

Б77
Б-840

АКАДЕМИЯ НАУК КАЗАХСКОЙ ССР
ОБЪЕДИНЕННЫЙ УЧЕНЫЙ СОВЕТ ИНСТИТУТОВ
ЗООЛОГИИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БИОЛОГИИ

На правах рукописи

Брагин Борис Иванович

НАКОПЛЕНИЕ СТРОНЦИЯ-90 ГИДРОБИОНТАМИ ОЗ. БАЛХАН

(радиозэкологическое исследование)

(03.00.18 - гидробиология, 03.00.01 - радиобиология)

(Диссертация написана на русском языке)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой
степени кандидата биологических наук

Алма-Ата, 1974

577.391

Работа выполнена в Институте зоологии АН Каз.ССР

Б 870

Научные руководители:

кандидат биологических наук А.С.Малиновская,

кандидат физико-математических наук Д.Г.Флейшман.

Официальные оппоненты:

доктор биологических наук А.И.Агапова,

кандидат биологических наук Г.Г.Ким.

Ведущее научно-исследовательское учреждение - Институт
экологии растений и животных Уральского научного центра
АН СССР.

Автореферат составлен " _____ " _____ 197 ____ года

Защита состоится " 15 " марта 1974 года на
заседании Объединенного Ученого Совета Институтов зоологии и
экспериментальной биологии АН Каз.ССР.

Отзывы просим направить по адресу:
480072, г.Алма-Ата, Проспект Абая, 38. Институт эксперименталь-
ной зоологии АН Каз.ССР, Ученому секретарю Совета, доктору био-
логически. наук, профессору А.М.Мурзамадиеву.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной
библиотеке АН Каз.ССР

Проникновение в атмосферу искусственных радионуклидов значительно повысило интерес к изучению взаимодействия между средой, содержащей радионуклиды, и живыми организмами. Это способствовало формированию нового направления в радиобиологии, связанного с экологией организмов, — радиоэкологии.

Радиоактивное загрязнение биосферы происходит в основном лишь за счет долгоживущих радионуклидов, поступающих в атмосферу и гидросферу при испытаниях атомного оружия и с отходами атомных производств. Их способность включаться в метаболические процессы живых организмов представляет особый интерес с экологической точки зрения. К числу таких радионуклидов в первую очередь следует отнести стронций-90, который участвует совместно с кальцием в образовании опорных тканей и таким образом создает опасность для живых организмов.

Основной задачей радиоэкологических исследований в водоемах является выяснение закономерностей распределения радионуклидов в бионтах естественных гидробиоценозов (Поликарпов, 1964). Большое значение таких исследований подчеркивают Г.Г.Поликарпов (1964), И.Н.Верховская (1971), Н.В.Куликов и др. (1968), W.Nelson (1964, 1967).

У гидробионтов, обитающих в слабоминерализованных водоемах, содержание радиостронция в скелетных образованиях и тканях, богатых кальцием, может превышать его концентрацию в воде в сотни и тысячи раз. Поэтому пресноводные экосистемы являются наиболее удобной моделью при исследовании накопления радиостронция гидробионтами. Однако число радиоэкологических исследований основных закономерностей накопления радионуклидов, в том числе и стронция-90, в естественных условиях пока невелико (Куликов, Любимова, Тимофеева, 1970; Кутиков, Куликова, Любимова, 1971; Душаускене-Дуж, 1969; Калинин, 1968, 1970, 1971; Вадаис и др., 1972; Антоненко, Лубянов, 1970; Templeton, 1959; Templeton, Brown, 1965, 1964; Nelson, 1962, 1964, 1967; Agnedaal, 1967; Orhel, 1962; Orhel, Judd, 1967).

Большое количество в Казахстане пресноводных водоемов с разнообразными экологическими условиями создает предпосылки для успешного проведения подобных исследований. Особый интерес представляют отдельные естественные водоемы с несколько "необычным" гидрохимическим режимом, в которых обитают гидробионты; к ним можно отнести оз.Балхаш, расположенное в условиях аридной зоны. Существенной особенностью оз.Балхаш является то обстоятельство, что при значительном увеличении минерализации воды с запада на восток содержание

кальция в воде заметно уменьшается, в то время как возрастает в воде концентрация магния, при этом в пределах одного водоема изменяются не только концентрации кальция и магния в воде, но и соотношения между ними.

Настоящая работа имела своей целью в условиях уникального естественного пресного водоема - оз.Балхаш - проследить распределение долгоживущего радиоуклада - стронция-90 по компонентам гидробиоценозов; выявить закономерности накопления стронция-90 гидробионтами в связи с влиянием некоторых абиотических факторов, таких как минерализация воды, содержание в ней макроэлементов стронция - кальция и магния, характер грунтов, и биогических факторов, включающих видовые и возрастные особенности гидробионтов и их трофические связи.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Сбор материала проводили с 1969 по 1972 гг. на оз.Балхаш на экспедиционных судах Казахского научно-исследовательского Института рыбного хозяйства (г.Балхаш). Помимо этого предпринимались маршрутные экспедиционные выезды для обследования прибрежной, мелководной зоны озера.

Материал отбирали по районам озера, согласно деления его акватории в соответствии с соленостью на пять районов, проведенного впервые Домрачевым (1933, 1935), и по биотопам, выделенным С.К.Тютеньковым (1959), на основании анализа распределения донных отложений. Отбирали пробы воды, фитопланктона, высшей водной растительности, зоопланктона, зообентоса, рыб и донных отложений. Всего было проведено 3577 анализов по радиохимии и радиометрии, 1550 анализов по методу спектрофотометрии пламени и 120 химических.

Концентрацию стронция-90 в воде определяли по карбонатной методике, соосаждая радиостронций с карбонатами кальция, содержащимися в воде. В части проб выделение стронция-90 проводили методом ионного обмена, применяя в качестве ионообменника смолу КУ-2 в H^+ форме.

Определение стронция-90 в золе гидробионтов проводили по радиохимической методике определения радиостронция в морских животных (Поликарпов и др., 1967; Морская радиоэкология, 1970), выделяя дочерний продукт его распада - иттрий-90, с последующим измерением на установке малого фона УМФ-1500 М. В качестве рабочих счетчиков применяли счетчики СТС-5 и СБТ-13. Для каждого счетного образца снимали кривую распада иттрия-90, которая всегда следовала теоретичес-

кой кривой. Стабильность работы установки проверяли методом χ^2 . Оптимальное время измерения активности образца зависело от его скорости счета и обычно составляло 60 минут.

Учитывая большое количество материала, собранного для радиометрических измерений, и значительные затраты времени на проведение всего комплекса радиохимических операций, мы применили метод одновременного определения малых количеств стронция-90 и калия-40 в золе гидробионтов. Метод основан на использовании спектрометрических свойств жидкого сцинтиллятора (Венде, Парчевский, 1963; Флейшман, Шахиджанян, 1959; Флейшман, 1971). Нами был собран β -спектрометр на основе одноканального амплитудного анализатора ААДО-1. Детектором служил фотоэлектронный умножитель ФЭУ-1 С с набором счетных кювет, изготовленных из фторопласта. Объем кювет подбирали опытным путем. Сцинтиллятор для заливки счетных кювет готовили на толуоле и паратерфениле с добавлением "ПОПОП".

Сравнение радиометрических данных по концентрации стронция-90 в золе биологических объектов, полученных на β -спектрометре и с помощью радиохимического выделения иттрия-90, показало преимущество применения жидких сцинтилляторов.

Нами было найдено, что радиоактивность костной ткани рыб и раковия моллюсков в основном обусловлена стронцием-90, калием-40 и цезием-137, остальные осколочные радионуклиды вносили незначительный вклад в общую активность подобных образцов. Поэтому содержание радиостронция в таких тканях оказалось возможным определять непосредственными измерениями общей бета-активности образца с последующим вычетом из этой величины активность, обусловленную в образце калием-40 и цезием-137. Содержание калия-40 определяли из валового количества калия методом пламенной фотометрии, а цезий-137 на сцинтилляционном гамма-спектрометре, снабженном колодезным монокристаллом.

Стабильный стронций и кальций во всех видах проб определяли методом пламенной спектрофотометрии на спектрофотометре, собранном на основе монохроматора УМ-2 и фотоэлектронной приставки (Полувантов, 1959).

Данные радиометрических измерений подвергались статистической обработке (Урбах, 1964; Доспехов, 1968; Парчевская, 1969).

Уравнения регрессии рассчитывали по методу наименьших квадратов с использованием ЭВМ "Электроника". Расчеты концентраций активности стронция-90 в измеряемых пробах приводили в пикокюри на грами или килограмм сырой или озоленной ткани (1 пкюри = 1×10^{-12} кюри).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Распределение стабильного и радиоактивного стронция в системе вода - донные отложения

Учитывая тот факт, что вода служит начальным звеном в цепи миграции радиостронция для большинства ее обитателей, мы изучали распределение стабильного и радиоактивного стронция в воде по акватории оз.Балхаш с учетом деления его на 5 районов (табл.1).

Таблица I
Содержание стронция и кальция в воде оз.Балхаш
(среднегодовыи данные за 1968-1972 гг.)

Район озера	Количество проб	Sr	Ca	Отношение	Отношение количества атомов	
		мкг/л	мкг/мл	мкг Sr / мкг Ca	Sr / 1000 атомов Ca	
I	45	0,50	35,5	14,2	6,30	среднее
II	37	0,33	30,8	10,8	5,06	5,6
III	31	0,26	26,1	10,0	4,40	
IV	27	0,19	18,7	10,10	4,50	4,2
V	19	0,12	14,3	8,3	3,70	

Как видно из таблицы, концентрации стронция и кальция в озерной воде варьируют в широких пределах. Концентрация стронция в западной части озера (I - район) в четыре и более раз выше его концентрации в восточной части (V район). Вместе со снижением концентраций стронция с запада на восток в этом же направлении происходит уменьшение в воде концентраций ионов кальция. Отношение стронция к кальцию (количество атомов стронция/1000 атомов кальция) для западных районов в среднем составляет 5,60, а для восточных - 4,2, то есть наблюдается некоторое обогачение кальция стронцием в озерной воде с запада на восток. Такое положение объясняется выпадением на дно кальция и стронция в виде нерастворимых соединений при процессах доломитообразования, характерных для восточных районов озера.

В районах западного Балхаша содержание стронция в воде подвержено незначительным сезонным колебаниям, наибольшие концентрации наблюдаются в осеннее время и наименьшие - летом.

Концентрации радиостронция в воде оз.Балхаш полностью отражают картину распределения стабильного стронция. Так, наибольшие концен-

трации стронция-90 за все время исследований наблюдались нами в воде западного Балхаша (табл. 2).

Таблица 2
Концентрация стронция-90 в воде озера Балхаш
(пкюри/л) за 1968-1972 годы

Время года	Часть озера	Год наблюдений				
		1968	1969	1970	1971	1972
Весна	западн.	-	5,2±0,6	-	6,5±0,9	6,7±0,7
	вост.	-	-	2,2±0,6	-	2,7±0,5
Лето	западн.	4,1±0,5	3,8±0,7	4,7±0,3	5,3±0,5	5,4±0,9
	вост.	2,03±0,1	2,7±0,7	2,0±0,4	-	2,13±0,9
Осень	западн.	4,9±0,1	4,4±1,1	5,1±0,6	5,7±0,5	5,8±1,1
	вост.	2,4±0,8	-	-	2,6±1,1	2,9±1,18
Зима	западн.	-	5,0±0,4	6,3±0,2	5,9±0,9	-
	вост.	-	-	-	-	-
Средн. по цент-рации за год	западн.	4,5±0,4	4,6±0,8	5,86±0,5	5,85±0,8	5,96±0,9
	вост.	2,22±0,4	2,7±0,7	2,11±0,5	2,6±1,1	2,86±0,9

Данные, представленные в табл.2, свидетельствуют об отсут-
ярко выраженных сезонных колебаниях содержания радиостронция в о-
ной воде.

Максимальные значения ^{90}Sr , обнаруженные в озерной воде, по-
пределяются следующим образом I район - 7,0 пкюри/л, II район - 7,0
пкюри/л, III район - 3,0 пкюри/л, IV район - 2,5 пкюри/л, V район -
- 1,9 пкюри/л.

Количественным выражением степени концентрации стронция в
гидробионтах и донных отложениях был принят коэффициент накоп-
(КН), выражающий отношение радионуклида в исследуемом объекте к
концентрация в воде. Распределение величины КН стабильного и ради-
активного стронция по биотопам оз.Балхаш представлено в таблице 3.

Для грунтов наибольшие коэффициенты накопления стабильного
радиоактивного стронция характерны для темно-серых илов с расти-
лыми остатками, и известково-доломитовых отложений. Чисные отложения
западного Балхаша характеризуются низкими значениями коэффициентов

Таблица 3

Коэффициенты накопления (КН) стронция и стронция-90 в донных отложениях оз.Балхаш (средние величины на сырой вес за 1969-1972 гг.)

Биотоп	Район сбора	Глубина, м	Сезон	КН		КН Sr ⁹⁰	
				Sr	Sr ⁹⁰	Sr	Sr ⁹⁰
Илистый песок	I, П, Ш	1,5 - 5,0	весна	27	20	1,03	
			лето	14	17	0,82	
Песчаный ил	I, П	3,0 - 7,0	весна	18	11	1,63	
			лето	13	9	1,44	
Светло-серый ил	I, П	1,5 - 7,0	весна	81	68	1,19	
			лето	63	51	1,23	
			осень	101	72	1,40	
Темно-серый ил с растительными остатками	I, П, Ш	0,5 - 2,0	весна	126	116	1,02	
			лето	135	133	1,0	
			осень	171	151	1,10	
Доломитовый ил	IV, V	7,0 - 17,0	лето	417	293	1,42	
			осень	446	315	1,41	

накопления, так как представлены в основном илистыми песками, песчаными и светло-серыми илами.

Нами обнаружено, что стабильный и радиоактивный стронций интенсивно удаляется из воды в донные доломитовые отложения восточной части озера. Обладая высокими значениями КН, эти отложения играют значительную роль в дальнейшей судьбе стронция-90, способствуя дезактивации воды и захоронению радиостронция на дне в доломитовом слое.

2. Накопление стронция-90 в гидробиотах, планктоне и бентосе

Коэффициенты накопления радиостронция в гидробионтах довольно сильно зависят от различных факторов, основным из которых является концентрация в воде ионов кальция. Поэтому для описания накопления стронция-90 в гидробионтах оз.Балхаш мы использовали коэффициент, впервые введенный Comar et al. (1956) и получивший название "наблюдаемое отношение", в отечественной литературе известный как коэффициент дискриминации (Д). Для водных организмов коэффициенты дискриминации Sr⁹⁰/Ca определяются по формуле:

$$D = \frac{(Sr^{90}/Ca)_{\text{организм}}}{(Sr^{90}/Ca)_{\text{вода}}}$$

Полученные нами значения коэффициентов накопления (КН) и дискриминации (Д) гидрофитов оз.Балхаш даны в таблице 4.

Таблица 4

Концентрации кальция и стронция-90, коэффициенты накопления и дискриминации в гидрофитах западного Балхаша (лето 1970-1972гг.)

Гидрофиты	Концентрация на сухой вес			Д
	Са, мг/г	Ст ⁹⁰ пюри/г	КН Ст ⁹⁰	
Харовые водоросли	27,0	3,7	750	1,0
Уруть	10,3	3,6	713	2,6
Рдесты	18,4	3,1	620	1,2
Наяда	7,4	1,6	320	1,5
Тростник	10,2	0,56	112	0,4
Камыш	5,4	0,54	105	0,7

Наибольшие концентрации стронция-90 характерны для погруженных в воду растений и водорослей, растения менее связанные с водой (тростники и камыш) накапливают радиостронций в 6-7 раз меньше. Сравнение коэффициентов дискриминации показывает, что погруженные в воду растения обладают значениями Д превышающими единицу, т.е. не дискриминируют радиостронций. Наибольшие концентрации радиостронция в гидрофитах приходится на конец лета, хотя не все виды растений достигают максимума в накоплении радиостронция в одно время; у одних он приходится на начало (рдесты, наяда), у других - на конец летнего периода (харовые, уруть).

Интересно отметить, что несмотря на уменьшение концентраций кальция в воде восточных районов по сравнению с западными, с продвижением на восток наблюдается некоторое снижение КН стронция-90 в гидрофитах (табл.5), что по-видимому можно объяснить значительным содержанием в воде восточных районов магния.

Таблица 5

Коэффициенты накопления стронция-90 в макрофитах оз.Балхаш (средние данные по районам озера за летний период 1969-1972 гг.)

Гидрофиты	Коэффициенты накопления на сухой вес по районам озера					
	I	II	III	IV	V	VI
Харовые водоросли	710±21	721±42	700±11	613±17	-	-
Уруть	670±31	682±28	417±14	375±14	-	-
Рдесты	580±14	570±18	510±13	406±10	-	-
Наяда	306±46	300±14	205±9	-	-	-
Тростник	87±16	89±17	72±21	68±9	73±15	-
Камыш	83±7	76±9	71±12	75±5	69±11	-

Коэффициенты накопления в прибрежных растениях оставались практически постоянными.

Интенсивно накапливают стронций-90 и планктонные организмы, обитающие в озере (табл.6). Максимальные показатели характерны для зоопланктона из западного Балхаша, особенно в летние месяцы, когда преобладают ветвистоусые дафнии и диафаномы. Осенью в связи с тем, что в зоопланктоне вместо ветвистоусых ведущую роль начинают играть веслоногие раки радиоактивность его снижается.

Таблица 6

Концентрация кальция и стронция-90, значения КН и Д в зоопланктоне оз.Балхаш (средние значения, лето 1969-1972 гг.)

Район сбора	Место сбора	Доминирующий вид	Концентрация на сухой вес		КН Sr ⁹⁰	Д
			Ca, мг/г	Sr ⁹⁰ пикри/г		
I	Караузяк	<i>Diaphanosoma brachyurum</i>	3,64	1,50	308	2,8
	Досейская Оухта	<i>Daphnia balchashensis</i>	2,9	1,13	206	2,7
II	Южный берег	<i>Arctodiaptomus salinus</i>	2,9	0,9	218	2,0
	Мыс Агалик	<i>Mesocyclops oithonoides</i>	2,0	1,0	250	3,3
III	Мыс Маринка	<i>Arctodiaptomus salinus</i>	1,7	0,56	186	2,4
IV	Залив Кокан	<i>Arctodiaptomus salinus</i>	0,95	0,35	140	3,0
V	Бурлюкбае	<i>Arctodiaptomus salinus</i>	0,57	0,19	101	3,0

Коэффициенты дискриминации у зоопланктона также как и у гидрофитов выше единицы, как и у гидрофитов мы наблюдали снижение значений КН стронция-90 к востоку, что можно объяснить увеличением содержания в воде ионов магния.

Зоопланктон приустьевых участков рек, впадающих в восточную часть озера, содержит в 1,5-2 раза больше стронция-90 в сравнении с планктоном из открытой части. Это объясняется опреснением озерной воды в этих участках и повышенным содержанием в ней радиоактивного стронция по сравнению с открытыми участками озера. Так концентрация радиостронция в воде рек Каратай и Лепсы в районах их впадения в озеро составляла 3,0 - 3,5 пикри/л, в то время как в открытых участках озера не превышала 2,0 пикри/л. В течение исследованного трехлетнего периода не наблюдалось уменьшения активности радиостронция в планктоне со временем, что свидетельствует о некоторой стабилизации

запасов этого радионуклида в озерной воде.

Избирательной способностью к накоплению стронция-90 обладают и представители зообентоса, среди которых выделяются акклиматизанты - моллюски и миязиды. Радиометрическому анализу подвергались наиболее распространенные в массовые виды: большой прудовик, мочевик, беззубка, миязиды, хирономиды. Наибольшие среди перечисленных бентических организмов концентрации стронция-90 обнаружены у моллюски мочевик - 12,9 пкюри/г сырого веса (табл. 7).

Таблица 7

Концентрации и коэффициенты накопления стронция-90 в зообентосе западного Балхана на сырой вес (числитель - раковины, знаменатель - тело)

Вид	Год сбора								Д
	1969		1970		1971		Средн.		
	Sr ⁹⁰ пкюри/ рв/г	КН	Sr ⁹⁰ пкюри/ рв/г	КН	Sr ⁹⁰ пкюри/ рв/г	КН	средн. КН		
<i>Monodonta colorata</i>	11,8 2,12	2360 400	12,5 2,3	2350 390	12,9 2,7	2370 408	2360 390	2,8±0,2	
<i>Anodonta cellensis</i>	9,3 0,93	1860 190	9,7 1,17	1800 179	10,8 1,2	1880 185	1850 180	2,1±0,7	
<i>Lymnaea stagnalis</i>	7,85 0,65	1570 150	8,31 0,73	1600 140	8,80 0,90	1560 160	1570 150	1,6±0,3	
<i>Paramysis (M.) intermedia</i>	-	-	6,8	1180	7,4	1220	1150	4,5±0,5	
<i>Chironomus tentaculatus</i>	0,5	100	0,65	150	0,7	175	140	1,8±0,8	

Содержания радиостронция в раковинах моллюсков оказались на порядок выше чем в телах. Концентрация стронция-90 в моллюсках варьировала от 7,5 до 12,9 пкюри/г сырого веса, в миязидах от 2,6 пкюри/г до 7,5 пкюри/г, в личинках хирономид от 0,4 до 2,5 пкюри/г сырого веса. Накопление стронция-90 личинками хирономид довольно сильно зависит от характера донных отложений в местах их обитаний (табл. 8). Вместе с тем у личинок хирономид не снижались значения КН с запада на восток, как это наблюдалось у гидрофитов, планктона, моллюсков, миязид. По-видимому, на процессы накопления радиостронция в личинках хирономид изменение концентрации магния в озерной воде влияния не оказывает.

Таблица 8

Накопление стронция-90 в личинках хирономид
в зависимости от характера донных отложений
(лето 1970-1972 гг.)

Р-н об- ра	Место сбора	Вид донных отложений	Стронций-90 (пикригт сы- рого веса)	КН (на сы- рой вес)	Д
I	Бурубайтал	Светло-серые или, илистые	0,5±0,1	100	1,5±0,12
	Чиганак	пески, темно- серые или	0,56±0,08	110	1,3±0,1
II	Карчуэки	Илистые пески, песчаные или,	0,65±0,15	150	1,5±0,17
	Басарал	светло-серые или	0,7±0,1	175	1,6±0,1
III	Мыс Маришка	Песчаные или	0,88±0,2	110	1,6±0,15
IV	Залив Кокам	Темно-серые или, доломитовые или	1,41±0,35	470	1,3±0,21
	П-ов Бертыс		2,5±0,23	850	1,41±0,16
V	Р-н р.Аягуз	Доломитовые или	2,1±0,16	840	1,6±0,15

Таким образом, значения коэффициентов накопления стронция-90 в бентических организмах оз.Балташ меняются от 100 до 400 единиц. При этом если для придонных видов организмов и обитающих в толще воды у дна (моллюски, мизиды) определяющим фактором в накоплении ими радио-стронция является вода, то для роющих организмов (личинки хироно-мид) - вид донных отложений.

3. Стронций-90, стронций и кальций в рыбах

Распределение стабильного и радиоактивного стронция, а также кальция, изучали в чешуе, плавниках, жаберных крышках, костях рыб из различных районов оз.Балхаш. Заметных различий в содержании кальция в сырой ткани исследованных рыб обнаружено не было, в то же время концентрация стабильного стронция по видам изменялась значительно (табл. 9).

Сравнение концентраций стронция в опорных тканях рыб из различных районов озера приводит к следующим выводам: наибольшие показатели характерны для рыб, обитающих в западной части озера, к востоку они снижаются (табл. 10). Сравнивая концентрации стронция у нескольких видов рыб, обитающих в пределах одного района озера, можно отметить характерные межвидовые отличия. Так, мирные виды - бентофаги

Таблица 9

Содержание кальция и стронция в костных тканях рыб оз.Балхаш на сырой вес (числитель - кальций, мг/г, знаменатель - стронций, мкг/г)

Вид рыб	Число исслед. экз.	Чешуя	Плавники	Хабарные кришки	Кости
Хищные:					
Судак	45	$67 \pm 2,0$ $75 \pm 1,3$	$68 \pm 1,8$ $73 \pm 2,0$	$69 \pm 3,0$ $57 \pm 2,7$	$52 \pm 6,2$ $70 \pm 3,6$
Окуш	38	$66 \pm 7,0$ $118 \pm 12,0$	$67 \pm 9,8$ $112 \pm 9,2$	$67 \pm 2,8$ $102 \pm 6,7$	$57 \pm 3,4$ $106 \pm 5,0$
Сом	41	-	$85 \pm 6,7$ $142 \pm 2,0$	$82 \pm 4,9$ $131 \pm 11,4$	$64 \pm 19,3$ $135 \pm 15,2$
Харез	86	$87 \pm 5,6$ $958 \pm 10,5$	$76 \pm 3,9$ $948 \pm 9,1$	$67 \pm 1,8$ $820 \pm 12,4$	$70 \pm 7,3$ $932 \pm 7,7$
Бентофаги:					
Сазан	54	$87 \pm 8,6$ $304 \pm 12,5$	$90 \pm 4,7$ $217 \pm 9,8$	$88 \pm 9,4$ $240 \pm 14,1$	$77 \pm 6,3$ $266 \pm 13,0$
Плотва	39	$88 \pm 13,0$ $304 \pm 14,0$	$88 \pm 5,9$ $99 \pm 6,3$	$64 \pm 9,5$ $245 \pm 12,3$	$77 \pm 11,3$ $298 \pm 13,8$
Лещ	40	$87 \pm 3,2$ $200 \pm 7,6$	$88 \pm 3,9$ $183 \pm 14,2$	$64 \pm 7,4$ $163 \pm 19,0$	$74 \pm 4,8$ $197 \pm 9,9$
Маринка	37	$85 \pm 6,4$ $200 \pm 20,0$	$65 \pm 4,9$ $195 \pm 11,7$	$62 \pm 7,8$ $190 \pm 12,4$	$76 \pm 10,0$ $197 \pm 12,8$

Таблица 10

Концентрация и коэффициенты накопления стронция в костной ткани рыб по районам оз.Балхаш на год за 1969-1972 гг. (числитель - концентрации, мкг/г, знаменатель - КН)

Район сбора	Судак	Окуш	Сом	Харез	Сазан	Плотва	Лещ	Маринка
I	$\frac{643}{1284}$	$\frac{485}{1300}$	$\frac{748}{1496}$	$\frac{2159}{4318}$	$\frac{2560}{5122}$	$\frac{1587}{3174}$	$\frac{1815}{3630}$	$\frac{1303}{2606}$
II	$\frac{337}{1002}$	$\frac{363}{1100}$	$\frac{525}{1600}$	$\frac{1168}{3541}$	$\frac{1259}{3817}$	$\frac{698}{2117}$	$\frac{852}{2581}$	$\frac{862}{2611}$
III	$\frac{202}{808}$	$\frac{237}{950}$	$\frac{359}{1840}$	$\frac{647}{2454}$	$\frac{724}{2798}$	-	$\frac{590}{2270}$	$\frac{575}{2217}$
IV	$\frac{148}{704}$	$\frac{170}{700}$	-	-	$\frac{489}{2578}$	-	$\frac{411}{2154}$	$\frac{401}{2101}$
V	$\frac{30}{203}$	$\frac{130}{630}$	-	-	$\frac{289}{2408}$	-	$\frac{256}{2133}$	$\frac{251}{2091}$

накапливают стронций больше в отношении с хищниками. Исключение составляет лишь верех, концентрация радиостронция в котором близка к таковой в мирных рыбах.

Результаты, полученные нами по концентрации стронция-90 в рыбах оз.Балхаш, хорошо согласуются с концентрациями стабильного стронция. Так, наибольшие значения коэффициентов накопления радиостронция обнаружены нами в особях, выловленных в верховьях в первом районе озера (табл. II).

Таблица II

Коэффициенты накопления стронция-90 в местах рыб оз.Балхаш (средние величины за 1969-72 гг., числитель - на сухой вес, знаменатель - на воду)

Район вылова проб	Судак	Окунь	Сом	Верех	Сазан	Плотва	Лещ	Маришка
I	250 1013	245 1017	386 1731	870 3650	920 3834	728 3012	979 3978	710 2857
II	138 577	150 613	206 840	692 2803	723 2908	575 2342	500 2014	498 1898
III	110 460	180 521	157 567	410 1385	386 1552	-	248 1013	253 1080
IV	70 317	112 459	-	-	298 1189	-	256 1010	229 940
V	75 303	100 437	-	-	287 1120	-	261 1097	237 967

Наибольшие уровни накопления стронция-90 практически всеми рыбами достигаются весной, с постепенным понижением к осени; сезонные изменения ярче выражены у мирных видов и менее четко у хищников.

Нами обнаружена довольно тесная связь между накоплением стабильного и радиоактивного стронция в рыбах оз.Балхаш. Эта связь подтверждается и аналогичностью уравнений регрессии, описывающих зависимость в накоплении стабильного и радиоактивного стронция в костной ткани рыб от концентрации в воде ионов кальция и магния. Такая зависимость в условиях оз.Балхаш аппроксимируется уравнениями регрессии, рассчитанными на экспериментальных данных по методу наименьших квадратов. Эти уравнения для мирных рыб сазана (1) и маришки (2) имеют следующий вид:

$$(1) \lg (KH)_{Sr^{90}} = 4,11 - 0,75 \lg (Ca + Mg) \text{ в воде}$$

$$(2) \lg (KH)_{Sr^{90}} = 4,06 - 0,93 \lg (Ca + Mg) \text{ в воде}$$

Для хищных - судак (8) и окуня (4):

$$(3) \text{ I}_g (\text{KH})_{\text{Sr}^{90}} = 3,63 - 0,80 \text{ I}_g (\text{Ca} + \text{Mg}) \text{ в воде}$$

$$(4) \text{ I}_g (\text{KH})_{\text{Sr}^{90}} = 3,44 - 0,57 \text{ I}_g (\text{Ca} + \text{Mg}) \text{ в воде}$$

Уравнения, описывающие подобную зависимость для стабильного стронция имеют вид: мирные рыбы - саван (5), маринка (6),

$$(5) \text{ I}_g (\text{KH})_{\text{Sr}} = 5,03 - 1,3 \text{ I}_g (\text{Ca} + \text{Mg}) \text{ в воде}$$

$$(6) \text{ I}_g (\text{KH})_{\text{Sr}} = 4,89 - 0,85 \text{ I}_g (\text{Ca} + \text{Mg}) \text{ в воде}$$

хищники - судак (7), окунь (8):

$$(7) \text{ I}_g (\text{KH})_{\text{Sr}} = 3,80 - 0,74 \text{ I}_g (\text{Ca} + \text{Mg}) \text{ в воде}$$

$$(8) \text{ I}_g (\text{KH})_{\text{Sr}} = 4,20 - 1,07 \text{ I}_g (\text{Ca} + \text{Mg}) \text{ в воде}$$

Значения коэффициентов корреляции между суммарной концентрацией кальция и магния в воде оз.Балхаш и коэффициентами накопления стронция-90 в костной ткани рыб оказались довольно высокими; так, для савана и маринки соответственно равнялись (-0,95) и (-0,85), для судака и окуня (-0,98) и (-0,91).

4. Значение трофических связей и возраста в накоплении стронция-90 рыбами

Нами обнаружено, что наибольшие коэффициенты накопления стронция-90 имеют рыбы, потребляющие разнообразную пищу - планктонные ракообразные, бентос, макрофиты. Хищные рыбы с ограниченным спектром питания имеют наименьшие значения КН (таблица 12). Высокие КН радиостронция характерны также для рыб, питающихся водной растительностью. Это позволило нам говорить о пищевой проницаемости стронция-90 в органах рыб в условиях оз.Балхаш. В пользу этого свидетельствуют высокие коэффициенты накопления радиостронция у жереха в сравнении с другими хищными рыбами. В других водоемах жерех в раннем возрасте переходит на хищное питание, в оз.Балхаш при почти полном отсутствии обранных видов рыб, он долгое время питается преимущественно мизидами. У жереха в возрасте 6-8 лет пища до 100% состоит из моллюсков монодакты. В результате этого в костной ткани жереха и шипа поддерживается высокая концентрация радиостронция.

Исследования гистологических особенностей в накоплении стронция-90 рыбами оз.Балхаш показали (табл. 13), что на ранних стадиях развития все виды рыб, обитающие в озере, содержат одинаковое количество стронция-90. Но уже у годовиков наблюдаются значительные различия в концентрациях радиостронция. С увеличением возраста рыб в пище мирных

Таблица 12

Коэффициенты накопления стронция-90 в костной ткани рыб в зависимости от их характера питания (Зап. Балтика, 1970-1972 гг.)

Виды рыб	Компоненты питания	% содержания	КН пищи на сухой вес	КН рыбной сырой вес	Отношение КН рыба / КН сулук
Сазан	Монодакна	50	2300		
	Мивиды	30	1300	920	3,6
	Планктон	15	250		
	Детрит	3	120		
	Прочие организмы	2			
Лещ	Монодакна	35	2300		
	Мивиды	20	250	950	3,8
	Планктон	17			
	Корофииды	10	420		
	Детрит	13	120		
	Прочие	5			
Маринна	Монодакна	70	2300	700	2,8
	Детрит	30	120		
Плотва	Монодакна	45	2300	730	2,9
	Харсье водоросли	30	700		
	Планктон	25	250		
Белый амур	Макрофиты	70	700	680	2,7
	Детрит	30	120		
Шип	Монодакна	90	2300	750	3,0
	Детрит	10			
Херях	Мивиды	60	1300	850	3,4
	Рыба	40	300		
Сулук	Рыба	100	300-700	250	1,0
Сом	Рыба	100	300-700	380	1,5
Окузь	Рыба	80	300-1000	230	0,9
	Молодь	20			

Таблица 13

Концентрация стронция-90 (пкюри/г зола)
в рыбах озера Балхаш

Вид рыбы	В о в р а с т					
	мальки	годовики	2-3	4-5	6-7	8-10
Сазан	15,2±2,4	13,1±1,8	9,7±3,5	12,4±4,2	13,6±2,1	15,7±1,8
Лещ	10,8±0,6	10,3±2,6	12,1±1,7	11,7±3,4	15,4±1,2	-
Плотва	9,2±1,5	13,3±0,7	15,7±2,2	14,7±1,5	14,9±0,9	-
Жерех	-	10,4±2,7	12,5±1,6	13,7±2,2	8,3±0,2	-
Судак	8,7±2,7	5,1±1,3	3,7±2,4	5,0±1,3	5,4±0,6	-
Сом	9,0±1,0	5,4±0,8	5,3±1,7	6,0±0,6	7,3±0,4	-

видов ведущее место занимает бентические организмы и водная растительность, а хищники переходят на питание себеподобными. Это приводит к разграничению уровней накопления стронция-90 в костной ткани у рыб различных трофических уровней.

5. Коэффициенты дискриминации (Sr /Ca) и проявление эффекта трофических уравнений

Нами определены коэффициенты дискриминации у рыб оз. Балхаш и выяснено влияние изменений в концентрациях кальция и магния на величину этих коэффициентов (таб. 14).

Таблица 14

Коэффициенты дискриминации стабильного (числитель) и радиоактивного (знаменатель) стронция относительно кальция в скелетных костях рыб озера Балхаш

Район озера	Коэффициенты дискриминации							
	Судак	Окунь	Сом	Жерех	Сазан	Лещ	Плотва	Мальки
I	0,14	0,11	0,17	0,51	0,58	0,44	0,39	0,43
	0,16	0,17	0,17	0,41	0,50	0,52	0,40	0,38
II	0,11	0,10	0,12	0,30	0,38	0,26	0,21	0,25
	0,10	0,09	0,10	0,40	0,31	0,30	0,32	0,29
III	0,10	-	0,12	0,23	0,24	0,21	-	0,19
	0,07	-	0,08	0,36	0,26	0,23	-	0,16
IV	0,07	-	-	-	0,23	0,15	-	0,16
	0,05	-	-	-	0,17	0,16	-	0,16
V	0,05	-	-	-	0,21	0,16	-	0,16
	0,05	-	-	-	0,17	0,16	-	0,14

значения коэффициентов дискриминации стабильного и радиоактивного стронция для рыб, обитающих в различных районах озера, оказались ниже единицы. Значения D хищных рыб - судака, окуна, сома - были в три и более раз ниже таковых бентофагов. Дискриминация стабильного стронция практически одинакова с дискриминацией радиоактивного, при этом значения D как радиоактивного, так и стабильного стронция снижались с запада на восток. По-видимому, это снижение объясняется значительными концентрациями в воде восточных районов магния, содержание которого в 5 районе в 30 раз превосходит концентрацию кальция, в то время как в первом районе их соотношение примерно одинаково.

Если разделить всех гидробионтов оз. Балхаш на группы, то пределы колебаний величин D в них будут таковы:

- 1) Рыбы икhtiофаги - (0,05-0,16)
- 2) Рыбы планктофаги и бентофаги - (0,16-0,58)
- 3) Планктон, моллюски, мивиды, хиромониды, макрופиты - (1,3-5,3)

Таким образом, по мере продвижения по трофическим уровням происходит снижение значений коэффициентов дискриминации стронция относительно кальция.

Пендleton и Хансон (Pendleton, Hanson, 1958) впервые отметили тот факт, что повышение трофического уровня хищных в наземных условиях сопровождается увеличением содержания в организме такого радионуклида как цезий-137. Это явление они назвали "эффектом трофических уровней". Наши данные по концентрации стронция-90 показывают, что рыбы, в условиях оз. Балхаш питающиеся планктонными и бентическими организмами (сазан, лещ, плотва, маринка), накапливают наибольшее количество радиостронция, в то время как рыбы - икhtiофаги имеют более низкие уровни накопления. Процесс замедленного перехода жереха на хищный образ жизни отразился на величине коэффициентов накопления у этого вида.

Таким образом, намечается некоторое проявление "эффекта", подтверждающее, что в условиях Балхаша основным поставщиком стронция-90 в организм рыб является пища.

На рисунке приведена схема трофических связей в компонентах гидробиоценозов оз. Балхаш, уровни коэффициентов накопления стронция-90 и значения "наблюдаемых отношений" отдельных звеньев цепи.

При сравнении значений коэффициентов накопления и дискриминации стронция-90 относительно кальция для западного и восточного Балхаша можно отметить, что результаты для западной части озера хорошо

согласуются с данными для слабоминерализованных озер зоны избыточного увлажнения. В районах восточного Балхана, где, как уже отмечалось, доминирующим щелочно-земельным ионом в воде становится магний, найденные ранее закономерности несколько нарушаются.

При этом как в западном, так и в восточном Балхане налицо проявление эффекта трофических уровней.

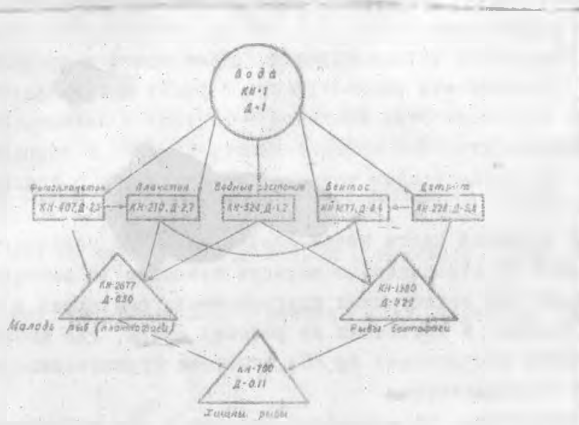


Рис. Схема трофических связей гидробионтов оз. Балхаш

Выводы

1. Концентрации стабильного и радиоактивного стронция, кальция и магния в воде озера Балхаш варьируют в широких пределах: концентрация стронция от первого района к пятому снижается от 0,50 мкг/мл до 0,12 мкг/мл; стронция-90 - от 7,1 пикри/л до 1,9 пикри/л; концентрация кальция - от 35,5 мкг/мл до 14,8 мкг/гг; в то время как концентрация магния в воде увеличивается от 95,0 мкг/мл до 280 мкг/мл. Это ставит оз. Балхаш в ряд интересных, с точки зрения радиэкологии, озерных исследований, водоемов.

2. Нами не отмечен спад с временем в течение исследованного периода (1969-1972 гг.) концентраций радиостронция ни в воде, ни в кормящихся овере гидробионтах, что свидетельствует о высокой стабильности вольфрамового радионуклида в водоеме.

3. По величине коэффициентов накопления строния-90 гидробионты

оз.Бетхаш образуют следующий ряд: 1) зообентос - 2350, 2) мирные виды рыб - 900, 3) фитопланктон - 950, 4) гидрофиты - 750, 5) зоопланктон - 300, 6) хищные рыбы - 250.

4. На примере озера Балхаш обнаружен четко выраженный "эффект трофических уровней", заключающийся в том, что рыбы-ихтиофаги примерно в три раза накапливают стронций-90 меньше, чем мирные рыбы. Это указывает на существенную роль пищи как поставщика стронция-90 в организм рыб в условиях этого озера.

5. Обнаружена четкая корреляционная связь в пределах озера Балхаш между накоплением радиостронция в рыбах и суммарной концентрацией в воде его химических аналогов - кальция и магния. Это дает основание предполагать, что накопление стронция-90 в гидробионтах зависит не только от концентрации кальция, но и связано с концентрацией ионов магния в воде.

6. В западной части озера Балхаш величины коэффициентов накопления стронция-90 относительно кальция совпадают с имеющимися литературными данными для аналогичных гидробионтов, обитающих в слабоминерализованных озерах; в восточных же районах озера, где наблюдаются необычно высокие соотношения Mg /Ca отмечено существенное снижение коэффициентов дискриминации.

7. Проведенные исследования показали, что изучение распределения стабильного и радиоактивного стронция, кальция и магния перспективно не только с точки зрения радиэкологических исследований, но и для понимания экологических процессов в биоценозах озера Балхаш, что представляет несомненный интерес при решении вопросов, связанных с сохранением этого уникального водоема.

ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ
ОПУБЛИКОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ:

1. К вопросу накопления стронция-90 рыбами. Материалы второй научной конференции молодых ученых АН КазССР, изд-во "Наука", 1970, Алма-Ата. (Совместно с В.И.Ниловы и С.А.Матмуратовны).
2. К вопросу распределения кальция, стронция, стронция-90 в рыбах пресного водоема. Тезисы докладов конференции: "Биологические основы рыбного хозяйства республик Средней Азии и Казахстана", Ташкент, 1972, Фергана.
3. Кальций, стронций, стронций-90 и микроэлементы в ихтиоценозе,

В сб.: "Экология гидробионтов водоемов Казахстана". Изд-во "Наука",
Алма-Ата, 1978.

4. Возрастные и сезонные особенности накопления стронция-90 са-
заном. В сб.: "Экология гидробионтов водоемов Казахстана". Изд-во
"Наука", Алма-Ата, 1978.

5. К вопросу накопления стронция-90 и цезия-137 некоторыми вида-
ми рыб в пресноводном водоеме. В сб.: "Радиозкология водных организ-
мов", Рига, 1978. (Совместно с С.А.Матмуратовым).

Материалы диссертации доложены
на следующих научных совещаниях

1. Вторая научная конференция молодых ученых АН КазССР, апрель,
1970.
2. Симпозиум по радиозкологии водных организмов. Рига, апрель,
1972.
3. Выездное заседание Казахстанского отделения ВГБО. Алма-Ата, ноябрь,
1973.