

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
УРАЛЬСКИЙ ФИЛИАЛ

Институт экологии растений и животных

На правах рукописи

С. А. ЛЮБИМОВА

**НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ
МИГРАЦИИ СТРОНЦИЯ-90 И ЦЕЗИЯ-137
В ПРЕСНОВОДНЫХ ОЗЕРАХ**

090 — радиобиология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель
кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
Н. В. КУЛИКОВ

СВЕРДЛОВСК

1 9 7 1

Академия наук СССР
Уральский филиал

Институт экологии растений и животных

На правах рукописи

С.А. ЛОБИМОВА

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МИГРАЦИИ СТРОНЦИЯ-90
И ЦЕЗИЯ-137 В ПРЭСНОВОДНЫХ ОЗЕРАХ
090 - радиобиология

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата биологических
наук

Научный руководитель
кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
Н.В. КУЛИНОВ

Свердловск
1971

Работа выполнена в лаборатории радиационной биоденологии и биофизики Института экологии растений и животных Уральского филиала АН СССР.

Работа содержит 129 страниц с 29 рисунками и 30 таблицами. Список литературы включает 221 работу, в том числе иностранных источников 49.

Официальные оппоненты:

доктор биологических наук, профессор А.Т.Мокроносов,
кандидат биологических наук, старший научный
сотрудник В.И.Иванов

Учреждение рецензент - Институт биологии южных морей,
Отдел радиобиологии.

Защита состоится " ____ " _____ 1971 г. на заседании Объединенного ученого совета по биологическим наукам при Уральском филиале АН СССР.

Автореферат разослан _____ 1971 г.

Отзывы просьба направлять по адресу: г.Свердловск, ул.8 марта, дом 202, Институт экологии растений и животных УФАИ СССР, ученому секретарю Совета кандидату биологических наук И.Г.Нифонтовой.

Интенсивное развитие атомной промышленности неизбежно влечет за собой загрязнение биосферы радиоактивными веществами. Появление в окружающей среде нового мощного экологического фактора, представляющего определенную опасность для живых организмов, привело к возникновению новой научной дисциплины - радиоэкологии (Кузин; 1964; 1967; Кузин, Передельский, 1956; Передельский, 1957; Оду, 1958). В круг задач радиоэкологии входит изучение миграции радиоактивных веществ во внешней среде и действия их на отдельные организмы, популяции, сообщества и экосистемы.

В связи с тем, что в водоемах условия протекания геохимических процессов и характер участия в них живых организмов несколько иные, чем на суше, вполне целесообразно выделение специального раздела - радиоэкологии водных организмов. Экспериментальным исследованием этого вопроса посвящено значительное количество работ. Из них наиболее подробными сведениями являются монография Е.А.Тимофеевой-Ресовской "Распределение радионуклидов по основным компонентам пресноводных водоемов" (1963) и книга Г.Г.Поликарпова "Радиоэкология морских организмов" (1964).

При загрязнении биосферы радиоактивными осадками концентрация радионуклидов в воде континентальных водоемов возрастает гораздо быстрее, чем в морях и океанах. Кроме того, для пресных водоемов характерно большое разнообразие условий среды, в которой обитают гидробионты. Поэтому изучение поведения радионуклидов в пресноводных экосистемах имеет свою специфику и представляет большой теоретический и практический интерес. Несмотря на значительное количество материала по этому разделу (Агафонов, 1958; Агро, Агафонов, 1962; Агро, Корогодин, 1960; Гилева, 1960; 1965; Иванов, Тимофеева-Ресовская, Тимофеев-Ресовский, 1965; Калинин, 1968; Калинин, Поликарпов, 1968; Лебедева, 1957; 1966; Лубянов, 1964; 1965; Марчулене, Поликарпов, 1969; Повелягина, Телитченко, 1959; Тимофеева-Ресовская, 1963; Тимофеева-Ресовская, Тимофеев-Ресовский, 1958; 1960; Тимофеева, 1964; 1965; Флейшман, Романова, Бакланова, 1965; Agnedal, 1967; Bidwell, Forman, 1957; Brungs, 1965; Hasanen, Miettinen, 1963; 1966; Harvey, Patric, 1967; Kolehmainen, Hasanen, Miettinen, 1966; Nelson, 1963; Ophel, 1963; Yamagata, 1959; Wlodek, 1957) ряд вопросов остается еще недостаточно исследованным. Так, до сих пор отсутствуют данные о сравнительной оценке соответствия коэф -

фицентов накопления полученных в экспериментальных и природных условиях. Мало работ о накоплении радиоизотопов растениями непосредственно в естественных водоемах, хотя известно, что растения являются важным звеном пищевой цепи и одним из источников загрязнения радиоизотопами донных отложений. Плохо изучено влияние различных экологических факторов на накопление радиоизотопов растениями. Еще меньше данных о накоплении радиоизотопов отмирающей растительности, детритом и донными отложениями.

Наиболее опасными для биологических объектов являются долгоживущие осколочные радиоизотопы стронций-90 и цезий-137, поэтому вопрос о поведении их в пресном водоеме представляет особый интерес и нуждается в дальнейшей разработке.

Целью настоящей работы явилось изучение закономерностей миграции указанных радиоизотопов в пресноводных озерах. При этом основное внимание было уделено следующим вопросам: I. Сравнение накопления радиоизотопов пресноводными растениями в условиях эксперимента и естественного водоема; 2. Влияние различных факторов среды на накопление радиоизотопов растениями; 3. Поведение радиоизотопов в озерах различной трофности; 4. Роль пресноводных растений в процессах обсаждения стронция-90 с карбонатами кальция; 5. Накопление радиоизотопов пресноводным детритом; 6. Сорбция радиоизотопов донными отложениями пресноводного озера.

Диссертационная работа состоит из следующих основных разделов: I. Введение; II. Объекты исследования, материал и методика; III. Накопление стронция-90 и цезия-137 пресноводными растениями; IV. Накопление стронция-90 и цезия-137 пресноводным детритом; V. Сорбция стронция-90 и цезия-137 донными отложениями пресноводного озера; 6. Заключение; 7. Выводы; 8. Литература.

Объем диссертации 129 страниц с 29 рисунками и 30 таблицами. Список литературы включает 221 работу, в том числе иностранных источников 49.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Для сравнительного изучения поведения радиоизотопов в озерах различных типов были выбраны два озера Большое Миассово /олиготрофно-мезотрофное/ и Большой Таткуль /мезотрофно-дистрофное/, расположенные на территории Ильменского Государственного заповедника им. В.И.Ленина в Челябинской области.

Материалом для настоящего исследования служили вода, растения и грунт изучавшихся озер.

Всего проанализировано тридцать три вида растений, из них водорослей - восемь, мхов - два, остальные - высшие водные растения. Среди высших растений встречаются виды разных мест обитания: прибрежно-водные, плавающие на поверхности воды, погруженные и полупогруженные.

Были отобраны и проанализированы грунты шести различных типов, наиболее характерные для изучавшихся водоемов.

Методика основных лабораторных опытов сводилась к следующему. Для изучения накопления и фиксации радиоизотопов живыми и мертвыми тканями пресноводных растений были взяты четыре вида растений: кладофора, мох, роголистник и элодея. Живые и убитые путем нагревания при 105° растения помещали раздельно в растворы стронция-90 и цезия-137, приготовленные на озерной воде в четырехлитровых стеклянных банках. Радиоизотопы вносили в виде хлоридов концентрацией 10 микрои на 1 л воды. Через 2, 4, 8 и 16 суток с начала постановки опытов определяли содержание радиоизотопов в биомассе растений и в воде. На 16 сутки все живые растения и разлагающиеся остатки убитых растений, накопившие радиоизотопы, переносили в аквариумы с чистой озерной водой. После этого для определения прочности фиксации радиоизотопов живыми и мертвыми растениями на 2, 4, 8 и 16 суток вновь отбирали пробы воды и растений на радиометрический анализ.

Для изучения накопления и фиксации радиоизотопов пресноводными грунтами навеску грунта (1г) и 20 мл раствора соответствующего радиоизотопа помещали в пробирки из органического стекла и перемешивали на вращающейся мешалке. Равновесие в системе наступало в течение первых двух часов. После этого раствор отделяли от почвы центрифугированием. Количество радиоизотопа, поглощенного грунтом, рассчитывали по разности радиоактивности исходного раствора и центрифугата. В опытах по десорбции отцентрифугированную навеску грунта промывали дистиллированной водой, заливали десорбирующим раствором и вновь перемешивали 2 часа, после чего из отцентрифугированного десорбента отбирали пробы для измерения радиоактивности.

Определение содержания стронция-90 в воде, растениях и грунте естественного водоема проводили общепринятым радиохимическим методом по дочернему иттрию. Цезий-137 определяли на сцинтилляционном

У спектрометре при помощи стокавального анализатора типа АИ-100

Во всех лабораторных опытах радиометрические измерения проб воды, растений и грунта проводили на установке Б-2 с торцевой трубкой БФД-25-Т, в 5-6 повторностях при ошибке счёта не более 5%.

Концентрацию кальция и магния в образцах определяли объёмным трилонометрическим методом, а концентрацию калия - методом пламенной фотометрии.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Настоящий раздел работы включает три главы: I. Накопление стронция-90 и цезия-137 пресноводными растениями. II. Накопление стронция-90 и цезия-137 пресноводным детритом. III. Сорбция стронция-90 и цезия-137 данными отложениями пресноводного озера. Полученный материал излагается по этим главам.

I. Накопление стронция-90 и цезия-137 пресноводными растениями

Изучение накопления стронция-90 в условиях эксперимента и естественного водоема показало, что для растений, в которых стронций содержится преимущественно в подвижной форме, коэффициенты накопления радионуклеотида в лабораторных и природных условиях близки между собой, а для харовых водорослей и некоторых других видов растений, содержащих малоподвижные формы стронция, коэффициенты накопления в экспериментальных и природных условиях значительно отличаются (рис.1). По цезию-137 коэффициенты накопления для всех изученных видов растений в природных условиях оказались в несколько раз выше, чем в эксперименте (рис.2). Последнее объясняется кратковременностью лабораторных опытов и, возможно, некоторыми различиями факторов среды, складывающейся в лабораторных аквариумах и в естественном водоеме.

Накопление радионуклеотидов в условиях естественного водоема зависит от химической природы изотопов, физико-химической и экологической характеристики водной среды, а также от биологических особенностей растений.

Установлено, что увеличение или уменьшение биомассы растений вызывает изменение концентрации радионуклеотида в воде, что, в свою очередь, приводит к изменению концентрации радионуклеотида в растениях.

Облучение растений также приводит к изменению накопления ими радионуклеотидов, что связано с нарушением обменных процессов организма

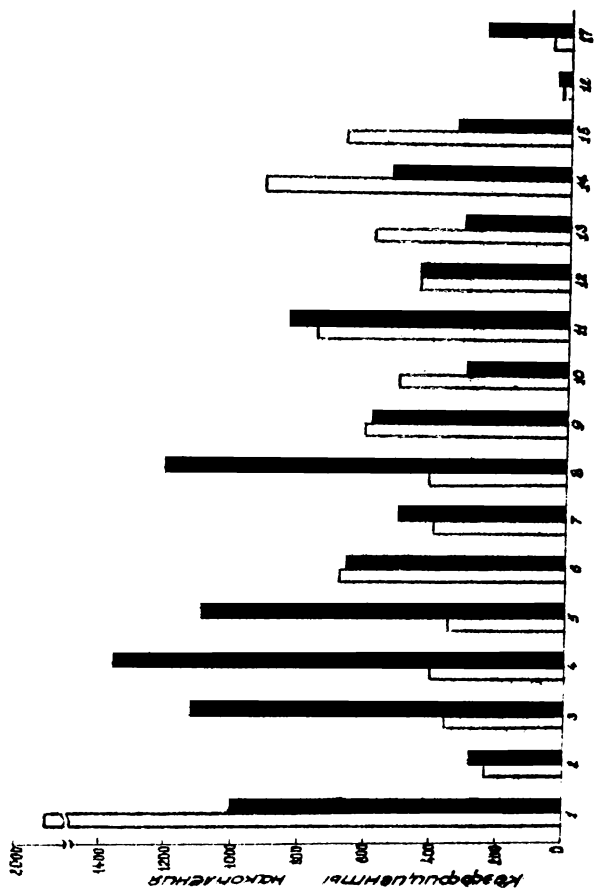


Рис. 1. Среднее количество семян на растение у пресноводных растений в условиях засоления (данные отобраны) в соответствии с таблицей (вспомогательная таблица). 1. *Cladophora frutosa* Kütz., 2. *Spirogyra* sp., 3. *Chara fragilis* Desav., 4. *Chara fragilis* Desav., 5. *Penttilia antipaterica* L., 6. *Drepanocladus sendtneri* (Schimp.) Wenzel, 7. *Lemna minor* L., 8. *Hydrocharis morsus ranae* L., 9. *Stratiotes aloides* L., 10. *Ceratophyllum demersum* L., 11. *Blodes canadensis* Rich., 12. *Myriophyllum spicatum* L., 13. *Potamogeton perfoliatus* L., 14. *Potamogeton amplifolius* L., 15. *Potamogeton natans* L., 16. *Scirpus lacustris* L., 17. *Galla palustris* L.

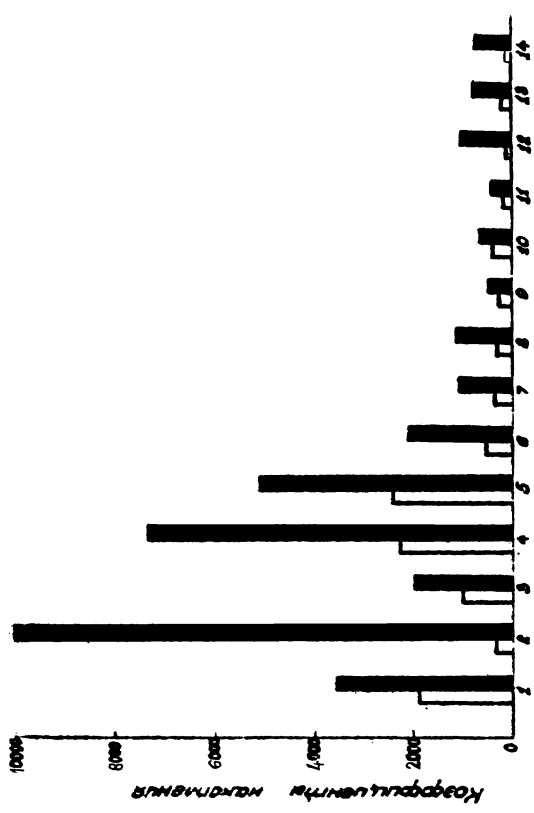


Рис. 2. Коэффициенты влажности листьев №137 у тропических растений в условиях экспериментальной (белые столбики) и естественного водона (черные столбики). 1. *Spirogyra* sp., 2. *Chara fragilis* Durst., 3. *Fantinalia antiparctica* L., 4. *Drepanocladus sandneri* (Schimp.) Warnst., 5. *Leuca minor* L., 6. *Hydrocharis morsue ranae* L., 7. *Stratiotes aloides* L., 8. *Ceratophyllum demersum* L., 9. *Elodea canadensis* Rich., 10. *Kyriophyllum spuchatum* L., 11. *Potamogeton perfoliatus* L., 12. *Potamogeton compressus* L., 13. *Potamogeton natans* L., 14. *Galium palustre* L.

в результате лучевого поражения. Как показали опыты с нитчатой водорослью *Zygnema* sp., облучение этой водоросли гамма-лучами в дозах 25, 50 и 75 кр вызывает в первые дни снижение накопления радионуклидов стронция и цезия (табл. I и 2). В более поздние сроки после облучения коэффициенты накопления снова возрастают, что свидетельствует о восстановлении накопительной функции клеток.

Сравнение накопления стронция-90 и цезия-137 растениями в озерах различной трофности показало, что в мезотрофно-дистрофном озере коэффициенты накопления обоих радионуклидов выше, чем в олиготрофно-мезотрофном. Отмеченные различия, по-видимому, определяются типом озера и разным содержанием в воде соответствующих макроэлементов-аналогов. Сезонные колебания концентрации радионуклидов в воде и растениях сильнее выражены в мезотрофно-дистрофном озере.

При сопоставлении содержания стронция и цезия в растениях в различные годы (1966-1968) наблюдались более или менее одинаковые концентрации радионуклидов в растениях.

Показано, что радионуклиды распределяются в водных растениях неравномерно. У одних растений стронций накапливается в корневищах и надземной части одинаково, у других - несколько больше его содержится в листьях и стеблях. Концентрация цезия-137 в корневищах значительно выше, чем в листьях и стеблях.

Пресноводные растения играют важную роль в процессах осаждения стронция-90 с карбонатами кальция. Коэффициент дискриминации радиостронция по отношению к кальцию в процессе карбонатообразования не зависит ни от вида растений, ни от содержания кальция в воде и составляет величину около 0,3. Проведенные наблюдения позволяют предположить, что процесс карбонатообразования протекает вне организма, в зоне непосредственного контакта поверхности растений с водной средой.

П. Накопление стронция-90 и цезия-137 пресноводным детритом

Изучение накопления радионуклидов мертвыми тканями пресноводных растений показало, что отмирающая водная растительность наряду с живыми растениями играет важную роль в судьбе радионуклидов, попадающих в водоемы. Мертвые растения способны извлекать из воды значительные количества радионуклидов. Коэффициенты накопления стронция-90 и цезия-137 для мертвых растений находятся в пределах одного порядка величин с живыми растениями.

Таблица I

Коэффициенты накопления стронция -90 нитчатой водородной трубки в бр.
после предельного облучения

	В р е м я , с у т к и				коэффициент накопления	Р	коэффициент накопления	Р	коэффициент накопления	Р
	2	4	8	16						
Кермант опыта										
контроль	292±12,5	-	338±23,4	-	583±5,8	-	901±85,1	-	652±31,5	<0,02
25 кр	236±11,7	40,01	267±35,5	>0,05	420±17,3	40,001	521±67,3	40,01	765±40,4	>0,05
50 кр	191±6,9	40,01	201±20,5	<0,001	444±25,7	<0,001	606±8,8	<0,05	901±85,1	-
75 кр	161±5,5	40,01	135±10,5	<0,001	606±8,8	<0,05	901±85,1	-	652±31,5	<0,02

Таблица 2

Коэффициенты накопления дозы-137 нейтронов замедленной системы ср.
после предварительного облучения

Вариант опыта	В р е м я, с у т к и				коэффициент накопления	Р	коэффициент накопления				Р	коэффициент накопления	Р
	2	4	8	16			коэффициент накопления	Р	коэффициент накопления	Р			
контроль	761±85,1	-	1541±82,0	-	2941±30,7	2	4770±219	-					
25 кр	861±40,7	>0,05	1342±79,0	<0,05	3260±74,2	<0,002	5625±507	>0,05					
50 кр	789±38,4	>0,05	1121±51,2	<0,001	2296±122,8	<0,001	5932±722	>0,05					
75 кр	517±28,4	<0,05	503±81,0	<0,001	1558±88,2	<0,001	4096±746	>0,05					

Концентрация радионуклидов в остатках отмерших растений зависит от степени их разложения: по стронцию наблюдается уменьшение, а по цезию - увеличение коэффициентов накопления по мере разложения растений (табл.3 и 4).

Накопленные растениями радионуклиды содержатся в них преимущественно в подвижной, обменной форме. При этом стронций-90 оказывается более подвижным, чем цезий-137.

Оба радионуклида, поступая в воду в виде выделений из живых растений и разлагающихся остатков, могут вновь накапливаться растениями - ими примерно с такими же коэффициентами накопления, что и при внесении их в форме хлоридов.

III. Сорбция стронция-90 и цезия-137 донными отложениями пресноводного озера

Изучение динамики накопления радионуклидов грунтами показало, что ход кривых сорбции для различных типов грунтов более или менее однотипен и равновесие в системе вода - грунт наступает в первые 2-4 часа после взаимодействия растворов стронция-90 и цезия-137 с навеской грунта.

Цезий сорбируется всеми изучавшимися грунтами значительно полнее, чем стронций. Наибольшие коэффициенты накопления радионуклидов получены для торфянистого и илистого грунтов, а наименьшие - для песчаного и известкового (табл.5). Предполагается, что относительно высокие коэффициенты накопления радионуклидов у торфянистого и илистого грунтов обусловлены большим содержанием органического вещества и мелкодисперсной илистой фракции, обладающей повышенной сорбционной емкостью.

Изучение вертикального распределения радионуклидов показало, что как стронций, так и цезий могут проникать в грунт на значительную глубину. Вероятно, это обусловлено фильтрацией воды водоема через донные отложения в подзаемные грунтовые воды.

Радионуклиды не только хорошо накапливаются, но и довольно прочно удерживаются грунтами, особенно цезий. Наиболее прочно фиксируют радионуклиды торфянистый и илистый грунты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из всего вышесказанного следует, что распределение стронция-90 и цезия-137 между отдельными компонентами водоема зависит от химичес-

Таблица 3

Коэффициенты накопления строения-90 летргом на разных стадиях разложения

Время разложения : растения до внесе- ния строения- 90, сутки	Вид растения :	время с момента внесения строения-90, сутки				
		2	4	10	16	
I	злаков	925±20	943±17	570±99	415±34	
	роголистник	990±19	449±22	272±11	238±6	
10	злаков	608±28	710±29	567±51	433±20	
	роголистник	528±48	637±58	570±80	445±16	
20	злаков	371±12	536±26	437±28	422±48	
	роголистник	381±22	446±16	396±22	442±56	
30	злаков	-	-	-	-	
	роголистник	299±18	308±26	272±23	386±22	

Таблица 4

Коэффициенты накопления цезия-137 в грибах на разных стадиях разложения

Время разложения растений до внесения цезия - 137, сутки	Вид растения	время с момента внесения цезия-137, сутки							
		2	4	8	8	8	8	8	16
I	злодея	23±4	23±4	51±7	90±7				
	роголистник	8±1	10±2	12±1	28±9				
10	злодея	45±4	98±4	78±12	135±89				
	роголистник	15±5	22±1	54±7	160±17				
20	злодея	56±11	75±10	98±11	-				
	роголистник	26±2	17±2	43±6	125±86				
30	злодея	64±6	79±11	88±10	-				
	роголистник	58±14	42±18	101±2	208±51				
40	злодея	223±21	158±19	311±28	-				
	роголистник	64±3	57±5	82±3	-				

Таблица 5

Накопление стронция-90 и цезия-137 грунтами оз. Б. Миассово и
Б. Таткуль

Тип грунта	Коэффициенты накопления	
	стронция-90	цезия-137
Кремнеземистый сапропель	218	2508
Смешанный сапропель	1110	1840
Торфянистый	244	3850
Известковый	25	660
Илистый	148	4780
Песчаный	22	588
Глинистый	65	647

Среднее:	261	1978

ких свойств элементов, так и от свойств той среды, в которую попадает соответствующий радиоизотоп.

Водные растения могут накапливать стронций и цезий в количестве в сотни и тысячи раз превyšающем концентрацию их в воде. Сопоставление данных, полученных в экспериментальных условиях с результатами анализа растений, собранных в естественном водоеме показало, что в некоторых случаях коэффициенты накопления радиоизотопов могут существенно различаться. Так, если для большинства растений коэффициенты накопления стронция-90 в лабораторных и природных условиях довольно близки между собой, то для харовых водорослей в естественном водоеме они значительно выше, чем в опыте. По-видимому, это связано с различными формами существования радиоизотопов в растении. В большинстве растений стронций содержится преимущественно в подвижной, обменной форме, тогда как в харовых водорослях некоторая часть его входит в состав малоподвижных, по всей вероятности, карбонатных соединений. По цезию-137 коэффициенты накопления для всех изученных видов растений в природных условиях были в несколько раз выше, чем в эксперименте. Это объясняется краткосрочностью лабораторных опытов и, возможно, некоторыми изменениями факторов среды в аквариуме. Указанное обстоятельство следует учитывать при экстраполяции экспериментальных данных на природные условия.

Накопление стронция-90 и цезия-137 растениями зависит от целого ряда факторов, среди которых большую роль играют химические свойства радионуклидов, свойства среды, а также биологические особенности растений. Отмечена корреляция между содержанием в растении соответствующего радиоизотопа и его изотопных и неизотопных носителей. Растения, погруженные в воду, накапливают стронций и цезий значительно в больших количествах, чем прибрежно-водные. Высокой накопительной способностью по сравнению с высшими растениями обладают водоросли. Сопоставление концентрации радиоизотопов в различных органах растений показало, что стронций распределяется более или менее равномерно, а цезия больше содержится в корневищах.

Проведенными исследованиями подтверждена обратная зависимость между накоплением растениями радиоизотопов и концентрацией в воде соответствующих элементов-аналогов. Увеличение биомассы растений снижает концентрацию радиоизотопа в водном растворе, что может сказаться на изменении коэффициентов накопления. Лучевое поражение

растений ионизирующей радиацией влечет за собой нарушение обмена веществ в организме, что также приводит к изменению накопительной способности растений по отношению к тому или иному радионуклиду. Сравнительное изучение поведения радионуклидов в водоемах различных типов показало, что в мезотрофно-дистрофном озере коэффициенты накопления радионуклидов выше, чем в олиготрофно-мезотрофном. Отмеченные различия, по-видимому, определяются типом озера и разным содержанием в воде соответствующих макроэлементов-аналогов. Сезонные колебания концентрации радионуклидов в воде и растениях сильнее выражены в мезотрофно-дистрофном озере.

Существенную роль в извлечении радиостронция из водного раствора и переносении его в донные отложения играют растения карбонатобразователи. Они в процессе фотосинтеза отщепляют CO_2 от растворенных в воде бикарбонатов кальция и стронция, способствуя тем самым образованию малорастворимых карбонатных соединений. При этом коэффициент дискриминации не зависит ни от концентрации в воде стронция и кальция, ни от биологических особенностей растений-карбонатобразователей, составляя величину около 0,3.

Отмирающие водные растения, накопившие при жизни в своих тканях определенное количество радионуклидов, опускаются на дно водоема. При этом оба радионуклида способны выделяться из мертвых растений обратно в воду и вновь накапливаться живыми растениями. Мертвые растения, в свою очередь, также способны накапливать радионуклиды стронция и цезия. Причем, коэффициенты накопления стронция для мертвых и живых растений близки между собой. Коэффициенты накопления цезия для мертвых растений несколько ниже, чем для живых.

Как указывает Зернов (1949), в олиготрофных озерах происходит быстрая минерализация органических остатков и накопленные ими химические элементы поступают обратно в водный раствор; в дистрофных озерах отмирающие растения не успевают разложиться и захораниваются на дне водоема. Анализ грунтов водоемов различных типов и экспериментальные исследования показали, что коэффициенты накопления радионуклидов существенным образом зависят от механического и химического состава донных отложений. Наиболее высокие концентрации радионуклидов отмечены у торфянистого и илстого грунтов, слабоминерализованных, содержащих большой процент органического вещества.

Значительно меньше стронция-90 и цезия-137 содержится в песчаных, глинистых и известковых грунтах. Грунты, отличающиеся наибольшей сорбционной способностью, прочнее других удерживают накопленные радионуклиды. Песок и известковый грунт сравнительно легко выделяют сорбированные ими радионуклиды обратно в воду.

Из всего сказанного можно заключить, что в водоеме происходит непрерывное перераспределение радионуклидов между отдельными компонентами. В зависимости от условий среды растения могут поглощать из водного раствора или выделять накопленные ранее радионуклиды обратно в воду. Поступившие в водный раствор из живых и мертвых растений радионуклиды могут вступать в повторные циклы биологического круговорота веществ водоема. Кроме того, пресноводные растения способны превращению растворимых бикарбонатов стронция в малоподвижные карбонатные соединения, которые постепенно опускаются на дно и входят в состав грунтов. Донные отложения, в свою очередь, могут накапливать или выделять радионуклиды.

Отсюда следует, что миграция стронция-90 и цезия-137 в пресном водоеме является довольно сложным процессом, различные проявления которого обусловлены целым рядом факторов среды и особенностями организмов ее населяющих.

Выводы

1. Коэффициенты накопления стронция-90 и цезия-137, установленные для пресноводных растений экспериментально в условиях лабораторного аквариума, оказались в большинстве случаев заниженными по сравнению с коэффициентами накопления радионуклидов в естественном водоеме. Анализ полученного материала показывал, что одной из основных причин повышения коэффициентов накопления в условиях естественного водоема является фактор времени. С увеличением времени взаимодействия растительного организма с радиоактивным раствором (особенно это касается цезия-137) возрастает доля поглощенного радионуклида, которая переходит в растительных тканях в слабообменную форму.

2. Установлено, что по накопительной способности стронция в естественном водоеме изученные группы растений располагаются в ряду: водоросли > мхи > высшие растения; а по накопительной способности цезия-137 в ряду: мхи > водоросли > высшие растения. Отмечены также различия

в накоплении радионуклидов между плавающими на поверхности воды, погруженными и прибрежно-водными растениями».

3. Выявлена положительная корреляция между содержанием в растениях стронция-90 и его химического аналога - кальция, а также между содержанием цезия-137 и его аналога калия. При переходе этих элементов из водной среды в растения в большинстве случаев наблюдается дискриминация стронция-90 относительно кальция, а цезия-137 относительно калия. Коэффициент дискриминации определяется, в основном, биологическими особенностями растений и не зависит от концентрации макрокомпонентов в водной среде».

4. Ионизирующие излучения при определенных дозах воздействия способны существенно снижать накопительную способность водных растений. Восстановление растительного организма от лучевого поражения влечет за собой восстановление его накопительной функции.

5. Коэффициенты накопления стронция-90 и цезия-137 у растений, произрастающих в мезотрофно-дистрофном водоеме, заметно выше, чем в водоеме олиготрофно-мезотрофного типа. Предполагается, что одной из основных причин повышенного содержания радионуклидов в гидробионтах мезотрофно-дистрофного озера является относительно низкое (в силу его перенаселенности) содержание в воде таких макрокомпонентов как калий, натрий, кальций и магний. Сезонные колебания коэффициентов накопления в мезотрофно-дистрофном водоеме выражены более резко, чем в олиготрофно-мезотрофном.

6. Установлено, что стронций-90 вместе с кальцием включается в процесс карбонатообразования, переходя, таким образом из растворенного в воде состояния в труднорастворимый осадок, откладывающийся на дне водоемов. Коэффициент дискриминации стронция-90 относительно кальция при переходе в карбонатный осадок составляет величину 0,8. Значение коэффициента дискриминации не зависит ни от биологических особенностей растений - карбонатообразователей, ни от концентрации кальция в воде. Последнее обстоятельство свидетельствует о том, что процесс карбонатообразования протекает вне растительного организма, в зоне непосредственного контакта поверхности растений с водной средой.

7. Наряду с живыми растениями большую роль в судьбе радионуклидов в водоеме играют отмирающие растения и детрит. Показано, что коэффициенты накопления стронция-90 и цезия-137 у мертвых растительных осадков одного порядка величин с живыми растениями. При этом

прочность фиксации стронция в живых и мертвых тканях приблизительно одинакова, а цезий — прочнее фиксируется в живых растительных тканях. Радионуклиды, поступившие в водную среду в форме выделений из живых и мертвых тканей способны вновь накапливаться растениями с такими же значениями коэффициентов накопления, что и радионуклиды, внесенные в воду в форме хлоридов.

8. Изучено накопление радионуклидов различными грунтами исследованных озер. Показано, что сорбционная способность торфянистых и илистых грунтов значительно выше, чем песчаных и известковых; при этом цезий-137 всеми грунтами поглощается полнее, чем стронций-90. Оба радионуклида в пределах верхнего слоя донных отложений водоема (до 20 см) распределяются более или менее равномерно, что, вероятно, обусловлено значительной фильтрацией воды через донные отложения в грунтовые воды.

9. В среднем все изученные компоненты водоема по величине коэффициентов накопления стронция-90 можно распределить в ряду: растения > детрит > грунт. Однако, если учесть, что общая масса донных отложений значительно выше, чем биомасса растений, то основная часть этого радионуклида в водоеме должна быть сконцентрирована в донных отложениях. По величине коэффициентов накопления цезия-137 изученные компоненты водоема располагаются в ряду: грунт > растения > детрит, поэтому роль донных отложений в концентрировании этого радионуклида еще более значительна.

По материалам диссертации опубликованы следующие работы:

1. Влияние ионизирующих излучений на ранние стадии развития *Limnea stagnalis* L. Радиобиология, т.6, вып.6, 1966 (в соавт. с Н.В.Куликовым и Н.А.Тимофеевой).
2. Накопление некоторых радионуклидов живыми и мертвыми тканями пресноводных растений. Радиобиология, т.7, вып.2, 1967 (в соавт. с Н.В.Куликовым и Н.А.Тимофеевой).
3. О прочности фиксации стронция-90 и цезия -137 живыми и мертвыми тканями пресноводных растений, Радиобиология, т.8, вып. 5, 1968 (в соавт. с Н.В. Куликовым и Н.А. Тимофеевой).
4. О накоплении цезия-137 пресноводными растениями в экспериментальных условиях и природных водоемах. Докл. АН СССР, т.178, № 6, 1968 (в соавт. с Н.В.Куликовым и Д.Г.Флейшманом).
5. О накоплении радионуклидов мертвыми тканями пресноводных растений. Тр. Ин-та биологии УФАН СССР, вып. 61, 1968 (в соавт. с Н.А. Тимофеевой и Н.В.Куликовым).
6. Роль пресноводных растений в процессах оседания стронция-90 с карбонатами кальция. Экология, № 4, 1970 (в соавт. с Н.В.Куликовым и Н.А.Тимофеевой).
7. Влияние предварительного облучения на накопление стронция-90 и цезия-137 нитчатой водорослью *Zygnema* sp. Тр. Ин-та экологии растений и животных УФАН СССР, вып.74, 1970 (в соавт. с С.А.Фамелисом).
8. К методике изучения накопления цезия - 137 пресноводными растениями. Методы радиозэкологических исследований, Атомиздат, 1971 (в соавт. с Н.В.Куликовым и Д.Г.Флейшманом). В печати.
9. Накопление стронция-90 и цезия-137 пресноводными растениями в экспериментальных условиях в естественном водоеме. Тр. Ин-та экологии растений и животных УФАН СССР, вып.78, (в соавт. с Н.В.Куликовым и Д.Г.Флейшманом). В печати.
10. О корреляции зольности и коэффициентов накопления стронция-90 пресноводными растениями. Тр. Ин-та экологии растений и животных УФАН СССР, вып. 78, (в соавт. с А.И.Левинной). В печати.

11. Накопление стронция-90 и цезия-137 пресноводными растениями в озерах различной глубины. Тр. Ин-та экологии растений и животных УФАИ СССР, вып. 78, В печати.

12. Накопление стронция-90 и цезия-137 пресноводным детритом. Тр. Ин-та экологии растений и животных УФАИ СССР, вып.78, В печати.

13. О некоторых закономерностях накопления стронция в пресноводных растениях. Тр. Ин-та экологии растений и животных УФАИ СССР, вып.78, 1971 (в соавт. с Л.И. Пискуновым, Н.В. Куликовым и С.И.Трейгером). В печати.

РОТАПРИНТ УФАИ СССР.

Подписано к печати 1/ХП-70 г. НС 14388.

Заказ 1045, Тираж 140. Объем 0,9 а.л.