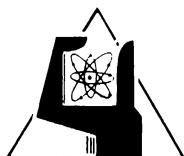
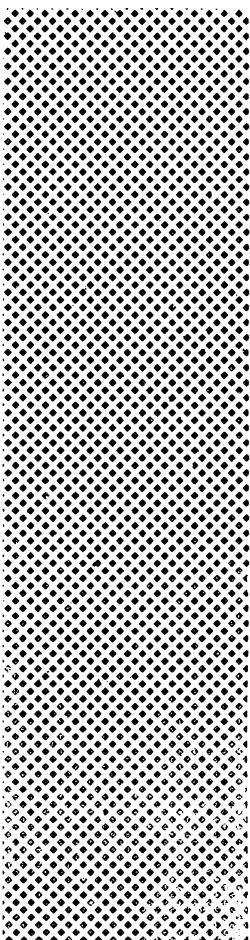


АКАДЕМИЯ НАУК СССР
УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

НАУЧНЫЕ
ДОКЛАДЫ



ДЕЙСТВИЕ
ИОНИЗИРУЮЩИХ
ИЗЛУЧЕНИЙ НА РАСТЕНИЯ



СВЕРДЛОВСК

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

Институт экологии растений и животных

Препринт

ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ
ИЗЛУЧЕНИЙ НА РАСТЕНИЯ

Свердловск 1985

УДК 577.391:634.94

Действие ионизирующих излучений на растения:

Препринт. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985.

Рассматриваются данные о модифицирующем действии на проявление лучевого эффекта у растений таких факторов, как предварительное гамма-облучение в малых дозах семян разной влажности, длительность и температурные условия пострадиационного хранения семян.

Представлены результаты изучения влияния гамма-облучения покоящихся и прорастающих семян, а также сеянцев и черенков некоторых видов древесных растений на их рост и морфогенез. Приведены материалы, характеризующие последствие гамма-облучения материнских форм семян тагетеса.

Препринт представляет интерес для специалистов в области радиобиологии, экологии, биогеоценологии, физиологии растений, лесоводства.

Ответственный редактор доктор биологических наук,
профессор Н.В.Куликов

Рецензент кандидат биологических наук Ю.А.Терешин

Д 21006 - 134 (85) БО -1985 С УНЦ АН СССР, 1985
055 (02) 7

Л.К.АЛЬШИЧ, Н.В.КУЛИКОВ

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ СЕМЯН PISUM SATIVUM L. НА
ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ
ЛУЧЕВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Среди различных вопросов, касающихся действия радиации на семена растений, большой интерес представляет влияние условий облучения семян и пострадиационного их развития на проявление лучевого эффекта.

Одним из факторов, меняющих радиочувствительность семян к ионизирующему излучению, является их влажность. В этом отношении интересны работы Кальдекотта, Эренберга, Порядковой, Фесенко и др. (7, 8, 5, 6), в которых показано, что семена растений влажностью около 4% более радиочувствительны, чем семена влажностью 10–14%; дальнейшее повышение влажности выше 20% приводит снова к возрастанию их радиочувствительности. В процессе набухания и на самых ранних этапах прорастания радиочувствительность семян также увеличивается (1). Этот эффект может быть модифицирован гамма-облучением семян в малых дозах (2, 3).

В настоящей работе изучали проявление радиозащитного действия малых доз гамма-лучей в зависимости от влажности покоящихся семян растений, а также от стадии их набухания и прорастания.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Семена гороха сорта "Чижминский мелкосемянный" урожая 1982 г. помещали в эксикаторы с серной кислотой на 15 дней. Концентрация кислоты в одних эксикаторах составляла 32, а в других – 70%. Кроме того, часть семян помещали в эксикаторы над водой, а часть оставляли в комнатных условиях. Принятые

концентрации серной кислоты в эксикаторах при температуре 20°С создавали относительную влажность воздуха 70 и 30%, а влажность над водой соответствовала 100%. Влажность семян к моменту облучения над кислотой составляла соответственно 16 и 8%, над слоем воды 24%, а семена, хранившиеся в комнатных условиях, имели влажность 13%.

В одной серии опытов покоящиеся семена разной влажности облучали на стационарной гамма-установке типа "Игур-І" в дозе 1 Гр при мощности дозы 1,49 сГр/сек. После облучения семена замачивали в водопроводной воде при температуре 20°, а в конце набухания их облучали повторно в дозе 25 Гр. В другой серии опытов покоящиеся семена сначала облучали в дозе 1 Гр, а затем их повторно облучали в дозе 25 Гр через 12, 18 и 24 часа набухания и 12 и 24 часа прорастания. Контролем для обоих опытов служили семена необлученные, а также облученные в дозе 25 Гр без предварительного облучения.

Критерием радиобиологического эффекта служили анафазы с хромосомными aberrациями в пределах первого пострадиационного митоза и длина семидневных проростков. На каждую экспериментальную точку измеряли по 30 корешков и просчитывали по 30 препаратов. Для цитологического анализа корешки фиксировали смесью этилового спирта и ледяной уксусной кислоты в соотношении 3:1. Препараты окрашивали ёщетолакмоидом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке I показано, как зависит частота поврежденных клеток от влажности покоящихся семян в вариантах с предварительным и без предварительного облучения.

Видно, что в варианте с предварительным облучением коли-

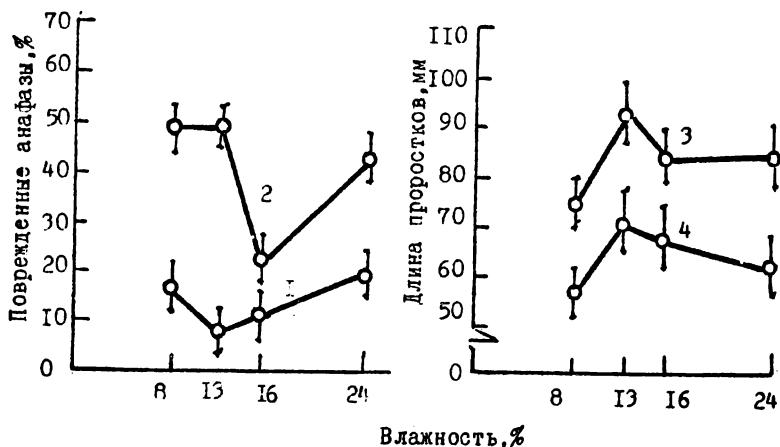


Рис. I. Зависимость частоты поврежденных клеток и длины проростков от влажности покоящихся семян в вариантах с предварительным облучением в дозе I Гр (1, 3) и без предварительного облучения (2, 4).

чество поврежденных клеток при влажности семян 13–16% наименьшее, с понижением и увеличением влажности доля клеток с хромосомными аберрациями увеличивается. В варианте без предварительного облучения наблюдается примерно такая же зависимость, только количество поврежденных клеток во всех вариантах почти в 2 раза выше. Измерение длины семидневных проростков показало, что корешки в варианте с предварительным облучением к 7 дню развития имеют длину 85–90 мм при облучении покоящихся семян в интервале влажностей 13–24%. С уменьшением влажности семян длина проростков уменьшается. В варианте без предварительного облучения зависимость такая же, но длина проростков в этом интервале влажности колеблется от 60 до 70 мм. Разницы между вариантами достоверны ($P=0,05$).

В этом эксперименте изучали также изменение частоты повре-

жденных клеток во времени в вариантах с разной влажностью семян. С этой целью корешки фиксировали многократно в пределах первого пострадиационного митоза. Наблюдается уменьшение частоты поврежденных клеток с увеличением промежутка времени между повторным облучением и фиксацией.

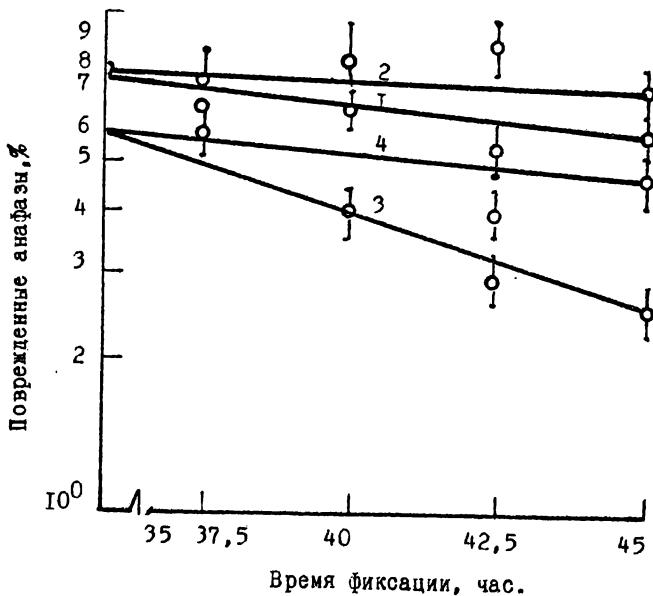


Рис.2. Частота поврежденных клеток в зависимости от времени фиксации при влажности семян 8% и 16%.

1 и 2 - соответственно с предварительным и без предварительного облучения при влажности семян 8%.
3 и 4 - соответственно с предварительным и без предварительного облучения, при влажности семян 16%.

На рис.2 приведены линии регрессии, отражающие зависимость количества поврежденных клеток от времени фиксации и влажности семян. Для семян влажностью 8% достоверной разницы

между вариантами опыта не отмечено, поскольку угол наклона линий регрессии не отличается от нулевого. Вместе с тем, у семян влажностью 16% предварительное лучевое воздействие в дозе I Гр ускоряет восстановление поврежденных клеток от ранних фиксаций к более поздним.

Предварительное облучение покоящихся семян с влажностью 13% в дозе I Гр на фоне последующего облучения их в дозе 25 Гр через 6, 9, 15, 21, 24 часа набухания и 6, 12, 24 часа после начала прорастания также вызывает снижение числа поврежденных клеток, начиная с 12 часов набухания. Разницы между вариантами с предварительным облучением и без такового достоверны (рис.3).



Рис.3. Зависимость частоты поврежденных клеток от гамма-облучения семян в разные сроки набухания и прорастания.

1 - без предварительного облучения,
2 - с предварительным облучением.

В процессе набухания покоящиеся семена относительно быстро

достигают высокой влажности, но в дальнейшем их радиочувствительность достаточно длительное время (от 12 до 24 часов набухания) практически не изменяется. Лишь при переходе от набухания к прорастанию количество поврежденных клеток существенно повышается. Это изменение радиочувствительности, по-видимому, связано с изменением физиологического состояния семян, в частности, с началом синтеза ДНК. Эффект радиозащитного действия предварительного облучения сохраняется в течение всей второй половины периода набухания и начальных сроков прорастания семян. Это подтверждается и данными зависимости количества поврежденных клеток от времени фиксации в пределах первого пострадиационного митоза после повторного облучения семян на разных стадиях набухания и прорастания (рис.4).

Представленные в работе данные показывают, что эффект радиозащитного действия предварительного облучения проявляется на покоящихся семенах разной степени влажности, при последующем их облучении в процессе набухания и начальных стадиях прорастания. Наибольший эффект отмечается при облучении покоящихся семян влажностью 13-16%. Как нами было показано ранее, защитное действие предварительного облучения семян в малой дозе к последующему массированному лучевому воздействию объясняется стимуляцией процессов пострадиационной репарации поврежденных клеток (4). Пострадиационное восстановление можно рассматривать как результат функционирования многочисленных систем, которые способны заливать возникающие в клетках повреждения. В норме эти системы элиминируют спонтанно возникающие цитогенетические поражения.

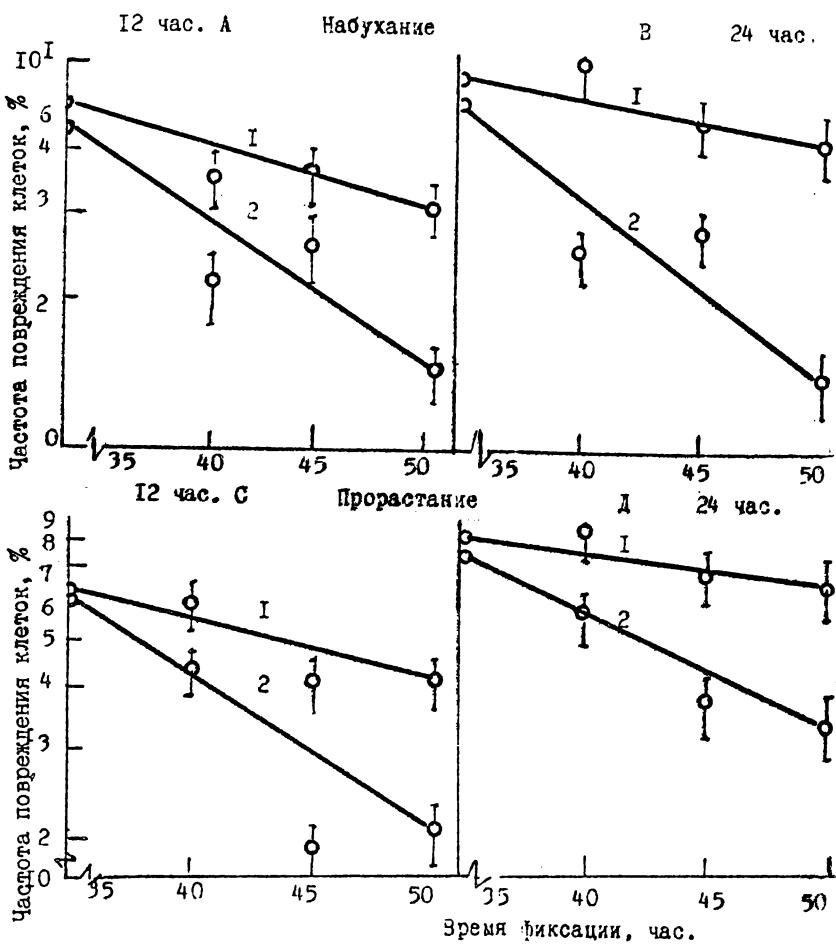


Рис. 4. Частота поврежденных клеток в зависимости от времени фиксации при облучении семян в разные сроки набухания (А, В) и прорастания (С, Д).

I - без предварительного облучения,
2 - с предварительным облучением в дозе I Гр.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что эффект радиозащитного действия предварительного гамма-облучения семян гороха в дозе 1 Гр проявляется на покоящихся семенах разной степени влажности при последующем их облучении в дозе 25 Гр в процессе набухания и начальных стадий прорастания. Наибольший эффект отмечается при облучении покоящихся семян влажностью 13-16%.

2. Повышение радиочувствительности семян к последующему облучению отмечается между началом и девятью часами набухания, а затем при переходе их от набухания к прорастанию.

3. Полученные экспериментальные данные не противоречат гипотезе стимуляции процессов репарации лучевых повреждений в клетках в результате предварительного облучения покоящихся семян в малой дозе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альшиц Л.К. О характере изменения радиочувствительности семян в процессе набухания и прорастания. В кн.: - Тр. Ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР, вып. 95, 1975, с.82-89.
2. Альшиц Л.К., Бернер Н.Г., Позолотин А.А. О возможности стимуляции системы восстановления малыми дозами ионизирующего излучения. В кн.: - Тр.Ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР, 1975, с.100-105.
3. Альшиц Л.К., Куликов Н.В., Шевченко В.А., Щиков П.И. Изменение радиочувствительности семян гороха под влиянием малых доз радиации. Радиobiология, 1981, т.21, вып.3, с.459-462.
4. Позолотин А.А., Альшиц Л.К. Изменение радиочувствитель-

- ности семян гороха под влиянием малых доз гамма-облучения. В кн.: - Тр. Ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР, 1975, вып.95, с.93-99.
5. Порядкова Н.А. О механизме влияния влажности на цитогенетические эффекты облучения семян. В кн.: - Тр.Ин-та биологии Уральского филиала АН СССР, вып.44, Свердловск, 1965, с.79.
6. Фесенко Э.В., Порядкова Н.А. Пострадиационное восстановление при облучении семян разной влажности. Радиобиология, 1966, т.6, вып.5, с.734.
7. Caldecott R.S. Inverse relationship between the water content of seeds and their sensitivity to X-rays.
- I bld., 1954, vol. 120, p. 809.
8. Erenberg L., Gustaffson A., Lundqvist U., Nibom W. Irradiation of effect seedsoaking and oxygen pressure in barley. - Hereditas, 1953, vol. 39, -H. 3-4, p. 458.

А.Н.ЖУРАВСКАЯ, В.Н.ПОЗОЛОТИНА
РЕАКЦИЯ НА ПРЕДПОСЕВНОЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЕ
СЕМЯН У *Tagetes erecta* В P И F_1 ПОКОЛЕНИЯХ

Ионизирующие излучения широко применяются в селекции растений. Об эффективности этого метода свидетельствует перечень сортов, выведенных с помощью индуцированных мутаций (4). Первым этапом селекционной работы с использованием ионизирующих излучений является исследование радиочувствительности избранного вида, установление эффективных доз и основных изменений, вызванных облучением. Тагетес – широко распространенное декоративное растение из семейства сложноцветных (?) – в радиобиологическом отношении не изучен.

В литературе имеются указания на то, что облучение растений на разных стадиях развития не проходит бесследно для потомства (3, 2). Для более глубокого изучения отдаленных последствий предпосевного гамма-облучения семян тагетеса представляют интерес наблюдения за развитием растений первого поколения (F_1), полученных от облученных на стадии семян материнских форм (P).

Цель настоящей работы: установить эффективные дозы облучения для тагетеса, исследовать последействие предпосевного облучения семян на морфогенез растений в течение вегетационного сезона, а также на жизнеспособность растений первого поколения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В опыте использовали семена тагетеса (*Tagetes erecta* L.) сорта "Золотой шар". Опыт начал 26 марта, что соответствует общепринятым сроку посева тагетеса для получения рассады.

Воздушно-сухие семена перед посевом облучили в дозах 500, 1000, 2500, 5000, 7500, 10000 Гр гамма-лучами ^{60}Co на установке типа "Исследователь" при мощности дозы 1 Гр/сек. Контролем служили необлученные семена. Все варианты опыта имели 4 повторности по 50 семян в каждой. В начале июня рассаду пересадили в грунт по 50 растений на вариант из числа выживших. В течение лета наблюдали за процессами формирования ветвей, бутонов, соцветий. В конце сезона из зрелых соцветий растений всех вариантов собрали семена.

На следующий год семена первого поколения F_1 , не подвергая дополнительному лучевому воздействию, высевали в почву и выращивали растения по методике, описанной выше. Качество семян оценивали по их абсолютному весу, по энергии прорастания и всхожести, учитывали также выживаемость растений на стадии формирования второго листа, т.е. через месяц после посева. В течение сезона регистрировали высоту стебля, количество боковых ветвей, число бутонов и соцветий на каждом растении.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Данные о зависимости энергии прорастания и всхожести семян, а также выживаемости молодых растений от дозы предпосевного облучения представлены в таблице I.

Показано, что энергия прорастания семян, облученных в дозах 500, 2500, 5000, 7500 Гр, практически не отличается от контроля. Облучение семян в дозе 1000 Гр вызвало небольшую стимуляцию темпов прорастания. Сравнение с контролем по критерию Стьюдента подтверждает значимость этих различий $t_{st} = 3,62$, при $t_{0,05} = 3,1$. При облучении в дозе 10000 Гр энергия прорастания семян вдвое ниже, чем в контроле. Отмеченные по энергии прорастания закономерности полностью проявились и по

Таблица I

Влияние облучения на энергию прорастания,
всхожесть семян и выживаемость P растений тагетеса

Доза, Гр	0	500	1000	2500	5000	7500	10000
Энергия прорастания, %	67,0 \pm 3,9	69,5 \pm 6,7	82,0 \pm 7,3	73,5 \pm 10,6	68,5 \pm 10,6	69,5 \pm 12,3	30,5 \pm 3,3
Всхожесть, %	75,5 \pm 3,9	73,5 \pm 7,9	87,0 \pm 3,9	85,5 \pm 8,4	73,5 \pm 4,4	73,0 \pm 7,8	49,0 \pm 2,2
Выживаемость через месяц, %	47,3 \pm 3,3	45,0 \pm 2,2	45,0 \pm 5,0	0	0	0	0

всхожести семян. Достоверное понижение всхожести наблюдалось только после облучения в дозе 10000 Гр. В варианте с облучением в дозе 1000 Гр всхожесть достоверно выше, чем в контроле, $t_{st} = 4,35$. Наблюдения за развитием растений показали, что энергия прорастания и всхожесть семян не отражают в полной мере последствия предпосевного облучения семян. Через месяц после посева на стадии формирования первых настоящих листьев в вариантах с облучением в дозах от 2500 до 10000 Гр проростки полностью погибли. В контрольном и оставшихся опытных вариантах выживаемость составила от 52 до 63% от общего числа проросших семян. Какой-либо зависимости выживаемости растений от дозы облучения (500 и 1000 Гр) на этой стадии не отмечено.

В начале июня пересажено в грунт по 50 растений каждого варианта. Из них к концу сезона контрольных и облученных в дозе 500 Гр растений выжило 100%, а облученных в дозе 1000 Гр - 92%. Для оценки влияния облучения на морфогенез растений каждые в течение сезона проводили измерения высоты растений и

Таблица 2

Влияние облучения на высоту растений и
степень ветвления

Доза, Гр	0	500	1000
Высота побега, см	30,0±0,7	28,1±0,3	24,0±0,7
Количество боковых ветвей	4,6±0,1	5,3±0,2	7,7±0,3

учитывали степень их ветвления. Поскольку данные однотипны, в таблице 2 приводятся результаты вторых измерений, сделанных 15 июля. Анализ показывает, что облучение тормозит рост верхушечного побега и одновременно стимулирует развитие из боковых почек дополнительных ветвей. Таким образом, у растений происходит ростовая компенсация за счет изменения корреляционных связей между главным и боковыми побегами. Подобные реакции описаны и у других видов растений (1, 5, 6). К концу сезона облученные и контрольные растения тагетеса не различались существенно по высоте.

Представляют интерес данные о влиянии облучения на динамику бутонообразования и цветения у тагетеса. Максимальное количество бутонов на одно растение зафиксировано 22 июля (рис.1). На этом этапе проявилось существенное различие между контрольными и облученными в дозе 1000 Гр растениями. Последние превосходили контроль количественно, однако бутоны у облученных растений в большинстве были очень мелкие, недоразвитые, неправильной формы. В контроле подобных нарушений формы соцветий не отмечалось.

Цветение в вариантах с облучением началось на 2 недели

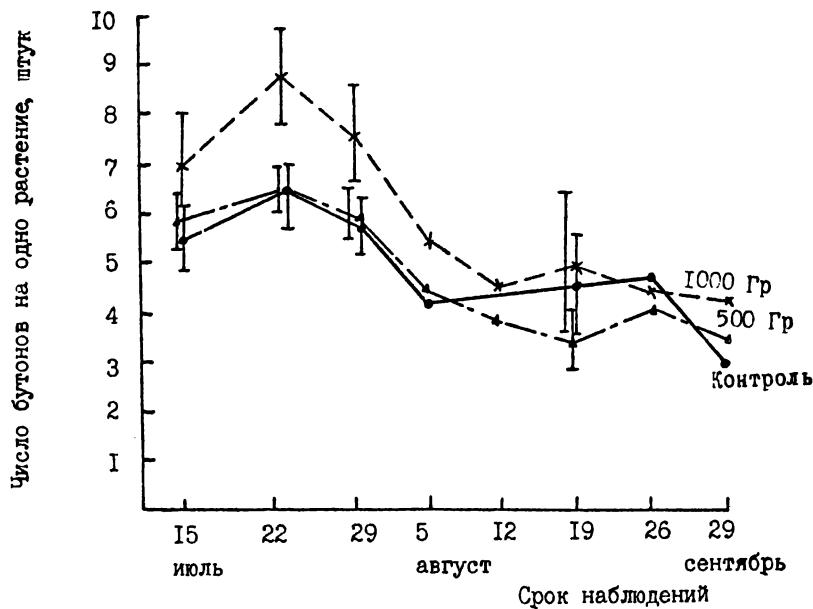


Рис. I. Динамика формирования бутонов у тагетеса в зависимости от дозы облучения семян.

раньше, чем в контроле. Одной из причин ускоренного образования бутонов и цветов у облученных растений считается усиленный приток к ним пластических веществ и регуляторов роста (5). Максимальное количество соцветий наблюдали 29 сентября (рис.2). К этому сроку каких-либо различий между облученными и контрольными растениями по числу распустившихся соцветий не было, поскольку часть бутонов у облученных растений не способна к нормальному развитию.

В начале октября с полноценных соцветий растений всех вариантов собрали семена, отбраковывая пустые и недоразвитые. Сравнение контроля и вариантов с облучением по абсолютному весу сформировавшихся семян показало, что достоверных разли-

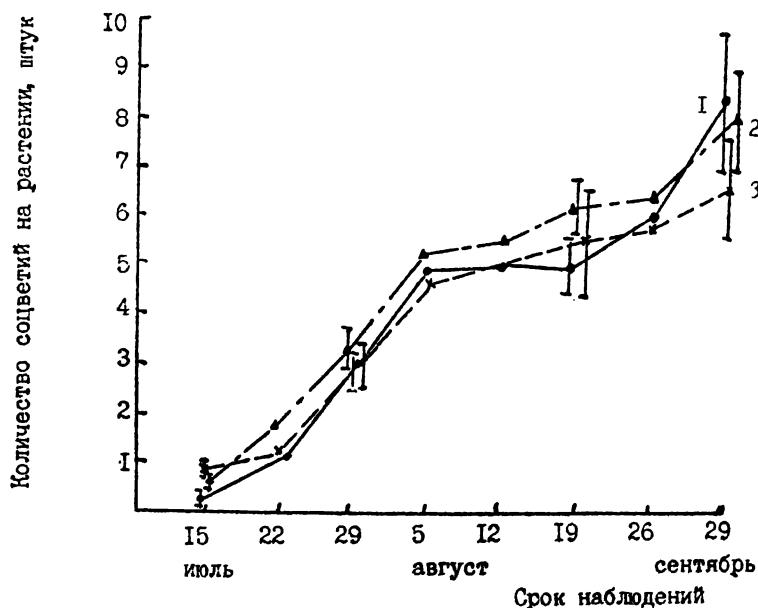


Рис.2. Влияние облучения на формирование соцветий у тагетеса.

I - контроль, 2 - 500 Гр, 3 - 1000 Гр.

чий между ними по этому показателю нет, хотя наблюдается тенденция снижения веса семян с увеличением дозы предпосевного облучения материнских растений. На следующий сезон собранные с облученных и контрольных растений семена, не подвергая никаким дополнительным воздействиям, всеяли в грунт.

Энергия прорастания и всхожесть семян в разных вариантах существенно различались. Чем больше была доза предпосевного облучения материнских растений, тем ниже энергия прорастания и всхожесть семян F_f (табл.3). Дисперсионный анализ, с помощью которого обработали данные, подтверждает значимость этих различий. Та же закономерность проявилась в дальнейшем

Таблица 3

Зависимость некоторых показателей у растений F_1
от дозы облучения материнских растений

Доза, Гр Показатели	0	500	1000	Дисперсионный анализ $F_{0,01}=2,61$
Энергия про- растания, %	69,5	60,0	32,5	3,2
Всходжест- вность, %	89,5	67,5	36,5	5,8
Выживаемо- сть, %	84,0	56,5	33,5	3,6
Количество боковых побегов	5,4±0,3	6,5±0,3	8,1±0,6	

и по выживаемости растений на стадии развития второго настоящего листа. Различия между вариантами высоко достоверны. Существенных различий между вариантами по длине главного побега не было обнаружено ни в начале, ни в конце сезона, а степень ветвления у растений достоверно выше, чем в контроле.

В течение сезона регистрировали динамику бутонообразования у тагетеса F_1 . Как видно из рисунка 3, максимальное количество бутонов в этом сезоне отмечено 12 июля. Процесс формирования бутонов у потомков облученных и контрольных растений про текал неодинаково. Так, при облучении P в дозе 500 Гр растения первого поколения начали бутонообразование на 7 дней позже, чем в остальных вариантах. При облучении материнских растений в дозе 1000 Гр у F_1 на 12 июля бутонов насчитывалось вдвое больше, чем в контроле. В этом же варианте первые соцве-

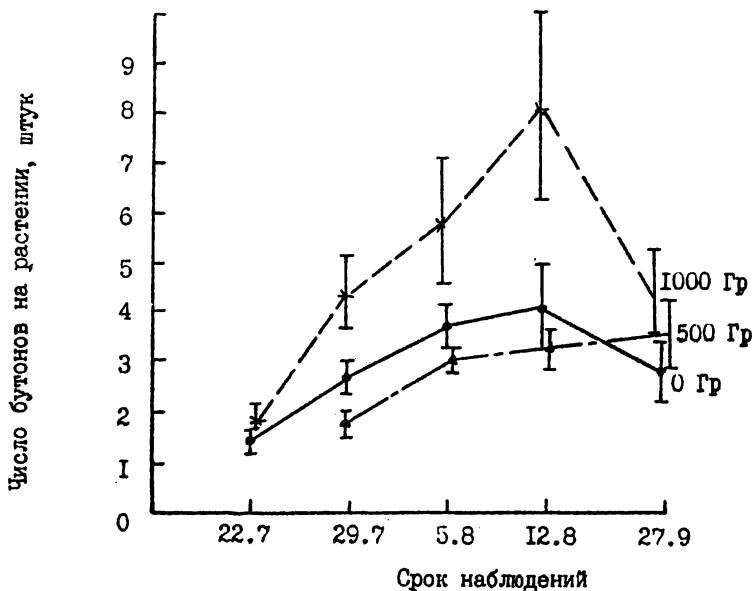


Рис.3. Динамика бутонообразования у F_1 в зависимости от дозы облучения P .

тия распустились на несколько дней раньше контрольных. В течение лета наблюдалось неуклонное увеличение числа соцветий у всех растений (рис.4). Наибольшее их количество отмечено в конце сентября. В этот срок выявилась достоверная разница по числу соцветий между вариантом с облучением материнских растений в дозе 1000 Гр и контролем, у последних соцветий было меньше. Следовательно, хотя бутонов у потомков облученных растений закладывалось больше, лишь небольшая часть их развилаась в нормальные соцветия и дала полноценные семена.

Таким образом, облучение семян тагетеса перед посевом вызвало ряд нарушений в морфогенезе растений. LD_{50} по всхожести семян составила 10000 Гр, а по выживаемости одномесечных рас-

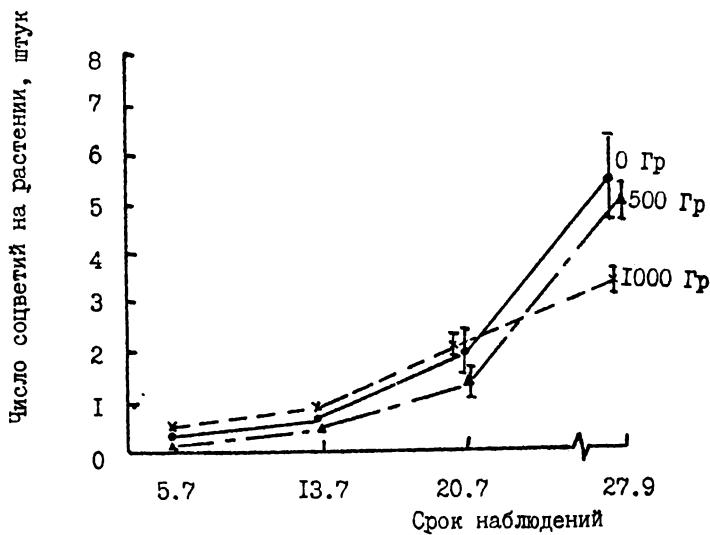


Рис.4. Динамика цветения у растений F_1 в зависимости от дозы облучения P .

тений $\text{ЛД}_{100} = 2500 \text{ Гр}$. Отмеченный по всхожести семян радиостимуляционный эффект при облучении в дозе 1000 Гр в дальнейшем не сохраняется. Выживаемость растений этого варианта не отличалась существенно от контроля. Они имели больше боковых побегов, чем необлученные растения, но уступали им по высоте главного побега. У растений этого варианта закладывалось больше бутонов, однако, многие из них были мелкие, недоразвитые, не дали полноценных соцветий и семян. Последствия облучения семян тагетеса проявились и у растений первого поколения. Так, у потомков облученных в дозах 500 и 1000 Гр растений наблюдалось достоверное снижение энергии прорастания и всхожести семян. У них отмечены также нарушения в формировании бутонов и соцветий. Такой эффект последействия гамма-облучения характерен не для всех видов растений.

Так, у других представителей семейства сложноцветных, 4 видов астр, непосредственное облучение отрицательно влияло на растения, а в следующем поколении проявилось его положительное действие на большинство морфологических признаков (8, 9). Тагетес относится к числу перекрестноопыляемых растений, поэтому при интерпретации полученных данных мы можем учитывать только эффект облучения материнских растений, отцовские остаются фактически вне контроля. Тем более интересен установленный факт существенного влияния облучения семян материнских растений на жизнеспособность их потомства.

ВЫВОДЫ

1. Установлены критические дозы предпосевного гамма-облучения для тагетеса: LD_{50} по всхожести семян составила 10000 Гр, LD_{100} по выживаемости растений - не более 2500 Гр.

2. При облучении семян в дозе 1000 Гр отмечали стимуляцию темпов прорастания и повышение всхожести, нарушение корреляционных связей в росте главного и боковых побегов, формирование у растений большего, чем в контроле, числа бутонов, многие из которых не развились в полноценные соцветия.

3. Установлено снижение жизнеспособности первого поколения в зависимости от дозы предпосевного облучения материнских растений. Облучение семян P -растений отрицательно влияет на процессы бутонообразования и формирования соцветий F_1 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев И.М. Действие ионизирующих излучений на растения. М., изд-во АН СССР, 1962, 224 с.
2. Володин В.Г. Радиационный мутагенез у растений. Минск, 1975, 192 с.

3. Густафссон А. Устойчивость покоящихся семян некоторых сельскохозяйственных растений к рентгеновским лучам. - В сб.: Радиоактивные излучения и селекция растений. М., Наука, 1957, с.57-72.
4. Мике А. Роль индуцированных мутаций в селекции растений. - Генетика, т.I2, вып. I, 1976, с.166-167.
5. Савин В.Н. Действие ионизирующего излучения на целостный растительный организм. М., Энергоиздат, 1981, 120 с.
6. Biebl R. Radiomorphosen on Saja nispida. -Hort., 1958, Bd. 146, s. 31, Hf. 1-2.
7. Miege J. Les tagetes. Origine et principales caracteristiques botaniques et cytogenetiques. -Revue horticole suisse, v. 52, 2, 1979, p. 37 - 43.
8. Wosinska A. Wplyw roznych dawek promiene gamma ^{60}Co na kilka cech morfologicznych astra chinskiego (Callistephus chinensis Nees) w pokolenium M_1 i M_2 . -Acta agrobot., Warszawa, 1980, 33, NI, p. 5 - 29.
9. Wosinska A. Wplyw roznych dawek promiene gamma ^{60}Co na zymotnosc pylku astra chinskiego (Callistephus chinensis Nees) w pokolenium M_1 i M_2 . -Acta agrobot., Warszawa, 1980a, v.33, NI, p. 31 - 39.

В.Н.ПОЗОЛОТИНА
ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ НА МОРФОГЕНЕЗ СЕЯНЦЕВ
ДВУХ РАЗНОПЛОИДНЫХ ВИДОВ БЕРЕЗЫ

Радиочувствительность семян березы изучалась многими исследователями (2, 3, 4, 6, 9, 10, 11). Реакция на облучение молодых сеянцев березы практически не изучена.

Цель настоящей работы - установить дозы излучения, влияющие на морфогенез молодых растений, сравнивать радиочувствительность семян и сеянцев у двух разнопloidных видов березы, изучить специфические реакции растений на облучение и проследить за их развитием в течение нескольких лет.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Объектами исследований служили два вида березы, наиболее распространенные на Урале: пушистая (*Betula pubescens* Mill., $n = 56$) и бородавчатая (*B. verrucosa* Mill., $n = 28$). Семена этих видов, собранные с отдельных деревьев, облучали на гаммаустановке типа "Игур" в дозах 100, 150 и 200 Гр при мощности дозы 1,5 Гр/сек. Облученные семена одновременно с большой партией необлученных прорашивали в чашках Петри, а затем высаживали в полиэтиленовые сосуды со смесью почвы и песка (2:1) по одному проростку в каждый. Объем почвы для каждого растения был одинаков (400 см^3), поскольку величина эдифического пространства существенно влияет на радиационный эффект (5).

Через месяц после посадки, а затем через год молодые сеянцы (из числа необлученных) облучали партиями по 50 штук в дозах 50, 75 и 100 Гр на той же гамма-установке. Наблюдения за развитием сеянцев проводили в течение 3 лет, измеряли высоту растений, количество и величину листьев, учитывали боковое

ьетвление и отклонения от нормы в морфогенезе разных органов. Листья контрольных и облученных растений исследовали цитологически. С этой целью листья мацерировали в 6 н соляной кислоте и на временных препаратах в клеточной суспензии измеряли размеры и подсчитывали число хлоропластов в них.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее нами было показано, что бересклет бородавчатый и пушистый не различаются существенно по радиочувствительности семян, хотя имеется значительная внутрипопуляционная изменчивость по этому признаку (4). Результаты данного вегетационного опыта свидетельствуют о том же (табл. I). У бересклета пушистого длина побега, количество и величина листьев были меньше, чем у бересклета бородавчатого, однако, изменения в морфогенезе, вызванные облучением семян, проявились одинаково. В первый сезон под влиянием предпосевного облучения в дозе 200 Гр у сеянцев обоих видов значительно увеличилась амплитуда изменчивости по высоте главного побега и появилось много укороченных боковых ветвей с мелкими листьями. Облучение сеянцев в одномесечном возрасте вызвало сильное торможение роста главного побега. К концу сезона облученные сеянцы были вдвое ниже контрольных и имели листья в 2-3 раза меньше, чем необлученные. Наряду с задержкой роста главного побега у сеянцев, облученных в дозе 50 Гр, формировались укороченные боковые побеги с большим количеством мелких листьев. В вариантах с облучением в дозах 75 и 100 Гр прироста побегов практически не было, многие растения погибли в течение месяца. Листья сеянцев, облученных в дозах 50 и 75 Гр, были неправильной формы, удлиненные, с редкими зубчиками по краям. Поверхность листьев жесткая, бугристая, лист словно стянут по

Таблица I

Влияние облучения на морфогенез трехмесячных сеянцев
 двух видов бересы (А – облучены семена,
 Б – облучены одномесячные сеянцы)

Доза, Гр	Береза бородавчатая			Береза пушистая		
	Длина по- бега, см	Число листьев	Длина лис- тва, см	Длина по- бега, см	Число листьев	Длина лис- тва, см
0	2,8±0,1	4,6±0,1	2,5±0,1	2,6±0,1	3,8±0,1	2,1±0,1
A 100	3,2±0,3	4,8±0,2	3,0±0,2	2,6±0,2	3,8±0,2	2,8±0,2
A 150	1,9±0,2	4,5±0,3	1,8±0,2	2,5±0,4	4,1±0,2	1,9±0,3
A 200	2,2±0,5	5,0±0,5	2,1±0,4	2,3±0,9	5,2±0,6	1,6±0,6
B 50	1,6±0,1	6,3±0,4	1,1±0,1	1,4±0,2	5,2±0,4	1,0±0,2
B 75	1,2±0,1	3,5±0,1	0,8±0,1	1,3±0,1	3,6±0,3	0,7±0,1
B 100	1,2±0,1	3,2±0,1	0,7±0,1	1,1±0,1	3,6±0,2	0,8±0,1

жилкам. Эти изменения связаны, вероятно, с рассогласованием темпов роста, деления и дифференцировки клеток разных типов тканей. При облучении растений в дозе 100 Гр новых листьев не образовывалось, а старые вскоре пожелтели и опали.

Сравнение реакции на облучение у одномесчных сеянцев разных видов не выявило существенных различий. Так, у березы пушистой и бородавчатой, сеянцы, облученные в дозе 100 Гр, погибли полностью, при облучении в дозе 75 Гр у березы бородавчатой выживаемость к концу сезона составила 10%, а у березы пушистой - 2%. Отклонения в морфогенезе, вызванные облучением, были однотипны.

Сеянцы из облученных семян и контрольные у обоих видов березы хорошо перенесли зимовку. К концу второго летнего сезона они практически не различались по средним значениям длины побега, величины и количества листьев, по числу боковых ветвей (табл.2). Сеянцы, облученные в предшествующем году в одномесчном возрасте в дозе 50 Гр, также достигли уровня контроля по всем морфологическим показателям. Листья измененной формы опали, а вновь развившиеся ни формой, ни размером не отличались от листьев необлученных растений. Рост главного побега возобновился, лишь небольшой участок на стволе со следами укороченных боковых побегов и междуузлий свидетельствовал о травме, нанесенной растениям гамма-лучами. Можно заключить, что у выживших растений произошло восстановление основных функций, пораженных ранее облучением.

Облучение однолетних сеянцев (из числа необлученных) показало, что критические дозовые нагрузки для них те же, что и для одномесчных. Так, при облучении в дозе 100 Гр рост растений полностью прекращался, в течение месяца листья пожелтели и опали.

Таблица 2

Влияние облучения на некоторые морфологические показатели у селянцев двух видов бересек к концу второго сезона (А - облучены семена, Б - облучены однмесечные сенники, В - облучены однолетние растения)

Доза, Гр	Береска бородавчатая				Береска пушистая		
	Длина побега, см	Число боковых побегов	Число листьев	Длина листа, см	Длина побега, см	Число боковых побегов	Число листьев
0	22,7±0,9	1,1±0,2	13,6±0,2	6,7±0,2	20,3±0,6	1,6±0,3	16,5±1,7 5,9±0,1
А 100	22,4±1,1	0,5±0,1	11,7±0,4	6,4±0,1	22,6±1,2	1,1±0,1	15,3±0,9 6,2±0,4
А 150	22,3±0,8	0,7±0,1	12,9±0,7	6,1±0,1	23,9±1,2	1,2±0,2	16,8±1,3 5,8±0,2
А 200	24,6±2,3	0,7±0,5	13,0±2,6	6,3±0,4	19,8±7,0	0,8±0,3	13,8±1,4 5,6±0,6
Б 50	23,4±0,8	1,0±0,2	16,0±0,8	6,7±0,1	19,1±0,1	1,0±0,1	14,9±4,1 6,0±0,4
Б 75	20,2±1,7	0,4±0,2	12,4±1,3	7,0±0,4	17	-	11 5,5
Б 50	15,4±1,6	2,4±0,3	24,5±1,8	4,0±0,2	14,5±0,9	4,8±0,5	34,0±2,3 4,2±0,1
В 75	8,8±1,4	1,3±0,3	8,5±4,4	3,4±0,8	6,9±0,8	1,1±0,3	12,0±1,8 4,1±0,2

ли, точки роста погибли у обоих видов березы. Существенно замедлился рост сеянцев, облученных в дозах 50 и 75 Гр, в первом варианте прирост побега составил 70% от контроля, а во втором – 30%. Возросло количество боковых ветвей у облученных в дозе 50 Гр сеянцев (в 2 раза у березы бородавчатой и в 3 раза у березы пушистой). Как следствие этого, значительно увеличилось количество листьев небольшого размера. У большинства растений, облученных в однолетнем возрасте в дозах 50 и 75 Гр, наблюдали изменения формы листьев такие же, как у сеянцев, облученных в одномесечном возрасте. Листья имели бугристую поверхность и неправильную форму. Измененные листья, а также контрольные зафиксировали и провели цитологический анализ, в котором учитывали размеры клеток столбчатой паренхимы и число хлоропластов в них (табл.3).

Таблица 3

Влияние облучения на формирование клеток
столбчатой паренхимы листьев

Вариант	Береза бородавчатая			Береза пушистая		
	Длина клеток, мк	Ширина клеток, мк	Число хлоропластов	Длина клеток, мк	Ширина клеток, мк	Число хлоропластов
Контроль	24,3±0,3	7,3±0,4	16,0±0,4	19,2±0,5	7,0±0,9	17,0±0,8
50 Гр	31,3±1,2	9,4±1,2	19,0±0,8	23,8±0,3	8,1±0,6	20,0±3,3

Показано, что у облученных растений обоих видов березы клетки паренхимы достоверно больше, чем у необлученных ($t_{st}=10,3$, при табличном значении 4, 3). По числу хлоропластов отмечена лишь тенденция к увеличению их числа у облученных растений, но различия статистически не достоверны. Эти факты сви-

действствуют, что в листьях, облученных на ранней стадии развития, нарушается деление клеток, а рост происходит в основном за счет их растяжения. Неправильные лопастные доли листьев формируются, вероятно, за счет отмирания отдельных клеток, вследствие чего рост листа в этом направлении прекращается. Подобный механизм формирования сложных листьев описан для некоторых растений (8).

Таким образом, у облученных сеянцев березы бородавчатой и пушистой (дозы 50 и 75 Гр, возраст I месяц и I год) в листьях, находившихся в момент облучения на ранней стадии развития, формируются однотипные нарушения. Листья, закончившие рост к моменту облучения, желтеют, засыхают и опадают раньше, чем в контроле. Листья, развившиеся из покоящихся почек после облучения, видимых повреждений не имеют.

Спустя два месяца после облучения однолетних сеянцев в дозе 50 Гр наблюдали пострадиационное восстановление у обоих видов березы. Возобновился рост растений, причем, либо функционировала верхушечная почка, либо, в случае ее гибели, доминирующей становилась ближайшая к ней боковая. Листья, которые формировались на новых побегах, имели правильную форму и нормальные размеры.

С точки зрения популяционной радиоэкологии представляет интерес анализ разнообразия морфологических признаков в выборке облученных растений. Оценить изменчивость в зависимости от облучения можно на примере вариационных кривых распределения признака "длина побега" (рис. I). Показано, что в контроле у обоих видов березы вариационные кривые распределения наиболее близки к нормальному распределению. Небольшое различие их между собой заключается в том, что у березы бородавчатой

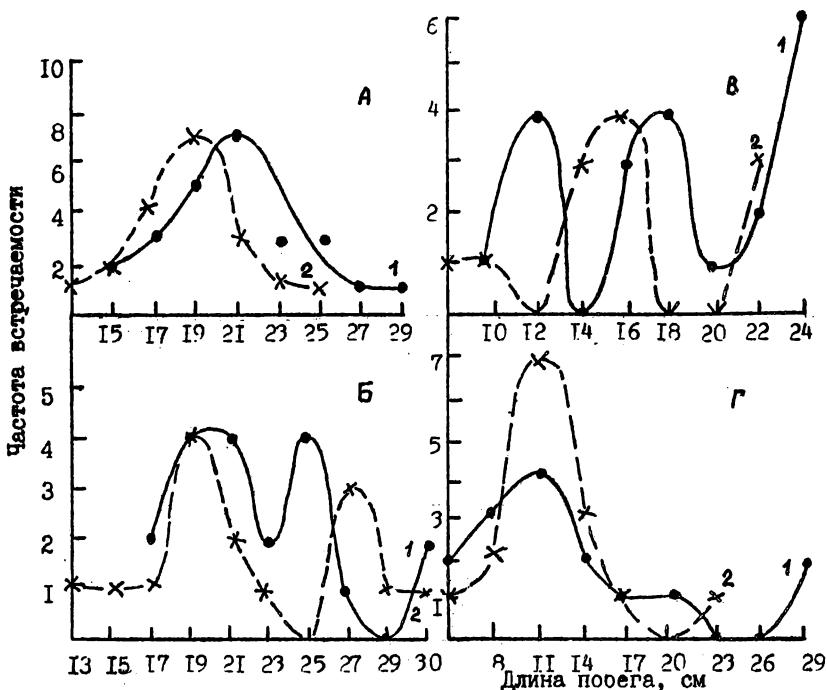


Рис. I. Вариационные кривые распределения признака в зависимости от дозы облучения семян и сеянцев разного возраста у бересеки бородавчатой (1) и бересеки пушистой (2).
А - контроль, Б - 150 Гр семена, В - 50 Гр месячные сеянцы, Г - 50 Гр однолетние растения.

той мода составляет 22,5 см, а у бересеки пушистой – 20,5 см. Облучение семян и сеянцев приводит к различным отклонениям от нормального распределения. Часто наблюдаются многовершинные кривые, что свидетельствует о разнокачественности выборки по отношению к фактору облучения. Растения, составляющие выборку каждого вида, являются полусибсами, тем не менее среди них выявляется группа растений, которые реагируют на облучение уменьшением длины побега, и другая группа, у которой рост не уступает контролльному уровню, а иногда и превышает

ет его. Асимметричность кривых распределения обусловлена преобладанием в выборке растений, однотипно реагирующих на облучение.

На третий год во всех вариантах опыта после зимовки произошел значительный отпад сеянцев. В частности, полностью погибли наиболее слабые, облученные в дозе 75 Гр сеянцы у обоих видов березы. По морфологическим показателям сохранившиеся облученные в дозе 50 Гр растения достоверных различий с контролем не имели. Ранее нами было показано (2), что 100%-ную гибель сеянцев вызывает предпосевное облучение семян в дозах 300 и 400 Гр. Следовательно, радиочувствительность молодых вегетирующих растений березы бородавчатой и пушистой примерно в 4 раза превышает радиочувствительность их семян. (Оценка во всех случаях проводилась по выживаемости трехлетних сеянцев). Опыт показал отсутствие существенных различий между двумя разнопloidными видами как по радиочувствительности семян, так и по реакции на облучение молодых растений. Независимо от возраста сеянцев в момент облучения (I месяц или I год) в морфогенезе их отмечены однотипные нарушения. Наибольшие повреждения отмечались у стеблей и листьев, облученных на ранней стадии формирования. Подобные радиоморфозы наблюдались у однолетних травянистых растений (1, ?). По-видимому, эти закономерности являются общими для травянистых и для многолетних древесных растений.

ВЫВОДЫ

I. При облучении однолетних сеянцев березы бородавчатой и пушистой LD_{100} , оцененная по выживаемости трехлетних растений, составила 75 Гр.

2. Нарушения в морфогенезе облученных растений были однотипны для обоих видов березы, независимо от их возраста в момент облучения.

3. Пострадиационное восстановление у сеянцев, облученных в одномесчном возрасте, началось на следующий сезон, а у однолетних растений через 1,5-2 месяца после облучения.

4. Под влиянием облучения возросла амплитуда изменчивости всех морфологических признаков. Вариационные кривые распределения имеют значительные отклонения от нормального в виде многогорбинности и асимметрии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Березина Н.М. Предпосевное облучение семян сельскохозяйственных растений. М., Атомиздат, 1964, 211 с.
2. Киселева В.Н., Щков П.И. О сравнительной радиочувствительности семян березы пушистой и березы бородавчатой. - Радиобиология, т. I7, вып. I, 1977, с. I33-I36.
3. Кудинов М.П. Устойчивость представителей рода *Betula* к γ -лучам. - В сб.: Лесоведение и лесное хозяйство, 1975, вып. 9, Минск, Вышэйш. школа, с. 76-81.
4. Позолотина В.Н. Индивидуальная изменчивость радиочувствительности семян двух видов березы. - Экология, 1980, вып. 4, с. 52-56.
5. Позолотина В.Н. Влияние предпосевного облучения семян на морфогенез сеянцев березы в условиях разного эдафического пространства. - В сб.: Модификация лучевого поражения семян растений. 1983, Свердловск, с. I3-23.
6. Привалов Г.Ф. Чувствительность семян некоторых видов древесных растений к ионизирующему лучам. - Радиобиология, 1963, т. 3, вып. 5, с. 770-772.

7. Савин В.Н. Действие монизирующего излучения на целостный растительный организм. М., Энергоиздат, 120 с.
8. Эсая К. Анатомия семенных растений. 1980, М., Мир, 2 кн., 558 с.
9. Lehtiniemi Tapio. Ionisoivan sateilyn vaikutus varastru-
ivien ja liotettujen metsäpuiden siementen idantähän ja
taimien alkukeni tykseen. -Silva fenn., 1976, v.10, N1,
p. 20 - 31.
10. Ohba K. Nippon Kungku Kaishi., 1966, v.48, N12,
Nucl. Sci. Abstr., 1967, v. 21, 22796.
- II. Scholz E. Röntgenmutationen bei der Birke. -Der Züchter,
1957, v.27, N3, 56 - 60.

О.А.ПОРОЗОВА

ЗАВИСИМОСТЬ ЛУЧЕВОГО ПОРАЖЕНИЯ СЕМЯН СОСНЫ
ОБЫКНОВЕННОЙ ОТ УСЛОВИЙ ПОСТРАДИАЦИОННОГО ХРАНЕНИЯ

В природных условиях ионизирующая радиация действует на живые организмы в сложном комплексе с другими экологическими факторами. Степень лучевого поражения организмов, и в частности семян растений, существенно зависит от условий среды, складывающихся как во время облучения, так и в пострадиационный период. Поэтому для правильной оценки действия ионизирующей радиации на семена в реальных природных условиях семенного возобновления растений и при их хранении необходимо учитывать влияние максимального количества других экологических факторов. В частности, известно влияние влажности и температуры среды на развитие лучевого поражения в облученных семенах при их хранении (7, 8, 9). Однако действие этих факторов рассматривалось в большинстве работ в короткий пострадиационный период, измеряется часами, днями или одним-двумя месяцами. В более поздние периоды влияние условий хранения на степень лучевого поражения семян изучено слабо. С этой точки зрения в литературе содержится недостаточно сведений о семенах такого радиочувствительного лесообразующего вида как сосна обыкновенная.

В настоящей работе рассматривается действие факторов влажности и температуры в период длительного пострадиационного хранения на лучевое поражение семян сосны обыкновенной.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В опытах использовали семена сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*) трех уровней влажности: 3-4% (подсушенные), 6-7% (воздушно-сухие) и 9-10% (влажные). Заданная в опыте влажность

семян достигалась путем выдерживания их в эксикаторах над растворами серной кислоты определенных концентраций. После достижения семенами необходимой влажности их изымали из эксикаторов и запаивали в двойные полиэтиленовые пакеты, в которых затем проводили их облучение и дальнейшее хранение.

Семена каждого уровня влажности облучали в дозах 1, 2, 5, 10, 20 и 30 Гр от гамма-источника ^{137}Cs установки типа "ИГУР-1" при мощности дозы 1,6 сГр/с.

Часть необлученных и облученных семян прорачивали сразу после облучения. Другую часть семян, имеющих влажность 3-4% и 6-7%, хранили при температуре 28° в эксикаторах в термостате, при 20° в комнатных условиях и при 5° - в холодильнике. Семена с влажностью 9-10% хранили при температурах 20° и 28°. Определение лабораторной всхожести проводили каждый последующий месяц после облучения в течение 10 месяцев. Семена прорачивали в термостате в чашках Петри с влажным песком при температуре 22°С. В каждую чашку Петри помещали по 50 штук семян. Контролем являлись необлученные семена. Повторность в опытах четырехкратная.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ

В таблице I представлены результаты по лабораторной всхожести необлученных семян сосны обыкновенной, хранившихся в различных условиях влажности и температуры в течение 10 месяцев. Видно, что хранение при температуре 28° отрицательно повлияло на всхожесть подсушенных и влажных семян: через 10 месяцев хранения эти семена потеряли всхожесть соответственно на 30 и 94%. У воздушно-сухих семян, хранившихся при температуре 28°, снижения всхожести отмечено не было. При более низких температурах всхожесть семян всех уровней влажности в процессе хранения в исследованном интервале времени не изменялась.

Таблица I
Всхожесть необлученных семян сосны обыкновенной в зависимости
от влажности и температуры их хранения

Влаж- ность	Темпе- ратура	Срок хранения, месяц							
		без хранения	1	3	4	6	7	8	10
3-4	28°	74±1,7	55±11,8	64±12,4	73±6,2	54±5,6	54±7,9	58±1,1	43±5,1
	20°	56±3,4	61±9,0	50±5,1	68±5,6	60±6,7	67±9,0	58±3,4	49±6,7
	5°	74±1,7	56±4,5	69±7,9	55±5,6	64±5,1	55±2,8	72±2,8	64±5,6
6-7	28°	76±3,9	64±7,3	64±8,4	80±3,9	53±9,6	70±3,4	66±5,6	62±8,4
	20°	63±3,4	61±4,5	55±9,0	81±3,4	72±5,6	74±4,5	61±6,7	67±3,9
	5°	76±3,9	67±2,3	74±3,9	83±2,8	48±4,5	76±3,4	82±1,7	64±5,1
9-10	28°	77±2,8	72±3,4	59±2,8	62±2,3	31±5,6	36±1,7	16±5,1	6±2,8
	20°	74±5,1	73±4,5	61±4,5	85±2,2	74±1,7	83±1,1	74±2,3	73±3,4

Рассмотрим, как изменяются посевные качества облученных семян сосны в зависимости от условий пострадиационного хранения. На рис. I приведены данные по изменению всхожести подсушенных семян (влажность 3-4%) в процессе их пострадиационного хранения при температурах 5, 20 и 28°. Для того, чтобы показать влияние фактора облучения, данные по всхожести облученных семян представлены в процентах к этому показателю у семян необлученного контроля. Достоверность различий между вариантами с облучением и необлученным контролем определяли по критерию Стьюдента.

Всхожесть подсушенных семян, облученных в дозе 1 Гр и хранившихся при температурах 5 и 20°, не отличалась достоверно от всхожести необлученных семян, находившихся в адекватных условиях в течение всего периода хранения. Хранение этих семян при температуре 28° вызвало снижение их всхожести к концу опыта на 41% по сравнению с контролем ($t_{опытное} = 5,1$; $t_{табличное}$ при $P=0,05$ здесь и далее = 2,4). У семян, облученных в дозе 2 Гр, снижение всхожести наблюдалось при температуре 20 и 28° и не отмечалось при температуре 5°. Так, всхожесть семян, хранившихся при 20°, к концу опыта снизилась на 67% ($t_{оп.} = 4,3$) по сравнению с необлученным контролем и при температуре 28° - на 76% ($t_{оп.} = 6,4$). У семян, облученных в дозах 5 и 10 Гр, наблюдался выраженный "эффект хранения", степень которого возрастала с увеличением дозы облучения, температуры и сроков пострадиационного хранения. Всхожесть подсушенных семян, облученных в дозе 5 Гр и высеваемых сразу после облучения, составляла 82% от контроля ($t = 2,8$). Однако для семян, хранившихся в течение 6 месяцев при температуре 5°, эта доза оказалась полулетальной ($t = 6,4$), а для семян, хранившихся при 20 и 28° - летальной дозой. Семена, об-

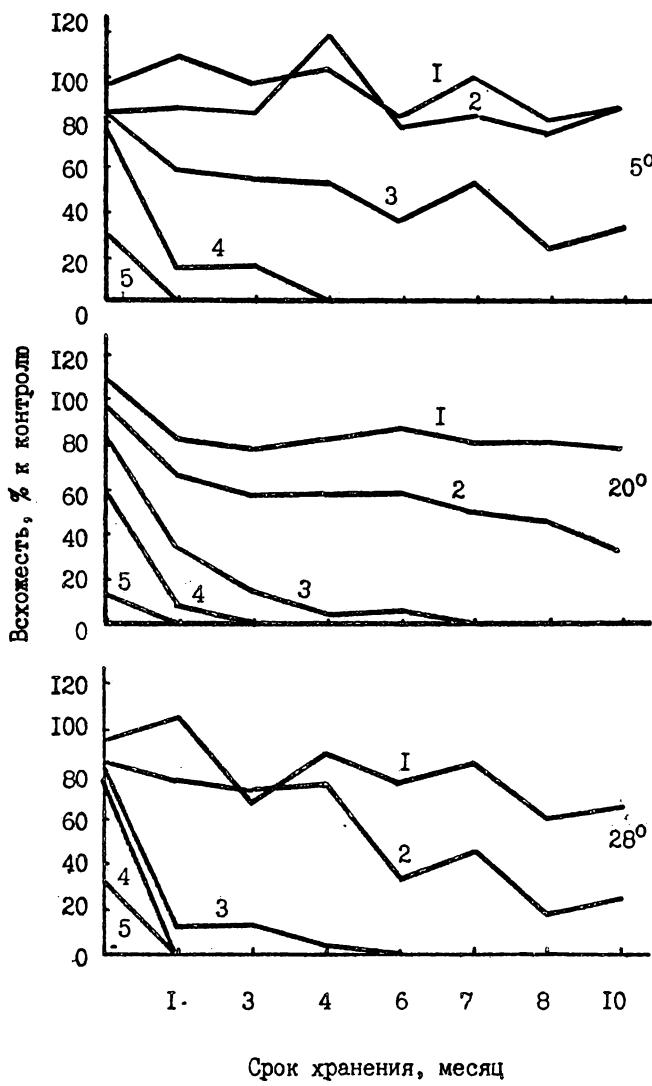
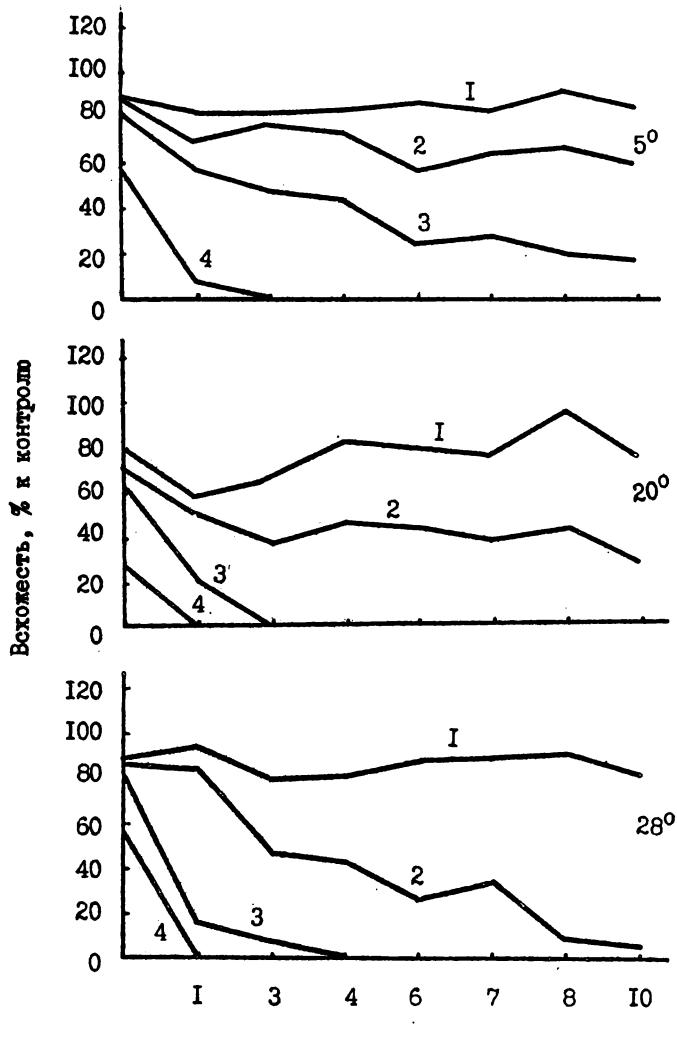


Рис. I. Всходесть подсушенных семян (влажность 3-4%) в зависимости от дозы облучения, температуры и сроков пострадиационного хранения (I - I Гр; 2 - 2 Гр; 3 - 5 Гр; 4 - 10 Гр; 5 - 20 Гр).

лученные в дозе 10 Гр, при температуре хранения 28° полностью потеряли всхожесть в течение первого месяца хранения, а при 5° - только через 4 месяца. Облучение подсущенных семян в дозе 20 Гр вызвало потерю их всхожести в течение месяца независимо от температуры хранения. Доза облучения 30 Гр оказала на подсущенные семена летальное действие.

У воздушно-сухих семян (рис.2) повреждающее действие гамма-облучения по критерию всхожести в выбранном диапазоне доз начинает проявляться лишь при дозе 5 Гр. Всхожесть семян, облученных в этой дозе и высеванных сразу после облучения, составляла 89% от контроля ($t=1,3$). Через 6 месяцев хранения при температуре 5° этот показатель составил 58% ($t=3,5$), при температуре 20° - 42% ($t=6,7$) и при 28° - 26% от контроля ($t=4,0$), а через 10 месяцев - соответственно 59, 26 и 8% (t соответственно 2,1; 7,8; 6,4). Всхожесть семян, облученных в дозе 10 Гр и хранившихся при температуре 5° в течение трех месяцев, составила 49% от контроля ($t=7,4$). Семена, находившиеся при 20 и 28°, через этот период времени утратили способность прорастать. После облучения в дозах 20 и 30 Гр воздушно-сухие семена значительно понизили свою всхожесть и потеряли ее полностью в течение месяца после облучения.

На основе полученных в опыте данных с помощью пробит-анализа (5) установлены значения LD_{50} для подсущенных и воздушно-сухих семян сразу после облучения и величины доз, оказывающих аналогичное действие через 10 месяцев хранения семян в различных условиях влажности и температуры (табл.3). Из таблицы следует, что величина полулетальной дозы сразу после облучения для подсущенных семян составляет 12 Гр, а для воздушно-сухих - 20 Гр.



Срок хранения, месяц

Рис.2. Всходесть воздушно-сухих семян (влажность 6-7%) в зависимости от дозы облучения, температуры и сроков пострадиационного хранения (1 - 2Гр; 2 - 5Гр; 3 - 10Гр; 4 - 20Гр).

Таблица 2

Изменение ЛД_{50} у покоящихся семян сосны
обыкновенной в зависимости от условий
постстратиационного хранения

Влажность семян, %	ЛД_{50} (Гр) сразу после облуч.	ЛД_{50} (Гр) через 10 месяцев хранения при разных температурах		
		5°	20°	28°
3-4	12,0	3,0	1,6	1,3
6-7	20,0	5,0	2,5	2,5

Через 10 месяцев постстратиационного хранения подсушенных семян при температуре 5° такое же снижение всхожести наблюдалось у семян, облученных в начале опыта в дозе 3,0 Гр, при температуре 20° - в дозе 1,6 Гр и при 28° - в дозе 1,3 Гр. У воздушно-сухих семян, хранившихся в течение 10 месяцев при температурах 5°, 20° и 28°, снижение всхожести на 50% по сравнению с контролем вызывали дозы соответственно 5,0 Гр, 2,5 Гр и 2,5 Гр. Следовательно, величина полулетальной дозы уменьшалась в зависимости от температурных условий хранения у подсушенных семян в 4, 8 и 9 раз, а у воздушно-сухих семян - в 4, 8 и 8 раз.

У влажных семян (влажность 9-10%), хранившихся при температуре 20°, снижение всхожести по сравнению с контролем отмечалось в ряде случаев при дозах облучения 20 и 30 Гр (рис.3). Так, при дозе 20 Гр всхожесть семян с высоким содержанием воды снизилась через 6 месяцев хранения на 24% ($t=3,8$); в течение двух последующих месяцев эти семена также имели более низкую по сравнению с контролем всхожесть ($t=5,1$; $t=2,7$). При дозе облучения 30 Гр у влажных семян обнаружено статисти-

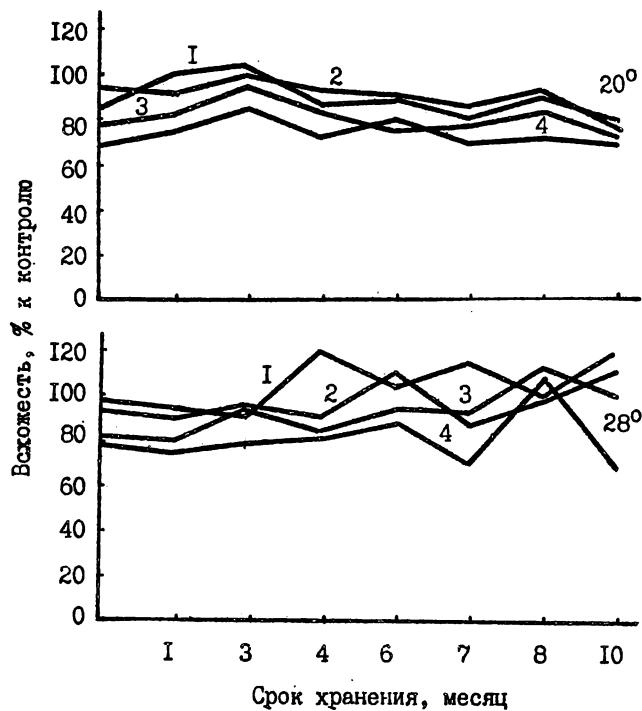


Рис.3. Всхожесть влажных семян (влажность 9-10%) в зависимости от дозы облучения, температуры и сроков пострадиационного хранения (I - 5 Гр; 2 - 10 Гр; 3 - 20 Гр; 4 - 30 Гр).

чески достоверное снижение всхожести сразу после облучения на 32% ($t = 2,4$ при $t_{0,05} = 2,4$) и соответственно на 26, 30, 27 и 25% через 4, 7, 8 и 10 месяцев хранения (t соответственно 3,3; 4,0; 2,4 и 3,2). Усиления степени радиационного поражения в процессе хранения семян не отмечалось.

Всхожесть облученных семян, хранившихся при температуре 28°, в некоторые сроки высеяния значительно отличалась от контроля, однако различия статистически недостоверны. Хранение

семян при температуре 28° привело к одинаковому снижению посевных качеств как необлученных, так и облученных семян. В начале опыта всхожесть семян в контроле (в абсолютных единицах) была равна 77%, а при дозе облучения 30 Гр - 61% ($t=1,9$). Через 6 месяцев этот показатель у необлученных семян составил 31% и у семян, облученных в дозе 30 Гр - 27%, а через 10 месяцев - соответственно 6 и 4%. Следовательно, всхожесть семян независимо от дозы облучения снизилась более, чем вдвое, через 6 месяцев и продолжала снижаться при дальнейшем хранении. Действие радиационного фактора на эти семена в данном диапазоне доз не выявлено.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Опыты показали, что условия хранения оказывают значительное влияние на посевные качества семян сосны обыкновенной. Наиболее устойчивыми к хранению оказались воздушно-сухие семена (влажность 6-7%), сохранившие свою всхожесть даже при неблагоприятной для хранения семян этого вида сосны температуре 28°. По данным Гиргидова и др. (1979), значение оптимальной влажности семян сосны при закладке на хранение находится в пределах 4,5-7,5%.

У подсушенных и влажных семян, хранившихся при температуре 28°, обнаружено снижение посевных качеств. Отрицательное влияние повышенной влажности семян, особенно при высокой температуре хранения, отмечали и другие авторы (2, 6). В этих условиях в семенах интенсивно протекают процессы обмена веществ, в частности, дыхание, что ведет к истощению запаса питательных веществ, накоплению ядовитых продуктов обмена и в конечном счете - к снижению жизнеспособности семян. Хранение семян сосны в подсушеннном состоянии при температуре 28° также отрица-

тельно повлияло на их посевные качества. Предполагается (II), что в пересушенных семенах, особенно при повышенных температурах их хранения, возрастает активность ферментов, окисляющих липиды. Окисление липидов является одной из причин старения семян и снижения их долговечности. Особую важность приобретают эти процессы в определении жизнеспособности семян, содержащих большое количество жиров, к которым относятся семена сосны.

Полученные результаты свидетельствуют также о том, что в выбранном диапазоне значений влажности наблюдается обратная зависимость между радиочувствительностью семян сосны обыкновенной и их влажностью. Наиболее радиочувствительными являются подсушенные семена, имеющие влажность 3-4%. Семена данного уровня влажности сильнее повреждаются при облучении, в пострадиационный период лучевое поражение развивается в них с большей скоростью, чем в воздушно-сухих семенах.

В настоящее время считается доказанным (I, I0), что модифицирующее действие факторов влажности и температуры в короткий пострадиационный период на лучевое поражение семян заключается в обеспечении большей или меньшей степени участия кислорода в радиационно-химических реакциях свободных радикалов. В более сухих семенах, где свободные радикалы могут существовать длительное время, они, взаимодействуя с кислородом, образуют более активные перекисные радикалы. Присоединение перекисных радикалов к биологически важным молекулам клетки вызывает их необратимые повреждения (9). Скорость этих процессов возрастает при более высоких температурах.

Усиление действия радиации при длительном пострадиационном хранении объясняется ускорением процессов старения при облучении (4). Факторы влажности и температуры в длительный постстра-

диационный период определяют скорость биологического окисления, лежащего в основе радиационного старения. Результаты опытов свидетельствуют о том, что хранение семян сосны обыкновенной в воздушно-сухом состоянии (влажность 6-7%) при пониженной температуре (5°) снижает повреждающее действие гамма-облучения. Значительное усиление лучевого поражения подсушенных семян (влажность 3-4%) в процессе их хранения при температурах 20° и 28° объясняется активизацией в этих условиях вызванного облучением старения семян.

ВЫВОДЫ

1. Изучали действие факторов влажности (3-4%, 6-7%, 9-10%) и температуры (5° , 20° , 28°) в период пострадиационного хранения (10 мес.) на лучевое поражение семян сосны обыкновенной.

2. Установлено, что влажность и температура в период хранения необлученных семян существенно влияют на их всхожесть. Снижение посевных качеств семян всех уровней влажности отмечено лишь при температуре 28° , при температурах 5 и 20° всхожесть семян в процессе их хранения не изменялась.

3. Лучевое поражение семян с содержанием воды 3-4% и 6-7% увеличивалось пропорционально дозе облучения, температуре и срокам пострадиационного хранения. Максимальный поражающий эффект радиации отмечался у семян с влажностью 3-4% при температуре пострадиационного хранения 28° .

4. У влажных семян (влажность 9-10%), хранившихся при температуре 20° , снижение всхожести по сравнению с контролем наблюдалось в отдельные сроки высева при дозах облучения 20 и 30 Гр. Усиления лучевого поражения в процессе хранения семян не отмечалось. Хранение влажных семян при температуре 28° привело к одинаковому снижению посевных качеств семян незави-

симо от дозы облучения. Действие радиационного фактора в исследованном диапазоне доз облучения на семена, хранившиеся в этих условиях, не выявлено.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атаян Р.Р. Модификация радиобиологических реакций клеток сопутствующими облучению факторами. Чтения памяти Н.В. Тимофеева-Ресовского, изд-во АН Арм.ССР, Ереван, 1983, с.41-55.
2. Бартон Л. Хранение семян и их долговечность, М., 1964.
3. Гиргидов Д.Я., Гусев С.П. Длительное хранение семян хвойных пород. Ленинградский научн.-исслед. ин-т лесного хоз-ва, 1977.
4. Гудков И.Н. К вопросу о механизме "эффекта хранения" в облученных семенах растений. Радиобиология, 1973, т.13, вып.1, с.140-145.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М., "Колос", 1979, с.372-376.
6. Овчаров К.Е. Физиология формирования и прорастания семян. М., "Колос", 1976, с.229.
7. Тарчевская С.В., Щков П.И., Каширо Ю.П. Зависимость всхожести семян сосны от условий пострадиационного хранения. В кн."Радиоустойчивость семян растений и ее изменчивость", Свердловск, 1980, с.19-34.
8. Caldecott R.S. Seedling height, oxygen availability, storage and temperature: their relation to radiation induced genetic and seedling injury in barley. Effect of ionizing radiation on seeds. Vienna, I.A.E.A., 1961, p. 3 - 21.

9. Conger A.D. and Randolph M.L. Magnetic centers (free radicals) produced in cereal embryos by ionizing radiation. Rad. Res., 1959, II, p. 54 - 56.
10. Conger B.V. and Carabia I.V. Modification of fission neutrons versus ^{60}Co γ -radiation in barley seeds by oxygen and seed water content. Rad. Bot., 1972, 12, p. 411 - 420.
11. Harrington J.F. Biochemical basis of seed longevity. Seed Sci. Technol., 1973, I, p. 453 - 461. Цит. по К.Е. Овчарову "Физиология формирования и прорастания семян", М., "Колос", 1976, с. 233.

П.И. ЮШКОВ

ВЛИЯНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН *Salix pentandra L.*
НА ИХ ПРОРАСТАНИЕ И МОРФОГЕНЕЗ ПРОРОСТКОВ

Ивы, несмотря на их широкое распространение в природе и большой интерес, проявляемый к ним селекционерами и другими специалистами, в радиобиологическом отношении мало изучены. Только для семян двух видов ивы - пятитычинковой и белой - имеются данные о величине полулетальных и летальных доз гамма-облучения и краткие сведения о влиянии предпосевного облучения семян ивы пятитычинковой на морфогенез проростков (8, 9).

Изучение зависимости морфогенеза проростков ивы пятитычинковой от дозы гамма-облучения семян представляет особый интерес в связи с тем, что в нормальных условиях прорастание семян у этого и у других видов ивы начинается с вытягивания гипокотиля с семядолями и закрепления проростка в субстрате, корень же появляется позднее (1, 5, 6). Поэтому важной задачей на начальном этапе исследования радиоустойчивости ив является выбор критериев оценки радиационного воздействия на семена.

Цель настоящей работы - оценка влияния гамма-облучения на прорастание семян *S. pentandra* и морфогенез проростков от их появления до начала роста в высоту верхушечного побега, а также выбор критериев радиационного воздействия на семена.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В опытах использовали семена ивы пятитычинковой, собранные в сентябре в насаждении, которое расположено в пойме ручья, впадающего в Белоярское водохранилище (Свердловская область). Тип леса березняк болотно-разнотравный. Состав насаждения IOB с ивой пятитычинковой и ивой серой (*Salix cinerea L.*) во втором ярусе.

Воздушно-сухие семена облучали гамма-квантами ^{60}Co на установке типа "Исследователь" в дозах 50, 100, 150, 200 и 250 Гр при мощности дозы 77,1 сГр/с. Контролем служили необлученные семена. Сразу после облучения семена (по 50 штук) высевали в чашки Петри на влажную вату, накрытую фильтровальной бумагой. Повторность в опытах четырехкратная. Прорацивание семян проводили на рассеянном естественном свете при дополнительном люминесцентном освещении (суммарная освещенность 3500 лк, фотопериод 12 час). Температура воздуха в помещении днем $27\text{--}29^{\circ}\text{C}$ и ночью $18\text{--}20^{\circ}\text{C}$. В определенные дни после начала намачивания учитывали общее число проросших семян, а также число проростков со следующими признаками: а) с раскрытыми семядолями, б) с корнями, в) с одним и двумя листьями, г) с верхушечным побегом. Наблюдения проводили в первые десять суток ежедневно, а затем через 15, 20, 25, 30 и 35 суток после посева семян. На 10-й день опыта у проростков была измерена длина корней. Семена считали проросшими, если у них вытянулся гипокотиль, вокруг основания которого появился венчик из волосков, а семядоли стали отличимыми от гипокотиля. За энергию прорастания принимали процент семян, проросших через трое суток после начала намачивания. В работе представлены результаты двух опытов. На рисунках приведены доверительные интервалы при $P=0,95$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Прорастание семян начиналось через 48 часов после посева. На рис. I видно, что наиболее высокая энергия прорастания (94%) была у необлученных семян, что на 2% ниже абсолютной всхожести этих семян. Облучение во всем избранном диапазоне доз, за исключением дозы 50 Гр, вызвало статистически достоверное снижение энергии прорастания семян. При этом дозы облучения 200 и 250 Гр

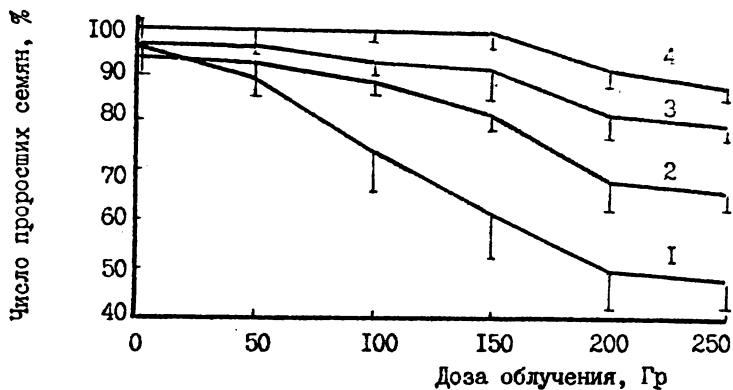


Рис.1. Зависимость прорастания семян от дозы гамма-облучения. Время после посева: 1-3 суток; 2-5 суток; 3-10 суток; 4-35 суток.

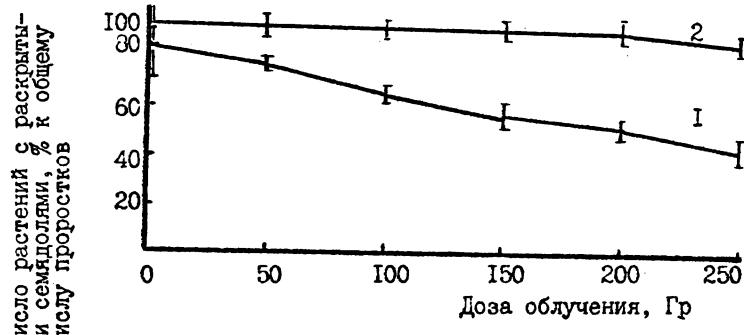


Рис.2. Влияние гамма-облучения семян ивы пятитычинковой на раскрытие семядолей у проростков разного возраста. Время после посева: 1-5суток; 2-10 суток.

энергию прорастания более чем в два раза по сравнению с контролем. Однако, через пять суток после начала опыта в вариантах с облучением в дозах 50 и 100 Гр число проросших семян не отличалось от контроля, при дозах же облучения 200 и 250 Гр проросло семян на 25% меньше. Через 10 и 35 суток после посева только у семян, облученных в дозах 200 и 250 Гр, всхожесть приблизительно на 10-15% ниже, чем в контроле. При этом к концу опыта всхожесть семян несколько превышала таковую через 10 суток после посева. Следует отметить небольшой отпад растений в течение опыта.

На рис.2 представлены данные по влиянию облучения семян на развертывание семядолей у проростков. Видно, что облучение семян в дозе 50 Гр не оказало существенного влияния на этот морфогенетический процесс, а облучение в дозах 100-250 Гр вызвало сильную задержку развертывания семядолей. Через 10 суток после посева семядоли раскрылись почти во всех вариантах у 90% проростков; только при дозе облучения 250 Гр семядоли развернулись у 84% растений.

Облучение семян в диапазоне доз 50-250 Гр вызвало отчетливую задержку начала роста первичного корня, причем тем более сильную, чем выше была доза облучения (рис.3). Так, спустя трое суток после начала опыта в вариантах с облучением в дозах 50 и 250 Гр корни имелись у соответственно 32 и 17% проростков, а в контроле у 55% растений. Даже через 25 суток после посева, когда в контроле и при дозах облучения семян 50-150 Гр корни появились у почти всех растений, в вариантах с облучением в дозах 200 и 250 Гр у 14-18% проростков отсутствовали корни. Число проростков с корнями существенно не увеличивалось в последних двух вариантах и к концу опыта.

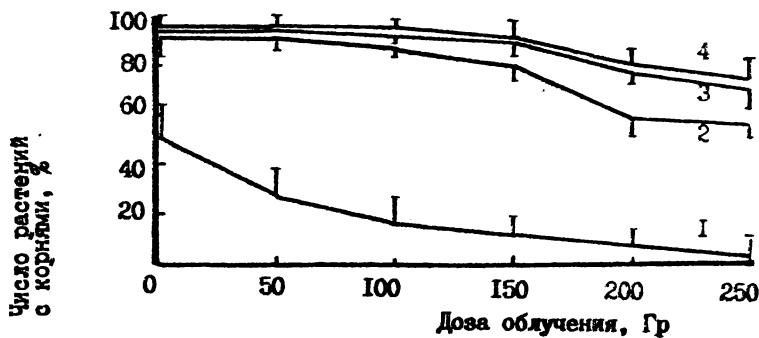


Рис.3. Влияние гамма-облучения семян ивы пятитычинковой на появление корней у проростков разного возраста. Время после посева семян: 1-3 суток; 2-5 суток; 3-25 суток; 4-35 суток.

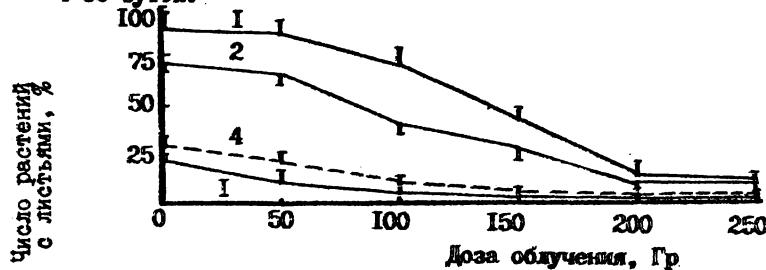


Рис.4. Влияние гамма-облучения семян ивы пятитычинковой на появление листьев у проростков разного возраста. Время после посева семян: 1-15 суток; 2-25 суток; 3- и 4-35 суток (1-3 - появление первого листа, 4 - появление второго листа).

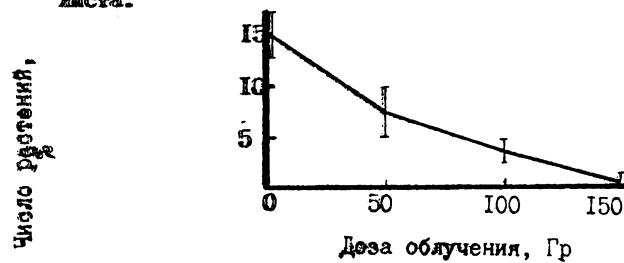


Рис.5. Зависимость числа 35-дневных растений ивы пятитычинковой с верхушечным побегом от дозы гамма-облучения.

Длина корней проростков через 10 суток после посева в контроле и в вариантах с облучением семян в дозе 50 Гр находилась в пределах от 8 до 18 мм. При облучении семян в дозах 100–250 Гр наблюдалось торможение роста в длину зародышевых корней. Так, при дозах облучения 200 и 250 Гр длина корней составила соответственно 2–5 и 1–4 мм. Однако и у 35-дневных растений этих вариантов опыта корешки оставались очень короткими и, в отличие от корней у растений остальных вариантов опыта, не образовали боковых корней.

Появление первого настоящего листа у отдельных проростков ивы было отмечено через 10 суток после начала опыта. Как и образование корней, листообразование оказалось очень чувствительным к облучению (рис.4). Через 15 суток после посева семян первый лист появился у 23% контрольных сеянцев и у 19% растений в варианте с облучением семян в дозе 50 Гр. При дозах облучения 150–250 Гр первый лист к этому сроку имелся у единичных растений.

Через 35 суток после начала опыта число растений с листьями в контроле и в варианте с облучением в дозе 50 Гр достигло 90%. При более высоких дозах облучения семян сильное угнетающее действие его на листообразование наблюдалось и в этот срок. Так, при дозе 100 Гр число растений с первым листом составило 74%, а при дозах 200 и 250 Гр – около 4%. При этом у растений в двух последних вариантах опыта листовая пластинка была сильно редуцирована и часто имела нитевидную форму в отличие от овальной, характерной для листьев контрольных растений.

К 25-му дню после начала опыта отмечено появление у растений второго листа. Зависимость образования второго листа от дозы облучения аналогична той, что характерна и для начального

этапа появления первого листа (рис.4). Дозы 200 и 250 Гр резко тормозили образование второго листа, который у растений этих вариантов опыта имел форму коротких шилец.

Через 20-25 суток после посева семян у отдельных растений ивы наблюдалось также появление верхушечного побега. На 35-й день опыта верхушечный побег был у 1% контрольных растений и у 8% растений, развившихся из семян, которые были облучены в дозе 50 Гр. При дозе облучения 150 Гр рост верхушечного побега отмечен только у 0,5% растений, а при больших дозах верхушечный побег у растений отсутствовал (рис.5).

Наблюдения за динамикой прорастания семян и появления отдельных органов у проростков ивы пятитычинковой позволили составить фенограмму, в которой указаны сроки прохождения некоторых начальных этапов онтогенеза у ивы пятитычинковой (рис.6).



Рис.6. Влияние гамма-облучения семян ивы пятитычинковой на их прорастание и на прохождение проростками фаз морфогенеза. 1 - прорастание семян; 2 - раскрытие семядолей; 3 - появление корня; 4 - появление первого листа.

За начало фенофазы принимали время от посева семян до вступления в данную фазу первых, иногда единичных, растений, а завершением фенофазы считали время вступления в нее свыше 90% растений. В варианте с облучением семян в дозе 250 Гр завершением прохождения растениями таких фенофаз, как раскрытие семядолей и появление корней, считали наличие соответствующих признаков у меньшего процента растений, так как при этой дозе облучения полностью тормозилось вступление части растений в данные фазы морфогенеза.

Видно, что облучение семян в дозе 50 Гр не оказалось существенного влияния на темпы прохождения растениями фаз морфогенеза. Только начало раскрытия семядолей в этом варианте опыта задержалось, по сравнению с контролем, на одни сутки. По длительности прохождения всех фенофаз проростками эти варианты опытов не отличались друг от друга. Облучение семян в диапазоне 100–250 Гр вызвало задержку на одни сутки начала раскрытия семядолей и начала появления корней. Начало появления первого листа задерживалось, по сравнению с контролем, на 5 суток при облучении в интервале доз 100–200 Гр и на 15 суток – при облучении семян в дозе 250 Гр.

На фенограмме видно, что с увеличением дозы облучения возрастает и длительность периода, в течение которого в данную фазу морфогенеза переходят все или почти все проростки. Наиболее сильной оказалась растянутость появления корня и первого листа – фаз морфогенеза, прохождение которых связано с деятельностью верхушечных меристем. Эти данные свидетельствуют о сильной индивидуальной изменчивости радиоустойчивости семян ивы пятитычинковой.

Итак, опыты показали, что облучение семян оказывает неоди-

наковое влияние на проявление различных морфологических признаков у проростков ивы пятитычинковой. Рассмотрим вначале действие гамма-квантов ^{60}Co на те морфогенетические процессы, которые непосредственно связаны с прорастанием семян. У семян ив прорастание начинается с вытягивания гипокотиля и появления сложенных вместе двух семядолей (I, 5). Затем у большинства проростков раскрываются семядоли, после чего появляется корешок; у остальных – эти этапы морфогенеза проходят одновременно или сначала появляется корешок, а затем раскрываются семядоли. Отметим, что одни исследователи при определении всхожести семян ивы учитывают и лежащие на субстрате и вертикально стоящие проростки (2), другие – только последние (5). Мы к проросшим семенам относили те, которые дали вертикально стоящий или лежащий на субстрате проросток с вытянутым гипокотилем, имеющим венчик из волосков, с морфологически четко различимыми семядолями, с корнем или без него. Такой подход обусловлен тем, что у части проростков, появляющихся из облученных семян и не принимающих вертикальное положение, позднее образуются корень и листья.

Действие предпосевного гамма-облучения на семена проявляется в течение первых трех–пяти дней после посева в задержке их прорастания, возрастающей с увеличением дозы облучения. Поэтому такой критерий, как энергия прорастания, является довольно чувствительным, в отличие от абсолютной всхожести, которая у подопытных партий семян даже при дозах облучения 200 и 250 Гр составила около 90%. Переход проростков к следующему этапу морфогенеза – раскрытию семядолей – позволяет молодым растениям, не имеющим значительных запасов питательных веществ (у семян ивы отсутствует эндосперм), существенно увеличить свою фу-

тосинтезирующую поверхность и усилить обеспечение всех органообразовательных процессов ассимилятами. Наблюдения показали, что почти у всех проростков в условиях лабораторного опыта семядоли развертываются. Но гамма-облучение семян может задержать развертывание семядолей, причем такая задержка достигала восьми и более суток. Влияние облучения на темпы развертывания семядолей удобно оценивать по доле (проценту) проростков с развернутыми семядолями через 5 суток после посева семян.

Относительно высокая радиоустойчивость прорастания семян и раскрытия семядолей обусловлена тем, что, видимо, эти этапы онтогенеза у растений ивы совершаются за счет растяжения клеток зародыша, которое является процессом высокорадиоустойчивым (3, 4). Наблюдающаяся временная задержка прорастания семян и раскрытия семядолей, вызываемая некоторыми дозами гамма-облучения, указывает на то, что какие-то структуры в клетках зародыша, ответственные за начальные этапы, предшествующие прорастанию семян и раскрытию семядолей, поражаются при облучении, и требуется то или иное время для восстановления механизмов запуска обоих морфогенетических процессов.

Важный этап в морфогенезе проростков ивы - появление корня. У проростков, развившихся из необлученных семян и из семян, облученных в относительно небольших дозах, появление корня обусловлено не только растяжением клеток зародышевого корешка но, видимо, и делением их, на что указывают форма и линейные размеры появившихся корешков. У большинства проростков появившихся из семян, облученных в дозах 200 и 250 Гр, деление клеток апикальных меристем полностью заторможено. Поэтому у этих проростков корешок, как правило, имеет вид небольшого выпячивания, размеры которого не увеличиваются даже к 35-му

дно опыта. Указанные дозы облучения семян тормозили и ветвление корней в тех случаях, когда они образовались.

Следующий этап на пути превращения проростка в сеянец – образование верхушечного побега, который у ивы начинается с появления листа (рост стебля в высоту становится заметным позднее). Очевидно, что образование листьев и рост стебля связаны с делением клеток и в значительной степени отражают состояние клеток эпикотиля проростка. Вызванная облучением потеря клетками меристемы способности делиться обуславливает невозможность прохождения проростками следующих этапов онтогенеза и приводит к гибели растений в фазе семядолей. Гибель в фазе семядолей проростков, развившихся из сильно облученных семян, наблюдалась и у других видов растений (4).

Таким образом, определение радиоустойчивости семян ивы только по всхожести может привести к завышенным величинам полулетальных и летальных доз гамма-облучения. Более правильное представление о радиоустойчивости видов ивы даст, по нашему мнению, оценка ее не только по прорастанию семян, но и по критериям, которые характеризуют корнеобразование и формирование побега у проростков. По степени возрастания радиационно-индущированного угнетения морфогенетические процессы у ивы пятитычинковой можно расположить в следующий ряд: прорастание семян – раскрытие семядолей – рост зародышевого корешка – образование листьев – рост стебля в высоту.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что предпосевное облучение гамма-квантами ^{60}Co воздушно-сухих семян ивы пятитычинковой в интервале доз 50–250 Гр при мощности дозы 77,1 сГр/с оказывает разной степени тормозящее действие на прорастание семян, на раскрытие се-

мядолей, на корне- и листообразование и на рост стебля у проростков.

2. Гамма-облучение семян ивы пятитычинковой в меньшей степени влияет на морфогенетические процессы, обусловленные преимущественно растяжением клеток зародышевых органов (прорастание семян, раскрытие семядолей у проростков), чем на процессы, проявление которых связано прежде всего с пролиферативной активностью меристем (образование корней, листьев и стебля).

3. Для оценки радиационного воздействия на семена ивы пятитычинковой в лабораторных опытах может быть использован комплекс показателей: энергия прорастания (всходесть через трое суток после посева), абсолютная всходесть, процент растений с раскрытыми семядолями через 5 суток после посева, процент растений с корнем, с листьями, со стеблем, а также длина корней. Вне комплекса показателей абсолютная всходесть не может служить надежным критерием радиоустойчивости, т.к. она не коррелирует с жизнеспособностью появившихся растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буч Т.Г. Сравнительное исследование биологических особенностей семян мать-и-мачехи, тополя и ивы. Бюлл. Главного ботан. сада, М., 1961, вып. 41, изд. АН СССР, с. 66-73.
2. Горобец А.М. Экспериментально-экологическое изучение прорастания семян. I. Прорастание семян ивы. Докл. высш. школы, биолог. науки, 1979, № 9, с. 59-64.
3. Дэвидсон Д. Защита и восстановление при воздействии ионизирующего излучения. Механизмы, действующие в семенах и корнях растений. В кн.: Радиационная защита и восстановление. М., 1964, Атомиздат, с. 182-221.
4. Иванов В.И. Радиобиология и генетика арабидопсиса. М.,

Проблемы космической биологии, т.27, "Наука", 1974,
с.192.

5. Попцов А.В., Буч Т.Г. О факторах, способствующих сохранению всхожести семенами ивы. Докл.АН СССР, 1952, т.83, №3, с.489-492.
6. Правдин Л.Ф. Ива, ее культура и использование. М., 1952, изд.АН СССР, с.168.
7. Старова Н.В. Селекция ивовых. М., "Лесная промышленность", с.207.
8. Йшков П.И., Тарчевская С.В. Ионизирующая радиация и основные лесообразующие породы Урала. В сб. "Леса Урала и хозяйство в них", вып.2, Свердловск, 1968, с.75-77.
9. Йшков П.И., Шабуров В.И., Чуева Т.А. Радиоустойчивость семян и черенков некоторых видов ив. В кн.: Вторая Все-союзная конференция по сельскохозяйственной радиологии. Тезисы докладов, т.1, Обнинск, 1984, с.138-139.

П.И. ІШКОВ, Т.А. ЧУЕВА

ИЗМЕНЕНИЕ РАДИОУСТОЙЧИВОСТИ СЕМЯН *Salix pentandra L.*
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИХ НАМАЧИВАНИЯ

Известно, что чувствительность к действию ионизирующих излучений у семян разных видов растений возрастает при переходе их из покоящегося состояния к прорастанию. При этом изменение радиоустойчивости семян зависит от сроков и условий намачивания (I-8). Вместе с тем временные параметры прохождения семенами отдельных этапов подготовки к прорастанию зависят от длительности периода от начала намачивания семян до их прорастания, которая у разных видов растений может существенно различаться. Поэтому важную в радиоэкологическом отношении характеристику изменения радиочувствительности в период прорастания семян для того или иного вида растений можно получить только экспериментальным путем. К настоящему времени данные, характеризующие сравнительную радиоустойчивость покоящихся, набухающих и набухших семян, получены для небольшого числа видов дикорастущих растений. Из дикорастущих древесных растений большой интерес для изучения изменения радиоустойчивости семян на разных этапах их набухания и прорастания представляют виды ивы, отличающиеся длительностью перехода семян от покоящегося состояния к прорастанию.

В настоящей работе приводятся результаты опытов по изучению сравнительной радиоустойчивости воздушно-сухих и набухших семян ивы пятитычинковой.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Свежие семена ивы пятитычинковой в воздушно-сухом состоянии (влажность 8%), а также через 24 и 46 часов после начала намачивания

чивания, облучали гамма-квантами ^{60}Co на установке типа "Исследователь" в дозах 100, 150 и 200 Гр при мощности дозы 84,4 сГр/с. Контролем служили необлученные семена. Для намачивания семена помещали в мешочки из капронового газа, которые погружали в стаканы с дистиллированной водой на 24 или 46 часов. Температура и освещение во время намачивания были такими же, что и при прорацивании семян.

Для прорацивания семена высевали в чашки Петри на влажную вату, накрытую бумажными фильтрами. После посева чашки помещали в специальную комнату, где они находились на рассеянном свете при дополнительном люминесцентном освещении (общая освещенность 3500 лк) и при температуре воздуха днем 27-29 $^{\circ}\text{C}$ и 10-20 $^{\circ}\text{C}$ ночью.

Радиоустойчивость семян оценивали по всхожести и числу 35-дневных растений с корнями или листьями. Характеристика этих критериев радиоустойчивости дана в (8). На рисунках приведены средние арифметические с доверительными интервалами при $P=0,95$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис.1 видно, что облучение воздушно-сухих семян в дозах 100, 150 и 200 Гр не влияло на их всхожесть. При облучении семян в дозах 150 и 200 Гр после 24- и 46-часового их намачивания наблюдалось снижение всхожести, однако оказавшееся статистически недостоверным.

Важным показателем степени радиационного поражения семян является торможение появления корней и первых листьев у проростков. На рис.2 видно, что облучение воздушно-сухих семян ивы пятитычинковой в дозах 100, 150 и 200 Гр не оказывает существенного влияния на образование корней у растений. Облуче-

ние набухших семян в дозах 150 и 200 Гр угнетало рост зародышевого корня и снизило к концу опыта число растений с корнем на 55–85% по сравнению с контролем. При этом угнетение корнеобразования у проростков не зависело от длительности намачивания семян перед облучением. К концу опыта у 85% контрольных растений появилось по одному–два листочка (рис.3). Гамма-облучение семян сильно тормозило появление листьев у молодых растений. Так, достоверное снижение (на 18%) числа 35-дневных растений с листьями наблюдалось в варианте с облучением воздушно-сухих семян в дозе 200 Гр. Облучение семян во всем избранном в опытах диапазоне доз через 24 и 46 часов после начала намачивания сильно тормозило появление листьев у растений. При этом эффект не зависел от длительности предрадиационного намачивания семян. Даже доза 100 Гр снизила число растений с листьями на 46–50% по сравнению с контролем, а при дозах облучения 150 и 200 Гр листья появились у единичных растений. Листья у таких растений имели сильно редуцированную и деформированную пластинку.

Результаты опытов показали, что у ивы пятитычинковой, как и у других видов растений, радиочувствительность набухших семян выше, чем радиочувствительность воздушно-сухих семян. Однако различия в физиологическом состоянии семян в момент облучения в разной степени отражаются на величине показателей, использованных для оценки радиобиологического эффекта. Оказалось, что облучение воздушно-сухих семян в дозах 100, 150 и 200 Гр не влияло на всхожесть и на образование корней у 35-дневных растений ивы, а образование листьев лишь несколько подавлялось при дозе облучения 200 Гр. Из приведенных выше данных видно, что при облучении набухших семян образова-

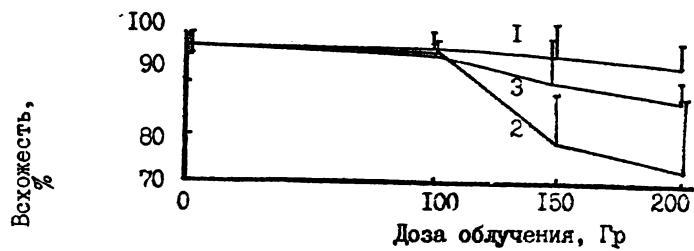


Рис.1. Зависимость всхожести семян ивы пятитычинковой от дозы гамма-облучения и сроков предрадиационного намачивания. 1-воздушно-сухие семена; 2-24 часа намачивания; 3-46 час. намачивания.

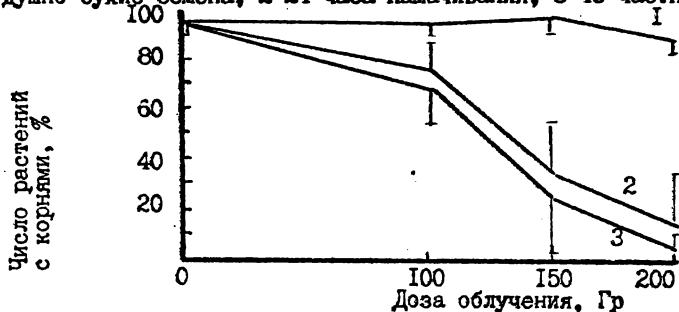


Рис.2. Зависимость корнеобразования у 35-дневных проростков ивы пятитычинковой от дозы гамма-облучения и длительности предрадиационного намачивания семян. Обозначения те же, что на рис.1.

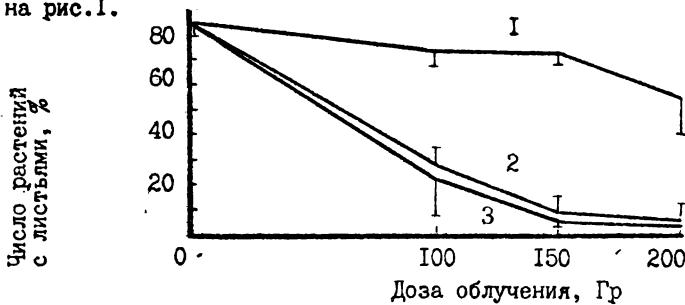


Рис.3. Зависимость листообразования у 35-дневных проростков ивы пятитычинковой от дозы гамма-облучения и длительности предрадиационного намачивания семян. Обозначения те же, что на рис.1.

ние корней и листьев у проростков ивы угнеталось сильнее, чем процесс прорастания. При этом снижение угнетающего действия облучения в дозах 150 и 200 Гр через 46 часов намачивания по сравнению с облучением через 24 часа намачивания на прорастание семян связан с тем, что у большинства семян в первом случае к моменту облучения началось вытягивание гипокотиля. Вероятно, наиболее чувствительными в прорастании ивы пятитычинковой к действию ионизирующих излучений являются процессы, предшествующие началу растяжения клеток гипокотиля, а растяжение клеток – процесс относительно радиоустойчивый (3).

Более сильное подавление при облучении набухших семян ивы таких морфогенетических процессов, как образование корня и листьев у проростков, чем прорастания семян, связан с тем, что появление корней и листьев у проростков в значительной степени определяется пролиферативной активностью верхушечных меристем зародыша, клетки которых при набухании семян переходят в более чувствительную к действию ионизирующих излучений фазу клеточного цикла.

Отсутствие достоверной зависимости числа растений с корнями и листьями от сроков намачивания семян перед облучением указывает на то, что клетки стеблевой и корневой меристем у зародышей семян ивы во время облучения возможно находились в фазах клеточного цикла со сходной радиоустойчивостью.

Специальные долгосрочные опыты показали, что проростки ивы пятитычинковой, развившиеся из облученных семян, в конечном счете оказываются нежизнеспособными, если у них в условиях прорастания, близких к оптимальным, в течение первого месяца жизни не образовались корни и листья или появившиеся листья имели уродливую форму.

ВЫВОДЫ

1. Облучение гамма-квантами ^{60}Co в дозах 100, 150 и 200 Гр при мощности дозы 84,4 сГр/с семян ивы пятитычинковой в воздушно-сухом состоянии или после 24-часового намачивания не влияло на их лабораторную всхожесть. Облучение в дозах 150 и 200 Гр семян после 46-часового намачивания (за два часа до начала прорастания) снижало лабораторную всхожесть на 20-25%.

2. Облучение воздушно-сухих семян ивы в дозах 100, 150 и 200 Гр не влияло на появление у проростков корней и листьев, а облучение в этих же дозах после 24- и 46-часового намачивания вызвало сильное торможение корне- и листообразования у проростков. Почти все растения, появившиеся из семян, облученных в набухшем состоянии в дозе 200 Гр к 30-му дню опыта не имели корней и листьев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альшиц Л.К. О характере изменения радиочувствительности семян в процессе их набухания и прорастания. Тр. Института экологии растений и животных УНЦ АН СССР, Свердловск, 1975, вып. 95, с. 82-89.
2. Бреславец Л.П. Растение и лучи Рентгена. М.-Л., 1946, изд. АН СССР, с. 196.
3. Дэвидсон Д. Защита и восстановление при воздействии ионизирующего излучения. Механизмы, действующие в семенах и корнях растений. В. кн.: Радиационная защита и восстановление. И., Атомиздат, 1964, с. 162-221.
4. Иванов В.И. Радиобиология и генетика арабидопсиса. Проблемы космической биологии, т. 27, М., "Наука", 1974, с. 192.
5. Порядкова Н.А. Кривые время - эффект при облучении покоящихся семян разной влажности. Радиобиология, 1964, т. 4,

вып. I, с.67-72.

6. Сидоров В.В. Изменение радиочувствительности семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в зависимости от продолжительности замачивания. Тр. Института экологии растений и животных УНЦ АН СССР, Свердловск, 1975, вып. 95, с.75-81.
7. Энгель О.С. Изменение чувствительности семян пшеницы к облучению в зависимости от продолжительности набухания: Докл. АН СССР, 1952, т.85, № I, с.229-236.
8. Йшков П.И. Влияние гамма-облучения семян на их прорастание и морфогенез проростков. В настоящем препринте, с.48-60.
9. Йшков П.И., Тарчевская С.В. Влияние температуры проращивания на всхожесть семян сосны, облученных в различном физиологическом состоянии гамма-лучами. В кн.: Радиоустойчивость семян растений и ее изменчивость. Свердловск, 1980, с.35-45.

В.И.ШАБУРОВ, П.И.ШКОВ

ВЛИЯНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА УКОРЕНЯЕМОСТЬ ЧЕРЕНКОВ
И РОСТ МОЛОДЫХ РАСТЕНИЙ ИВЫ ШЕРСТИСТОПОБЕГОВОЙ

В селекции древесных растений, особенно плодовых, широко используется обработка черенков мутагенами с целью получения перспективных хозяйствственно-ценных форм. При этом по практическим результатам воздействие на древесные растения ионизирующими излучениями более эффективно, чем воздействие химическими мутагенами (3, 4). Однако исследований, посвященных изучению действия ионизирующих излучений на черенки лесных древесных растений, в том числе и на черенки ив, мало (5, 6).

Цель настоящей работы - изучение действия гамма-облучения покоящихся черенков ивы шерстистопобеговой на их укореняемость и на рост в высоту молодых растений.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Для облучения были взяты черенки в покоящемся состоянии с однолетних побегов быстрорастущего мужского клона ивы шерстистопобеговой (*Salix dasyclados* Wimm.), обнаруженного В.И.Шабуровым в 1975 г. в пойме р.Тобол близ ее устья (Тюменская область) и затем размноженного в Ботаническом саду Уральского научного центра АН СССР в г.Свердловске. В начале мая черенки длиной 20 см, хранившиеся до начала опыта в холодильнике при температуре - 2⁰С, облучали гамма-квантами ¹³⁷С на установке типа "ИГУР-1" в дозах 5, 10, 15, 25, 50, 100, 150 и 200 Гр при мощности дозы 1,5 сГр/с. Контролем служили необлученные черенки.

После облучения черенки были высажены в грунт на открытом участке с однородным агрофоном. В каждом варианте было высажено

жено по 30 черенков. У каждого черенка при посадке оставляли на поверхности по одной почке. Полив проводили регулярно. Осенью в год посадки после опадения листьев учитывали число укоренившихся черенков и измеряли высоту образовавшихся растений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты опыта представлены в таблице. Видно, что контрольные черенки имеют высокую укореняемость (96,7%) и что дозы облучения 5 и 10 Гр не влияют на величину этого показателя. При дозе облучения 15 Гр число укоренившихся черенков снизилось до 73,3%, а при дозе 25 Гр оно почти вдвое меньше, чем в контроле. Дозы 50 Гр и выше оказались для черенков летальными.

Таблица

Влияние гамма-облучения черенков ивы шерстистопобеговой на их укореняемость и рост побегов возобновления

Показатель	Доза облучения, Гр					
	0	5	10	15	25	50-200
Число укоренившихся черенков, %	96,7	93,3	96,7	73,3	50,0	0
Высота побегов возобновления, см, $\bar{m} \pm m$	$65,3 \pm 3,40$	$71,3 \pm 5,26$	$68,3 \pm 4,09$	$53,9 \pm 4,24$	$32,6 \pm 4,89$	-
Коэффициент вариаций, %	28,0	39,0	32,3	36,9	58,1	-

Можно также заметить, что средняя высота растений, которые развились из черенков, облученных в дозе 5 Гр, на 9% больше, чем в контроле, но различие это статистически недостоверно. Стволики растений, появившихся из черенков, облученных в дозах 15 и 25 Гр, в среднем короче стволиков расте-

ний контрольного варианта.

Уровень изменчивости высоты молодых растений ивы в контроле по шкале С.А.Мамаева (I) относится к высокому рангу. При дозах облучения 5-15 Гр коэффициент вариации был близок к таковому у контрольных растений, а при дозе облучения 25 Гр он превышал последний в два раза. Высокий уровень изменчивости роста в высоту у молодых растений ивы в опыте в значительной степени обусловлен тем, что черенки брались, хотя и от одноклоновых растений, но из разных по положению частей побега. Л.Ф.Правдин (2) показал, что наиболее сильным ростом обладают растения, развивающиеся из черенков, полученных из основания побега, а растения, развивающиеся из верхушечной части побега, имеют более слабый рост. Очевидно, что облучение черенков в дозе 25 Гр усилило изменчивость побегов возобновления по их росту в высоту.

Следует также отметить, что в контроле при средней длине стволиков 65,3 см у 10,3% растений высота составляла 90 см и выше. В вариантах опыта с облучением в дозах 5 и 10 Гр у 25 и 20% растений соответственно высота равнялась или превышала 90 см. Высота самых крупных растений, развившихся из черенков, облученных в дозах 15 и 20 Гр, не превышала соответственно 85 и 63 см.

Таким образом, опыты показали относительно высокую чувствительность покоящихся однолетних побегов ивы шерстистопобеговой к острому гамма-облучению. Для массовых облучений черенков с целью получения мутантных форм у этого вида ивы могут быть использованы дозы в интервале от 10 до 25 Гр. Разумеется, диапазон используемых в этих целях доз гамма-облучения зависит как от условий облучения, так и от физиологического состояния

облучаемых черенков.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что для покоящихся однолетних мужских черенков ивы шерстистопобеговой полулетальная доза гамма-облучения составила 25 Гр, минимальная летальная доза - 50 Гр.

2. Показано, что облучение черенков в дозах 15 и 25 Гр снижали рост молодых растений в высоту соответственно на 18 и 50%.

3. Для селекционных целей могут быть использованы дозы гамма-облучения покоящихся черенков ивы шерстистопобеговой в интервале доз от 10 до 25 Гр.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М., "Наука", 1972, с.284.
2. Правдин Л.Ф. Ива, ее культура и использование. М., изд. АН СССР, 1952, с.168.
3. Равкин А.С. Методические указания по использованию мутагенных факторов в селекции вегетативно размножаемых растений. М., 1979, с.75.
4. Равкин А.С. Действие ионизирующих излучений и химических мутагенов на вегетативно размножаемые растения. М., "Наука", 1981, с.192.
5. Сукачев В.Н. Из работ по селекции ивы. В сб.: Селекция и интродукция быстрорастущих древесных пород. Т. I., Гослестехиздат, 1934, с.51-85.
6. Щиков П.И., Шабуров В.И., Чуева Т.А. Радиоустойчивость семян и черенков некоторых видов ив. В кн.: Вторая Всесоюзная конференция по сельскохозяйственной радиологии. Тезисы докл. Т.1, Обнинск, 1984, с.138-139.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Альшиц Л.К., Кулаков Н.В. Влияние влажности и малых доз гамма-лучей на цитогенетический эффект облучения семян гороха посевного в процессе онтогенеза.	3-II
2. Журавская А.Н., Позолотина В.Н. Реакция на предпосевное гамма-облучение у растений тагетеса в P и P_1 поколениях.	12-22
3. Позолотина В.Н. Влияние облучения на морфогенез сеянцев двух разнопloidных видов березы.	23-33
4. Просозова О.А. Зависимость лучевого поражения семян сосны обыкновенной от условий пострадиационного хранения.	34-47
5. Шков П.И. Влияние гамма-облучения семян <i>Salix pentandra</i> L. на их прорастание и морфогенез проростков.	48-60
6. Шков П.И., Чуева Т.А. Изменение радиочувствительности семян <i>Salix pentandra</i> L. в зависимости от длительности их намачивания.	61-67
7. Шабуров В.И., Шков П.И. Влияние гамма-облучения на укореняемость черенков и рост молодых растений ивы шерстистопобеговой.	68-71

ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА РАСТЕНИЯ

Препринт

*Рекомендовано к изданию Ученым советом
Института экологии растений и животных
и РИСО УНЦ АН СССР*

Ответственный за выпуск — В. Н. Позолотина

РИСО УНЦ АН СССР. Подписано к печати 8.10.85. НС 23438
Усл.-печ. л. 4,75. Уч.-изд. л. 3. Формат 60×84¹/₁₆
Тираж 200 экз. Цена 30 коп. Заказ 2454

РИСО УНЦ АН СССР, Свердловск, ГСП — 169, Первомайская, 91.
Цех № 1 п/о «Полиграфист», Свердловск, Тургенева, 20.