

~~Школы~~

П-161

74

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
УРАЛЬСКИЙ ФИЛИАЛ

**ДЕЙСТВИЕ
ИОНИЗИРУЮЩИХ
ИЗЛУЧЕНИЙ НА ГИДРОБИОНТЫ
И НАЗЕМНЫЕ
РАСТЕНИЯ**

74

СВЕРДЛОВСК
1970

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
УРАЛЬСКИЙ ФИЛИАЛ

Вып. 74 Труды Института экологии растений и животных 1970

Действие
ионизирующих
излучений на гидробионты
и наземные
растения

34473
СВЕРДЛОВСК

577.391(06)

УДК 577.391

Н. В. КУЛИКОВ

О ДЕЙСТВИИ РАДИОНУКЛИДОВ НА ГИДРОБИОНТЫ

В настоящий сборник включены работы сотрудников лаборатории радиационной биоценологии и биофизики Института экологии растений и животных Уральского филиала АН СССР, посвященные различным вопросам действия ионизирующих излучений на живые организмы.

В первой серии работ освещаются вопросы радиочувствительности некоторых представителей пресноводной флоры и фауны, радиобиология которых практически еще не изучена. В другой излагаются результаты радиобиологических экспериментов с группой хвойных растений, отличающихся весьма высокой радиочувствительностью и поэтому особенно интересны в плане радиоэкологических исследований. Ряд статей посвящен изучению модифицирующего действия магнитных полей на лучевое поражение растений.

Представленные в сборнике работы выполнены сотрудниками лаборатории в течение 1965—1967 гг. Большая часть из них публикуется впервые и должна привлечь внимание широкого круга радиобиологов.

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Уральского филиала АН СССР

п 64996

Ответственный редактор В. Н. Петри

Центральная научная
БИБЛИОТЕКА

Проблема биологического действия ионизирующих излучений на водные организмы и их сообщества, имеющая большое научное и практическое значение, далеко еще не разработана, особенно в той ее части, которая касается биологического действия длительных и хронических облучений организмов при радиоактивном загрязнении среды обитания.

К настоящему времени известно, что радиочувствительность гидробионтов, так же как и других организмов, к внешнему облучению увеличивается от низших форм к более высокоорганизованным и уменьшается от ранних стадий их развития к более поздним. С радиоэкологической точки зрения этот вывод является весьма существенным, так как он дает некоторое общее представление о наиболее чувствительных и уязвимых звеньях водных биоценозов в случае радиоактивного загрязнения акваторий.

Необходимо отметить очень высокую радиорезистентность бактериальной флоры водоема. Даже при концентрации $Sr^{90}-Y^{90}$ в воде порядка 10^{-3} кюри/л не удалось установить каких-либо изменений в развитии нитрофицирующих бактерий и кишечной палочки (Жогова, 1961). В воде, окружающей погруженный атомный реактор в Лос-Аламосе, были обнаружены бактерии *Pseudomonas*, способные размножаться в среде, которая за 8 ч облучалась дозой 10 млн. р (Дубинин, 1961).

В опытах Е. А. Тимофеевой-Ресовской (1963) с пресноводным перифитоном при концентрации неразделенной смеси осколков урана от 10^{-6} до 10^{-3} кюри/л отмечена радиостимуляция развития перифитона в 9—10 раз по сравнению с контролем. Наряду со стимуляцией общей массы сообщества происходила заметная перестройка его видового состава. Стиму-

577.391(06)

УДК 577.391

Н. В. КУЛИКОВ

О ДЕЙСТВИИ РАДИОНУКЛИДОВ НА ГИДРОБИОНТЫ

В настоящий сборник включены работы сотрудников лаборатории радиационной биоценологии и биофизики Института экологии растений и животных Уральского филиала АН СССР, посвященные различным вопросам действия ионизирующих излучений на живые организмы.

В первой серии работ освещаются вопросы радиочувствительности некоторых представителей пресноводной флоры и фауны, радиобиология которых практически еще не изучена. В другой излагаются результаты радиобиологических экспериментов с группой хвойных растений, отличающихся весьма высокой радиочувствительностью и поэтому особенно интересны в плане радиоэкологических исследований. Ряд статей посвящен изучению модифицирующего действия магнитных полей на лучевое поражение растений.

Представленные в сборнике работы выполнены сотрудниками лаборатории в течение 1965—1967 гг. Большая часть из них публикуется впервые и должна привлечь внимание широкого круга радиобиологов.

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Уральского филиала АН СССР

п 64996

Ответственный редактор В. Н. Петри

Центральная научная
БИБЛИОТЕКА

Проблема биологического действия ионизирующих излучений на водные организмы и их сообщества, имеющая большое научное и практическое значение, далеко еще не разработана, особенно в той ее части, которая касается биологического действия длительных и хронических облучений организмов при радиоактивном загрязнении среды обитания.

К настоящему времени известно, что радиочувствительность гидробионтов, так же как и других организмов, к внешнему облучению увеличивается от низших форм к более высокоорганизованным и уменьшается от ранних стадий их развития к более поздним. С радиоэкологической точки зрения этот вывод является весьма существенным, так как он дает некоторое общее представление о наиболее чувствительных и уязвимых звеньях водных биоценозов в случае радиоактивного загрязнения акваторий.

Необходимо отметить очень высокую радиорезистентность бактериальной флоры водоема. Даже при концентрации $Sr^{90}-Y^{90}$ в воде порядка 10^{-3} кюри/л не удалось установить каких-либо изменений в развитии нитрофицирующих бактерий и кишечной палочки (Жогова, 1961). В воде, окружающей погруженный атомный реактор в Лос-Аламосе, были обнаружены бактерии *Pseudomonas*, способные размножаться в среде, которая за 8 ч облучалась дозой 10 млн. р (Дубинин, 1961).

В опытах Е. А. Тимофеевой-Ресовской (1963) с пресноводным перифитоном при концентрации неразделенной смеси осколков урана от 10^{-6} до 10^{-3} кюри/л отмечена радиостимуляция развития перифитона в 9—10 раз по сравнению с контролем. Наряду со стимуляцией общей массы сообщества происходила заметная перестройка его видового состава. Стиму-

ляция развития пресноводного водорослевого перифитона наблюдалась и при хроническом облучении его на гамма-поле дозами от 5 до 50 *р/сутки* в течение двух месяцев (Гилева, Тимофеева, Тимофеев-Ресовский, 1964).

Подавляющее действие $Sr^{90}-Y^{90}$ на размножение пресноводного рачка *Daphnia magna* установлено лишь при культивировании его в течение 80 дней в воде, радиоактивность которой составляла 10^{-5} *кюри/л* (Телитченко, 1958).

Проведены цитогенетические исследования естественной популяции одного из видов комара (*Chironomus tentans*), личинки которого в большом количестве обитают в донных отложениях озера Уайт Оук Лейк и ручья Уайт Оук Крик, куда в течение длительного времени сбрасывались радиоактивные отходы Ок-Риджской национальной лаборатории. Популяция этого комара на личиночной стадии развития облучалась в течение 22 лет ежегодно дозой около 230 *рад*. Установлено, что в этих условиях несколько увеличилась частота новых хромосомных aberrаций в популяции комара, но затем эти aberrации были устранены естественным отбором; приспособленность же популяции заметно не изменилась (Blaylock, 1966).

В нашей лаборатории экспериментально исследована радиочувствительность ранних стадий развития пресноводного моллюска *Lymnaea stagnalis* L. Как показано в табл. 1, наруше-

Таблица 1

Влияние стронция-90 на развитие эмбрионов *Lymnaea stagnalis* L.

Радиоактивность воды, <i>кюри/л</i>	Общая доза облучения за 8 суток, <i>р</i>	Колич. яиц, шт.	Вылупившиеся личинки		<i>P</i>	Колич. уродливых эмбрионов
			Число	% от общего колич. яиц		
Контроль	—	553	544	98,0	—	1
$1 \cdot 10^{-9}$	0,0035	539	527	98,0	—	0
$1 \cdot 10^{-7}$	0,35	497	481	97,2	—	2
$1 \cdot 10^{-6}$	3,5	266	262	98,5	—	1
$1 \cdot 10^{-5}$	35,0	653	625	96,0	—	5
$1 \cdot 10^{-4}$	350,0	602	584	97,0	>0,05	3
$5 \cdot 10^{-4}$	1700,0	366	335	91,5	<0,001	4
$1 \cdot 10^{-3}$	3500,0	501	308	61,5	<0,001	19
$1 \cdot 10^{-2}$	35000,0	550	0	0	—	—

ния развития эмбрионов моллюска отмечаются лишь при инкубации их в воде, содержащей $10^{-4}-10^{-3}$ *кюри/л* $Sr^{90}-Y^{90}$. Установлено также, что радиочувствительность эмбрионов к внешнему однократному облучению гамма-лучами кобальта-60 существенно снижается от ранних стадий эмбриогенеза к более поздним. Так, ЛД₅₀ при облучении эмбрионов на стадии ранней бластулы составляет 450 *р*, при облучении их на стадии возникновения эмбриональной моторики она возрастает до 900 *р*, а на стадии начала формирования раковины — до 2000 *р*.

Острое однократное облучение яиц моллюска гамма-лучами на ранней стадии дробления оказалось более эффективным, чем хроническое облучение их примерно той же дозой в процессе инкубации в растворах $Sr^{90}-Y^{90}$ (Куликов, Тимофеева, Любимова, 1966).

Перечисленные примеры показывают, что представители разных систематических групп пресноводных организмов от бактерий до развивающихся яиц моллюсков способны определенное время переносить без заметных повреждений достаточно высокие уровни радиоактивного загрязнения водной среды. В связи с этим большой интерес представляют опубликованные в последние годы данные о чрезвычайно высокой радиочувствительности быстроразвивающейся икры некоторых видов морских рыб (Поликарпов, Иванов, 1961, 1962; Поликарпов, 1964, 1964а; Федоров и др., 1964; Иванов, 1967). В работах этих исследователей установлено, что при инкубации оплодотворенной икры в водных растворах $Sr^{90}-Y^{90}$ концентраций 10^{-10} *кюри/л* и выше увеличивается выклев предличинок с различными морфологическими уродствами, а в растворах радиоактивностью $10^{-8}-10^{-7}$ *кюри/л*, кроме того, значительно повышается гибель эмбрионов. Вместе с тем имеются данные, указывающие либо на отсутствие подобного рода эффектов у отдельных видов рыб даже при весьма значительных загрязнениях воды радиостронцием (Brown a. Templeton, 1964), либо такие эффекты наблюдаются при очень длительном пребывании инкубируемой икры (>100 дней) в растворах стронция-90 концентрацией $10^{-8}-10^{-6}$ *кюри/л* (Неустроев, Подымахин, 1966).

В наших опытах с линем (*Tinca tinca* L.) было отмечено, что инкубация оплодотворенной икры этой рыбы в водных растворах $Sr^{90}-Y^{90}$ концентрацией от 10^{-10} до 10^{-5} *кюри/л* не оказывает заметного действия ни на скорость развития эмбрионов, ни на количественный выход из этой икры нормальных и уродливых предличинок (табл. 2). При этом выживае-

Таблица 2

Влияние содержания стронция-90 в воде на развитие эмбрионов линя

Концентрация стронция в воде, <i>кюри/л</i>	Общее колич. икринок, шт.	Выклюнувшиеся предличинки					
		Всего		Нормальные		Аномальные	
		Число	%	Число	%*	Число	%
Контроль	2810	2106	75,0 ± 4,1	1963	93,2	143	6,8
$1 \cdot 10^{-10}$	2931	2118	72,8 ± 5,1	1968	93,0	150	7,0
$1 \cdot 10^{-9}$	3045	2136	70,2 ± 8,1	2009	94,0	127	6,0
$1 \cdot 10^{-8}$	2772	2054	74,0 ± 5,1	1900	92,5	154	7,5
$1 \cdot 10^{-7}$	2951	2092	71,0 ± 7,2	1965	93,9	127	6,1
$1 \cdot 10^{-6}$	1597	1231	77,0 ± 2,4	1146	93,0	86	7,0

* Проценты для нормальных и уродливых форм приведены по отношению ко всем выклюнувшимся личинкам.

мость подопытных предличинок в течение нескольких дней после их вылупления ничем не отличалась от контроля даже после дополнительного их облучения гамма-лучами кобальта-60 дозой 800 p. Внешнее однократное гамма-облучение икры на стадии раннего дробления увеличивает выход аномальных предличинок при дозе 50 p, а доза 400 p оказалась абсолютно летальной (Куликов, Тимофеева, Шишенкова, 1968).

В опытах с икрой щуки (*Esox lucius* L.) также не удалось установить заметного действия стронция-90 в диапазоне концентраций его в воде от 10^{-9} до 10^{-5} кюри/л на развитие икры с момента ее оплодотворения до стадии вылупления предличинок. Лишь при радиоактивности воды 10^{-4} кюри/л наблюдался несколько повышенный процент выклева предличинок с различными морфологическими уродствами.

ВЫВОДЫ

1. Представители разных систематических групп пресноводных организмов (от бактерий до развивающихся эмбрионов моллюсков и рыб) способны определенное время переносить без заметных повреждений достаточно высокие уровни радиоактивного загрязнения водной среды.

2. Данные о повреждающем действии малых уровней радиоактивного загрязнения водной среды на эмбриогенез некоторых видов морских и пресноводных рыб неоднозначны.

ЛИТЕРАТУРА

- Гилева Э. А., Тимофеева Н. А., Тимофеев-Ресовский Н. В. Влияние хронического облучения на гамма-поле на биомассу пресноводного водорослевого перифитона.— Докл. АН СССР, 1964, т. 156, № 2.
- Дубинин Н. П. Проблемы радиационной генетики. М., Госатомиздат, 1961.
- Жогова В. М. Влияние радиоактивного стронция на микрофлору воды и процессы минерализации органического вещества.— Распределение, биологическое действие и миграция радиоактивных изотопов. М., Медгиз, 1961.
- Иванов В. Н. Действие радиоактивных веществ на эмбриональное развитие рыб.— Вопросы биоокеанографии. Киев, «Наукова думка», 1967.
- Куликов Н. В., Тимофеева Н. А., Любимова С. А. Влияние ионизирующих излучений на ранние стадии развития *Lymnaea stagnalis* L.— Радиобиология, 1966, т. 6, вып. 6.
- Куликов Н. В., Тимофеева Н. А., Шишенкова Л. К. О радиочувствительности развивающихся эмбрионов линя (*Tinca tinca* L.).— Радиобиология, 1968, т. 8, вып. 2.
- Неустроев Г. В., Подымахин В. Н. О скорости развития икры семги (*Salmo salar* L.) в условиях радиоактивного загрязнения водной среды Sr^{90} — Y^{90} .— Радиобиология, 1966, т. 6, вып. 2.
- Поликарпов Г. Г. Радиозология морских организмов. М., Атомиздат, 1964.
- Поликарпов Г. Г. Некоторые биологические аспекты радиоактивного загрязнения морей и океанов.— Радиоактивная загрязненность морей и океанов. М., «Наука», 1964а.
- Поликарпов Г. Г., Иванов В. Н. О действии Sr^{90} — Y^{90} на развивающуюся икру хамсы.— Вопросы ихтиологии, 1961, т. 1, вып. 3(20).

Поликарпов Г. Г., Иванов В. Н. Повреждающее действие стронция-90 — иттрия-90 на ранний период развития барабули, зеленушки, ставриды и хамсы.— Докл. АН СССР, 1962, т. 144, № 1.

Телитченко М. М. Хроническое влияние малых доз U^{238} , Th^{232} и Sr^{89} на ряд поколений *Daphnia magna* Straus.— Научные доклады высшей школы, 1958, Биол. науки, № 1.

Тимофеева-Ресовская Е. А. Распределение радионуклидов по основным компонентам пресноводных водоемов. Труды Ин-та биол. УФАИ СССР, 1963, вып. 30.

Федоров А. Ф., Подымахин В. Н., Шитенко Н. Д., Чумаченко В. В. Воздействие слабых радиоактивных загрязнений воды на развитие морской камбалы (*Pleuronecta platessa* L.).— Вопросы ихтиологии, 1964, т. 4, вып. 3.

Blaylock B. G. Cytogenetic study of natural population of chironomus inhabiting an area contaminated by radioactive waste. Disposal of radioactive wastes into seas, oceans and surface waters.— Internat. atomic energy agency, Vienna, 1966.

Brown V. M., Templeton W. L. Resistance of fish embryos to chronic irradiation.— Nature, 1964, v. 203, 4951.

УДК 577.391

Н. А. ТИМОФЕЕВА, Л. К. АЛЬШИЦ

ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ ИКРЫ ЩУКИ (*Esox lucius* L.)

В связи с опасностью загрязнения водоемов радиоактивными изотопами большое значение приобретают радиобиологические исследования на рыбах (Беляева, Покровская, 1958, 1959; Головинская, Ромашов, 1958; Нейфах, Ротт, 1958). Все эти исследования проведены, в основном, с однократным внешним облучением. Вопросу же биологического действия хронического облучения малыми дозами за счет загрязнения среды обитания радиоактивными изотопами в литературе почти не уделяется внимания. Немногочисленные данные по этому вопросу противоречивы и не позволяют сделать определенных выводов. Так, одни авторы отмечают, что в присутствии в воде небольших количеств излучателей (порядка 10^{-10} — 10^{-8} кюри/л) повышается процент гибели эмбрионов на ранних стадиях развития и процент вылупления аномальных предличинок (Иванов, 1965; Поликарпов, Иванов, 1961, 1962; Поликарпов, 1964; Поликарпов, Гамезо, 1966), другие такой эффект не обнаружили (Куликов, Тимофеева, Шищенко, 1968; Федорова, 1963; Brown а. Templeton, 1964). Исходя из сказанного выше, дальнейшие исследования в этом направлении представляют несомненный интерес.

В настоящей работе приводятся экспериментальные данные по действию хронического облучения на развитие икры щуки *Esox lucius* L.

Материалом исследования служила искусственно оплодотворенная икра. Зрелые половые продукты получали от производителей, отловленных на естественных нерестилищах. Методика проведения опытов сводилась к следующему. Оплодотворенную икру помещали в чашки Коха с озерной водой. В качестве излучателя в воду добавляли радиостронций, концентрация кото-

рого варьировала от 10^{-9} до 10^{-4} кюри/л. Каждый вариант опыта ставили в трех повторностях. Инкубация икры проходила в лабораторных условиях при температуре $+20$ — 22° . В качестве оценки эффекта облучения учитывали в контрольных и опытных вариантах следующие показатели: процент вылупления предличинок, сроки начала и продолжительности выклева, количество аномальных предличинок среди вылупившихся, выживаемость предличинок в течение первых 10 дней и процент хромосомных аномалий в клетках эмбрионов.

В табл. 1 приведены данные опыта по действию растворов радиостронция разной концентрации на развитие икры щуки. Как показали результаты исследования, количество погибших

Таблица 1

Влияние содержания радиостронция в воде на развитие икры щуки

Концентрация стронция-90 в воде, кюри/л	Общее колич. икры, шт.	Выклюнувшиеся предличинки					
		Всего		Нормальные		Аномальные	
		Число	%	Число	%	Число	%
Контроль	445	322	$73 \pm 2,16$	289	89,8	33	$10,2 \pm 1,88$
10^{-9}	400	296	$74 \pm 2,16$	241	86,5	55	$13,5 \pm 2,00$
10^{-8}	316	228	$72 \pm 2,52$	204	89,5	24	$10,5 \pm 2,01$
10^{-7}	369	245	$66 \pm 2,8$	208	85,0	37	$15,0 \pm 2,28$
10^{-6}	318	254	$80 \pm 2,22$	223	88,0	31	$12,0 \pm 2,02$
10^{-4}	257	284	$75 \pm 2,05$	240	79,0	40	$21,0 \pm 4,08$

эмбрионов за время инкубационного периода не зависело от концентрации радиостронция в растворе; процент вылупившихся предличинок как в опытных, так и контрольных вариантах был практически одной величины. Не наблюдалось заметной разницы (за исключением последнего варианта) и по количеству вылупившихся аномальных предличинок. В варианте, где концентрация радиостронция была 10^{-4} кюри/л, количество аномальных предличинок увеличилось по сравнению с контролем в два раза. Визуальные наблюдения за развитием икры щуки не показали каких-либо отклонений в скорости развития эмбрионов вплоть до наступления сроков вылупления предличинок. Во всех вариантах опыта выживаемость предличинок в течение первых 10 дней после их вылупления была также одинаковой.

Наряду с наблюдениями за развитием икры щуки и изучением морфологических нарушений в развитии эмбрионов нами был проведен цитологический анализ зародышей щуки на стадии поздней бластулы. Развивающуюся икру всех вариантов опыта отбирали и фиксировали в смеси Карнуа. Для цитологического анализа готовили временные давленные препараты, которые окрашивали ацетоорсеином. Препарат готовили из двух зародышей. При просмотре препаратов учитывали поврежденные (с мостами и фрагментами) и неповрежденные клетки,

УДК 577.391

Н. А. ТИМОФЕЕВА, Л. К. АЛЬШИЦ

ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ ИКРЫ ЩУКИ (*Esox lucius* L.)

В связи с опасностью загрязнения водоемов радиоактивными изотопами большое значение приобретают радиобиологические исследования на рыбах (Беляева, Покровская, 1958, 1959; Головинская, Ромашов, 1958; Нейфах, Ротт, 1958). Все эти исследования проведены, в основном, с однократным внешним облучением. Вопросу же биологического действия хронического облучения малыми дозами за счет загрязнения среды обитания радиоактивными изотопами в литературе почти не уделяется внимания. Немногочисленные данные по этому вопросу противоречивы и не позволяют сделать определенных выводов. Так, одни авторы отмечают, что в присутствии в воде небольших количеств излучателей (порядка 10^{-10} — 10^{-8} кюри/л) повышается процент гибели эмбрионов на ранних стадиях развития и процент вылупления аномальных предличинок (Иванов, 1965; Поликарпов, Иванов, 1961, 1962; Поликарпов, 1964; Поликарпов, Гамезо, 1966), другие такой эффект не обнаружили (Куликов, Тимофеева, Шищенко, 1968; Федорова, 1963; Brown а. Templeton, 1964). Исходя из сказанного выше, дальнейшие исследования в этом направлении представляют несомненный интерес.

В настоящей работе приводятся экспериментальные данные по действию хронического облучения на развитие икры щуки *Esox lucius* L.

Материалом исследования служила искусственно оплодотворенная икра. Зрелые половые продукты получали от производителей, отловленных на естественных нерестилищах. Методика проведения опытов сводилась к следующему. Оплодотворенную икру помещали в чашки Коха с озерной водой. В качестве излучателя в воду добавляли радиостронций, концентрация кото-

рого варьировала от 10^{-9} до 10^{-4} кюри/л. Каждый вариант опыта ставили в трех повторностях. Инкубация икры проходила в лабораторных условиях при температуре $+20$ — 22° . В качестве оценки эффекта облучения учитывали в контрольных и опытных вариантах следующие показатели: процент вылупления предличинок, сроки начала и продолжительности выклева, количество аномальных предличинок среди вылупившихся, выживаемость предличинок в течение первых 10 дней и процент хромосомных аномалий в клетках эмбрионов.

В табл. 1 приведены данные опыта по действию растворов радиостронция разной концентрации на развитие икры щуки. Как показали результаты исследования, количество погибших

Таблица 1

Влияние содержания радиостронция в воде на развитие икры щуки

Концентрация стронция-90 в воде, кюри/л	Общее колич. икры, шт.	Выклюнувшиеся предличинки					
		Всего		Нормальные		Аномальные	
		Число	%	Число	%	Число	%
Контроль	445	322	$73 \pm 2,16$	289	89,8	33	$10,2 \pm 1,88$
10^{-9}	400	296	$74 \pm 2,16$	241	86,5	55	$13,5 \pm 2,00$
10^{-8}	316	228	$72 \pm 2,52$	204	89,5	24	$10,5 \pm 2,01$
10^{-7}	369	245	$66 \pm 2,8$	208	85,0	37	$15,0 \pm 2,28$
10^{-6}	318	254	$80 \pm 2,22$	223	88,0	31	$12,0 \pm 2,02$
10^{-4}	257	284	$75 \pm 2,05$	240	79,0	40	$21,0 \pm 4,08$

эмбрионов за время инкубационного периода не зависело от концентрации радиостронция в растворе; процент вылупившихся предличинок как в опытных, так и контрольных вариантах был практически одной величины. Не наблюдалось заметной разницы (за исключением последнего варианта) и по количеству вылупившихся аномальных предличинок. В варианте, где концентрация радиостронция была 10^{-4} кюри/л, количество аномальных предличинок увеличилось по сравнению с контролем в два раза. Визуальные наблюдения за развитием икры щуки не показали каких-либо отклонений в скорости развития эмбрионов вплоть до наступления сроков вылупления предличинок. Во всех вариантах опыта выживаемость предличинок в течение первых 10 дней после их вылупления была также одинаковой.

Наряду с наблюдениями за развитием икры щуки и изучением морфологических нарушений в развитии эмбрионов нами был проведен цитологический анализ зародышей щуки на стадии поздней бластулы. Развивающуюся икру всех вариантов опыта отбирали и фиксировали в смеси Карнуа. Для цитологического анализа готовили временные давленные препараты, которые окрашивали ацетоорсеином. Препарат готовили из двух зародышей. При просмотре препаратов учитывали поврежденные (с мостами и фрагментами) и неповрежденные клетки,

УДК 577.391

Н. А. ТИМОФЕЕВА, Л. К. АЛЬШИЦ

ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ ИКРЫ ЩУКИ (*Esox lucius* L.)

В связи с опасностью загрязнения водоемов радиоактивными изотопами большое значение приобретают радиобиологические исследования на рыбах (Беляева, Покровская, 1958, 1959; Головинская, Ромашов, 1958; Нейфах, Ротт, 1958). Все эти исследования проведены, в основном, с однократным внешним облучением. Вопросу же биологического действия хронического облучения малыми дозами за счет загрязнения среды обитания радиоактивными изотопами в литературе почти не уделяется внимания. Немногочисленные данные по этому вопросу противоречивы и не позволяют сделать определенных выводов. Так, одни авторы отмечают, что в присутствии в воде небольших количеств излучателей (порядка 10^{-10} — 10^{-8} кюри/л) повышается процент гибели эмбрионов на ранних стадиях развития и процент вылупления аномальных предличинок (Иванов, 1965; Поликарпов, Иванов, 1961, 1962; Поликарпов, 1964; Поликарпов, Гамезо, 1966), другие такой эффект не обнаружили (Куликов, Тимофеева, Шищенко, 1968; Федорова, 1963; Brown а. Templeton, 1964). Исходя из сказанного выше, дальнейшие исследования в этом направлении представляют несомненный интерес.

В настоящей работе приводятся экспериментальные данные по действию хронического облучения на развитие икры щуки *Esox lucius* L.

Материалом исследования служила искусственно оплодотворенная икра. Зрелые половые продукты получали от производителей, отловленных на естественных нерестилищах. Методика проведения опытов сводилась к следующему. Оплодотворенную икру помещали в чашки Коха с озерной водой. В качестве излучателя в воду добавляли радиостронций, концентрация кото-

рого варьировала от 10^{-9} до 10^{-4} кюри/л. Каждый вариант опыта ставили в трех повторностях. Инкубация икры проходила в лабораторных условиях при температуре $+20$ — 22° . В качестве оценки эффекта облучения учитывали в контрольных и опытных вариантах следующие показатели: процент вылупления предличинок, сроки начала и продолжительности выклева, количество аномальных предличинок среди вылупившихся, выживаемость предличинок в течение первых 10 дней и процент хромосомных аномалий в клетках эмбрионов.

В табл. 1 приведены данные опыта по действию растворов радиостронция разной концентрации на развитие икры щуки. Как показали результаты исследования, количество погибших

Таблица 1

Влияние содержания радиостронция в воде на развитие икры щуки

Концентрация стронция-90 в воде, кюри/л	Общее колич. икры, шт.	Выклюнувшиеся предличинки					
		Всего		Нормальные		Аномальные	
		Число	%	Число	%	Число	%
Контроль	445	322	$73 \pm 2,16$	289	89,8	33	$10,2 \pm 1,88$
10^{-9}	400	296	$74 \pm 2,16$	241	86,5	55	$13,5 \pm 2,00$
10^{-8}	316	228	$72 \pm 2,52$	204	89,5	24	$10,5 \pm 2,01$
10^{-7}	369	245	$66 \pm 2,8$	208	85,0	37	$15,0 \pm 2,28$
10^{-6}	318	254	$80 \pm 2,22$	223	88,0	31	$12,0 \pm 2,02$
10^{-4}	257	284	$75 \pm 2,05$	240	79,0	40	$21,0 \pm 4,08$

эмбрионов за время инкубационного периода не зависело от концентрации радиостронция в растворе; процент вылупившихся предличинок как в опытных, так и контрольных вариантах был практически одной величины. Не наблюдалось заметной разницы (за исключением последнего варианта) и по количеству вылупившихся аномальных предличинок. В варианте, где концентрация радиостронция была 10^{-4} кюри/л, количество аномальных предличинок увеличилось по сравнению с контролем в два раза. Визуальные наблюдения за развитием икры щуки не показали каких-либо отклонений в скорости развития эмбрионов вплоть до наступления сроков вылупления предличинок. Во всех вариантах опыта выживаемость предличинок в течение первых 10 дней после их вылупления была также одинаковой.

Наряду с наблюдениями за развитием икры щуки и изучением морфологических нарушений в развитии эмбрионов нами был проведен цитологический анализ зародышей щуки на стадии поздней бластулы. Развивающуюся икру всех вариантов опыта отбирали и фиксировали в смеси Карнуа. Для цитологического анализа готовили временные давленные препараты, которые окрашивали ацетоорсеином. Препарат готовили из двух зародышей. При просмотре препаратов учитывали поврежденные (с мостами и фрагментами) и неповрежденные клетки,

УДК 577.391

Н. А. ТИМОФЕЕВА, Л. К. АЛЬШИЦ

ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ ИКРЫ ЩУКИ (*Esox lucius* L.)

В связи с опасностью загрязнения водоемов радиоактивными изотопами большое значение приобретают радиобиологические исследования на рыбах (Беляева, Покровская, 1958, 1959; Головинская, Ромашов, 1958; Нейфах, Ротт, 1958). Все эти исследования проведены, в основном, с однократным внешним облучением. Вопросу же биологического действия хронического облучения малыми дозами за счет загрязнения среды обитания радиоактивными изотопами в литературе почти не уделяется внимания. Немногочисленные данные по этому вопросу противоречивы и не позволяют сделать определенных выводов. Так, одни авторы отмечают, что в присутствии в воде небольших количеств излучателей (порядка 10^{-10} — 10^{-8} кюри/л) повышается процент гибели эмбрионов на ранних стадиях развития и процент вылупления аномальных предличинки (Иванов, 1965; Поликарпов, Иванов, 1961, 1962; Поликарпов, 1964; Поликарпов, Гамезо, 1966), другие такой эффект не обнаружили (Куликов, Тимофеева, Шищенко, 1968; Федорова, 1963; Brown и Templeton, 1964). Исходя из сказанного выше, дальнейшие исследования в этом направлении представляют несомненный интерес.

В настоящей работе приводятся экспериментальные данные по действию хронического облучения на развитие икры щуки *Esox lucius* L.

Материалом исследования служила искусственно оплодотворенная икра. Зрелые половые продукты получали от производителей, отловленных на естественных нерестилищах. Методика проведения опытов сводилась к следующему. Оплодотворенную икру помещали в чашки Коха с озерной водой. В качестве излучателя в воду добавляли радиостронций, концентрация кото-

рого варьировала от 10^{-9} до 10^{-4} кюри/л. Каждый вариант опыта ставили в трех повторностях. Инкубация икры проходила в лабораторных условиях при температуре $+20$ — 22° . В качестве оценки эффекта облучения учитывали в контрольных и опытных вариантах следующие показатели: процент вылупления предличинки, сроки начала и продолжительности выклева, количество аномальных предличинки среди вылупившихся, выживаемость предличинки в течение первых 10 дней и процент хромосомных аномалий в клетках эмбрионов.

В табл. 1 приведены данные опыта по действию растворов радиостронция разной концентрации на развитие икры щуки. Как показали результаты исследования, количество погибших

Таблица 1

Влияние содержания радиостронция в воде на развитие икры щуки

Концентрация стронция-90 в воде, кюри/л	Общее колич. икры, шт.	Выклюнувшиеся предличинки					
		Всего		Нормальные		Аномальные	
		Число	%	Число	%	Число	%
Контроль	445	322	$73 \pm 2,16$	289	89,8	33	$10,2 \pm 1,88$
10^{-9}	400	296	$74 \pm 2,16$	241	86,5	55	$13,5 \pm 2,00$
10^{-8}	316	228	$72 \pm 2,52$	204	89,5	24	$10,5 \pm 2,01$
10^{-7}	369	245	$66 \pm 2,8$	208	85,0	37	$15,0 \pm 2,28$
10^{-6}	318	254	$80 \pm 2,22$	223	88,0	31	$12,0 \pm 2,02$
10^{-4}	257	284	$75 \pm 2,05$	240	79,0	40	$21,0 \pm 4,08$

эмбрионов за время инкубационного периода не зависело от концентрации радиостронция в растворе; процент вылупившихся предличинки как в опытных, так и контрольных вариантах был практически одной величины. Не наблюдалось заметной разницы (за исключением последнего варианта) и по количеству вылупившихся аномальных предличинки. В варианте, где концентрация радиостронция была 10^{-4} кюри/л, количество аномальных предличинки увеличилось по сравнению с контролем в два раза. Визуальные наблюдения за развитием икры щуки не показали каких-либо отклонений в скорости развития эмбрионов вплоть до наступления сроков вылупления предличинки. Во всех вариантах опыта выживаемость предличинки в течение первых 10 дней после их вылупления была также одинаковой.

Наряду с наблюдениями за развитием икры щуки и изучением морфологических нарушений в развитии эмбрионов нами был проведен цитологический анализ зародышей щуки на стадии поздней бластулы. Развивающуюся икру всех вариантов опыта отбирали и фиксировали в смеси Карнуа. Для цитологического анализа готовили временные давленные препараты, которые окрашивали ацетоорсеином. Препарат готовили из двух зародышей. При просмотре препаратов учитывали поврежденные (с мостами и фрагментами) и неповрежденные клетки,

Зависимость поврежденных анафаз и телофаз в поздней бластуле зародышей щуки от концентрации радиостронция в воде

Концентрация стронция-90 в воде, кюри/л	Число исследованных анафаз и телофаз	Поврежденные анафазы и телофазы		Клетки с мостами		Клетки с фрагментами		Кол-ч. мостов		Кол-ч. фрагментов	
		Число	%	Число	%	Число	%	Всего	на 100 клеток	Всего	на 100 клеток
Контроль	500	57	11,4 ± 1,45	6	1,2 ± 0,47	48	9,6 ± 1,32	8	1,6 ± 0,56	61	12,6 ± 1,58
10 ⁻⁹	500	44	8,8 ± 1,27	5	1,0 ± 0,45	42	8,4 ± 1,26	5	1,0 ± 0,45	55	11,0 ± 1,48
10 ⁻⁸	500	55	11,0 ± 1,40	14	2,8 ± 0,70	47	9,4 ± 1,30	15	3,0 ± 1,74	75	15,0 ± 1,74
10 ⁻⁷	500	78	15,6 ± 1,62	7	1,4 ± 0,51	46	9,2 ± 1,27	19	3,8 ± 0,88	111	22,2 ± 2,15
10 ⁻⁶	500	88	17,6 ± 1,70	15	3,0 ± 0,76	88	16,6 ± 1,68	17	3,4 ± 0,82	133	26,6 ± 2,30
10 ⁻⁴	500	142	28,4 ± 2,16	30	6,0 ± 1,07	115	23,0 ± 1,90	37	7,4 ± 1,21	154	31,0 ± 2,70

находящиеся на стадии поздней анафазы и ранней телофазы. Результаты цитологического анализа зародышей щуки, развивавшихся в растворах радиостронция разной концентрации, приведены в табл. 2, в которой показана частота и характер хромосомных aberrаций в процентах от общего числа просмотренных клеток. Как показали данные этого анализа, количество поврежденных клеток у зародышей статистически достоверно увеличивается по сравнению с контролем начиная с концентрации радиостронция 10^{-5} кюри/л, а количество фрагментов на сто клеток — с 10^{-7} кюри/л.

Таким образом, результаты опыта показали, что присутствие радиостронция в воде от 10^{-9} до 10^{-5} кюри/л практически не оказывало заметного действия на развитие икры щуки (гибель икры за время развития, количество аномальных предличинок, сроки начала и продолжительности выклева). Подобные данные при этих концентрациях были получены нами ранее в аналогичных опытах с линем *Tinca tinca* L. (Куликов, Тимофеева, Шишленкова, 1968) и большим прудовиком *Limnaea stagnalis* (Куликов, Тимофеева, Любимова, 1966). По данным же кариологического анализа зародышей щуки эффект облучения (количество фрагментов на сто клеток) был обнаружен начиная с концентрации радиостронция 10^{-7} кюри/л. Степень повреждения ядерных структур была, вероятно, сравнительно мала и не оказывала заметного дей-

ствия на развитие зародышей щуки. Возможно, что радиационные повреждения, полученные зародышами за время их развития в радиоактивных растворах, могут проявиться на более поздних, постэмбриональных стадиях развития.

ВЫВОДЫ

1. Инкубация икры щуки в водных растворах радиостронция концентрацией от 10^{-9} до 10^{-5} кюри/л не оказывала заметного действия на общий выход личинок и на появление морфологически аномальных предличинок.

2. Выживаемость опытных предличинок в течение десяти дней после их вылупления не отличалась от контроля.

3. По данным кариологического анализа, эффект облучения был обнаружен начиная с концентрации радиостронция 10^{-7} кюри/л.

ЛИТЕРАТУРА

- Беляева В. Н., Покровская Г. Л. Нарушения митоза при рентгенизации ранних стадий развития икры вьюна.— Докл. АН СССР, 1958, т. 119, № 2.
- Беляева В. Н., Покровская Г. Л. Изменение радиочувствительности вьюна в ходе первых эмбриональных митозов.— Докл. АН СССР, 1959, т. 125, № 3.
- Головинская К. А., Ромашов Д. Д. Действие ионизирующей радиации на развитие и размножение рыб.— Вопросы ихтиологии, 1958, вып. 11.
- Иванов В. Н. Некоторые особенности радиозкологии морских рыб на ранних этапах онтогенеза. Автореф. канд. дисс. Севастополь, 1965.
- Куликов Н. В., Тимофеева Н. А., Любимова С. А. Влияние ионизирующих излучений на ранние стадии развития *Limnaea stagnalis*.— Радиобиология, 1966, т. 6, вып. 6.
- Куликов Н. В., Тимофеева Н. А., Шишленкова Л. К. О радиочувствительности развивающихся эмбрионов линя (*Tinca tinca* L.) Радиобиология, 1968, т. 8, вып. 2.
- Нейфах А. А., Ротт Н. Н. Исследование путей реализации радиационных повреждений в раннем развитии рыб.— Докл. АН СССР, 1958, т. 119, № 2.
- Поликарпов Г. Г. Радиозкология морских организмов. М., Атомиздат, 1964.
- Поликарпов Г. Г., Гамезо Н. В. О радиочувствительности икры морского ерша и морского карася.— Гидробиол. ж., 1966, т. 2, № 2.
- Поликарпов Г. Г., Иванов В. Н. О действии Sr^{90} — Y^{90} на развивающуюся икру хамсы.— Вопросы ихтиологии, 1961, т. 1, вып. 30(20).
- Поликарпов Г. Г., Иванов В. Н. Повреждающее действие стронция-90 — иттрия-90 на ранний период развития барабули, зеленушки, ставриды, хамсы.— Докл. АН СССР, 1962, т. 144, № 1.
- Ромашов Д. Д., Беляева В. Н., Головинская К. А., Прокофьева-Бельговская А. А. Радиационная генетика. М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Федорова Г. В. О действии Sr^{90} на икру и личинки сига-лудого.— Вестн. ЛГУ, сер. биол., 1963, № 3, вып. 1.
- Brown V. W., Templeton W. L. Resistance of fish embryos to chronic irradiation.— Nature, 1964, v. 203, № 4951.

УДК 577.391

Л. К. АЛЬШИЦ, Н. А. ТИМОФЕЕВА,
Н. В. КУЛИКОВ

**ВЛИЯНИЕ ГАММА-ЛУЧЕЙ КОБАЛЬТА-60
НА ЭМБРИОНАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ ЩУКИ (*Esox lucius* L.)**

Известно, что ионизирующие излучения оказывают существенное влияние на развитие живых организмов. Исследования на яйцах морского ежа (Henshaw a. Coehn, 1940), на некоторых видах насекомых (Carlson, 1941), а также с икрой рыб и амфибий (Rugh, 1954; Welander, 1954) приводят к одному общему выводу: радиочувствительность организмов снижается с увеличением возраста эмбрионов (Welander, 1954). Критерием радиочувствительности в большинстве подобных исследований чаще всего служит ЛД₅₀ к моменту вылупления личинок. Следует отметить, однако, что развивающаяся икра некоторых рыб является удобным объектом для цитогенетических исследований, поэтому в ряде случаев для характеристики радиочувствительности организма наряду с ЛД₅₀ можно применить более чувствительный критерий — хромосомные aberrации.

Настоящая работа является продолжением исследований радиочувствительности пресноводных организмов, проводимых в нашей лаборатории (Куликов, Тимофеева, Любимова, 1966; Куликов, Тимофеева, Шишенкова, 1968). Изучалась радиочувствительность эмбрионов одного из самых распространенных представителей пресноводных рыб — щуки — с применением таких радиобиологических критериев, как общий выход вылупившихся из икры предличинок, выход предличинок с различными морфологическими аномалиями и количество хромосомных aberrаций в зависимости от дозы однократного внешнего облучения.

Икру получали от половозрелых самок во время нереста, на оз. Малое Миассово (Южный Урал). Оплодотворение производили сухим способом, смешивая икру от одной самки с семенной жидкостью от двух или трех самцов. Сразу после оплодотворения (до начала первого дробления) икру облучали гамма-

лучами кобальта-60 дозами 25, 50, 100, 200, 400 и 800 p при мощности дозы 36 p/мин. Необлученную (контроль) и облученную икру помещали в чашки Коха с чистой озерной водой и в трех повторностях инкубировали до стадии вылупления предличинок. Один опыт проведен при температуре +10°C, близкой к природным условиям, второй опыт, с другой партией икры — при температуре +20°C. В разных вариантах опытов учитывали общее число выклюнувшихся предличинок, число предличинок с морфологическими аномалиями (искривление позвоночника, недоразвитость хвостового плавника) и число клеток с хромосомными aberrациями.

Для цитологического анализа икру фиксировали на стадии поздней бластулы смесью Карнуа: 6 частей спирта, 3 части уксусной кислоты и 1 часть хлороформа. Через 15 мин после помещения в фиксирующий раствор оболочки икринок прокалывали и производили смену фиксатора; через 3 ч после начала фиксации икру помещали в 70%-ный этиловый спирт для хранения.

Количественный учет хромосомных aberrаций производили на давленных препаратах, окрашенных уксуснокислым ацетолакмидом. Перед окраской отпрепарированные зародышевые диски помещали для мацерации на 10 мин в 30%-ный раствор молочной кислоты. Из окрашенных таким образом зародышей готовили временные давленные препараты, которые удобны тем, что в них все клетки зародышевой ткани расположены в один слой и не содержат артефактов в виде фрагментов, возникающих при резке микротомным ножом. На каждом препарате просчитывали по 50 анафаз. Определяли процент поврежденных клеток, при этом поврежденной считали любую, которая содержала хотя бы один мост или фрагмент.

В табл. 1 приведены данные, характеризующие выход предличинок из облученной икры щуки, инкубированной при температуре +10°. Видно, что в этих условиях опыта относительный выход предличинок заметно снижается по сравнению с контро-

Таблица 1

Влияние облучения на ранние стадии эмбриогенеза щуки при температуре воды 10°

Доза, p	Колич. облученной икры, шт.	Вылупившиеся предличинки					
		Всего		Нормальные		Уродливые	
		Число	%	Число	%	Число	%
К	488	343	71,0±2,04	311	90,7±1,62	32	9,30±1,62
25	322	251	78,7±1,93	235	93,6±1,55	16	6,38±1,53
50	452	347	77,0±2,32	318	91,7±1,56	29	8,3±1,95
100	274	182	68,0±2,82	170	93,4±1,90	12	6,6±1,82
200	302	145	47,5±2,76	128	88,3±2,84	17	11,7±2,68
400	218	73	33,6±3,16	143	59,8±1,70	30	41,0±5,79
800	229						

Икра погибла на стадии ранней гаструлы

лем лишь при дозах облучения свыше 100 p. Примерно в том же диапазоне доз отмечается и повышение числа уродливых форм. Доза 800 p оказалась абсолютно летальной, эмбрионы здесь погибали на стадии ранней гастрюлы.

В опытах при температуре +20° снижение общего выхода предличинок наблюдается при той же дозе (200 p), однако процент уродливых форм увеличен по сравнению с контролем даже при дозе 50 p (табл. 2). В этих условиях, в отличие от первого опыта, абсолютно летальной оказалась вдвое меньшая доза облучения (400 p), хотя эмбрионы здесь погибали на более поздней стадии развития.

Таблица 2

Влияние облучения на ранние стадии эмбриогенеза щуки при температуре воды +20°

Доза, p	Кол-во облученной икры, шт.	Вылупившиеся личинки					
		Всего		Нормальные		Уродливые	
		Число	%	Число	%	Число	%
К	207	146	70,7 ± 3,14	131	89,0 ± 2,55	15	10,3 ± 2,50
25	394	325	83,0 ± 2,40	275	87,7 ± 1,82	40	12,3 ± 1,83
50	278	206	74,0 ± 2,61	173	84,0 ± 2,56	33	16,0 ± 2,70
100	326	249	75,0 ± 2,36	172	72,8 ± 2,85	67	27,2 ± 2,80
200	246	122	49,5 ± 3,30	53	43,0 ± 1,42	69	57,0 ± 4,57
400	305						
800	290						

Икра погибла перед вылуплением
Икра погибла на стадии поздней бластулы

Изменение радиочувствительности икры щуки в зависимости от температуры особенно четко выступает на рис. 1, где представлены данные выклева уродливых предличинок при разных дозах облучения. При температуре +10° число уродливых форм увеличивается лишь при высоких дозах облучения, а при +20° возрастает почти прямо пропорционально дозе, начиная с 50 p. Поскольку при +20° эмбриональное развитие щуки проходило вдвое быстрее, чем при +10°, можно полагать, что наблюдаемое снижение радиочувствительности эмбрионов при меньшей температуре связано с восстановительными процессами, эффективность которых при более растянутом во времени развитии эмбрионов несколько возрастает. Однако этот феномен может быть в какой-то мере связан и с индивидуальными особенностями нерестующих пар, так как опыты были проведены с икрой, полученной от разных самок. В дальнейшем мы надеемся провести такие опыты на икре от одной икры.

На рис. 2 показано, что с повышением дозы облучения увеличивается выход клеток с хромосомными аберрациями. Можно заметить также, что по числу поврежденных митозов различия между контролем и опытом наблюдаются достаточно четко даже

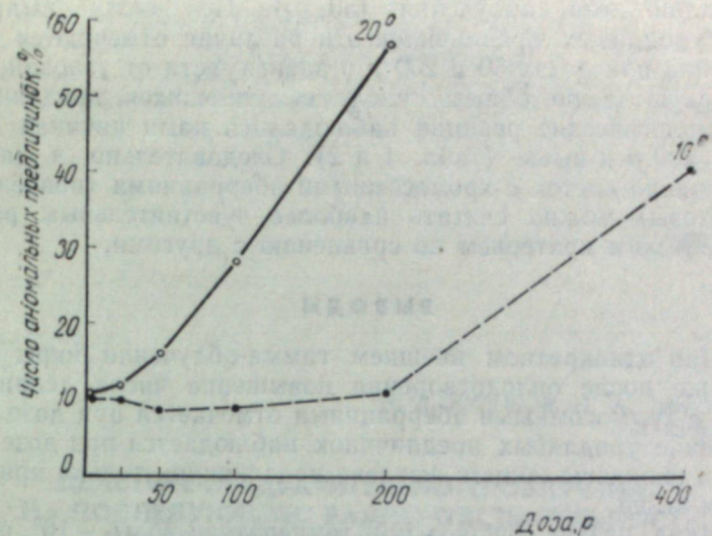


Рис. 1. Выход аномальных предличинок щуки в зависимости от дозы облучения икры, развивающейся при температурах +10 и +20°.

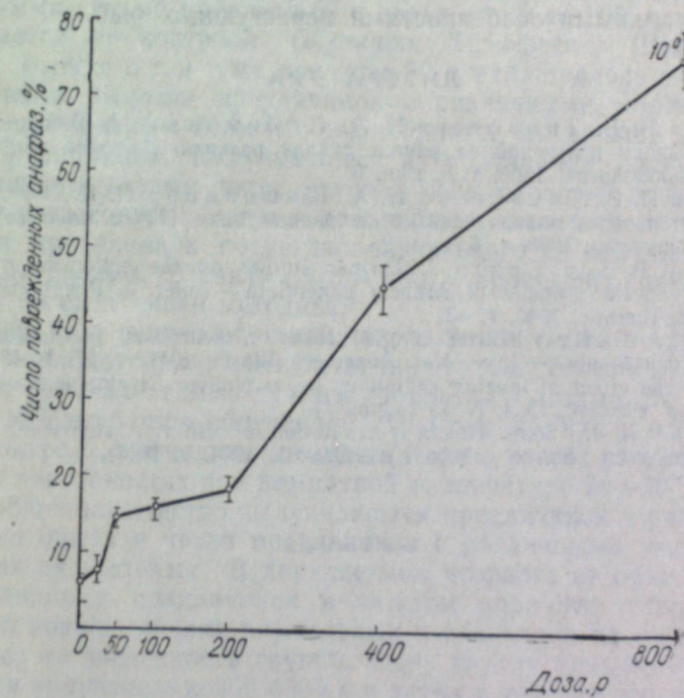


Рис. 2. Число поврежденных анафаз в клетках эмбрионов щуки в зависимости от дозы облучения.

при малой дозе облучения (50 p). По числу вылупившихся уродливых предличинок эти различия отмечаются соответственно при дозах 50 и 200 p в зависимости от условий опыта (рис. 1), а по общему числу вылупившихся предличинок радиобиологические реакции наблюдались нами начиная лишь с дозы 200 p и выше (табл. 1 и 2). Следовательно, в данном случае число клеток с хромосомными aberrациями (поврежденные митозы) можно считать наиболее чувствительным радиобиологическим критерием по сравнению с другими.

ВЫВОДЫ

1. При однократном внешнем гамма-облучении икры щуки сразу же после оплодотворения повышение числа делящихся клеток с хромосомными aberrациями отмечается при дозе 50 p, увеличение уродливых предличинок наблюдается при дозе 50 — 200 p, а снижение общего выклева предличинок только при дозе 200 p и выше.

2. Икра, развивающаяся при температуре воды +10°, оказалась менее чувствительной к облучению, чем икра, развитие которой происходило при температуре +20°.

3. Наблюдавшийся «температурный эффект» связывается либо с процессами восстановления лучевых поражений, либо с индивидуальными особенностями нерестующих рыб.

ЛИТЕРАТУРА

- Куликов Н. В., Тимофеева Н. А., Любимова С. А. Влияние ионизирующих излучений на ранние стадии развития *Limnaea stagnalis*.— Радиобиология, 1966, т. 6, вып. 6.
- Куликов Н. В., Тимофеева Н. А., Шищенкова Л. К. О радиочувствительности развивающихся эмбрионов линя (*Tinca tinca* L.).— Радиобиология, 1968, т. 8, вып. 2.
- Hanshaw P. S. a. Cohen J. Further studies on the action of roentgen rays on the gametes of *Arbacia punctulata*.— Amer. J. Roentgenol., Radium Therapy, 1940, v. 43.
- Carlson J. G. X-ray-induced single breaks in neuroblast chromosomes of the grasshopper.— Pros. Nat. Acad. sci. Wash., 1941, v. 27, N 42.
- Rugh R. The effect of ionizing radiations on amphibian development.— J. Cell. Comp. Physiol., 1954, N 43 (suppl. 1).
- Welander A. D. Some effects x-irradiation of different embryonic stages of the trout (*Salmo gairdnerii*).— Growth, 1954, v. 18(4).



Н. В. КУЛИКОВ, Н. А. ТИМОФЕЕВА,
Л. К. АЛЬШИЦ

ДЕЙСТВИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ПОСЛЕДУЮЩУЮ РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПРЕДЛИЧИНОК ЛИНЯ (*Tinca tinca* L.)

Ранее нами было отмечено, что выживаемость предличинок линя в течение 10 дней после их вылупления из икры, облученной гамма-лучами кобальта-60 в дозах от 25 до 100 p, ничем не отличается от контроля (Куликов, Тимофеева, Шищенкова, 1968). Вместе с тем уже при дозе 50 p наблюдалось некоторое увеличение выклева предличинок с различными морфологическими аномалиями. Можно предположить, что внешне нормальные предличинки, вылупившиеся из облученной сравнительно небольшими дозами икры, несут в себе скрытые лучевые повреждения, которые могут в дальнейшем сказаться на выживаемости предличинок после дополнительного их облучения массивными дозами. В связи с этим нами проведены специальные опыты по следующей методике.

Икру, полученную от одной половозрелой самки во время нереста, оплодотворяли искусственно сухим способом и через 30 мин облучали гамма-лучами кобальта-60 дозами 25, 50, 100 и 250 p. Инкубацию облученной икры так же, как и необлученной контроль, проводили в чашках Коха с чистой озерной водой в двух повторностях при комнатной температуре 20—23°. Учитывали общее количество вылупившихся предличинок в разных вариантах опыта и число предличинок с различными морфологическими аномалиями. В двухдневном возрасте из общей массы вылупившихся предличинок в каждом варианте отбирали по 200 шт. внешне вполне нормальных и разделяли их на две одинаковые по численности группы. Одну группу предличинок подвергали облучению дозой 4000 p и затем в течение последующих 10 дней учитывали их выживаемость. Вторая группа не подвергалась дополнительному облучению и служила своего рода кон-

тролем. Выбор дозы в 4000 p для дополнительного облучения обусловлен тем, что меньшая доза (800 p) оказалась для предличинок неэффективной.

По данным нижеследующей таблицы можно отметить, что общий выход предличинок из облученной икры при всех дозах облучения практически не отличается от контроля, хотя число уродливых форм заметно увеличивается даже при дозе 25 p. Следовательно, эту дозу для икры можно считать повреждающей.

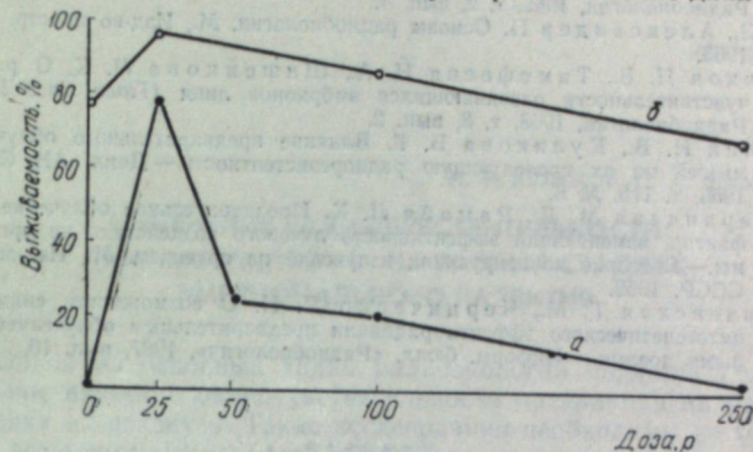
Действие гамма-лучей кобальта-60 на развивающуюся икру линя (икра облучена через 30 мин после оплодотворения, до начала дробления)

Доза облучения, p	Кол-во икринок, шт.	Вылупившиеся предличинки		
		Число	% от чис-ла икринок	% урод-ливых
Контроль	406	328	80,7	1,8
25	543	393	72,4	7,4
50	673	542	80,5	2,4
100	600	462	77,0	4,4
250	506	408	80,6	32,5

В других опытах, при облучении икры на более поздней стадии развития, повышение выхода уродов мы наблюдали при дозе 50 p. Полученные результаты хорошо согласуются с известными представлениями о снижении радиочувствительности эмбрионов на поздних стадиях развития (Куликов, Тимофеева, Шишкова, 1968). На рисунке приведены данные выживаемости предличинок, вылупившихся из икры в разных вариантах опыта. Нижняя кривая (а) отражает выживаемость на десятый день после облучения двухдневных предличинок дозой 4000 p, а верхняя (б) — выживаемость за тот же срок без дополнительного облучения. Видно, что без дополнительного облучения выживаемость снижается лишь у предличинок, которые вылупились из икры, облученной дозой 250 p. В вариантах же с облучением икры дозами 25 и 100 p относительное число выживших предличинок было даже несколько больше, чем в контроле. На фоне дополнительного облучения дозой 4000 p все предличинки, вылупившиеся из контрольной икры, к десятому дню после лучевого воздействия погибли. Примерно такой же эффект наблюдается при облучении икры дозой 250 p. При дозах же 25, 50 и 100 p выживаемость предличинок после дополнительного облучения составляла довольно значительную величину с максимумом (78%) при облучении дозой 25 p. Таким образом, предполагаемые нами скрытые лучевые повреждения, возникающие при облучении икры относительно небольшими дозами, не только не снизили выживаемости вылупившихся из этой икры предличинок после дополнительного их облучения массивной дозой, но, наоборот, оказали на них заметное защитное действие. Подобные защитные эффекты предварительного облучения малыми дозами наблюдались на ряде объектов и другими исследователями, однако механизмы этого интересного явления до сих пор не изучены.

(Лучник, Куликова, 1956; Померанцева, Рамая, 1962; Арбузов, Ломонос, 1962; Бак, Александер, 1963; Роничевская, Черниченко, 1967).

Мы уже отмечали, что облучение икры линя в диапазоне доз 25—100 p несколько увеличивает по сравнению с контролем выживаемость вылупившихся из этой икры предличинок и без всякого дополнительного облучения. Примерно в этом же диапазоне



Радиочувствительность предличинок линя, вылупившихся из облученной икры.

а — выживаемость после дополнительного лучевого воздействия дозой 4000 p, б — без дополнительного облучения.

доз наблюдается и повышение радиорезистентности предличинок к дополнительному лучевому воздействию. В связи с этим вполне вероятно, что радиобиологические эффекты радиостимуляции и повышения радиорезистентности под влиянием предварительного облучения малыми дозами регулируются единым механизмом. Высказанное предположение, однако, требует дополнительной экспериментальной проверки.

ВЫВОДЫ

1. Общий выход предличинок из икры линя, облученной до начала дробления гамма-лучами кобальта-60 в дозах 25, 50, 100 и 250 p, не отличается от контроля, хотя выход уродливых форм увеличивается уже при дозе 25 p.
2. Выживаемость внешне нормальных предличинок, вылупившихся из икры, облученной дозами от 25 до 100 p к 10-му дню после постановки опыта была на 10—20% выше, чем в контроле.
3. Предварительное облучение икры в диапазоне доз 25—100 p повысило резистентность вылупившихся из этой икры предличинок к дополнительному лучевому воздействию дозой 4000 p.
4. Высказывается предположение, что радиобиологические эф-

фекты радиостимуляции и повышения радиорезистентности под влиянием предварительного облучения малыми дозами регулируются единым механизмом.

ЛИТЕРАТУРА

- Арбузов С. Я., Ломонос П. И. О приобретенной радиорезистентности.— Радиобиология, 1962, т. 2, вып. 4.
- Бак З., Александер П. Основы радиобиологии. М., Изд-во иностр. лит., 1963.
- Куликов Н. В., Тимофеева Н. А., Шишенкова Л. К. О радиочувствительности развивающихся эмбрионов линия (*Tinca tinca* L.).— Радиобиология, 1968, т. 8, вып. 2.
- Лучник Н. В., Куликова В. Г. Влияние предварительного облучения мышей на их последующую радиорезистентность.— Докл. АН СССР, 1956, т. 110, № 6.
- Померанцева М. Д., Рамайя Л. К. Предварительное облучение как фактор, изменяющий эффективность лучевого воздействия на организмы.— Действие ионизирующих излучений на организм. М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Роничевская Г. М., Черниченко Л. Н. О возможности снижения цитогенетического эффекта радиации предварительным облучением малыми дозами.— Информ. бюлл. «Радиобиология», 1967, вып. 10.



УДК 577.391

Н. В. КУЛИКОВ, С. А. ФАМЕЛИС

ИЗМЕНЕНИЕ РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ *Lymnaea stagnalis* L. НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ЭМБРИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

Одной из основных задач радиоэкологии является сравнительное изучение радиочувствительности организмов на разных стадиях их развития. Такие исследования необходимы не только для установления наиболее чувствительных и уязвимых звеньев естественных биоценозов в случае радиоактивного загрязнения биосферы, но и для разработки тех разделов общей радиобиологии, в которых изучаются механизмы биологического действия ионизирующей радиации.

Имеющиеся в литературе данные о радиочувствительности организмов в зависимости от стадии их развития показывают, что ранние стадии эмбриогенеза всегда чувствительнее к облучению, чем более поздние (Блинов, 1956; Головинская и Ромашов, 1958; Нейфах, 1959; Фриц-Ниггли, 1961; Bonham a. Welande, 1963; Кузин и Юсифов, 1967). Это отмечено и в нашей лаборатории на яйцах пресноводного моллюска *Lymnaea stagnalis* L. при облучении их на трех промежуточных стадиях развития (Куликов, Тимофеева и Любимова, 1966).

Для более детального изучения изменения радиочувствительности моллюска на ранних стадиях эмбриогенеза нами проведены специальные опыты с более дробным облучением эмбрионов в процессе развития.

Отобранные для опыта кладки моллюска с яйцами на разных стадиях эмбриогенеза (перед дроблением, на стадиях дробления: 2, 2—4, 4, 4—8, 8, 32, 64 бластомера, конец дробления — начало гастрюляции, ранняя, средняя и поздняя гастрюла, трохофора и велигер) облучали гамма-лучами кобальта-60 дозой 300 p при мощности дозы 36 p/мин. После этого их помещали (так же, как и необлученный контроль) на инкубацию в чашки Коха с озерной водой при комнатной температуре (18—20° С). Наблю-

дения за развитием эмбрионов проводили под бинокулярной лупой МБС-1; учитывали гибель эмбрионов в разных вариантах опыта, число эмбрионов с различными морфологическими аномалиями и число вылупившихся нормальных особей. Для определения наличия или отсутствия раковины все уродливые эмбрионы просматривали под микроскопом МБИ-6 в поляризованном свете при скрещенных поляроидах. Опыты проведены в шести повторностях, в каждом варианте использовано от 130 до 1600 яиц.

Таблица 1

Радиочувствительность эмбрионов *Lymnaea stagnalis* L. на разных стадиях эмбрионального развития (однократное облучение γ -лучами Co^{60} дозой 300 p)

Стадии развития, на которых облучались эмбрионы	Общее колич. яиц (сумма по опытам)	Колич. пораженных яиц (сумма по опытам)	Среднее колич. пораженных эмбрионов, %			Вероятность отсутствия различия между вариантами опыта (P)
			Уродливые	Погибшие	Всего	
Перед дроблением	169	94	42,0	13,6	55,6 \pm 7,5	<0,01
2 blastomera	853	228	18,2	7,8	26,1 \pm 2,9	>0,05
2-4 blastomera	243	74	22,5	7,2	29,7 \pm 5,5	<0,05
4 blastomera	447	206	42,5	9,4	51,9 \pm 4,2	>0,05
4-8 blastomeres	157	94	47,4	13,1	60,5 \pm 7,8	<0,05
8 blastomeres	346	99	27,9	7,5	35,5 \pm 4,2	<0,01
32 blastomera	252	39	11,1	3,7	14,8 \pm 3,8	<0,01
64 blastomera	132	6	1,5	3,1	4,6 \pm 2,9	<0,01
Конец дробления	592	152	19,3	4,7	24,0 \pm 2,8	<0,01
Ранняя гастрюла	619	103	12,7	4,6	17,3 \pm 2,9	<0,05
Средняя гастрюла	801	140	13,1	3,9	17,0 \pm 2,9	>0,05
Поздняя гастрюла	850	170	13,6	2,4	16,0 \pm 2,8	<0,05
Трохофора	203	18	3,9	4,9	8,8 \pm 2,1	<0,05
Велигер	420	18	3,1	1,2	4,3 \pm 1,4	—
Контроль	1646	49	1,6	1,4	3,0 \pm 0,8	—

В табл. 1 и на рис. 1 приведены основные результаты этих опытов, усредненные по всем повторностям. На общем фоне снижения радиочувствительности эмбрионов от ранних стадий развития к более поздним очень четко выделяются три периода повышенной радиочувствительности. Первый пик радиочувствительности как по числу мертвых эмбрионов, так и по числу эмбрионов с различными морфологическими аномалиями соответствует стадии, предшествующей первому делению зиготы, второй пик соответствует переходному периоду от 4 к 8 blastomera, а третий наблюдается в конце дробления и охватывает все стадии гастрюляции. Эти пики радиочувствительности являются, по всей вероятности, отражением тех изменений, которые происходят в зародышевых клетках при переходе их из одной стадии развития в другую. В последнее время они связываются с явле-

ниями трансиндукции ДНК, т. е. с процессами изменения качества и объема информации, необходимой для следующего этапа развития организма (Кузин, Юсифов, 1967).

Все многочисленные лучевые уродства эмбрионов, наблюдавшиеся в наших опытах, можно разделить по морфологическим признакам на следующие три основных типа:

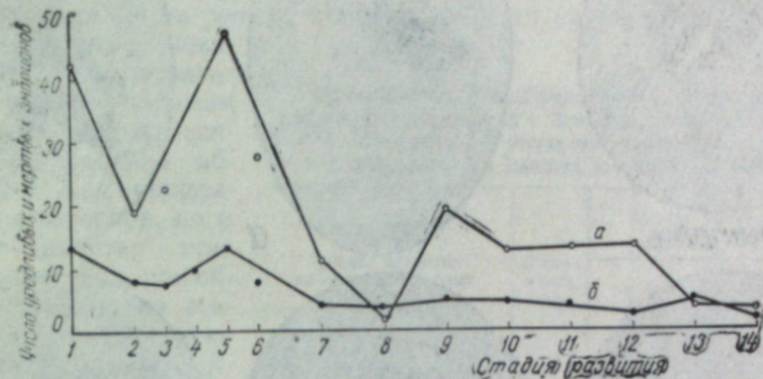


Рис. 1. Радиочувствительность эмбрионов моллюска на разных стадиях развития при облучении дозой 300 p.

а — число уродливых эмбрионов; б — число мертвых эмбрионов. Стадии развития: 1 — перед дроблением; 2-8 — стадии дробления: 2-2; 3-2-4; 4-4; 5-4-8; 6-8; 7-32; 8-64 blastomera; 9 — конец дробления; 10 — ранняя, 11 — средняя; 12 — поздняя гастрюла; 13 — трохофора; 14 — велигер.

1. Эмбрионы с комплексным нарушением развития, у которых сильно недоразвиты производные как наружного (раковина, мантия), так и внутреннего зародышевых листков (отсутствие питательного мешка, уменьшение в нем желтка и другие изменения внутренних органов). Этот тип уродств формируется главным образом при облучении ранних стадий развития, хотя встречается и при облучении более поздних стадий, за исключением стадии велигер (рис. 2, а-в).

2. Эмбрионы, у которых недоразвиты производные внутреннего зародышевого листка, производные же наружного листка не имеют внешне заметных повреждений (рис. 2, г-е). Этот тип уродств также встречается при облучении эмбрионов на разных стадиях развития, но в основном присущ эмбрионам, развившимся из яиц, облученных на стадии велигер. На этой стадии производные эктодермы (раковина, мантия) практически уже полностью сформировались и, следовательно, не могли быть существенно повреждены.

3. Эмбрионы, у которых недоразвиты производные наружного зародышевого листка и достаточно хорошо развиты производные внутренней закладки (рис. 2, ж, з). Такой тип уродств отмечался нами лишь при облучении эмбрионов на переходной ста-



Рис. 2. Типы лучевых уродств эмбрионов большого прудовика. $\times 27,5$.
 а-в — комплексное нарушение развития наружных и внутренних органов; г-е — преимущественное нарушение развития внутренних органов; ж, з — преимущественное нарушение развития производных наружного зародышевого листка.

дни от 4 к 8 бластомерам, когда наблюдается второй пик повышения радиочувствительности.

Все три типа лучевых уродств отличались от контрольных эмбрионов меньшими размерами и уменьшением пигментации тела.

Относительное распределение уродливых эмбрионов моллюска с аномалиями в развитии наружных и внутренних органов при облучении на разных стадиях развития приведено в табл. 2. Эти данные показывают, что в зависимости от стадии облучения изменяется не только общий выход уродливых эмбрионов, но и сам характер этих уродств. Так, при облучении яиц на стадии, предшествующей дроблению, отмечается относительно высокий выход

общего числа уродов, при этом 78% из них характеризуются полным отсутствием раковинки, а 22% — отсутствием питательного мешка. Следовательно, на этой стадии относительно более радиочувствительны те системы, которые ответственны за формирование эктодермальной закладки развивающегося зародыша.

При облучении на стадии 2 бластомеров отмечено относительное снижение общего выхода уродливых эмбрионов и увеличение числа уродов с аномалиями в развитии питательного мешка. Можно полагать, что наблюдаемое на этой стадии снижение общей радиочувствительности эмбрионов сопровождается относительным увеличением радиочувствительности тех систем развивающегося зародыша, которые впоследствии приводят к формированию энтодермальной закладки.

Облучение эмбрионов на переходной стадии от 2 к 4 бластомерам вызывает примерно одинаковое число уродств с аномалиями в развитии внешних и внутренних органов, а при облучении на последующих стадиях дробления опять увеличивается относительное число эмбрионов с аномалиями в развитии внутренних органов.

Таблица 2
 Относительное распределение уродливых эмбрионов прудовика с аномалиями в развитии наружных и внутренних органов при облучении на разных стадиях развития

Стадия развития эмбрионов во время облучения	Общее колич. яиц	Колич. уродливых эмбрионов, %		
		Среднее	Лишенные раковинки	Лишенные питательного мешка
Предшествующая дроблению	169	42,0	77,7	22,3
2 бластомера	853	18,2	37,2	62,8
2—4 бластомера	243	22,5	52,5	47,5
4 бластомера	447	42,5	38,0	62,0
4—8 бластомеров	157	47,4	33,0	67,0
8 бластомеров	346	27,9	32,2	67,8
Конец дробления — начало гастрюляции	592	19,3	9,0	91,0
Гастрюляция	2440	13,1	7,0	93,0
Трохофора	203	3,9	2,0	98,0
Велигер	420	3,1	0,0	100,0

На стадии начала гастрюляции и более поздних стадиях радиочувствительность эмбрионов снова снижается, что выражается в резком уменьшении общего выхода уродов. При этом можно заметить, что подавляющее большинство уродств проявляется здесь в виде нарушений производных внутренней, энтодермальной закладки, а при облучении на стадии велигера этот тип уродств достигает 100%. Такое сильное снижение числа аномалий в формировании раковины моллюсков при облучении на поздних стадиях эмбрионального развития объясняется, по всей вероятности, более быстрой специализацией клеток эктодермы по сравнению с клетками энтодермальной закладки. Клетки же, закончившие специализацию, оказываются значительно более радиорезистентными. Действительно, на стадиях трохофоры и велигера производные эктодермы уже функционируют как наружные покровы, тогда как процессы специализации производных энтодермы на этих стадиях далеко еще не закончены.

Таким образом, анализ лучевых морфологических уродств развивающихся эмбрионов моллюска показал, что при общем повышении радиорезистентности эмбрионов на поздних стадиях развития наблюдается резкое снижение числа аномалий в формировании производных энтодермальной закладки. Это объясняется более быстрой специализацией клеток эктодермы, сопровождающейся повышением их радиорезистентности.

Наконец, следует отметить, что все уродливые эмбрионы оказались не способными выйти из яйцевых капсул и рано или поздно погибали. После выхода из кладки нормальных молодых особей моллюска в окружающую среду целостность коконов нарушалась, и оставшиеся уродцы становились легкой добычей различного рода паразитов. В наших опытах яйца с уродливыми эмбрионами чаще всего поражались грибом.

ВЫВОДЫ

1. На общем фоне снижения радиочувствительности пресноводного моллюска *Lymnaea stagnalis* L. от ранних стадий эмбрионального развития к более поздним отмечено три пика повышенной радиочувствительности эмбрионов. Первый пик соответствует стадии, предшествующей первому делению зиготы. Второй пик соответствует переходному периоду от 4 к 8 бластомерам, а третий отмечается в конце дробления и охватывает все стадии гастрюляции.

2. Анализ морфологических уродств, возникающих в результате облучения эмбрионов на разных стадиях развития, позволяет указать на более высокую радиочувствительность энтодермы по сравнению с эктодермой, что объясняется разной длительностью процессов дифференцирования и специализации клеток этих зародышевых листков.

3. Все лучевые уроды моллюска в дальнейшем оказываются нежизнеспособными.

ЛИТЕРАТУРА

- Блинов В. А. О различной чувствительности эмбрионов амфибий на разных стадиях их развития к действию рентгеновых лучей.— Вопросы радиобиологии. М., Медгиз, 1956.
- Головинская К. А., Ромашов Д. Д. Действие ионизирующей радиации на развитие и размножение рыб.— Вопросы ихтиологии, 1958, вып. 11.
- Кузин А. М., Юсифов Н. И. Радиочувствительность различных стадий развития *Ephestia ruchiella* L. в свете представлений о трансиндукции ДНК.— Радиобиология, 1967, т. 7, вып. 1.
- Куликов Н. В., Тимофеева Н. А., Любимова С. А. Влияние ионизирующих излучений на ранние стадии развития *Lymnaea stagnalis* L.— Радиобиология, 1966, т. 6, вып. 6.
- Нейфах А. А. Использование метода радиационной инактивации ядер для исследования их функции в раннем развитии рыб.— Ж. общ. биол., 1959, т. 20, № 3.
- Фриц-Ниггли Х. Радиобиология, ее основы и достижения. М., Госатомиздат, 1961.
- Bonham K. a. Welander A. D. Increase in radioresistance of fish to lethal doses with advancing embryonic development.— Radioecology. N. Y.— Washington, Reinhold Publ. Corp. a. Amer. Inst. Biol. sci., 1963.



УДК 577.391

С. А. ЛЮБИМОВА, С. А. ФАМЕЛИС

**ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ
НА НАКОПЛЕНИЕ СТРОНЦИЯ-90 И ЦЕЗИЯ-137
НИТЧАТОЙ ВОДОРОСЛЬЮ *Zygnema* sp.**

В исследованиях по радиоэкологии пресноводных растений наметились два основных направления. Первое охватывает работы по изучению накопления радиоактивных изотопов растениями из окружающей среды (Гилева, 1965; Иванов и др., 1965; Тимофеева-Ресовская, 1963), второе — работы по изучению биологического действия внешних источников ионизирующих излучений (Гилева и др., 1964; Касинов, 1966; Marchenco, 1965; Godward, 1960).

Исходя из того, что внешнее облучение оказывает существенное влияние на биологические процессы, происходящие в растениях, а именно изменяет скорость нарастания биомассы, скорость размножения и т. д., интересно было поставить опыт, целью которого являлось бы изучение действия предварительного однократного внешнего облучения на накопление пресноводными растениями радиоизотопов из окружающей среды.

В качестве объекта изучения была взята нитчатая водоросль *Zygnema* sp. Растения подвергались однократному облучению гамма-лучами кобальта-60 при мощности дозы 37,5 р/мин. В связи с тем, что для зигнемы переносимая доза составляет 50 кр (Godward, 1960), нами были взяты для различных вариантов опыта дозы 25, 50 и 75 кр. Облученные растения помещали в чашки Коха, в которые предварительно вносились растворы радиостронция и радиоцезия из расчета ~ 10 мккюри/л воды. В качестве контроля использовались необлученные растения, которые также помещали в радиоактивные растворы. На 2, 4, 8 и 16-й день с начала постановки опыта отбирали пробы воды и

растений на радиометрический анализ. В дни отбора проб растения просматривали под микроскопом и отмечали изменения внешнего вида водоросли.

Отличия во внешнем виде облученных и контрольных водорослей, наиболее ярко проявившиеся на 4-й день, показаны на рис. 1. Растения, получившие дозу 25 кр, почти не отличались от контрольных, однако наблюдалась гибель отдельных клеток в некоторых нитях водоросли. При дозе в 50 кр повреждение и гибель клеток, ведущие к разрыву и укорочению нитей, наблюдались более часто. Облучение дозой в 75 кр вызвало раз-

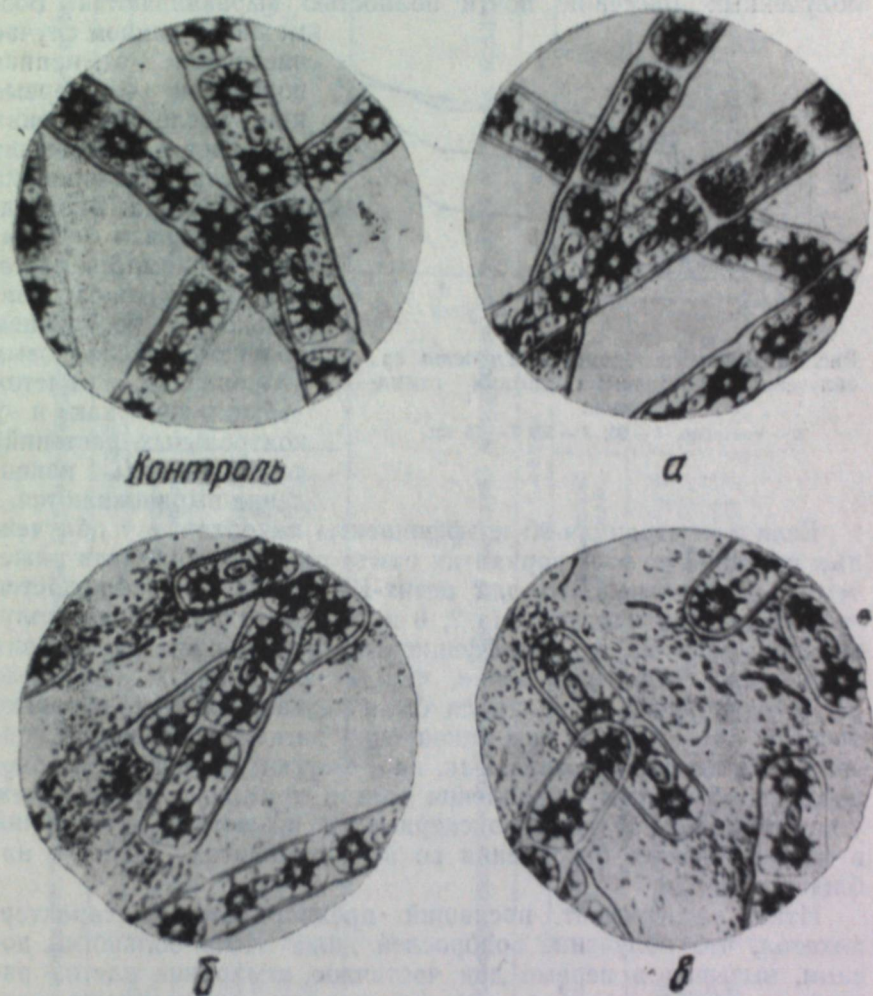


Рис. 1. Внешний вид нитчатой водоросли *Zygnema* sp. на 4-й день после облучения:

а — 25, б — 50, в — 75 кр.

рыв всех нитей водорослей на 2—3-клеточные фрагменты, отделенные друг от друга обрывками погибших клеток.

Коэффициенты накопления стронция-90 водорослью, подвергшейся предварительному облучению дозами 25, 50 и 75 кр, представлены в табл. 1, из которой видно, что в первые дни опыта накопление данного радиоизотопа облученными растениями по сравнению с контрольными идет менее интенсивно. Особенно эта разница стала заметна на 4-й день. На 8-е сутки наблюдается резкое увеличение коэффициентов накопления у облученных растений, а к концу эксперимента (на 16-е сутки) коэффициенты накопления радиостронция у облученных и необлученных растений почти полностью выравниваются.

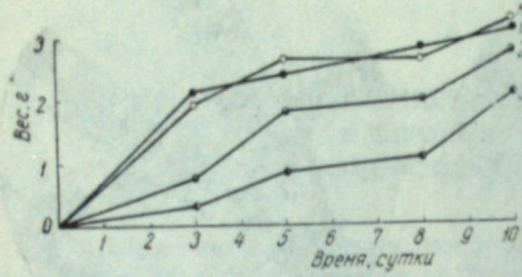


Рис. 2. Динамика биомассы *Zygnema* sp., облученной различными дозами гамма-лучей:

к — контроль, 1 — 25, 2 — 50, 3 — 75 кр.

можно, в данном случае частичное отмирание водоросли в первые дни после облучения вызывает торможение процесса накопления радиоизотопа. Впоследствии в связи с увеличением биомассы растений (рис. 2) и, следовательно, с появлением большого числа новых полноценных клеток (таких же, как и у контрольных растений) коэффициенты накопления выравниваются.

Если для стронция-90 коэффициенты накопления у облученных растений во всех вариантах опыта в первые дни были ниже, чем у контрольных, то для цезия-137 (табл. 2) наблюдается несколько иная картина. На 2, 8 и 16-й день у растений, получивших дозу 25 кр, коэффициенты накопления радиоцезия были даже несколько выше, чем у контрольных. При дозе 50 кр отклонение от контроля было незначительным, и только доза 75 кр в первые дни накопления зигмейой цезия-137 оказала угнетающее действие. Так, на 4-е сутки у облученной водоросли коэффициент накопления был в три раза меньше, чем у контрольной. К концу эксперимента существенных отличий в коэффициентах накопления во всех вариантах опыта не наблюдалось.

Итак, эксперимент, носивший предварительный характер, показал, что облучение водорослей даже очень большими дозами, вызывая в первые дни частичное отмирание клеток растения и нарушение процессов накопления радиоизотопов, впоследствии не оказывает существенного влияния на коэффициенты накопления. В дальнейшем, для более глубокого познания

Таблица 1
Коэффициенты накопления стронция-90 нитчатой водорослью *Zygnema* sp. после предварительного облучения

Вариант опыта	2-е сутки		4-е сутки		8-е сутки		16-е сутки	
	Коэффициент накопления	P	Коэффициент накопления	P	Коэффициент накопления	P	Коэффициент накопления	P
Контроль	292 ± 12,5	—	338 ± 23,4	—	583 ± 5,8	—	901 ± 85,1	—
25 кр	236 ± 11,7	<<0,01	267 ± 35,5	>0,05	420 ± 17,3	<<0,001	652 ± 31,5	<0,02
50 кр	191 ± 6,9	<<0,01	201 ± 20,5	<0,001	444 ± 25,7	<0,001	521 ± 67,3	<0,01
75 кр	161 ± 5,5	<<0,01	135 ± 10,5	<0,001	606 ± 8,8	<0,05	765 ± 40,4	>0,05

Таблица 2
Коэффициенты накопления цезия-137 нитчатой водорослью *Zygnema* sp. после предварительного облучения

Вариант опыта	2-е сутки		4-е сутки		8-е сутки		16-е сутки	
	Коэффициент накопления	P	Коэффициент накопления	P	Коэффициент накопления	P	Коэффициент накопления	P
Контроль	761 ± 85,1	—	1541 ± 32,0	—	2941 ± 30,7	—	4770 ± 219	—
25 кр	861 ± 40,7	>0,05	1342 ± 79,0	<0,05	3260 ± 74,2	<0,002	5625 ± 507	>0,05
50 кр	733 ± 33,4	>0,05	1121 ± 51,2	<<0,001	2296 ± 122,8	<<0,001	5992 ± 722	>0,05
75 кр	517 ± 28,4	<0,05	503 ± 81,0	<<0,001	1553 ± 88,2	<<0,001	4096 ± 746	>0,05

изменений, происходящих в облученных растениях, необходимо изучить динамику численности клеток в различных вариантах опыта с учетом степени поврежденности нитей и клеток водоросли.

ВЫВОДЫ

У пресноводной водоросли *Zygnema* sp. в первые 4 дня после облучения наблюдалось снижение накопления стронция-90 и цезия-137; позднее (8—16-е сутки после облучения) облученные и необлученные растения не отличались по характеру накопления излученных радионуклидов.

ЛИТЕРАТУРА

- Гилева Э. А. О накоплении некоторых химических элементов пресноводными водорослями.— Тр. Ин-та биол. УФАИ СССР, 1965, вып. 45.
- Гилева Э. А., Тимофеева Н. А., Тимофеев-Ресовский Н. В. Влияние хронического облучения на гамма-поле на биомассу пресноводного водорослевого перифитона.— Докл. АН СССР, 1964, т. 156, № 2.
- Иванов В. И., Тимофеева-Ресовская Е. А., Тимофеев-Ресовский Н. В. О накоплении цезия пресноводными растениями.— Тр. Ин-та биол. УФАИ СССР, 1965, вып. 45.
- Касинов В. Б. Скорость размножения и выживаемость ряски *Lemna minor* L. после γ -облучения.— Радиобиология, 1966, т. 6, вып. 4.
- Тимофеева-Ресовская Е. А. Распределение радионуклидов по основным компонентам пресноводных водоемов. Тр. Ин-та биол. УФАИ СССР, 1963, вып. 30.
- Marchenco E. Restoration of irradiated algae after a period of darkness.— Nature, 1965, v. 207, № 4996.
- Godward M. B. E. Resistance of alga to radiation.— Nature, 1960, v. 185, № 4714.



УДК 577.391:634.94

С. В. ТАРЧЕВСКАЯ

ВЛИЯНИЕ ГАММА-ЛУЧЕЙ КОБАЛЬТА-60 НА СЕМЕНА НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ

Открытие путей использования атомной энергии, а также широкое применение радиоактивных изотопов в различных сферах деятельности человека усилило интерес к воздействию ионизирующих излучений на живые организмы. С одной стороны, исследование радиочувствительности растений в период, когда происходит медленное, но постепенное увеличение радиоактивного фона, приобретает общеприкладное значение наравне с другими работами экологического плана. С другой стороны, выяснение причин различной радиочувствительности растений важно для понимания механизма биологического действия и использования этого фактора в интересах человека.

В радиозоологии древесных растений в последнее время определились два направления: 1) изучение радиочувствительности растений при облучении семян и 2) изучение радиочувствительности вегетирующих растений при хроническом облучении на гамма-полях. Большая часть полученных данных касается действия радиации на однолетние растения (Тимофеев-Ресовский и др., 1957; Батыгин и Савин, 1966; Преображенская, 1959, 1967; Янушкевич, 1963). Значительно меньшее количество работ с древесными породами объясняется рядом специфических трудностей, возникающих перед исследователем (большая неоднородность семенного материала, низкая всхожесть семян и т. д.). Тем не менее в настоящее время на ряде тропических растений, нескольких видах ели, сосны, березы, ольхи и других древесных пород описаны некоторые мутации, морфологические изменения органов, сдвиги в обмене веществ и иные отклонения, вызываемые излучением (Gustafsson a. Simak, 1958; Heaslip, 1959; Davis, 1962; Mergen a. Jogansen, 1963; Miller a. Sparrow, 1964; Привалов, 1963, 1964, 1965).

Однако многие вопросы действия ионизирующих излучений

УДК 577.391

Н. А. ТИМОФЕЕВА, Л. К. АЛЬШИЦ

ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ ИКРЫ ЩУКИ (*Esox lucius* L.)

В связи с опасностью загрязнения водоемов радиоактивными изотопами большое значение приобретают радиобиологические исследования на рыбах (Беляева, Покровская, 1958, 1959; Головинская, Ромашов, 1958; Нейфах, Ротт, 1958). Все эти исследования проведены, в основном, с однократным внешним облучением. Вопросу же биологического действия хронического облучения малыми дозами за счет загрязнения среды обитания радиоактивными изотопами в литературе почти не уделяется внимания. Немногочисленные данные по этому вопросу противоречивы и не позволяют сделать определенных выводов. Так, одни авторы отмечают, что в присутствии в воде небольших количеств излучателей (порядка 10^{-10} — 10^{-8} кюри/л) повышается процент гибели эмбрионов на ранних стадиях развития и процент вылупления аномальных предличинок (Иванов, 1965; Поликарпов, Иванов, 1961, 1962; Поликарпов, 1964; Поликарпов, Гамезо, 1966), другие такой эффект не обнаружили (Куликов, Тимофеева, Шищенко, 1968; Федорова, 1963; Brown а. Templeton, 1964). Исходя из сказанного выше, дальнейшие исследования в этом направлении представляют несомненный интерес.

В настоящей работе приводятся экспериментальные данные по действию хронического облучения на развитие икры щуки *Esox lucius* L.

Материалом исследования служила искусственно оплодотворенная икра. Зрелые половые продукты получали от производителей, отловленных на естественных нерестилищах. Методика проведения опытов сводилась к следующему. Оплодотворенную икру помещали в чашки Коха с озерной водой. В качестве излучателя в воду добавляли радиостронций, концентрация кото-

рого варьировала от 10^{-9} до 10^{-4} кюри/л. Каждый вариант опыта ставили в трех повторностях. Инкубация икры проходила в лабораторных условиях при температуре $+20$ — 22° . В качестве оценки эффекта облучения учитывали в контрольных и опытных вариантах следующие показатели: процент вылупления предличинок, сроки начала и продолжительности выклева, количество аномальных предличинок среди вылупившихся, выживаемость предличинок в течение первых 10 дней и процент хромосомных аномалий в клетках эмбрионов.

В табл. 1 приведены данные опыта по действию растворов радиостронция разной концентрации на развитие икры щуки. Как показали результаты исследования, количество погибших

Таблица 1

Влияние содержания радиостронция в воде на развитие икры щуки

Концентрация стронция-90 в воде, кюри/л	Общее колич. икры, шт.	Выклюнувшиеся предличинки					
		Всего		Нормальные		Аномальные	
		Число	%	Число	%	Число	%
Контроль	445	322	$73 \pm 2,16$	289	89,8	33	$10,2 \pm 1,88$
10^{-9}	400	296	$74 \pm 2,16$	241	86,5	55	$13,5 \pm 2,00$
10^{-8}	316	228	$72 \pm 2,52$	204	89,5	24	$10,5 \pm 2,01$
10^{-7}	369	245	$66 \pm 2,8$	208	85,0	37	$15,0 \pm 2,28$
10^{-6}	318	254	$80 \pm 2,22$	223	88,0	31	$12,0 \pm 2,02$
10^{-4}	257	284	$75 \pm 2,05$	240	79,0	40	$21,0 \pm 4,08$

эмбрионов за время инкубационного периода не зависело от концентрации радиостронция в растворе; процент вылупившихся предличинок как в опытных, так и контрольных вариантах был практически одной величины. Не наблюдалось заметной разницы (за исключением последнего варианта) и по количеству вылупившихся аномальных предличинок. В варианте, где концентрация радиостронция была 10^{-4} кюри/л, количество аномальных предличинок увеличилось по сравнению с контролем в два раза. Визуальные наблюдения за развитием икры щуки не показали каких-либо отклонений в скорости развития эмбрионов вплоть до наступления сроков вылупления предличинок. Во всех вариантах опыта выживаемость предличинок в течение первых 10 дней после их вылупления была также одинаковой.

Наряду с наблюдениями за развитием икры щуки и изучением морфологических нарушений в развитии эмбрионов нами был проведен цитологический анализ зародышей щуки на стадии поздней бластулы. Развивающуюся икру всех вариантов опыта отбирали и фиксировали в смеси Карнуа. Для цитологического анализа готовили временные давленные препараты, которые окрашивали ацетоорсеином. Препарат готовили из двух зародышей. При просмотре препаратов учитывали поврежденные (с мостами и фрагментами) и неповрежденные клетки,

на древесные растения остаются неясными или не имеют однозначного ответа, в частности влияние радиации на прорастание семян. Исследования ряда авторов (Ohba, 1961; May a. Posey, 1958; Herbst, 1964; La Croix, 1964; Okunemick и др., 1964), проведенные на облученных семенах различных видов сосны — *Pinus silvestris* L., *P. nigra*, *P. rigida* — показывают, как велики колебания в границах радиочувствительности, в наличии или отсутствии стимуляционного эффекта и в ряде других показателей даже для одних и тех же видов сосны. В ряде работ изучается корреляция между радиочувствительностью вегетирующих растений и семян, предлагаются критерии, по которым можно судить о лучевом поражении растений (Хвостова, 1967).

В нашей лаборатории в течение нескольких лет проводятся работы по изучению радиочувствительности некоторых видов хвойных растений. В настоящей статье приведены результаты опытов по изучению влияния различных доз гамма-лучей кобальта-60 на лабораторную всхожесть семян и развитие проростков *Pinus silvestris* L., *Picea excelsa* Link. и *Larix Sukaczewit* Djil.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В опыте использованы семена хвойных растений урожая 1964 г. Семена сосны и лиственницы собраны в Свердловской, а ели — в Брянской области. Из каждой партии отбирали семена одинаковой плотности, окраски и размера, а затем облучали в августе 1965 г. гамма-лучами кобальтового источника мощностью 2500 p/ч. Необлученные семена (контроль) и семена, облученные дозами от 50 до 10000 p, выкладывали на чашки Петри с влажным песком, покрытым фильтровальной бумагой, и помещали на время проращивания в термостат при 24°С. На протяжении опыта регистрировали число проросших семян для определения всхожести и динамики прорастания. Для каждого из видов окончание опыта определялось отсутствием прорастающих семян. Повторность в опытах — трехкратная, по 100 семян в каждой. Одновременно по той же методике ставили опыт с семенами сосны и ели, в котором через 30 дней с начала опыта измеряли длины корней и гипокотыля проростков. Критерием радиочувствительности семян считали энергию прорастания и всхожесть, а у сеянцев — рост отдельных органов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ

На рис. 1 показана всхожесть семян сосны, ели, лиственницы в конце опыта. Динамика прорастания семян этих видов в течение опыта приведена на рис. 2 только для вариантов с облучением от 1000 до 5000 p; семена, получившие дозы облучения в 50, 100, 250, 500 или 750 p, не отличались от контроля ни по скорости прорастания, ни по всхожести, поэтому динамика их прорастания нами не приводится.

Из рис. 1 видно, что семена сосны в пределах доз облучения от 50 до 1000 p по всхожести не отличаются от контроля. Стимуляционный эффект отсутствует. Угнетение прорастания семян происходит при дозе облучения 2500 p, доза 5000 p практически летальна. ЛД₅₀ лежит в пределах, близких 2500 p.

Подавление прорастания семян ели и лиственницы наблюдается при дозе облучения выше 2500 p; при 4000 p всхожесть семян ели в конце опыта составляет 37,3% от контроля, а лиственницы 87%. ЛД₅₀ в конце опыта для семян ели находится в

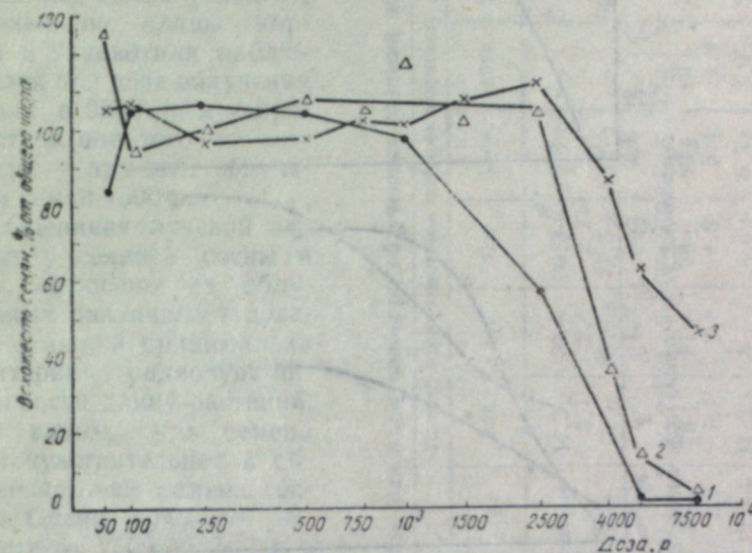


Рис. 1. Влияние дозы облучения на всхожесть семян: 1 — сосны; 2 — ели; 3 — лиственницы.

пределах 4000 p, а у лиственницы 7500 p. Летальными соответственно являются дозы 5000 и 10000 p (рис. 2). При дозе облучения 50 p всхожесть семян ели на 20% больше, чем в контроле.

Нужно отметить, что пониженная энергия прорастания семян не всегда характеризует угнетение их всхожести (табл. 1) и в этом смысле не может служить достаточным критерием радиочувствительности семян.

В настоящее время установлено, что после облучения семян гамма-лучами конечный эффект зависит от процессов восстановления или усугубления повреждений в клетках (Лаура, 1966; Корогодина и Лучник, 1960). Фиксация лучевого поражения на разных стадиях онтогенеза позволяет судить о преобладании первого или второго процесса и в конечном итоге о радиочувствительности вида.

Если сравнить прорастание семян сосны и ели при облуче-

на древесные растения остаются неясными или не имеют однозначного ответа, в частности влияние радиации на прорастание семян. Исследования ряда авторов (Ohba, 1961; May a. Posey, 1958; Herbst, 1964; La Croix, 1964; Okunemick и др., 1964), проведенные на облученных семенах различных видов сосны — *Pinus silvestris* L., *P. nigra*, *P. rigida* — показывают, как велики колебания в границах радиочувствительности, в наличии или отсутствии стимуляционного эффекта и в ряде других показателей даже для одних и тех же видов сосны. В ряде работ изучается корреляция между радиочувствительностью вегетирующих растений и семян, предлагаются критерии, по которым можно судить о лучевом поражении растений (Хвостова, 1967).

В нашей лаборатории в течение нескольких лет проводятся работы по изучению радиочувствительности некоторых видов хвойных растений. В настоящей статье приведены результаты опытов по изучению влияния различных доз гамма-лучей кобальта-60 на лабораторную всхожесть семян и развитие проростков *Pinus silvestris* L., *Picea excelsa* Link. и *Larix Sukaczewit* Djl.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В опыте использованы семена хвойных растений урожая 1964 г. Семена сосны и лиственницы собраны в Свердловской, а ели — в Брянской области. Из каждой партии отбирали семена одинаковой плотности, окраски и размера, а затем облучали в августе 1965 г. гамма-лучами кобальтового источника мощностью 2500 p/ч. Необлученные семена (контроль) и семена, облученные дозами от 50 до 10000 p, выкладывали на чашки Петри с влажным песком, покрытым фильтровальной бумагой, и помещали на время проращивания в термостат при 24°С. На протяжении опыта регистрировали число проросших семян для определения всхожести и динамики прорастания. Для каждого из видов окончание опыта определялось отсутствием прорастающих семян. Повторность в опытах — трехкратная, по 100 семян в каждой. Одновременно по той же методике ставили опыт с семенами сосны и ели, в котором через 30 дней с начала опыта измеряли длины корней и гипокотыля проростков. Критерием радиочувствительности семян считали энергию прорастания и всхожесть, а у сеянцев — рост отдельных органов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ

На рис. 1 показана всхожесть семян сосны, ели, лиственницы в конце опыта. Динамика прорастания семян этих видов в течение опыта приведена на рис. 2 только для вариантов с облучением от 1000 до 5000 p; семена, получившие дозы облучения в 50, 100, 250, 500 или 750 p, не отличались от контроля ни по скорости прорастания, ни по всхожести, поэтому динамика их прорастания нами не приводится.

Из рис. 1 видно, что семена сосны в пределах доз облучения от 50 до 1000 p по всхожести не отличаются от контроля. Стимуляционный эффект отсутствует. Угнетение прорастания семян происходит при дозе облучения 2500 p, доза 5000 p практически летальна. ЛД₅₀ лежит в пределах, близких 2500 p.

Подавление прорастания семян ели и лиственницы наблюдается при дозе облучения выше 2500 p; при 4000 p всхожесть семян ели в конце опыта составляет 37,3% от контроля, а лиственницы 87%. ЛД₅₀ в конце опыта для семян ели находится в

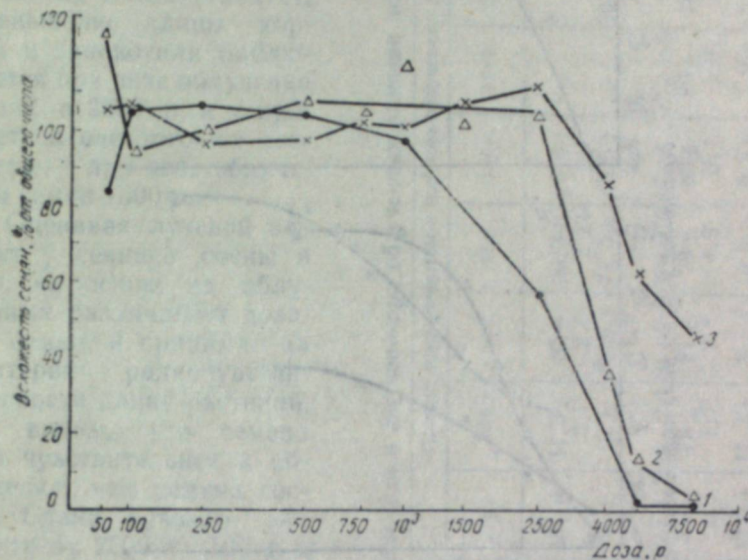


Рис. 1. Влияние дозы облучения на всхожесть семян: 1 — сосны; 2 — ели; 3 — лиственницы.

пределах 4000 p, а у лиственницы 7500 p. Летальными соответственно являются дозы 5000 и 10000 p (рис. 2). При дозе облучения 50 p всхожесть семян ели на 20% больше, чем в контроле.

Нужно отметить, что пониженная энергия прорастания семян не всегда характеризует угнетение их всхожести (табл. 1) и в этом смысле не может служить достаточным критерием радиочувствительности семян.

В настоящее время установлено, что после облучения семян гамма-лучами конечный эффект зависит от процессов восстановления или усугубления повреждений в клетках (Лаура, 1966; Корогодина и Лучник, 1960). Фиксация лучевого поражения на разных стадиях онтогенеза позволяет судить о преобладании первого или второго процесса и в конечном итоге о радиочувствительности вида.

Если сравнить прорастание семян сосны и ели при облуче-

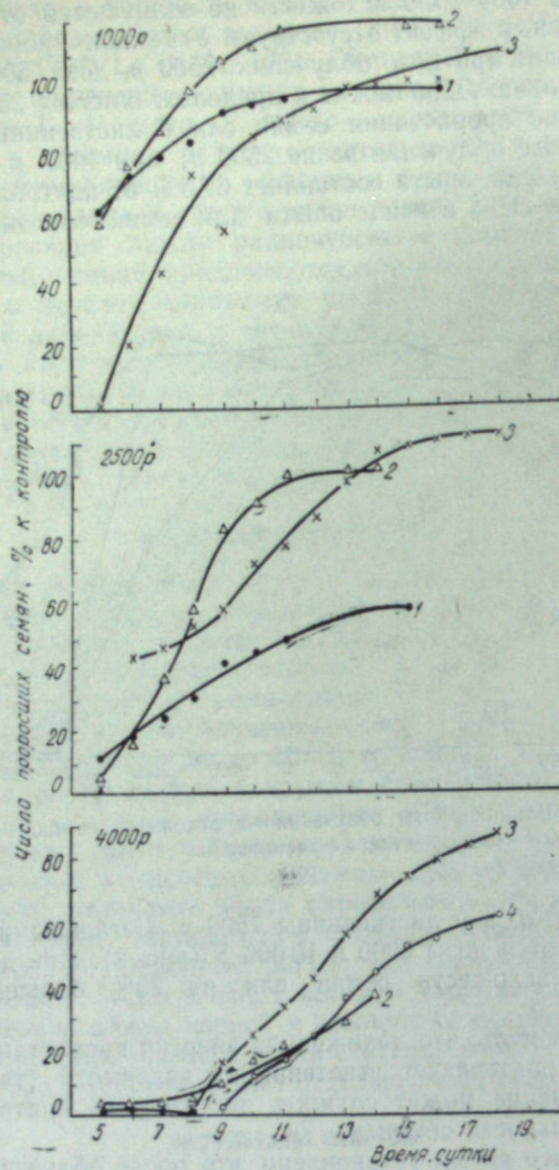


Рис. 2. Динамика прорастания облученных различными дозами гамма-лучей семян сосны, ели и лиственницы.

1 — сосна; 2 — ель; 3, 4 — лиственница (4 — облучение 5000 p).

нии дозой 2500 p (см. рис. 2), то видно, что всхожесть семян сосны в сравнении с контролем падает почти в 2 раза (58%), в то время как у ели она не меняется. У 25-дневных проростков сосны, выросших из облученных семян (табл. 2), уменьшение длины корней и гипокотыля наблюдается при дозе облучения семян в 2500 p, а у проростков ели того же возраста — при дозе облучения семян 1500 p.

Оценивая лучевой эффект у сеянцев сосны и ели, выросших из облученных различными дозами семян, и принимая за критерий радиочувствительности длину растений, мы видим, что семена ели чувствительнее к облучению, чем семена сосны. Сдвиг лучевого эффекта от 2500 к 1500 p в интервале времени от начала прорастания семени до 25-дневного возраста у проростков ели происходит в результате преобладания в клетках и тканях растений процессов угнетения над процессами восстановления. В клетках и тканях растений, развивающихся из облученных семян сосны, эти процессы, по-видимому, находятся в более или менее равновесном состоянии. Следовательно, судьба растений, развивающихся из облученных семян, зависит от способно-

Таблица 1

Энергия прорастания и всхожесть семян сосны, ели и лиственницы, облученных разными дозами гамма-лучей

Растение	Показатель	Процент проросших семян при дозе облучения, p											
		0	50	100	250	500	750	1000	1500	2500	4000	5000	7500
Сосна	Энергия прорастания	41 ± 0,6	46,3 ± 3,1	48 ± 4	44,3 ± 3,1	37 ± 2,6	30,3 ± 2,2	25,6 ± 2,2	—	5 ± 1,2	—	0,3 ± 0,2	0
	Всхожесть	86,6 ± 3,8	72 ± 5,3	91 ± 2,6	92 ± 2,0	89,6 ± 1,5	71,3 ± 3,1	85,6 ± 2,2	—	50,3 ± 5,7	—	1,3 ± 0,6	1,6 ± 1,1
Ель	Энергия прорастания	39 ± 3,22	37 ± 1,5	32 ± 1,7	29 ± 2,1	34 ± 2,2	30 ± 2,3	23 ± 3,0	15 ± 1,5	0	28 ± 2,0	0	0
	Всхожесть	75 ± 2,9	94 ± 2,3	71 ± 1,7	76 ± 1,7	81 ± 2,8	78 ± 1,9	89 ± 3,4	80 ± 1,9	76 ± 1,4	0	0	0
Лиственница	Энергия прорастания	12,2 ± 0,9	23,8 ± 1,2	12,2 ± 0,9	11,2 ± 0,7	8,5 ± 1,3	14,6 ± 1,2	5,3 ± 0,5	7,9 ± 0,8	5,0 ± 0,4	0	0	0
	Всхожесть	84,5 ± 3,1	88,9 ± 2,7	90,8 ± 1,9	82,9 ± 2,6	83,6 ± 2,7	88,3 ± 2,0	85,7 ± 2,1	91,3 ± 2,7	94,6 ± 2,8	73,7 ± 3,0	52,6 ± 2,1	47,5 ± 1,9

Таблица 2

Влияние предпосевного облучения семян сосны и ели на рост отдельных органов 25-дневных сеянцев

Доза, p	Колич. измеренных растений каждого вида	Сосна		Ель	
		Длина, см		Длина, см	
		Гипокотиль	Корень	Гипокотиль	Корень
0	93	3,98±0,1	1,87±0,1	3,98±0,14	1,62±0,05
100	82	3,99±0,1	1,61±0,04	4,79±0,12	1,85±0,04
250	79	4,28±0,1	1,84±0,07	4,00±0,23	1,7±0,09
500	86	3,78±0,13	1,76±0,05	4,09±0,18	1,72±0,08
750	101	4,11±0,09	1,86±0,05	4,04±0,16	1,77±0,06
1000	103	4,04±0,07	1,82±0,05	3,42±0,17	1,34±0,05
2500	79	1,57±0,09	0,90±0,04	2,45±0,11	1,12±0,04

сти тканей к дальнейшей регенерации. Лабораторная всхожесть всегда несколько завышена по сравнению с полевой, так как, несмотря на нарушения в клетках семян при облучении их большими дозами гамма-лучей, рост клеток продолжается и появляется корешок. И хотя семя считается проросшим, оно может оказаться нежизнеспособным и в дальнейшем погибает.

ВЫВОДЫ

1. Семена изученных видов хвойных растений обладают различной радиочувствительностью: сосна ЛД₅₀=2500 p, ЛД₁₀₀=5000 p; ель ЛД₅₀=4000 p, ЛД₁₀₀=7500 p и лиственница ЛД₅₀=7500 p, ЛД₁₀₀=10 000 p.

2. Облучение семян ели дозой 50 p вызвало эффект стимуляции (повышение всхожести).

3. Предпосевное облучение семян вызвало уменьшение длины 25-дневных проростков у ели при 1500 p, у сосны — при 2500 p.

4. Лабораторная всхожесть только приблизительно отражает радиочувствительность семян. Для определения радиочувствительности вида необходимо использование комплекса критериев (полевая всхожесть, выживаемость растений и др.).

ЛИТЕРАТУРА

- Батыгин Н. Ф., Савин В. Н. Использование ионизирующих излучений в растениеводстве. Л., «Колос», 1966.
 Корогодин В. И., Лучник Н. В. К вопросу о природе первичных изменений при лучевом поражении клетки.— Биофизика, 1960, т. 5, вып. 1.
 Лаура М. П. Влияние условий хранения облученных семян на цитогенетические нарушения в меристемных клетках.— Цитология, 1966, т. 8, вып. 4.

- Преображенская Е. И. О сравнительной радиорезистентности различных видов культурных растений.— Бот. ж., 1959, т. 44, вып. 17.
 Преображенская Е. И. Связь радиостойчивости растений с филогенетическим возрастом.— Изв. Сиб. отд. АН СССР, сер. биол.-мед. наук, 1967, № 5, вып. 1.
 Привалов Г. Ф. Экспериментальные мутации вегетативных органов древесных растений.— Докл. АН СССР, 1963, т. 150, № 3.
 Привалов Г. Ф. Морфологические изменения у сосны в результате обработки семян гамма-лучами и колхицином.— Изв. Сиб. отд. АН СССР, сер. биол.-мед. наук, 1964, № 8, вып. 2.
 Привалов Г. Ф. Соматические радиомутации клена ясенелистного (*Acer negundo* L.).— Бюлл. МОИП, нов. сер., Отд. биол., 1965, т. 70, вып. 1.
 Тимофеев-Ресовский Н. В., Порядкова Н. А., Макаров Н. М., Преображенская Е. И. К проблеме радиостимуляции растений. I. О действии слабых доз ионизирующих излучений на рост и развитие растений.— Сборник работ лаборатории биофизики. Труды Ин-та биол. УФАИ СССР, 1957, вып. 9.
 Хвостова В. В. Механизм действия разных видов ионизирующих излучений на семена растений и проблема радиочувствительности.— Изв. Сиб. отд. АН СССР, сер. биол.-мед. наук, 1967, № 5, вып. 1.
 Янушкевич С. И. Влияние условий выращивания ячменя и пшеницы на устойчивость семян к облучению.— Предпосевное облучение семян сельскохозяйственных культур, М., Изд-во АН СССР, 1963.
 Davis T. S. Effect of Co⁶⁰ gamma-radiation of pine seed a. one — year-old seedlings.— For. Sci., 1962, v. 8.
 Gustafsson A. a., Simak M. Effect of X-and gamma-rays on conifer seed.— Medd. Statens Skogsforskningsinst, 1958, v. 48.
 Heaslip M. B. Effects of seed irradiation on germination and seedlings growth of certain deciduous trees.— Ecol., 1959, v. 40.
 Herbst W. Zur Frage strahleninduzierter Stimulationen bei Keimpflanzen von Gymnospermen.— Atompraxis, 1964, v. 10, № 8.
 La Croix I. D. Radiosensitivity of Jack Pine seed to Co⁶⁰.— For. Sci., 1964, v. 10, № 3.
 May I. T. a., Posey H. G. The effect of radiation by Co⁶⁰ gamma-rays on germination of slash pine seed.— For., 1958, v. 56.
 Mergen F. a., Iogansen T. S. Effect of ionizing radiation on microsporogenesis in *Pinus rigida* Mill.— Rad., 1963, v. 3.
 Miller M. W., Sparrow A. N. Relationship between nuclear volume and radiosensitivity of different cell types in gemmae of *Marchantia polymorpha* L.— Nature, 1964, v. 204, № 4958.
 Ohba K. Radiation sensitivity on pine seeds of different water content.— Hereditas, 1961, v. 47.
 Okunemick I. P., Nerrich S. a., Carlsen E. N. Early response of *Pinus thunbergii* to acute γ -irradiation.— Nature, 1964, v. 204, № 4956.

УДК 577.391 : 634.94

С. В. ТАРЧЕВСКАЯ, П. И. ЮШКОВ

ВЛИЯНИЕ ПРЕПОСЕВНОГО ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН НА РАЗВИТИЕ СЕМЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Ионизирующая радиация является сейчас, наряду с другими, важным экологическим фактором, влияние которого вызывает существенные изменения в нормальной жизнедеятельности организмов. Воздействие на биоценоз определенной дозы радиации вызывает угнетение одних видов, стимуляцию ростовых процессов либо морфологические изменения у других, тем самым нарушает межвидовые и внутривидовые отношения, что в конце концов может привести к коренной перестройке первоначального фитоценоза. Поэтому изучение сравнительной радиочувствительности видов и последствий острого или хронического облучения растений является важной проблемой не только настоящего времени.

Влияние предпосевного облучения семян различных древесных пород на последующее развитие растений изучалось рядом авторов (Гайлис, 1965; Привалов, 1963, 1964, 1965; McCormick, 1964). Отмечены морфологические изменения, а также появление растений-мутантов, указывается на эффект стимуляции, проявляющийся в первые годы жизни сеянцев.

В настоящей статье рассматривается влияние предпосевного облучения семян сосны обыкновенной различными дозами гамма-лучей на развитие сеянцев в течение двух вегетационных сезонов (1966—1967 гг.).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В опыте были использованы семена *Pinus silvestris* L., собранные в марте 1966 г. в Ново-Лялинском лесхозе Свердловской области. В мае того же года семена были облучены лучами кобаль-

та-60 в источнике мощностью 2200 p/ч. Дозы облучения: 100, 250, 500, 1000, 2500 и 5000 p. В начале июня 1966 г. необлученные (контроль) и облученные семена, предварительно протравленные 0,15%-ным раствором формалина, были высеяны в деревянные ящики (48×36×20 см), заполненные просеянной дерново-луговой почвой, смешанной с песком в отношении 2 : 1. Опыт ставили в трехкратной повторности, по 100 семян в каждой. Для предупреждения ожогов корневых шеек сеянцев и перегрева почвы ящики накрывали деревянными рамками, обтянутыми марлей. В летние месяцы ежедневно производили полив растений. В опыте регистрировали время появления и количество взошедших растений и их выживаемость.

В конце летних сезонов 1966 и 1967 гг. часть растений из каждого варианта была выкопана, а затем у каждого из сеянцев измеряли длину корней, гипокотыля, верхушечного побега и хвои, определяли сухой вес этих органов, подсчитывали количество хвоинок.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТА

В табл. 1 показано время появления всходов семян, облученных различными дозами гамма-лучей и выживаемость сеянцев в течение летнего сезона 1966 г. В вариантах с облучением дозами от 100 до 1000 p появление всходов началось одновременно с контролем и закончилось через 9 дней. Скорость прорастания, число взошедших растений, формирование семядольной хвои, верхушечного побега и первичной хвои у сеянцев данных вариантов не отличались от контроля.

В варианте с облучением семян 2500 p период появления всходов был растянутым (около 25 дней). К моменту, когда закончилось появление всходов в контрольном варианте, всхожесть семян, облученных 2500 p, была равна 16, а к концу летнего сезона 31%. У растений этого варианта развертывание семядольной хвои и появление первичной хвои отставали от контроля на 8 дней. Кроме того, в этом варианте опыта наблюдалась гибель сеянцев от поражения корневой шейки грибом. Аналогичное явление отмечается в работах La Sgoix (1965). При облучении семян 5000 p появились только отдельные проростки (на три дня позднее, чем в контроле), которые вскоре погибли.

Результаты, полученные по грунтовой всхожести, находятся в полном соответствии с данными, характеризующими лабораторную всхожесть облученных теми же дозами гамма-лучей семян сосны обыкновенной (Тарчевская, статья в настоящем сборнике), хотя не вполне совпадают с данными, полученными Я. Я. Гайлисом (1965), который указывает, что снижение выхода сеянцев происходит уже при облучении семян дозой 900 p.

В табл. 2 приведены результаты первой разборки опыта — через 4 месяца после высева семян в грунт. Из таблицы видно,

Таблица 1
Влияние предпосевого облучения семян сосны обыкновенной на динамику появления всходов и выживаемость, лето 1966 г.

Доза облучения семян, P	Количество взшедших семян, % от общего числа высевных							
	21 июня	23 июня	26 июня	30 июня	15 июля	21 июля	15 августа	17 октября
Контроль	10,3±10,3	30,3±13,8	76±3,0	78±3,5	77,6±2,5	78±2,5	78±2,5	78±2,3
100	3,6±1,7	22,3±9,8	80,6±3,3	86,6±2,3	86,±4,3	86,6±4,3	86±5,3	84±5,2
250	4,3±2,3	19,0±9,5	76,3±2,9	80,6±1,8	83±2,8	84,3±3,5	84±5,4	83±4,2
500	3,6±2,7	10,6±3,8	66±4,4	71±5,1	75,6±4,8	78,3±3,6	80±4,0	77±5,5
1000	1,6±0,9	8,3±3,7	55±7,1	68,3±3,8	72,3±4,1	73,6±3,8	75±4,1	73±3,3
2500	0	2±1,5	16,6±4,8	26,3±6,1	38,6±1,7	40±5,7	32,3±5,2	31±6,5
5000	0	0	0	1	0,6	0,7	0	0

Таблица 2
Влияние предпосевого облучения семян сосны обыкновенной на рост и развитие сеянцев (возраст 4 мес., 1966 г.)

Доза облучения семян, P	Колич. измеренных растений	Длина, см			Колич. первичных хвоек на 1 растении	Сухой вес, г			
		Все растение	Гипокотиль	Верхушечный побег		Корни	Хвоя	Гипокотиль	Верхушечный побег
Контроль	48	4,2±0,093	1,6±0,02	1,1±0,035	48±1,5	0,4201	0,6058	0,0593	0,0566
100	91	4,3±0,073	1,3±0,01	1,4±0,045	55±1,59	±0,0481	±0,0417	±0,0071	±0,0066
250	79	4,2±0,037	1,3±0,04	1,3±0,05	49±0,98	±0,0676	±0,0823	±0,0609	±0,0959
500	80	5,0±0,12	1,4±0,05	2,0±0,07	58±2,5	±0,0604	±0,0376	±0,0040	±0,0056
1000	62	4,0±0,11	1,1±0,05	1,4±0,04	51±1,0	±0,0161	±0,0246	±0,0024	±0,0802
2500	19	—	1,1±0,04	0,9±0,14	42±2,5	±0,0977	±0,5925	±0,0816	±0,1695

что при дозе облучения 2500 P уменьшается длина верхушечного побега и накопление сухого веса вещества в отдельных органах и во всем растении. У сеянцев этого варианта снижалось также количество первичных хвоек.

В варианте с облучением семян дозой 500 P обнаружен эффект стимуляции — растения этого варианта длиннее контрольных, что обусловлено большей длиной верхушечного побега. Количество первичных хвоек у таких сеянцев больше, чем в контроле. Сухой вес отдельных органов растений этого варианта в несколько раз превышает вес их в контроле (корней — в два, а стеблей — в три раза).

Несмотря на то, что при облучении семян дозами 100, 250 и 1000 P длина растений и количество первичной хвои не увеличивается, сухой вес корней, хвои и стеблей у растений этих вариантов больше, чем в контроле ($P < 0,01$), за исключением сухого веса гипокотили ($P > 0,05$). Особенно отчетливо эти отличия видны при сравнении сухого веса растений в целом по всем вариантам (табл. 3).

В табл. 4 приведены результаты разборки того же опыта через 16 месяцев. При дозах облучения в 1000 и 2500 P наблюдается уменьшение длины стебля, количества парных хвоек и боковых побегов. Количество верхушечных побегов и первичной хвои не отличается от контроля. В то же время следует отметить растущее пропорционально дозе облучения увеличение числа боковых почек, не давших побегов. Сухой вес различных органов у сеянцев этих вариантов также меньше, чем в контроле (кроме веса парной хвои).

Несмотря на то, что у сеянцев в вариантах с облучением семян дозами в 1000 и 2500 P сухой вес некоторых органов меньше, чем в контроле, средний вес растения от дозы не зависит (табл. 3). Несоответствие между уменьшением роста растений при больших дозах облучения семян и независимостью среднего веса растения от дозы объясняется, возможно, изменением толщины отдельных органов сеянцев этих вариантов.

У 16-месячных сеянцев в варианте с облучением семян дозой 500 P , в отличие от 4-месячных сеянцев этого же варианта, эффект стимуляции отсутствует. По сравнению с контролем увеличение сухого веса гипокотили и стебля (осевая часть) и боковых

Таблица 3

Влияние предпосевого облучения семян сосны обыкновенной на накопление сухого вещества в сеянцах (опыт 1966—1967 гг.)

Доза облучения семян, P	Возраст сеянцев			
	4 месяца		16 месяцев	
	Общий вес 10 растений, г	P	Общий вес 10 растений, г	P
Контроль	1,14±0,08		8,98±0,62	
100	1,61±0,14	<0,001	9,36±0,33	>0,1
250	1,50±0,04	<0,01	11,82±0,57	<0,01
500	1,75±0,14	<0,02	9,71±0,78	>0,1
1000	1,49±0,08	<0,01	9,06±0,49	>0,1
2500	0,79		9,93±1,20	>0,1

Таблица 4
Влияние предпосевого облучения семян сосны обыкновенной на рост и развитие сеянцев (возраст 16 месяцев, 1967 г.)

Доза облучения, p	Колич. измеренных растений	Длина, мм		Количество, шт				Сухой вес 10 растений, г				
		Гипокотиль	Верхушечный побег	Боковые побеги	Боковые почки	Верхушечные побеги	Первичная хвоя	Парная хвоя	Гипокотиль + верхушечный побег	Первичная хвоя	Парная хвоя	Боковые побеги
Контр.	70	28,12 ±0,53	72,70 ±1,16	1,81 ±0,14	0	2,42 ±0,11	54,40 ±1,4	30,15 ±0,96	1,54 ±0,09	0,73 ±0,01	4,40 ±0,28	0,43 ±0,02
100	80	27,20 ±0,58	68,70 ±2,02	1,75 ±0,06	0	2,50 ±0,08	46,70 ±0,90	25,70 ±0,79	1,53 ±0,09	0,60 ±0,03	4,32 ±0,21	0,53 ±0,07
250	70	28,70 ±0,70	75,30 ±2,55	2,50 ±0,06	0,21 ±0,06	2,90 ±0,15	55,70 ±2,09	32,90 ±0,78	1,84 ±0,10	0,78 ±0,03	4,83 ±0,28	0,95 ±0,10
500	80	27,00 ±0,56	68,90 ±1,60	1,90 ±0,16	0,30 ±0,08	2,50 ±0,10	52,90 ±1,02	28,10 ±0,69	1,46 ±0,04	0,72 ±0,06	4,23 ±0,16	0,45 ±0,05
1000	87	29,60 ±0,61	57,90 ±3,37	1,18 ±0,13	1,12 ±0,15	2,30 ±0,09	47,50 ±1,07	23,20 ±0,74	1,34 ±0,03	0,51 ±0,08	4,06 ±0,26	0,37 ±0,16
2500	30	27,10 ±0,90	48,90 ±3,15	0,82 ±0,20	2,1 ±0,85	2,60 ±0,15	46,8 ±1,96	21,8 ±1,06	1,19 ±0,14	0,45 ±0,04	4,35 ±0,54	0,19 ±0,09

побегов (табл. 4), так же как и веса всего растения ($P < 0,01$, табл. 3), отмечено лишь в варианте с облучением семян дозой 250 p.

Выводы

1. Полевая всхожесть семян сосны обыкновенной, облученных дозами от 100 до 1000 p, не отличалась от контроля. При облучении семян дозой в 2500 p полевая всхожесть снижается почти в 2 раза.

2. При предпосевном облучении семян сосны обыкновенной дозой в 2500 p период появления всходов сильно растянут по сравнению с контролем.

3. У 4-месячных сеянцев при дозе облучения семян в 2500 p наблюдалось угнетение роста и уменьшение сухого веса растений. Во всех остальных вариантах опыта сухой вес растений больше, чем в контроле (наибольшие положительные отклонения в варианте с облучением семян дозой в 500 p).

4. У 16-месячных сеянцев при предпосевном облучении семян дозами в 1000 и 2500 p наблюдалось уменьшение ветвления и охвоенности растений, а также снижение веса отдельных органов.

5. Эффект стимуляции (повышение веса растения) у 16-месячных сеянцев отмечен при облучении семян дозой 250 p. Общий вес сеянцев этого возраста остальных вариантов опыта не отличается от контроля.

Литература

- Гайлис Я. Я. Влияние ионизирующих излучений на всхожесть семян и выход сеянцев сосны и ели.—Ионизирующие излучения в биологии. Рига, «Зинатне», 1965.
- Основы радиационной биологии. Под ред. А. М. Кузина и Н. И. Шапиро. М., «Наука», 1964.
- Привалов Г. Ф. Экспериментальные мутации вегетативных органов древесных растений.—Докл. АН СССР, 1963, т. 150, № 3.
- Привалов Г. Ф. Морфологические изменения у сосны в результате обработки семян гамма-лучами и колхицином.—Изв. Сиб. отд. АН СССР, сер. биол.-мед. наук, 1964, № 8, вып. 2.
- Привалов Г. Ф. Соматические радиомутации клена ясенелистного (*Acer negundo* L.). Бюлл. МОИП, нов. сер., отд. биол., 1965, т. 70, вып. 1.
- Тарчевская С. В. Влияние гамма-лучей кобальта-60 на семена некоторых видов хвойных растений. Статья в наст. сборнике.
- La Croix I. D. Radiosensitivity of jack pine seed to cobalt-60.—For. Sci., 1965, v. 10, N 3.
- McCormick I. Fraun. Interactions of gamma radiation and drought upon *Pinus elliotii* and *Pinus silvestris*.—Bio Sci., 1964, v. 14, N 7.



УДК 577.391 : 634.94

П. И. ЮШКОВ

ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЧЕНЫХ АССИМИЛЯТОВ В СЕЯНЦАХ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Рядом исследователей показано, что острое и хроническое гамма-облучение суммарными дозами свыше 1000 p снижает у различных видов сосны интенсивность поглощения углекислоты хвоей (Hadley a. Woodwell, 1966; Юшков, Куликов, 1966, 1967). Было также установлено, что у сеянцев сосны обыкновенной при суммарной дозе облучения 3500 p (суточная доза 50 p) происходит задержка оттока меченых ассимилятов из хвои в корни (Юшков, Куликов, 1966, 1967). Но для характеристики жизнедеятельности облученных растений не меньшее значение имеет знание дальнейшей судьбы ассимилированного углерода как в хвое, так и в других органах.

Цель данной работы — установить влияние различных доз хронического гамма-облучения на распределение ассимилятов, содержащих радиоуглерод-14, по органам сеянцев сосны, а также на включение радиоуглерода в некоторые группы химических соединений в хвое и корнях этих сеянцев.

МЕТОДИКА

Опыт проводили на гамма-поле биофизической станции Миассово (Ильменский заповедник). Сеянцы сосны *Pinus silvestris* L. выращивали в сосудах емкостью 12 л. С момента появления всходов часть сосудов переносили на гамма-поле и расставляли так, что одна группа сосудов с сеянцами получала ежедневно 0,5, вторая 5 и третья 50 p. Сеянцы вне гамма-поля служили контролем.

В начале июня и середине июля, т. е. на 35-й и 70-й день после начала облучения сеянцы 6 сосудов каждого варианта опыта получали 2-часовую подкормку $C^{14}O_2$ (по 60 мкюри на сосуд).

Сразу после подкормки и спустя 22 и 70 ч разбирали по два сосуда каждого варианта опыта. При этом хвою, гипокотили и корни сеянцев отдельно фиксировали в кипящем спирте.

Для радиометрии органов сеянцев и биохимических анализов брали по 300 мг сухой растертой массы. Радиоактивность определяли при помощи счетной трубки БФЛ-Т-25 на установке ПС-100.

В данной работе рассматривается включение радиоуглерода в спирто-водную, крахмальную фракции и в сырую клетчатку. Спирто-водная фракция получалась путем обработки исходного образца хвои и корней раствором этилового спирта концентрации 80—80—60—60—40—40% и последующей двукратной экстракцией водой. Продолжительность каждой экстракции спиртом 10 мин, водой — 15 мин. После удаления веществ, растворимых в спирте и воде, из остатка выделяли крахмальную фракцию при помощи 24-часового гидролиза амилазой слюны и последующего разделения остатка и гидролизата фильтрованием. Сырую клетчатку получали после удаления из обескрахмаленного остатка веществ, гидролизующихся 2%-ной и 6-н. соляной кислотой. Радиоактивность всех фракций определяли описанным выше способом с внесением поправки на самопоглощение.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл. 1, 2 приведены данные по содержанию радиоуглерода-14 в хвое, гипокотиле и корнях сеянцев сразу, через 22 и

Таблица 1

Влияние различных доз облучения на распределение радиоуглерода-14 по органам 35-дневных сеянцев сосны обыкновенной, получивших 2-часовую подкормку $C^{14}O_2$

Время после подкормки $C^{14}O_2$, ч	Органы растений	Контроль		17,5 p		175 p		1750 p	
		1*	2	1	2	1	2	1	2
		0	Хвоя	77,3	67,5	78,5	65,4	77,9	70,3
	Гипокотиль	5,8	21,7	4,9	23,1	3,8	20,5	4,4	10,6
	Корни	16,9	10,8	16,6	11,5	18,3	9,2	3,0	6,5
22	Хвоя	61,8	42,8	55,3	42,6	58,0	43,4	62,3	47,7
	Гипокотиль	5,6	27,0	6,0	25,6	4,4	26,1	12,8	22,4
	Корни	32,6	30,2	38,7	32,9	37,6	30,5	24,9	29,9
70	Хвоя	61,7	45,4	58,9	41,4	64,0	43,9	48,5	33,5
	Гипокотиль	5,1	27,8	5,3	28,8	5,6	26,5	11,2	28,5
	Корни	33,2	26,8	35,3	29,8	30,4	29,6	40,3	38,0

* 1 — процент от суммарной радиоактивности растения; 2 — процент от суммы концентраций C^{14} в различных органах растений.

70 ч после окончания 2-часовой подкормки меченой углекислотой. Поскольку содержание радиоуглерода в растениях различных вариантов опыта (исчислявшееся миллионами импульсов в минуту) было неодинаковым, то данные по распределению выражены в процентах.

Таблица 2

Влияние различных доз облучения на распределение радиоуглерода-14 по органам 70-дневных сеянцев сосны обыкновенной, получивших 2-часовую подкормку $C^{14}O_2$

Время после подкормки $C^{14}O_2$, ч	Органы растений	Контроль		35 p		350 p		3500 p	
		1*	2	1	2	1	2	1	2
0	Хвоя	88,3	55,2	88,9	61,3	89,8	59,9	90,3	79,1
	Гипокотиль	3,3	19,0	4,0	15,6	2,7	15,7	4,1	13,9
	Корни	8,4	25,8	7,1	23,1	7,4	24,4	5,6	7,0
22	Хвоя	68,9	42,7	64,2	41,9	66,0	40,7	57,2	36,3
	Гипокотиль	5,3	18,3	4,1	16,9	4,3	17,2	10,2	24,6
	Корни	25,8	39,0	32,7	41,2	29,7	42,1	32,3	39,1
70	Хвоя	69,6	39,7	61,4	38,4	63,6	42,9	53,3	29,6
	Гипокотиль	5,3	17,8	4,9	16,7	4,6	18,7	8,6	23,9
	Корни	25,1	42,5	33,7	44,9	31,8	38,4	38,1	46,5

* 1 и 2 — то же, что в табл. 1.

Характер распределения радиоуглерода в сеянцах после подкормки $C^{14}O_2$ указывает на то, что у сильно облучавшихся (по 50 p в сутки) сеянцев интенсивность оттока меченых ассимилятов ниже, чем в контроле. У 35-дневных сеянцев сразу после подкормки в хвое контрольных сеянцев содержалось 77,3%, в корнях 16,9% радиоуглерода, находившегося во всем растении, а у сильно облучившихся 92,6 и 3,0% соответственно.

Концентрация радиоуглерода в корнях контрольных сеянцев в это время также была более высокой, чем у сильно облучавшихся. Облучение сеянцев сосны суммарными дозами 17,5 и 175 p (при суточных дозах 0,5 и 5 p) не оказало влияния на отток ассимилятов из хвои в корни.

У 70-дневных сеянцев (табл. 2) всех вариантов опыта процентное содержание радиоуглерода в органах сразу после подкормки $C^{14}O_2$ было практически одинаковым и составляло 88,3—90,3% в хвое, 5,6—8,4% — в корнях. Однако сравнение концентрации радиоуглерода в хвое и корнях показывает, что у сильно облучавшихся сеянцев концентрация радиоуглерода в хвое была приблизительно на 20% выше, а в корнях — в 3 раза ниже, чем в соответствующих органах сеянцев остальных вариан-

тов опыта. Таким образом, и у 70-дневных сеянцев, получавших по 50 p в сутки, отток ассимилятов из хвои в корни замедлен.

Установившееся у контрольных и слабо облучавшихся сеянцев в течение первых суток после подкормки распределение радиоуглерода по органам сохраняется таким же и двое суток спустя (см. табл. 1, 2). Следует отметить, что у 35-дневных сеянцев хвоя содержала радиоуглерода приблизительно в 1,5 раза больше, чем корни. У 70-дневных сеянцев этих вариантов опыта на долю хвои приходилось радиоуглерода в 2 раза больше, чем на долю корней, но при равной концентрации C^{14} в этих органах.

У сеянцев, облучавшихся в течение 35 дней суточной дозой 50 p (суммарная доза 1750 p), через 22 ч после окончания подкормки $C^{14}O_2$ в хвое радиоуглерода содержалось в 2 раза больше, чем в корнях, а через 72 ч только в 1,2 раза. В отличие от контрольных и слабо облучавшихся сеянцев у этих растений концентрация радиоуглерода через 72 ч после подкормки оказалась в корнях выше, чем в хвое.

Сходная картина распределения радиоуглерода в такие же сроки после подкормки наблюдалась и у 70-дневных растений. Гипокотили из-за своих небольших размеров не оказывали существенного влияния на картину распределения радиоуглерода в сеянцах. Так, на долю гипокотилей 35- и 70-дневных сеянцев в контроле и в вариантах опыта с облучением дозами 0,5 и 5 p в сутки приходилось 4—6%, а у сеянцев, облучавшихся по 50 p в сутки, — 9—13% от общего содержания радиоуглерода в растении.

На рис. 1, 2 показано изменение содержания радиоуглерода в спирто-водорастворимых веществах 35- и 70-дневных сеянцев

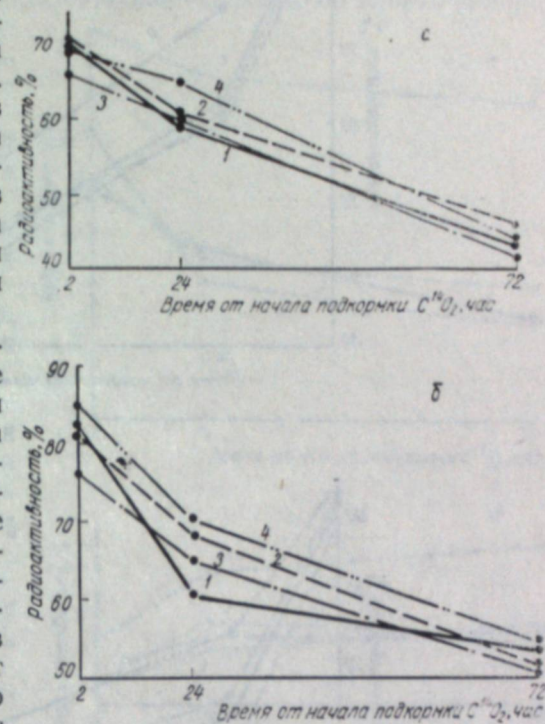


Рис. 1. Влияние облучения на содержание радиоуглерода в фракции спирто-водорастворимых веществ в хвое (а) и корнях (б) 35-дневных сеянцев сосны.

1 — контроль; 2 — 17,5 p; 3 — 175 p; 4 — 1750 p.

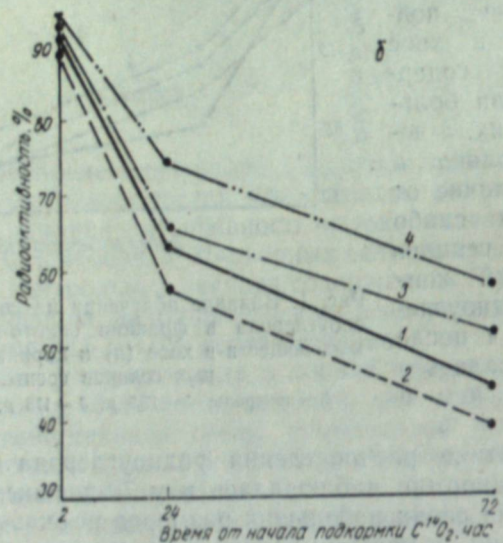
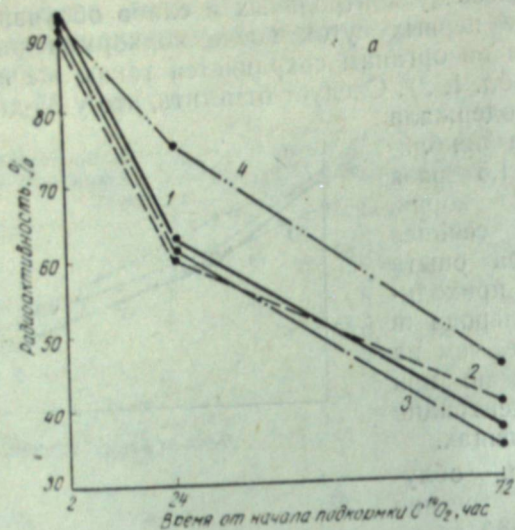


Рис. 2. Влияние облучения на содержание радиоуглерода в фракции спирто-водорастворимых веществ в хвое (а) и корнях (б) 70-дневных сеянцев сосны
1 — контроль; 2 — 35 p; 3 — 350 p; 4 — 3500 p.

в течение 3 суток после подкормки $C^{14}O_2$. Радиоактивность этой фракции, как и других, выражена в процентах от содержания C^{14} в исходной навеске. Как видно из рис. 1, а, 2, а, в хвое существенных различий между облученными и необлученными сеянцами в ходе изменения радиоактивности растворимых в спирте и воде веществ не имелось. К концу 2-часовой подкормки в хвое около 75% радиоуглерода приходилось на долю спирто-водорастворимых веществ, спустя 22 ч — около 60%, а на третий день — около 45%.

Несколько иная картина наблюдается в корнях. Во-первых, содержание C^{14} в спирто-водной фракции у сильно облученных растений несколько выше, чем в корнях сеянцев других вариантов опыта; во-вторых, к концу 2-часовой подкормки на долю этой фракции в корнях приходилось на 15—20% больше, чем в хвое.

Содержание радиоуглерода в крахмале хвои сеянцев (рис. 3, 4), облучавшихся дозой 50 p в сутки, оказалось более высоким, чем у сеянцев других вариантов опыта, но в корнях различия были менее выражены. При этом в хвое 35-дневных сеянцев наиболее высокое содержание C^{14} в крахмальной фракции наблюдалось сразу после подкормки, у 70-дневных сеянцев — через 22 ч после подкормки; в корнях сеянцев обоих возрастов — через 22 ч.

У 35-дневных облученных и необлученных сеянцев в одинаковые сроки после введения C^{14} в крахмальной фракции радиоуглерода содержалось больше в хвое, чем в корнях. У 70-дневных сеянцев аналогичная картина отчетливо наблюдалась только в варианте с облучением по 50 p в сутки.

Включение C^{14} в «сырую клетчатку» характеризовалось возрастанием доли радиоуглерода, содержавшегося в веществах

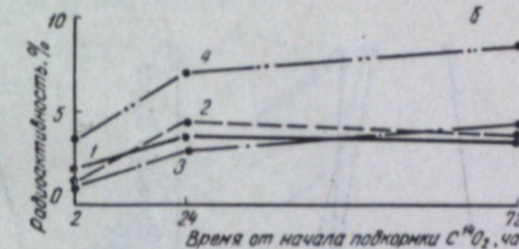
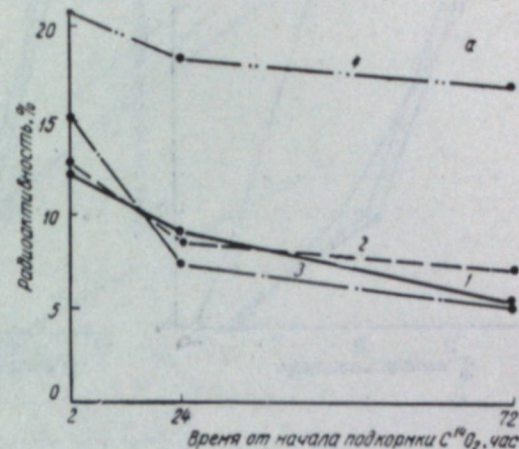


Рис. 3. Влияние облучения на включение радиоуглерода в крахмал хвои (а) и корней (б) 35-дневных сеянцев сосны.
1 — контроль; 2 — 17,5 p; 3 — 175 p; 4 — 1750 p.

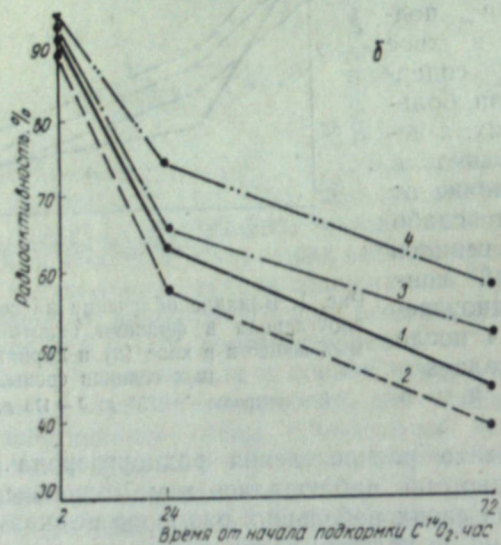
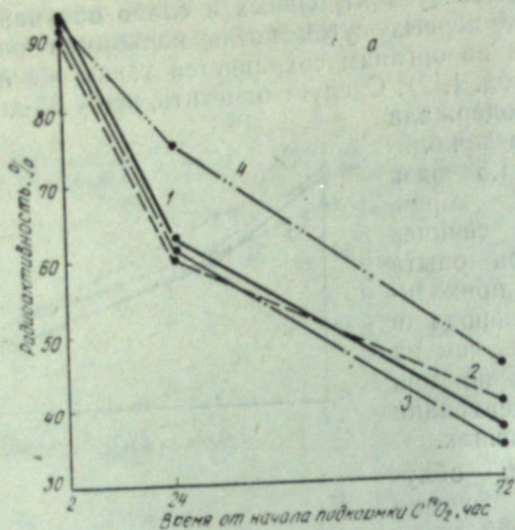


Рис. 2. Влияние облучения на содержание радиоуглерода в фракции спирто-водорастворимых веществ в хвое (а) и корнях (б) 70-дневных сеянцев сосны
1 — контроль; 2 — 35 p; 3 — 350 p; 4 — 3500 p.

в течение 3 суток после подкормки $C^{14}O_2$. Радиоактивность этой фракции, как и других, выражена в процентах от содержания C^{14} в исходной навеске. Как видно из рис. 1, а, 2, а, в хвое существенных различий между облученными и необлученными сеянцами в ходе изменения радиоактивности растворимых в спирте и воде веществ не имелось. К концу 2-часовой подкормки в хвое около 75% радиоуглерода приходилось на долю спирто-водорастворимых веществ, спустя 22 ч — около 60%, а на третий день — около 45%.

Несколько иная картина наблюдается в корнях. Во-первых, содержание C^{14} в спирто-водной фракции у сильно облученных растений несколько выше, чем в корнях сеянцев других вариантов опыта; во-вторых, к концу 2-часовой подкормки на долю этой фракции в корнях приходилось на 15—20% больше, чем в хвое.

Содержание радиоуглерода в крахмале хвои сеянцев (рис. 3, 4), облучавшихся дозой 50 p в сутки, оказалось более высоким, чем у сеянцев других вариантов опыта, но в корнях различия были менее выражены. При этом в хвое 35-дневных сеянцев наиболее высокое содержание C^{14} в крахмальной фракции наблюдалось сразу после подкормки, у 70-дневных сеянцев — через 22 ч после подкормки; в корнях сеянцев обоих возрастов — через 22 ч.

У 35-дневных облученных и необлученных сеянцев в одинаковые сроки после введения C^{14} в крахмальной фракции радиоуглерода содержалось больше в хвое, чем в корнях. У 70-дневных сеянцев аналогичная картина отчетливо наблюдалась только в варианте с облучением по 50 p в сутки.

Включение C^{14} в «сырую клетчатку» характеризовалось возрастанием доли радиоуглерода, содержавшегося в веществах

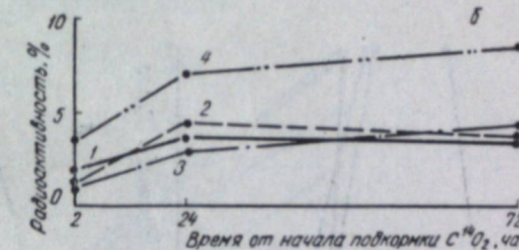
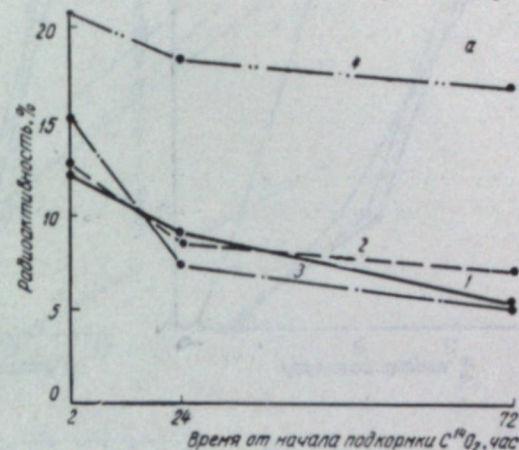


Рис. 3. Влияние облучения на включение радиоуглерода в крахмал хвои (а) и корней (б) 35-дневных сеянцев сосны.
1 — контроль; 2 — 17,5 p; 3 — 175 p; 4 — 1750 p.

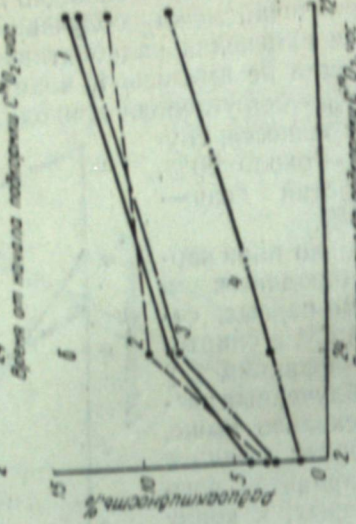
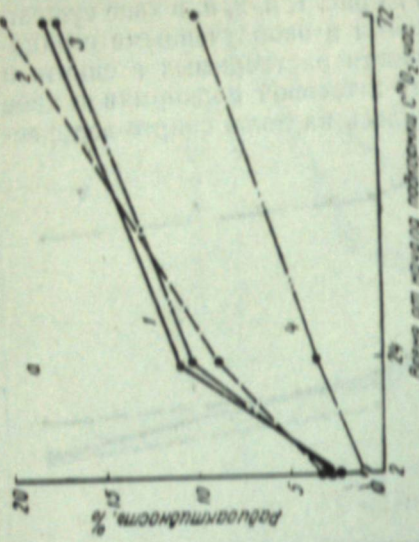


Рис. 5. Влияние облучения на включение радиоуглерода в «сырую клетчатку» хвои (а) и корней (б) 35-дневных сеянцев сосны.

1 — контроль; 2 — 17,5 p; 3 — 175 p; 4 — 1750 p.

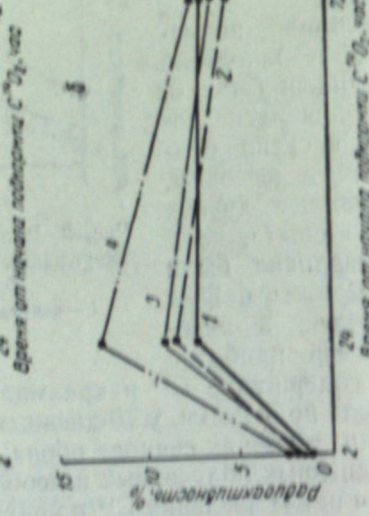
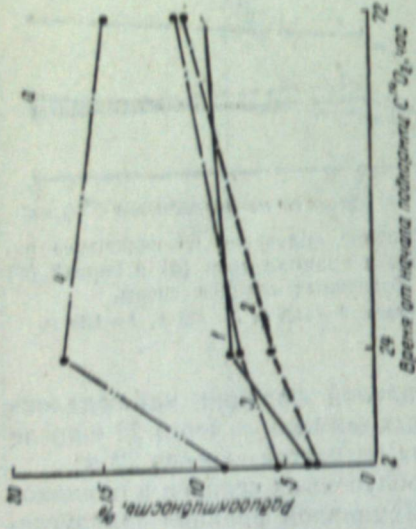


Рис. 4. Влияние облучения на включение радиоуглерода в крахмал хвои (а) и корней (б) 70-дневных сеянцев сосны.

1 — контроль; 2 — 35 p; 3 — 350 p; 4 — 3500 p.

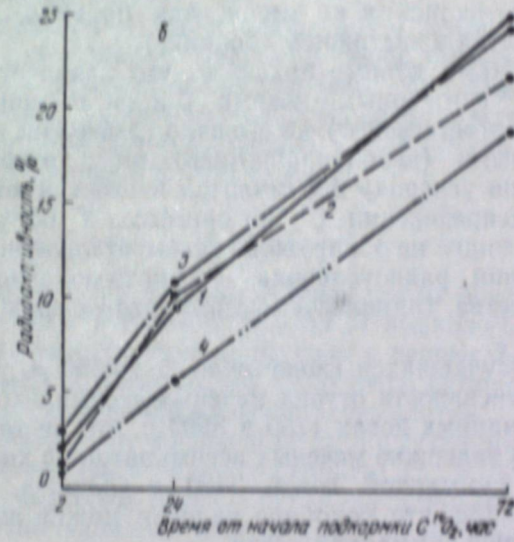
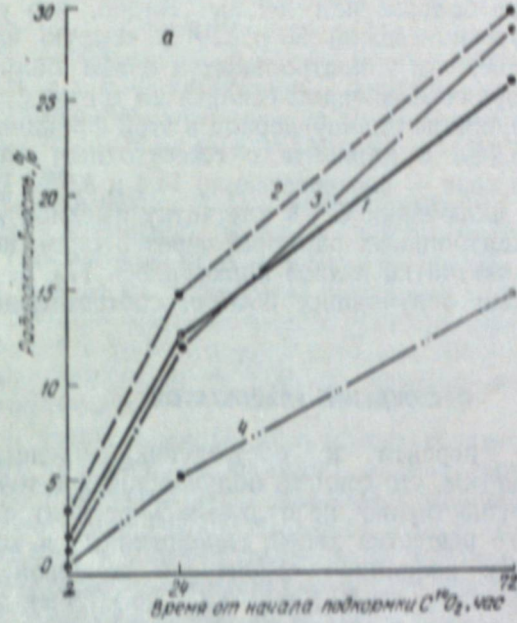


Рис. 6. Влияние облучения на включение радиоуглерода в «сырую клетчатку» хвои (а) и корней (б) 70-дневных сеянцев сосны.

1 — контроль; 2 — 35 p; 3 — 350 p; 4 — 3500 p.

этой фракции в течение 3 суток, у сеянцев всех вариантов опыта (рис. 5, 6).

При этом в корнях в «сырую клетчатку» его включалось в 1,5—2 раза больше, чем в хвое. Видно, что у сеянцев, облучавшихся суточной дозой 50 p, C^{14} в «сырую клетчатку» включалось меньше, чем у контрольных и слабо облучавшихся сеянцев. Так, в корнях 35-дневных сеянцев на третьи сутки после введения C^{14} содержание радиоуглерода в этой фракции составило в контроле 25,2%, в варианте с ежесуточным облучением 50 p — 19,9%, а в хвое — соответственно 14,4 и 8,5%. Еще большие различия во включении C^{14} в клетчатку имелись у 70-дневных сеянцев. У контрольных растений через 3 суток после подкормки на долю клетчатки в хвое приходилось 17,6%, в корнях 26,4%, а у сеянцев, получивших 3500 p, соответственно 9,6 и 15,1%.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Прежде чем перейти к обсуждению представленных выше данных, отметим, что сеянцы, облучавшиеся суточными дозами 0,5 и 5 p, существенно не отличались от контрольных по накоплению сухого вещества хвоей, гипокотиллями и корнями, а также количеством хвоинок и структурой корневой системы. У сеянцев, облучавшихся по 50 p в сутки, уже к 35-му дню облучения видимый рост хвои и корней почти полностью прекратился, а корни слабо ветвились и не имели, как правило, микоризы (Юшков и др., статья в настоящем сборнике).

Приведенные нами данные показали, что хроническое облучение лучами Co^{60} суммарными дозами 35 и 350 p (при суточных дозах 0,5 и 5 p соответственно) не вызвало изменений по сравнению с контрольными (необлучавшимися) ни в интенсивности оттока меченых по углероду ассимилятов из хвои в корни, ни в последующем распределении C^{14} по органам. У облучавшихся такими дозами сеянцев не обнаружено также отклонений от контроля во включении радиоуглерода в спирто-водорастворимые вещества, в вещества, гидролизруемые амилазой слюны, и в «сырую клетчатку».

У сеянцев, облучавшихся ежесуточно дозой 50 p, установлено снижение интенсивности оттока меченых ассимилятов из хвои в корни при суммарных дозах 1750 и 3500 p, что не только подтвердило вывод о задержке меченых ассимилятов из хвои у сеянцев, облученных суммарной дозой 3500 p (Юшков, Куликов, 1966), но и показало, что подобное явление может вызываться облучением меньшей суммарной дозой.

Мы полагаем, что одной из причин снижения интенсивности оттока ассимилятов из хвои в корни у сеянцев, облученных дозами 1750 и 3500 p, могло быть нарушение деятельности корней, связанное с отсутствием микоризы у сеянцев. С. D. Nelson (1964)

показал, что у 9-месячных сеянцев *Pinus resinosa* Ait., не имевших микоризы, через сутки после подкормки $C^{14}O_2$ оттекло в корни 5%, а у таких же сеянцев, но с микоризой — 54% поглощенного радиоуглерода. Специальными опытами при этом было установлено, что такой характер оттока не определялся большим отношением веса корней к весу хвои у сеянцев с микоризой по сравнению с сеянцами без микоризы. В то же время задержка оттока ассимилятов из хвои не может быть объяснена только отсутствием микоризы.

Как показали опыты А. И. Гречушникова и В. С. Серебрянникова (1966), у картофеля, который, как правило, не имеет микоризы, при хроническом облучении гамма-лучами Co^{60} суммарными дозами 35—40 кр происходит задержка оттока ассимилятов из листьев в корни. Снижение доли радиоуглерода в составе «сырой клетчатки» в хвое и корнях сеянцев, облучавшихся по 50 p в сутки, обусловлено почти полным торможением ростовых процессов в этих органах.

В хвое и корнях сеянцев, облученных дозами 1750 и 3500 p, в веществах крахмальной фракции радиоуглерода включалось больше, чем у контрольных и слабооблучавшихся растений.

Повышенное содержание крахмала в листьях среднего и верхнего ярусов периллы через месяц после кратковременного облучения вегетирующих растений лучами Co^{60} при дозе 3000 и 5000 p, вызвавших задержку роста, было установлено Н. Ф. Батыгиным и В. Н. Савиным (1966).

Мы предполагаем, что в нашем опыте усиление синтеза крахмала в хвое сеянцев, облученных дозами, вызвавшими торможение ростовых процессов, обусловлено, во-первых, повышенной функциональной радиостойкостью хлоропластов (Кузин и др., 1958), в которых протекает биосинтез крахмала, во-вторых, задержкой оттока ассимилятов из хвои.

ВЫВОДЫ

1. Хроническое облучение сеянцев сосны обыкновенной дозами 1750 и 3500 p (суточная доза 50 p) вызвало снижение интенсивности оттока ассимилятов из хвои в первые 2 ч после начала подкормки радиоуглекислотой. Облучение суточными дозами 0,5 и 5 p не оказало влияния на отток ассимилятов.

2. У сеянцев, облучавшихся по 50 p в сутки, иной (чем у контрольных и слабо облучавшихся сеянцев) характер распределения меченых ассимилятов через 3 суток после подкормки радиоуглекислотой, отличающийся относительно более высокой удельной активностью радиоуглерода в корнях.

3. В хвое и корнях сильно облучавшихся сеянцев включалось радиоуглерода в крахмальную фракцию больше, чем у необлучавшихся.

4. Доля радиоуглерода в «сырой клетчатке» хвои и корней

сеянцев, получивших суммарные дозы 1750 и 3500 p, значительно ниже, чем у контрольных.

5. Распределение радиоуглерода по фракциям химических соединений (спирто-водной, крахмальной и «сырой клетчатки») в хвое и корнях сеянцев, облучавшихся в течение вегетационного сезона суточными дозами 0,5 и 5 p, было сходным с распределением у необлучавшихся сеянцев.

ЛИТЕРАТУРА

- Батыгин Н. Ф., Савин В. Н. Использование ионизирующих излучений в растениеводстве. Л., «Колос», 1966.
- Гречушников А. И., Серебрянников В. С. Влияние длительного гамма-облучения растений на физиолого-биохимические процессы и продуктивность картофеля.— Радиобиология, 1966, т. 6, вып. 3.
- Кузин А. М., Сунь Чи, Саенко Г. Н. О функциональной радиочувствительности хлоропластов.— Биофизика, 1958, т. 3, вып. 3.
- Юшков П. И., Куликов Н. В. Радиочувствительность молодых сеянцев сосны обыкновенной в условиях хронического облучения на гамма-поле.— Тезисы докладов симпозиума по проблемам радиочувствительности на молекулярном, клеточном и организменном уровнях. Новосибирск, 1966.
- Юшков П. И., Куликов Н. В. Действие хронического гамма-облучения на молодые сеянцы *Pinus silvestris*.— Информ. бюлл. «Радиобиология», 1967, № 10.
- Юшков П. И., Раков В. С., Караваева Е. Н., Миронова Н. В. Влияние хронического гамма-облучения на формирование и рост сеянцев сосны обыкновенной. Статья в наст. сборнике.
- Hadley E. B. a. Woodwell G. M. Effects of ionizing radiation rates seedlings.— Radiation research, 1966, v. 24, 4.
- Nelson C. D. The production and translocation of photosynthate—C¹⁴ in coniferes.— The Formation of Wood in Forest Trees. N. Y. Acad. Press, 1964.



УДК 577.394 : 634.94

П. И. ЮШКОВ, В. С. РАКОВ,
Е. Н. КАРАВАЕВА, Н. В. МИРОНОВА

ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ И РОСТ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Большой интерес в последнее десятилетие проявляется к изучению действия ионизирующей радиации на хвойные растения (особенно рода *Pinus*), что обусловлено высокой радиочувствительностью этой важной в биогеоценотическом и хозяйственном отношении группы растений.

Однако изучению действия облучения на вегетирующие растения посвящено относительно немного работ. Установлено, что вегетирующие растения очень радиочувствительны. Так, летальные дозы для двухлетних сеянцев *Pinus palustris* и *P. elliotii* составили соответственно 720 и 875 p (McCormick a. McJunkin, 1965). Восьмилетнее облучение сосен *P. rigida* в условиях гамма-поля при мощности дозы 3,1 p/сутки вызвало гибель свыше 50% подопытных деревьев, а при мощности дозы более 10 p/сутки — гибель почти всех деревьев (Sparrow, Schairer a. Woodwell, 1965). Вудвелл и Миллер (Woodwell a. Miller, 1963) обнаружили снижение приростов в толщину у деревьев *Pinus rigida*, облучавшихся в течение почти 9 лет гамма-лучами Co⁶⁰ при мощности дозы 1—5 p/сутки.

В опытах Я. Я. Гайлиса (1965) хроническое облучение привитых растений сосны обыкновенной вызвало полную гибель в течение первого сезона всех деревьев, получивших суммарную дозу 8100—17600 p (суточная доза 72—156 p), и гибель через год при суммарной дозе 2400—5400 p (суточная доза 21,6—48 p). Облучение дозами 1280 и 1900 p (суточная доза 9,6 и 14,2 p) вызвало образование дополнительных почек, из которых впоследствии развились побеги; меньшие суммарные дозы — 210 и 290 p при такой же мощности дозы не оказали подобного влияния.

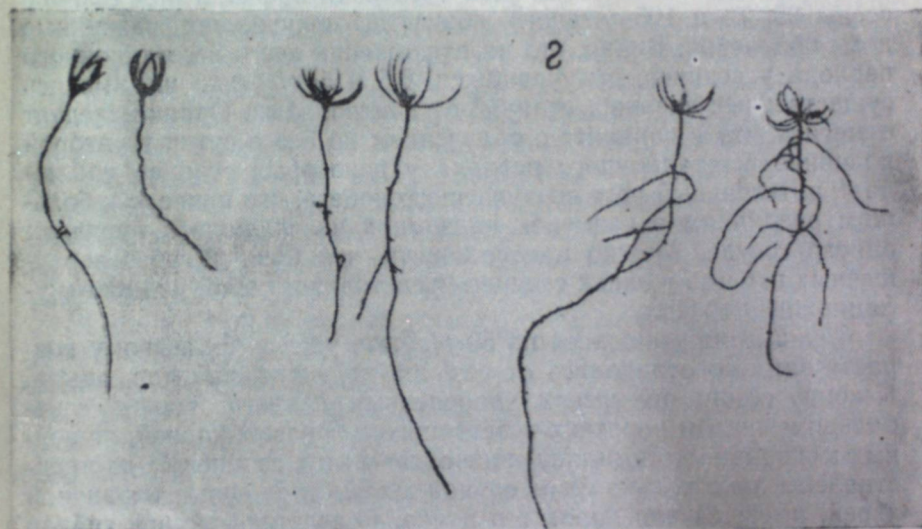
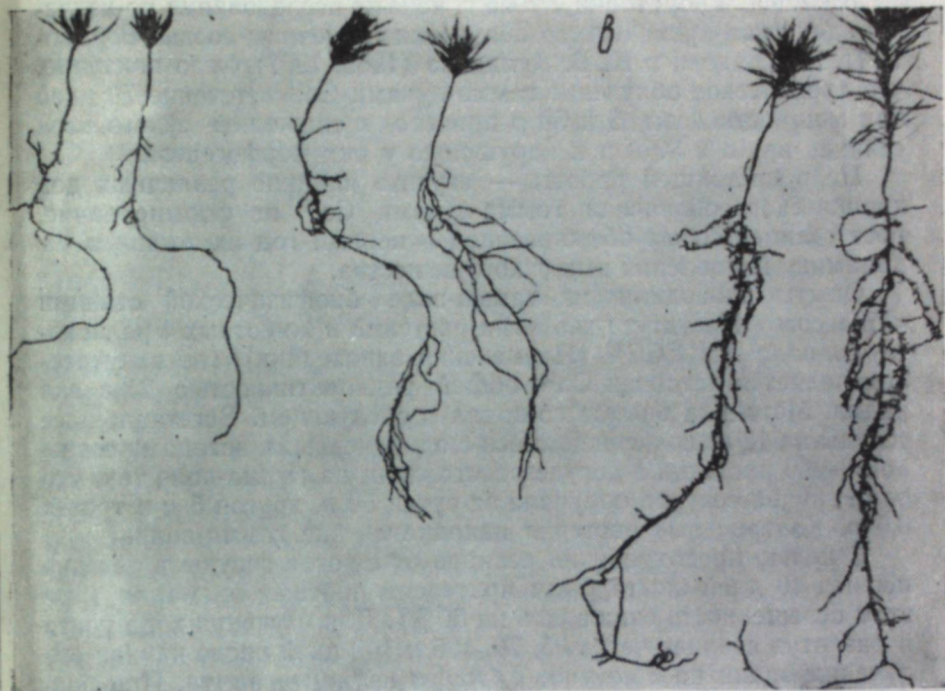
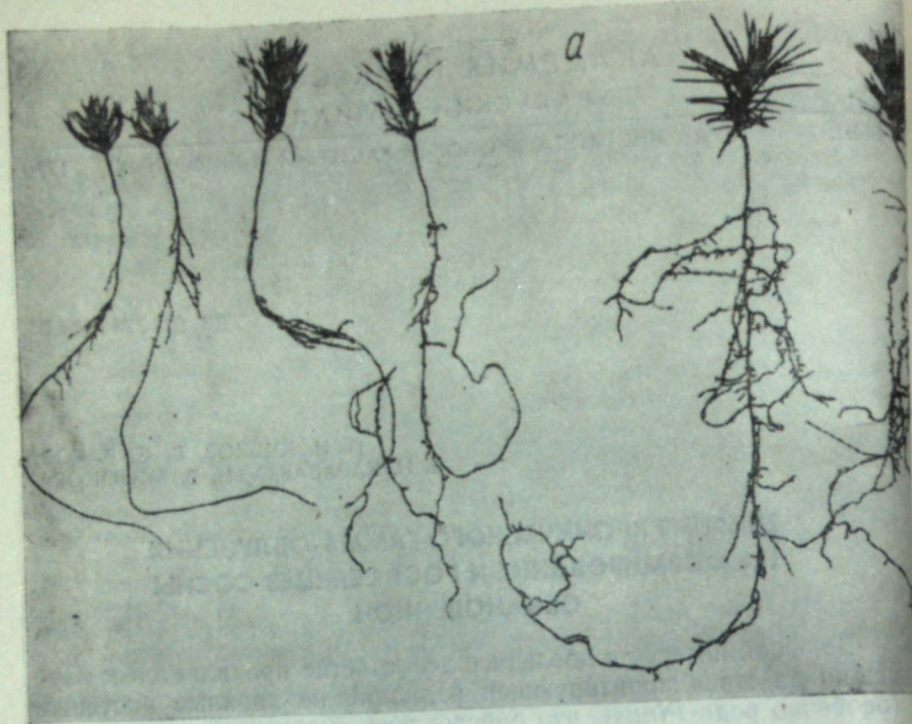


Рис. 1. Внешний вид 35-, 70- и 105-дневных семян сосны, получивших разные дозы облучения:
 а — 0 (контроль); б — 0,5; в — 5; г — 50 р в сутки.

Охвоенность 70-дневных сеянцев сосны при хроническом облучении

Вид хвои	Контроль	35 p		350 p		3500 p	
	Число хвоинок	Число хвоинок	% к контролю	Число хвоинок	% к контролю	Число хвоинок	% к контролю
Семядольная . . .	6	6	100	6	100	6	100
Первичная	36	35	97,2	37	100,2	7	16,6

В нашей лаборатории с 1965 г. начаты исследования по изучению действия хронического облучения на сеянцы сосны. В работе П. И. Юшкова и Н. В. Куликова (1966, 1967) было показано, что хроническое облучение гамма-лучами Co^{60} в течение 70 дней при мощности дозы 5 и 50 p привело к снижению сухого веса сеянцев на 18 и 50% и к нарушению у них морфогенеза.

Цель настоящей работы — изучить влияние различных доз хронического облучения гамма-лучами Co^{60} на формирование, рост сеянцев сосны обыкновенной в первый год их жизни и на динамику накопления ими сухого вещества.

Опыты проводили на гамма-поле биофизической станции «Миассово» Института экологии растений и животных Уральского филиала АН СССР (Ильменский заповедник), где излучателем является источник Co^{60} общей радиоактивностью 21 г экв. радия. Методика опытов состояла в следующем. Vegetационные сосуды на 12 кг почвенной смеси с однодневными всходами сосны по 50—60 растений в сосуде расставляли на гамма-поле так, что одна группа сосудов получала за сутки 50 p, другая 5 p и третья 0,5 p. Контрольные растения находились вне гамма-поля.

С целью предохранения сеянцев от ожогов сосуды в течение первых 40 дней опыта были притенены тентами из марли (при этом освещенность снижалась на 50%). Для изучения хода роста и развития сеянцев через 35, 70, 105 и 140 дней после начала облучения брали по 6 сосудов каждого варианта опыта. При разборке растения делили на хвою, стебли (гипокотили) и корни, а также подсчитывали количество хвоинок и определяли сухой вес отдельных органов. На рис. 1 показан внешний вид сеянцев сосны 35, 70 и 105-дневного возраста, получивших различные дозы облучения. Видно, что на протяжении всего вегетационного периода у сеянцев, облучавшихся 0,5 и 5 p/сутки, не имелось существенных внешних отличий от контрольных. Однако следует отметить, что в варианте с облучением по 5 p в сутки во второй половине вегетационного периода у некоторых сеянцев наблюдали интенсивный рост верхушечного побега, что привело к большим различиям в размерах надземной части даже в пределах одного сосуда. Можно предположить, что бурный рост верхушечных побегов у таких сеянцев представляет собой радиостимуляционный эффект.

Сеянцы, облучавшиеся по 50 p/сутки, уже к 35-дневному возрасту заметно отличались от сеянцев других вариантов опыта. К концу сезона они имели укороченный главный корень с небольшим числом коротких неветвящихся боковых корней, лишенных микоризы. Ассимилирующие органы этих сеянцев были представлены либо только семядольной хвоей, либо еще и первичной хвоей, имевшей вид короткого пучка. Вследствие ранней гибели точки роста стебля верхушечный побег не развился и дальнейшее образование первичной хвои прекратилось.

Данные по охвоенности 70-дневных сеянцев различных вари-

антов опыта представлены в табл. 1, из которой видно, что при одинаковом количестве семядольных хвоинок сильно облучавшиеся сеянцы и сеянцы других вариантов опыта резко отличались по количеству первичных хвоинок. При дозе облучения 50 p/сутки сеянцы имели только по 7 первичных хвоинок, т. е. 16,6% к контролю. Дозы облучения 0,5 и 5 p/сутки не влияли на охвоенность. Позднее у некоторых сильно облученных сеянцев первичная хвоя отмирала. Наблюдалось также отмирание верхушек у большинства семядольных хвоинок, но, как показали опыты с подкормкой $C^{14}O_2$, семядольная хвоя таких сеянцев функционировала даже в 140-дневном возрасте. При этом следует отметить, что семядольная хвоя контрольных сеянцев и сеянцев, получивших по 0,5 и 5 p/сутки, начала отмирать к 70-дневному возрасту, а к 105-дневному возрасту отмерла почти полностью у всех растений этих вариантов опыта.

Облучение вызвало изменение окраски у сеянцев, получавших по 50 p в сутки, уже к 30-дневному возрасту. Изучение поперечных срезов хвои показало, что изменение окраски связано с появлением вещества красного цвета в клетках хлорофиллоносной паренхимы. У различных хвоинок одного и того же сеянца, а также в пределах хвоинки число окрашенных клеток на срезе сильно колебалось, но всегда имелось значительное количество клеток, лишенных такой окраски. В некоторых случаях изменение окраски хвои, видимо, может служить одним из первых индикаторов радиационного повреждения (Clark, Roy, Baker a. Bunting, 1965).

К концу второго месяца жизни у сеянцев всех вариантов опыта, за исключением облучавшихся суточной дозой 50 p, наблюдался интенсивный рост верхушечного побега. Облучение в течение 105 дней суточными дозами 0,5 и 5 p не оказало влияния на рост верхушечного побега в длину (табл. 2). Различия между сеянцами этих вариантов опыта и контрольными недостоверны.

Длина гипокотилей была одинаковой у сеянцев всех вариантов опыта. Это обусловлено тем, что рост гипокотилей в длину заканчивается в первые дни после появления всходов, т. е. раньше, чем накапливается доза облучения, способная вызвать в тканях видимый биологический эффект.

Измерение длины главного корня показало (табл. 2), что облучение при помощи дозы 50 *p/сутки* угнетающе действовало на апикальную меристему корня; длина главного корня 105-дневного сеянца составляла около 50% к контролю. Сеянцы остальных вариантов опыта не имели существенных различий в длине корня.

Таблица 2

Длина основных органов 105-дневных сеянцев сосны, выросших в условиях хронического гамма-облучения

Органы растений	Контроль		52,5 <i>p</i>		525 <i>p</i>		5250 <i>p</i>	
	Длина							
	мм	мм	% к контролю	мм	% к контролю	мм	% к контролю	
Верхушечный побег	17±3,9	12±3,6	70,7	15±6,9	88,3	0	0	
Гипокотиль	26±4,1	23±2,4	81,4	22±3,4	81,4	23±3,9	92,7	
Главный корень . .	263	240	91,4	243	92,6	132	50,2	

В связи с тем, что влияние ионизирующей радиации может проявляться не только в изменении деятельности меристематических тканей, но и в изменении различных сторон обмена ве-

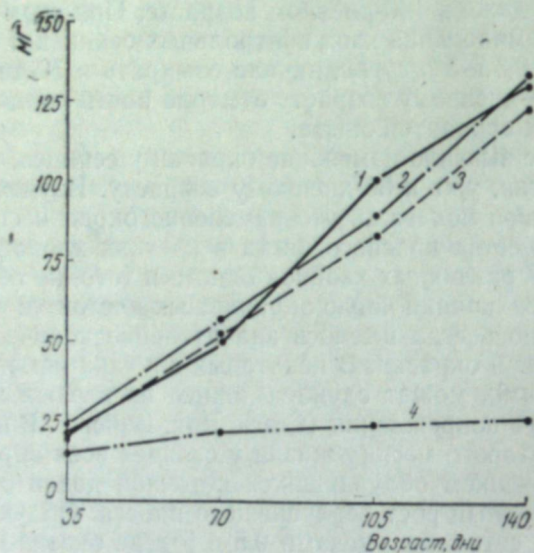


Рис. 2. Влияние гамма-облучения на накопление сухого вещества сеянцами сосны.

ществ и жизнедеятельности всего организма (Кузин, 1962; Васильев, 1962), нами в течение сезона для более полной характеристики облученных растений использовался такой результи-

рующий показатель, как накопление сухого вещества основными органами сеянцев — хвоей, стеблями и корнями и растениями в целом.

На рис. 2 показана динамика накопления сухого вещества контрольными и облучавшимися сеянцами сосны в течение вегетационного периода. Как видно, по характеру накопления сухого вещества растения контрольные и облучавшиеся по 0,5 и 5 *p/сутки* почти не отличались друг от друга, но резко отличались от сеянцев, облучавшихся по 50 *p/сутки*, у которых на протяжении последних трех месяцев опыта сухой вес оставался на уровне, достигнутом к 70-му дню опыта, и к концу сезона составлял около 20% сухого веса контрольных растений.

Динамика накопления сухого вещества отдельными органами показана на рис. 3. Накопление сухого вещества хвоей, корнями и гипокотелями контрольных и слабо облучавшихся сеянцев шло сходным образом, расхождения в весе соответствующих органов не превышали ошибку, причем прирост сухого веса органов наблюдался в течение всего вегетационного периода. У сеянцев, получавших по 50 *p/сутки*, прирост сухой массы прекратился у хвои к 35-му, а гипокотилей и корней — к 70-му дню облучения. Отсутствие прироста сухой массы органов при продолжающемся фотосинтезе (Юшков, Куликов, 1967) указывает на то, что ассимилируемый углерод практически полностью идет на процессы,

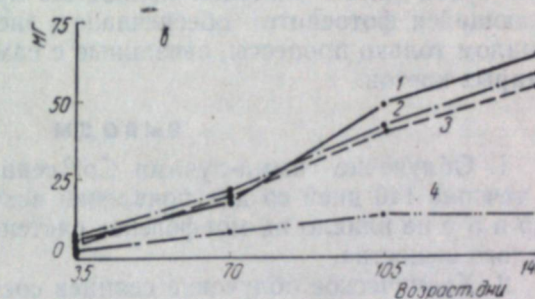
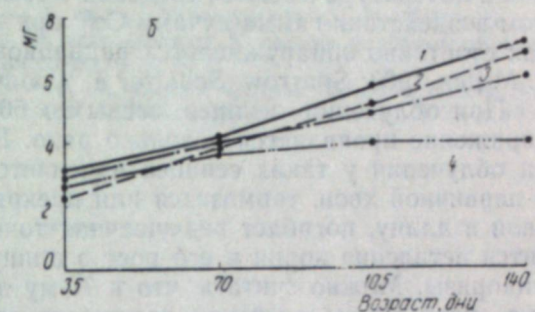
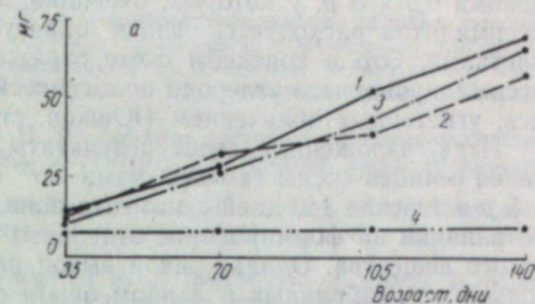


Рис. 3. Влияние гамма-облучения на накопление сухого вещества в хвое (а), гипокотиле (б) и корнях (в) сеянцев сосны.

связанные с самообновлением структур старых клеток, в отличие от сеянцев, не облучавшихся или облучавшихся суточными дозами 0,5 и 5 p, у которых, очевидно, значительное количество ассимилятов расходуется вновь образующимися и молодыми клетками. Это в конечном счете отражается на распределении ассимилированного углерода по химическим соединениям у сеянцев, угнетенных облучением (Юшков, статья в наст. сборнике).

Итак, изложенные выше результаты показывают, что облучение сеянцев сосны гамма-лучами Co^{60} суточными дозами 0,5 и 5 p в течение 140 дней с момента появления всходов не оказало влияния на формирование отдельных органов и накопление сухого вещества. Однако такой вывод является действительным только для избранных в данном опыте сроков наблюдения, так как в литературе имеются сведения о том, что при более длительном воздействии гамма-лучами Co^{60} при небольших суточных дозах отчетливо обнаруживается радиационный эффект (Woodwell a. Miller, 1963; Sparrow, Schairer a. Woodwell, 1965).

При облучении сеянцев сосны по 50 p/сутки радиационное поражение проявляется довольно рано. В течение первого месяца облучения у таких сеянцев изменяется окраска семядольной и первичной хвои, тормозится или прекращается рост первичной хвои в длину, погибает верхушечная точка роста стебля, тормозится ветвление корня и его рост в длину, а также образование микоризы. Можно считать, что к 70-му дню облучения нарастание сухой массы растений полностью прекращается, и продолжающийся фотосинтез обеспечивает энергопластическим материалом только процессы, связанные с самообновлением структур старых клеток.

ВЫВОДЫ

1. Облучение гамма-лучами Co^{60} сеянцев сосны обыкновенной в течение 140 дней со дня появления всходов суточными дозами 0,5 и 5 p не влияло на морфогенез растений и на накопление ими сухого вещества.

2. Хроническое облучение сеянцев сосны суточной дозой 50 p вызвало в течение первого месяца жизни прекращение роста стебля и первичной хвои в длину, а также подавление ветвления и роста корней. У сеянцев этого варианта опыта через два месяца после начала облучения прекратился прирост сухого вещества.

3. У сеянцев, облучавшихся по 50 p/сутки, было подавлено образование микоризы.

ЛИТЕРАТУРА

- Васильев И. М. Действие ионизирующих излучений на растения. М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Гайлис Я. Я. Жизнеспособность и изменения роста и развития древесных пород под влиянием хронического гамма-облучения.— Ионизирующие излучения в биологии. Рига, «Зинатне», 1965.

- Кузин А. М. Радиационная биохимия. М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Юшков П. И. Влияние хронического гамма-облучения на распределение меченых ассимилятов в сеянцах сосны обыкновенной. Статья в наст. сборнике.
- Юшков П. И., Куликов Н. В. Радиочувствительность молодых сеянцев сосны обыкновенной в условиях хронического облучения на гамма-поле.— Тезисы докладов симпозиума по проблемам радиочувствительности на молекулярном, клеточном и организменном уровнях. Новосибирск, 1966.
- Юшков П. И., Куликов Н. В. Действие хронического гамма-облучения на молодые сеянцы *Pinus silvestris* (L.).— Информ. бюлл. «Радиобиология», 1967, вып. 10.
- Clark G. M., Roy R. M., Baker D. G. a. Bunting W. R. Stimulated fallout studies in coniferes — a preliminary report.— Health physics, 1965, v. II, № 12.
- McCormick J. F. a. McJunkin R. E. Interactions of gamma radiation and other environmental stresses upon pine seeds and seedlings. Там же 1965.
- Sparrow A. H., Schairer L. A. a. Woodwell G. M. Tolerance of *Pinus rigida* trees to a ten year exposure to chronic gamma-irradiation from cobalt-60.— Rad. Bot., 1965, v. 5, N 1.
- Woodwell G. M. a. Miller L. N. Chronic gamma radiation effects the distribution of radial increment in *Pinus rigida* stems.— Sci., 1963, v. 139, N 3551.



УДК 538.122 : 577.391 : 634.94

А. А. ПОЗОЛОТИН, С. В. ТАРЧЕВСКАЯ

ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ГАММА-ОБЛУЧЕННЫЕ СЕМЕНА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

В литературе имеются сведения, полученные на животных объектах и на травянистых растениях о модифицирующем действии магнитных полей на лучевое поражение (Виленик, 1967; Amer, 1963; Conger и др., 1966; Mericle и др., 1964; 1966; Forsberg, 1964). Данных такого рода для древесных растений мы не нашли. Цель настоящей работы — установить, влияет ли постоянное магнитное поле на лучевое поражение семян сосны обыкновенной. Сравнительно небольшой размер семян сосны делает их удобным объектом в исследованиях с применением магнитного поля, так как дает возможность закладывать в небольшой объем, имеющий однородное поле, одновременно значительное число семян, что немаловажно в опытах, где набирается статистический материал. Клетки сосны обыкновенной довольно крупные, с 12 парами хромосом (Darlington, 1945). Четко выраженная стадия анафазы позволяет с большой точностью различать хромосомные aberrации (мостики, фрагменты).

Для опыта использовали семена *Pinus silvestris* L. урожая 1964 г., полученные из Миасского леспромхоза. Отбирали семена одинаковой плотности, окраски и размера, а затем часть из них облучали в августе 1965 г. на гамма-источнике Co^{60} мощностью 2500 p/ч. Необлученные семена и семена, получившие дозы 250, 1000 и 2500 p выкладывали на чашки Петри с влажным песком, покрытым фильтровальной бумагой, и помещали на время проращивания в термостат при 23° С.

Через три дня с начала выкладывания семян на влажный песок (т. е. перед самым наклеиванием) половину семян из каждого варианта опыта помещали в магнитное поле напряженностью 8,3 кэ, создаваемое между полюсами электромагнита с постоянным током от генератора (сила тока 18 а). Время экспозиции при максимальной напряженности магнитного поля 3 мин.

Поле убиралось плавно уменьшением силы тока, пропускаемого через обмотку катушек магнита, на 1,5 а в каждую последующую минуту. Температура в межполюсном пространстве электромагнита фиксировалась термометром и сохранялась в пределах точности измерения. После воздействия магнитным полем как «намагниченные», так и «ненамагниченные» семена до конца опыта проращивали в одинаковых термостабильных условиях. На протяжении опыта регистрировали число проросших семян, что дало возможность определить их всхожесть и динамику прорастания. Опыт ставили в трех повторностях, по 100 семян в каждой. Кроме того, был проведен цитологический анализ в меристеме кончиков корешков семян. Для этого на пятый день с момента выкладывания семян в чашки Петри проростки длиной 5—7 мм фиксировали смесью этилового спирта с уксусной кислотой (3:1) в течение 10—12 ч. После фиксации корешки переносили в 75% раствор этилового спирта, где они и сохранялись до окрашивания. Препараты окрашивали ацетолакмондом по методике, описанной ранее в работах нашей лаборатории (Царапкин, 1962; Позолотин, 1965). На временных давленных препаратах проводили анализ митотической активности и учет клеток с хромосомными aberrациями. Митотическую активность определяли из расчета числа делящихся клеток на всех стадиях митоза в 1000 просчитанных клеток одного препарата. Хромосомные aberrации типа мостиков и фрагментов учитывали на стадии анафазы. В каждом препарате проводили анализ 50 анафаз.

В табл. 1 приведены средние значения всхожести семян по трем повторностям опыта. Из таблицы прежде всего видно, что

Таблица 1

Влияние постоянного магнитного поля на прорастание семян сосны обыкновенной

Доза облучения, p	Вариант	Колич. проросших семян по дням наблюдений, %				
		5-я	6-я	7-я	10-я	12-я
0	Контроль	18 ± 2,22	25 ± 2,50	32 ± 2,69	46 ± 2,88	49 ± 2,89
	Магнитное поле	15 ± 2,06	30 ± 2,65	49 ± 2,89	62 ± 2,80	64 ± 2,77
250	Контроль	10 ± 1,73	23 ± 2,42	33 ± 2,71	40 ± 2,83	45 ± 2,87
	Магнитное поле	18 ± 2,22	33 ± 2,71	48 ± 2,88	57 ± 2,86	60 ± 2,83
1000	Контроль	10 ± 1,73	19 ± 2,12	33 ± 2,71	45 ± 2,87	49 ± 2,89
	Магнитное поле	8 ± 1,56	24 ± 2,47	44 ± 2,86	53 ± 2,88	57 ± 2,86
2500	Контроль	3 ± 0,05	5 ± 1,26	21 ± 2,35	26 ± 2,53	30 ± 2,65
	Магнитное поле	3 ± 0,05	10 ± 1,73	29 ± 2,62	43 ± 2,86	47 ± 2,88

дозы 250 и 1000 p не оказывают влияния на прорастание семян, в то время как доза 2500 p оказывает угнетающее действие.

Эффект угнетения всхожести семян дозой 2,5 кр наблюдается с начала и до конца опыта. Из таблицы также видно, что используемое в эксперименте постоянное магнитное поле влияет на всхожесть необлученных и облученных семян сосны. Это влияние особенно заметно в трех последних временных точках опыта. Число проросших семян в «магнитном» варианте на 10—15% больше, чем в соответствующих «немагнитных» вариантах. Дисперсионный анализ данных опыта (табл. 2) показал, что влияние магнитного поля на всхожесть семян, так же как и влияние дозы облучения, высоко значимо. Взаимодействие магнитного поля и дозы облучения в опыте не было обнаружено ($P=0,3$).

Таблица 2

Результаты дисперсионного анализа данных по всхожести семян сосны обыкновенной

Фактор	F	P
Магнитное поле	118,0	0,0001
Доза облучения	79,0	0,0001
Взаимодействие магнитного поля и дозы облучения	1,0	Более 0,3

Таблица 3

Влияние постоянного магнитного поля на выход хромосомных aberrаций в облученных семенах сосны обыкновенной

Доза облучения, p	Вариант	Исследовано ана-фаз	% поврежден-ных ана-фаз	Митотиче-ская ак-тивность*
0	Контроль	200	0,0	4,6
	Магнитное поле	200	0,0	6,3
250	Контроль	200	11,0	5,9
	Магнитное поле	200	7,5	4,4
1000	Контроль	200	9,0	5,5
	Магнитное поле	200	6,0	5,5
2500	Контроль	200	18,0	5,8
	Магнитное поле	200	13,0	5,8

* На каждую точку просчитано по 4000 клеток.

Из литературы известно, что однородное магнитное поле вызывает усиление темпов роста проростков некоторых бобовых и злаковых культур (Стрекова и др., 1965). В нашем опыте удалось показать, что для сосны обыкновенной обнаруживается влияние магнитного поля на динамику прорастания необлученных семян. Увеличение числа проросших семян к различным срокам с начала опыта в вариантах с магнитным полем сохраняется также и для семян, облученных тремя разными дозами гамма-лучей, в том числе и дозой 2500 p, являющейся, как уже было показано, сильно угнетающей для семян сосны.

Ранее было показано (Позолотин, 1965), что магнитное поле, примененное после облучения семян гороха, изменяет лучевое поражение хромосом, проявляющееся в виде хромосомных aberrаций в анафазе первого пострадиационного митоза. В работе В. Ю. Стрековой с сотрудниками (1965) приводятся сведения об увеличении митотической активности в меристеме злаковых под

влиянием постоянного магнитного поля. Результаты проведенного нами цитологического анализа, включавшего как анализ численной активности, приведенные в табл. 3. Из таблицы видно, что само по себе магнитное поле не вызывает хромосомных aberrаций. Процент клеток с хромосомными aberrациями, вызванными гамма-лучами, снижается во всех вариантах с магнитным полем. Митотическая активность в необлученных семенах и в гамма-облученных семенах не меняется значимо под влиянием магнитного поля. Описанные В. Ю. Стрековой эффекты объясняются, возможно, тем, что в экспериментах было использовано неоднородное магнитное поле и другой объект (проростки ржи).

Выводы

1. Постоянное магнитное поле напряженностью 8,3 кэ увеличивает всхожесть необлученных и облученных дозами 250, 1000 и 2500 p семян сосны обыкновенной.
2. Постоянное магнитное поле снижает количество поврежденных хромосом, проявляющихся в виде фрагментов и мостиков в анафазах первого пострадиационного митоза.
3. Митотическая активность в корневой меристеме, облученных и необлученных семян сосны не зависит от действия постоянного магнитного поля.

Литература

- Виленик М. М. Магнитные эффекты в биологии.—Успехи совр. биол., 1967, т. 63(1).
- Позолотин А. А. О механизме различного действия импульсного магнитного поля на облученные семена и проростки гороха.—Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей. Изд-во Томск. гос. ун-та, 1965.
- Стрекова В. Ю., Тараканова Г. А., Прудникова В. П., Новицкий Ю. И. Некоторые физиологические и цитологические изменения у прорастающих семян в постоянном магнитном поле.—Физиология растений, 1965, т. 12, вып. 5.
- Царапкин Л. С. Влияние цистеина на лучевые поражения хромосом у растений. Автореф. канд. дисс. Свердловск, 1962.
- Amer N. M. Modification of radiation injury with magnetic fields.—Rad. Res., 1963, v. 19(1).
- Conger A. D., Flasterstein A. H. a. Thompson K. A test for a magnetic effect in irradiated seeds.—Rad. Bot., 1966, v. 6.
- Darlington C. D., Janaki E. K. Chromosome Atlas of Cultivated Plants. London, George Allen and Unwin Ltd., 1945.
- Forsberg A. Some experiments in irradiating Drosophila eggs with roentgen-rays and x-rays in a magnetic field.—Acta radiologica (Stockholm), 1940, v. 21(2).
- Mericle R. P., Mericle L. W., Montgomery D. J. a. Campbell W. F. Modification of radiation damage by post-treatment with homogeneous magnetic fields.—Genetics, 1964, v. 50(2).
- Mericle R. P., Mericle L. W. a. Montgomery D. J. Magnetic fields and ionizing radiation: effects and interactions during germination and early seedling development.—Rad. Bot., 1966, v. 6.

УДК 577.391 : 538.122

Э. З. ГАТИЯТУЛЛИНА, А. А. ПОЗОЛОТИН

ВЛИЯНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ И МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА МИТОЗ В МЕРИСТЕМЕ КОРЕШКОВ ГОРОХА

ВВЕДЕНИЕ

Ионизирующие излучения все шире применяются в различных областях науки и практики. Одновременно с практическим использованием ионизирующей радиации продолжается исследование механизмов действия излучения на живые организмы. В частности, показано, что физические (Александров, 1952; Ивенс, 1966; Spargow, 1951) и химические факторы (Парибок, 1966) способны изменять лучевое поражение. В последнее время интересы исследователей обратились к изучению электромагнитных полей, как одному из возможных факторов, влияющих на лучевое поражение.

Возросший интерес к проблеме влияния магнитного поля на живые организмы связан также с расширяющимся использованием сильных электромагнитов в научных исследованиях, на производстве и, прежде всего, с требованиями космонавтики, так как в будущем предполагается использовать сильные магнитные поля для защиты экипажей кораблей от космических лучей. К настоящему времени можно считать установленным, что магнитные поля оказывают значительное влияние на протекание ряда процессов в живых организмах. Изучение совместного действия магнитного поля и ионизирующего излучения на клетку, являющееся содержанием настоящей работы, может иметь значение для решения ряда вопросов, связанных как с лучевым поражением клетки, так и с биологическим действием магнитных полей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследование проводилось на клетках меристемы первичных корешков гороха *Pisum sativum* L. сорта Капитал. Горох являет-

ся удобным объектом для цитологических исследований. Этому благоприятствует хорошо выраженная точка роста в кончике корешка проростка (первичная корешковая меристема), а также крупные меристематические клетки с семью парами сравнительно больших хромосом. Выбор материала обусловлен также и тем, что радиочувствительность гороха подробно изучена (Батыгин, Мисюк, 1963; Лучник, Царапкин, 1959; Мамедов, Халиси, 1965; Фесенко, 1966; Царапкин, 1962). Для анализа эффектов магнитного поля, как известно из литературы (Позолотин, 1965 а, б; Позолотин, Гатиятуллина, 1966; Стрекова и др., 1965; Стрекова, 1966; Lenzi, 1940), наиболее удобны именно процессы клеточного деления и структурные изменения в ядрах клеток.

Покоящиеся семена были облучены гамма-лучами Co^{60} при температуре 14—18°С и влажности семян 8,6% в мае 1966 г. Пяти группам (по 750 шт. в каждой) были даны дозы облучения 500, 1000, 2500, 5000 и 10 000 p при постоянной мощности дозы 886 p/ч. Контрольные семена облучению не подвергали, но хранили при тех же условиях, что и облученные. Через две недели после облучения семена намачивали в водопроводной воде в течение 24 ч, затем (в 9 ч утра) переносили для проращивания в чашки Петри с увлажненным песком, покрытым фильтровальной бумагой. После 12 ч дня семена были подвергнуты воздействию магнитного поля. При этом исходили из указания, что на магнитное поле растения особенно отзывчивы именно в это время суток (Савостин, 1928). Каждая группа семян была разделена на три подгруппы, две из которых были подвергнуты воздействию постоянного однородного магнитного поля: напряженностью 50 и 6,8 кэ. Третью подгруппу семян не помещали в магнитное поле, она служила контролем. Однородное поле создавалось электромагнитом постоянного тока от генератора в зазоре 65 мм между наконечниками полюсов. Семена помещали в поле в полотняных мешочках, зародыши относительно полюсов магнита не ориентировали. Каждую группу семян выдерживали в магнитном поле 3 мин. После воздействия магнитным полем семена снова переложили в чашки Петри с увлажненным песком, покрытым фильтровальной бумагой, для дальнейшего проращивания в термостате при температуре 23°С.

Для цитологического анализа в каждом варианте опыта корешки гороха фиксировали в смеси спирта с ледяной уксусной кислотой (3:1) через 16, 18, 20, 22, 28, 30, 40 и 45 ч после конца намачивания. Для каждого из 18 вариантов опыта на точку фиксации брали по 10 корешков. Цитологическое исследование проводили на временных давленных препаратах, которые готовили по методике Дарлингтона и Ла Кура (Darlington a. La Cour, 1947), несколько видоизмененной. Хранящиеся в фиксаторе Карнуа корешки выкладывали на часовое стекло, заливали ацетолакмоидом (по 6 капель на корешок) и добавляли 1 н. соляной кислоты (1—2 капли на корешок) для мацерации тканей. Через

15 мин подогрели на спиртовке до появления легких паров, а затем корешки оставляли в красителе еще 45 мин. После прокрашивания и мацерации корешки перекладывали на предметное стекло, отделяли кончики корешков (1,5—2 мм) и приготавливали давленные препараты в капле 45%-ной уксусной кислоты. При этом клетки располагаются на препарате в один слой, что очень удобно для цитологического анализа.

На всех препаратах подсчитывали количество делящихся клеток среди 1000 клеток зоны деления корешка, т. е. учитывали митотический индекс, который выражали в процентах. Учитывали также частоту отдельных фаз митоза. Анализ препаратов обычно производили при увеличении от 900 до 1500 раз с масляной иммерсией. Для анализа цитогенетических повреждений на препаратах подсчитывали по 50 анафаз, среди них учитывали общее число поврежденных анафаз, число анафаз с фрагментами и мостиками, число мостиков и фрагментов.

Полученный в результате опыта цифровой материал подвергался статистической обработке. Помимо вычисления средних и ошибок к ним в отдельных случаях был проведен специальный статистический анализ: регрессионный анализ кривых время — эффект и доза — эффект, сравнение с помощью критерия χ^2 числа поврежденных анафаз в отдельных временных точках.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

1. Влияние гамма-облучения и электромагнитного поля на митотическую активность

Исследование действия гамма-облучения и электромагнитного поля (ЭМП) на пролиферативную способность клеток проводили на протяжении первого после воздействия митоза.

Известно, что в покоящихся сухих семенах клетки зародышевой меристемы находятся на стадии интерфазы, и только при прорастании семени они начинают делиться (Пухальская, 1950). По данным Ю. Ф. Богданова (Богданов, Боровкова, 1964), деление клеток в семенах гороха начинается не ранее чем через 16 ч после начала прорастания. Хотя вопрос, какой момент митотического цикла считать отправным, остается в цитологии спорным, большинство исследователей принимают за начало деления клеток изменения хромосом в профазе. В нашем опыте начало митоза характеризовалось появлением первых делящихся клеток в зоне деления корешка.

Результаты изучения митотической активности через 16, 18 и 20 ч после конца намачивания приведены в табл. 1. Из таблицы видно, что через 16 ч нет делящихся клеток ни в одном из вариантов опыта, за исключением варианта с приложением магнитного поля напряженностью 6,8 кэ к необлучаемым семенам, в котором была обнаружена одна делящаяся клетка из 4000 про-

Таблица 1

Влияние облучения и ЭМП на митотическую активность через 16, 18 и 20 ч после конца намачивания

Вариант опыта		Процент делящихся клеток после намачивания		
Напряженность ЭМП	Доза облучения, р	16 ч	18 ч	20 ч
Контроль	0	0	0	0,013
	500	0	0	0,113
	1000	0	0,025	0
	2500	0	0	0,038
	5000	0	0,013	0,60
	10000	0	0	0
50 э	0	0	0	0
	500	0	0	0,325
	1000	0	0	0
	2500	0	0	0
	5000	0	0	0,45
	10000	0	0	0
6800 э	0	0,025	0	0
	500	0	0,75	0,25
	1000	0	0	0,42
	2500	0	0	0
	5000	0	0	2,60
	10000	0	0	0

смотренных. Единичные делящиеся клетки появляются на препаратах через 18 ч, а к 20 ч деление клеток наблюдали уже в большинстве вариантов.

Специально изучалась митотическая активность через 22 ч после конца намачивания. Результаты исследования приведены в табл. 2. Как видно из таблицы, к 22 ч митотическая активность довольно низка. В необлученных семенах она составляет 0,675%. В контрольном варианте (без приложения магнитного поля) наибольшее число делящихся клеток наблюдали в семенах, облученных дозой 1000 р, которая, согласно исследованиям Н. А. Порядковой и Н. В. Лучника (Порядкова, 1956; Порядкова и др., 1963; Лучник, 1958), является стимулирующей. При дозе 2500 р происходит снижение митотической активности, а в семенах, облученных дозами 5000 и 10 000 р, деления клеток не обнаружено.

Под влиянием магнитного поля происходит изменение числа делящихся клеток по сравнению с контролем. При напряженности поля 6,8 кэ уже у необлученных семян наблюдается более чем двукратное повышение митотической активности (рис. 1). Увеличенное по сравнению с контролем число митозов сохраняется

Влияние облучения и ЭМП на митотическую активность через 22 ч после конца намачивания

Доза облучения, р	Варианты опыта																	
	Без воздействия ЭМП						ЭМП 50 э						ЭМП 6,8 кэ					
	Колич. сосчитанных клеток		Делящиеся клетки		Колич. сосчитанных клеток		Делящиеся клетки		Колич. сосчитанных клеток		Делящиеся клетки		Колич. сосчитанных клеток		Делящиеся клетки			
	Число	%	Число	%	Число	%	Число	%	Число	%	Число	%	Число	%	Число	%		
0	8000	0,675	54	0,60	4000	0,60	24	0,60	4000	0,60	24	0,60	4000	0,60	63	1,56		
500	8000	0,600	48	2,42	4000	2,42	97	2,42	4000	2,42	97	2,42	4000	2,42	169	4,20		
1000	8000	2,540	203	0,90	4000	0,90	36	0,90	4000	0,90	36	0,90	4000	0,90	111	2,77		
2500	8000	0,013	1	0,57	4000	0,57	23	0,57	4000	0,57	23	0,57	4000	0,57	26	0,65		
5000	8000	0,000	0	1,00	4000	1,00	40	1,00	4000	1,00	40	1,00	4000	1,00	0	0,00		
10000	8000	0,000	0	0,00	4000	0,00	0	0,00	4000	0,00	0	0,00	4000	0,00	0	0,00		

под влиянием поля и при дозах 500, 1000 и 2500 р, причем максимум их обнаруживается при дозе 500 р. Под влиянием поля напряженностью 6,8 кэ происходит большее повышение митотической активности, чем при напряженности 50 э. Так же как и в контроле, у семян, помещенных в магнитное поле, через 22 ч после конца намачивания при дозе 1000 р деления клеток не обнаружено. Таким образом, существует зависимость митотической активности от дозы облучения и напряженности магнитного поля. Причем при относительно небольших дозах наблюдается повышение митотической активности, а при высоких дозах — подавление митозов. Повышение может быть следствием удлинения времени митотического цикла (это происходит за счет удлинения времени нахождения клеток в отдельных стадиях); ускоренного темпа деления и сокращения времени интерфазы; волнообразного характера митозов (Богданов, Боровкова, 1964; Богданов, 1967; Лучник, 1958; Мэзия, 1963). В данном случае нельзя однозначно говорить о каком-либо одном из этих механизмов, так как в условиях нашего эксперимента специально не изучалась продолжительность митотического цикла.

Как уже упоминалось, выше, исследование проводили в течение первого

после воздействия митоза. По данным Д. Е. Ли (1963), Н. В. Лучника (1958), Рида (Read, 1959), критерием начала вторых митозов может служить появление делящихся клеток с микроядрами. В результате облучения в клетках происходят структурные изменения хромосом. Наряду с мостиками наблюдаются и фрагменты, которые по окончании деления иногда выделяются в отдельные микроядра. Появление клеток с микроядрами в профазе служит показателем того, что клетка делится вторично. Но при помощи данного критерия невозможно определить конец митоза в необлученных семенах, так как они имеют незначительную частоту спонтанных мутаций. Это осложняет сравнение результатов по митотической активности у необлученных семян между контрольными и магнитными вариантами.

В условиях нашего опыта клетки с микроядрами в контрольном варианте наблюдали при всех дозах облучения через 45 ч после конца намачивания. В магнитных вариантах к 45 ч микроядра не были обнаружены только при дозе 10 000 р. Следовательно, в контрольном и магнитном вариантах опыта границы первого митоза укладываются во взятый нами интервал времени с 16 до 45 ч после конца намачивания.

Фиксирование корешков через различные интервалы времени на протяжении первого митоза позволило исследовать динамику митотической активности и зависимость ее от действия излучения и магнитного поля в различных временных точках первого митоза. В первую очередь можно отметить, что митотическая активность в интервале времени между 28 и 45 ч после конца намачивания (табл. 3) довольно высока во всех вариантах опыта. В контрольном варианте в условиях нашего эксперимента она колеблется от 7,2 до 16,7%. По литературным данным, митотическая активность в кончиках корешков сильно зависит не только от времени с начала проращивания семян, но и от времени суток, так называемой суточной ритмики митозов (Lewis, 1901). В литературе сообщаются различные показатели митотической активности выбранного нами сорта гороха: в опытах М. Ф. Богданова и Т. В. Боровковой (1964) — от 8 до 11,4%; в работе Н. В. Лучника (1958), через 79 ч с конца намачивания семян,—

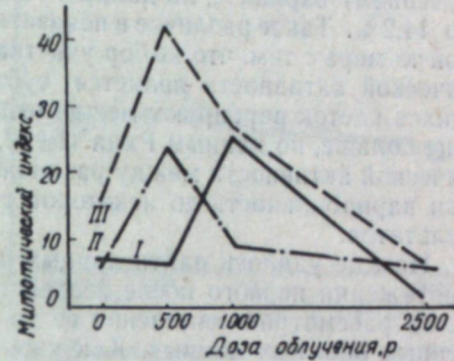


Рис. 1. Зависимость митотического индекса от дозы облучения и напряженности магнитного поля (фиксация через 22 ч после конца намачивания): I — контроль, II — МП 50 э, III — МП 6,8 кэ.

10,6%; в работе Н. А. Порядковой (1965), через 48 ч после начала проращивания, — 11,1%. Н. А. Порядкова отмечает, что митотическая активность не изменялась при облучении материала дозой 15 000 p. Не было обнаружено также четкой зависимости ее от влажности взятых в опыте семян. П. Д. Усманов (1965) исследовал влияние различных температур на митотическую активность. Средние значения митотической активности в контрольном (необлученном) варианте, по данным этого автора, колеблются от 10,9 до 14,2%. Такое различие в показателях может быть связано в какой-то мере с тем, что выбор участка корешка для подсчета митотической активности является субъективным, пропорции делящихся клеток варьируют между отдельными участками корешка; еще больше, по данным Рида (Read, 1959), вариабильность митотической активности между различными корешками. Такая широкая вариабильность до некоторой степени осложняет анализ результатов.

Нам не удалось найти данных о митотической активности на протяжении первого после воздействия митоза. Поэтому прежде всего рассмотрим изменение ее во времени на основании полученных опытных данных. Как уже отмечалось, колебания митотической активности в необлученном контрольном варианте велики. Тем не менее имеется определенная тенденция к уменьшению в конце первого митоза. Выше отмечалось, что часть экспериментальных данных была обработана методом регрессионного анализа, который позволяет говорить о достоверном понижении митотической активности к концу первого митоза ($P=0,016$). Результаты регрессионного анализа подтверждаются сравнением значений митотической активности в отдельных временных точках. Аналогичная картина имеется и при облучении наименьшей из наших доз (500 p) при отсутствии дополнительных воздействий магнитным полем, т. е. уменьшение митотической активности во времени при облучении 500 p можно считать реальным ($P=0,002$). При больших дозах, начиная с 1000 p и далее (2500, 5000, 10 000 p), не удается заметить закономерного уменьшения митотической активности к концу первого митоза (соответственно P 0,05; 0,67; 0,12 и 0,44). Сравнение средних значений митотической активности в семенах, облученных указанными дозами, показало, что разница между крайними ее значениями в отдельные сроки фиксации не достоверна. Возможно, это объясняется большой вариабильностью митотической активности в отдельных препаратах (корешках), о чем упоминалось выше.

Средние значения митотической активности при воздействии на семена различными дозами гамма-лучей в конкретные сроки фиксации, а именно через 28, 30, 35 ч после конца намачивания, колеблются, но различия эти не достоверны.

При двух последних фиксациях (40 и 45 ч), близких к концу первого митоза (как уже отмечалось, через 45 ч встречаются микроядра в делящихся клетках), также не удается заметить

четкой зависимости митотической активности от дозы облучения.

В вариантах с приложением магнитного поля к необлученным семенам (см. табл. 3) митотическая активность колеблется в разных точках фиксации в тех же интервалах, что и в контрольном необлученном варианте. В варианте с магнитным полем напряженностью 50 э в необлученных семенах и облученных дозой 500 p к концу первого митоза наблюдается уменьшение митотической активности, статистически достоверное (соответственно P 0,04 и 0,002). В отличие от контроля в этом варианте (напряженность поля 50 э) закономерное уменьшение митотической активности к концу первого митоза отмечается у семян, облученных дозами 2500 и 5000 p.

У необлученных семян при дополнительном воздействии магнитным полем напряженностью 6,8 кэ, в отличие от контроля, мы не наблюдали достоверного снижения митотической активности к концу первого митоза. Она почти не изменяется со временем и при совместном воздействии магнитным полем 6,8 кэ и облучении дозами 500, 1000 и 2500 p. При облучении гамма-лучами дозой 5000 p и приложении магнитного поля напряженностью 6,8 кэ по данным регрессионного анализа отмечается достоверное уменьшение митотической активности к концу первого митоза ($P=0,003$).

Зависимость митотической активности от дозы облучения для всех трех вариантов специально изучалась при фиксации через 28 и 40 ч.

При фиксации через 28 ч (рис. 2) отмечается следующее: в начале кривых (в интервале доз от 0 до 2500 p) имеются различия в ходе кривых для всех трех вариантов, в то время как при

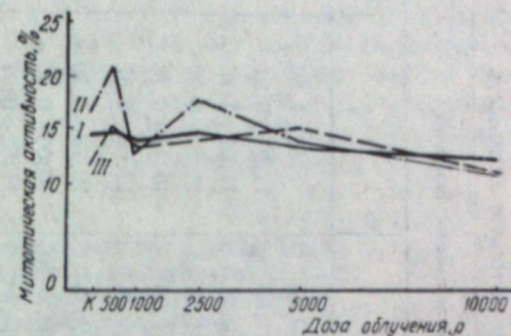


Рис. 2. Зависимость митотической активности от дозы облучения и напряженности магнитного поля. Фиксация через 28 ч после намачивания.

I — контроль, II — МП 50 э, III — МП 6,8 кэ.

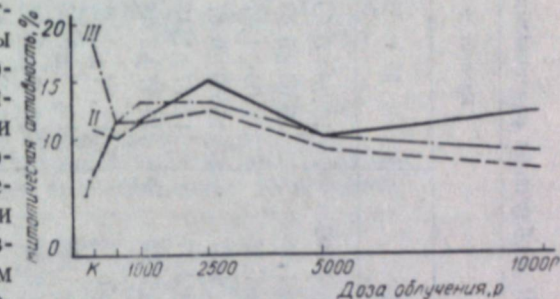


Рис. 3. То же, что на рис. 2. Фиксация через 40 ч после намачивания.

Влияние ЭМП и облучения различными дозами на митотическую активность

Варианты опыта		Процент делющихся клеток после намачивания семян				
Напряженность ЭМП	Доза облучения, p	28 ч	30 ч	35 ч	40 ч	45 ч
		Контроль	0	14,59 ± 2,002	16,76 ± 0,99	15,23 ± 0,84
	500	14,87 ± 1,13	15,63 ± 0,92	13,05 ± 1,59	11,07 ± 0,94	9,07 ± 1,30
	1000	13,98 ± 1,35	17,34 ± 1,47	13,97 ± 2,01	11,62 ± 1,76	11,81 ± 0,84
	2500	15,11 ± 1,97	15,50 ± 0,87	12,11 ± 1,98	15,26 ± 0,99	14,01 ± 0,77
	5000	13,81 ± 2,77	17,77 ± 1,18	15,87 ± 1,28	10,41 ± 0,73	11,40 ± 1,20
	10000	12,79 ± 2,75	15,47 ± 3,34	13,38 ± 1,38	12,66 ± 0,57	8,55 ± 0,42
	0	16,60 ± 0,75	18,77 ± 2,45	12,92 ± 2,25	10,77 ± 0,50	13,80 ± 3,10
	500	20,85 ± 1,74	19,15 ± 0,53	14,35 ± 0,97	10,03 ± 0,46	12,97 ± 1,62
	1000	12,90 ± 0,70	20,77 ± 2,04	16,85 ± 2,42	11,52 ± 0,87	10,82 ± 2,01
	2500	17,97 ± 1,18	17,62 ± 1,87	13,95 ± 1,09	12,62 ± 2,88	10,70 ± 0,55
	5000	14,45 ± 1,64	20,55 ± 0,97	14,80 ± 0,56	9,40 ± 0,84	11,35 ± 1,11
	10000	11,27 ± 1,64	11,87 ± 2,28	9,62 ± 1,33	7,27 ± 0,77	10,20 ± 0,58
	0	11,50 ± 1,87	16,22 ± 2,96	13,57 ± 1,55	18,30 ± 1,77	+
	500	15,30 ± 3,20	16,67 ± 1,26	11,15 ± 1,48	11,67 ± 0,43	11,20 ± 2,20
	1000	13,37 ± 1,99	15,70 ± 2,65	12,37 ± 1,69	13,35 ± 1,05	11,42 ± 2,01
	2500	14,17 ± 1,99	17,97 ± 0,89	10,15 ± 1,38	13,25 ± 0,87	14,85 ± 0,97
	5000	15,45 ± 1,91	20,25 ± 1,02	14,75 ± 1,04	10,42 ± 0,43	11,90 ± 1,07
	10000	11,57 ± 2,04	9,60 ± 1,26	4,00 ± 0,92	8,97 ± 0,51	11,80 ± 1,69
50 э						
6,8 кэ						

больших дозах кривые идут согласно. Для оценки общего хода кривых был выбран регрессионный анализ (табл. 4).

Из характера кривых и результатов их статистического анализа вытекает, что митотическая активность не зависит от дозы облучения для контрольного варианта и варианта с МП 6,8 кэ (соответственно P 0,32 и 0,87). Для варианта с магнитным полем напряженностью 50 э получен достоверный наклон линии регрессии ($P=0,0056$) в сторону наибольших доз. Как видно из графика, этот наклон обусловлен значительным повышением митотической активности данного варианта в начальных точках, т. е. в контроле и при дозе 500 р. Следует заметить, что как раз для этого варианта при указанной дозе отмечается большая интенсивность клеточного деления и при фиксации через 24 ч.

Таблица 4

Результаты регрессионного анализа опыта по влиянию различных доз облучения и ЭМП на митотическую активность через 28 ч после конца намачивания

Вариант опыта	Коэффициент регрессии	t	n	P
Без воздействия				
ЭМП	0,5599 ± 0,0769	1,07	46	0,32
ЭМП 50 э	0,974 ± 0,0717	2,90	22	0,0056
ЭМП 6,8 кэ	0,0638 ± 0,0863	0,16	22	0,87

Таблица 5

Результаты регрессионного анализа опыта по влиянию облучения и ЭМП на митотическую активность через 40 ч после конца намачивания

Вариант опыта	Коэффициент регрессии	t	n	P
Без воздействия				
ЭМП	1,004 ± 0,0537	2,76	46	0,0054
ЭМП 50 э	-0,542 ± 0,0595	1,94	22	0,07
ЭМП 6,8 кэ	-1,221 ± 0,0479	5,44	22	0,0002

На рис. 3 приведены кривые зависимости митотической активности от дозы облучения через 40 ч после конца намачивания (т. е. в одну из последних точек фиксации). Для каждой отдельной кривой, приведенной на рисунке, были вычислены коэффициенты линейной регрессии. Последние приведены в табл. 5.

Уже из графика виден согласованный ход двух кривых, изображающих зависимость митотической активности от дозы магнитных вариантов и отличие хода этих кривых от хода кривой конт-

Таблица 6

Влияние облучения 5000 p и ЭМП на митотическую активность и частоту отдельных фаз митоза

Время фиксации после начала намачивания, ч	Количество сосчитанных клеток	Профаза		Метафаза		Анафаза		Телофаза		Митотическая активность	
		число	%	число	%	число	%	число	%	число	%
Вариант контрольный (без воздействия ЭМП)											
28	8000	696	8,7	254	3,17	77	0,96	79	0,988	1106	13,81 ± 2,77
30	8000	806	10,075	327	4,088	171	2,137	118	1,475	1422	17,775 ± 1,18
35	8000	712	8,90	307	3,837	137	1,71	114	1,425	1270	15,875 ± 1,28
40	8000	485	6,062	193	2,41	99	1,238	56	0,70	833	10,41 ± 0,73
45	8000	539	6,74	200	2,50	76	0,95	97	1,21	912	11,40 ± 1,20
Вариант с воздействием ЭМП 50 э											
28	4000	370	9,25	134	3,35	48	1,20	26	0,65	578	14,45 ± 1,64
30	4000	429	10,725	214	5,35	111	2,775	67	1,675	822	20,525 ± 0,97
35	4000	336	8,40	141	3,525	61	1,525	54	1,35	592	14,80 ± 0,56
40	4000	200	5,00	92	2,30	56	1,40	28	0,70	376	9,40 ± 0,84
45	4000	232	5,80	129	3,225	52	1,30	41	1,025	454	11,35 ± 1,11
Вариант с воздействием ЭМП 6,8 кэ											
28	4000	394	9,85	149	3,725	77	1,925	52	1,30	672	16,80 ± 1,91
30	4000	453	11,325	207	5,175	102	2,55	48	1,20	810	20,25 ± 1,02
35	4000	307	7,675	126	3,15	70	1,75	84	2,10	587	14,675 ± 1,04
40	4000	234	5,85	83	2,07	50	1,25	50	1,25	417	10,42 ± 0,43
45	4000	291	7,275	101	2,525	49	1,225	35	0,875	476	11,90 ± 1,07

рольного варианта. Данные регрессионного анализа показывают различие в коэффициентах линии регрессии для всех трех кривых. Положительный коэффициент регрессии ($P=0,0054$) для контрольного варианта позволяет говорить о некотором увеличении митотической активности с дозой облучения. Для варианта с напряженностью магнитного поля 50 э не обнаруживается линейной зависимости митотической активности от дозы облучения. Достоверный отрицательный коэффициент регрессии для варианта с магнитным полем большой напряженности (6,8 кэ) позволяет говорить об уменьшении митотической активности в этом варианте с увеличением дозы облучения. Как и в случае фиксации через 28 ч различие хода линии регрессии обусловлено, прежде всего, различием митотической активности в начальных точках кривых.

Несмотря на некоторое сходство результатов, полученных при фиксации через 28 и 40 ч с конца намачивания, имеется и существенная разница. Например, при фиксации через 28 ч митотиче-

ская активность в контрольном и магнитных вариантах существенно не различается. При фиксации же через 40 ч разница между митотической активностью в контрольном и магнитных вариантах при облучении дозой 10 000 p статистически высоко значима.

В связи с этим представляло интерес детально проанализировать влияние гамма-облучения и магнитного поля на митотическую активность и частоту отдельных фаз митоза при больших дозах. Результаты такого анализа для дозы 5000 p приведены в табл. 6. Из таблицы видно, что средние значения митотической активности, а также частоты отдельных фаз митоза несколько варьируют от одной точки фиксации к другой. Внутри одной точки фиксации вариация средних значений митотической активности, а также и частот отдельных фаз митоза очень мала. Исключение составляют только начальные точки фиксации (28 ч), где вариация митотической активности значительной, но различия статистически не достоверны.

На рис. 4 приведены результаты по изучению митотической активности при пяти фиксациях корешков, облученных гамма-лучами дозой 10 000 p и подвергнутых воздействию магнитного поля. Из рисунка видно, что магнитное поле оказывает влияние на митотическую активность. Так, при фиксации через 30, 35, 40 ч в вариантах с магнитным полем она значительно меньше, чем в контрольном варианте. Эффект магнитного поля, особенно четко проявляющийся в данном случае при фиксации через 35 ч, зависит не только от напряженности поля, но и от времени фиксации.

Следует отметить, что в отдельные точки фиксации в варианте без приложения магнитного поля не получено четкой зависимости митотической активности от дозы облучения. Эти данные соответствуют выводам из работ Н. А. Порядковой (1965), и Л. С. Царапкина (1962). При дополнительном воздействии магнитным полем картина меняется. Эффект магнитного поля особенно четко проявляется в середине митоза и при относительно больших дозах облучения. При этом наблюдается снижение митотической активности по сравнению с контролем.

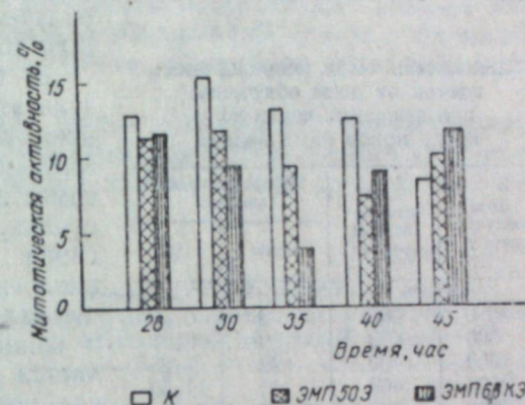


Рис. 4. Влияние магнитного поля на митотическую активность в семенах, облученных 10 000 p.

II. Влияние гамма-облучения и магнитного поля на структурные изменения ядер

Многочисленные исследования, посвященные изучению влияния ионизирующей радиации на митоз, показывают, что существует корреляция между митотической активностью и изменениями в ядре, происходящими в результате облучения (Бреславец, 1946; Лучник, 1958; Margchak, 1937). Поскольку в нашем опыте получен эффект магнитного поля на митотическую активность, представляло интерес изучить влияние магнитного поля и гамма-

Таблица 7

Зависимость числа поврежденных клеток от дозы облучения при фиксации через 30 ч после конца намачивания

Доза облучения, p	Число исследованных анафаз	Поврежденные анафазы	
		число	%
0	400	2	0,50
500	400	9	2,25
1000	400	29	7,25
2500	400	46	11,50
5000	400	102	25,50
10000	400	159	39,75

(Ли, 1963; Дубинин, 1961; Дубинин, 1963). Работами многих исследователей (Дубинин, 1961; Корогодин, 1966; Лучник и др., 1960; Царапкин, 1962) показано, что лучевое поражение клеток зависит от времени между моментом облучения и наблюдением. В нашем опыте фиксирование корешков в разные временные точки после конца намачивания позволило проследить число клеток с хромосомными aberrациями на протяжении первого митоза.

На рис. 5 приведена кривая зависимости числа хромосомных aberrаций от времени для семян, облученных дозой 10 000 p.

Статистическая обработка данных показывает достоверное убывание числа клеток с хромосомными aberrациями в исследованном интервале времени ($P=0,002$). Как уже

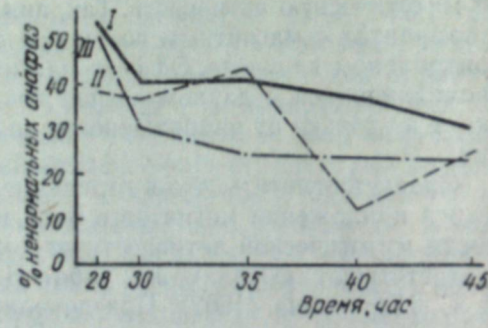


Рис. 5. Зависимость числа клеток с хромосомными aberrациями от времени в семенах, облученных 10 000 p: I — контроль, II — МП 50 э, III — МП 6,8 кэ.

было показано ранее, этот интервал укладывается в границы первого митоза. В табл. 8 приведены результаты статистической обработки данных по изменению во времени числа клеток с разными типами хромосомных aberrаций. Так же как для общего числа клеток с повреждениями, коэффициенты регрессии отрицательны, что говорит об убывании во времени числа клеток с фрагментами и с мостиками. Данные эти достоверны (соответственно $P 0,0005$ и $0,035$). Уменьшение числа клеток с фрагментами выражено отчетливее, чем уменьшение числа клеток с мостиками.

В табл. 9 приведены результаты исследования влияния магнитного поля двух напряженностей на число клеток с хромосомными перестройками, вызванными различными дозами гамма-облучения.

Приведенные в таблице данные показывают, что само по себе магнитное поле в необлученных семенах хромосомные aberrации не вызывает. Процент клеток с повреждениями при напряженности поля 6,8 кэ, такой же, как в контроле. Эти результаты находятся в хорошем соответствии с нашими данными, полученными в опытах с магнитными полями других напряженностей (Позолотин, 1965а, 1966).

Так же как и в контроле, в магнитных вариантах отмечается четкая зависимость числа поврежденных анафаз от дозы облучения. С увеличением дозы облучения увеличивается процент поврежденных клеток.

Данные, приведенные в табл. 9, анализировали с целью выявления изменения процента поврежденных клеток при дополнительном воздействии магнитным полем. Использовался критерий ϕ . Сравнение методом ϕ процента поврежденных анафаз показало, что между контрольными и магнитными вариантами при дозах 500 и 2500 p различия не достоверны. При дозах 1000 и 5000 p различия достоверны ($0,025 < P < 0,05$). При дозе 10 000 p разница между контролем и вариантом с приложением поля 50 э высоко достоверна ($P < 0,001$). Отсюда следует, что влияние магнитного поля на лучевое поражение, вероятно, зависит от степени поражения, вызванного излучением. В табл. 9 приведены данные по числу поврежденных анафаз для одной точки фикса-

Таблица 8

Результаты регрессионного анализа исследования зависимости различных типов хромосомных aberrаций от времени

Показатели	Коэффициент регрессии	t	n	P
Число клеток с фрагментами	$-3,552 \pm 0,1526$	3,88	36	0,0005
Число клеток с мостиками	$-1,428 \pm 0,1068$	2,23	36	0,035
Число фрагментов	$-0,0848 \pm 0,0045$	3,22	36	0,0025
Число мостов	$-2,084 \pm 0,1499$	2,32	36	0,03

Таблица 9

Зависимость числа поврежденных клеток от дозы облучения и напряженности ЭМП при фиксации через 28 ч после конца намачивания

Варианты опыта		Число исследованных анафаз	Поврежденные анафазы		
Доза облучения, <i>p</i>	Напряженность ЭМП		Число	%	Φ
0	0	400	4	1,0	5,74
	50 э	200	0	0,0	0
	6,8 кэ	200	2	1,0	5,74
500	0	400	12	3,0	9,98
	50 э	200	4	2,0	8,13
	6,8 кэ	200	10	5,0	12,92
1000	0	400	10	2,5	9,10
	50 э	200	4	2,0	8,13
	6,8 кэ	200	12	6,0	14,18
2500	0	400	42	10,5	18,91
	50 э	200	24	12,0	20,27
	6,8 кэ	200	22	11,0	19,37
5000	0	350	98	28,0	31,95
	50 э	200	73	37,0	37,47
	6,8 кэ	200	62	31,0	33,83
10000	0	300	159	53,0	46,72
	50 э	200	77	38,5	38,35
	6,8 кэ	200	102	51,0	45,57

ции. Сходная картина наблюдалась и при других сроках фиксации.

На рис. 6 показана зависимость числа хромосомных aberrаций от времени фиксирования (кривая время — эффект) для семян, облученных дозой 2500 *p*. При этой дозе нет четкого различия в ходе кривых контрольного и магнитного вариантов.

В связи с тем, что достоверный эффект ($P < 0,001$) магнитного поля наблюдается только при достаточно высоких дозах облучения (в нашем опыте 5000 и 10 000 *p*), детально была изучена доза 10 000 *p*. Кривые время — эффект для контрольного и магнитного вариантов довольно различны.

В табл. 10 представлены коэффициенты регрессии, оценивающие степень наклона этих кривых. Во всех трех вариантах наклон достоверен. Но в магнитном варианте наклон выражен сильнее, чем в контроле. Это значит, что изменение числа поврежденных клеток иное, чем в контрольном варианте. Следовательно, магнитное поле напряженностью 50 э и 6,8 кэ оказывает существенное влияние на лучевое поражение, поскольку, как уже говорилось выше, одним из четких и достаточно изученных показателей эффекта являются хромосомные aberrации.

Хотя действие магнитных полей показано на многих биологических реакциях, исследований магнитных эффектов на радиационное повреждение относительно немного.

Известны сообщения Амера и Барноти (Amer, 1963; Barnothy, 1958) об ослаблении радиационных повреждений магнитным полем. По данным Мерикла с сотрудниками (Maricle a. oth., 1966), проращивание семян ячменя в течение 5 дней в постоянном однородном магнитном поле напряженностью 3000 *гс* вызывало подавление роста корешков. Однако проращивание семян того же сорта ячменя в постоянном, но неоднородном магнитном поле напряженностью 1200 *гс* давало противоположный эффект, т. е. происходило ускорение роста. При совместном действии магнитного поля и облучения наблюдалась меньшая изменчивость в измеренных критериях.

Особый интерес в связи с нашим опытом представляло сообщение Конджера (Conger, 1966), который проводил обработку магнитным полем облученных покоящихся сухих семян ячменя на протяжении 1—4 дней. Спустя 10—12 дней у проростков была измерена длина первого листа. Во всех опытах не было обнаружено модификации лучевого поражения под влиянием однородных магнитных полей.

В рассмотренных выше сообщениях Конджера и Мерикла критериями эффекта магнитного поля при совместном его действии с ионизирующей радиацией были ростовые процессы. Как

Таблица 10

Результаты регрессионного анализа исследования зависимости числа анафаз с хромосомными aberrациями от времени для семян облученных дозой 10000 *p*

Варианты опыта	Коэффициент регрессии	<i>t</i>	<i>n</i>	<i>P</i>
Без приложения ЭМП	-2,913 ± 0,1448	3,35	36	0,002
ЭМП 50 э	-3,739 ± 0,3252	2,70	18	0,014
ЭМП 6,8 кэ	-3,779 ± 0,2326	3,82	18	0,001

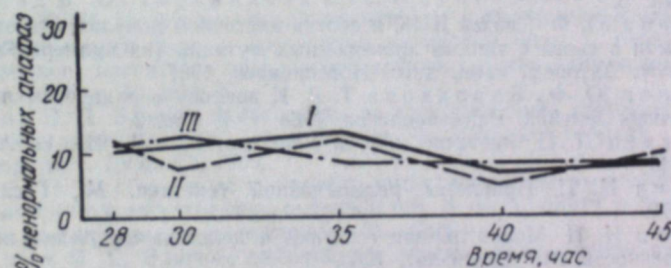


Рис. 6. Зависимость числа клеток с хромосомными aberrациями от времени в семенах, облученных 2500 *p*: I — контроль, II — МП 50 э, III — МП 6,8 кэ.

отмечает Мерикл (Mericle a. oth., 1966), могут быть даны различные оценки биологического эффекта магнитного поля в сочетании с облучением в зависимости от критерия, использованного для оценки этого эффекта.

Полученные нами результаты опыта, в котором критериями эффекта были митотическая активность и хромосомные аберрации, подтвердили положение, что постоянное однородное магнитное поле может быть эффективным модификатором лучевого поражения.

ВЫВОДЫ

1. Митотическая активность в начале первого после гамма-облучения митоза существенно зависит от дозы облучения: малые дозы стимулируют, а высокие подавляют клеточное деление.

2. Магнитные поля напряженностью 50 э и 6,8 кэ повышают митотическую активность в начале первого после воздействия митоза.

3. Эффект магнитного поля на митотическую активность зависит от дозы предварительного гамма-облучения семян и времени, прошедшего от начала воздействия магнитным полем до наблюдения.

4. Магнитное поле само по себе не вызывает хромосомных аберраций.

5. Уменьшение числа клеток с хромосомными аберрациями в конце первого пострadiационного митоза происходит, по-видимому, в результате изменения процессов восстановления лучевых повреждений хромосом под действием магнитного поля.

ЛИТЕРАТУРА

- Александров В. Я. Экспериментальный анализ понятия «чувствительность» (Влияние температуры на повреждение клеток ультрафиолетовыми лучами).— Изв. АН СССР, сер. биол., 1952, № 4.
- Батыгин Н. Ф., Мисюк Л. А. Зависимость радиочувствительности растений от их физиологического состояния.— Радиобиология, 1965, т. 5, вып. 5.
- Богданов Ю. Ф. Синтез ДНК и состав клеточной популяции в зародышах семян в связи с типами хромосомных мутаций (на примере *Pisum sativum*). Автореф. канд. дисс. Новосибирск, 1967.
- Богданов Ю. Ф., Боровкова Т. В. К вопросу о радиостимуляции клеточных делений. Радиобиология, 1964, т. 4, вып. 2.
- Бреславец Л. П. Растение и лучи Рентгена. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1946.
- Дубинин Н. П. Проблемы радиационной генетики. М., Госатомиздат, 1961.
- Дубинин Н. П. Молекулярная генетика и действие излучений на наследственность. М., Атомиздат, 1963.
- Ивенс Х. Повреждения хромосом ионизирующими излучениями. М., Атомиздат, 1966.
- Корогоди В. И. Проблемы пострadiационного восстановления. М., Атомиздат, 1966.
- Ли Д. Е. Действие радиации на живые клетки. М., Атомиздат, 1963.

- Лучник Н. В. Влияние слабых доз излучателей на митоз у гороха.— Булл. Урал. отд. МОИП, 1958, вып. 1.
- Лучник Н. В., Царапки Л. С. Влияние цистеина на цитологические повреждения, вызванные гамма-лучами у гороха.— Цитология, 1959, т. 1, № 1.
- Лучник Н. В., Изможеров Н. А., Порядкова Н. А., Царапки Л. С., Тимофеев-Ресовский Н. В. Обратимость цитогенетических повреждений, вызванных радиацией. Отдельный оттиск из серии докладов советских ученых на 8-й сессии комитета ООН по действию излучений. М., Изд-во АН СССР, 1960.
- Мамедов Т. Г., Халиси Ф. Динамика роста бобов и гороха после однократного гамма-облучения.— Радиобиология, 1965, т. 5, вып. 5.
- Мэзия Д. Митоз и физиология клеточного деления. М., Изд-во иностр. лит., 1963.
- Парябок В. П. Особенности лучевого повреждения. Руководство по цитологии, т. 2. М.—Л., «Наука», 1966.
- Позолотин А. А. Влияние импульсного магнитного поля на цитогенетический эффект облучения.— Радиобиология, 1965а, т. 5, вып. 6.
- Позолотин А. А. О механизме различного действия импульсного магнитного поля на облученные семена и проростки гороха.— Вопросы гематологии, радиобиологии и биологическое действие магнитных полей. Изд-во Томск. гос. ун-та, 1965б.
- Позолотин А. А., Гатиятуллина Э. З. О комбинированном воздействии гамма-облучения и магнитного поля на семена гороха.— Совещание по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Тезисы докладов. М., 1966.
- Порядкова Н. А. Методика и результаты некоторых опытов по радиостимуляции растений.— Биофизика, 1956, т. 1, вып. 7.
- Порядкова Н. А. О механизме влияния влажности на цитогенетические эффекты облучения семян.— Радиационная цитогенетика и эволюция. Труды Ин-та биол. УФАН СССР, 1965, вып. 44.
- Порядкова Н. А., Макаров Н. М., Куликов Н. В. Опыты по радиостимуляции культурных растений.— Сборник работ лаборатории биофизики. Труды Ин-та биол. УФАН СССР, 1963, вып. 13.
- Пухальская Е. Ч. О локализации последних митозов в меристеме созревающих семян.— Докл. АН СССР, 1950, т. 72, № 3.
- Савостин П. В. Дополнительные данные по физиологическому действию постоянного силового поля.— Протоколы заседания о-ва естествоиспыт. и врачей при Томском гос. ун-те, 1928.
- Стрекова В. Ю. Некоторые данные по влиянию магнитных полей низкой напряженности на зоны роста корня. Совещание по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты, тезисы докладов. М., 1966.
- Стрекова В. Ю., Тараканова Г. А., Прудникова В. П., Новицкий Ю. И. Некоторые физиологические и цитологические изменения у прорастающих семян в постоянном магнитном поле. 1. Влияние неоднородного магнитного поля низкой напряженности.— Физиология растений, 1965, т. 12, вып. 5.
- Усманов П. Д. Влияние температуры на восстановление хромосом, поврежденных гамма-лучами (исследование на семенах гороха). Автореф. канд. дисс. Душанбе, 1965.
- Фесенко Э. В. О влиянии влажности после облучения на степень восстановления цитогенетических повреждений. В сб. «Защита и восстановление при лучевых повреждениях», М., 1966.
- Царапки Л. С. Влияние цистеина на лучевые повреждения хромосом у растений. Автореф. канд. дисс. Свердловск, 1962.
- Amer N. M. Modification of radiation injury with magnetic fields. Radiation Res., 19, 215, 1963.
- Barnothy M. F. a. Barnothy J. M. Biological effect of magnetic field and the radiation syndrome. Nature, 181, 1958.

- Conger A. D. A test for a magnetic effect in irradiated seeds. *Radiation Botany*, 6, 2, 1966.
- Darlington C. D. a. La Cour L. F. *The Handling of Chromosomes*. 2 ed. London, 1947.
- Lenzi M. *Biologische Wirkungen magnetischer Felder.—Strahlentherapie*, 1940, v. 67(2).
- Lewis A. C. Contribution to the knowledge of the physiology of kariokinesis. 1901. *Bot. gaz.* 32,4.
- Marchak A. The effect of X-rays on chromosomes in mitosis.—*Proc. Nat. Acad. Sc. USA*, 1937, v. 23(7).
- Mericle R. P., Mericle L. W., Montgomery D. J. Magnetic fields and ionizing radiation effects and interactions during germination and early seedling development.—*Rad. Bot.*, 1966, v. 6.
- Read John. *Radiation biology of Vicia faba in relation to the general problem*. Oxford, Univ. Press, 1959.
- Sparrow A. H. Radiation sensitivity of cell during mitotic and meiotic cycles with emphasis on possible citochemical changes. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1951, v. 51.



УДК 538.122 : 577.391

А. А. ПОЗОЛОТИН

**ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ
НЕСКОЛЬКИХ НАПРЯЖЕННОСТЕЙ НА ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЙ
ЭФФЕКТ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ**

Ранее было показано (Позолотин, 1965а), что электромагнитное поле влияет на цитогенетический эффект облучения. В последующих исследованиях (Позолотин, 1965б, 1966; Позолотин, Агафонова, 1966) выявлено, что модифицирующее действие импульсного магнитного поля напряженностью 200 кэ и постоянного однородного магнитного поля напряженностью 7 кэ зависит от стадии развития облученных семян, на которой воздействовали полем. Так, магнитное поле оказывает влияние на лучевое поражение клеток только в том случае, когда поле прилагается к семенам в последние часы набухания и во время их наклеивания. Далее показано (Гатиятуллина, Позолотин, статья в наст. сборнике), что воздействие на облученные семена во время наклеивания постоянным магнитным полем двух сильно различающихся напряженностей 0,05 и 7 кэ вызывает примерно в одинаковой степени изменение такого показателя радиочувствительности, как число клеток с хромосомными абберациями. Выявлено большое сходство в модифицирующем действии постоянного магнитного поля этих двух напряженностей. В связи с этим представляло интерес исследовать зависимость модифицирующего влияния постоянного магнитного поля на лучевое поражение от напряженности магнитного поля. Настоящая работа посвящена изучению этого вопроса.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Как и в предыдущих работах этой серии, объектом исследования служили меристематические клетки кончиков корешков гороха сорта Капитал. Семена гороха, облученные дозой 10 кр гамма-лучей C_{60}^{60} , набухали в дистиллированной воде в тече-

ние 24 ч. Проращивание проводили в термостате при $23 \pm 0,5^\circ \text{C}$. Через 2 ч с конца намачивания семена помещали в зазор электромагнита постоянного тока сроком на 1 мин. Использована следующая шкала напряженности магнитного поля: контроль; 0,1 кэ; 0,5 кэ; 1,0 кэ; 2,5 кэ; 5,0 кэ; 7,0 кэ; 10,0 кэ. Семена помещали в поле в специальной камере из органического стекла и пенопласта, в которой постоянно фиксировалась температура. С помощью медь-константановой термопары измеряли температуру в отдельных горошинах, находящихся в магнитном поле. Внутри горошины и в зазоре магнита температура колебалась в пределах точности измерения ($0,5^\circ \text{C}$). Дальнейшее проращивание семян, фиксирование корешков, цитологический анализ проводили по описанной ранее методике (Позолотин, 1965а). Цифровой материал подвергался статистическому анализу по схеме, предложенной Армитажем (Armitage, 1955) и несколько упрощенной для расчетов Гловым (Глов, 1967). Для определения P по полученным значениям χ^2 использованы таблицы Л. Н. Большева и Н. В. Смирнова.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По определениям общего числа клеток с хромосомными aberrациями и отдельно числа клеток с хромосомными фрагментами и с мостиками (табл. 1) видно, что под влиянием магнитного поля происходит изменение всех показателей в сравнении с контролем.

Таблица 1

Зависимость цитогенетического эффекта магнитного поля от напряженности поля

Напряженность поля, кэ	Число про- считанных анафаз	Повреждено анафаз		Анафаз с фрагментами		Анафаз с мостиками		Фрагментов		Мостиков	
		Число	%	Число	%	Число	%	Число	На 100 клеток	Число	На 100 клеток
0 (контроль)	450	174	38,7	147	32,7	50	11,1	263	58,4	65	14,4
0,1	300	107	35,7	99	33,0	19	6,3	173	57,7	24	8,0
0,5	300	97	32,3	73	24,3	32	10,7	130	43,3	43	14,3
1,0	300	100	33,3	87	29,0	24	8,0	151	50,3	35	11,7
2,5	300	97	32,3	83	27,7	24	8,0	154	51,3	34	11,3
5,0	300	56	18,7	42	14,0	20	6,7	77	25,7	30	10,0
7,0	300	99	33,0	85	28,3	37	12,3	141	47,0	46	15,3
10,0	300	89	29,7	81	27,0	20	6,7	141	47,0	23	7,6

Из результатов статистического анализа числа клеток с хромосомными aberrациями при различных напряженностях магнитного поля (табл. 2) следует, что существует четкое изменение

Таблица 2

Результаты статистического анализа зависимости числа клеток с хромосомными aberrациями от напряженности магнитного поля

Рассеяние	Сумма квадратов рассеяния	Число степеней свободы	χ^2	P
Между вариантами (напряженность магнитного поля)	7,06	7	32,43	0,0005
В том числе:				
связанное с линейной регрессией	2,04	1	9,37	0,01
связанное с отклонением от линейности	—	6	23,06	0,001
Полная сумма квадратов	555,06	2549	—	—

Таблица 3

Результаты статистического анализа зависимости числа клеток с фрагментами от напряженности магнитного поля

Рассеяние	Сумма квадратов рассеяния	Число степеней свободы	χ^2	P
Между вариантами (напряженность магнитного поля)	7,97	7	40,10	0,0005
В том числе:				
связанное с линейной регрессией	1,11	1	5,58	0,025
связанное с отклонением от линейности	—	6	34,52	0,0005
Полная сумма квадратов	506,49	2549	—	—

цитогенетического эффекта облучения под влиянием магнитного поля. Это изменение высоко достоверно ($P=0,0005$). Зависимость лучевого поражения от напряженности магнитного поля носит явно нелинейный характер ($P=0,001$). Вклад линейной регрессии в общую зависимость эффекта магнитного поля от напряженности поля велик ($P=0,01$).

Табл. 3 иллюстрирует результаты статистического анализа числа клеток с фрагментами. Так же как и в случае клеток с хромосомными aberrациями в целом, разница между вариантами опыта высоко достоверна ($P=0,0005$). Зависимость эффекта от напряженности магнитного поля носит нелинейный характер ($P=0,0005$), хотя совершенно исключить линейную компоненту нельзя ($P=0,025$). Картина существенно меняется для числа клеток с мостиками (табл. 4): оно не зависит от напряженности магнитного поля ($P=0,95$). Поскольку зависимость проявления лучевого поражения от напряженности магнитного поля носит более сложный, нежели линейный характер, проведено сумми-

Таблица 4

Результаты статистического анализа зависимости числа клеток с мостиками от напряженности магнитного поля

Рассеяние	Сумма квадратов рассеяния	Число степеней свободы	χ^2	P
Между вариантами (напряженность магнитного поля)	1,21	7	1,32	0,99 > P > 0,95
В том числе: связанное с линейной регрессией	0,03	1	0,03	0,95
связанное с отклонением от линейности	—	6	1,29	0,99 > P > 0,95
Полная сумма квадратов	205,97	2549	—	—

рование соответственно по отдельным показателям (число поврежденных клеток, число клеток с фрагментами, число клеток с мостиками) результатов, полученных в магнитных вариантах, и сравнение их с контрольным вариантом (табл. 5). Из таблицы

Таблица 5

Влияние магнитного поля на лучевое поражение клеток

Вариант	$M \pm m$	t	P
Процент клеток с хромосомными aberrациями			
Контроль . . .	38,7 ± 2,29	3,46	0,001
Магнитное поле	30,7 ± 0,32		
Процент клеток с фрагментами			
Контроль . . .	32,7 ± 2,21	2,70	0,01
Магнитное поле	26,2 ± 0,96		
Процент клеток с мостиками			
Контроль . . .	11,1 ± 1,61	1,52	0,10
Магнитное поле	8,4 ± 0,61		

ясно, что магнитное поле уменьшает число клеток с хромосомными aberrациями и число клеток с фрагментами, соответственно $P < 0,001$ и $P < 0,01$. Процент клеток с мостиками в магнитных вариантах не отличается от контроля ($P > 0,10$).

Ранее нами было показано (Позолотин, Тарчевская, статья в наст. сборнике), что само по себе магнитное поле не оказывает влияния на структуру хромосомного аппарата необлученной клетки. В настоящей работе получены дополни-

тельные данные по воздействию магнитного поля различной напряженности на необлученные семена гороха (табл. 6). Специальный статистический анализ показывает, что не существует четкой зависимости числа спонтанных хромосомных aberrаций от воздействия магнитного поля $\chi^2_7 = 9,6$; $P = 0,1$.

Так же как и на примере с облученным материалом, проведено усреднение по всем вариантам с магнитным полем:

Действие магнитного поля на необлученные семена

Напряженность поля, кР	Число исследованных анафаз	Повреждено анафаз		Анафазы с фрагментами		Анафазы с мостиками		Фрагменты		Мостики	
		Число	%	Число	%	Число	%	Число	на 100 клеток	Число	на 100 клеток
0 (контроль)	300	15	5,0	13	4,3	3	1,0	16	5,3	3	1,0
0,1	300	13	4,3	12	4,0	4	1,3	15	5,0	4	1,3
0,5	300	5	1,6	5	1,6	0	0,0	7	2,3	0	0,0
1,0	300	19	6,3	17	5,6	3	1,0	20	6,6	3	1,0
2,5	300	20	6,6	18	6,0	3	1,0	31	10,3	4	1,3
5,0	300	18	6,0	18	6,0	1	0,3	21	7,0	1	0,3
7,0	300	32	10,6	30	10,0	3	1,0	37	12,3	3	1,0
10,0	300	19	6,3	16	5,3	3	1,0	21	7,0	3	1,0

Контроль $5,0 \pm 1,25$
Магнитное поле $6,0 \pm 0,51$ } $t = 0,74$ $P = 0,46$

Аналогичная картина получена при анализе приведенных показателей с помощью критерия ϕ (Плохинский, 1961).

Таким образом, из результатов исследования следует, что постоянное однородное поле само по себе не вызывает хромосомных aberrаций. Тем не менее, не влияя на частоту спонтанного возникновения хромосомных структурных перестроек, оно изменяет лучевое поражение хромосомного аппарата клетки. В условиях нашего опыта это изменение было выявлено в виде уменьшения числа клеток с хромосомными aberrациями в конце первого после облучения клеточного деления. Эффект магнитного поля зависит от напряженности поля. Зависимость носит сложный, нелинейный характер, при этом линейная компонента зависимости высоко достоверна. В литературе, посвященной вопросам биологических эффектов магнитных полей (Davis и др., 1962), имеется очень мало работ по исследованию биологических эффектов магнитного поля от напряженности поля. В работе Мочалкина с сотрудниками (1962) использованы магнитные поля напряженностью до 3000 э. Авторами показано на примере семян озимой ржи, что зависимость эффектов от напряженности магнитного поля (в качестве показателя исследовалась динамика прорастания семян) не носит линейного характера. В работе Mulay a. Mulay (1964) изучалось влияние постоянного магнитного поля нескольких напряженностей в интервале 100—4400 э на мутационную изменчивость в линейных культурах *Drosophila melanogaster* и культуре клеток S^{37} асцитной опухоли мышей. Авторами показано, что значимые эффекты магнитного поля наблюдаются только при напряженности

поля, большей 3 кэ в опытах на дрозофиле и при напряженности 4,4 кэ в опытах на культуре клеток.

В связи со всем вышеизложенным нам представляется возможным предполагать, что для биологических эффектов магнитного поля на разных уровнях организации живого (субклеточный, клеточный, организменный, популяционный) существуют совершенно различные зависимости этих биологических эффектов от напряженности магнитного поля.

ВЫВОДЫ

1. Исследована зависимость модифицирующего влияния постоянного однородного магнитного поля на лучевое поражение от напряженности магнитного поля.

2. Магнитное поле уменьшает число анафаз с хромосомными aberrациями к концу первого пострadiaционного митоза.

3. Эффект магнитного поля зависит от напряженности магнитного поля. Зависимость эта носит сложный, нелинейный характер.

ЛИТЕРАТУРА

- Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. М., «Наука», 1965.
- Гатиятуллина Э. З., Позолотин А. А. Влияние гамма-облучения и магнитного поля на митоз в меристеме корешков гороха. Статья в наст. сборнике.
- Глотов Н. В. Влияние генотипа на частоту радиационно-индуцированной анеуплоидии в оогенезе *Drosophila melanogaster*. Автореф. канд. дисс., М., 1967.
- Мочалкин А. И., Рик Г. Р., Батыгин Н. Ф. К вопросу о влиянии магнитного поля на биологические объекты.— Сборник трудов по агрономической физике, вып. 10. Л.— М., Сельхозгиз, 1962.
- Плохинский Н. А. Биометрия. Новосибирск, Изд-во Сиб. отд. АН СССР, 1961.
- Позолотин А. А. Влияние импульсного магнитного поля на цитогенетический эффект облучения.— Радиобиология, 1965а, т. 5, 6.
- Позолотин А. А. О механизме различного действия импульсного магнитного поля на облученные семена и проростки гороха.— Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей. Изд-во Томск. гос. ун-та, 1965б.
- Позолотин А. А., Агафонова С. В. Изменение лучевых поражений в семенах и проростках под воздействием магнитного поля.— Тезисы докладов симпозиума по проблемам радиочувствительности на молекулярном, клеточном и организменном уровнях. Новосибирск, 1966.
- Позолотин А. А., Тарчевская С. В. Влияние постоянного магнитного поля на гамма-облученные семена сосны обыкновенной. Статья в наст. сборнике.
- Armitage P. Tests for linear trends in proportions and frequencies.— Biometrics, 1955, v. 11.
- Davis L. D., Pappajohn I. M. a. J. M. Plavnieks. Bibliography of the Biological Effects of Magnetic Fields.— Federation Proc., 1962, v. 21, suppl.
- Mulay I. L., Mulay L. N. Effect on *Drosophila melanogaster* and S-37 tumor cells: Postulates for Magnetic Field Interactions.— Biological Effects of Magnetic Fields. ed. M. Barnothy, Plenum Press, N. Y., 1964.

А. А. ПОЗОЛОТИН

ИЗМЕНЕНИЕ ЧАСТОТЫ КЛЕТОК С ХРОМОСОМНЫМИ АБЕРРАЦИЯМИ В КОНЧИКАХ КОРЕШКОВ ГАММА-ОБЛУЧЕННЫХ СЕМЯН ГОРОХА НА ПРОТЯЖЕНИИ НЕСКОЛЬКИХ МЕСЯЦЕВ ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ

Имеется значительное число работ, где исследуется влияние времени хранения облученных семян на эффект облучения (Wolf, 1960; Дэвидсон, 1964; Лаура, 1966; Фесенко, 1967; Curtis и др., 1958). Как правило, время хранения ограничивается несколькими днями, иногда неделями. В настоящей работе делается попытка анализа лучевого поражения семян гороха на протяжении нескольких месяцев хранения после гамма-облучения. Критерием лучевого поражения выбраны повреждения хромосом, проявляющиеся в виде фрагментов и мостиков в анафазе первого пострadiaционного митоза.

В опыте использованы семена гороха сорта Капитал урожая 1963 г., полученные на селекционной опытной станции Бишкиль Челябинской области. Семена облучили на кобальтовом источнике гамма-излучений 17 июля 1964 г. Общая доза облучения 15 000 p при мощности дозы 19,65 p/мин. Влажность семян в момент облучения 10,9%. После облучения семена хранили в помещении при комнатной температуре. Часть их была пророщена сразу после облучения. В дальнейшем семена партиями пророщивали через разные промежутки времени, в среднем через месяц (всего восемь раз). Для пророщивания семена замачивали на 24 ч в дистиллированной воде и через сутки выкладывали на влажный песок в чашках Петри, накрытый фильтровальной бумагой. Пророщивание, так же как и набухание семян, проходило в затемненном термостате при 23—24°С. Через 45 ч и после конца намачивания проростки фиксировали смесью этилового спирта с уксусной кислотой в пропорции 3:1. Кончики зафиксированных корешков окрашивали 60% ацетолакмондом и готовили временные давленные препараты, на которых анализировали анафазные пластинки. Учитывали процент анафаз с хромосомными aberrациями.

циями от общего числа исследованных в препарате анафаз. В каждом препарате анализировали по 50 анафаз. В каждом варианте изучалось по 4 препарата.

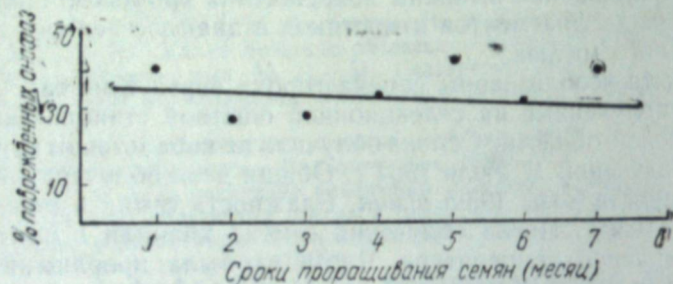
В таблице для каждой временной точки приведены усредненные результаты. Отмечается значительное колебание процента анафаз с хромосомными aberrациями в разные сроки проращивания семян. Отсутствие заметной закономерности колебаний побудило к анализу общей тенденции хода кривой время — эффект. Регрессионный анализ данных таблицы позволяет утверждать, что линия регрессии время — эффект не отличается достоверно от прямой, параллельной оси времени ($b = -0,774 \pm 1,288$; $t = 0,616$; $P = 0,1$).

Приведенная на рисунке линия регрессии хорошо аппроксимирует экспериментальные данные.

Таким образом, на протяжении почти восьми месяцев не обнаружено изменения числа поврежденных клеток после однократного облучения семян. Тем не менее в отдельные сроки

Зависимость числа клеток с хромосомными aberrациями от срока проращивания семян после однократного облучения (фиксация через 45 ч после конца намачивания семян)

Время проращивания	Анафазы с хромосомными aberrациями, %
17.7.1964	40,0 ± 3,5
29.8.1964	27,0 ± 3,2
26.9.1964	28,0 ± 3,2
3.12.1964	33,0 ± 3,3
20.1.1965	42,0 ± 3,5
18.2.1965	31,0 ± 1,8
8.3.1965	39,0 ± 1,9
26.3.1965	21,0 ± 2,9



Влияние хранения облученных семян на число анафаз с хромосомными aberrациями.

проращивания процент анафаз с хромосомными aberrациями значительно отличается от исходного. Поскольку во всех наших пробах число первично пораженных клеток одинаково (одновременное облучение), то можно считать, что вариация числа наблюдаемых клеток с хромосомными aberrациями связана прежде всего с изменением восстановительных способностей клеток во время проращивания.

ВЫВОДЫ

Число анафаз с хромосомными aberrациями в корешках гамма-облученных семян гороха не зависит от срока хранения семян после облучения.

ЛИТЕРАТУРА

- Дэвидсон Д. Защита и восстановление при воздействии ионизирующего излучения. Механизмы, действующие в семенах и корнях растений.— Радиационная защита и восстановление. М., Атомиздат, 1964.
- Лаура М. П. Влияние условий хранения облученных семян сосны на цитогенетические нарушения в меристемных клетках.— Цитология, 1966, т. 8, № 4.
- Фесенко Э. В. Влияние влажности на процессы пострadiационного восстановления при облучении покоящихся семян гороха.— Автореф. канд. дисс. Л., 1967.
- Curtis H. J., Delihans N., Caldecott R. S. a. Konzak C. K. Modification of Radiation Damage in Dormant Seeds by Storage.— Rad. Research, 1958, v. 8, № 6.
- Wolf S. Post-irradiation storage and the growth of barley seedlings.— Rad. Research, 1960, v. 12, № 4.



СОДЕРЖАНИЕ

Н. В. Куликов. О действии радионуклидов на гидробионты . . .	3
Н. А. Тимофеева, Л. К. Альшиц. Влияние хронического облучения на развитие икры щуки (<i>Esox lucius</i> L.)	8
Л. К. Альшиц, Н. А. Тимофеева, Н. В. Куликов. Влияние гамма-лучей кобальта-60 на эмбриональное развитие щуки (<i>Esox lucius</i> L.)	12
Н. В. Куликов, Н. А. Тимофеева, Л. К. Альшиц. Действие предварительного облучения на последующую радиочувствительность предличинок линя (<i>Tinca tinca</i> L.)	17
Н. В. Куликов, С. А. Фамелис. Изменение радиочувствительности <i>Lymnaea stagnalis</i> L. на разных стадиях эмбрионального развития	21
С. А. Любимова, С. А. Фамелис. Влияние предварительного облучения на накопление стронция-90 и цезия-137 нитчатой водорослью <i>Zygnema</i> sp.	28
С. В. Тарчевская. Влияние гамма-лучей кобальта-60 на семена некоторых видов хвойных растений	33
С. В. Тарчевская, П. И. Юшков. Влияние предпосевного облучения семян на развитие сеянцев сосны обыкновенной	40
П. И. Юшков. Влияние хронического гамма-облучения на распределение меченых ассимилятов в сеянцах сосны обыкновенной	46
П. И. Юшков, В. С. Раков, Е. Н. Караваева, Н. В. Мирнова. Влияние хронического гамма-облучения на формирование и рост сеянцев сосны обыкновенной	57
А. А. Позолотин, С. В. Тарчевская. Влияние постоянного магнитного поля на гамма-облученные семена сосны обыкновенной	66
Э. З. Гатиятуллина, А. А. Позолотин. Влияние гамма-облучения и магнитного поля на митоз в меристеме корешков гороха	70
А. А. Позолотин. Влияние постоянного магнитного поля нескольких напряженностей на цитогенетический эффект гамма-облучения	89
А. А. Позолотин. Изменение частоты клеток с хромосомными aberrациями в кончиках корешков гамма-облученных семян гороха на протяжении нескольких месяцев после облучения	95

ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ГИДРОБИОНТЫ И НАЗЕМНЫЕ РАСТЕНИЯ

Труды Института экологии растений и животных, вып. 74

РИСО УФАН СССР
СВЕРДЛОВСК, К-49
ул. ПЕРВОМАЙСКАЯ, 91

Редакторы изд-ва Р. Б. Гилилова, Г. Е. Никитюк
Техн. редактор Н. Р. Рабинович. Корректор С. А. Дымшаков.

РИСО УФАН СССР № 449—6(69). НС 15117. Подписано в печать 12/III 1970 г.
Бумага «Типографская № 1». Формат 60×90/16. Объем 6,25 п. л. Уч.-изд. л. 10,2.
Тираж 1100. Цена 81 к. Заказ 342.

Типография изд-ва «Уральский рабочий», г. Свердловск, пр. Ленина, 49.

Цена 81 коп.