды в компоненты водоема и записать в отчет по работе (табл.32).

Т а б л и ц а 32. Коэффициенты перехода Cs-137 и K-40 в водную растительность и организм рыбы

Образец	Содержание ^{137}Cs , Бк/кг	$K_{\text{П}}^{137}\text{Cs}$	Содержание ^{40}K , Бк/кг	$K_{\text{П}}^{40}\text{K}$
Вода				
Растительность				
Рыба				

Выделить виды с максимальными и минимальными коэффициентами перехода Cs-137. Сравнить коэффициенты перехода Cs-137 и K-40. Сделать выводы и записать в отчет.