

ПРОНИКНОВЕНИЕ УГЛЕРОДА (C^{14}) КАРБОНАТА ИЗ ВОДЫ
И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО В ТЕЛЕ РЫБЫ

И. Ф. ВЕЛЬТИЩЕВА

Угольная кислота и ее соли являются важнейшей составной частью природной воды. В пресных водах количество иона HCO_3 намного превосходит содержание других ионов и в большинстве рек и озер колеблется от 150 до 250 мг/л [1].

При выращивании рыбы в прудах концентрация карбонатов в воде может значительно изменяться в результате внесения удобрений: органические удобрения способствуют увеличению количества карбонатных соединений, а при внесении минеральных удобрений карбонаты расходуются и могут лимитировать развитие водорослей.

Изучением действия карбонатных ионов на рыб занимались в Китае. В 1954—1955 гг. был проведен ряд опытов по купанию мальков и сеголетков толстолобика и амура в 1%-ном растворе соды (Na_2CO_3) [5]. Авторы пришли к выводу, что такое купание в течение 20—30 мин. способствует улучшению обмена веществ, повышает жизнестойкость рыб и интенсивность их роста, усиливает сопротивляемость заболеваниям.

По мнению авторов, выход рыбной продукции только за счет купания в соде может быть увеличен на 10%.

Действию свободной углекислоты на рыб посвящено много исследований. Результаты их противоречивы. Однако работы А. Б. Лозина [4] и И. П. Чистяковой [8], исследовавших осетровую молодь, свидетельствуют о том, что рыба переносит высокое содержание углекислоты в воде.

Наша задача заключалась в том, чтобы выяснить, возможно ли проникновение карбонатов из воды в тело рыбы, существует ли связь интенсивности проникновения карбонатов с концентрацией их в воде и принимают ли они участие в обмене веществ рыб.

Для проведения экспериментов мы использовали двууглекислый натрий ($NaHC^{14}O_3$), меченный по углероду.

Опыты проводили с годовиками карпа, верховкой и молодь осетровых. Подопытную рыбу выдерживали в кристаллизаторах в радиоактивном растворе соды. Для последующей обработки рыбу промывали, высушивали и растирали. Порошок тщательно перемешивали и небольшую навеску его брали для проверки на присутствие радиоактивного углерода (C^{14}).

В ряде случаев анализировали отдельные органы и ткани. В некоторых опытах проверяли на присутствие C^{14} белки, жиры, гликоген печени и мышц. Во всех случаях расчет вели в импульсах в минуту (имп/мин.) на 100 мг сухого вещества.

Все определения активности проведены на счетной установке типа Б-2 с одной и той же торцевой трубкой типа Т-25 БФЛ, расположен-

ной на одном расстоянии от препарата. Величины активности даны без учета эффективности счетной трубки.

Изотоп углерода C^{14} обладает очень малой энергией излучения (всего 0,154MeV). Поэтому, чтобы избежать самопоглощения, мы стремились к изготовлению возможно более тонких препаратов, как правило, навеской 0,5—2,8 мг/см²; реже до 4 мг/см². В каждом опыте колебания навесок препаратов были небольшими.

Для определения мест проникновения и локализации углерода карбонатов исследовали чешуйчатых карпов весом 15—20 г, которых выдерживали 1 час в аппарате, использованном для этой цели И. А. Шехановой [9]. Поочередно наливая радиоактивный раствор соды (300 мкCi/л) то в один, то в другой отсек прибора, мы могли установить, какое количество C^{14} проникает через жабры, когда в радиоактивном растворе находится только голова, и через кожу при заполнении радиоактивным раствором другого отсека. Результаты этого опыта приведены в табл. 1.

Таблица 1

Места локализации C^{14}	Активность органов и тканей на 100 мг веса в имп/мин. при проникновении C^{14} через	
	жабры	кожу
Чешуя	3017	790
Покровные кости	8331	149
Основные кости	2416	59
Жаберные лепестки	2300	145
Кровь	536	74
Кожа	187	86
Печень	1595	102
Головной мозг	975	87
Почки	625	45
Селезенка	497	0
Мышцы	122	56
Всего в %	92,7	7,3

Углерод из минеральных соединений, так же как и другие элементы [3, 9], поступает главным образом через жабры (92,7%), через кожу его поступает немного (7,3%), но места локализации в том и другом случае практически одинаковы. Относительная активность костной ткани очень велика, она составляет 60—65%, тогда как на долю всех внутренних органов и кожи приходится только 35—40%.

Установив возможность проникновения карбонатных соединений из воды в тело рыбы, мы поставили серию опытов, чтобы получить представление о том, как велико колебание потребляемого углерода у отдельных особей, изменяется ли отношение к карбонатным соединениям у рыб разного возраста в процессе развития, происходит ли накопление в организме углерода, поступающего из воды, или он тут же выводится, имеет ли значение концентрация карбонатных соединений в воде для интенсивности проникновения углерода в тело рыб.

Два опыта провели с целью выяснения индивидуальных отклонений в потреблении C^{14} из раствора одной активности. В одном случае молодь осетра весом около 100 мг выдерживали 15 час. в растворе соды

с активностью 50 $\mu\text{Cu}/\text{л}$, а в другом случае молодь севрюги примерно такого же среднего веса выдерживали в растворе соды с активностью 55 $\mu\text{Cu}/\text{л}$ в течение 1,5 часа. В обоих случаях больших колебаний активности рыб не наблюдалось: даже крайние варианты различались всего в 2 раза.

На разных этапах развития рыбы интенсивность потребления минеральных соединений углерода может меняться. Чтобы выяснить это, мы проследили за изменением потребления углерода из радиоактивного раствора соды молодью осетра на протяжении месяца.

Опыты ставили ежедневно, начиная с момента перехода личинок на активное питание. Каждый раз исследовали по 10 мальков, которых выдерживали 2 часа в растворе соды с активностью 100 $\mu\text{Cu}/\text{л}$ и концентрацией соды 22 мг/л. В результате оказалось, что потребление карбонатов увеличивается в моменты наиболее интенсивного формирования — на этапах V, VI, VII (табл. 2).

Таблица 2

Этапы развития молоди (по Л. А. Алявдиной)	Вес рыбы в мг		Активность в имп/мин. на 100 мг сухого веса
	сырой	сухой	
III	37	7	1821
IV	39	6	2454
V	60	7	3032
VI	154	18	6435
VII	301	36	4206
VIII	1290	183	1340

Из табл. 2 видно, что вполне сформировавшаяся молодь (VIII этап) меньше использует карбонаты из воды, чем в период формирования, но все-таки интенсивность их потребления остается высокой.

Для выяснения возможности накопления углерода, поступающего из воды в тело рыбы, в раствор соды активностью 100 $\mu\text{Cu}/\text{л}$ посадили 70 осетрят средним весом 55 мг. Через определенные промежутки времени по 5 экз. брали для анализа на радиоактивность. Оказалось, что на протяжении опыта, т. е. в течение 5 суток, активность тела рыбы возрастает (табл. 3).

Таблица 3

Время взятия пробы от начала опыта	Вес рыбы в мг		Активность рыбы в имп/мин. на 100 мг сухого веса	Время взятия пробы от начала опыта	Вес рыбы в мг		Активность рыбы в имп/мин. на 100 мг сухого веса
	сырой	сухой			сырой	сухой	
20 мин.	47	6	1334	5 час.	66	8	5541
45 мин.	53	6	1246	1 сутки	69	8	18952
60 мин.	53	6	1365	2 суток	74	8	23763
2 часа	50	6	2175	3 суток	102	12	125343
3 часа	59	7	2578	4 суток	102	12	185845
4 часа	65	8	3342	5 суток	118	13	234516

Интенсивность проникновения углерода в тело рыб определяется концентрацией радиоактивного раствора. Это установлено как на осетровых, так и на карповых рыбах. В табл. 4 приведены данные, харак-

теризующие потребление C^{14} из растворов радиоактивной соды разной концентрации.

Таблица 4

Рыба	Активность раствора в μ Си/л	Концентрация соды в мг/л	Вес рыбы в мг		Активность рыбы в имп/мин. на 100 мг сухого веса	Продолжительность выдерживания рыбы в растворе в часах
			сырой	сухой		
Карп чешуйчатый	10	2,2	1500	267	1279	2
	100	22	1500	282	7458	2
	1000	220	1200	112	54437	2
Осетр	10	2,2	51	6	1071	2
	100	22	50	5	5689	2
	1000	220	50	6	41383	2
Севрюга	25	1,9	73	17	1348	7
	100	7,4	73	17	3581	7
	150	11,1	79	17	6500	7

Установив проникновение карбонатных соединений из воды в тело рыбы, мы задались целью определить предел, при котором прекращается потребление карбонатных соединений, и выяснить, как повышенное содержание соды влияет на рост рыбы. Для изучения этого вопроса был поставлен опыт по длительному выращиванию молоди осетра в растворах соды. Опыт продолжался 17 суток при температуре 18—20° и избыточном кормлении рыбы. Содовые растворы сменяли ежедневно. К обычной соде ($NaHCO_3$) в пропорциональных количествах прибавляли радиоактивную соду $NaHC^{14}O_3$. По изменению активности мы судили об общем потреблении карбонатов. Результаты опыта приведены в табл. 5.

Таблица 5

Время взятия пробы от на- чала опыта в сутках	Вес рыбы в мг		Активность рыбы в имп/мин. на 100 мг су- хого веса	Время взятия пробы от на- чала опыта в сутках	Вес рыбы в мг		Активность рыбы в имп/мин. на 100 мг су- хого веса
	сырой	сухой			сырой	сухой	
Контроль				Концентрация соды 1022 мг/л (0,1%), активность 100 μ Си/л			
2	53	7,0	—	2	56	6,6	6719
3	56	7,5	—	3	61	7,1	10348
6	71	9,0	—	6	66	7,5	17293
9	107	12,6	—	9	103	11,7	23731
12	150	18,0	—	12	123	14,0	33145
17	207	26,3	—	17	186	22,0	33333
Концентрация соды 511 мг/л (0,05%), активность 50 μ Си/л				Концентрация соды 3066 мг/л (0,3%), активность 300 μ Си/л			
2	52	7,0	4851	2	53	7,0	9838
3	57	7,3	9576	3	50	6,8	11500
6	69	8,4	19481	6	60	6,7	29027
9	107	11,7	22560	9	75	8,2	32100
12	147	17,4	29634	12	78	7,1	45051
17	266	32,0	28566	17	112	13,0	44711

У рыбы, находившейся в воде с концентрацией соды 511 мг/л и активностью 50 $\mu\text{Cu}/\text{л}$, наблюдался самый высокий прирост (на 29% выше, чем в контроле). При концентрации соды 1022 мг/л и активности раствора 100 $\mu\text{Cu}/\text{л}$ наблюдалось небольшое замедление роста (на 10% по сравнению с контролем). Увеличение концентрации до 3066 мг/л и активности до 300 $\mu\text{Cu}/\text{л}$ привело к сильному замедлению роста (на 46%) и наибольшему отходу в процессе выращивания.

При наименьшей концентрации соды 0,05% углерод интенсивно потреблялся из воды на протяжении первых 6 суток. Активность рыбы в промежутках между взятием проб возрастала более чем в два раза. При высоких концентрациях соды (0,1—0,3%) абсолютное количество первоначально потребленного C^{14} выше, но интенсивность потребления очень быстро снижается. На 6—12-е сутки наблюдается резкий скачок в потреблении углерода. К 12—17-м суткам потребление углерода задерживается на одном уровне при любой концентрации, с той разницей, что при более низкой концентрации (0,05%) абсолютное количество проникающего углерода меньше, чем при более высокой концентрации (0,3%).

Замедление роста рыбы при выдерживании в содовых растворах концентрацией 0,1—0,3% совпадает с периодом повышенного проникновения карбонатов в организм. Каким образом повышенные концентрации угнетающе действуют на рост, нам пока не ясно.

Чтобы знать пути дальнейшего использования рыбой углерода из карбонатных соединений воды, проследили за распределением C^{14} по органам, тканям тела рыбы и основным органическим веществам тканей: белкам, жирам, углеводам. Особое внимание уделили гликогену печени и мышцам как основному источнику всех энергетических процессов в организме.

В табл. 6, 7 и 8 показано распределение углерода в органах и тканях при выдерживании карпов в растворе радиоактивной соды концентрацией 31,5 мг/л и активностью 220 $\mu\text{Cu}/\text{л}$ в течение 2 час., 1 суток, 8 суток с последующим выращиванием в чистой воде.

Из данных, приведенных в табл. 6, 7, 8, видно, что углерод C^{14} очень быстро проникает во все основные органические соединения, органы и ткани. Даже после двухчасового выдерживания в растворе соды, уже через 3 часа от начала опыта он встречается всюду, кроме жиров и щелочерастворимых белков мышц.

Особенно богаты углеродом C^{14} при любом сроке выдерживания рыбы в радиоактивном растворе гликоген, сложные белки с углеводсодержащей группой, которые находятся в большом количестве в стекловидном теле глаз, покровные кости, головной и спинной мозг. Значительной активностью обладают кишечные стенки и содержимое кишечника (см. табл. 7, 8).

Высокую активность костей, особенно покровных, очевидно, можно объяснить интенсивным обменом веществ в этой ткани. В работе М. П. Богоявленской [3] на изотопе Ca^{45} показано, что покровные кости обладают высоким уровнем обмена веществ.

Соломон с сотрудниками [цит. по Хевеши, 7] обнаружили, что у крыс по крайней мере часть карбонатов кости легко образуется из бикарбонатов плазмы. По их данным, через 2,5 часа 1,8% введенного крысам меченого бикарбоната оказалось в карбонате кости. Видимо, такой процесс происходит и у рыб.

Активность всех тканей имеет пульсирующий характер с общей тенденцией снижения активности. Лучше всего это видно из табл. 6, когда пробы брали чаще. Пульсация активности в разных тканях различна. В периоды подъема активности в одних тканях можно наблюдать спад активности в других.

Таблица 6

Таблица 6

Исследованные ткани, органы и органические ве- щества рыбы	Распределение Si^{14} в органах, тканях и органических веществах годовиков чешуйчатого карпа после двухчасового выдерживания в раство- ре соды активностью 220 μ Ci/л и концентрацией 31 мг/л и при дальнейшем выращивании в чистой воде в течение																					
	3 час.		1 суток		4 суток		7 суток		13 суток		19 суток		25 суток		32 суток		57 суток		70 суток		146 суток	
	имп./мин.	% от общей активности	имп./мин.	% от общей активности	имп./мин.	% от общей активности	имп./мин.	% от общей активности	имп./мин.	% от общей активности	имп./мин.	% от общей активности	имп./мин.	% от общей активности	имп./мин.	% от общей активности	имп./мин.	% от общей активности	имп./мин.	% от общей активности	имп./мин.	% от общей активности
Гликоген																						
печени	59	0,1	458	4,2	560	14,2	1110	18,8	183	5,7	2800	45,6	288	14,9	296	10,1	134	6,8	78	3,3	121	15,5
мышц	—	—	1970	17,8	1304	33,0	2232	38,0	1000	31,0	1946	32,0	643	33,4	1159	39,1	1269	64,3	1500	63,4	261	33,3
Жир																						
печени	0	0	523	4,7	30	0,8	70	1,2	65	2,0	80	1,3	0	0	0	0	16	0,8	83	3,4	—	—
мышц	0	0	0	0	93	2,4	49	0,8	77	2,4	82	1,3	106	5,6	0	0	56	2,9	35	1,5	—	—
кожи	—	—	—	—	—	—	63	1,1	16	0,5	19	0,3	29	1,5	41	1,4	30	1,5	0	0	—	—
Белки																						
щелочерастворимые	0	0	71	0,6	94	2,4	59	1,0	32	1,0	57	0,9	31	1,6	53	1,8	0	0	67	2,9	60	7,7
стекловидного тела	32000	78,8	691	6,2	167	4,3	190	3,1	330	10,2	217	3,6	0	0	300	10,1	0	0	0	0	0	0
Кости																						
основные	655	1,6	1624	14,6	93	2,4	65	1,0	41	1,2	39	0,7	17	0,9	55	1,8	33	1,7	43	1,8	18	2,3
покровные	—	—	789	7,1	224	5,7	289	4,8	115	3,4	93	1,5	137	7,1	115	3,9	38	1,9	83	3,5	17	2,1
Чешуя	5117	12,6	719	6,5	261	6,6	333	5,6	293	9,1	309	5,1	106	5,5	184	6,4	103	5,4	60	2,6	82	10,2
Спинной мозг	2045	5,2	1464	13,3	230	5,9	428	7,3	375	11,6	0	0	300	15,5	400	13,5	167	8,5	200	8,4	0	0
Кровь	700	1,7	900	8,2	233	5,9	233	3,9	166	5,1	100	1,6	133	6,9	0	0	0	0	41	1,7	83	10,5
Жаберные лепестки	—	—	1861	16,8	644	16,4	772	13,4	365	11,4	225	3,7	97	5,0	196	6,6	86	4,4	103	4,5	56	7,2
Почки	—	—	—	—	—	—	—	—	175	5,4	145	2,4	41	2,1	157	5,3	36	1,8	72	3,0	89	11,2
Всего	40576	100	11070	100	3933	100	5893	100	3233	100	6112	100	1928	100	2956	100	1968	100	2365	100	787	100

Исследованные ткани, органы и органические вещества рыбы	Распределение Ca^{45} в органах, тканях и органических веществах годовиков карпа после суточного выдерживания в растворе соды активностью 2200 Ci/L и концентрацией 31 mg/L и при последующем их выращивании в чистой воде в течение										
	зеркальный карп		чешуйчатый карп								
	2 час.		1 часа		3 суток		10 суток		35 суток		92 суток
	имп/мин.	% от общей активности	имп/мин.	% от общей активности	имп/мин.	% от общей активности	имп/мин.	% от общей активности	имп/мин.	% от общей активности	имп/мин.
Гликоген											
печени	2400	2,8	273	0,1	4932	4,7	4882	13,2	2712	11,8	—
мышц	4576	5,5	102000	48,4	33500	31,9	5000	13,5	2291	10,0	—
Жир											
печени	2944	3,5	1231	0,6	1225	1,2	141	0,4	52	0,2	—
мышц	145	0,1	235	0,1	192	0,2	110	0,3	141	0,6	—
кожи	172	0,2	83	0,04	121	0,1	121	0,3	109	0,5	—
Печень	3885	4,7	3020	1,5	3592	3,4	2752	7,4	1809	8,0	—
Белки											
щелочерастворимые	321	0,4	438	0,2	270	0,2	300	0,8	292	1,3	—
стекловидного тела	5185	6,8	24000	11,4	5761	5,5	1842	5,0	1500	6,6	—
мышц	784	0,9	1696	0,8	1547	1,5	1037	2,8	350	1,5	—
Кости											
основные	2495	3,1	2573	1,2	330	0,3	520	1,4	476	2,0	—
покровные	7253	8,7	7953	3,7	2412	2,3	1429	3,8	894	3,9	—
Чешуя	3567	4,2	6000	2,8	4078	3,9	904	2,4	1051	4,6	750
Головной мозг	3379	4,1	5188	2,5	3000	2,8	1807	4,9	1343	5,9	—
Спинальный мозг	4035	4,8	6039	2,9	4071	3,9	1892	5,1	2103	9,2	—
Кровь	2466	3,0	3366	1,6	3400	3,2	1900	5,1	1900	8,3	—
Селезенка	2446	2,9	2346	1,1	2481	2,3	1688	4,6	1117	4,9	—
Жабберные лепестки	11586	14,0	11593	5,5	5705	5,4	3200	8,6	1055	4,6	—
Почки	2340	2,8	2076	1,0	16666	15,9	1438	3,9	447	2,0	—
Кожа	1477	1,7	2016	1,0	1152	1,1	866	2,3	746	3,3	—
Желчь	2833	3,4	6285	3,0	1727	1,6	1833	4,9	317	1,4	—
Стенки кишечника											
передний отдел	4519	5,4	7796	3,7	2862	2,7	1021	2,8	446	2,0	—
средний отдел	6619	8,0	10404	4,9	3338	3,2	857	2,3	238	1,0	—
задний отдел	7520	9,0	4033	1,9	2909	2,7	1571	4,2	1457	6,4	—
Всего	82947	100	210644	100	105238	100	37111	100	22846	100	—

Таблица 8

Исследованные ткани, органы и органические вещества рыбы	Распределение C^{14} в органах, тканях и органических веществах головок чешуйчатого карпа после восьмисуточного выдерживания в растворе соды активностью 220 д. Си/д и концентрацией 31 мг/д и при последующем выращивании в чистой воде в течение						
	1 часа		10 суток		48 суток		135 суток
	имп/мин.	% от общей активности	имп/мин.	% от общей активности	имп/мин.	% от общей активности	
Гликоген							
печени	32000	4,3	208575	30,0	44323	25,3	—
мышц	19181	2,6	75827	10,9	35187	20,1	—
Жир							
печени	30181	4,1	3148	0,5	633	0,4	—
мышц	2033	0,3	311	0,05	964	0,5	—
кожи	1839	0,3	671	0,1	374	0,2	—
Печень	39618	5,3	43885	6,3	14126	8,1	—
Белки							
щелочерастворимые	5296	0,8	4729	0,8	5000	2,9	—
стекловидного тела	61761	8,2	20840	3,0	2277	1,3	—
мышц	8845	1,2	4881	0,7	4242	2,4	—
Кости							
основные	6685	0,9	3924	0,5	2198	1,3	—
покровные	18741	2,6	6644	1,0	4339	2,5	—
Чешуя	23327	3,2	9170	1,3	1819	1,0	832
Головной мозг	26500	3,6	17000	2,5	5503	3,1	—
Спинной мозг	26315	3,6	30700	4,4	8521	4,8	—
Кровь	11726	1,6	20400	2,9	7933	4,5	—
Селезенка	46019	6,2	26309	3,8	9346	5,3	—
Жабрные лепестки	70189	9,3	25039	3,6	8121	4,6	—
Почки	40455	5,4	13775	2,0	5432	3,1	—
Кожа	10833	1,5	6453	0,9	1840	1,0	—
Желчь	5224	0,8	9417	1,4	5714	3,3	—
Стенки кишечника							
передний отдел	168000	20,9	146400	21,0	1777	1,0	—
средний отдел	44428	5,9	15524	2,2	2397	1,4	—
задний отдел	55350	7,4	1427	0,2	3444	1,9	—
Всего	756237	100	695049	100	175510	100	—

Наиболее высокая активность длительное время сохраняется в гликогене, особенно гликогене мышц (табл. 6, 9). Очевидно, при биохимических превращениях углерод в организме используется многократно. Часть его в процессе жизнедеятельности ткани заменяется и выводится организмом через почки и жабры, а часть используется на построение гликогена, причем синтез особенно интенсивен, по-видимому, в мышцах.

Исследованные органы, ткани и органические вещества рыбы	Распределение Cs^{137} в теле чешуйчатого карпа после суточного выдерживания в радиоактивном растворе соды разных концентраций и при последующем выращивании в чистой воде											
	активность раствора 220 $\mu\text{Ci/l}$, концентрация 31,5 мг/л				активность раствора 500 $\mu\text{Ci/l}$, концентрация 73,0 мг/л							
	1 час		35 суток		1 час		30 суток		210 суток		411 суток	
	имп/мин.	% от общей активности	имп/мин.	% от общей активности	имп/мин.	% от общей активности	имп/мин.	% от общей активности	имп/мин.	% от общей активности	имп/мин.	% от общей активности
Гликоген												
печени	273	0,1	2712	13,1	30217	2,8	126100	30,9	8147	6,4	165	1,7
мышц	102200	54,2	2291	11,0	30733	2,8	139733	34,3	80503	63,1	6623	67,2
Печень	3020	1,6	1809	8,7	16870	1,5	15446	3,8	3952	3,1	46	0,5
Жиры												
печени	1231	0,7	52	0,3	—	—	—	—	281	0,2	9	0,1
мышц	235	0,1	141	0,7	—	—	—	—	338	0,3	80	0,8
кожи	83	0,04	109	0,5	—	—	—	—	132	0,1	8	0,1
Белки												
щелочерастворимые	438	0,2	292	1,4	—	—	—	—	920	0,7	105	1,1
стекловидного тела . .	24000	12,9	1500	7,3	325250	30,9	16285	3,9	1100	0,9	212	2,2
мышц	1696	—	350	1,7	14896	1,3	4134	1,0	2800	2,2	170	1,7
Кости												
основные	2573	1,4	476	2,3	14759	1,4	8987	2,2	2528	2,0	309	3,2
покровные	7953	4,3	894	4,3	79159	7,5	15119	3,7	5360	4,1	530	5,4
Чешуя	6000	3,2	1051	5,1	33621	3,2	5583	1,4	1794	1,4	249	2,5
Головной мозг	5188	2,8	1343	6,5	61907	6,6	19000	4,6	3087	3,4	262	2,7
Спинальный мозг	6039	3,3	2103	10,1	248888	23,6	20794	5,2	5980	4,6	470	4,8
Кровь	3366	1,9	1900	9,2	47500	4,5	13706	3,4	3176	2,5	201	2,1
Селезенка	2346	1,3	1117	5,4	28304	2,6	7842	1,9	1562	1,2	167	1,7
Жабберные лепестки . . .	11593	6,3	1055	5,1	81108	7,7	9880	2,5	2079	1,6	43	0,4
Почки	2076	1,2	447	2,2	28069	2,6	4987	1,2	1340	1,0	68	0,7
Кожа	2016	1,1	746	3,6	—	—	—	—	706	0,5	92	0,9
Желчь	6285	3,4	317	1,5	11911	1,0	—	—	877	0,7	15	0,2
Всего	188611	100	20705	100	1053192	100	407596	100	126662	100	9824	100

Общая закономерность распределения и перераспределения C^{14} в организме при выдерживании в радиоактивном растворе соды в течение разных промежутков времени остается одинаковой, но абсолютные величины при более длительном выдерживании возрастают. Если в тело рыбы проникло больше углерода, то он значительно дольше сохраняется в нем (см. табл. 6, 7, 8). Так, при двухчасовом выдерживании в растворе активностью 220 μ Cu/l через 146 суток активность 100 мг чешуи была 82 имп/мин., а при восьмисуточном выдерживании в таком же растворе через 135 суток активность оказалась равной 832 имп/мин.

При выдерживании в растворах с более высокой концентрацией карбонатных соединений углерод задерживается в организме дольше (табл. 9).

Приведенные данные распределения радиоактивного углерода в органах и тканях свидетельствуют, что углерод карбонатных соединений воды, попадая в тело рыб, быстро включается в самые разнообразные органические соединения и обнаруживается во всех основных органах и тканях.

Чтобы проследить судьбу углерода соды в химически чистом веществе, наблюдали за активностью гликогена. Для анализов взяли гликоген печени как запасное вещество, идущее на энергетические нужды всего организма, и гликоген мышц—наиболее активной в энергетическом отношении ткани. Все приводимые ниже величины даны в расчете на 100 мг гликогена. Следует иметь в виду, что количество гликогена в мышцах и печени различно: в первом случае гликоген составляет чаще всего 0,3—1% от сырого веса ткани, а во втором случае—13—15%.

При выдерживании рыбы даже в очень слабых растворах радиоактивной соды (20 μ Cu/l) активность гликогена оказывается значительной и при двухчасовом купании рыбы сохраняется на протяжении 21 суток. С увеличением концентрации содового раствора активность гликогена увеличивается (табл. 10).

Таблица 10

Гликоген	Активность гликогена в имп/мин. при выдерживании карпов в течение суток в растворе соды концентрацией в μ Cu/l		
	20	100	500
Печени	48	1177	30217
Мышц	3273	8333	126100

При кратковременном купании рыб в содовом растворе (2 часа) углерод соды сохраняется в организме длительное время, но постепенно количество его снижается, а при постоянном выдерживании рыб в радиоактивном растворе количество углерода в гликогене за счет C^{14} соды все время возрастает (табл. 11).

После пересадки рыбы из радиоактивного раствора соды в чистую воду активность гликогена продолжает увеличиваться еще в течение 6—10 суток (см. табл. 6, 7, 8). Видимо, это связано с многократным использованием промежуточных или конечных продуктов обмена других тканей на построение гликогена.

При недостатке пищи карбонатные соединения, растворенные в воде, используются организмом на построение органического вещества тела в большем количестве. Очевидно, во время голодания значительная часть энергетических расходов покрывается за счет гликогена, образовавшегося вторично в процессе биохимических превращений, происходящих в организме. При многократном использовании тех или иных ор-

Таблица 11

Продолжительность выдерживания рыбы в растворе соды	Гликоген	Активность гликогена в имп/мин. при длительности опыта							
		2 час.	5 час.	1 сутки	3 суток	6 суток	10 суток	16 суток	21 сутки
Активность раствора 20μ Cu/л									
2 часа	Печени	5	—	16	Фон	15	Фон	29	23
	Мышц	8	—	60	198	177	80	Фон	35
Постоянно	Печени	5	—	48	22	4367	159	320	1638
	Мышц	8	—	3273	1444	11962	2203	6933	10000
Активность раствора 60μ Cu/л									
2 часа	Печени	63	—	185	1135	6049	—	—	—
	Мышц	43	—	2050	7953	12888	—	—	—
Постоянно	Печени	63	183	5022	—	39757	—	—	—
	Мышц	43	750	10645	—	22333	—	—	—

ганических веществ больше вовлекаются в происходящие процессы и карбонаты, попавшие в кровь из воды. Для подтверждения этого предположения мы выдерживали годовиков карпа в радиоактивном растворе соды (27 μCu/л) на протяжении 7 суток. В одном случае карп получал избыточное питание (хириноиды), а в другом — все 7 суток сидел голодным (табл. 12).

Таблица 12

Рыба	Активность в имп/мин. 100 мг				
	гликогена		щелочерастворимых белков мышц	жаберных лепестков	крови
	печени	мышц			
Сытая	197	2195	286	489	2000
Голодная	1515	5182	303	489	1666

Судя по активности жаберных лепестков, интенсивность проникновения C^{14} остается постоянной, так как она, очевидно, определяется концентрацией карбонатов в воде. Но использование организмом проникшего углерода в том и другом случае различно. У голодных рыб активность гликогена печени и мышц значительно выше, чем у сытых. Пониженная активность крови голодных рыб, видимо, является следствием усиленного потребления углерода для построения гликогена.

Активность белков у голодных рыб повышается незначительно.

Небольшие наблюдения за ролью углерода соды при построении белков показали, что он входит в состав белковых молекул водо-, соли- и щелочерастворимых белков мышц. Относительная активность его по сравнению с другими органами и тканями невелика. После кратковременного выдерживания в соде углерод в белках мышц появляется не сразу (см. табл. 6). Это свидетельствует о более сложном пути, который должен пройти углерод соды, прежде чем войти в состав белковой молекулы. Интенсивность использования углерода соды на построение белков, очевидно, прежде всего определяется структурой белков. Так, активность водорастворимых альбуминов значительно больше (605 имп/мин. на 100 мг белка), чем щелочерастворимой фракции (364 имп/мин.), в которой содержатся альбумины, глобулины и миоглобины.

Как уже упоминалось, активность сложных белков стекловидного тела с углеводсодержащей группой по крайней мере в 10 раз больше активности белков щелочной фракции мышц. В жирах углерод радиоактивной соды обнаружен как после кратковременного купания рыбы, так и после более длительного выдерживания ее в растворе (см. табл. 6, 7, 8).

Очевидно, степень активности жира определяется его качеством, местом нахождения и физиологическим состоянием рыбы. В наших опытах с годовиками карпа активность 100 мг жира, взятого из разных мест, варьировала очень сильно. Наиболее активным был жир печени — 1064 имп/мин. Активность жира мышц составляла 372 имп/мин., а жира внутренних органов (без печени) — всего 180 имп/мин.

В жирах, как и в белках, углерод соды появлялся значительно позже, чем в гликогене. В первую очередь его обнаруживали в жире печени. Относительная активность всех жиров значительно ниже, чем других тканей (см. табл. 6).

У верховки — взрослой рыбы с иным типом обмена веществ — в жирах радиоактивный углерод обнаруживается в большем количестве, чем у карпа.

Если у карпа после двухчасового выдерживания в растворе соды активностью $220 \mu \text{Ci/l}$ активность жира печени достигает 70—80 имп/мин. на 100 мг жира, то у верховки при тех же условиях она составляет 1500—2000 имп/мин.

Для сравнения интенсивности потребления углерода рыбой с разным уровнем обмена веществ мы поставили два опыта. В первом случае наблюдали за интенсивностью потребления углерода молодью близких видов: чешуйчатого и зеркального карпа (см. табл. 7). Количество углерода в различных органах и тканях оказалось почти одинаковым. Несколько меньше углерода было в гликогене, белках и крови зеркального карпа.

Что же касается интенсивности проникновения углерода и его обмена в организме у далеких в родственном отношении видов, находящихся к тому же в разных стадиях развития (молодь и взрослая рыба), то здесь различия очень велики.

Для сравнения взяли молодь чешуйчатого карпа весом 8—13 и верховку весом 2,0—2,3 г. Рыбу выдерживали 2 часа в растворе соды активностью $220 \mu \text{Ci/l}$ и концентрацией 31 мг/л. Затем рыбу отмывали и выращивали в чистой воде: верховку 19 суток, а карпа до 146 суток. Данные по распределению C^{14} в различных органах и тканях представлены для карпа в табл. 6, а для верховки — в табл. 13.

Активность органов и тканей верховки оказалась значительно выше, чем у карпов, что свидетельствует о более высоком уровне обмена веществ у нее. Основные закономерности распределения углерода у верховки те же, что и у карпа. Активность гликогена мышц значительно выше активности гликогена печени, но эта разница в отличие от карпов еще больше. Большая активность характерна для сложных белков стекловидного тела. Наблюдается также пульсация активности ряда тканей.

О высоком общем уровне обмена веществ у верховки можно судить по более высокой, чем у карпа, первоначальной активности. Но при ближайшем рассмотрении полученных цифр оказывается, что большое количество потребленного углерода идет на продуцирование энергетических веществ и углерод быстро выводится из организма с продуктами распада. Действительно, активность гликогена мышц и жиров у верховки в 20—30 раз выше, чем у карпа. При сравнении активности белков и костной ткани оказывается, что у верховки она выше только в 4—6 раз, а активность нервной ткани у обеих рыб почти одинакова.

Таблица 13

Распределение C^{14} в органах, тканях и органических веществах верховки после двухчасового выдерживания в растворе соды активностью 220μ C^{14} и концентрацией 31 $мг/л$ и при дальнейшем выращивании в чистой воде в течение

Исследованные органы, ткани и органические вещества рыбы	1 суток		4 суток		7 суток		13 суток		19 суток	
	имп./мин.	% от общей активности	имп./мин.	% от общей активности	имп./мин.	% от общей активности	имп./мин.	% от общей активности	имп./мин.	% от общей активности
Гликоген										
печени	306	0,6	180	0,4	0	0	1846	13,7	1500	4,9
мышц	36300	68,0	29454	78,5	1286	13,3	4800	35,4	25500	83,6
Жир										
печени	0	0	29	0,08	1500	14,6	2000	14,7	100	0,3
мышц	240	0,5	200	0,5	333	3,2	250	1,8	212	0,7
кожи	—	—	—	—	160	1,5	55	0,4	74	0,2
Белки										
щелочерастворимые . .	275	0,5	289	0,7	118	1,1	93	0,7	159	0,5
стекловидного тела	2400	4,5	1187	3,1	1266	12,4	632	4,6	750	2,5
Кости										
основные	1061	2,0	217	0,6	263	2,6	229	1,7	168	0,5
покровные	4569	8,6	208	0,6	531	5,1	200	1,5	273	0,9
Чешуя	2210	4,2	820	2,1	1272	12,5	282	2,1	500	1,6
Спинной мозг . . .	864	1,6	850	2,3	1000	9,7	692	5,1	533	1,8
Кровь	1115	2,1	1133	3,1	—	—	133	1,0	100	0,3
Жаберные лепестки	3875	7,4	3000	8,0	2444	24,0	1666	12,3	632	2,2
Почки	—	—	—	—	—	—	679	5,0	—	—
Всего	53215	100	37467	100	10173	100	13557	100	30511	100

Углерод, попавший в тело карпа, расходуется значительно «экономнее». Он, видимо, более прочно входит в состав органических соединений и используется внутри организма более длительное время. Об этом мы судим по интенсивности его выделения через жабры и почки и по уровню углерода в крови.

У карпа активность жаберных лепестков значительно ниже, и снижается она медленно. У верховки в первые сутки активность очень высока, а через 20 дней становится такой же, как у карпа. Высока активность почек, что свидетельствует о большой степени выведения углерода из организма.

Уровень углерода в крови, первоначально высокий, также быстро снижается, а у карпа активность крови изменяется медленно.

Из сказанного видно, что углерод карбонатов окружающей среды принимает участие в обмене веществ рыбы и используется на построение органического вещества. Однако количество потребляемого угле-

рода и степень его использования на пластический и энергетический обмен у разных видов рыб при разном их физиологическом состоянии может сильно отличаться.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований было установлено, что углерод, находящийся в воде в виде минеральных соединений, проникает в тело рыбы и принимает участие в построении самых разнообразных органических веществ. Радиоактивный углерод был обнаружен во всех органах и тканях рыбы.

2. Основным местом проникновения минеральных соединений углерода являются жабры. Через жабры проникает 92,7% углерода, а через кожу — всего 7,3%.

3. Интенсивность проникновения углерода в тело рыбы определяется стадией ее развития и концентрацией карбонатных соединений в воде.

4. При большем количестве первоначально проникшего радиоактивного углерода он дольше сохраняется в теле рыбы.

5. При недостатке пищи карбонатные соединения воды в большей мере участвуют в образовании органических веществ в теле рыбы.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Алекин О. А., Общая гидрохимия, Ленинградское отделение Гидрометеиздата, 1948.
 2. Алекин О. А. и Моричева Н. П., Влияние карбонатной системы в природных водах на содержание органических веществ, ДАН СССР, т. 119, № 2, 1958.
 3. Богоявленская М. П., Изучение кальциевого обмена в целях использования Ca^{45} в качестве метки, изд-во журнала «Рыбное хозяйство», 1959.
 4. Лозинов А. Б., О кислородном оптимуме молоди осетровых, Автореферат диссертации, М. 1950.
 5. Ни Да-шу и Инь Вэн-ли, Действие однопроцентного раствора пищевой соды на интенсивность роста рыб и повышение сопротивляемости их молоди, Рыбн. пром. за рубежом, сб. 4, изд-во журнала «Рыбное хозяйство», 1956.
 6. Фролова Л. К., Некоторые вопросы влияния неорганического кобальта на рост и обмен веществ молоди карпа, Информационный сборник ВНИРО, № 5, изд-во журнала «Рыбное хозяйство», 1959.
 7. Хевеши Г., Радиоактивные индикаторы, ИЛ, 1950.
 8. Чистякова И. П., Влияние угольной кислоты на рост личинок осетра и потребление ими кислорода, Печатается в настоящем сборнике.
 9. Шеханова И. А., Изучение фосфорного обмена у молоди карповых и осетровых рыб с применением радиоактивного фосфора, изд-во журнала «Рыбное хозяйство», 1959.
-