

БИОФИЗИКА

**О НАКОПЛЕНИИ ПРЕСНОВОДНЫМИ ОРГАНИЗМАМИ
ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ**

**IV. НАКОПЛЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ
ВОСЬМИ РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ТКАНЯХ БЕЗЗУБКИ**

*А. Б. Гецова, Н. А. Ляпунова, Г. Г. Поликарпов,
Е. А. Тимофеева-Ресовская*

Разработка биологических методов дезактивации радиоактивно загрязненных сточных вод требует изучения способностей разных организмов концентрировать в своих тканях химические элементы, содержащиеся в воде в очень малых количествах. Накопление подобных данных представляет большой интерес и для развития экспериментальной биогеоценологии (Н. В. Тимофеев-Ресовский, 1957).

Первые две работы этой серии были посвящены изучению накопления ряда элементов несколькими пресноводными брюхоногими моллюсками (Е. А. Тимофеева-Ресовская, З. И. Попова, Г. Г. Поликарпов, 1958; Е. А. Тимофеева-Ресовская, Н. В. Тимофеев-Ресовский, 1958), в третьей сообщалось о коэффициентах накопления разных радиоизотопов тремя видами водных растений (Е. А. Тимофеева-Ресовская, Н. А. Тимофеева, Н. В. Тимофеев-Ресовский, 1959).

В настоящей статье приведены результаты изучения накопления восьми различных элементов в организме беззубки (*Anodonta cellensis* Schrot) — представителя класса пластинчатожаберных моллюсков. В отличие от брюхоногих моллюсков беззубка — фильтратор. Этот объект очень удобен для исследований, поэтому в описываемых ниже опытах нам удалось подробнее изучить распределение химических элементов в разных органах моллюска.

Моллюсков брали из одной и той же прибрежной популяции в озере Большое Миассово (Урал). Все подопытные животные были примерно одинаковой величины и возраста. Опыты проводили в стеклянных аквариумах. В каждый аквариум помещали около 1 кг песка (слой толщиной около 5 см), несколько веточек элодеи, 4 беззубки и 8 л озерной воды. В воду добавляли раствор соответствующих излучателей в количестве примерно 10 мккюри на литр. Все опыты ставили в трех повторностях. Исследованы следующие радиоактивные изотопы: фосфор-32, кобальт-60, стронций-90, цирконий-95, ниобий-95, рутений-106, цезий-137 и церий-144. Радиоактивность моллюсков определяли на 2, 8, 16 и 24-й день после начала опыта.

При препаровке снимали обе створки раковины, а мягкое тело разделяли на мантию, жабры, мышцы (замыкатели и мускульную часть ноги) и все прочие внутренние органы, далее обозначаемые как висцеральная масса. Весь материал высушивали до постоянного веса и растирали в порошок в фарфоровых ступках. Из порошка брали аликвотные пробы по 2 навески. Концентрацию радиоактивных элементов в навеске определяли на счетных установках. Ввиду незначительных различий между повторностями данные по ним усредняли и выражали в числе частиц в 1 мин на 1 г сухого веса. Одновременно с моллюсками из каждого аквариума брали по 2 пробы воды объемом 1 мл. Измерения, производившиеся на разных счетчиках, пересчитывали с по-

мощью контрольных препаратов, чтобы сделать данные сравнимыми. Распределение элементов в организме рассчитывали из данных о сухом весе отдельных органов и концентрации в них соответствующих радиоизотопов.

Результаты определения концентрации различных радиоизотопов в воде и в органах беззубки через разные промежутки времени после начала опытов показывают (табл. 1), что в воде концентрация изотопов с ходом времени падает. Особенно сильно падает концентрация кобальта, циркония, цезия и церия. В органах беззубки накопление радио-

Таблица 1

Элемент	День после начала опыта	Активность воды в $\mu\text{мг}/\text{мин}$ на 1 мл	Концентрация радиоизотопов в тыс. $\mu\text{мг}/\text{мин}$ на 1 г сухого веса						
			мышцы	висцеральная масса	жабры	манта	мягкое тело в целом	раковина	весь моллюск
Фосфор-32	2	2770	15,2	98,0	99,0	37,0	67,5	92,3	89,0
	8	1900	53,9	318,0	301,8	145,5	210,0	176,0	190,0
	16	1630	77,1	316,0	458,0	223,0	279,0	198,6	224,0
	24	1260	188,4	861,0	909,0	709,0	650,0	140,9	206,0
Кобальт-60	2	730	4,3	6,1	6,3	13,5	7,2	44,3	39,0
	8	270	11,0	16,0	11,8	27,3	14,6	80,3	52,0
	16	95	6,8	20,8	14,8	14,7	13,0	65,3	62,0
	24	70	2,5	7,5	7,6	9,7	5,8	87,7	76,0
Стронций-90	2	605	7,3	8,6	90,0	21,0	28,1	2,6	7,2
	8	535	15,6	21,5	201,0	68,0	69,5	7,5	17,0
	16	490	17,1	20,1	343,0	85,0	128,0	10,9	26,8
	24	450	14,3	27,8	419,0	87,0	117,0	25,0	37,4
Цирконий-95	2	1040	0,5	0,8	3,3	6,3	1,8	17,5	15,0
	8	420	2,3	1,5	13,0	4,1	4,7	24,9	21,7
	16	130	5,5	5,2	4,8	7,2	5,4	69,0	59,0
	24	—	—	—	—	—	—	—	—
Ниобий-95	2	615	0,3	0,3	16,8	5,3	4,2	16,0	15,6
	8	305	3,9	7,9	22,4	8,0	10,2	30,4	29,2
	16	155	9,0	20,6	16,8	16,8	14,9	46,9	55,2
	24	—	—	—	—	—	—	—	—
Рутений-106	2	190	0,7	16,0	3,9	1,6	8,7	5,2	4,7
	8	160	1,1	30,0	5,0	2,0	12,1	5,5	6,6
	16	65	0,8	34,0	4,2	1,8	14,4	6,5	7,6
	24	45	1,4	30,0	2,9	2,7	12,0	6,8	6,7
Цезий-137	2	540	6,9	6,6	8,0	4,7	6,7	1,7	2,4
	8	100	25,4	16,9	18,8	14,0	15,0	0,6	2,0
	16	15	12,4	10,3	6,3	6,9	9,3	1,3	2,3
	24	20	12,8	14,9	5,7	3,2	8,7	0,5	1,8
Церий-144	2	240	2,3	37,7	3,6	14,4	22,3	6,8	8,6
	8	190	2,6	64,3	2,2	15,9	24,8	8,6	10,9
	16	35	3,4	54,3	3,0	5,4	15,1	9,6	9,5
	24	20	2,6	40,6	2,4	4,8	12,4	6,5	6,9

изотопов в большинстве случаев довольно сильно возрастает до 16-го дня опыта, а затем либо существенно не меняется, либо даже несколько снижается. На всех этапах опыта в теле моллюсков особенно высока была концентрация фосфора. Кобальт, стронций, ниобий и цирконий накапливались в меньших количествах. В еще меньшем количестве обнаружены рутений, цезий и церий.

В таблице 2 приведены коэффициенты накопления радионуклидов (отношение концентрации в объекте и в воде) во всех органах беззубки

Таблица 2

Элемент	День после начала опыта	Коэффициент накопления радионуклидов на сухой вес						
		мышцы	висцеральная масса	жабры	мантия	средний для мягкого тела	раковина	средний для всего моллюска
Фосфор-32	2	6	35	36	13	24	33	32
	8	28	166	157	77	110	93	100
	16	49	199	280	140	171	121	137
	24	159	730	754	605	515	117	164
Кобальт-60	2	6	8	9	18	10	60	54
	8	41	59	44	101	54	300	193
	16	72	220	156	154	137	690	655
	24	36	107	108	138	82	1260	1090
Стронций-90	2	12	14	223	36	47	4	12
	8	29	40	377	129	130	14	32
	16	35	41	705	175	260	22	55
	24	32	61	942	193	260	56	83
Цирконий-95	2	0,5	1	3	6	2	17	14
	8	6	4	31	3	7	59	51
	16	41	39	36	55	41	519	455
	24	—	—	—	—	—	—	—
Ниобий-95	2	1	0,4	27	9	7	26	25
	8	29	26	74	22	33	100	96
	16	59	346	110	110	97	307	275
	24	—	—	—	—	—	—	—
Рутений-106	2	4	86	20	8	46	28	35
	8	7	190	31	12	76	34	41
	16	15	565	65	28	220	102	117
	24	31	748	66	62	280	158	170
Цезий-137	2	13	13	15	9	14	3	4
	8	265	150	209	149	150	6	20
	16	1000	880	481	575	620	67	153
	24	710	824	315	178	435	25	90
Церий-144	2	10	154	15	54	93	28	36
	8	12	396	14	67	130	45	58
	16	94	1566	100	163	420	274	272
	24	160	2282	160	286	620	325	345

в разные моменты опыта. Наибольшие коэффициенты накопления получены (главным образом за счет концентрации в раковине) для кобальта, наименьшие — для стронция и цезия. Коэффициенты накопления фосфора, рутения и церия в мягком теле моллюсков заметно выше, чем в раковине. Коэффициенты накопления всех элементов, кроме цезия, растут в течение опыта.

Проводившиеся ранее долгосрочные опыты с прудовиком (Е. А. Тимофеева-Ресовская и Н. В. Тимофеев-Ресовский, 1958) показали, что коэффициенты накопления (за исключением стронция в раковине) ста-

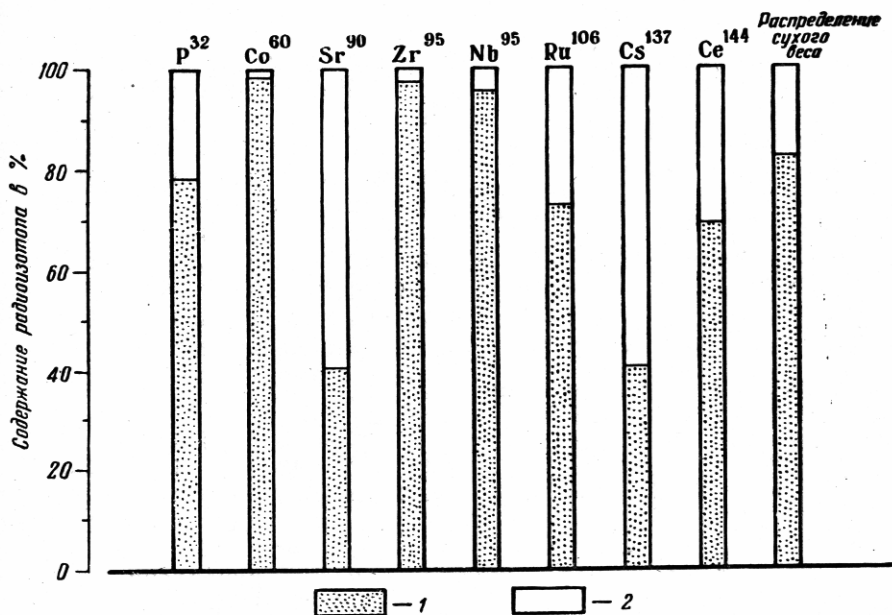


Рис. 1. Распределение различных радиоизотопов между раковиной и телом беззубки: 1 — раковина, 2 — мягкое тело

тистически более или менее стабилизируются через 2 недели после начала опытов. Поэтому опыты с беззубкой мы проводили в течение 24 дней. У беззубки такая стабилизация происходит позже (табл. 2); лишь в опытах с цезием на 24-й день получено снижение коэффициента накопления, которое можно трактовать как начало статистических флюктуаций вокруг некоторой долговременной средней величины.

Данные, приведенные на рисунке 1, характеризуют распределение радиоизотопов в мягких тканях и раковине беззубки. Они показывают, что в раковине содержится почти все количество поглощенных из среды кобальта, циркония и ниобия (98,4; 98,2; 93,5%), примерно три четверти фосфора, рутения и церия (74,2; 73,1; 68,3%) и менее чем половина накопленных в организме стронция и цезия (41,1 и 38,7%).

На рисунке 2 показано распределение элементов в разных тканях мягкого тела моллюска. Кобальт и цезий распределяются весьма равномерно, рутений и церий почти целиком (86,2 и 85,0%) содержатся в висцеральной массе, три четверти всего количества стронция содержится в жабрах (73,0%), фосфор и ниобий почти отсутствуют в мышцах, а цирконий концентрируется в висцеральной массе и почти совсем отсутствует в мантии. Необходимо заметить, что равномерность распределения по органам мягкого тела совершенно не зависит от поступления элемента в раковину, так как кобальт и цезий, наиболее равномерно распределяющиеся по органам мягкого тела, имеют самое высокое (кобальт 98,4%) и самое низкое (цезий 38,7%) содержание в раковине;

нет никакой корреляции между содержанием элемента в мантии и раковине. Данные рисунка 2 получены в результате осреднения сведений о распределении изотопов в разные моменты опыта, так как существенных ч направленных изменений в типе распределения от второго дня до конца опыта не наблюдалось.

Таким образом, результаты опытов показали, что радиоизотопы в разной степени накапливаются в теле беззубки и по-разному распределяются в отдельных органах. Довольно неожиданным является то обстоятельство, что преимущественно в раковине откладывается не стронций,

как у большинства моллюсков, а кобальт, цирконий и ниобий; стронций же и цезий содержатся в раковине в наименьшем количестве. Кобальт и цезий, а не рутений и цирконий (как это можно было бы ожидать на основании опытов с позвоночными) наиболее равномерно распределены по органам мягкого тела. Коэффициенты накопления радиоизотопов в тканях беззубки, хотя и отличаются довольно сильно друг от друга, варьируют все же заметно меньше, чем у некоторых других видов моллюсков.

В таблице 3 проведено сравнение коэффициентов накопления радиоизотопов в мягком теле, раковине и во всем организме (в среднем) семи видов пресноводных моллюсков. Изучено накопление четырех возможных загрязнителей открытых водоемов — осколочных элементов стронция, рутения, цезия и церия, а также наиболее часто употребляемого в различных опытах фосфора. Данные таблицы показывают, что у беззубки коэффициенты накопления на порядок величин ниже, чем у всех изучавшихся ранее пресноводных брюхоногих моллюсков. Почти у всех видов улиток один или

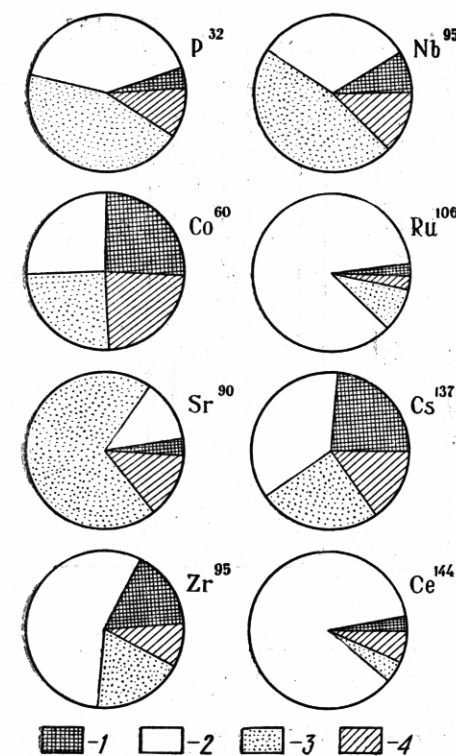


Рис. 2. Распределение радиоизотопов в органах мягкого тела беззубки: 1 — мышцы, 2 — висцеральная масса, 3 — жабры, 4 — мантия

два элемента накапливаются особенно интенсивно. Беззубке не свойственно такое специфическое накопление ни одного из изученных элементов. Характерно для беззубки также отсутствие элементов, дающих высокие коэффициенты накопления в раковине. Относительно слабое накопление радиоизотопов в раковине беззубки объясняется не столько массивностью раковины, сколько весьма медленным ростом ее. Это же наблюдается и у ушастого прудовика, имеющего тоненькую, но медленную растущую раковину.

Ориентировочное определение коэффициентов накопления разных элементов различными видами пресноводных моллюсков показало, что среди моллюсков, как и среди водных растений (Е. А. Тимофеева-Ресовская, 1963), можно подобрать виды, особенно хорошо концентрирующие те или иные элементы. Большой прудовик быстрее других видов накапливает стронций, беззубка может служить хорошим концентратором лишь для кобальта. В дальнейшем на пресноводных моллюсках и особенно на таких удобных объектах, как большой прудовик и беззубка,

Таблица 3

Вид	Место концентрации радиоизотопа	Коэффициент накопления радиоизотопов (на сухой вес)					
		фосфор-32	стронций-90	рутений-106	цезий-137	церий-144	средний для вида
<i>Bithynia leachi</i> Shap.	Тело	8295	90	480	2480	7550	3780
	Раковина	1020	130	270	160	1570	630
	Весь моллюск	3180	120	340	1360	3300	1660
<i>Limnaea stagnalis</i> L.	Тело	4795	655	180	425	4320	2155
	Раковина	265	5550	80	5	40	1190
	Весь моллюск	2540	3100	100	243	235	1245
<i>Radix auricularia</i> L.	Тело	2645	85	95	1345	2560	1345
	Раковина	1305	45	110	80	240	340
	Весь моллюск	1740	60	100	550	1050	700
<i>Radix ovata</i> Drap.	Тело	17965	140	460	740	11050	6070
	Раковина	1040	490	130	50	3250	990
	Весь моллюск	9400	320	295	390	7130	3505
<i>Galba palustris</i> Müll.	Тело	59100	240	155	—	—	19830
	Раковина	1025	765	75	—	—	375
	Весь моллюск	20800	585	100	—	—	7160
<i>Aplexa hypnorum</i> L.	Тело	51000	75	900	1870	21000	14770
	Раковина	2200	610	165	100	2000	1015
	Весь моллюск	35600	505	290	510	7220	8805
<i>Anodonta cellensis</i> Schröt.	Тело	515	260	280	485	620	430
	Раковина	120	55	160	30	325	140
	Весь моллюск	165	85	170	90	370	175
Среднее по элементу	Тело	20615	220	365	1225	7850	4758
	Раковина	995	1090	140	70	1235	720
	Весь моллюск	10490	680	200	325	3220	2680

следует изучать физиологические механизмы накопления и выделения различных элементов в минеральном обмене моллюсков и в особенности обменные отношения между органами мягкого тела и раковиной.

ЛИТЕРАТУРА

- Тимофеев-Ресовский Н. В. 1957. Применение излучений и излучателей в экспериментальной биогеоценологии. Ботан. журн., т. 42, вып. 2.
Тимофеева-Ресовская Е. А. 1963. Распределение радиоизотопов по основным компонентам пресноводных водоемов. Тр. Ин-та биологии Уральск. филиала АН СССР, вып. 30. Свердловск.
Тимофеева-Ресовская Е. А., Попова З. И. и Поликарпов Г. Г. 1958. О накоплении пресноводными организмами химических элементов из водных растворов. I. Концентрация радиоактивных изотопов фосфора, цинка, стронция, рутения, цезия и церия разными видами пресноводных моллюсков. Бюлл. Московск. об-ва испытателей природы, отд. биол., т. 63 (3).
Тимофеева-Ресовская Е. А. и Тимофеев-Ресовский Н. В. 1958. О накоплении пресноводными организмами химических элементов из водных растворов.

II. О коэффициентах накопления различных радиоизотопов прудовиком. Бюлл. Московск. об-ва испытателей природы, т. 63 (5).
Тимофеева-Ресовская Е. А., Тимофеева Н. А. и Тимофеев-Ресовский Н. В. 1959. О накоплении пресноводными организмами химических элементов из водных растворов. III. О коэффициентах накопления различных радиоизотопов тремя видами водных растений. Бюлл. Московск. об-ва испытателей природы, т. 64 (5).

Рекомендована Институтом биологии
Уральского филиала АН СССР

Поступила
23 марта 1963 г.