

УДК 597.593.1:539.16

**ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ
В ОПЫТАХ С ХРОНИЧЕСКИМ ОБЛУЧЕНИЕМ ТИЛЯПИИ
МАЛЫМИ ДОЗАМИ В РАСТВОРАХ Sr⁹⁰**

Э. В. Орлов

За последние годы достигнуты большие успехи в изучении близких и отдаленных последствий радиоактивного облучения живой материи на разных уровнях ее организации, от молекулярного до цитотического.

Однако до сих пор не выяснен вопрос о действии на живые организмы тех сравнительно малых доз радиации, которые создаются при загрязнении среды радиоактивными отходами. Требования радиационной безопасности для различных представителей живой природы при хроническом облучении их в малых дозах пока не обоснованы. Между тем характер этих требований в известной мере определяет темпы развития атомно-энергетической промышленности и способы удаления радиоактивных отходов.

Предпосылками для решения данной проблемы являются результаты многочисленных исследований о влиянии острого и хронического облучения на наследственность и физиологическое состояние различных организмов, а также о трансформации вызываемых радиацией индивидуальных изменений в сообществах организмов.

Факты, полученные в лабораторных и полевых условиях, подчас с трудом могут быть обобщены не только из-за разнородности условий наблюдений, но и из-за их противоречивости. Очевидно, в целом ряде случаев за этой противоречивостью стоят не сложные внутренние закономерности явлений, а несовершенство методов исследования, которые не соответствуют поставленной задаче и не могут обеспечить воспроизводимость результатов. Чем более тонкие сдвиги в физиологии и наследственном механизме животных предполагается выявить, тем более жесткие требования следует предъявлять к применяемым методам. Надежные методы должны полностью исключать заметное влияние на конечный результат случайных факторов. Можно без преувеличения сказать, что проблема действия малых доз, само понятие которых до сих пор не имеет четкого определения, не может быть решена без дальнейшего совершенствования методов исследований.

Такая задача стоит и перед экспериментаторами, изучающими действие радиоактивного загрязнения на обитателей водной среды, в частности на рыб. В своей работе мы делаем попытку, привлекая литературные и собственные данные, поставить на обсуждение некоторые вопросы методики в экспериментах, которые проводятся для выявления физиологических отклонений от нормы у рыб, подвергшихся действию радиации в малых дозах.

Ценность полученных в опыте результатов во многом зависит уже

от выбора объекта. Необходимым качеством экспериментального объекта должна быть повышенная радиочувствительность, которая характерна для относительно крупных, быстрорастущих видов, с высоким температурным оптимумом (Граевская, 1972). При моделировании в опытах условий радиоактивно загрязненных водоемов исследуются все этапы онтогенеза в нескольких поколениях. Следовательно, объект должен отличаться ранним половым созреванием. Крайне желательны также полицикличность нерестов и высокая плодовитость, которая позволяла бы при делении икры от одного нереста по вариантам получать достаточно большие выборки.

Всеми перечисленными качествами в значительной мере обладает тилапия мозамбика — *Tilapia mossambica* Peters — промысловый вид, широко распространенный в тропических областях. К тому же эта всеядная, эвригалинная рыба очень неприхотлива к условиям содержания в аквариумах и уже неплохо освоена в ряде лабораторий (Воронина, 1971). Выведение линейных стад тилапии, изучение ее нормальной физиологии и разработка унифицированных условий содержания ее в проточных и непроточных аквариумах будут способствовать широкому экспериментальному использованию данного объекта. Что касается других объектов (гуппи, вьюн, карась, золотая рыбка и др.), то им свойственна гораздо меньшая универсальность и, по-видимому, меньшая радиочувствительность.

Из всего громадного арсенала физиологических тестов, которые могут быть использованы для оценки радиационного эффекта малых доз, мы детально остановимся только на скорости роста рыб, всегда учитываемой в хронических экспериментах. Необходимо составить представление о чувствительности данного теста и границах его применимости.

К настоящему времени собран уже значительный фактический материал о влиянии острого и хронического облучения, в том числе инкорпорированного, на рост рыб. Но этот материал неравноценен по выводам, которые он позволяет делать. Прежде всего следует оговорить, что интерпретировать для указанной цели данные о росте рыб в культурных или диких водоемах за счет использования естественной базы можно лишь с очень большой осторожностью, рассчитывая получить лишь самые приблизительные оценки (Krumholz, 1956; Черфас, 1962; Bonhapp a, Donaldson, 1966; Blaylock, 1969; Воронина, Пешков и Шеханова, 1973).

Как показали фундаментальные исследования Г. Г. Винберга с сотрудниками (1965), даже в однотипных культурных прудах при равенстве прочих условий продукция кормовых организмов зачастую колеблется в широких пределах. Эти колебания при отсутствии интенсивного искусственного кормления обуславливают различия в темпе роста рыб из сравниваемых прудов. Это в еще большей мере относится к природным водоемам, как правило, весьма неодинаковым по своей морфологии, гидрохимическому режиму и качественно-количественному составу флоры и фауны. Данное замечание несколько не умаляет ценности наблюдений в естественных условиях, но заставляет задуматься над их точностью.

В садках и аквариумах можно получить значительно более точные сравнительные данные о росте облученных и контрольных рыб, но и в этих случаях необходимо выдержать ряд обязательных требований.

Не подлежит обсуждению, что количественное исследование обязывает авторов планировать опыт таким образом, чтобы результаты могли быть подвергнуты биостатистической обработке при обоснованном выбо-

ре критериев (Урбах, 1964; Парчевская, 1972). Отсутствие повторностей серьезно снижает ценность полученных данных, так как без них трудно судить о воспроизводимости результатов. Это замечание справедливо и в отношении работ, в которых либо не упоминается о повторностях, либо приводятся только сводные данные без обсчета сходимости — различия между повторностями (Лебедева, 1968; Фам Мань Тьонг, 1970; Воронина, 1972). Пробелы в этой части наводят на мысль о возможном объединении достоверно отличающихся результатов, что было бы уже грубой ошибкой.

Причины ошибочных результатов могут крыться и в технике постановки экспериментов, если она не обеспечивает достаточной идентичности абиотических и биотических условий (исключая исследуемый фактор) в повторностях всех вариантов опыта. Одной из таких причин может быть плохое термостатирование аквариумов.

Применение искусственного подогрева воды до 25—30° С, как это имеет место в опытах с тилапиями, не должно давать устойчивых отклонений температуры по вариантам более 0,1—0,2° С. Судя по графикам зависимости времени инкубации икры от температуры, приведенным J. H. S. Blahter (1969), при температуре 28° С, которая рекомендуется для тилапий, отклонение в $\pm 1^\circ$ С может изменить сроки выклева более чем на сутки. По нашим данным, при разнице температуры в 0,5°, сохранявшейся между тремя дублированными вариантами в течение первых 40 ч инкубации, личинки стали свободно держаться в толще воды в растворах активностью $1 \cdot 10^{-8}$ и $1 \cdot 10^{-6}$ Ки/л соответственно на 3—4 ч раньше и позже, чем в контроле. Это может навести на мысль, что радиостронций использованных концентраций стимулирует или угнетает развитие тилапии в раннем онтогенезе.

Если исходить из затрат двух-четырёхмесячных тилапий на обмен 50% усвоенной энергии пищи и ежесуточного прироста 5% (Миронова, 1972), то при отклонении температуры воды всего в 1° через 60 дней разница в массе рыб составит более 5%. Из этого видно, насколько важно обеспечивать в опытах строгое единообразие термического режима.

Вероятно, в определенных условиях при большой длительности наблюдений могут сыграть роль и такие факторы, как освещенность, шум и другие раздражители. В связи с этим было бы желательно периодически менять взаимное расположение аквариумов. Во всяком случае необходимо менять порядок кормления рыб.

На темп роста рыб в аквариумах и разброс показателей роста относительно средних величин сильно влияет плотность посадки. По многим нашим наблюдениям, высокая плотность ведет к резкой размерно-массовой дифференциации у тилапий и вьюнов уже при длине не более 2 см, несмотря на избыточное кормление. В этом явлении, по-видимому, раскрывается механизм регуляции численности популяций, описанный В. К. Винном-Эдвардсом (1970). Очевидно, в наследственной памяти рыб закреплена средняя индивидуальная дистанция, на которой они держатся друг от друга и которая увеличивается с возрастом и по мере их роста. С определенного момента в отношениях находящихся в аквариуме тилапий начинает проявляться принцип доминирования. При превышении некоторой величины плотности тилапии ведут себя очень агрессивно, особенно перед кормлением. В результате наиболее слабые особи перестают нормально питаться, резко худеют и наконец гибнут, чему немало способствует покусывание слабых рыб сильными.

Отсюда возникает требование изначального равенства количества рыб во всех вариантах опыта и своевременного их рассредоточения по мере роста, так как большая весовая дифференциация ведет к нивели-

рованию возможных различий между вариантами, а массовая гибель попросту искажает результаты. Последнее положение подтверждается результатами оценочного опыта по выращиванию тилапий в растворах Sr^{90} активностью $2 \cdot 10^{-8}$ и $2 \cdot 10^{-6}$ Ки/л¹ (табл. 1).

В каждой из двух повторностей трех вариантов опыта, считая контрольный, было заложено на инкубацию по 76 икринок, полученных от одного нереста инбредной пары производителей. Инкубация икры и последующее подращивание выклюнувшихся личинок в течение пяти дней проводилось в плавающих инкубаторах, помещенных в 15-литровые непроточные аквариумы. В этих аквариумах рыбы выращивались после выклева в течение 220 дней. Термостатирование аквариумов с точностью $\pm 0,1^\circ$ осуществлялось в кювете с водой, которая подогревалась электрогрелками. Аэрация и перемешивание воды в аквариумах и кювете производились с помощью микрокомпрессоров. Воду в аквариумах

Таблица 1

Результаты оценочного опыта по выращиванию тилапий в растворах радиостронция

Показатели	Контроль (К)		Активность раствора, Ки/л			
	К ₁ 1-я повторность	К ₂ 2-я повторность	$2 \cdot 10^{-8}$ -я повторность	$2 \cdot 10^{-8}$ -я повторность	$2 \cdot 10^{-6}$ -я повторность	$2 \cdot 10^{-6}$ -я повторность
Количество, шт.						
икринок	76	76	76	76	76	76
выклюнувшихся личинок	74	73	72	73	71	72
рыб в возрасте 220 дней	62	67	51	51	58	55
рыб в возрасте 420 дней	54	51	39	42	25	26
Массы рыб в возрасте 220 дней, г						
средние	1,175	1,100	1,370	1,115	1,160	1,080
максимальные	2,780	2,820	3,300	2,775	2,740	2,350
минимальные	0,390	0,405	0,420	0,300	0,345	0,365
суммарные	72,910	73,800	70,375	56,930	67,370	59,235
Различия в росте массы по χ^2 -критерию между повторностями вариантов ($f=4$)						
χ^2 расчетный	3,0	—	—	8,43	—	3,5
$\chi_{0,5}$	9,49	—	—	9,49	—	9,49
между всеми вариантами ($f=20$)						
χ^2 расчетный	—	—	—	30,79	—	—
$\chi_{0,5}$	—	—	—	31,4	—	—
Средняя длина рыб, см	3,2	3,1	3,4	3,2	3,4	3,2
Коэффициент унитанности рыб по Фуль-тону, %	35,8	37,2	34,9	35,4	28,8	34,4

меняли полностью по мере загрязнения, во второй половине периода наблюдений — ежедневно. Используемую для смены водопроводную воду предварительно отстаивали не менее суток. При подращивании личинок кормили растертыми в тонкий порошок сухими дафниями и личинками хируномид. Позднее для кормления тилапий использовали мел-

¹ В дальнейшем активность растворов этих вариантов будет обозначаться соответственно цифрами с индексами, например $2 \cdot 10_1^{-6}$, $2 \cdot 10_1^{-8}$, $2 \cdot 10_2^{-6}$, $2 \cdot 10_2^{-8}$, а контроль через K_1 и K_2 .

ких живых циклопов, затем крупных циклопов и дафний; подросшую молодь кормили живыми личинками хируномид.

На 220-й день рыбы были пересажены в аквариумы емкостью по 50 л, при этом они были измерены и взвешены. Статистическая оценка полученных данных по X^2 -критерию (в табл. 1 приводятся обобщенные итоговые результаты) во всех случаях не выявила достоверных различий между вариантами и внутри них по показателям, характеризующим рост и гибель тилапий. Однако в двух случаях отсутствие различий в росте массы является сомнительным: для растворов активностью $2 \cdot 10_1^{-8}$ и $2 \cdot 10^{-6}$ X^2 равен 12,5, а для $2 \cdot 10_1^{-8}$ и K_2 X^2 равен 11,7; при $f=4$ $X^2_{0,5} = 9,49$ и $X^2_{0,1} = 13,3$. Сомнения такого рода возникают уже при рассмотрении показателей средней массы тилапий в указанных повторностях — наибольшая масса (1,370 г) в $2 \cdot 10_1^{-8}$ Ки/л и наименьшие массы в $K_2(1,1$ г) и $2 \cdot 10^{-6}$ (1,080 г).

Анализ проведенных наблюдений показал, что основной причиной различий итоговых результатов роста массы является различная по величине и времени гибель рыб*. Гибель рыб была обусловлена рядом рассмотренных ниже причин и распределение ее во времени до некоторого момента носило случайный характер. В варианте опыта с использованием раствора активностью $2 \cdot 10_1^{-8}$ Ки/л около половины рыб погибло в короткий начальный период времени, в результате чего для оставшихся на какое-то время сложились более благоприятные условия роста, чем в других вариантах. Но когда это небольшое преимущество было реализовано, произошла нивелировка условий, о чем свидетельствует отсутствие превосходства по коэффициенту упитанности у рыб из раствора активностью $2 \cdot 10_1^{-8}$. Вторая волна гибели рыб в этом варианте прервалась незадолго до пересадки, что привело к отсеву самых мелких экземпляров и в свою очередь сказалось на увеличении показателя средней массы. В других вариантах гибель тилапий была по времени более растянутой. Вообще же в хороших условиях гибель молодых, нормально развитых тилапий — довольно редкое явление.

Помимо плотности рыб в аквариумах фактором, также серьезно влияющим на характер их роста, является методика кормления. Как известно, первоначальные различия в массе личинок объясняются различиями в массе зрелых ооцитов (Мейен, 1940; Лебедев, 1967). Непонятно, сохраняются ли эти индивидуальные различия в процессе выращивания, так как при соотношении полов у тилапии близком 1 : 1 несколько самых крупных рыбок в каждом варианте опыта обычно оказываются самцами. Если же происходит смена «лидеров», то не ясно, идет ли она за счет отставания в росте самок с момента относительного увеличения у них энергетических затрат на созревание гонад или за счет большей агрессивности и подвижности самцов во время кормления. Так или иначе размерно-массовая дифференциация рыб, наблюдаемая в начале опыта, в дальнейшем сохраняется и проявляется тем резче, чем раньше для их кормления используются крупные беспозвоночные или грубые частицы, с трудом потребляемые отстающими в росте экземплярами. Длительное кормление мелкими зоопланктерами напротив тормозит проявление дифференциации, но также вносит в опыт некоторый искусственный элемент, а возможно неблагоприятно отражается на общей скорости роста рыб. Тем не менее необходимость статистической обработки материала делает предпочтительным выбор второго пути.

В течение первого месяца жизни корм, преимущественно зоопланктон, дается рыбам во всех вариантах опыта в одинаковых количествах

* Данные по динамике гибели не приводятся.

и для удобства отмеряется объемным способом вместе с водой. Накормленность рыб оценивается визуально по наполнению брюшка. Если в этот период в каком-то из вариантов опыта рыбы растут интенсивнее, чем в других, то такая же, как в других вариантах, ограниченная доза корма может отрицательно сказаться на потенции их роста или общей жизнеспособности. Это одно из возможных объяснений повышенной начальной гибели рыб в опытных вариантах, указанных в табл. 1, если учесть, что в исследованиях Э. А. Ворониной (1973) в растворах Sr^{90} активностью $2 \cdot 10^{-6}$ Ки/л и особенно активностью $2 \cdot 10^{-8}$ Ки/л тилляпии до полового созревания росли быстрее, чем контрольные. Поэтому очевидно меньшей ошибкой является избыточное кормление рыб в начальный период до того момента, когда становится возможным периодическое взвешивание их и корректирование суточных рационов.

Перекармливание тилляпий в период полового созревания даже таким полноценным кормом, как личинки хирономид, может привести к ожирению и дегенерации гонад, что, вероятно, связано с вынужденной малой подвижностью рыб в небольших аквариумах.

Еще одним методическим требованием является повторение экспериментов во времени.

Мы уже коснулись вопроса о случайных или неучтенных факторах. По-видимому, неучтенные факторы могут завуалировать эффект исследуемого фактора, если действие последнего по своей силе лежит в границах индивидуальной чувствительности и может быть выявлено только при суммированном за длительный период изменении каких-то физиологических функций, в особенности функций интегрального типа.

Из практики рыбоводства известно, что качество потомства во многом зависит от возраста производителей, характера их питания и физиологического состояния в период формирования половых продуктов (Черфас, 1956; Мартышев, 1954). Следовательно, у потомства даже одной и той же пары производителей от двух разных нерестов уже изначально может быть существенная разница в чувствительности к повышенному уровню радиации. Вполне допустимо, что при испытании обоих потомств эффект в одном случае будет обнаружен, а в другом нет. Различная радиочувствительность потомств может явиться результатом комплексного действия неучтенных факторов, выступающих как синергисты или антагонисты. В качестве примеров неучтенных факторов можно назвать сезонное изменение биологических ритмов, качества корма, качества воды, внесение паразитов или инфекции различной степени патогенности, манеру работы обслуживающего персонала и т. п.

Подобные соображения высказывались ранее В. К. Элли, А. Д. Финкелем и В. Г. Хоскином (1940), исследовавшими влияние воды, в которой содержались золотые рыбки, на рост других особей того же вида. Эти авторы подчеркивали, что эффект ускорения роста может быть очень небольшим или не проявиться вовсе, если не проводить большой серии опытов.

Только с этих позиций можно пытаться объяснить противоречивые результаты, полученные несколькими исследовательскими группами в экспериментах с острым и хроническим облучением крыс и мышей, которые рассмотрены в обзорной статье Н. П. Дубинина, В. А. Шевченко и М. Д. Померанцевой (1971).

Последний методический пункт связан с интересным радиобиологическим феноменом — стимулированием ионизирующей радиацией роста и некоторых других биологических показателей рыб (Черфас, 1962; Bonham a. Donaldson, 1966; Blaylock, 1969; Фам Мань Тьонг, 1970; Во-

ронина, 1973; Водовозова, 1973). Учитывая необходимость строгого методического подхода в оценке радиационного эффекта малых доз, можно считать большинство имеющихся фактов спорными. Но нельзя не учитывать многочисленность этих фактов, а также то, что твердо доказанные аналогичные факты получены при изучении действия ионизирующей радиации на растения (Тимофеев-Ресовский, 1946; Тихомиров, Алексахин, 1971; Кузин, 1972). Механизму этого явления пока даны лишь гипотетические объяснения (Кузин, 1972), а его значение в системе видовой адаптации не вполне выяснено.

Привлекает внимание то обстоятельство, что в опытах Э. А. Ворониной (1973) и М. А. Воеводовой (1973), более полно обрисовавших эффект радиостимуляции, он прослеживается на фоне общих закономерностей действия малых доз радиации, описанных другими авторами: максимум отклонения от нормы по величине не зависит от суммарной дозы, а зависит от мощности излучения и наступает синхронно для всех вариантов мощности; кривая, описывающая изменение эффекта во времени, имеет вид синусоидного всплеска (Годин и Горшков, 1962) и, следовательно, он меняет знак; ведущую роль в развитии эффекта играют протекающие в организме нормальные физиологические процессы (Биккулов, 1971).

Следовательно, только регулярные и комплексные физиологические наблюдения могут дать материалы, способствующие объяснению закономерностей динамики роста рыб в связи с действием малых доз радиации.

Можно сделать вывод, что использование показателей роста для тестирования эффекта малых доз радиации представляет собой не простую задачу. Проводимые эксперименты требуют самой тщательной организации как со стороны биотехники, так и со стороны биостатистики, и лишь при соблюдении рассмотренных выше требований результаты опытов могут претендовать на достаточную научную значимость. Это справедливо и для показателей, характеризующих другие интегральные физиологические функции и в первую очередь функции, сопряженные с ростом (время наступления половой зрелости, плодовитость, продолжительность репродуктивного периода и т. п.).

Другой возможный путь в оценке действия малых доз радиации — сбор большого по объему статистического материала, как это принято в медицинских статистических исследованиях (например, для установления связи между облучением и возникновением раковых опухолей).

В заключительной части статьи рассмотрены те результаты наших оценочных опытов, которые позволяют сделать некоторые предварительные выводы о влиянии на теляпий хронического облучения малыми дозами в растворах радиостронция. Наблюдения велись за молодью теляпий, полученной от двух нерестов одной пары производителей. Результаты выращивания рыб в первом опыте даны в табл. 1 и частично уже обсуждались. Рыбы для других опытов были выращены в отстоянной воде и растворе Sr^{90} активностью $2 \cdot 10^{-6}$ Ки/л в аквариумах емкостью по 50 л (без дублей).

Как указывалось выше, в первом опыте теляпии с момента выклева в течение 220 дней содержались в аквариумах емкостью по 15 л в условиях высокой плотности, что обусловило у них задержку роста и полового созревания и снижение общей жизнестойкости. Высокую плотность в данном случае следует рассматривать как эколого-физиологический фактор («фактор толпы»), который, действуя по каналам химической, зрительной и токтильной рецепции, включил наследственно закрепленную у теляпий схему поведения, типичную для перенаселен-

ных водоемов. Разница состояла в том, что плотность рыб в опытных аквариумах, по-видимому, значительно превосходила реально складывающуюся в естественных условиях. Результатом явилась повышенная агрессивность тилапий: пресс сильных особей приводил к подавлению активности слабых, которые в итоге отказывались от пищи и постепенно элиминировались. Какую-то роль в этом сыграли ограниченность пространства и пищевого рациона. В комплексе все три фактора явились для опытных рыб дополнительной физиологической нагрузкой, которая позволила дифференцировать жизнестойкость облученных и контрольных тилапий. Отсутствие корреляции между гибелью рыб и концентрацией растворенного радиостронция на первом этапе наблюдений (см. табл. 1) объяснено выше. На 220-й день различие между вариантами статистически недостоверно, как недостоверно оно и для повторностей с наименьшей K_2 и наибольшей гибелью ($2 \cdot 10^{-8}$) ($X^2_{0,1} 6,63$, $X^2_{расч} < 1$).

После пересадки рыб в аквариумы емкостью по 50 л их гибель по интенсивности снизилась, но не прекратилась. Как выяснилось впоследствии, причиной гибели рыб явилось заражение тилапий эктопаразитической инфузорией триходией, внесенной с кормом. Триходия не относится к сильно патогенным паразитам, но на ослабленных рыб она оказала губительное действие. В табл. 1 приведены результаты учета оставшихся тилапий на 420-й день выращивания. В растворе активностью $2 \cdot 10^{-8}$ Ки/л и контроле после пересадки погибло небольшое и почти одинаковое количество рыб. В течение последних 60 дней после двукратной обработки рыб и аквариумов 5%-ным раствором NaCl погибла только одна рыбка в растворе активностью $2 \cdot 10^{-8}$ Ки/л. В растворе активностью $2 \cdot 10^{-6}$ Ки/л после обработки NaCl гибель рыб уменьшилась, но имела место до самых последних дней наблюдений. Следует отметить, что если в контроле паразиты вызвали гибель самых маленьких рыб, то в опыте более половины из числа погибших тилапий составляли средние и крупные экземпляры (но не самые крупные). Подавляющее большинство рыб, погибших в последний период, по-видимому, были самцами. Микроскопическое исследование неразвитых, начинавших разлагаться гонад исключалось. Однако начиная с 300-го дня выращивания нерестились даже очень небольшие самки, в то время как среди достаточно сохранившихся погибших рыб¹ была встречена только одна рыбка с развитыми яичниками, имевшая небольшой размер.

На 420-й день по показателям гибели различие между контролем и вариантом опыта с использованием раствора активностью $2 \cdot 10^{-8}$ Ки/л оказалось недостоверным (для K_1 и $2 \cdot 10^{-8}$ $X^2_{расч} 5$, $X^2_{0,1} 6,63$), но ввиду хорошей сходимости параллельных во всех вариантах опыта, можно говорить о тенденции снижения жизнестойкости тилапий в растворе St^{90} активностью $2 \cdot 10^{-8}$ Ки/л. Различие между контролем и вариантом опыта с использованием раствора $2 \cdot 10^{-6}$ Ки/л статистически достоверно (для K_2 и $2 \cdot 10^{-6}$ $X^2_{расч} \approx 15$).

Что касается роста массы тилапий, то в условиях данного опыта он оказался ненадежным тестом. В начальный период динамика роста не прослеживалась во избежание травмирования при взвешивании рыб массой менее 500 мг. В дальнейшем условия роста рыб в разных аквариумах оказались неидентичными в результате различной по величине и времени гибели их, обусловленной какими-то неучтенными моментами. Возможно, именно поэтому отсутствие различий между вариантами

¹ В отношении погибающих особей тилапии ведут себя как каннибалы.

опыта с использованием раствора активностью $2 \cdot 10^{-8}$ Ки/л и контролем K_2 , а также между вариантами опыта с использованием растворов активностью $2 \cdot 10^{-8}$ и $2 \cdot 10^{-6}$ Ки/л оказалось сомнительным ($X^2_{\text{расч}}$ равно соответственно 11,7 и 12,15 при $X^2_{0,5}$ равном 9,49 и $X^2_{0,1}$ равном 13,3).

Выращивание теляпий в двух отдельных аквариумах емкостью по 50 л, один из которых был контрольным, а другой с раствором радиостронция активностью $1 \cdot 10^{-6}$ Ки/л, длилось 300 дней. Вначале в них находилось по 166 рыб; на 110-й день, когда по 30 самых крупных экземпляров было изъято для специальных опытов, в контрольном оставалось 92, а в опытном 95 теляпий. На 300-й день в них было соответственно 85 и 86 рыб. Не производя специальных расчетов, можно утверждать, что по гибели рыб в данном случае между контролем и опытом не было сколько-нибудь существенных различий. При средней массе рыб в контроле и опыте соответственно 1,740 и 1,660 г (минимальная масса соответственно 0,320 и 0,320 г, максимальная 4,400 и 4,400 г) характер их распределения по семи весовым разрядам также показал отсутствие достоверных различий ($f = 6$, $X^2_{05} = 12,6$, $X^2_{\text{расч}} = 2,23$).

Из данных опыта следует, что при высокой, но равной плотности рыб в контрольном и опытном аквариумах и достаточной однородности прочих условий радиостронций в концентрации $2 \cdot 10^{-6}$ Ки/л существенно не влияет на рост и жизнестойкость теляпий, хотя отсутствие повторности оставляет на этот счет некоторые сомнения.

Для сравнительной оценки физиологического состояния облученных и контрольных рыб был применен новый методический подход — выращивание в условиях конкурентного питания.

В рассмотренном опыте при одинаковых рационах кормления наблюдался одинаковый рост облученных и контрольных рыб, поэтому, по-видимому, сходным было и физиологическое состояние систем, обеспечивающих пищеварительные и обменные процессы. В условиях же конкурентного питания у облученных рыб могли проявиться сдвиги в комплексе поведенческих реакций, непосредственно связанных с актом захватывания пищевых объектов. Последнее привело бы к различию в рационах и, следовательно, к различию в скорости роста рыб из растворов радиостронция и контрольных.

Для двух опытов из контрольных и облученных теляпий были подобраны 10 и 18 пар одинаковых по длине и массе. Разница в длине двух парных особей не превышала 0,5 мм, или 2% длины меньшей рыбы, разница в массе только в пяти случаях (в опыте с 18 парами) была больше 20 мг, но не превышала 3% массы меньшей рыбы. В обеих группах облученные и контрольные рыбы выращивались совместно в отстоянной воде в течение 60 дней. Длина и масса рыб в начале и в конце наблюдений приведены в табл. 2.

В группе, состоящей из 10 пар, погибли две облученные рыбы. Первоначальный подбор пар восстановить было нетрудно, поскольку одна из них была самой маленькой. В итоге оказалось, что в восьми оставшихся парах все контрольные теляпии опередили облученных в линейном росте и росте массы. Различие по критерию знаков достоверно (при $N = 8$ $Z_{1\%} = 1$).

Тот же результат получен при сравнении восьми пар самых крупных рыб в группе, состоящей из 18 пар. В табл. 2 дан возможный вариант подбора пар, при котором все контрольные теляпии имеют больший прирост массы по сравнению с облученными. Избранный вариант основан на сравнении линейного роста рыб как более стабильного показателя. Примечательно, что в условиях высокой плотности самые мел-

кие экземпляры увеличились в длину, но убавили в массе. Однако гибель двух облученных и трех контрольных рыб делает приведенный вариант не вполне доказательным.

Таблица 2

Результаты опытов по выращиванию облученных и контрольных теляпий в условиях конкурентного питания (*l* — длина, мм; *p* — масса, мг)

Первый опыт (10 пар)								Второй опыт (18 пар)							
в начале опыта				в конце опыта				в начале опыта				в конце опыта			
контроль-ные		облучен-ные		контроль-ные		облучен-ные		контроль-ные		облучен-ные		контроль-ные		облучен-ные	
<i>l</i>	<i>p</i>	<i>l</i>	<i>p</i>	<i>l</i>	<i>p</i>	<i>l</i>	<i>p</i>	<i>l</i>	<i>p</i>	<i>l</i>	<i>p</i>	<i>l</i>	<i>p</i>	<i>l</i>	<i>p</i>
22	320	22	320	26	600	—	—	30	920	29,5	940	31,5	910	—	—
25	520	25	520	29,5	880	27,5	730	31	940	31,5	970	31,5	1020	32,5	970
26,5	620	26	620	30	970	28	780	31,5	1020	31,5	1030	33,5	1050	—	—
27	700	27	700	34,5	1400	32,5	1210	31	1090	31,5	1110	33,5	1270	33	1200
27	720	27	740	35,5	1630	34,5	1410	32	1110	32	1100	33,5	1320	33	1280
28,5	770	28	770	37	1720	35	1600	31,5	1135	32	1140	34,5	1350	33,5	1330
28,5	820	28,5	800	41,5	2420	—	—	32,5	1160	32,5	1180	—	—	33,5	1330
31	990	31	995	43	2820	42	2560	32,5	1250	32,5	1230	—	—	34	1350
32,5	1070	32,5	1070	45	2960	42,5	2700	32,5	1310	32,5	1280	35,5	1520	35,5	1480
32	1150	32	1150	46	3400	46	3200	34	1310	34	1310	36	1660	35,5	1540
—	—	—	—	—	—	—	—	35,5	1360	36	1405	38	1730	36,5	1540
—	—	—	—	—	—	—	—	36	1495	35,5	1450	37,5	1860	36	1570
—	—	—	—	—	—	—	—	35	1520	35	1525	—	—	36,5	1770
—	—	—	—	—	—	—	—	35	1530	35,5	1490	40	2170	37	1720
—	—	—	—	—	—	—	—	36	1530	35,5	1550	41	2430	38,5	2040
—	—	—	—	—	—	—	—	36,5	1520	36	1540	44	2600	40	2130
—	—	—	—	—	—	—	—	36,5	1610	36,5	1600	44	2680	41,5	2320

Рассмотренные опыты свидетельствуют о том, что одинаковый рост теляпий в растворе радиостронция активностью $2 \cdot 10^{-6}$ Ки/л и в контроле при одинаковых рационах кормления, по-видимому, еще не говорит об отсутствии у облученных рыб физиологических нарушений. Этот вывод подтверждается прослеженной нами четкой тенденцией к повышенной гибели облученных рыб при дальнейшем выращивании их совместно с контрольными в нескольких аквариумах. Кроме того, они обнаруживали повышенную чувствительность (вплоть до летальных исходов) к снижению в аквариумах содержания кислорода и накоплению аммиака.

Ценность метода функциональных нагрузок для выявления скрытых токсических эффектов бесспорна (Лукияненко, 1967). В проведенных нами оценочных опытах этот метод был несколько модифицирован. Функциональные нагрузки, обусловленные сдвигом экологических факторов в сторону экстремальных значений, носили хронический характер, сочетаясь с действием радиации. Если результаты, полученные в наших оценочных опытах, в дальнейшем подтвердятся, метод сочетанных хронических функциональных нагрузок может быть перспективным в подобных физиологических исследованиях. В качестве дополнительных факторов могут использоваться свет, высоко- и низкочастотные колебания, повышенная температура, токсины и т. п. Очевидно, известный интерес представляет и метод конкурентных испытаний. Если у облученных рыб действительно имеются отклонения от нормы поведения, зрительной и обонятельной рецепции, подвижности, то они, по-видимо-

му, могут быть выявлены в опытах по выращиванию рыб в условиях конкурентного питания зоопланктоном (по разнице проглоченных объектов). При этом можно менять освещенность, интенсивность перемешивания воды воздухом и другие условия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Биккулов Р. И. Особенности цитогенетических изменений в половых и соматических клетках мышей, подвергавшихся хроническому воздействию γ -лучей в малых дозах. Автореферат канд. дисс. Л., 1971, с. 23.
- Винберг Г. Г. и Ляхнович В. П. Удобрение прудов. М., «Пищевая промышленность», 1965, с. 271.
- Водовозова М. А. Исследование биологии заводской молоди осетровых в Куре и прикуринском районе моря с помощью массового мечения. Автореферат канд. дисс. Баку, 1973, с. 31.
- Воронина Э. А. Методы содержания тляпей в экспериментальных условиях. Инструкция по радиобиологическим исследованиям эмбрионального периода развития рыб. Изд. ВНИРО. М., 1971, с. 5.
- Воронина Э. А. Динамика весового и линейного роста *Tilapia mossambica* Peters, выращенных в замкнутых аквариумах с различным содержанием Sr^{90} .— «Труды ВНИРО», 1972, т. 85, с. 31—35.
- Воронина Э. А., Пешков С. П., Шеханова И. А. Темп роста и плодовитость рыб при обитании их в среде с повышенным уровнем радиации. Тезисы докладов Всесоюзной конференции по экологической физиологии рыб. М., 1973, с. 80—81.
- Годин В. П., Горшков С. И. Изменение скрытого периода безусловнорефлекторной реакции (времени рефлекса) под влиянием внутреннего облучения радиоактивным натрием.— В кн.: Реакции организма на действие малых доз ионизирующей радиации. М., 1962, с. 31—48.
- Граевская Б. М. Некоторые итоги изучения радиочувствительности млекопитающих.— «Радиобиология», 1972, т. XII, вып. 3, с. 323—335.
- Дубинин Н. П., Шевченко В. А., Померанцева М. Д. Действие ионизирующих излучений на популяции (радиационно-генетические аспекты).— В кн.: Радиэкология, М., 1971, т. II, с. 183—228.
- Кузин А. М. Молекулярные механизмы стимулирующего действия ионизирующих излучений на семена.— «Радиобиология», 1972, т. XII, вып. 5, с. 635—643.
- Лебедев Н. В. Элементарная популяция рыб как физиологическая основа явления стабильности.— В сб.: «Поведение и рецепции рыб». М., 1967, с. 23—31.
- Лебедева Г. Д. Влияние стабильного и радиоактивного стронция на пресноводные организмы.— «Гидробиологический журнал», 1968, т. 4, вып. 4, с. 3—10.
- Лукьяненко В. И. Токсикология рыб. М., «Пищевая промышленность», 1967, с. 216.
- Мартышев Ф. Г. Прудовое рыбоводство. М., «Советская наука», 1958, с. 584.
- Мейен В. А. О причинах колебания размеров икринок костистых рыб. Доклады АН СССР. Новая серия. 1940, т. XXVIII, вып. 7, с. 654—656.
- Миронова Н. В. Энергетический баланс *Tilapia mossambica* Peters (Pisces, Cichlidae). Материалы симпозиума (Севастополь). Энергетические аспекты роста и обмена водных животных. Киев, 1972, с. 152—153.
- Парчевская Д. С. Некоторые вопросы планирования эксперимента в радиобиологических исследованиях.— В сб.: «Методы определения радиоактивности», Киев, 1972, с. 166—171.
- Тимофеев-Ресовский Н. В. Биофизическая интерпретация радиостимуляции растений.— «Биофизика», 1946, 1, 7, с. 616—623.
- Тихомиров Ф. А., Алексахин Р. М. Действие ионизирующих излучений на лесные биогеоценозы.— В кн.: Радиэкология, 1971, т. 2, с. 228—260.
- Урбах В. Ю. Биометрические методы. М., «Наука», 1964, с. 415.
- Фам Мань Тьонг. Исследование плодовитости и роста *Tilapia mossambica* Peters после воздействия лучами рентгена в малых дозах. Автореферат канд. дисс. Л., 1970.
- Черфас Б. И. Рыбоводство в естественных водоемах. М., «Пищепромиздат», 1956, с. 468.
- Черфас Н. Б. Радиационное поражение гонад карпа.— «Вопросы ихтиологии», 1962, т. 2, вып. 1(22), с. 104—115.
- Allee W. C., Fincel A. J. and Hoskins W. H. The growth of goldfish in homotopically conditioned water; a population study in mass physiology. «J. of Exper. Zool», 1940, v. 84, N 3, 194, pp. 417—444.
- Blahter F. H. S. Development: eggs and larvae. «Fish Physiology», 1969, v. III. Academic Press. New York and London, pp. 177—252.

Blaylock B. C. The fecundity of a *Gambusia affinis affinis* population exposed to chronic environmental radiation. «Radiat. Res.», 1969, 37, № 1, pp. 108—117.

Bonham K. and Donaldson L. R. Low-level chronic irradiation of salmon eggs and alevins. Disposal of radioactive wastes into seas, oceans and surface waters. Internat. atomic. energy agency, Vienna, 1966, pp. 869—883.

Krumholz L. A. Observations on the fish population of a lake contaminated by radioactive wastes. Bull. Amer. Museum Natur. History, 1956, 110, Article 4, № 4, pp. 342.

Wynne-Edwards V. C. Regulation in Animal Societies and Population. Population Ecology. Lowell, Adams, Belmont, California, 1970, pp. 88—108.

SUMMARY

Inconsistencies in data on physiological anomalies which may occur in various organisms exposed to low rates of ionizing irradiation are partly due to a certain inadequacy in investigation methods. In chronic experiments with fish where the growth rate and associated integral physiological functions are used as tests the accuracy and representation of results depend upon maintenance of certain methodic requirements. A selected species should be radiosensitive enough (e.g. *Tilapia mossambica*), abiotic and biotic conditions (irradiation excluded) in the maintenance of fish should be strictly the same in all variations of the experiment and the effect of incidental factors should be evaluated as comprehensively as possible. The role of unevident factors may be revealed through a series of experiments repeated.

The experiments conducted have yielded an evidence to make a preliminary conclusion that chronic irradiation of tilapia in a solution of strontium with the activity of 2×10^{-6} curie/l diminishes the vital capacity of tilapia.