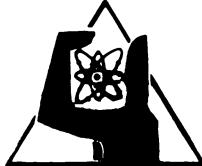


# НАУЧНЫЕ ДОКЛАДЫ



АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
институт экологии растений и животных

## РАДИОУСТОЙЧИВОСТЬ СЕМЯН РАСТЕНИЙ И ЕЕ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

СВЕРДЛОВСК, 1980

Академия наук СССР  
Уральский научный центр

---

Институт экологии растений и животных

Препринт

РАДИОУСТОЙЧИВОСТЬ СЕМЯН РАСТЕНИЙ  
И ЕЕ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Свердловск, 1980

УДК 577.391 : 634.94

Радиоустойчивость семян растений и ее изменчивость. Препринт. Свердловск, 1980. УНЦ АН СССР.

Рассматриваются вопросы модификации лучевого эффекта в семенах сосны и двух видов бересклета. Большое внимание уделено влиянию условий хранения облученных семян растений на их посевные свойства. Приведены оригинальные данные по изменению радиоустойчивости семян бересклета из насаждений, расположенных в районах, подвергавшихся воздействию промышленных загрязнений.

Препринт представляет интерес для широкого круга специалистов в соответствующих областях радиобиологии, экологии, биогеоценологии, лесоведения, радиационной гигиени.

Ответственный редактор  
Н.В. КУЛИКОВ

---

(C) УНЦ АН СССР, 1980

В.Н.ПОЗОЛОТИНА

## ВЛИЯНИЕ ПОСТРАДИАЦИОННОГО ХРАНЕНИЯ НА ЖИЗНеспособность СЕМЯН ДВУХ РАЗНОПЛОИДНЫХ ВИДОВ БЕРЕЗЫ

Изменение радиобиологического эффекта в процессе хранения облученных семян изучается давно ( Iven, 1925 ). Экспериментальные данные по этому вопросу противоречивы: в одних опытах показано отсутствие каких-либо изменений при хранении облученных семян (Афанасьева, 1936), в других установлено влияние на радиочувствительность различных условий во время хранения ( Adams, Nilan, 1958; Caldecott, 1958; Невзгодина, Папьян, 1969; Сизова, 1976). В литературе нет данных о влиянии пострадиационного хранения на жизнеспособность семян березы. Между тем, изучение эффекта хранения у двух разнопloidных видов березы, различающихся между собой по ряду признаков, может способствовать выяснению механизмов этого явления.

Ранее нам было показано, что береза пушистая и береза бородавчатая не различаются существенно по реакции на облучение (Киселева, Щков, 1977; 1978). В настоящей работе представлены данные по изучению эффекта хранения облученных семян диплоидной березы бородавчатой и тетрапloidной березы пушистой в условиях нескольких температурных режимов.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В опыте использовали семена березы бородавчатой и березы пушистой (*Betula verrucosa* Ehrh. *B. pubescens* Ehrh.), собранные отдельно с трех хорошо плодоносящих деревьев каждого вида из средней части кроны, равномерно со всех сторон. Деревья каждого вида произрастали в разных, пространственно-изолированных участках березняка-черничника, на каждом из ко-

торых доминировал один вид березы.

Воздушно-сухие семена обоих видов облучали с помощью гамма-источника  $^{137}\text{Cs}$  мощностью 144,3<sup>3</sup> р/мин., в трех дозах: 10, 20, 40 крад. Температура в момент облучения 20<sup>0</sup>С. После облучения часть необлученных и облученных семян высевали сразу, а остальные семена хранили в герметически запаянных пакетах в темноте при температуре -15<sup>0</sup>, +5<sup>0</sup>, +25<sup>0</sup> в течение двух месяцев. Для прорашивания семена выкладывали по 100 штук на влажную фильтровальную бумагу в чашки Петри. Прорашивание проводили при естественном освещении и температуре 20-25<sup>0</sup>.

Семена с разных деревьев исследовали в опыте отдельно, но поскольку полученные результаты сходны для всех деревьев одного вида, в дальнейшем приводятся усредненные данные. Критериями радиобиологического эффекта служили всхожесть семян, выживаемость сеянцев и число растений с настоящими листьями через один месяц с начала прорашивания. Опыт ставили в трех повторностях.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде чем анализировать эффект пострадиационного хранения, рассмотрим воздействие хранения на необлученные семена. У березы бородавчатой хранение необлученных семян не влияет на их всхожесть (рис. Ia). Наблюдаемые различия статистически недостоверны, критерий Стьюдента равен 1,9. У березы пушистой всхожесть необлученных семян, хранившихся при температуре +25<sup>0</sup>, достоверно ниже, чем в варианте без хранения; критерий Стьюдента равен 6,5 (рис. Ib).

Хранение облученных семян в разных температурных условиях у обоих видов березы существенно изменило характер дозовой зависимости (рис. I). Всхожесть облученных семян после хранения

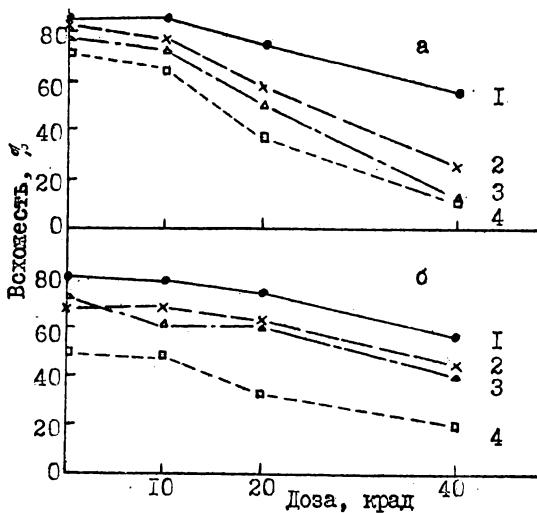


Рис. I. Влияние пострадиационного хранения при разных температурах на всхожесть семян береск бородавчатой (а) и береск пушистой (б); I - без хранения, 2 - хранение при  $-15^{\circ}$ , 3 - хранение при  $+5^{\circ}$ , 4 - хранение при  $+25^{\circ}$ .

значительно ниже, чем до хранения, причем наблюдается корреляция между снижением всхожести в процессе хранения и дозой, в которой были облучены семена.

Температура во время хранения оказала существенное влияние на проявление радиационного эффекта, наибольшее снижение всхожести отмечено при температуре хранения  $+25^{\circ}$ . Дисперсионный анализ подтвердил значимость эффекта хранения и его зависимость от температуры ( $F = 15,1$  для береск бородавчатой,  $F = 10,6$  для береск пушистой, при  $F_{\text{табл}} = 7,0$ ), а также зависимость всхожести семян от дозы облучения у обоих видов береск.

Известно, что часть сеянцев из облученных семян и в меньшей степени из необлученных семян в процессе развития отмирает

(Schultz, 1957; Киселева, Юшков, 1977). В связи с этим было интересно проследить, сохраняются ли установленные по всхожести семян закономерности на более позднем этапе развития.

Интенсивность гибели сеянцев у обоих видов березы тем больше, чем выше дозы облучения семян (рис. 2а, б). Отрицательное действие пострадиационного хранения семян оказывается и на выживаемости сеянцев. У обоих видов березы выживаемость однолетичных сеянцев из облученных семян в вариантах с хранением достоверно ниже, чем в вариантах без хранения.

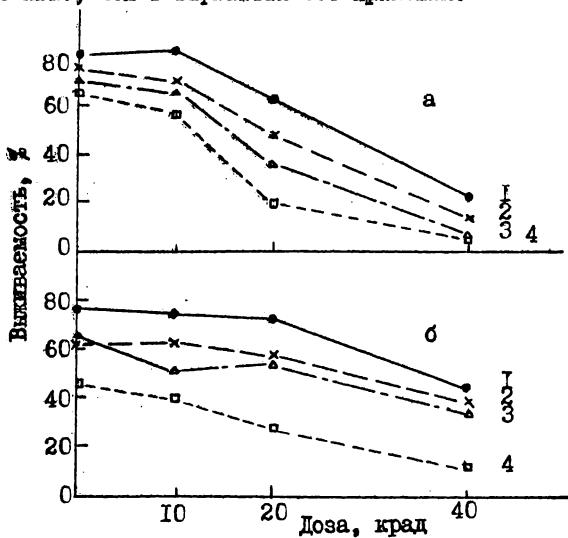


Рис. 2. Влияние пострадиационного хранения семян на выживаемость сеянцев бересклета бородавчатой (а) и бересклета пушистого (б); 1 - без хранения, 2 - хранение при  $-15^{\circ}$ , 3 - хранение при  $+5^{\circ}$ , 4 - хранение при  $+25^{\circ}$ .

Представляет интерес сравнение эффекта хранения у двух разнопloidных видов бересклета. Так как абсолютные значения всхожести у этих видов несколько различны, то для более четкого

выявления именно реакции на облучение данные трансформировали в относительные величины (% к контролю). Достоверных различий между видами в варианте без хранения не обнаружено (рис. 3а), что подтверждается результатами дисперсионного анализа.

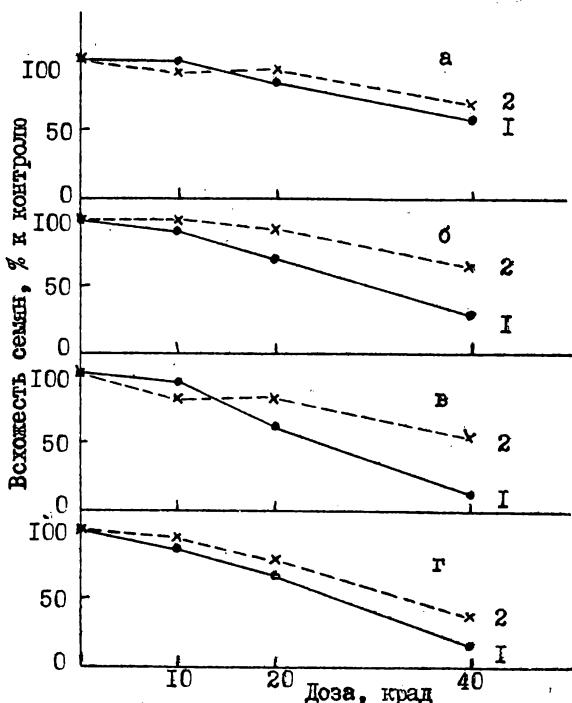


Рис. 3. Дозовая зависимость всхожести семян бересклета бородавчатой (1) и бересклета пушистого (2) при разных температурах хранения семян; а) без хранения, б) хранение при  $-15^{\circ}\text{C}$ , в) хранение при  $+5^{\circ}\text{C}$ , г) хранение при  $+25^{\circ}\text{C}$ .

Хранение облученных семян при температурах  $-15^{\circ}\text{C}$  и  $+5^{\circ}\text{C}$  усиливает угнетающее действие радиации у диплоидного вида бересклета бородавчатой в большей степени, чем у тетрапloidного

вида березы пушистой (рис. 3б, в). Дисперсионный анализ подтверждает достоверность различий между видами в этих вариантах опыта (соответственно  $F = 7,7$  и  $F = 5,9$ , при  $F_{\text{табл}} = 4,49$ ). В варианте с хранением облученных семян при температуре  $+25^{\circ}$  (рис. 3г) статистически достоверных различий между видами не наблюдается.

Сравнить эффект хранения у этих двух видов по критерию выживаемости сеянцев через месяц вегетации невозможно, так как береза бородавчатая проходит начальные стадии развития быстрее, чем береза пушистая, т.е. отпад сеянцев у березы бородавчайой в первый месяц идет интенсивней, чем у березы пушистой. Это обуславливает различия в выживаемости 30-дневных сеянцев, наблюдавшиеся у этих видов (Киселева, Щков, 1977). Поскольку этот фактор накладывается на эффект хранения и разделить их невозможно, сравнить эффект хранения у выбранных видов по критерию выживаемости 30-дневных сеянцев нельзя. Оценку производили с помощью показателя, имеющего прогностическое значение — "число растений с настоящими листьями". Анализ данных показал, что как в варианте без хранения (рис. 4а), так и в вариантах с хранением семян при всех выбранных температурах (рис. 4б, в, г) не обнаружено достоверных различий в дозовой зависимости между березой бородавчайой и березой пушистой по этому показателю.

Таким образом, анализ полученных результатов показал, что по окончании облучения повреждение в сухих семенах обоих видов березы продолжает развиваться, причем, этот процесс протекает более интенсивно при температуре  $+25^{\circ}$  и менее интенсивно при температуре  $-15^{\circ}$ .

Сравнение эффекта пострадиационного хранения у двух разно-

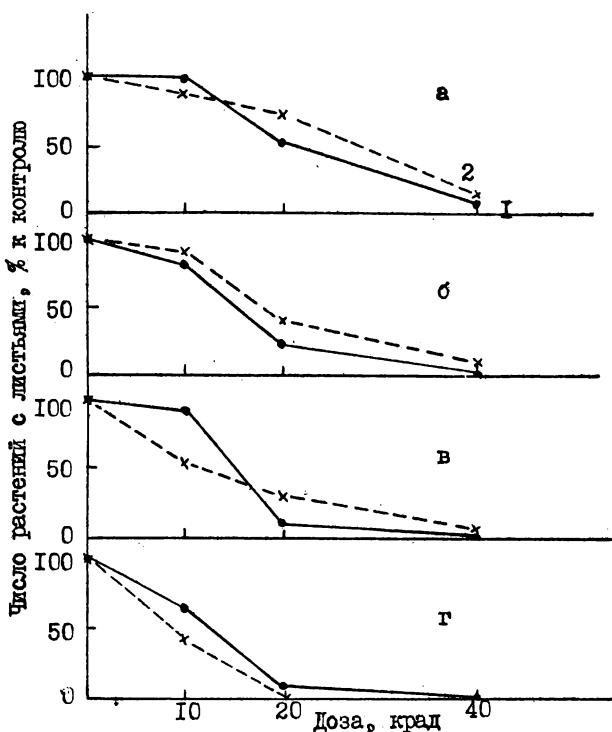


Рис. 4. Влияние пострадиационного хранения на число растений с листьями через месяц вегетации у березы бородавчатой (1) и березы пушистой (2); а) без хранения, б) хранение при  $-15^{\circ}$ , в) хранение при  $+5^{\circ}$ , г) хранение при  $+25^{\circ}$ .

плоидных видов березы показало, что различия в характере дозовой зависимости между ними проявились по критерию всхожести семян в вариантах с хранением при температурах  $-15^{\circ}$  и  $+5^{\circ}$ , причем, большее понижение всхожести отмечено у диплоидного вида, березы бородавчатой. На более поздней стадии развития, оцениваемой по числу растений с настоящими листьями через месяц вегетации, достоверных различий в дозовой зависимости у

этих видов не обнаружено ни в варианте без хранения, ни в варианте с хранением при разных температурах.

По литературным данным известно, что в сухих семенах после облучения образуются долгоживущие свободные радикалы, способные вызывать дополнительные повреждения (Невзодина, Папьян, 1969). Одновременно в облученных семенах могут протекать процессы физического восстановления, идущие без участия ферментов (Эйдус, 1977). В работах других авторов указывается, что облучение ускоряет процессы старения семян, которые протекают и в необлученных семенах (Васильев и др., 1960; Нечитайло, 1969). При изучении эффекта хранения на семенах сосны (Лаура, 1966), высказывается предположение, что нереализованные скрытые повреждения реализуются в пострадиационный период. По-видимому, все описанные процессы могут протекать в облученных семенах при хранении, но у разных видов и при разных условиях хранения будут преобладать те или иные из перечисленных выше процессов.

Температура во время хранения является сильным модифицирующим фактором. Во многих работах показано, что при повышенной температуре хранения поражение усиливается, а низкая температура способствует консервации эффекта на первоначальном уровне (Лаура, 1966; Шварников, 1963; Caldecott, 1961).

Для понимания процессов, происходящих в облученных семенах при хранении, представляют интерес эксперименты по изучению эффекта хранения у близкородственных видов и сортов с различной чувствительностью к действию радиации. Так, у радиоустойчивого кормового гороха число повреждений хромосом в процессе хранения не изменяется, а у радиочувствительного сорта "Капитал" процент хромосомных aberrаций после хранения облученных

семян возрастает (Хвостова, Невзодина, 1961). У хлорофильных мутантов подсолнечника, в отличие от нормальных растений, в процессе хранения наблюдалось увеличение числа хромосомных повреждений, что объясняется подавлением реакции восстановления у мутантов в результате общего нарушения метаболизма (Сизова, 1976).

Результаты нашего эксперимента свидетельствуют о развитии в облученных семенах обоих видов березы при хранении процессов, усиливающих первичное повреждение. Без пострадиационного хранения существенных различий в радиочувствительности семян диплоидной березы бородавчатой и тетраплоидной березы пушистой не обнаружено (Киселева, Щков, 1978). После хранения облученных семян при пониженной температуре наблюдалось превосходство по всхожести семян березы пушистой по сравнению с березой бородавчатой. Следовательно, радиационные процессы протекают у изучаемых разнопloidных видов березы неодинаково, но эти различия выявляются лишь при определенных условиях в пострадиационный период.

#### ВЫВОДЫ

1. Выявлен у березы пушистой и березы бородавчатой эффект пострадиационного хранения, который проявился в понижении всхожести семян и в усилении гибели сеянцев на последующем этапе развития.

2. Отмечена прямая корреляция эффекта хранения с дозой, в которой были облучены семена.

3. Установлена зависимость эффекта хранения от температуры во время хранения семян. Наибольшее повреждение отмечено при температуре хранения +25°, пониженная температура вызывает частичное торможение повреждающих процессов.

4. Обнаружены различия в проявлении эффекта хранения у двух разнопloidных видов березы, а именно: при температурах хранения  $-15^{\circ}$  и  $+5^{\circ}$  преимущество по всхожести семян имела береза пушистая, а через месяц вегетации различий в дозовой зависимости между видами по критерию "число растений с настоящими листьями" не обнаружено.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьева А.С. Сохранность действия рентгеновских лучей на пшеницу. - Бюлл.МОИП, отдел. биол., т.45, №6, 1936, 433-440.
2. Васильев И.М., Жуков Б.Г., Спасская Т.С. Усиление эффекта рентгеновского облучения семян при их хранении. - Биофизика, 1960, т.5, вып.5, 570-573.
3. Киселева В.Н., Йшков П.И. О сравнительной радиочувствительности семян березы пушистой и березы бородавчатой. - Радиобиология, 1977, т.17, вып.1, 133-136.
4. Киселева В.Н., Йшков П.И. Устойчивость к гамма-облучению двух видов березы с различной пloidностью. - В сб.: "Генетические аспекты проблемы "Человек и биосфера"" , Свердловск, 1978, II.
5. Ляура М.Г. Влияние условий хранения облученных семян сосны на цитологические нарушения в меристемных клетках. - Цитология, 1966, т.8, №4, 558-562.
6. Невзгодина Л.В., Папьян Н.И. Изменение радиобиологического эффекта при хранении воздушно-сухих семян, облученных протонами и гамма-лучами. - Радиобиология, 1969, т.9, вып.6, 888-891.
7. Нечитайло Г.С. Радиочувствительность и старение семян *Allium fistulosum* L. - Радиобиология, 1969, т.9, вып.5, 774-776.

8. Сизова Л.И. Влияние пострадиационного хранения семян на структурные мутации хромосом у хлорофильных мутантов подсолнечника. - Генетика, 1976, т.12, №1, 12-17.
9. Хвостова В.В., Невзодина Л.В. Цитологический анализ причин радиоустойчивости растений. - Радиобиология, 1961, т.1, вып.4, 611-618.
10. Шварников П.К. Влияние хранения при высокой температуре и при повышенном напряжении кислорода на мутагенный эффект гамма-лучей. - Цитология, 1963, т.5, 535-545.
11. Эйдус Л.Х. Неспецифические реакции клеток и радиочувствительность. М., Атомиздат, 1977.
12. Adams G.D., Nilan R.A. After-effect of ionizing radiation in barley. 2.Modification by storage of x-irradiated seeds in different concentration of oxygen. Radiation research, v.8, 2, 1958, 111-122.
13. Caldecott R.S. Post-irradiation modification of injury in barley. Its basis and applied significance. Proc.2, Int. conf. peaceful uses of atomic energy, 1958, 27, 260-269.
14. Caldecott R.S. Seedling height, oxygen availability, storage and temperature : their relation to radiation-induced genetic and seedling injury in barley. In "Effects ionizing radiation on seeds", Intern. atomic energy agency, Vienna, 1961, 3-24.
15. Iven H. Neuere untersuchungen über die Wirkung der Rontgenstrahlen auf Pflanzen. Strahlentherapie, B.19, H.3, 1925, 413-461.
16. Scholz E. Röntgenmutation bei der Birke. Der Züchter, 1957, 27, 56-60.

О.А.ПОРОЗОВА

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРА В ПОСТРАДИАЦИОННЫЙ ПЕРИОД  
НА РАЗВИТИЕ ЛУЧЕВОГО ПОРАЖЕНИЯ В СЕМЕНАХ СОСНЫ

В настоящее время известно, что реакция семян растений на воздействие редкоионизирующих излучений в значительной степени изменяется в зависимости от температуры среды в пострадиационный период. Изучению влияния температуры в период после облучения на скорость развития лучевого поражения в семенах посвящено достаточно много работ, выполненных, в основном, на семенах сельскохозяйственных культур ( Caldecott, 1961 ; Лаура, 1966; Лебедева и др., 1966; Усманов, 1966; Помогайбо, 1970; Гудков, 1973 и др.). Из этих работ следует, что при хранении облученных семян при отрицательной температуре радиационное поражение в них либо не проявляется совсем, либо в меньшей степени, чем при положительной температуре.

Защитное действие отрицательных температур в пострадиационный период на облученные семена некоторые авторы объясняют поведением долгоживущих свободных радикалов, являющихся производными короткоживущих свободных радикалов, образующихся в момент облучения ( Conger, 1959 ). При пониженной температуре скорость распада долгоживущих радикалов значительно снижается, и это хорошо коррелирует с уменьшением количества повреждений в облученных семенах.

По мнению Дубинина (1978), при пониженной температуре хранения у облученных семян уменьшается способность потенциальных изменений хромосом реализоваться в истинные мутации.

Однако, механизм действия отрицательных температур недостаточно изучен. Остается неясным, происходит ли в этих условиях

частичное восстановление поврежденных облучением структур, либо пониженная температура лишь замедляет во времени развитие радиационного поражения. Для выяснения этого вопроса и выполнена данная работа.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Воздушно-сухие семена сосны обыкновенной, имеющие всхожесть 70%, облучали от источника  $^{60}\text{Co}$  (мощность дозы 12 рад/мин) в дозах 1000 и 1500 рад при температуре 0 $^{\circ}\text{C}$ .

Было проведено две серии опытов. В первой серии одну часть облученных семян хранили при температуре 24 $^{\circ}\text{C}$ , вторую - при -12 $^{\circ}\text{C}$  в течение 1, 3, 7, 14 и 30 суток.. Во второй серии опытов семена, облученные в дозе 1500 рад и хранившиеся при отрицательной температуре в течение 1 и 7 суток, переносились в условия комнатной температуры сроком на 7 суток. Проращивание семян проводилось в термостате в чашках Петри на влажном песке при температуре 22-24 $^{\circ}\text{C}$ .

Критерием оценки радиационного поражения семян была их лабораторная всхожесть.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ

На рис. I показано изменение всхожести семян сосны в зависимости от дозы облучения, времени и температуры хранения. Из рисунка следует, что температурный фактор значительно изменяет скорость развития лучевого поражения в семенах. Семена, облученные в дозах 1000 и 1500 рад и хранившиеся при температуре 24 $^{\circ}\text{C}$ , уже в течение первых 7 суток хранения сильно снизили всхожесть. Так, при дозе облучения 1500 рад семена в процессе недельного хранения почти полностью утратили способность прорастать.

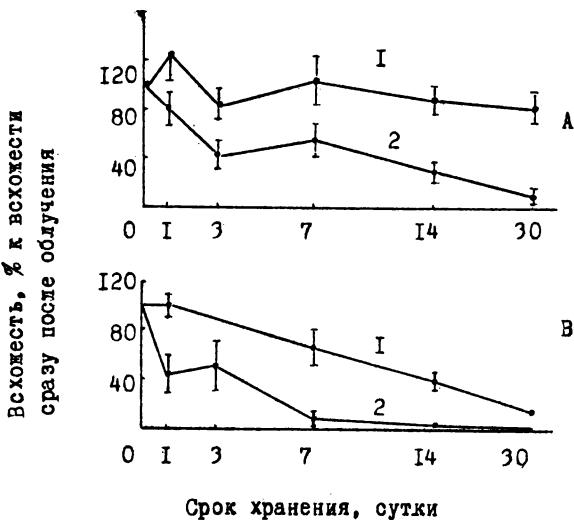


Рис. I. Влияние дозы облучения, сроков и температуры пострадиационного хранения на изменение всхожести у семян сосны.  
А - 1000 рад, В - 1500 рад, 1 -  $-12^{\circ}\text{C}$ , 2 -  $24^{\circ}\text{C}$ .

У семян, которые после облучения в дозе 1000 рад хранились при температуре  $-12^{\circ}\text{C}$ , всхожесть через 7 суток хранения была такой же, что и сразу после облучения, но через 30 суток она снизилась на 20%. Хранение семян, облученных в дозе 1500 рад, при этой же температуре привело к снижению всхожести через 7 суток на 34%, а через 30 суток - на 90% по отношению к всхожести, которую имели семена сразу после облучения.

Таким образом, отрицательная температура в период хранения препятствует быстрому снижению всхожести облученных семян и оказывает на них как бы защитное действие.

Как упоминалось выше, во второй серии опытов семена, облученные в дозе 1500 рад и хранившиеся в течение 1 и 7 суток при отрицательной температуре, переносились в условия комнатной температуры сроком на 7 суток для выявления наличия в них повреждений, вызванных облучением. Полученные данные приведены в таблице I.

Таблица I

Влияние хранения при постоянной и переменной температурах на развитие лучевого поражения в семенах сосны (в % от всхожести семян сразу после облучения)

Температура хранения	Срок хранения семян после облучения, сутки		
	0	1	7
-12°C	100	100±8,6	65±15,6
24°C		43±16,8	9±3,6
-12°C и 24°C		13±3,5	0

Как видно из таблицы, хранение облученных семян в течение 1 и 7 суток при отрицательной температуре не способствует ликвидации вызванных облучением повреждений. При перенесении семян из условий отрицательной температуры в условия положительной радиационное поражение в них развивается так же, как и в семенах, постоянно находившихся при комнатной температуре.

#### ВЫВОДЫ

I. Хранение семян сосны обыкновенной, облученных гамма-лучами  $^{60}\text{Co}$  в дозах 1000 и 1500 рад, при комнатной температуре вызывает сильное снижение их всхожести уже через 7 суток после облучения; при температуре -12°C развитие радиационного

поражения протекает значительно медленнее.

2. Хранение облученных семян при температуре  $-12^{\circ}\text{C}$  не уменьшает степени их повреждения от гамма-облучения, а лишь замедляет во времени проявление лучевого эффекта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дубинин Н.П. Потенциальные изменения в ДНК и мутации. М., "Наука", 1978.
2. Гудков И.Н. "К вопросу о механизме "эффекта хранения" в облученных семенах растений". - Радиобиология, 1973, I3, вып. I, I40-I45.
3. Лаура М.П. "Возможности модификации радиационного повреждения семян сосны". В кн.: "Модификация эффекта ионизирующей радиации у растений". Рига, "Зиннатне", 1971.
4. Лебедева Л.И., Ермолаев В.К., Керкис Ю.Я. "Эффект хранения облученных семян гороха при температуре  $-196^{\circ}$ ". - ДАН СССР 1966, т. I69, №6, I449-I45I.
5. Помогайбо В.М. "Влияние температуры хранения облученных семян на частоту хромосомных aberrаций". - Цитология и генетика, 1970, т. 4, №3, 275-277.
6. Усманов П.Д. "О влиянии температуры на судьбу лучевых повреждений хромосом гороха". - Генетика, 1966, 4, I05-II3.
7. Caldecott R.S. Seedling height, oxygen availability, storage and temperature: their relation tu radiation-induced genetic and seedling injury in barley. In "Effects ionizing radiation on seeds", Intern. atomic energy agency, Vienna, 1961, 3-24.
8. Conger A.D., Randolph M.Z. Magnetic centers ( free radicals) produced in cercal embryos. Rad. Res., 11, n. 1, 1959, 18.

ТАРЧЕВСКАЯ С.В., ЮЖКОВ П.И., КАШИРО Ю.П.

## ЗАВИСИМОСТЬ ВСХОЖЕСТИ СЕМЯН СОСНЫ ОТ УСЛОВИЙ ПОСТРАДИАЦИОННОГО ХРАНЕНИЯ

Изменение лучевого поражения растений при хранении облученных покоящихся семян (эффект хранения) в настоящее время является установленным феноменом. Как правило, эффект хранения проявляется в угнетении ростовых реакций растений и получен на многих видах с помощью таких критериев, как частота хромосомных aberrаций, всхожесть семян, частота мутаций, подавление роста растений и их выживаемость (Бреславец, 1946; Васильев и др., 1960; Иванов, 1974; Нуждин и др., 1964; Эренберг, 1956).

С другой стороны, имеются работы, в которых эффект хранения не установлен (Wolf, Sicard, 1961; Evans, 1961), либо его проявление оказывается на изменении одних критериев и не влияет на другие (Gustafson, 1937), либо, при изменении условий проведения эксперимента, получены противоположные результаты (Афанасьева, 1936).

Дальнейшие исследования показали, что противоречивость результатов, получаемых в радиобиологических экспериментах на семенах растений и изменчивость эффекта хранения объясняется зависимостью последнего от комплекса факторов. Для правильного планирования опытов и прогнозирования результатов в работах с облучением семян необходимы данные о степени влияния каждого из этих факторов и в их совокупности на конечный радиационный эффект. Возможность направленного воздействия на семена в период после облучения и модификации в нужном направлении лучевого поражения придает исследованием эффекта хранения теоретическую и практическую ценность.

Во всех цитируемых выше работах изучали эффект хранения у травянистых растений. Древесные растения в этом плане исследованы недостаточно.

Целью настоящей работы является изучение влияния дозы облучения, влажности покоящихся семян во время и после облучения, температуры и срока хранения на радиационный эффект у семян сосны обыкновенной.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исходным материалом в опыте служили семена сосны обыкновенной (*Pinus silvestris L.*) I-го класса (влажность 6,8%, всхожесть - 95%), собранные в Миасском лесхозе Челябинской области.

С помощью эксикаторов с серной кислотой различной концентрации производили отрегулирование уровня влажности в семенах до 2, 6 и II,4%, после чего, для сохранения заданной влажности в течение всего опыта, их хранили в герметически запаянных полиэтиленовых мешочках.

Семена разной влажности облучали на гамма-источнике  $^{60}\text{Co}$  в дозах I,0 и I,5 крад при мощности источника 14,5 р/мин и температуре в камере облучения +12 $^{\circ}\text{C}$ . Ввиду того, что для семян с влажностью 2% эти дозы оказались летальными, их в дальнейшем облучали в дозах 0,25 и 0,5 крад.

После облучения часть облученных и необлученных семян немедленно выкладывали в чашки Петри с влажным песком и прорачивали в растильне при температуре +24 $^{\circ}\text{C}$  (контроль). Оставшиеся семена хранили при температурах -I2, +I2 и +24 $^{\circ}\text{C}$ , прорачивая их через 1, 3, 7, 14, 21, 28 или 60 суток после облучения.

Опыт ставили в 5 повторностях, по 100 штук семян в каждой. Обработка первичных материалов выполнена на ЭВМ с использованием методов вариационной статистики и вычислительной матема-

тики (Вольф, 1966; Демидович, Марон, 1970; Митропольский, 1957). В качестве критерииев для оценки радиочувствительности семян использовали их лабораторную всхожесть.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТА

На рис. I приведены данные по изменению всхожести семян сосны в процессе их пострадиационного хранения при температурах  $-12^{\circ}$ ,  $+12^{\circ}$  и  $+24^{\circ}\text{C}$  (влажность семян в момент облучения и далее в течение опыта равна 2%). Как видно из рисунка, за время опыта всхожесть необлученных семян не изменяется. В вариантах с облучением семян в дозах 0,25 и 0,5 крад наблюдается снижение этого показателя при увеличении срока хранения, особенно в первые 7-14 дней; далее падение всхожести семян происходит с меньшей скоростью. С увеличением дозы облучения разница между контрольным и опытным вариантами увеличивается.

Наблюдения показали также, что температура, при которой хранятся облученные семена, оказывает значительное влияние на их посевные свойства: при дозе облучения 0,25 крад всхожесть семян к концу опыта понизилась при  $-12^{\circ}$  - на 28, при  $+12^{\circ}$  - на 45 и при  $+24^{\circ}\text{C}$  - на 50% по сравнению с контролем, а при дозе облучения 0,5 крад - на 65, 68 и 80%, соответственно.

Облучение семян 6%-ной влажности в дозах 0,25 и 0,5 крад не оказывает влияния на их всхожесть. При проращивании семян сразу после облучения в дозах 1,0 и 1,5 крад (контрольный вариант) всхожесть их незначительно отличается от таковой у необлученных семян (рис.2). Пострадиационное хранение вызывает снижение этого показателя, особенно интенсивное в первые 2 недели после облучения. Скорость процесса зависит от величины дозы облучения и температуры хранения семян: так, снижение всхожести семян на 50%, по сравнению с контролем, происходит

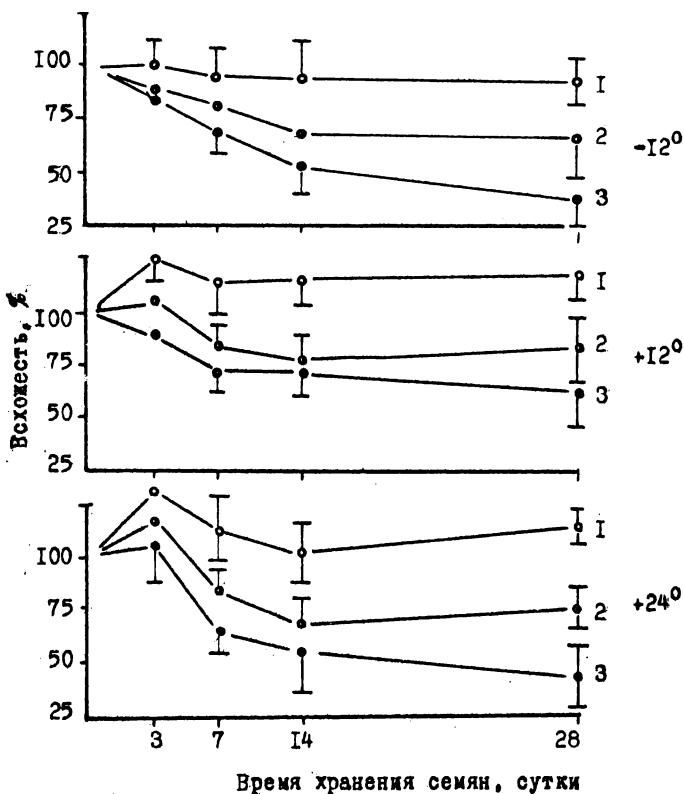


Рис. I. Влияние условий хранения облученных семян сосны (влажность 2% ) на их всхожесть

I - необлученные семена;

2 - семена облучены в дозе 0,25 крад;

3 - семена облучены в дозе 0,50 крад.

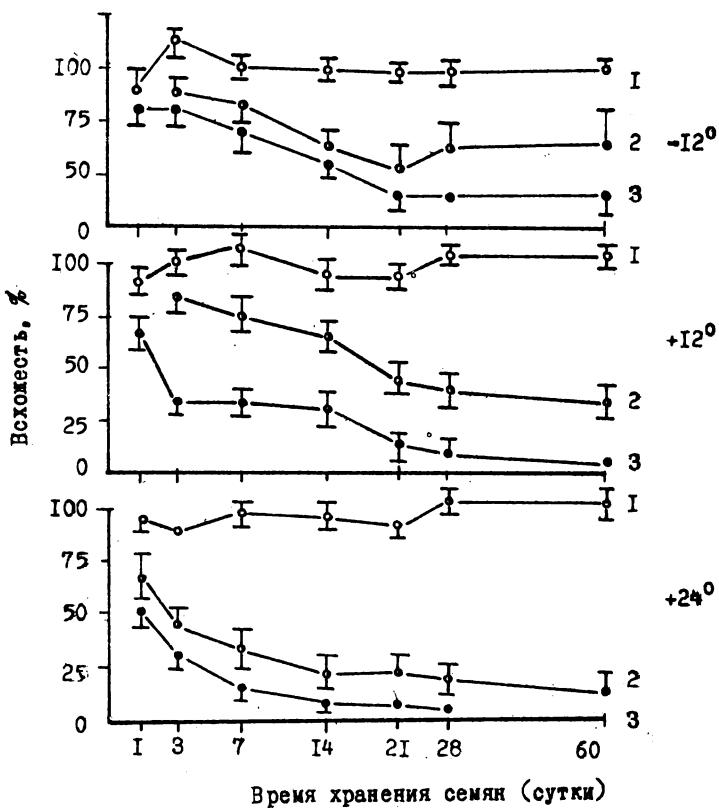


Рис.2. Влияние условий хранения облученных семян  
сосны ( влажность 6% ) на их всхожесть

I - необлученные семена;  
2 - семена облучены в дозе 1,0 крад;  
3 - семена облучены в дозе 1,5 крад.

при  $-12^{\circ}$  – через 21 день, при  $+12^{\circ}$  – через 14–21 день и при  $+24^{\circ}\text{C}$  – примерно через 3 суток после облучения семян в дозе 1,0 крад; при дозе облучения семян 1,5 крад снижение всхожести семян в 2 раза наблюдается, при температурах пострадиационного хранения  $-12$ ,  $+12$  и  $+24^{\circ}$ , соответственно, через 14, 3 и 1 сутки с начала облучения.

При влажности семян 11,4%, дозах облучения 1,0 и 1,5 крад и времени пострадиационного хранения 60 суток всхожесть их не отличалась от всхожести необлученных семян во всех интервалах исследованных температур (рис.3).

Таким образом, рассмотренные выше данные показали, что в диапазоне исследованных доз облучения и при прочих равных условиях опыта наибольшей радиочувствительностью обладают семена с влажностью 2% и наименьшей – с влажностью – 11,4%.

Эффект хранения получен только для семян с влажностью 2 и 6%. Как видно из рисунков, кривые эффекта хранения имеют 2 компонента: 1-й компонент характеризуется быстрым увеличением степени повреждения, а 2-й – медленным развитием поражения. По мнению В.И.Иванова, быстрый компонент эффекта хранения обусловлен возникновением в облученных семенах нестабильных биологически активных продуктов первичных радиационно-химических реакций, а медленный – ускоренным старением облученных семян (Иванов, 1974). На увеличение скорости биологического старения облученных семян указывает также Нечитайло Г.С. (Нечитайло, 1969).

Сравнение результатов опыта, полученных для семян с разной влажностью, при разных дозах облучения, температурах и сроках пострадиационного хранения показывает, что каждый из этих факторов влияет на эффект хранения, т.е. в конечном итоге –

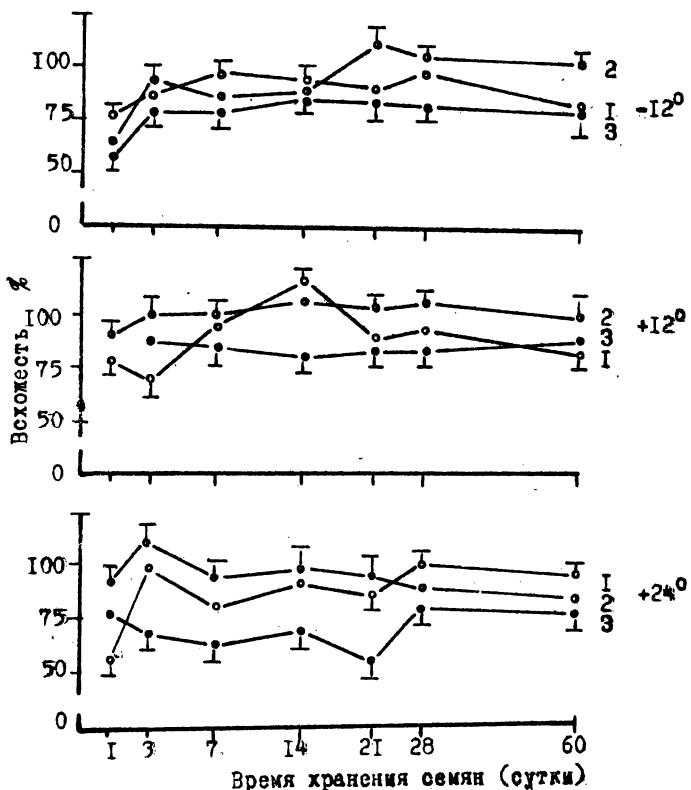


Рис.3. Влияние условий хранения облученных семян сосны ( влажность II,4% ) на их всхожесть  
 I - необлученные семена;  
 2 - семена облучены в дозе 1,0 крад;  
 3 - семена облучены в дозе 1,5 крад.

на радиационный эффект. Однако, факторы, исследованные в эксперименте, при их взаимном влиянии оказывают действие, неоднозначное тому, как если бы они действовали раздельно. Иллюстрацией к этому являются уравнения, отражающие совместное действие влажности семян и дозы облучения на всхожесть семян.

I. Зависимость всхожести семян от их влажности при отсутствии облучения:

$$N_0 = -66,073 \ln W + 188,78$$

2. Зависимость всхожести семян от их влажности при дозе облучения, равной 1,0 крад:

$$N_{1,0} = -13,659 \ln W + 58,723$$

3. Зависимость всхожести семян от их влажности при дозе облучения, равной 1,5 крад:

$$N_{1,5} = 30,731 \ln W + 48,459,$$

где  $W$  – влажность семян, %.

Как видно, изменяются не только коэффициенты уравнения, но и их знаки.

В связи с вышесказанным, выделение, из числа исследованных, одного фактора, действие которого наиболее значительно, представляется затруднительным, но все же, с некоторыми допущениями, их можно расположить, на основании частных значений коэффициентов корреляции, в следующий ряд (по значимости влияния на прорастание семян): доза облучения (0,87), влажность семян (0,81), температура хранения семян (0,63), срок хранения облученных семян (0,56).

С учетом изученных нами в эксперименте факторов, оказывающих влияние на всхожесть семян сосны, построена математическая модель, которая в общем виде может быть описана следующим

уравнением:

$$N = -a_1 \ln W - a_2 t^2 - a_3 t + a_4 \ln^2 D - a_5 \ln D + a_6 V^2 - a_7 ,$$

где  $N$  - всхожесть семян,

$W$  - влажность семян,

$t$  - температура хранения семян,

$D$  - доза облучения,

$V$  - сроки хранения облученных семян,

$a$  - постоянные коэффициенты.

Приведенная математическая модель позволяет исследовать изменение всхожести семян сосны как при воздействии одного из включенных в нее факторов, так и в их совокупности.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как показали результаты опытов, в период после облучения лучевое поражение в семенах сосны развивается неодинаково.

Таблица I иллюстрирует зависимость радиационного эффекта от ряда исследованных в опыте факторов.

Как видно из таблицы, при 2%-ной влажности семян, температуре хранения облученных семян  $+24^{\circ}$  и сроке хранения после облучения 3 суток величина полулетальной дозы равна 0,25 крад; при влажности семян 6% и прочих одинаковых условиях величина полулетальной дозы увеличивается в 4 раза. При влажности семян 11,4% даже при температуре пострадиационного хранения, равной  $+24^{\circ}$  и дозе облучения 1,5 крад, всхожесть семян спустя 2 месяца после облучения не отличается от контроля.

Очевидно, что при проведении радиобиологических экспериментов, а также при облучении семян с целью получить желаемый эффект необходимо учитывать значения параметров сопутствующих облучению и пострадиационному хранению семян факторов.

Таблица I

**Влияние различных факторов на радиочувствительность семян  
сосны обыкновенной**

Влажность семян, %	Значения ЛД <sub>50</sub> , крад	Сроки хранения облученных се- мян, дни	Температура хра- нения облучен- ных семян
2	-	-	-12 <sup>0</sup>
	0,5	14	
	0,25	7-14	+12 <sup>0</sup>
	0,50	3-7	
6	0,25	3	+24 <sup>0</sup>
	0,5	3	
	1,0	21	-12 <sup>0</sup>
	1,5	21	
11,4	1,0	21	+12 <sup>0</sup>
	1,5	3	
	1,0	3	+24 <sup>0</sup>
	1,5	1	
Всхожесть семян не отличается от контроля			

Из вышеприведенного следует, что влажность покоящихся семян играет большую роль в модификации лучевого эффекта. Изучению механизма влияния влажности покоящихся семян на дальнейшее развитие радиационного поражения посвящены специальные исследования (Порядкова, 1960, 1964, 1965; Фесенко, Порядкова, 1966). Показано, что облучение инициирует относительно долгоживущие свободные радикалы в живых клетках и содержание их увеличивается с дозой облучения (Zimmer, 1959; Лаура, 1971). Уменьшение числа свободных радикалов происходит сразу после

(и даже во время) облучения ( Zimmer et al., 1957 ). Если бы эти радикалы соответствовали первичным повреждениям, то при облучении семян разной влажности уже в первых митозах должны были бы быть разные количества хромосомных мутаций. Однако тот факт, что влажность покоящихся семян в момент облучения не оказывает влияния на развитие в них радиационного эффекта (Фесенко, 1967; Эренберг, 1963) свидетельствует о том, что возникают не первичные цитогенетические повреждения, а повреждения цитоплазматических биохимических систем, состояние которых определяет вероятность реализации потенциальных повреждений (Фесенко, 1967).

В опытах на семенах с разной влажностью Эренберг с соавторами показали, что в более влажных семенах наблюдается резкий спад числа свободных радикалов уже через несколько часов и даже минут после облучения, в то время как в сухих семенах свободные радикалы сохраняются длительное время (Ehrenberg et al., 1958 ). Авторы объясняют быстрое уменьшение свободных радикалов при повышенной влажности их рекомбинацией.

Как следует из высказанного, в семенах с повышенной влажностью в результате быстрого уменьшения числа свободных радикалов происходит и более быстрая нормализация общего состояния клетки и, возможно, каких-то биохимических систем, играющих непосредственную роль в восстановлении первичных цитогенетических повреждений; степень восстановления последних значительно выше, чем в семенах с низким содержанием воды, где образовавшиеся в результате облучения свободные радикалы сохраняются длительное время, создавая неблагоприятные условия для восстановления первичных цитогенетических повреждений.

Таким образом, содержание воды в семенах создает условия

для протекания пострадиационных процессов. Защитное действие воды сводится к обеспечению условий, необходимых для рекомбинации радикалов.

Изменение температуры хранения облученных семян влияет на кинетику физико-химических процессов, протекающих в клетке и соответствующим образом - на скорость протекания восстановительных процессов. При пониженных температурах, по-видимому, создается более благоприятная обстановка для нормализации физико-химических и биохимических процессов. Так, облучение семян ведет к увеличению скорости окислительных процессов в клетке, но при действии факторов, ингибирующих процессы окисления (в том числе и пониженные температуры) происходит понижение ее (Гудков, 1973).

Температура хранения и время хранения семян связаны с их биологическим старением. С давних пор для сохранения всхожести семян их хранят в хорошо просушенном виде, в закрытой посуде и при пониженной температуре. Облучение ускоряет процессы старения семян (Нечитайло, 1963), а дополнительное воздействие повышенных температур приводит к усилению поражающего действия радиации.

Наши результаты не противоречат тем данным, что были получены радиобиологами при изучении влияния различных температурных воздействий, примененных после облучения семян, на выход самых разнообразных радиобиологических реакций как на травянистых растениях (Иванов, 1974; Лебедева и др., 1966; Николов, 1968), так и на хвойных (Лаура, 1966). В проведенных нами опытах выдерживание семян при пониженной температуре (-12°C) заметно снизило радиационный эффект; повышение температуры хра-

нения приводит к его усилению. Исследованные нами в опыте температуры вписываются в "экологические рамки", и именно в этих температурных пределах происходит прорастание семени в природных условиях. В этом случае вступают во взаимодействие основные, влияющие на радиационный эффект, факторы - влажность семени, температура верхнего слоя почвы, которые в свою очередь, оказывают влияние на скорость прорастания семени, т.е. определяют время пострадиационного хранения.

#### ВЫВОДЫ

1. Показана зависимость эффекта пострадиационного хранения, проявляющегося в снижении всхожести семян сосны обыкновенной после облучения, от ряда факторов.

2. Установлено взаимовлияние изученных факторов на эффект хранения. По значимости воздействия факторов на прорастание семян, на основании частных значений коэффициентов корреляции, они расположены в следующий ряд: доза облучения (0,87), влажность покоящихся семян (0,81), температура хранения облученных семян (0,63), срок хранения облученных семян (0,56).

3. На основе полученных экспериментальных данных построена математическая модель, позволяющая исследовать изменение всхожести семян сосны после облучения как при воздействии одного включенных в нее факторов, так и в их совокупности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьева А.С., 1936. Сохранность действия рентгеновских лучей на пшеницу. - Бюлл. МОИП, отдел. биол., т.45, №6, 433-440.
2. Бреславец Л.П., 1946. Растение и лучи Рентгена. Изд. АН СССР

3. Васильев И.И., Жуков Б.Г., Спасская Т.С. 1960. Усиление эффекта рентгеновского облучения семян при их хранении.-  
Биофизика, т. 5, вып. 5.
4. Вольф В.Г., 1966. Статистическая обработка опытных данных. Изд. "Колос", М.
5. Гудков И.Н., 1973. К вопросу о механизме эффекта хранения в облученных семенах растений. - Радиобиология, 13, №1.
6. Демидович Б.П., Марон И.А., 1970. Основы вычислительной математики. Изд. "Наука", М.
7. Иванов В.И., 1974. Радиобиология и генетика арабидопсиса.  
"Проблемы космической биологии", т. 27, изд. "Наука", М.
8. Лаура М.П., 1966. Влияние условий хранения облученных семян сосны на цитогенетические нарушения в меристемных клетках. - Цитология, 8, № 4.
9. Лаура М.П., 1966. Эффект хранения у облученных семян сосны *Pinus silvestris* L. - Изв. АН Латв. ССР, 9.
10. Лаура М.П. 1966. Модификация лучевого повреждения и эффект хранения у семян сосны *Pinus silvestris* L. Авт. канд. дисс., Л-д.
11. Лаура М.П., 1971. Возможность модификации радиационного повреждения семян сосны. В сб. "Модификация эффекта ионизирующей радиации у растений", изд. "Зинатне", Рига.
12. Лебедева Л.И., Ермолаева В.К., Керкис Ю.Я., 1966. Эффект хранения облученных семян гороха при температуре -196°C.-  
ДАН СССР, 169, № 6.
13. Митропольский А.К., 1957. Элементы статистического исчисления. ВЭЛТИ, Л.
14. Нечитайло Г.С., 1969. Радиочувствительность и старение се-

- мян *Allium fistulosum* L. - Радиобиология, т. 9, вып. 5.
- I5. Николов В.Г., 1968. Влияние тепловых шоков на радиобиологические и радиационно-генетические эффекты *Arabidopsis thaliana* L. при  $\gamma$ -облучении покоящихся семян. Авт. канд. дисс., МГУ.
- I6. Нуждин Н.И., Дозорцева Р.Л., Самохвалова Н.С., 1964. Пострадиационный эффект хранения у семян ячменя, облученных гамма-лучами Со-60 в состоянии органического и вынужденного покоя. - Изв. АН СССР, сер. биол., 4.
- I7. Порядкова Н.А., 1960. Первичные лучевые поражения и их восстановление в покоящихся семенах разной влажности. - ДАН СССР, 134, № 3.
- I8. Порядкова Н.А., 1964. Кривые время-эффект при облучении покоящихся семян разной влажности. - Радиобиология, 4, №I.
- I9. Порядкова Н.А., 1965. О механизмах влияния влажности на цитогенетические эффекты облучения семян. - Тр. Ин-та биологии УФАН СССР, вып. 44.
20. Фесенко Э.В., 1967. Влияние влажности на процессы пострадиационного восстановления при облучении покоящихся семян гороха. Авт. канд. дисс., Л.
21. Фесенко Э.В., Порядкова Н.А., 1966. Пострадиационное восстановление при облучении семян разной влажности. - Радиобиология, т. 6, вып. 5.
22. Эренберг Л., 1956. Влияние на эффекты, вызываемые излучением у ячменя различных факторов, применяемых после облучения. В кн. "Вопросы радиобиологии", ИЛ, М.
23. Эренберг Л., 1963. Свободные радикалы в биологических системах. Изд. ИЛ, М.

24. Gustafsson A., 1937. The different stability of chromosomes and the nature of mitosis. *Hereditas*, 22, 281.
25. Ehrenberg A., Ehrenberg Z., 1958. The decay of X-ray induced free radicals in plant seeds and starch. *Arkiv för fysik*, 14, 133.
26. Evans H.I., 1961. In discussion to: W.Klingmuller. Radiation damage in Vicia faba seeds. Effects of ionising radiation on seeds. Intern. atomic energy agency, Vienna, 76
27. Wolf S., Sicard A.M., 1961. Post-irradiation storage and the growth of barley seedlings. Effects of ionising radiations on seeds ( Intern. atomic energy agency, Vienna, 171 ).
28. Zimmer K.G., Ehrenberg Z., Ehrenberg A., 1957. Hachweis langlebiger magnetiseher Lentren in bestrahlten biologischen Medien und deren Bedeutung für die Strahlenbiologie. *Strahlentherapie*, 103, 3.
29. Zimmer K.G., 1959. Evidence for free-radical production in living cells exposed to ionising radiation. *Rad. Res.*, Suppl., 1, 519.

П.И.ЮШКОВ, С.В.ТАРЧЕВСКАЯ

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОРАЩИВАНИЯ НА ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН СОСНЫ, ОБЛУЧЕННЫХ В РАЗЛИЧНОМ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ ГАММА-ЛУЧАМИ

Известно, что температурный фактор оказывает сильное модифицирующее действие на чувствительность семян к облучению (Лаура, 1966; Лебедева и др., 1968; Mergen et al., 1965). Вместе с тем, в литературе немного сведений о влиянии на радиочувствительность семян древесных растений температурных воздействий в пострадиационный период в интервале от нижнего до верхнего температурных пределов прорастания семян (Юшков и др., 1974; Тихомиров, 1973). Настоящие опыты проведены в плане изучения влияния температуры прорачивания в интервале 12-30<sup>0</sup>С на лабораторную всхожесть семян сосны обыкновенной, облученных гамма-лучами <sup>60</sup>Со в воздушно-сухом и набухшем состояниях.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В опытах использовали семена сосны (*Pinus sylvestris L.*), собранные в сосняке-брюсличнике (Миасский район Челябинской области). Гамма-облучению подвергали семена в воздушно-сухом состоянии (влажность 6%), а также через 24 и 48 часов после начала намачивания (влажность 36,7%) в дозах 50, 100, 250, 500, 1000 и 1500 р при мощности дозы 1300 р/час. Облучение проводили при температуре +12<sup>0</sup>С. Контролем служили необлученные семена.

Прорацивание семян производили в термостатах при 12<sup>0</sup>, 24<sup>0</sup> и 30<sup>0</sup>С в чашках Петри с влажным песком. В каждую чашку помещали по 100 семян. Повторность опытов 3-х кратная.

Критерием радиочувствительности семян служила их лаборатор-

ная всхожесть. Проросшими считали семена, у которых корешки были длиной не менее половины длины семени и имели геотропический изгиб. Кроме этого, в течение эксперимента проводили наблюдения за ходом прорастания семян в разных вариантах опытов. Ниже, наряду с данными о всхожести семян, приведены и некоторые результаты этих наблюдений.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТА И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. I приведены данные по всхожести семян, прорашиваемых при температуре  $+12^{\circ}\text{C}$ . Видно, что облучение воздушно-сухих и набухших семян в диапазоне доз 50–500 рад не оказалось влияния

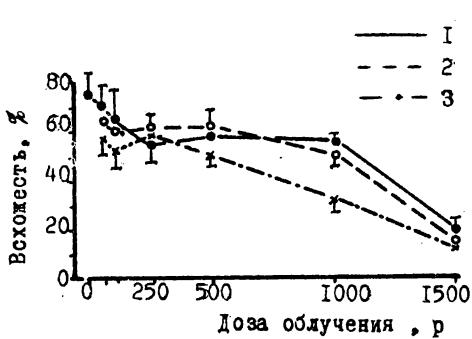


Рис. I. Зависимость всхожести семян сосны от дозы облучения при температуре прорашивания их  $+12^{\circ}\text{C}$ .

I – воздушно-сухие семена;  
2 и 3 – семена, облученные, соответственно, через 24 и 48 часов с начала намачивания.

На этом и следующих рисунках приведены доверительные интервалы,  $P=0,05$ .

на их всхожесть. У семян, облученных в воздушно-сухом состоянии или через 24 часа после начала намачивания в дозе 1,0 крад, всхожесть не отличалась от контроля, а у семян, облученных в таком же физиологическом состоянии в дозе 1,5 крад наблюдалось подавление ее. Значительное прорастание чувствительности к облучению в дозах 1,0 и 1,5 крад наблюдалось через 48

часов после начала намачивания.

В связи с тем, что семена растений, непроросшие при температурах ниже оптимальной, могут прорости при повышении температуры (Лир и др., 1974), нами была предпринята попытка оценить, какая часть семян, оставшихся непроросшими после 30-дневного пребывания на влажном песке при температуре  $12^{\circ}$ , сохранила способность прорастать. С этой целью облученные и необлученные семена сосны, непроросшие при  $12^{\circ}$ , были помещены в термостате с постоянной температурой  $24^{\circ}$ . Через сутки после перевода набухших семян в оптимальные температурные условия появились

первые проростки. Подсчет проросших семян проводили до полного прекращения их прорастания.

На рис. 2 видно, что перенос семян, непроросших при  $12^{\circ}$ , в оптимальные температурные условия вызвал прорастание значительного количества как необлученных, так и облученных семян.

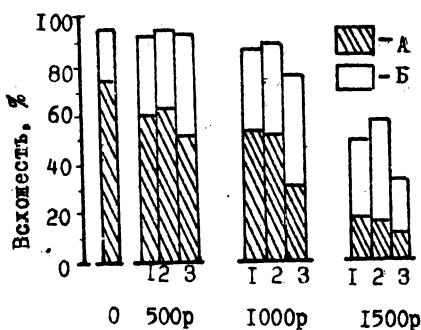


Рис. 2. Зависимость жизнеспособности семян сосны от дозы облучения и температуры проращивания.

А - всхожесть семян при  $12^{\circ}\text{C}$ ;  
Б - процент жизнеспособных семян, проросших при повышении температуры проращивания до  $24^{\circ}\text{C}$ .

При этом суммарная всхожесть семян (процент семян, проросших при обеих температурах) при облучении их в дозах 500 и 1000 рад в целом не отличалась от контроля, за исключением тех, что были облучены через 48 часов с начала намачивания. У семян же, подвергшихся облучению в воздушно-сухом и набухшем состояниях в дозе 1,5 крад, суммарная всхожесть была на 45-60% ниже, чем при этих же условиях проращивания в контроле.

На рис. 3 представлены данные по всхожести семян при темпе-

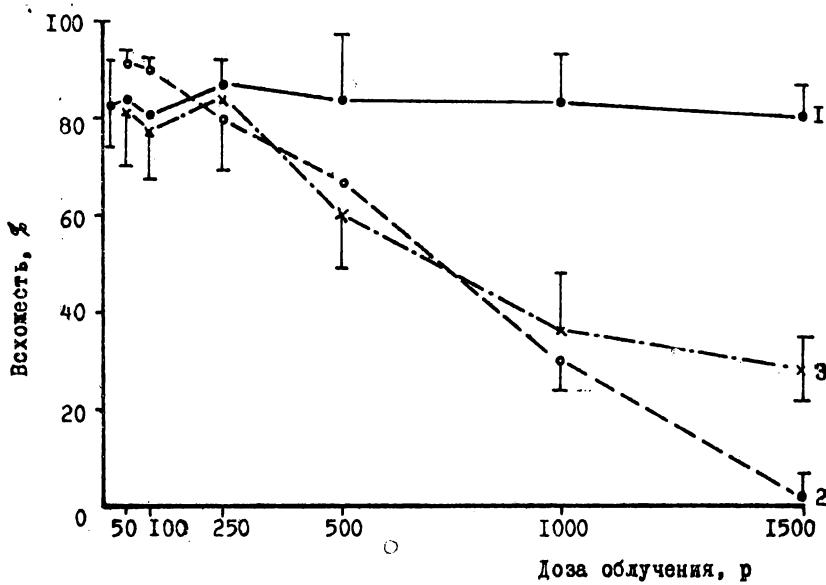


Рис. 3. Зависимость всхожести семян сосны от дозы облучения при температуре проращивания их  $24^{\circ}\text{C}$ .

Обозначения те же, что и на рис. I.

ратуре проращивания  $24^{\circ}\text{C}$ . Как видно из рисунка, при облучении воздушно-сухих семян в дозах от 50 до 1500 рад лабораторная всхожесть их не отличалась от таковой в контроле. Облучение

набухших семян в дозах 0,5-1,5 крад вызвало снижение их всхожести при возрастании дозы. При этом семена через двое суток с начала намачивания оказались менее чувствительны к воздействию гамма-лучами в дозе 1,5 крад, чем через сутки.

При температуре проращивания  $30^{\circ}\text{C}$  всхожесть семян, облученных в воздушно-сухом состоянии в дозах от 50 до 100 рад, не отличалась от контроля, а при дозе облучения 1500 рад понижается на 22% в сравнении с контролем (рис. 4). Облучение семян, набухавших при этой температуре, вызвало снижение их всхожести уже при дозе 250 рад и выше.

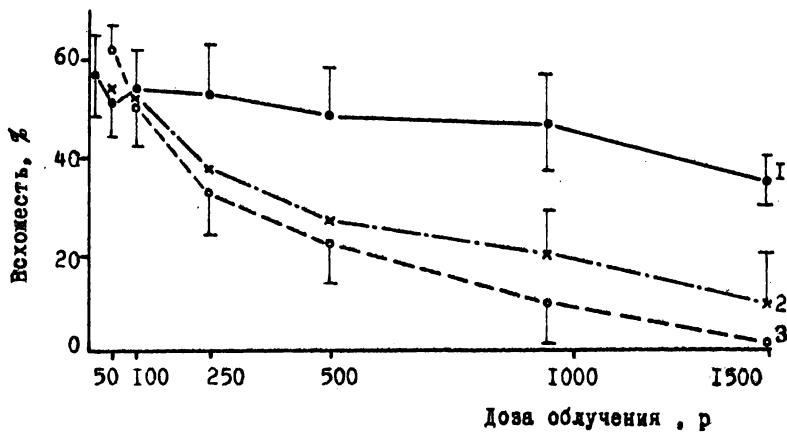


Рис. 4. Зависимость всхожести семян сосны от дозы облучения при температуре проращивания их  $30^{\circ}\text{C}$ .

Обозначения те же, что и на рис. I.

Таким образом, прорашивание семян сосны обыкновенной при температуре, близкой к оптимальной для их прорастания ( $24^{\circ}\text{C}$ ), а также при температурах значительно выше и ниже ее выявило сильное модифицирующее влияние этого фактора на радиационный эффект. При этом  $\text{LD}_{50}$  для воздушно-сухих семян сосны составили: при температуре прорашивания  $12^{\circ}$  – 1,0; при  $24$  и  $30^{\circ}$  – 1,5 крад, а для набухших семян, соответственно 1,0; 1,0 и 0,5 крад.

Заканчивая изложение результатов опытов, отметим, что различные температурные условия во время прорашивания семян оказали неодинаковое влияние на скорость процессов прорастания их, а также на всхожесть необлученных семян. Так, при температуре  $12^{\circ}$  прорастание необлученных семян и семян, облученных в воздушно-сухом состоянии в диапазоне доз 50–500 рад, начиналось на 9-е сутки, а прорастание семян, облученных в дозах 1,0 и 1,5 крад – на 10–13 сутки после начала намачивания. При температуре  $24^{\circ}$  необлученные и облученные семена начинали прорастать, как правило, на третьи сутки после начала намачивания. Исключение составили семена, облученные в воздушно-сухом состоянии в дозах 1,0 и 1,5 крад, начавшие прорастать на одни сутки позднее. Прорастание семян сосны при температуре  $30^{\circ}$  во всех вариантах опытов началось на третьи сутки после начала намачивания.

Всхожесть контрольных (необлученных) семян была наибольшей при температуре  $24^{\circ}$ , несколько меньшей при  $12^{\circ}$  и значительно меньшей при  $30^{\circ}$ .

Итак, в описанных выше опытах была изучена зависимость действия гамма-облучения на воздушно-сухие и набухшие семена

сосны обыкновенной от температурных условий во время их прорастания. В качестве критерия радиочувствительности использовали лабораторную всхожесть семян. В ряде работ справедливо указывалось на недостаточность этого критерия для оценки воздействия ионизирующих излучений на семена различных растений, в том числе и на семена сосны (Лаура, 1971; Тарчевская, 1970, 1975) и отмечалась необходимость использования полевой (грунтовой) всхожести как более надежного критерия радиационного повреждения семян. Однако, лабораторная и полевая всхожесть отражают выживаемость молодых растений на разных этапах их развития. При этом ни один из указанных критериев не отражает всего многообразия реакции растений на облучение, полученное на стадии семени. Различие между ними состоит в том, что лабораторная всхожесть позволяет оценивать влияние облучения на собственное прорастание семян, которое, например, у семени сосны проявляется в появлении зародышевого корешка, а полевая всхожесть является результирующим показателем, включающим в себя действие облучения на собственное прорастание и на процессы, связанные с последующими этапами развития зародыша семени до появления семидолей на дневную поверхность включительно.

Разумеется, для более полной оценки последствий лучевого воздействия на растения на стадии семян необходимо применение комплекса критериев, включающего в себя и учет гибели растений на разных этапах онтогенеза, и изучение морфогенетических и физиолого-биохимических реакций, и анализ цитогенетических повреждений и генетических последствий в последующих поколениях.

Наши опыты показали, что реакция семян сосны на облучение

в воздушно-сухом состоянии зависит от температурных условий во время прорацивания, а также от дозы облучения.

В общем подтвердилось известное положение о возрастании чувствительности семян к гамма-облучению при переходе их от воздушно-сухого состояния к набухшему (Бреславец, 1946). Но вместе с тем, были выявлены и исключения из этого правила. Оказалось, что степень нарушения процессов, связанных с прорастанием семян у сосны, облученных через сутки после начала намачивания их при температуре 12°, приблизительно такая же, что и у воздушно-сухих семян, которые после облучения прорачивали при той же температуре. Это обусловлено, видимо, физиологическим состоянием таких набухших семян, которое в условиях повышенной температуры близко в некотором отношении к состоянию покоящихся семян. При дальнейшем содержании набухших семян при температуре 12° радиочувствительность их возрастает.

Поскольку специальный опыт показал, что содержание воды в семенах сосны достигает максимального уровня в течение первых суток после начала намачивания при температурах 12, 24 и 30° и практически не изменяется до конца прорастания, то можно считать, что изменение радиочувствительности семян обусловлено не изменением содержания воды в семенах, а главным образом, изменением состояния клеток зародыша, происходящим в период от начала намачивания до прорастания. На последнее указывают, например, результаты опыта, в котором было установлено, что различия в радиочувствительности сухих и набухших семян связаны не с разным содержанием воды в них, а с изменением состояния ДНК в клетках зародыша в ходе набухания семян (Савин и др., 1973).

Значительное снижение всхожести семян, облученных в воздушно-сухом состоянии в дозах 1,0 и 1,5 крад и пророщиваемых при температурах, пессимальных для прорастания семян сосны ( $+12^{\circ}$  и  $+30^{\circ}$ ), а также отсутствие этого влияния при тех же дозах облучения и температуре, близкой к оптимальной ( $+24^{\circ}$ ) указывают на то, что, во-первых, облучение усиливает отрицательное воздействие пессимальных температур на процессы пострадиационного восстановления клеток и тканей зародыша семян.

Очевидно, разная интенсивность процессов радиационного поражения пострадиационного восстановления при пессимальных и оптимальных для прорастания температурах отразилась и на всхожести семян, облучавшихся в набухшем состоянии.

#### ВЫВОДЫ

1. Изучена зависимость действия гамма-облучения на воздушно-сухие и набухшие семена сосны обыкновенной от температурных условий во время их пророщивания.

2. Отмечено снижение всхожести семян, облученных в воздушно-сухом состоянии в дозах 1,0 и 1,5 крад и пророщиваемых при температурах  $+12^{\circ}$  и  $+30^{\circ}\text{C}$ , а также отсутствие радиационного эффекта при температуре  $+24^{\circ}\text{C}$ . Предполагается, что облучение усиливает отрицательное воздействие пессимальных температур на процессы прорастания.

3. При температурах пророщивания  $+24^{\circ}$  и  $+30^{\circ}\text{C}$  семена сосны, набухавшие 1 и 2 суток, более чувствительны к облучению, чем воздушно-сухие; при  $+12^{\circ}\text{C}$  семена, набухавшие 1 сутки, не отличаются по реакции на облучение от воздушно-сухих.

4. Обсуждаются возможные механизмы влияния температуры пророщивания семян на радиационный эффект.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бреславец Л.П., 1946. Растение и лучи Рентгена, изд. АН СССР, М.
2. Лаура И.П., 1966. Модификация лучевого повреждения и эффект хранения у семян сосны *Pinus sylvestris* L. Автореф. канд. дисс., Л.
3. Лаура И.П., 1971. Возможности модификации радиационного повреждения семян сосны. В сб. "Модификация эффекта ионизирующей радиации у растений", изд. "Зинатне", Рига.
4. Лебедева Л.И., Керкис Г.Я., Мягкая Т.Т., 1968. Зависимость развития облученных семян от температуры прорашивания. Радиобиология, т. III, вып. 2, стр. 293-298.
5. Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г.И., 1974. Физиология древесных растений. Изд."Лесная промышленность", М., стр. 263.
6. Савин В.Н., Архипов М.В., 1973. К вопросу о механизме радиочувствительности семян высокой влажности. ДАН СССР, т. 210, №1, стр. 218-221.
7. Тарчевская С.В., 1970. Влияние гамма-лучей  $^{60}\text{Co}$  на семена некоторых видов хвойных растений. В сб. "Действие ионизирующих излучений на гидробионты и наземные растения". Тр. Ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР, вып. 74, стр. 33-39, Свердловск.
8. Тарчевская С.В., 1975. Радиочувствительность сосны обыкновенной на ранних стадиях развития. Автореф. канд. дисс., Свердловск.
9. Тихомиров Ф.А., 1973. Влияние ионизирующих излучений на репродуктивную способность древесных растений. Лесоведение, №2, стр. 65-76.

10. Шиков П.И., Тарчевская С.В., Сидоров В.В., 1974. Влияние температуры проращивания на устойчивость к гамма-облучению  $^{60}\text{Co}$  семян сосны обыкновенной. В сб. "Проблемы физиологии и биохимии древесных растений", т.4, стр. 63-64, Красноярск.
11. Mergen F., Gummings I., 1965. Germination of *Pinus rigida* seeds after gamma irradiation ( Effects of post-irradiation treatments, moisture content and individual trees). Rad. Bot., v.5, N1.

П.И.ЮШКОВ, О.П.ЮШКОВА

РАДИОУСТОЙЧИВОСТЬ СЕМЯН БЕРЕЗЫ ИЗ НАСАЖДЕНИЙ, ПОДВЕРГАЮЩИХСЯ  
ВОЗДЕЙСТВИЮ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОВ

В последние несколько десятилетий все большее внимание исследователей привлекают вопросы влияния химического загрязнения окружающей среды и повышенного радиационного фона на экосистемы и их компоненты. Однако, если изучению раздельного действия химических загрязнителей среды и радиационного фактора на указанные объекты посвящено огромное количество работ, то исследования совместного действия этих факторов начались сравнительно недавно.

Проблема совместного действия химических веществ и радиации на биологические объекты представляется весьма широкой. Она включает в себя, в частности, такие вопросы, как действие ионизирующей радиации на организмы и их сообщества, то или иное время находящиеся в условиях повышенного радиационного фона и, наконец, одновременное действие этих обоих факторов.

В настоящей работе дается сравнительная оценка радиоустойчивости семян березы бородавчатой, взятых из двух насаждений, из которых одно подвергается, а другое не подвергается длительному "сильному воздействию заводских кислых дымо-газовых выбросов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В опытах использовали семена березы бородавчатой (*Betula verrucosa Ehrh.*), собранные в зоне сильного воздействия дымо-газовых выбросов медеплавильного и сернокислотного заводов на растительный покров и вне этой зоны.

Насаждения бересы на задымляемом участке представляют собой редко стоящие молодые деревья, расположенные в одном километре восточнее обоих заводов по направлению господствующих ветров. По предложенной Лукьянцем (1976) шестибалльной шкале поражения лесных фитоценозов дымо-газовыми загрязнениями этот при заводской участок оценивается максимальным количеством баллов. Для него характерны выпадение всех хвойных пород, а также разреженные березняки и техногенные пустоши, сильно поврежденные водной и ветровой эрозией. Травянистый покров разреженный, в виде редких пятен.

Насаждение вне данной зоны (контрольный участок) представляет собой березняк разнотравный.

В обоих насаждениях семена собирали из нижних частей кроны деревьев.

Семена облучали гамма-лучами  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в различных дозах. После облучения семена проращивали при комнатной температуре в чашках Петри или в деревянных ящиках, наполненных дерново-луговой почвой.

Были проведены три опыта. В опыте I изучали в лабораторных условиях радиоустойчивость семян бересы с деревьев, подвергавшихся и неподвергавшихся воздействию промышленных газов. Для проведения этого опыта на при заводском и контрольном участках было выбрано по 10 приблизительно одинаково плодоносящих деревьев. Воздушно-сухие семена облучали гамма-лучами  $^{60}\text{Co}$  в дозах 10, 20 и 30 крад с интенсивностью II рад/мин. Затем облученные и необлученные семена высевали по 100 штук в чашки Петри на влажную почву. Посев семян с каждого дерева и с каждого варианта облучения проводили в 4-х повторностях. Радиobiологии-

ческий эффект оценивали по энергии прорастания и всхожести семян.

Опыт 2 был проведен по той же схеме, что и опыт I, но с прорщиванием семян под полиэтиленовой пленкой в ящиках, наполненных дерново-луговой почвой. После посева семена присыпали тонким слоем размельченного торфа. Критерием биологического действия облучения служила грунтовая всхожесть семян.

В опыте 3 с целью изучения проявления эффекта пострадиационного хранения у семян с деревьев березы, испытывающих и неиспытывающих действие сильного газо-дымового загрязнения атмосферы, воздушно-сухие семена (от 5 деревьев с каждого участка) облучали гамма-лучами  $^{137}\text{Cs}$  в дозах 10 и 20 крад при мощности дозы 134,4 рад/мин. Часть семян высевали сразу после облучения, остальные - через 7 и 14 суток хранения при температуре 24 $^{\circ}\text{C}$ . Семена выкладывали в чашках Петри на влажную вату, покрытую фильтровальной бумагой. В опыте использовали посевной материал только от деревьев с высокой всхожестью семян. Опыт был поставлен в трех повторностях: в каждой повторности по 100 штук семян.

Во всех опытах контролем служили необлученные семена. Прорщивание семян в лабораторных опытах проводили на свету при комнатной температуре. Полученные данные подвергнуты соответствующей статистической обработке (Плохинский, 1970).

#### РЕЗУЛЬТАТЫ

Опыт I. На рис. I представлены результаты опыта по изучению влияния облучения на лабораторную всхожесть семян березы у деревьев, подвергающихся и неподвергающихся воздействию дымо-газовых загрязнений атмосферы медеплавильного и сернокислотного

заводов.

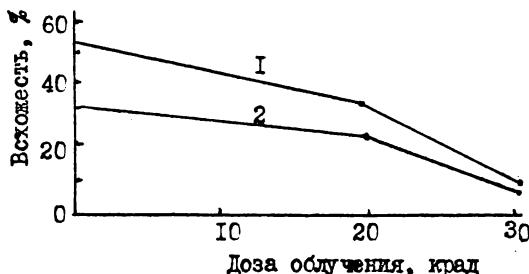


Рис. I. Влияние различных доз гамма-облучения на лабораторную всхожесть семян бересклета из незадымляемого (I) и задымляемого (2) насаждений

Прежде всего видно, что всхожесть облученных и необлученных семян с контрольного участка выше, чем у семян с при заводского участка. Причем это различие во всхожести выше у необлученных семян. Видно также, что всхожесть семян с нарастанием дозы облучения уменьшается. Так, при дозе 30 крад всхожесть семян с контрольного участка оказалась равной 10%, а с при заводского участка - 5%, тогда как у необлученных семян всхожесть семян составила 52 и 32%, соответственно.

Проведенный дисперсионный анализ показал, что всхожесть семян сильно зависела от дозы облучения и значительно меньше от условий произрастания деревьев и формирования семян (табл. I). Дисперсионный анализ также показал, что эффект от взаимодействия обоих факторов (облучения и условий произрастания деревьев) выражен слабо ( $F$  факт = 2,5;  $F$  = 2,6).

Опыт 2. Как уже отмечалось, в отличие от опыта I, в этом опыте семена высевали в ящики с почвой, а критерием радиочувствительности служила грунтовая всхожесть.

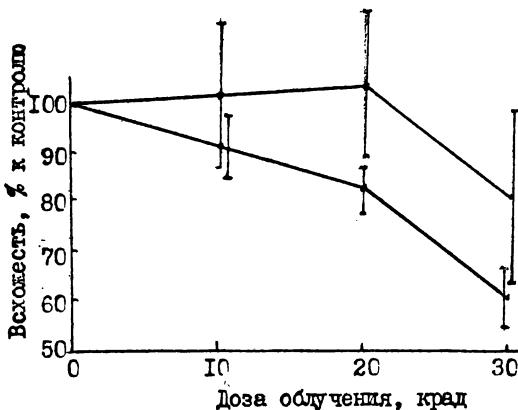


Рис. 2. Зависимость грунтовой всхожести семян березы из задымляемого (1) и незадымляемого (2) насаждений (% к необлученному контролю)

На рис. 2 показана всхожесть семян, выраженная в процентах к необлученному контролю. Видно, что облучение в дозах 10 и 20 крад не оказалось влияния на всхожесть семян с незадымляемого участка и снизило всхожесть семян с призаводского участка. Однако последнее оказалось статистически недостоверным. Облучение в дозе 30 крад привело к снижению грунтовой всхожести у семян с обоих участков, при этом к более сильному у семян с деревьев, подвергшихся действию заводских дымов и газов.

Опыта выявили значительную вариабельность радиочувствительности семян деревьев в пределах насаждения, которая обусловила большую величину среднеквадратических ошибок.

На рис. 3 показана грунтовая всхожесть облученных (доза 30 крад) и необлученных семян, отдельных деревьев из призавод-

кого и контрольного насаждений

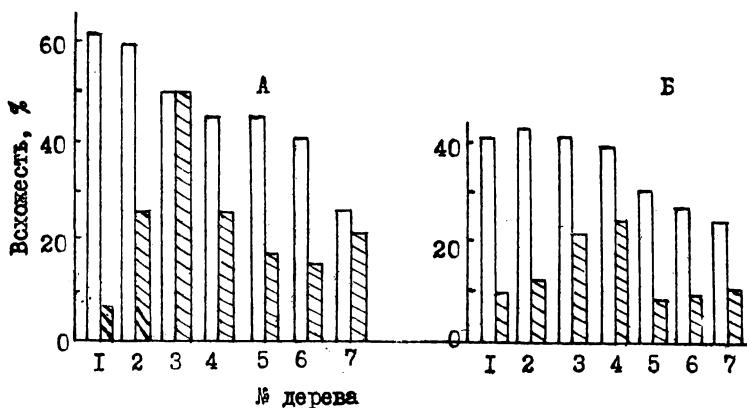


Рис. 3. Грунтовая всхожесть необлученных и облученных в дозе 30 крад семян березы из незадымляемого (А) и задымляемого (Б) насаждений

Как видно, у деревьев с более высокой всхожестью необлученных семян последние после облучения могут относительно сильно снижать свою всхожесть, чем семена у деревьев со значительно меньшей исходной всхожестью. Однако определение коэффициента корреляции между всхожестью облученных и необлученных семян дало такие результаты: в контрольном насаждении –  $0,06 \pm 0,029$ , а для насаждения на при заводском участке –  $0,04 \pm 0,014$ .

Следовательно, корреляция между уровнем всхожести облученных и необлученных семян в данном опыте не обнаружена у деревьев из контрольного и задымляемого насаждений.

Таблица I

Результаты дисперсионного анализа зависимости всхожести семян берескоты от условий произрастания и гамма-облучения

	A	B	AB	x	z	y
C	2850	24290,6	830,3	27970,9	23554,3	51525,2
$\eta^2$	0,050	0,47	0,016	0,543	0,457	1,00
v	I	3	3	7	216	223
$\delta^2$	2850	8096,9	276,8	3995,8	109,0	231,1
$F_{\Phi}$	26,1	74,3	2,5	36,7	-	-
$F_{St}$	II, 2-6, 8- -3, 9	5, 6-3, 9- -2, 6	5, 6-3, 9- -2, 6	3, 7-2, 7- -2, 0	-	-

Фактор A - условия произрастания. Градации:  $A_1$  - загазованность;  $A_2$  - отсутствие загазованности.

Фактор B - дозы облучения. Градации:  $B_1$  - 0 крад;  $B_2$  - 10 крад;  $B_3$  - 20 крад;  $B_4$  - 30 крад.

Определение коэффициента вариации всхожести семян показало, что величина данного показателя у семян, облученных в дозе 10 крад (25,5%) близка к таковому "необлученных семян (27,2%), а при повышении дозы облучения возрастает и достигает при дозе облучения 30 крад соответственно 67,3 и 71,7% (табл.2).

Таблица 2

Коэффициенты вариации всхожести семян берескоты из загазованного и контрольного насаждений

Показатели	Контрольный участок				Задымленный участок			
Дозы облучения, крад	0	10	20	30	0	10	20	30
Коэффициент вариации, %	30,1	25,5	34,5	67,3	25,1	27,2	41,5	71,7

Существенных различий по коэффициенту вариации всхожести семян между двумя изучаемыми насаждениями не обнаружено.

С целью выявления возможных различий в реакции на гамма-облучение семян берес, сформировавшихся в условиях сильного загрязнения промышленными выбросами и в условиях, исключавших подобное воздействие, был проведен опыт 3, в котором изучали влияние на радиобиологический эффект пострадиационного хранения семян. Результаты опыта приведены в табл. 3-5.

Из табл. 3 видно, что облучение в дозе 20 крад приблизительно вдвое снизило энергию прорастания у семян из обоих насаждений. Однако энергия прорастания не изменялась в течение двухнедельного хранения облученных семян.

По всхожести семян также установлено лишь некоторое снижение ее в вариантах опыта с облучением в дозе 20 крад. Хранение облученных семян в течение двух недель при температуре 24<sup>0</sup>С не влияло на всхожесть (табл.4).

Наблюдения за проростками, которые находились в чашках Петри на смеси Кнопа на рассеянном свете в течение 32 суток, показали, что часть проростков, развившихся как из облученных, так и из необлученных семян, погибла. Сильный отпад проростков происходил в вариантах с облучением семян в дозе 20 крад, причем более интенсивно среди сеянцев, развившихся из семян, собранных в задымляемом насаждении (ср.табл. 4 и 5). Из табл.5 видно, что выживаемость растений не зависела от пострадиационного хранения семян.

**Таблица 3**  
**Энергия прорастания семян березы из контрольного и задымленного насаждений в зависимости от дозы гамма-облучения и пострадиационного хранения (%)**

Срок хра- нения се- мян после облучения, сутки	Контрольное насаждение		Задымляемое насаждение			
	0	10	20	0	10	20
0	53,5 <sup>+6,3</sup>	48,8 <sup>+6,3</sup>	34,4 <sup>+7,8</sup>	51,4 <sup>+3,8</sup>	40,3 <sup>+4,7</sup>	27,4 <sup>+6,3</sup>
7	54,9 <sup>+4,4</sup>	39,7 <sup>+5,7</sup>	33,6 <sup>+6,1</sup>	46,8 <sup>+2,9</sup>	40,2 <sup>+7,3</sup>	22,7 <sup>+9,6</sup>
14	55,5 <sup>+4,7</sup>	48,8 <sup>+7,9</sup>	31,9 <sup>+8,8</sup>	44,7 <sup>+5,2</sup>	36,8 <sup>+7,8</sup>	20,7 <sup>+4,4</sup>

**Таблица 4**

Всходкость семян березы из контрольного и задымленного насаждений в зависимости от дозы гамма-облучения и пострадиационного хранения (%)

Срок хра- нения се- мян после облучения, сутки	Контрольное насаждение		Задымляемое насаждение			
	0	10	20	0	10	20
0	74,1 <sup>+3,0</sup>	76,5 <sup>+2,9</sup>	68,4 <sup>+4,1</sup>	68,3 <sup>+1,7</sup>	63,4 <sup>+1,9</sup>	57,4 <sup>+4,5</sup>
14	82,0 <sup>+3,4</sup>	77,2 <sup>+3,3</sup>	67,3 <sup>+5,2</sup>	67,1 <sup>+1,7</sup>	66,8 <sup>+1,7</sup>	47,5 <sup>+4,1</sup>

Таблица 5

Выживаемость проростков бересы в зависимости от происхождения, дозы гамма-облучения и пострадиационного хранения семян (% к числу высеванных семян)

Срок хра- нения се- мян после облучения, сутки	Контрольное насаждение			При заводское насаждение		
	Доза облучения, крад			0	10	20
	0	10	20			
0	73,7 $\pm 2,9$	75,0 $\pm 2,8$	58,4 $\pm 3,2$	65,3 $\pm 1,4$	61,5 $\pm 1,8$	32,2 $\pm 3,8$
14	80,6 $\pm 3,2$	76,1 $\pm 3,3$	59,4 $\pm 2,2$	64,0 $\pm 0,9$	59,0 $\pm 1,5$	29,6 $\pm 3,0$

#### ОБСУЖДЕНИЕ

При рассмотрении представленных выше результатов опытов по изучению сравнительной радиоустойчивости семян бересы из двух насаждений – подвергающегося длительному и сильному воздействию дымо-газовых выбросов медеплавильного и сернокислотного заводов и неподвергающегося такому воздействию – необходимо учесть следующее.

Полученные результаты носят характер предварительных, поскольку объем выборок (по 10 деревьев из каждого насаждения) невелик, и выбранные критерии радиоустойчивости (энергия прорастания и всхожесть) характеризуют реакцию на облучение на самых ранних этапах развития растений из семени. Учет последствий облучения семян на более поздних этапах развития сеянцев может дать, как показано выше, более полную информацию.

Далее, для получения широкой характеристики радиоустойчивости семян из обследуемых насаждений, необходимо использовать

ние семенной продукции ряда лет. Особенно это важно в опытах с семенами из насаждения, подвергающегося действию промышленных загрязнений, так как степень воздействия дымо-газовых выбросов заводов на растительный покров сильно зависит от погодных условий (направление ветров, осадки, облачность и др.), а также от сроков и размеров этих выбросов (Кулагин, 1964, 1966, 1977).

Поскольку насаждение вблизи медеплавильного и сернокислотного заводов подвергается непрерывному сильному воздействию дымо-газовых выбросов, то можно полагать, что оставшиеся жизнеспособные плодоносящие деревья представляют собой наиболее газоустойчивую часть исходного насаждения. В этом заключается одно из отличий данного насаждения березы от контрольного, сформировавшегося без участия аналогичного сильного химического воздействия.

Вместе с тем наблюдения показали, что у деревьев, растущих на задымляемом участке, значительная часть семян либо сильно недоразвита, либо имеет скрытые повреждения, что определяет низкую всхожесть семян с этого участка. Подобное явление может быть следствием прямого или косвенного действия газов (прежде всего, сернистого газа и аэрозолей серной кислоты) на генеративные органы, гаметы и на развивающиеся семена.

Но часть семян, сформировавшихся в условиях воздействия на деревья вредных газов, как показали опыты, сохраняет жизнеспособность и довольно высокую устойчивость к действию ионизирующей радиации. Средняя радиоустойчивость таких семян, определяемая по лабораторной всхожести, оказалась сходной с таковой у семян березы из насаждения, неподвергавшегося подобному воз-

действию промышленных газов. Если оценивать среднюю радиоустойчивость семян по грунтовой всхожести или по выживаемости сянцев, то наблюдается более высокая радиационная поражаемость семян березы из задымляемого насаждения.

В опыте по изучению влияния пострадиационного хранения, в котором облучали гамма-лучами  $\text{B}^7\text{Cv}$  семена только с деревьев с относительно высокой всхожестью и при мощности дозы на порядок величин больше, чем в других опытах, двухнедельное пострадиационное хранение семян из обоих насаждений ни по одному из выбранных критерииев (энергия прорастания, всхожесть семян и выживаемость проростков) не привело к изменению величины радиобиологического эффекта. Следует отметить, что в опытах с семенами сосны обыкновенной, облученных гамме-лучами  $^{60}\text{Co}$  в дозе, близкой к полулетальной, пострадиационное хранение при  $24^{\circ}\text{C}$  в течение недели снижало всхожесть с 40 до 2-4%. Видимо, процессы, обусловливающие развитие эффекта пострадиационного хранения, проявляющегося в усилении радиационного поражения семян, в семенах березы протекали при указанных выше условиях эксперимента значительно медленнее, чем в семенах сосны.

Необходимо отметить высокую вариабельность деревьев в обоих насаждениях по радиоустойчивости семян. Ранее (Юшков, 1979) отмечалась корреляция уровней всхожести облученных и необлученных семян у деревьев с задымляемого участка ( $r = +0,47$ ). В данном опыте подобная корреляция не обнаружена. Такие различия результатов опытов могли быть обусловлены малыми размерами выборок либо быть результатом неодинакового воздействия газовых выбросов предприятия на семена березы в разные годы.

## ВЫВОДЫ

Изучена сравнительная радиоустойчивость к гамма-лучам  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$  семян бересы бородавчатой *Betula verrucosa* Ehrh. у деревьев одинакового возраста из двух насаждений, одно из которых расположено в одном километре от медеплавильного и сернокислотного заводов по направлению господствующего ветра, а другое - контрольное - вне зоны сильного действия кислых дымогазовых выбросов. В результате опытов установлено следующее.

1. Облучение гамма-лучами  $^{60}\text{Co}$  воздушно-сухих семян бересы в дозах 10 крад при мощности дозы 11 рад/мин не влияло на всхожесть семян из обоих насаждений. Облучение в дозах 20 и 30 крад вызвало усиливающееся с возрастанием дозы подавление всхожести. При этом у семян из задымляемого насаждения лабораторная всхожесть после воздействия гамма-лучами  $^{60}\text{Co}$  не отличалась статистически достоверно от всхожести семян из незадымляемого насаждения, облученных в тех же дозах.

2. Радиоустойчивость семян, определяемая по грунтовой всхожести и выживаемости сеянцев в фазе первого листа, в среднем ниже у деревьев из задымляемого насаждения.

3. Хранение в течение 16 суток при  $24^{\circ}\text{C}$  семян облученных гамма-лучами  $^{137}\text{Cs}$  в дозах 10 и 20 крад при мощности 134 рад/мин., не влияло на энергию прорастания, лабораторную всхожесть семян и на выживаемость проростков в фазе первого листа.

4. Установлена высокая индивидуальная изменчивость деревьев по признаку радиоустойчивости семян в пределах каждого из обследованных насаждений бересы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кулагин В.З. О газоустойчивости сосны и березы. Сб."Охрана природы на Урале", вып.4, Свердловск, 1964, с.115
2. Кулагин В.З. Адаптация как основной вопрос эколого-эволюционного изучения лесных деревьев. Сб."Вопросы адаптации растений к экстремальным условиям Севера", Петрозаводск, 1975.
3. Кулагин В.З. О кризисных для древесных растений ситуациях. I. Общей биологии, т. 38, II.
4. Лукьяненец А.И. Состояние природных лесов в связи с промышленными загрязнениями атмосферы Верхнего Тагила и Кировограда. Информ. материалы Средне-Уральского горно-лесного стационара по итогам 1975 г., Свердловск, 1976.
5. Плохинский Н.А. Биометрия. Изд. Московского университета, 1970.
6. Щиков П.И. Радиочувствительность семян у деревьев березы, подвергающихся длительному воздействию сернистого газа "Субтропические культуры", Махарадзе-Анасеули, 1979, 3(161), с.23.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Стр.

1. В.Н.Позолотина. Влияние пострадиационного хранения на жизнеспособность семян двух разнопloidных видов бересмы.	3-13
2. О.А.Порозова. Влияние температурного фактора в пострадиационный период на развитие лучевого поражения в семенах сосны.	14-18
3. С.В.Тарчевская, П.И.Юшков, Д.П.Каширо. Зависимость всхожести семян сосны от условий пострадиационного хранения.	19-34
4. П.И.Юшков, С.В.Тарчевская. Влияние температуры проращивания на всхожесть семян сосны, облученных в различном физиологическом состоянии гамма-лучами.	35-45
5. П.И.Юшков, О.П.Юшков. Радиоустойчивость семян бересмы из насаждений, подвергающихся и неподвергающихся воздействию промышленных загрязнений.	46-59

РАДИОУСТОЙЧИВОСТЬ СЕМЯН РАСТЕНИЙ  
И ЕЕ ИЗМЕНЧИВОСТЬ  
(препринт)

Рекомендовано к изданию  
ученым советом Института экологии  
растений и животных  
УНЦ АН СССР

Ответственный за выпуск - С. В. Тарчевская

---

РИСО УНЦ № 5 (80) НС 15107 Подписано к печати 18/1-80г.  
Усл.-печ. л. 3,5. Уч.-издат. л. 3,0. Формат 60 x 90/16  
Тираж 500 экз. Цена 30 коп. Заказ 164

---

РИСО УНЦ АН СССР, Свердловск, ГСП-169, Первомайская, 91.  
Типография изд-ва "Уральский рабочий", Свердловск,  
пр. Ленина, 49