

УДК (597.08:001.8) + 597—13)

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ХРОНИЧЕСКОГО  
ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ РАДИОНУКЛИДОВ  
НА ЭМБРИОГЕНЕЗ РЫБ**

В. Л. ПЕЧКУРЕНКОВ, И. А. ШЕХАНОВА, И. Г. ТЕЛЫШЕВА

Литературные данные о проблемах, связанных с воздействием малых доз хронического облучения на эмбриональное развитие рыб, крайне противоречивы. Создается впечатление, что эта противоречивость является следствием методических упущений и переоценки надежности применявшихся критериев сравнения. Для выяснения этого мы решили оценить несколькими способами данные экспериментов, проведенных нами за четыре года, чтобы определить надежность критериев сравнения, применявшихся большинством авторов, выбрать наиболее надежные критерии и при их помощи сравнить экспериментальные данные.

Эксперименты проводили на икре вьюна (*Musqurnus fossilis* L.), лосося (*Salmo salar* L.) и щуки (*Esox lucius* L.). Икру вьюна инкубировали при температуре 16—21°С в чашках Петри в 50 см<sup>3</sup> воды или раствора. Получили икру после гипофизарной инъекции, семенники самцов разрезали на кусочки, кусочек семенника помещали вместе с икрой в чашку Петри, где и происходило оплодотворение в растворах радионуклидов и в воде. Меняли растворы и мертвую икру отбирали два раза в сутки. Икру лосося и щуки получали во время естественного нереста рыб, инкубировали в чашках Петри при температуре 10—12°С. Икру этих рыб помещали в растворы сразу после набухания. Меняли растворы и мертвую икру отбирали раз в двое суток. В качестве тестов использовали количество погибшей за время инкубации икры, количество уродливых личинок, митотический индекс и количество анафаз с хромосомными aberrациями в тканях личинок. Количество погибшей икры выражали в процентах от количества икры, заложенной в инкубацию; количество уродливых личинок — в процентах от количества выклюнувшихся личинок. Во всех опытах учитывали личинок с нарушениями осевого скелета и с тяжелыми уродствами. К категории «нарушение осевого скелета» относили личинок с искривлениями позвоночника под углом больше 10°, двухголовых и безголовых. К категории «тяжелые уродства» относили личинок, у которых отдельные органы или части тела были сильно гипертрофированы или вообще не развиты. В отдельных опытах, кроме того, учитывали личинок с нарушениями формы желточного мешка и с укороченным телом.

Цитологические тесты изучали на временных препаратах, окрашенных ацетокармином или молочнокислым орсеином. Митотический индекс определяли по клеткам эпителия однодневных личинок как отношение количества клеток на стадии поздней профазы,

метафазы, анафазы и телофазы ко всем просчитанным и выражали в процентах. Количество анафаз с aberrациями определяли по тотальному препарату личинки и выражали в процентах. Учитывали только те анафазы, у которых расстояние между расходящимися группами хромосом было не меньше удвоенной ширины одной из расходящихся групп хромосом и которые еще не вступили в позднюю телофазу. Аберрантной анафазой считалась такая, у которой были хромосомные или хроматидные мосты и фрагменты. Подсчет клеток вели до тех пор, пока доля делящихся клеток и аберрантных анафаз не располагалась внутри 99%-ного доверительного интервала. Для этой цели у каждой личинки нужно было просмотреть около 200 делящихся клеток или анафаз. В клетках эпителия анафаз было меньше, поэтому их подсчитывали на тотальном препарате.

Икру вьюна инкубировали в растворах  $Sr^{90} - I^{90}$  активностью  $3,1 \cdot 10^{-10}$  кюри/л (опыт 1),  $2,0 \cdot 10^{-10}$  кюри/л (опыт 2),  $1,5 \cdot 10^{-8}$ ,  $1,7 \cdot 10^{-6}$ ,  $1,5 \cdot 10^{-4}$ ,  $2,0 \cdot 10^{-4}$  и  $2,0 \cdot 10^{-3}$  кюри/л; в растворах  $Pu^{239}$  активностью  $n \cdot 10^{-4}$ ,  $n \cdot 10^{-10}$  и  $n \cdot 10^{-8}$  кюри/л (опыт 1 и 2); в растворах смеси  $Sr^{90} - I^{90}$ ,  $Pu^{239}$  и  $Cs^{137}$  следующих вариантов: а)  $Sr^{90} - I^{90}$  ( $2 \cdot 10^{-10}$  кюри/л) +  $Pu^{239}$  ( $n \cdot 10^{-11}$  кюри/л) +  $Cs^{137}$  ( $1,4 \cdot 10^{-10}$  кюри/л), суммарная активность раствора  $n \cdot 10^{-10}$  кюри/л; в)  $Sr^{90} - I^{90}$  ( $2 \cdot 10^{-8}$  кюри/л) +  $Pu^{239}$  ( $n \cdot 10^{-10}$  кюри/л) +  $Cs^{137}$  ( $1,4 \cdot 10^{-8}$  кюри/л), суммарная активность равна  $n \cdot 10^{-8}$  кюри/л; с)  $Sr^{90} - I^{90}$  ( $2 \cdot 10^{-6}$  кюри/л) +  $Pu^{239}$  ( $n \cdot 10^{-8}$  кюри/л) +  $Cs^{137}$  ( $1,4 \cdot 10^{-6}$  кюри/л), суммарная активность  $n \cdot 10^{-6}$  кюри/л. Икру лосося и щуки инкубировали в растворах  $Cs^{137}$  активностью  $1,4 \cdot 10^{-10}$ ,  $1,4 \cdot 10^{-6}$  кюри/л.

Растворы  $Sr^{90} - I^{90}$  и  $Cs^{137}$  разной активности готовили обычным способом. Препараты  $Sr^{90}Cl_2$  и  $Cs^{137}Cl_2$  носителя не имели.  $Sr^{90}$  и  $I^{90}$  находились в равновесной концентрации. Плутоний-239 был получен в форме  $Pu^{239}O_2$ . Чтобы получить растворимую форму, его растворяли в азотной и соляной кислотах (разведение 1:1); азотно- и солянокислые соли плутония растворяли в воде, учитывая рН получаемого раствора.

Радиоактивность растворов и икры по  $Sr^{90} - I^{90}$  определяли на установке Б-3 с малофононой приставкой УМФ-1500, по  $Pu^{239}$  — на ДП-100.

Принцип расчета дозы изложен в «Инструкции по радиобиологическим исследованиям эмбрионального периода развития рыб» (Печкуренок, 1971).

Мы рассчитывали дозу, полученную икрой вьюна в растворах  $Sr^{90} - I^{90}$  по формуле:

$$D = \frac{S_{к.н./t} \cdot A \cdot E}{6,24 \cdot 10^7},$$

где  $D$  — доза (рады);

$S_{к.н./t}$  — величина изменения коэффициентов накопления во времени, определенная по графику, равная площади, заключенной между кривой изменения коэффициентов накопления и осью, на которой отложено время;

$A$  — активность 1 мл раствора, из которого происходит накопление радионуклида (расп/мин);

$E$  — средняя энергия  $\beta$ -частиц;

$6,24 \cdot 10^7$  — коэффициент перехода от Мэв/г в рады.

Дозы, полученные икрой в растворах  $Pu^{239}$  и  $Cs^{137}$ , не рассчитывали. Большинство исследователей ставили эксперименты на смеси икры от нескольких пар производителей (часто на икре, взятой с нерестилиц) и количество погибшей икры и уродливых личинок сравнивали как выборочные доли, принимая за величину выборки количество икры

или личинок в вариантах опыта (метод, сводящийся к аппроксимации биномиального распределения нормальным).

Темплетон (1966), также работая со смесью икры, сравнивал опытный и контрольный вариант по  $\chi$ -квадрат критерию. Работа на смеси икры не позволяет оценить вариабельность изучаемых показателей у популяции данного вида рыб, что исключает возможность определить количество значащих цифр при расчетах и почти всегда приводит к искусственной точности. Последнее объясняется тем, что в таких случаях численность сравниваемых выборок не ограничивается никакими соображениями, при увеличении численности выборки величины ошибки уменьшаются, и формально можно совершенно достоверно обнаружить сколь угодно малую разницу между двумя выборочными долями.

Шеханова и Печкуренок (1968) инкубировали икру от каждой пары производителей отдельно; при расчете средних арифметических изучаемых показателей величину выборки принимали равной количеству пар производителей, а количество пар производителей было таким, чтобы средние арифметические были достоверны на 95%-ном уровне. Средние арифметические сравнивали по  $t$ -критерию. Перед этим данные оценивали на принадлежность к нормальному распределению, и было найдено, что гипотеза о нормальности распределения отвергнута быть не может. Формально это давало право на применение параметрических критериев сравнения. Но чувствительность всех существующих критериев для оценки гипотезы о нормальности распределения недостаточная для оценки малых выборок. В опытах Шехановой и Печкуренкова величина выборки была 9—13. При величине выборки меньше 30 гипотеза о нормальности распределения не может быть опровергнута именно по этой причине. В таких случаях о надежности параметрических критериев сравнения следует судить по величине коэффициента вариации. Если он равен 50% и больше, то параметрические критерии сравнения становятся ненадежными, и следует применять непараметрические критерии сравнения.

Противоречивость полученных различными авторами данных может быть следствием упущений в методике постановки эксперимента. Дело в том, что эксперименты, в которых определяется выживаемость или доля уродов, относятся к разряду биномиальных, а одно из требований к биномиальному эксперименту сводится к тому, что вероятность «успеха» во всех опытах должна быть равной. При работе с икрой рыб это сводится к тому, что несколько выборок икры, взятых из совокупности конечного объема (икра от одной пары производителей), не должны достоверно отличаться друг от друга по изучаемому показателю, например, по доле погибших икринок. Если эта доля не настолько мала, что ей можно пренебречь при данном уровне значимости (выборки берутся из совокупности конечного объема, максимальный объем сравниваемых выборок равен половине генеральной совокупности), то невозможно обойти проблему качества перемешивания икры в совокупности перед взятием из нее выборок, так как известно, что в разных частях гонады икра находится в разном физиологическом состоянии (Семенов, 1963) и что разнояйцевые близнецы имеют разный генотип. Мостеллер, Рурке и Томас (1969) считают, что качественно перемешать больше 100 объектов невозможно.

При работе с икрой рыб мы имеем дело с гораздо большими величинами. И если икру, полученную от одной пары производителей, невозможно хорошо перемешать обычными методами, то увеличение объема выборок приведет к нарушению требований к биномиальному эксперименту, т. е. данные, полученные по нескольким выборкам из одной и той же совокупности в одинаковых условиях, будут досто-

верно различными. В этом случае объем сравниваемых выборок должен быть функцией качества перемешивания икры в генеральной совокупности.

Еще большее значение это имеет тогда, когда эксперимент ставится на смеси икры, полученной от разных производителей. Во всех упомянутых работах это требование не учитывалось, икра априорно считалась равнокачественной. Достоверность различий между опытным и контрольным вариантами может быть результатом плохого перемешивания и неоправданно большого количества икры в вариантах опыта, а не влияния исследуемого уровня радиации.

Поэтому проверка качества перемешивания икры имеет очень серьезное значение. Для этого необходимо в каждом варианте опыта икру от каждой пары производителей инкубировать в двух чашках Петри (иметь две повторности) для проверки воспроизводимости результатов. Если результаты по одной чашке на данном уровне значимости не отличаются достоверно от результатов по другой чашке, то эти данные считаются воспроизводимыми, и данным, полученным по этим чашкам, можно доверять. Исследуемые показатели по каждой чашке выражали в % и затем с целью нормализации распределения переводили в радианы ( $\varphi = 2 \arcsin \sqrt{P}$ , где  $P$  — исследуемый показатель в %) (Урбах, 1964). После этого данные по двум чашкам Петри (потомство одной пары производителей) в каждом варианте опыта сравнивали как выборочные доли. В опыте по инкубации икры выюна в растворах  $\text{Sr}^{90}$  —  $\text{I}^{90}$  активностью  $2 \cdot 10^{-4}$  и  $2 \cdot 10^{-3}$  кюри/л данные по двум чашкам сравнивали по номограммам 95% доверительных интервалов (Яржомбек, 1971). Если эти данные различались на 97%-ном уровне, то они считались невоспроизводимыми и в последующих расчетах не фигурировали. Для оценки воспроизводимости результатов в каждом варианте опыта вычисляли коэффициент воспроизводимости, равный отношению количества пар производителей, данные которых (по двум чашкам Петри) воспроизводились к общему их количеству в процентах.

На основании данных предварительных экспериментов в каждой чашке Петри инкубировали примерно 250 икринок выюна, 110 икринок лосося и 150 икринок щуки.

Данные по двум чашкам Петри (икра от одной пары производителей) в каждом варианте опыта осредняли, и по ним рассчитывали среднюю арифметическую для каждого варианта опыта, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации и ошибку средней. В этом случае численность выборки равнялась количеству пар производителей. По данным предварительных экспериментов, для того чтобы средняя лежала в 95%-ном доверительном интервале, пар производителей должно быть не меньше восьми. Количество пар производителей в каждом опыте указано в таблицах.

Данные опытного и контрольного вариантов сравнивали следующими способами: 1) по методу сравнения выборочных долей, для чего суммировали количество икры и личинок от всех пар производителей по каждому варианту опыта, выражали в радианах долю погибшей икры и уродливых личинок, и ее ошибку рассчитывали, принимая величину выборки равной суммарному количеству икры, заложенной на инкубацию, или количеству всех выклюнувшихся личинок; 2) средние арифметические сравнивали по методу попарно связанных вариантов по  $t$ -критерию; 3) дисперсии сравнивали по  $F$ -критерию. Опытные и контрольные данные непосредственно сравнивали по критерию Колмогорова-Смирнова ( $\lambda^2$ -критерий) и по таблицам 95%-ного доверительного интервала для биномиального распределения (Янко, 1961).

В этом случае данные по инкубации икры от каждой пары производителей принимали за повторность эксперимента и определяли количество повторностей, достоверно отличающихся от своего контроля. Принимая за нуль-гипотезу отсутствие различий опытных и контрольных вариантов, т. е.  $\frac{0}{n}$  (где  $n$  — число повторностей), оценивали данные, полученные в эксперименте, сравнивая границы доверительных интервалов для нуль-гипотезы и для экспериментальных данных. Если границы доверительных интервалов на 95%-ном доверительном уровне для нуль-гипотезы и экспериментальных данных заходили друг за друга, то считалось, что экспериментальные данные не противоречат нуль-гипотезе на 97%-ном уровне.

В экспериментах по инкубации икры вьюна в растворах  $\text{Sr}^{90}$  —  $\text{I}^{90}$  активностью  $3,1 \cdot 10^{-10}$ ,  $1,7 \cdot 10^{-6}$  и  $1,5 \cdot 10^{-4}$  *кюри/л* воспроизводимость данных по чашкам Петри не проверяли, и поэтому сравнивали данные от всех пар производителей, икру которых инкубировали в этих экспериментах. Во всех остальных экспериментах сравнивали только воспроизводимые данные.

Данные экспериментов по инкубации икры вьюна в растворах  $\text{Sr}^{90}$  —  $\text{I}^{90}$  активностью  $2 \cdot 10^{-4}$  и  $2 \cdot 10^{-3}$  *кюри/л* и в смеси радионуклидов сравнивали с контролем только последним способом.

Данные по величине митотического индекса и количеству аберрантных анафаз сравнивали как средние арифметические по методу попарно связанных вариантов и последним методом.

Различия, обнаруженные первыми четырьмя способами, считали достоверными, если при сравнении долей  $u_{\text{эксп}} \geq u_{0,05}$ , при сравнении средних  $t_{\text{эксп}} \geq t_{0,05}$ , при сравнении дисперсий  $F_{\text{эксп}} \geq F_{0,05}$  и при сравнении по критерию Колмогорова-Смирнова

$$\lambda_{\text{эксп}}^2 \geq \lambda_{0,05}^2 = 1,84.$$

В таблицах не приведены величины ошибок, так как при переводе из радиан в % соотношение между средней и ее ошибкой меняется. Икра вьюна, развивавшаяся в растворах  $\text{Sr}^{90}$  —  $\text{I}^{90}$  разной активности за время инкубации в растворе  $3,1 \cdot 10^{-10}$  *кюри/л* получила дозу примерно  $5 \cdot 10^{-4}$  *рад*, в растворе  $1,5 \cdot 10^{-8}$  *кюри/л* —  $5 \cdot 10^{-3}$  *рад*, в растворе  $1,3 \cdot 10^{-6}$  *кюри/л* —  $5 \cdot 10^{-1}$  *рад*, в растворе  $1,5 \cdot 10^{-4}$  *кюри/л* —  $50$  *рад*, в растворе  $2 \cdot 10^{-4}$  *кюри/л* —  $100$  *рад*, в растворе  $2 \cdot 10^{-3}$  *кюри/л* —  $1000$  *рад*. Время инкубации икры —  $90$ — $100$  ч. Способ расчета доз связан с серьезными допущениями, и поэтому величины доз следует считать ориентировочными.

Как видно из табл. 1, коэффициенты воспроизводимости изученных показателей сильно колеблются. Наиболее низкие значения характерны для гибели икры, причем это характерно и для вьюна, икра которого была получена после гипофизарной инъекции и оплодотворялась спермой из разных участков семенника, и для икры лосося и щуки, икру которых получали после естественного нереста. Сравнение данных нескольких опытов, проводившихся с икрой вьюна, также показывает значительные различия в величине коэффициентов воспроизводимости. Все это говорит о том, что существует значительная генетическая и, как ее следствие, физиологическая гетерогенность потомства как у одной пары производителей, так и внутри популяции, и низкие величины коэффициентов воспроизводимости гибели икры у лосося и щуки подтверждают этот вывод и позволяют считать, что методика оплодотворения играет тут незначительную роль. Коэффициенты воспроизводимости разных типов уродства личинок значительно выше и часто достигают 100%, особенно в эксперименте с икрой щуки и лосося.

Коэффициент воспроизводимости результатов (в %)

Вариант опыта (активность растворов, кюри/л)	Коэффициент воспроизводимости				
	гибель икры	личинки			
		с наруше- нием осевого скелета	с тяжелыми уродствами	укорочен- ные	с непра- вильной формой желточного мешка
Вьюн					
Ст <sup>90</sup> — I <sup>90</sup>					
Опыт 2					
Контроль	91	100	100	—	—
2 · 10 <sup>-10</sup>	64	91	100	—	—
Контроль	89	89	89	—	—
1,5 · 10 <sup>-8</sup>	44	89	100	—	—
Рц <sup>239</sup>					
Опыт 1					
Контроль	17	83	58	—	—
n · 10 <sup>-11</sup>	42	82	82	—	—
n · 10 <sup>-10</sup>	66	83	75	—	—
n · 10 <sup>-8</sup>	33	83	83	—	—
Опыт 2					
Контроль	78	78	78	—	—
n · 10 <sup>-11</sup>	78	33	78	—	—
n · 10 <sup>-10</sup>	78	55	100	—	—
n · 10 <sup>-8</sup>	89	89	44	—	—
Сs <sup>137</sup>					
Лосось					
Контроль	38	100	100	100	100
1,4 · 10 <sup>-10</sup>	69	100	100	100	100
1,4 · 10 <sup>-8</sup>	54	100	100	100	100
1,3 · 10 <sup>-6</sup>	46	100	85	85	100
Щука					
Контроль	60	90	80	100	100
1,4 · 10 <sup>-10</sup>	40	90	80	90	80
1,4 · 10 <sup>-8</sup>	50	100	100	100	100
1,3 · 10 <sup>-6</sup>	50	100	100	100	100

Если сопоставить эти данные с данными табл. 3, то окажется, что в опытах с икрой лосося в одной чашке выключилось 30—50 личинок; а в опытах с икрой щуки — 70—80. Известно, что при уменьшении объемов сравниваемых выборок ширина их доверительных интервалов увеличивается, и в этом случае вероятность появления различий между средними уменьшается. По-видимому, именно уменьшением количества сравниваемых выборок за счет гибели икры и объясняется увеличение коэффициентов воспроизводимости по разным типам уродств личинок по сравнению с коэффициентами воспроизводимости по гибели икры. Из этого следует, что рыбы имеют настолько высокую генетическую гетерогенность потомства одной пары производителей, что для того чтобы получать воспроизводимые данные в опытах по инкубации икры, в каждую чашку Петри (повторность) нельзя помещать больше 100 икринок. Правда, в этом случае доверительный интервал средних будет очень широким, и данные опытного и контрольного вариантов достоверно различить будет труднее, однако сравнение результатов будет значительно надежнее.

Величины выборочных долей каждого показателя были практически равны средним арифметическим этих показателей. Сравнение выборочных долей (табл. 2) показало, что почти в каждом варианте опыта они достоверно отличаются от контроля как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения, и в этом невозможно проследить никакой закономерности. Кроме того, этот метод неприемлем еще из-за плохой воспроизводимости данных.

Можно привести следующий пример: контроль двух опытов по инкубации икры выюна в растворе  $Pu^{239}$  разделили на две части, объединив в одну данные по чашкам № 1, а в другую — по чашкам № 2, и сравнили доли изучаемых показателей в этих частях (проверили воспроизводимость). Оказалось, что в опыте № 1 по инкубации икры в растворах  $Pu^{239}$  величина гибели икры и количество личинок с нарушениями осевого скелета достоверно отличаются в двух частях одного контроля, количество личинок с тяжелыми уродствами — нет; между двумя частями контроля опыта № 2 достоверных различий по всем изученным показателям обнаружено не было. Это показывает, что в эксперименте со смесью икры от нескольких пар производителей увеличивается влияние случайности. В качестве последнего способа дискредитации этого метода данные по каждому показателю всех вариантов опыта и контроля по выюну объединялись в одну совокупность, и каждая варианта оценивалась по принадлежности к данной совокупности. Все опытные и контрольные варианты принадлежат к одной и той же совокупности, что говорит об отсутствии какого-либо влияния использованной в опыте радиоактивности растворов на гибель икры и появление уродливых личинок.

Сравнение по  $F$ -критерию, как это видно из табл. 2, в большинстве случаев не обнаруживает достоверных различий между данными опыта и контроля.

Сравнение средних по  $t$ -критерию чаще обнаруживает достоверные различия между опытом и контролем, хотя и в этом случае отсутствует какая-либо тенденция, что уже само по себе вызывает сомнения.

Величина коэффициентов вариации (табл. 2) всех изученных показателей показывает, в чем тут дело. Только в одном случае коэффициент вариации был меньше 20%. Самые маленькие коэффициенты вариации имеет гибель икры выюна во всех опытах, но и эти величины лежат в пределах 21—35%. Коэффициенты вариации количества уродливых личинок выюна колеблются в пределах от 30 до 68%. Коэффициенты вариации всех показателей у лосося и щуки только в трех случаях равны 89%, в остальных они равны 100% и более.

отсюда сравнение при помощи параметрических критериев теряет смысл. Поэтому для сравнения данных был использован непараметрический критерий сравнения  $\lambda^2$  (критерий Колмогорова-Смирнова). Сравнение опытных и контрольных вариантов показывает, что в большинстве случаев по всем изученным показателям нет достоверных различий между опытом и контролем. Количество погибшей икры достоверно отличается от контрольного только в опыте № 1 по инкубации икры вьюна в растворе  $\text{Pu}^{239}$  в варианте  $n \cdot 10^{-10}$  *кюри/л*, однако в том же варианте опыта № 2 это не повторяется. Количество личинок с тяжелыми уродствами у лосося достоверно меньше, чем в контроле, в растворе  $\text{Cs}^{137}$  активностью  $1,4 \cdot 10^{-10}$  и  $1,4 \cdot 10^{-8}$  *кюри/л*, а у щуки в растворе  $1,4 \cdot 10^{-10}$  *кюри/л* достоверно больше. В растворе  $1,4 \cdot 10^{-10}$  *кюри/л* у щуки достоверно больше, чем в контроле, личинок с нарушением осевого скелета и с укороченным телом. Достоверное увеличение количества личинок с тяжелыми уродствами у вьюна наблюдается в растворе  $\text{Sr}^{90}$ — $\text{I}^{90}$  активностью  $3,1 \cdot 10^{-10}$  *кюри/л* (опыт № 1, воспроизводимость данных не проверялась), а в растворе  $\text{Sr}^{90}$ — $\text{I}^{90}$  активностью  $2 \cdot 10^{-10}$  *кюри/л* по этому показателю отличий от контроля нет (табл. 2).

Все это заставляет нас отнести полученные отклонения от контроля к случайным, и мы считаем, что инкубация икры вьюна в растворах  $\text{Sr}^{90}$ — $\text{I}^{90}$  активностью от  $2 \cdot 10^{-10}$  до  $1,5 \cdot 10^{-4}$  *кюри/л*,  $\text{Pu}^{239}$  активностью от  $n \cdot 10^{-11}$  до  $n \cdot 10^{-8}$  *кюри/л*, инкубация икры лосося и щуки в растворах  $\text{Cs}^{137}$  активностью от  $1,4 \cdot 10^{-10}$  до  $1,4 \cdot 10^{-6}$  *кюри/л* не приводит к повышению гибели икры и количества морфологических аномалий у личинок.

Этот вывод полностью подтверждается данными сравнения по таблицам 95%-ных доверительных интервалов для биномиального распределения (Янко, 1961).

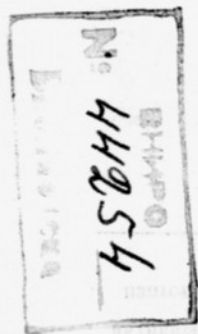
Цыцугина (1969) изучала хромосомные aberrации у эмбрионов морского ерша и калкана. Икру инкубировали в растворах  $\text{Sr}^{90}$ — $\text{I}^{90}$ ,  $\text{I}^{91}$ ,  $\text{C}^{14}$ ,  $\text{Sr}^{89}$  и  $\text{Cs}^{137}$  и до гаструлы она получила дозу 0,001—0,01 *рада* (за несколько часов). Если сопоставить данные Цыцугиной с данными Беляевой и Покровской (1958) и Прокофьевой-Бельговской (1961), то оказывается, что по эффективности эти дозы хронического облучения равны острому облучению дозой 500 *рад* за одну минуту. Спектр хромосомных перестроек не отличается от контрольного — из этого следует, что «свежих» перестроек нет, есть только «старые». Непонятно, как это получается в условиях хронического облучения. Вызывает удивление и количество aberrантных анафаз в контроле (10—16%).

Тимофеева и Альшиц (1970), инкубируя икру щуки в растворах  $\text{Sr}^{90}$ — $\text{I}^{90}$  активностью от  $n \cdot 10^{-9}$  до  $n \cdot 10^{-4}$  *кюри/л* при температуре 20—22° С, нашли, что количество аномалий у личинок увеличивается только в растворе  $n \cdot 10^{-4}$  *кюри/л*, а количество анафаз с aberrациями увеличивается у эмбрионов из растворов активностью от  $n \cdot 10^{-7}$  *кюри/л* и выше. Возможно, это связано с несоблюдением требований к условиям инкубации икры щуки. В природных условиях икра щуки инкубируется при температуре воды не выше +5—+10° С, а в опытах Тимофеевой и Альшиц температура воды была по крайней мере в два раза выше предельной. Известно, что при повышении температуры на 10° С интенсивность обмена хладнокровных животных увеличивается вдвое (Вилли, 1964). Кроме этого, при повышении температуры воды количество растворенного в воде кислорода уменьшается, а при недостатке кислорода эффективность репарационных процессов снижается (Парибок и Эйдус, 1969). Возможно, данные Тимофеевой и Альшиц объясняются именно этими причинами, а не влиянием хронического облучения.



Сравнение экспериментальных данных с контрольными разными способами

Радио-активный изотоп	Вариант опыта (активность раствора, <i>кюри/л</i> )	Сравнение выборочных долей			Число скрещиваний	Средняя арифметическая		Коэффициент вариации		Достоверность различий			По таблицам биномиальных распределений
		суммарное количество икры		достоверность различий		опыт	контроль	опыт	контроль	<i>t</i> критерий	<i>F</i> критерий	$\lambda^2$ критерий	
		опыт	контроль										
Sr <sup>90</sup> — I <sup>90</sup>	Опыт 1	Гибель икры											
	3 · 10 <sup>-10</sup>	7393	6373	+	10	10,3	8,9	33,0	25,7	+	—	—	—
	Опыт 2	Вьюн											
	2 · 10 <sup>-10</sup>	4607	5712	+	7	31,3	27,3	102,0	108,0	—	—	—	—
	1,5 · 10 <sup>-8</sup>	4508	5117	+	9	30,9	25,4	31,6	28,8	—	—	—	—
	1,7 · 10 <sup>-6</sup>	7788	6373	+	10	9,5	8,9	34,2	25,7	+	—	—	—
	1,5 · 10 <sup>-4</sup>	4221	4006	+	12	12,0	19,0	21,2	24,5	+	—	—	—
	Опыт 1	Гибель икры											
	n · 10 <sup>-11</sup>	6412	6651	+	12	23,2	26,3	24,3	23,1	—	—	—	—
	n · 10 <sup>-10</sup>	7551	6651	+	12	13,1	26,8	27,4	23,1	+	—	+	—
n · 10 <sup>-8</sup>	6910	6651	+	12	22,6	26,8	24,0	23,1	—	—	—	—	
Опыт 2	Вьюн												
n · 10 <sup>-11</sup>	5435	5411	+	9	22,2	18,3	25,2	34,5	—	—	—	—	
n · 10 <sup>-10</sup>	5887	5411	+	9	19,7	18,3	33,3	34,5	—	—	—	—	
n · 10 <sup>-8</sup>	6904	5411	+	9	15,2	18,3	22,8	34,5	—	—	—	—	

Pu<sup>239</sup>

Радио-активный изотоп	Вариант опыта (активность раствора, кюри/л)	Сравнение выборочных долей			Число скрещиваний	Средняя арифметическая		Коэффициент вариации		Достоверность различий			По таблицам биномиальных распределений
		суммарное количество икры		достоверность различий		опыт	контроль	опыт	контроль	t критерий	F критерий	$\chi^2$ критерий	
		опыт	контроль										
Cs <sup>137</sup>		<b>Лосось</b>											
	1,4 · 10 <sup>-10</sup>	2860	2860	+	13	68,2	63,7	106	102	+	-	-	-
	1,4 · 10 <sup>-8</sup>	2860	2860	+	13	82,0	71,0	105	105	+	-	-	-
	1,3 · 10 <sup>-6</sup>	2860	2860	+	13	91,2	73,3	101	105	+	-	-	-
		<b>Щука</b>											
	1,4 · 10 <sup>-10</sup>	3000	3000	-	10	45,3	45,5	104	105	-	-	-	-
	1,4 · 10 <sup>-8</sup>	3000	3000	+	10	42,1	45,5	123	105	+	-	-	-
	1,3 · 10 <sup>-6</sup>	3000	3000	-	10	45,3	45,5	106	105	-	-	-	-
Sr <sup>90</sup> — I <sup>90</sup>		<b>Личинки с тяжелыми уродствами</b>											
		<b>Вьюн</b>											
	Опыт 1												
	3 · 10 <sup>-10</sup>	6630	5809	+	10	6,4	1,6	36,4	46,8	+	-	+	-
	Опыт 2												
	2 · 10 <sup>-10</sup>	5225	6702	+	11	8,0	6,4	37,2	30,8	-	-	-	-
1,5 · 10 <sup>-8</sup>	3120	3817	+	9	3,1	2,8	37,3	8,6	-	+	-	-	
1,7 · 10 <sup>-6</sup>	7050	5809	+	10	4,7	1,6	26,4	46,8	+	-	-	-	
1,5 · 10 <sup>-4</sup>	3716	3247	+	12	1,1	1,4	43,7	53,0	-	-	-	-	

Pu <sup>239</sup>	Опыт 1													
	$n \cdot 10^{-11}$	5356	4910	+	9	1,7	0,7	58,0	68,0	—	—	—	—	
	$n \cdot 10^{-10}$	6401	4910	+	9	1,9	0,7	59,0	68,0	—	—	—	—	
	$n \cdot 10^{-8}$	5365	4910	+	9	1,6	0,7	62,0	68,0	+	—	—	—	
	Опыт 2													
	$n \cdot 10^{-11}$	4155	4409	+	9	4,3	2,9	45,3	30,0	—	—	—	—	
$n \cdot 10^{-10}$	4660	4409	—	9	2,7	2,9	33,2	30,0	—	—	—	—		
$n \cdot 10^{-8}$	5805	4409	+	9	1,9	2,9	44,0	30,0	+	—	—	—		
Cs <sup>137</sup>	Лосось													
	$1,4 \cdot 10^{-10}$	936	930	+	13	0,0	2,5	0	89	+	+	+	—	
	$1,4 \cdot 10^{-8}$	658	930	+	13	0,0	2,5	0	89	+	+	+	—	
	$1,3 \cdot 10^{-6}$	424	930	+	13	4,9	2,5	100	89	+	—	—	—	
	Щука													
	$1,4 \cdot 10^{-10}$	1617	1554	+	10	6,2	2,7	104	106	+	+	+	—	
$1,4 \cdot 10^{-8}$	1404	1554	+	10	5,0	2,7	104	106	+	—	—	—		
$1,3 \cdot 10^{-6}$	1617	1554	+	10	5,5	2,7	102	105	+	—	—	—		
Личинки с нарушением осевого скелета														
Вьюн														
Sr <sup>90</sup> -- I <sup>90</sup>	Опыт 1													
	$3 \cdot 10^{-10}$	6630	5809	+	10	4,5	1,9	34,6	50,5	+	—	—	—	
	Опыт 2													
	$2 \cdot 10^{-10}$	5225	6702	—	10	12,5	13,2	16,8	6,2	—	+	—	—	
	$1,5 \cdot 10^{-8}$	3120	3817	+	9	20,0	12,8	31,1	36,8	—	—	—	—	
$1,7 \cdot 10^{-6}$	7050	5809	+	10	2,3	1,9	31,0	50,5	+	—	—	—		
$1,5 \cdot 10^{-4}$	3716	3247	+	12	6,7	7,2	42,2	31,1	—	—	—	—		

Радио-активный изотоп	Вариант опыта (активность раствора, <i>кюри/л</i> )	Сравнение выборочных долей			Число скрещиваний	Средняя арифметическая		Коэффициент вариации		Достоверность различий			По таблицам биномиальных распределений
		суммарное количество икры		достоверность различий		опыт	контроль	опыт	контроль	<i>t</i> критерий	<i>F</i> критерий	$\chi^2$ критерий	
		опыт	контроль										
$Pu^{239}$	Опыт 1												
	$n \cdot 10^{-11}$	5356	4910	+	11	1,4	0,6	47,5	54,0	+	—	—	—
	$n \cdot 10^{-10}$	6401	4910	—	12	0,6	0,6	49,0	54,0	—	—	—	—
	$n \cdot 10^{-8}$	5365	4910	+	12	1,9	0,6	53,2	54,0	+	+	—	—
	Опыт 2												
	$n \cdot 10^{-11}$	4155	4409	+	8	3,7	2,2	41,7	40,2	—	—	—	—
$n \cdot 10^{-10}$	4660	4409	+	8	2,7	2,2	47,4	40,2	—	—	—	—	
$n \cdot 10^{-8}$	5805	4409	+	8	1,3	2,2	39,7	40,2	—	—	—	—	
$Cs^{137}$	<b>Лосось</b>												
	$1,4 \cdot 10^{-10}$	936	930	—	13	4,0	4,3	102	102	—	—	—	—
	$1,4 \cdot 10^{-8}$	658	930	+	13	5,2	4,3	102	102	+	—	—	—
	$1,3 \cdot 10^{-6}$	424	930	—	13	4,6	4,3	108	102	—	—	—	—
	<b>Щука</b>												
	$1,4 \cdot 10^{-10}$	1617	1554	+	10	4,7	3,5	107	105	+	—	+	—
$1,4 \cdot 10^{-8}$	1404	1554	+	10	6,4	3,5	105	105	+	—	—	—	
$1,3 \cdot 10^{-6}$	1617	1554	+	10	6,4	3,5	103	105	+	—	—	—	

		Личинки с неправильной формой желточного мешка											
		Вьюн											
$\text{Sr}^{90} - \text{I}^{90}$	$n \cdot 10^{-10}$	6630	5809	+	10	12,0	8,8	27,2	25,2	+	—	—	—
	$n \cdot 10^{-8}$	3120	3817	—	9	6,1	6,1	23,4	24,8	—	—	—	—
	$n \cdot 10^{-6}$	7050	5809	+	10	13,1	8,8	23,7	25,2	+	—	—	—
	$n \cdot 10^{-4}$	3716	3247	+	12	4,3	2,4	42,0	37,4	—	—	—	—
		Щука											
$\text{Cs}^{137}$	$n \cdot 10^{-10}$	1617	1554	—	10	2,4	2,5	104	102	—	—	—	—
	$n \cdot 10^{-8}$	1404	1554	—	10	2,5	2,5	106	102	—	—	—	—
	$n \cdot 10^{-6}$	1617	1554	+	10	3,3	2,5	100	102	+	—	—	—
		Личинки с укороченным телом											
		Лосось											
$\text{Cs}^{137}$	$n \cdot 10^{-10}$	936	930	—	13	3,5	3,7	102	103	—	—	—	—
	$n \cdot 10^{-8}$	658	930	+	13	7,0	3,7	103	103	+	—	—	—
	$n \cdot 10^{-6}$	424	930	—	13	3,6	3,7	105	103	—	—	—	—
		Щука											
$\text{Cs}^{137}$	$n \cdot 10^{-10}$	1617	1554	+	10	6,3	3,7	101	103	+	—	+	—
	$n \cdot 10^{-8}$	1404	1554	+	10	6,8	3,7	106	103	+	—	—	—
	$n \cdot 10^{-6}$	1617	1554	+	10	6,1	3,7	101	103	+	—	—	—

Примечание. «+» — различия достоверны; «—» — различия недостоверны.

Наши данные по величине митотического индекса и количеству aberrантных анафаз у однодневных личинок вьюна, выключившихся в растворах  $Sr^{90}—I^{90}$  активностью от  $3,1 \cdot 10^{-10}$  до  $1,5 \cdot 10^{-4}$  *кюри/л* приведены в табл. 3. Как видно из таблицы, коэффициенты вариаций этих показателей невелики, и средние можно надежно сравнивать при помощи параметрических критериев сравнения. Во всех вариантах опыта не обнаружено различий с контролем ни по величине митотического индекса, ни по количеству aberrантных анафаз.

Сравнение по таблицам 95%-ных доверительных интервалов для биномиального распределения также показало отсутствие каких-либо различий между опытом и контролем.

Расчеты количества попаданий  $\beta$ -частиц в хромосомы клетки эмбриона вьюна, развивающегося в растворах  $Sr^{90}—I^{90}$  разной активности, выполненные Печкуренковым (1970), и данные по инкубации перезрелой икры вьюна (влияние асфиксии) в растворах  $Sr^{90}—I^{90}$  активностью  $1,3 \cdot 10^{-6}$  и  $1,5 \cdot 10^{-4}$  *кюри/л* позволяют полагать, что количество первичных разрывов хромосом, которое может ликвидировать репарационная система клетки в единицу времени, приближается к пороговому значению в растворе активностью  $n \cdot 10^{-4}$  *кюри/л*. Следовательно ожидать увеличения количества погибшей икры, уродов и aberrантных анафаз в тканях личинок, развивавшихся в растворе  $Sr^{90}—I^{90}$  активностью  $n \cdot 10^{-3}$  *кюри/л*. Данные по инкубации икры вьюна в растворах  $Sr^{90}—I^{90}$  активностью  $2 \cdot 10^{-4}$  и  $2 \cdot 10^{-3}$  *кюри/л* приведены в табл. 4 и 5. Данные по инкубации икры вьюна в растворе  $2 \cdot 10^{-4}$  *кюри/л* полностью подтверждают более ранние данные по инкубации икры вьюна в растворе  $1,5 \cdot 10^{-4}$  *кюри/л*. Данные по инкубации икры вьюна в растворе  $2 \cdot 10^{-3}$  *кюри/л* несколько неожиданны. По данным воспроизводимых повторностей не обнаружено никаких различий с контролем по количеству погибшей икры, уродливых личинок и величине митотического индекса, хотя создается впечатление, что количество анафаз у личинок из раствора  $2 \cdot 10^{-3}$  *кюри/л* в два-три раза меньше, чем у личинок из контроля и из раствора  $2 \cdot 10^{-4}$  *кюри/л* при одинаковом способе приготовления препаратов. Достоверно увеличивается только количество aberrантных анафаз в тканях личинок из раствора  $2 \cdot 10^{-3}$  *кюри/л*. Изменяется в этом случае и спектр хромосомных aberrаций.

Таблица 3

Влияние стронция-90 — иттрия-90 на цитологические показатели личинок вьюна, развивавшихся в растворах различной активности

Активность раствора, <i>кюри/л</i>	Средняя арифметическая		Доверительный интервал		Коэффициент вариации, %		Достоверность разности средних опыта и контроля
	А	В	А	В	А	В	
$3,1 \cdot 10^{-10}$	2,4	2,6	99,8	99	4,5	6,9	0,60
	2,6	2,9	99	99	4,9	6,6	0,50
$1,5 \cdot 10^{-6}$	2,7	3,1	99	98	6,8	17,8	0,70
	2,9	2,9	99	99	6,6	9,4	0,95
$1,7 \cdot 10^{-6}$	2,6	2,6	99	99	6,9	6,9	0,99
	2,5	2,9	99	99	7,0	6,6	0,50
$1,5 \cdot 10^{-4}$	3,1	3,0	99,9	99	3,5	6,4	0,90
	3,2	2,7	99	99	6,2	6,8	0,30

Примечания: 1. «А» — опыт; «В» — контроль; 2. Числитель — количество aberrантных анафаз; знаменатель — митотический индекс.

Если в тканях личинок из контроля и из раствора  $2 \cdot 10^{-4}$  кюри/л 80—90% aberrантных анафаз не имеет фрагментов, то у личинок из раствора  $2 \cdot 10^{-3}$  кюри/л картина обратная — 80—90% aberrантных анафаз имеет фрагменты, что говорит в пользу того, что это достаточно «свежие» aberrации. Интересно, что увеличение количества хромосомных aberrаций не вызывает увеличения количества погибшей икры и уродливых личинок, что происходит при остром облучении ранних стадий развития икры (Беляева, Покровская, 1958; Ромашов, Беляева, 1966). Это говорит о том, что между возникновением соматической мутации и ее реализацией лежит значительный промежуток времени и что хромосомные aberrации более чувствительный тест, чем гибель икры и уродства личинок.

Таблица 4

Отличия опытных вариантов от контрольных в экспериментах по инкубации икры вьюна в растворах и смеси радионуклидов

Тест	Активность раствора, кюри/л	Количество повторностей		Из них			Достоверность отклонения от нуль-гипотезы	
		исходное	воспроизводимых	A > B	A < B	A = B	A > B	A < B
Количество погибшей икры	Смесь							
	$n \cdot 10^{-6}$	22	4	0	0	4	—	—
	$n \cdot 10^{-8}$	22	6	2	1	3	—	—
	$n \cdot 10^{-10}$	22	4	0	1	3	—	—
	Sr <sup>90</sup> — I <sup>130</sup>							
$2 \cdot 10^{-3}$	31	4	0	1	3	—	—	
$2 \cdot 10^{-4}$	21	5	0	0	5	—	—	
Количество личинок с тяжелыми уродствами	Смесь							
	$n \cdot 10^{-6}$	22	19	4	0	15	—	—
	$n \cdot 10^{-8}$	22	19	1	0	18	—	—
	$n \cdot 10^{-10}$	22	18	1	0	17	—	—
	Sr <sup>90</sup> — I <sup>130</sup>							
$2 \cdot 10^{-3}$	31	25	5	0	20	—	—	
$2 \cdot 10^{-4}$	21	18	2	1	15	—	—	
Количество личинок с нарушением осевого скелета	Смесь							
	$n \cdot 10^{-6}$	22	14	1	4	9	—	—
	$n \cdot 10^{-8}$	22	14	0	4	10	—	—
	$n \cdot 10^{-10}$	22	14	4	1	19	—	—
	Sr <sup>90</sup> — I <sup>130</sup>							
$2 \cdot 10^{-3}$	31	18	5	2	11	—	—	
$2 \cdot 10^{-4}$	21	14	1	3	10	—	—	

Тест	Активность раствора, кюри/л	Количество повторностей		Из них			Достоверность отклонения от нуль-гипотезы	
		исходное	воспроизводимых	A > B	A < B	A = B	A > B	A < B
Митотический индекс	Смесь							
	$n \cdot 10^{-6}$		3	0	0	3	—	—
	$n \cdot 10^{-8}$		3	0	0	3	—	—
	$n \cdot 10^{-10}$		3	0	0	3	—	—
	$\text{Sr}^{90} - \text{I}^{90}$							
	$2 \cdot 10^{-3}$		3	0	0	3	—	—
	$2 \cdot 10^{-4}$		3	0	0	3	—	—
Количество aberrантных анафаз	Смесь							
	$n \cdot 10^{-6}$		3	0	0	3	—	—
	$n \cdot 10^{-8}$		3	0	0	3	—	—
	$n \cdot 10^{-10}$		3	0	0	3	—	—
	$\text{Sr}^{90} - \text{I}^{90}$							
	$2 \cdot 10^{-3}$		3	3	0	0	+	—
	$2 \cdot 10^{-4}$		3	0	0	3	—	—

Примечания. «А» — опыт; «В» — контроль; «+» — отклонения не случайны; «—» — отклонения случайны.

Таблица 5

Данные экспериментов по инкубации икры вьюна в растворах высокой активности и в растворах смеси радионуклидов (в %)

Тест	Активность раствора, кюри/л						
	смеси радионуклидов						
	$n \cdot 10^{-10}$	$n \cdot 10^{-8}$	$n \cdot 10^{-6}$	контроль	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$	контроль
Гибель икры	48,5	42,2	51,2	49,6	28,7	27,3	31,0
Личинки с тяжелыми уродствами	7,5	7,6	9,2	6,7	7,3	10,0	6,8
Личинки с нарушением осевого скелета	19,6	8,3	12,7	23,9	5,1	12,4	7,6
Митотический индекс у личинок	3,0	2,7	2,7	2,6	2,2	2,6	2,2
Количество aberrантных анафаз	2,8	3,2	2,2	2,2	2,9	28,4	2,8

В табл. 4 и 5 приведены данные по инкубации икры вьюна в растворах смеси радионуклидов. Как видно из этих таблиц, сравнение по всем изучавшимся тестам не обнаружило достоверных различий опытных вариантов от контроля.



## ВЫВОДЫ

1. Гетерогенность потомства одной пары диких производителей настолько велика, что при невозможности качественного перемешивания икры перед распределением по вариантам опыта делается бессмысленным увеличение количества икры в каждом варианте опыта. Для того чтобы в каждом варианте опыта данные по количеству погибшей икры и уродливых личинок были воспроизводимыми, в одной повторности каждого варианта опыта должно инкубироваться не более 100 икринок. При этом обязательно должна проверяться воспроизводимость данных.

2. Популяционная гетерогенность потомства диких рыб настолько велика, что не позволяет сравнивать количество погибшей икры и уродливых личинок при помощи параметрических критериев сравнения, по крайней мере в тех случаях, когда количество пар производителей мало. Сравнение данных по этим тестам при помощи непараметрических критериев сравнения показало отсутствие увеличения количества погибшей икры и уродливых личинок в растворах  $\text{Sr}^{90}$  —  $\text{I}^{90}$  активностью от  $2 \cdot 10^{-10}$  до  $2 \cdot 10^{-3}$  *кюри/л*, в растворах  $\text{Pu}^{239}$  активностью от  $n \cdot 10^{-11}$  до  $n \cdot 10^{-8}$  *кюри/л*, в растворах  $\text{Cs}^{137}$  активностью от  $1,4 \cdot 10^{-10}$  до  $1,4 \cdot 10^{-6}$  *кюри/л* и в растворах смеси этих радионуклидов активностью от  $n \cdot 10^{-10}$  до  $n \cdot 10^{-6}$  *кюри/л*.

3. Количество аберрантных анафаз достоверно больше, чем в контроле, только у личинок выюна из раствора  $\text{Sr}^{90}$  —  $\text{I}^{90}$  активностью  $2 \cdot 10^{-3}$  *кюри/л*. Сопоставление этого факта с отсутствием увеличения количества погибшей икры и уродливых личинок в этом растворе позволяет считать количество аберрантных анафаз более чувствительным тестом, чем гибель икры и уродства личинок, так как соматические мутации, возникшие под влиянием хронического облучения, реализуются спустя какое-то время. Данные экспериментов позволяют считать активность раствора  $\text{Sr}^{90}$  —  $\text{I}^{90}$ , равную  $n \cdot 10^{-3}$  *кюри/л*, пороговой для соматического мутагенеза у эмбрионов выюна.

## ЛИТЕРАТУРА

Беляева В. Н., Покровская Г. Л. Нарушения митоза при рентгенизации ранних стадий развития икры выюна. ДАН СССР. Т. 119, № 2, 1958.

Вилли К., Биология. Изд-во «Мир», 1964.

Мостеллер Ф., Рурке Р., Томас Дж. Вероятность, М., Изд-во «Мир», 1969.

Парибок В. П., Эйбус Л. Х. Модификация радиационного поражения генетического аппарата. Пострадиационное восстановление клетки. В сб. «Современные проблемы радиационной генетики», 1969.

Печкуренок В. Л. Возникновение хромосомных аббераций у личинок выюна, развивающихся в растворах стронция-90 — иттрия-90 разной активности. «Генетика», Т. VI, № 10, 1970.

Печкуренок В. Л. Определение радиоактивности развивающейся икры и расчет поглощенной дозы. «Инструкция по радиобиологическим исследованиям эмбрионального периода развития рыб». М., ОНТИ ВНИРО, 1971.

Прокофьева-Бельговская А. А. Радиационные поражения хромосом на ранних стадиях развития лосося. «Цитология», Т. 3, № 4, 1961.

Ромашов Д. Д., Беляева В. Н. О сохранении радиационных поврежденных хромосом в эмбриогенезе рыб. «Генетика», № 4, 1966.

Семенов К. И. Биологическая разнокачественность икры осетра и ее влияние на развитие личинок в условиях искусственного разведения. «Вопр. ихтиолог.», Т. 3. Вып. 1 (26), 1963.

Тимофеева Н. А., Альшиц Л. К. Влияние хронического облучения на развитие икры щуки (*Esox lucius* L.). Труды института экологии растений и животных УФАН СССР. Вып. 74, Свердловск, 1970.

Урбах Ю. В. Биометрические методы. Изд-во «Наука», 1964.

Цыцугина В. Г. Некоторые карниологические характеристики морских костистых рыб на ранних стадиях развития (в корме и при лучевом воздействии). Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. биолог. наук. Севастополь, 1969.

Янко Я. Математико-статистические таблицы. Госстатиздат, 1961.

Яржомбек А. А. Номограммы для быстрого определения 95%-ных доверительных интервалов при альтернативном разнообразии. «Инструкция по радиобиологическим исследованиям эмбрионального периода развития рыб», М., ОНТИ ВНИРО, 1971.

Templeton, W. L. Resistance of fish eggs to acute and chronic irradiation. In: Disposal of Radioactive Wastes into the Seas, Oceans and Surface Waters, Vienna, 1966.

## RESULTS OF RESEARCH ON THE EFFECT OF CHRONIC EXPOSURE TO VARIOUS CONCENTRATIONS OF RADIONUCLIDES ON THE EMBRYOGENESIS OF FISH.

V. L. Pechkurenkov, I. A. Shekhanova and I. G. Telysheva

### Summary

The analysis of experimental data performed by a number of statistical methods has not shown any reliable difference in the amount of eggs perished, or the appearance of deformed larvae as compared to the non-radioactive controls. The number of aberrant anaphases in the tissue cells of larvae increases reliably during the incubation of eggs in radionuclide solutions of  $2 \cdot 10^{-3}$  Ci/l. The estimation method of chromosome aberrations is more sensitive than the techniques of determining the percentage of dead eggs or morphologically anomalous larvae.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ  
Труды ВНИРО, том LXXXV «Вопросы физиологии рыб».

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
9	15-ая сверху	Musqurnus	Misgurnus
10	17-ая сверху	$n \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-11}$
10	22-ая сверху	Cr <sup>90</sup>	Sr <sup>90</sup>
10	25-ая сверху	$1,4 \cdot 10^{-10}, 1,4 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-10}, 1,4 \cdot 10^{-8}, 1,4 \cdot 10^{-6}$
28	Таблица	Cr <sup>137</sup>	Cs <sup>137</sup>
60	Таблица 5	г/кг веса рыбы (P)	мг/кг веса рыбы (P)
108	11-ая снизу	$N = (10_n (\lg N_N - \lg N_o) - 1) \cdot 100$	$N = (10 \frac{1}{n} (\lg N_N - \lg N_o) - 1) \cdot 100$
115	21-ая снизу	saktilis	saxatilis
117	Название статьи	NOTOTENIA	NOTOTHENIA
119	3-я снизу	negleta	neglecta
126	21-ая снизу	antartcum	antarcticum
126	19-ая снизу	gibberibrons	gibberifrons
127	19-ая снизу	жизнестойкое и потомство	жизнестойкое потомство
148	19-ая снизу	(Vallas)	(Pallas)
148	13-ая снизу	Oncorhynchus	Oncorhynchus
148	10-ая снизу	O. mason	O. masu
139	17-ая сверху	сирмана устанавливали на ры- бах, пойманных за 1—2 су- ток до опыта	стандартного обмена
149	Таблица, послед- няя строка	+ + по данным 1962	O. rhodurus + + по данным Hikita, 1962
151	10-ая сверху	Oncorhynchis	Oncorhynchus
152	16-ая сверху	(Baalsrood)	(Baalsrud, 1956)