

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р
У Р А Л Ъ С К И Й Н А У Ч Н Ы Й Ц Е Н Т Р

Институт экологии растений и животных

На правах рукописи

ТАРЧЕВСКАЯ Стелла Витальевна

**РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ
НА РАННИХ СТАДИЯХ РАЗВИТИЯ**

(08.00.01 - радиобиология)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Свердловск

1975

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

Институт экологии растений и животных

На правах рукописи

ТАРЧЕВСКАЯ Стелла Витальевна

РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ
НА РАННИХ СТАДИЯХ РАЗВИТИЯ

(08.00.01 - радиобиология)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Свердловск
1975

Работа выполнена в лаборатории радиационной биоценологии
и биофизики Института экологии растений и животных УНЦ АН СССР,
г.Свердловск

Научный руководитель -

доктор биологических наук
Н.В.КУЛИКОВ

Официальные оппоненты :

доктор биологических наук,
профессор А.Т.МОКРОНОСОВ

доктор биологических наук,
профессор И.В.КУЛАГИН

Ведущее предприятие - Московский Государственный
университет им. М.В.Ломоносова

Автореферат разослан " 15 " сентября 1975 г.

Защита диссертации состоится " 21 " октября 1975 г.
в 14 часов на заседании Ученого Совета Института экологии
растений и животных Уральского научного центра АН СССР по ад-
ресу: 620008, Свердловск, Л-8, ул. 8 Марта, 202.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета,
кандидат биологических наук М.Г.Нифонтова

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы, по мере накопления необходимой информации, радиэкология разделяется на отдельные самостоятельные научные направления, к одному из которых следует отнести радиэкологию леса. Основные задачи радиэкологии леса заключаются в изучении круговорота радионуклидов в лесных биогеоценозах и экологических последствий облучения леса, состоящих из эффектов, обусловленных непосредственно облучением и вторичными явлениями, связанными с изменением структуры и биогеоценологических связей в облученном ценозе (Алексахин, Тихомиров, Куликов, 1970). Обоснование этого научного направления, так же, как и общей радиэкологии, обусловлено практическими потребностями общества и призвано решать актуальные проблемы охраны и рационального использования природных ресурсов.

Интерес исследователей к последствиям облучения леса вызван тем, что лес, как экологическая система, чрезвычайно чувствителен к действию ионизирующей радиации: лесной ценоз разрушается под действием таких относительно небольших доз, которые не вызывают заметных нарушений у травянистых растений (Спэрроу и др., 1968). Лесной ценоз представляет сложную многоярусную, хорошо сбалансированную в энергетическом и экологическом отношении систему, и выпадение какого-либо вида из его состава может привести к самым неожиданным, зачастую непредсказуемым, результатам, вызванным нарушением равновесия и взаимосвязей между отдельными живыми компонентами. Среди изученных видов древесных растений наибольшей радиочувствительностью обладают хвойные породы, летальные дозы для которых в отдельных случаях близки по величине к летальным дозам для млекопитающих.

Попадая в биосферу, искусственные радиоизотопы включаются в биогеохимические циклы миграции химических элементов и поступают в пищевые цепочки; при определенных концентрациях в среде они становятся опасными для живых организмов. Лесные ценозы, состоящие в основном из растений-долгожителей и в связи

с этим обладающие способностью накапливать радионуклиды, могут со временем стать источниками внешнего облучения не только окружающей среды, но и своего собственного семенного материала.

Для успешного прогнозирования возможных последствий облучения лесного ценоза необходимо знание закономерностей миграции различных радионуклидов в отдельных его звеньях и сведения о радиочувствительности основных лесообразующих пород.

Сосновые леса занимают в нашей стране огромные территории, и В.Я.Добровлянский не без основания считал, что сосну обыкновенную можно назвать русским национальным деревом (Добровлянский, 1888). Большинство публикаций по радиоэкологии сосны обыкновенной принадлежит советским авторам. В основном это работы по изучению радиочувствительности воздушно-сухих семян (Гайлис, 1965а; Карабань, 1970; Преображенская, 1971; Привалов, 1968 и др.); гораздо меньше исследований посвящено изучению модификации лучевого эффекта в семенах сосны (Лаура, 1966; Позолотин, Тарчевская, 1970; Куликов и др., 1971) и действию хронического облучения на сеянцы и взрослые деревья (Гайлис, 1965б; Юшков, 1970). Недостаточно полно изучено действие ионизирующих излучений на семена и сеянцы сосны на загрязненных почвах и передвижение радионуклидов в лесных насаждениях, что объясняется трудностями методического характера — необходимостью внесения радиоактивных веществ на значительные площади и долгосрочностью наблюдений. Для облегчения задачи необходимо проведение подобных экспериментов с использованием метода мелкомасштабного биогеоэкологического моделирования, введенного Н.В.Тимофеевым-Ресовским с сотрудниками, при котором возможен точный количественный учет регулируемых экспериментатором факторов внешней среды. Серия такого рода экспериментов с внесением на поверхность почвы некоторых долгоживущих радионуклидов или с моделированием радиоактивных атмосферных выпадений их на вегетативные органы хвойных растений проведена группой авторов (Тихомиров, 1972, 1973; Тихомиров и др., 1968, 1971, 1972). Дальнейшее расширение работ в этом плане представляет несомненный научный и практический интерес.

Настоящая работа посвящена изучению влияния острого предпосевного и внешнего хронического облучения на семена и сеян-

цы сосны обыкновенной *Pinus silvestris* L. . При проведении исследований основное внимание было обращено на решение следующих задач :

1. Определение границ радиочувствительности воздушно-сухих и набухших семян.
2. Изучение отдаленных последствий предпосевного облучения семян на рост и развитие сеянцев.
3. Установление влияния сроков посева семян в загрязненную стронцием-90 почву на время и степень проявления радиобиологического эффекта.
4. Изучение накопления и распределения стронция-90 в сеянцах разного возраста в зависимости от толщины верхнего слоя почвы, содержащего излучатель, и от уровня загрязнения её радионуклидом.
5. Сопоставление величины дозы облучения со степенью и временем проявления радиобиологических эффектов у сеянцев при разных режимах облучения.

Диссертационная работа состоит из следующих основных разделов: I. Введение; II. Материал и методика; III. Результаты опытов и их обсуждение; IV. Заключение; V. Литература.

Объем диссертации 160 страниц с 41 рисунком и 16 таблицами. Список литературы включает 154 отечественных и 62 иностранных работы.

«МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для исследований служили семена и сеянцы сосны обыкновенной. В качестве критериев для оценки их радиочувствительности были использованы энергия прорастания и всхожесть семян, выживаемость проростков и сеянцев, а также ростовые реакции последних. Начальные этапы роста растений имеют решающее значение для дальнейшего успешного их произрастания, учет же ряда критериев позволяет полнее охарактеризовать развитие изменений, вызванных в них воздействием радиационного фактора.

Все опыты проведены в 3-х повторностях; полученный цифровой материал подвергнут соответствующей математической обработке.

Опыты с предпосевным гамма - облучением семян проводили в лабораторных и полевых условиях. В лабораторных опытах необлученные (контроль) и облученные в дозах 25, 50, 100, 250, 500, 1000, 2500, 4000 и 6000 рад воздушно-сухие и набухающие семена проращивали на чашках Петри с влажным песком при температуре +24°C. Мощность гамма-источника Co^{60} - 2200 рад/час; влажность воздушно-сухих семян - 8,0, набухающих одни и трое суток - 37,4%. На протяжении эксперимента производили ежедневную регистрацию проросших семян, после чего их высаживали на питательный субстрат (влажный песок с добавлением смеси Кнопа) и выращивали в течение 80 дней. По окончании опыта определяли энергию прорастания и всхожесть семян, а также выживаемость проростков.

В вегетационных опытах необлученные и облученные в воздушно-сухом состоянии в дозах 100, 250, 500, 1000, 2500 и 5000 рад семена высевали в деревянные ящики, заполненные смесью дерново-луговой почвы и песка (2:1 по объему). В дальнейшем регистрировали время появления всходов, количество сеянцев и их выживаемость в опытных и контрольном вариантах. В конце каждого из 8-х вегетационных сезонов производили частичную разборку опыта для учета ряда количественных признаков у сеянцев (количество хвощков, побегов; длина отдельных органов и их воздушно-сухой вес и др.). В течение всего времени проводили визуальные наблюдения за ростом и развитием растений.

Опыты с хроническим гамма - облучением сеянцев сосны проводили в условиях гамма-поля. В качестве излучателя использовали источник Co^{60} общей радиоактивностью 21 г-экв. радия. Семена сосны высевали в вегетационные сосуды, наполненные почвенно-песчаной смесью; после появления всходов сосуды расставляли на гамма-поле таким образом, чтобы растения каждой группы сосудов получали за сутки 0,5; 5, 10, 20, 30 или 50 р. Контрольные растения находились за пределами гамма-поля. Для изучения хода роста и развития сеянцев через 35, 70, 105 и 140 дней после начала облучения производили разборку в сосудов каждого варианта опыта. При разборке растения делили на хвост, стебли и корни, а также подсчитывали количество хвощков и определяли

ли сухой вес отдельных органов.

В вегетационных опытах с внесением в почву и излучателя использовали радиоактивный изотоп стронция-90 квалификации "РХЧ" в виде хлористого соединения без добавления носителя. В контрольном варианте стронций-90 в почву не вносили. Методика постановки опытов была следующей.

а). Внесение различных количеств стронция-90 в одинаковые по глубине слои почвы. Деревянные ящики наполняли просеянной дерново-луговой почвой, равномерно перемешанной с излучателем. Концентрация радионуклида в разных вариантах опыта составляла 0,001; 0,01; 0,1 и 1,0 мкюри/кг воздушно-сухой почвы. В почву контрольного и опытных вариантов вносили по 100 штук семян на каждую повторность. В течение 4-х лет проводили визуальные наблюдения за развитием растений. В начале и конце каждого вегетационного сезона отбирали пробы почвы и растений - из каждой повторности по 3 средних образца. У сеянцев измеряли длину хвоинок, гипокотыля, верхушечных побегов и корней, а также учитывали количество хвоинок, боковых корней и определяли вес воздушно-сухой массы растений.

Радиометрические измерения проб почвы и воли растений проводили на радиометре типа Б-3 с помощью торцевой трубки БФД - Т - 25 при статистической ошибке счета не выше 5%. Ввиду, где было необходимо, вводили поправки на распад радиоизотопа в течение опыта и на самопоглощение. Полученные радиометрические данные использовали для расчета доз внешнего облучения верхушечной почки и корней сеянцев (Горшков, 1967). Доза внутреннего облучения, ввиду её малого вклада в общую дозу, в расчет не принималась (Карабань, Тихомиров, 1967).

б). Внесение одинакового количества стронция-90 в различные по глубине слои почвы. Для проведения опыта использовали вегетационные сосуды. Стронций-90 вносили в количестве 0,6 мкюри на один сосуд, при этом в разных вариантах опыта толщина радиоактивного слоя почвы составляла 2, 5, 10 и 20 см при концентрации радионуклида в слое внесения 1,0; 0,4; 0,2 и 0,1 мкюри/кг воздушно-сухой почвы, соответственно.

При сохранении общей схемы эксперимента в части сосудов посев семян в почву производили в начале июня, а в остальных-

- в конце сентября того же года; конечную же разборку опыта - в конце августа следующего года. В каждый сосуд высевали по 50 семян. Отбор проб почвы и растений, визуальные наблюдения за развитием растений, учет количественных показателей роста растений, а также радиометрические измерения проб почвы и золь растений и расчет доз внешнего облучения отдельных органов сеянцев проводили аналогично описанию в предыдущем опыте со стронцием-90.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Экспериментальный раздел работы состоит из 4-х частей :
А. Влияние предпосевного гамма-облучения на прорастание семян, рост и развитие сеянцев сосны обыкновенной; Б. Влияние хронического гамма-облучения на рост и развитие сеянцев сосны обыкновенной; В. Влияние стронция-90 на рост и развитие сеянцев сосны обыкновенной в зависимости от содержания радионуклида в почве; Г. Влияние стронция-90 на рост и развитие сеянцев сосны обыкновенной в зависимости от вертикального распределения радионуклида в почве.

А. Влияние предпосевного гамма-облучения на прорастание семян, рост и развитие сеянцев сосны обыкновенной.

В серии лабораторных опытов изучена реакция семян сосны на облучение. Для этой цели использовали такие показатели, как энергия прорастания, общая всхожесть семян и выживаемость проростков.

Проведенные опыты показали, что в исследованном интервале доз снижение энергии прорастания воздушно-сухих семян (60% от контроля) происходит при облучении их в дозе 1000 рад, а общей всхожести (70% от контроля) - при 2000 рад. Облучение семян, находящихся в состоянии одно- и трехсуточного набухания, в дозе 1000 рад снижает их энергию прорастания в 2-6 раз по сравнению с таковой у воздушно-сухих семян. Доза облучения 2000 рад является летальной по обоим показателям для семян с односуточным сроком набухания.

В варианте с облучением семян, набухавших трое суток, да-

же при воздействии на них в дозах 4000 и 6000 рад часть семян (10-20%) регистрируются как проросшие. Однако, отмеченная всхожесть не является показателем их истинного прорастания ; наличие же внешне нормального корешка обусловлено не делением клеток в процессе митоза, а вакуолизацией и растяжением меристематических клеток при набухании. Отсутствие таких семян в опыте с облучением их после одностороннего набухания может быть объяснено тем, что при облучении их в массивной дозе ингибирование процессов, подготавливающих семя к прорастанию, происходит на начальных этапах.

Сказанное подтверждают результаты опыта, в котором радиочувствительность семян оценивали с помощью критерия выживаемости проростков : в вариантах с облучением набухших семян в дозах 4000 и 6000 рад отмечено полное отсутствие всходов. Снижение же числа нормально развивающихся проростков из семян, облученных в состоянии набухания, отмечено по этому критерию при дозе облучения 500 рад. В опыте с облучением воздушно-сухих семян по всем трем оценочным критериям не отмечено существенных различий в величинах эффективных доз.

Проведенные исследования подтверждают вывод, полученный многими авторами на других видах растений, об увеличении радиочувствительности семян в процессе перехода от воздушно-сухого состояния к набуханию. С помощью ряда критериев установлены границы радиочувствительности семян сосны обыкновенной, находящихся на разных стадиях физиологического развития.

Изучение отдаленных последствий предсевного гамма-облучения воздушно-сухих семян сосны на рост и развитие сеянцев проводили в вегетационных условиях. Наблюдения показали, что полевая всхожесть семян в вариантах с облучением их в дозах 100, 250, 500 и 1000 рад не отличалась от контроля. У сеянцев этих вариантов опыта не было различий и по времени формирования первичной хвои и верхушечного побега, а к концу 1-го вегетационного сезона воздушно-сухой вес отдельных органов и особенно целого растения были выше, чем в контроле. Увеличение воздушно-сухого веса сеянцев в варианте с облучением семян в дозе 250 рад сохранялось также на 2-м и 3-м году их жизни, а в остальных вариантах опыта (100, 500 и 1000 рад) этот эффект носил временный характер и к концу 8-го вегетационного

сезона воздушно-сухой вес семян и их прирост были даже несколько ниже контрольных.

В варианте с облучением семян в дозе 2500 рад период появления всходов значительно растянут во времени. Отмечена повышенная гибель семян от поражения корневой шейки грибом, появление первичной хвои и верхушечного побега зарегистрированы на 8-10 дней позднее нормы. На протяжении 3-х лет опыта сеянцы отставали в росте и развитии, что проявлялось в уменьшении прироста, воздушно-сухого веса растений, ажурности хвои. Кроме того, к концу 3-го года жизни среди семян этого опытного варианта появились растения-уроды различного вида, у которых либо вовсе отсутствовали верхушечные побеги 3-го года жизни, а на стволовой части и на развитых боковых побегах находилась редкая, сильно утолщенная по сравнению с нормальной, парная хвоя; либо, вместо парной хвои, на верхней части стебля развивалась длинная, спиралевидно-изогнутая одиночная хвоя; реже встречались сеянцы с двумя стволами или с хвоей, загнутой концами внутрь и образовавшей беспорядочное сплетение типа "ведьминых метел". Число уродливых растений составляло около 14%.

На 2-м году жизни у семян отмечено растущее с увеличением дозы облучения семян число пазушных почек, которые на следующий год развились в боковые побеги в том же соотношении.

Анализ всего полученного в этом опыте материала показывает, что проявление отдаленных последствий гамма-облучения семян имеет место во всех опытных вариантах и сказывается в различного рода отклонениях от нормы у семян.

Б. Влияние хронического гамма-облучения на рост и развитие семян сосны обыкновенной.

Наблюдения за ростом и развитием семян в разных вариантах опыта на протяжении одного вегетационного сезона показали, что при суточном облучении их в дозах 0,5 и 5 р не имелось существенных внешних различий от контроля.

У семян в варианте с суточным облучением 50 р вся хвоя одномесячных семян приобрела красновато-фиолетовую окраску, а еще через месяц число первичной хвои составляло лишь 16% от

контроля. Вследствие ранней гибели точки роста верхушечный побег не развился. К концу опыта сеянцы были практически нежизнеспособны.

Таблица I.

Лучевое повреждение сосны
под действием хронического облучения Co^{60}

Реакция сеянцев на облучение	р/сутки	Общая до- за облу- чения, р	Продолжитель- ность облуче- ния, сутки
Повреждения отсутствуют	0,5 5,0	70 700	140
Появление фиолетового ок- рашивания кончиков хвои	20 30	600 900	80
Окраска хвои фиолетовая. Со- кращение прироста сеянцев на 40-60%, уменьшение количест- ва первичной хвои на 30-60%.	10 20	900 1800	90
Увеличение числа боковых по- чек и длины главного корня (10 и 20 р/сутки).	50	1500	80
Сильное угнетение роста кор- ней, прекращение прироста.	30	2700	90
Количество хвоинок составля- ет 16-30% в сравнении с кон- тролем. Воздушно-сухой вес сеянцев уменьшается на 50%.	50	3500	70

В вариантах с суточными дозами облучения 10, 20 и 30 р к концу вегетационного сезона эффект действия радиации на рас-
тения проявился довольно отчетливо и по ряду показателей (чи-

сло хвоинок, длина верхушечного побега, воздушно-сухой вес отдельных органов и целого растения) имел характер дозовой зависимости. Кроме того, в вариантах с мощностью дозы облучения 10 и 20 р/сутки отмечено достоверное, по сравнению с контролем, увеличение числа боковых почек и длины корней; при суточной дозе облучения 80 р происходило, напротив, угнетение роста корня в длину, а боковые почки были мелкими, зелеными в сравнении с более крупными, бурными, засмоленными у контрольных растений.

Проведенные опыты показали, что хроническое гамма-облучение семян сосны на первом году их жизни вызывает у них различные морфобиологические изменения, степень выраженности которых зависит от величины накопленной дозы. На основании полученных в опыте результатов установлены границы доз, вызывавших те или иные эффекты (табл. I).

В. Влияние стронция-90 на рост и развитие семян сосны обыкновенной в зависимости от содержания радионуклида в почве.

Как уже было указано выше, концентрация стронция-90, при равномерном распределении его во всем объеме почвы, составляла в опытных вариантах 0,001; 0,01; 0,1 и 1,0 мкюри/кг. Изучали радиобиологическое действие излучателя на семена сосны и накопление и распределение в них стронция-90.

Наблюдения показывали, что всходы во всех вариантах опыта появились одновременно. В дальнейшем в течение 3-х вегетационных сезонов в вариантах с концентрацией стронция-90 в почве 0,001; 0,01 и 0,1 мкюри/кг выживаемость, рост и развитие семян также не отличались от контроля. На 4-м году жизни в вариантах с содержанием стронция-90 в почве 0,01 и 0,1 мкюри/кг у семян отмечено достоверное уменьшение прироста, а к концу этого вегетационного сезона во всех вариантах с внесением стронция-90 в почву отмечено угнетение микоризообразования и ветвления корней, а также явление "голдствольности": массовый опад хвоя, сформировавшаяся за первые три вегетационных сезона. К концу 4-го вегетационного сезона наряду со снижением прироста у семян установлено также уменьшение воздушно-сухого веса.

В варианте с концентрацией стронция-90 в почве 1,0 микро/кг угнетающее влияние излучателя сказалось уже на самых ранних этапах развития сеянцев: появление верхушечной почки, ювенильной хвои и верхушечного побега зарегистрировано на 5-14 дней позднее, чем в контроле. Число ювенильных хвоинок у сеянцев этого варианта опыта было также значительно меньше, при этом они так и остались в виде пучка у верхушечной почки, т.к. рост верхушечного побега практически отсутствовал; отмечено угнетение роста главного корня и резкое снижение ветвления и отсутствие вильчатой микоризы у корней. К концу 1-го вегетационного сезона выживаемость сеянцев составляла лишь 10% от контроля, а после перезимовки все сеянцы погибли.

Сопоставление морфобиологических отклонений у сеянцев опытных вариантов с контролем и величин расчетных доз для верхушечной почки и корней показывает следующее. В варианте с концентрацией стронция-90 1,0 микро/кг почвы (мощность дозы 30 рад/сутки) угнетение роста сеянцев отмечено при величине поглощенной дозы для верхушечной почки - 700 и для корней - 1400 рад; полное прекращение ростовых процессов происходит при накоплении поглощенной дозы для верхушечной почки - 1250 и для корней - 2500 рад. При концентрации радионуклида 0,1 микро/кг почвы (3 рад/сутки) отрицательный радиобиологический эффект проявляется к концу 4-го вегетационного сезона при накоплении общей дозы облучения для верхушечной почки - 1500 и для корней - 3000 рад.

Данные радиометрического анализа проб почвы и растений использовали не только для расчета поглощенных доз, накопленных сеянцами в процессе жизнедеятельности, но и для изучения особенностей накопления и распределения стронция-90 в растениях при разных уровнях содержания радионуклида в почве. Полученные результаты показали, что между содержанием радионуклида в почве и растениях существует прямая зависимость, сохраняющаяся в продолжение всего времени опыта. В нормально развивающихся сеянцах стронций-90 поступает в надземную часть в большем количестве, чем в корни; однако под влиянием вызванных облучением изменений в развитии растений возможно перераспределение радионуклида. Вынос стронция-90 надземной массой

сеянцев определяется, в основном, нарастанием их биомассы; процент выноса радионуклида практически не зависит от концентрации его в почве.

Сосна обыкновенная не является видом-накопителем стронция-90. Коэффициенты накопления стронция-90 для сеянцев сосны близки к единице и на их величину не влияют ни возраст сеянцев, ни содержание радионуклида в почве.

Г. Влияние стронция-90 на рост и развитие сеянцев сосны обыкновенной в зависимости от вертикального распределения радионуклида в почве.

В описываемых опытах изучали зависимость всхожести семян, роста и развития сеянцев, а также накопления в них стронция-90 от распределения излучателя по профилю почвы (при одинаковом исходном количестве его в расчете на единицу площади) и от сроков посева семян в почву. Полученные результаты показали, что накопление стронция-90 в сеянцах сосны в условиях проведенного опыта не зависит от вертикального размещения радионуклида по профилю почвы; закономерности, характеризующие поведение радионуклида в системе почва-растение, в основном, те же, что и в предыдущем опыте со стронцием-90. Там же было показано, что рост и развитие сеянцев сосны зависят от концентрации радионуклида в почве, что, в конечном счете, определяет величину поглощенной дозы, накопленной зародышем семени или верхушечной меристемой растения. В этом плане далеко не безразличны сроки посева семян в загрязненную почву.

Основные результаты этих опытов приведены в таблице 2. При анализе данных таблицы обращает на себя внимание то обстоятельство, что в опыте с весенним сроком посева семян в загрязненную радионуклидом почву, при накоплении ими дозы в 660 рад всхожесть понизилась в 3 раза, а в опыте с осенним посевом при той же дозе облучения эффект отсутствует. Объяснением к этому может служить, видимо, то, что в первом случае большая доля облучения приходится на набухающие семена, обладающие высокой радиочувствительностью, а во втором случае основная часть дозовой нагрузки приходится на покоящиеся семена,

Таблица 2.

Поглощенная доза облучения и основные биологические эффекты для семян соны обыкновенной в зависимости от вертикального распределения стронция-90 в почве и сроков посева семян (опыт I - весенний посев, опыт 2 - осенний посев).

Глубина радио-активного слоя почвы, см	Концентрация стронция-90 в почве, мкюри/кг	Опыт I				Опыт 2				Эффект		
		Семена, рад	Эффект	Верхушечная почва 3-мес-ных семян	Эффект	Верхушечная почва 14-мес-ных семян	Эффект	Семена, рад	Эффект		Верхушечная почва 2-мес-ных семян	
2	1,0	660	Взо- стль по- низи - 3 раза	1950	Семена погиб- ли	-	-	6900	100% по- тери вско- жести	-	-	-
5	0,4	220	Вско- жесть по- низи - 2 раза	760	Гибель семян на 26%, уменьше- ние прироста, ветвления кор- ней и веса рас- тений	2540	Гибель 88% се- янцев, остав- шиеся неизне- способны	2700	Вско- жесть по- низи 3,5 ра- за	310	Гибель 50% се- янцев, верхуш- ечный побег отсутствует. Торможение ро- ста и уменьше- ние веса рас- тений	Гибель 50% се- янцев, верхуш- ечный побег отсутствует. Торможение ро- ста и уменьше- ние веса рас- тений
10	0,2	110	Незна- чителен	380	Гибель семян на 15%, атроле- ния от контроля в росте и разви- тии незначитель- ны	1270	Гибель 51% се- янцев. Снижение прироста сеян- цев, ветвления корней и общего веса	1880	Незна- чите- лен	150	Незна- чите- лен	Гибель 20% се- янцев, угнете- ние роста и снижение веса семянцев
20	0,1	50	Отсут- ствует	190	Отсутствует	770	Отсутствует	690	Отсут- ствует	80	Гибель 10% семянцев	Гибель 10% семянцев

обладающие высокой радиоустойчивостью к облучению. Эквивалентное действие облучения на семена — снижение их всхожести в 3–3,5 раза — происходит при облучении их в дозе 660 рад в опыте с весенним посевом и при облучении их в дозе 2700 рад в случае осеннего посева семян.

Особенно четко влияние срока посева семян в загрязненную радионуклидом почву видно при сравнении данных, полученных в варианте с толщиной радиоактивного слоя 5 см : в опыте I при дозе облучения 220 рад всхожесть семян понизилась в 2 раза, а в опыте 2 при повышении дозы облучения в 12 с лишним раз всхожесть семян снизилась лишь в 3,5 раза.

С другой стороны, в опыте с весенним посевом семян в почву явления угнетения роста, снижения воздушно-сухого веса, повышенной гибели сеянцев регистрируются при значительно больших величинах поглощенной дозы для верхушечной почки, чем в опыте с посевом семян осенью. Очевидно, что общий эффект в том и другом опыте определяется величиной суммарной дозы, накопленной как семенами до их прорастания, так и вегетирующими растениями. Однако, при всех прочих равных условиях, в опыте с весенним сроком посева семян в почву, содержащую стронций-90, величина эффективной дозы ниже, а проявление эффекта по времени наступает позднее: в опыте I гибель 50% сеянцев происходит на втором году жизни сеянцев при суммарной поглощенной дозе облучения 1760 рад (семена + вегетирующие растения), а в опыте 2 — у сеянцев I-го года жизни при суммарной поглощенной дозе 3010 рад.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установление наиболее характерных признаков радиационного повреждения и соответствующей шкалы доз является основой для прогнозирования возможных последствий облучения живых организмов. Результаты проведенных опытов показали, что при разных режимах облучения проявление тех или иных отклонений у сеянцев (снижение выживаемости, роста и сухого веса, изменение окраски хвои и др.) происходит в сравнительно узком диапазоне доз. Изменение окраски хвои сеянцев сосны может служить одним из первых индикационных признаков их лучевого

повреждения при мощности дозы облучения, превышающей 10 рад в сутки. При меньшей мощности дозы облучения значительное торможение деятельности верхушечной почки сеянцев наступает при величине поглощенной дозы 1500-2500 рад, а гибель сеянцев - при 3500-5000 рад. В некоторых случаях торможение деятельности верхушечной почки вызывает изменение (увеличение) бокового побегообразования, что, повидимому, связано с нарушением внутренних ростовых взаимосвязей между органами растений (Березина, 1964; Васильев, 1962; Шутов, 1966; Sak, Schalrer , 1963).

Угнетение роста сеянцев сосны к концу 4-го вегетационного сезона происходит даже при сравнительно небольшой мощности дозы облучения - 3 рад/сутки (концентрация стронция-90 в почве 0,1 мкюри/кг); облучение сеянцев в дозах 30-50 рад/сутки вызывает у них необратимые изменения уже на первом году жизни. Следовательно, учитывая высокую поражаемость хвойных пород, например, в условиях загрязнения почвы долгоживущими радионуклидами, необходимо применение таких агротехнических приемов, которые позволили бы снизить лучевой эффект. Одним из таких приемов может быть снижение концентрации излучателя в верхнем слое почвы путем перемешивания его с нижними нерадиоактивными слоями (Карабань и др., 1971), при этом расчет глубины слоя перемешивания производится с учетом концентрации радионуклида в верхнем слое. Нами экспериментально показано, что при концентрации стронция-90 в двух- и пятисантиметровом слоях почвы соответственно в количествах 1,0 и 0,4 мкюри/кг наблюдается гибель сеянцев или значительное угнетение их роста и развития. Перемешивание этих слоев на глубину до 20 см снижает дозу внешнего облучения верхушечной почки и обеспечивает нормальное существование сеянцев в первые годы их жизни.

Успешное произрастание сеянцев в значительной степени зависит от величины общей дозы, полученной семенами к моменту их прорастания. При этом существенно то, на какой момент развития семени приходится ооьшая часть дозовой нагрузки: T_{d50} для воздушно-сухих семян сосны ≈ 2500 рад, а для набухающих - около 1000 рад по критерию лабораторной всхожести. Следовательно, семенное возобновление в условиях загрязнения почвы стронцием-90 зависит от скорости прорастания семян : при оп-

тимальных условиях время с начала набухания до прорастания минимальное; неблагоприятные условия, задерживая прорастание семян, способствуют тем самым увеличению поглощенной дозы облучения.

В этой же связи изучено влияние сроков посева семян сосны в загрязненную радионуклидом почву на их всхожесть и дальнейший рост и развитие сеянцев. При осеннем посеве семян в такую почву кумулятивная доза облучения их почти на порядок выше, чем при весеннем, что соответственно сказывается на времени проявления радиационного эффекта у сеянцев.

Последствия острого гамма-облучения семян сказываются не только на начальных этапах их развития (всхожесть); в зависимости от дозы предпосевного облучения в дальнейшем происходит угнетение либо стимуляция ростовых процессов растений, а при воздействии на семена сосны в дозах, являющихся "критическими" (Привалов, 1968, 1964, 1965) - появление уродливых форм среди сеянцев 3-го года жизни.

В результате проведенных экспериментов установлена четкая зависимость между содержанием стронция-90 в почве (в диапазоне концентраций от 0,001 до 1,0 мкюри/кг) и в сеянцах сосны равного возраста. С учетом необходимых поправок полученные нами данные по радиочувствительности семян и сеянцев сосны, по накоплению и распределению в них радионуклида могут быть использованы как при прогнозировании последствий облучения леса, так и при расчетах поглощенных доз и построения модельной схемы миграции стронция-90 в лесных ценозах.

В ы в о д ы

1. Изучено влияние острого предпосевного, хронического в условиях гамма-поля и хронического в условиях загрязнения почвы стронцием-90 облучения на всхожесть семян, рост и развитие сеянцев сосны обыкновенной. В каждом конкретном случае установлена зависимость между величиной общей поглощенной дозы и степенью проявления радиационного эффекта.

2. Установлено, что радиационный эффект у прорастающих семян сосны обыкновенной увеличивается, с одной стороны, по мере перехода их от воздушно-сухого состояния к набуханию и, с другой

- по мере увеличения дозы предпосевного гамма-облучения. При использовании ряда критериев определены границы радиочувствительности семян, находящихся в различном физиологическом состоянии: для воздушно-сухих $2d_{50} \approx 2-2,5$; $2d_{100} = 4-6$ крад; для набухающих $2d_{50} = 0,7-1,0$; $2d_{100} = 2$ крад.

3. Рост и развитие сеянцев сосны в первые 3 года жизни зависят от величины дозы предпосевного гамма-облучения семян. Облучение семян в дозах 100, 500 и 1000 рад (мощность дозы 2200 рад/час) не оказывает заметного влияния на грунтовую всхожесть и выживаемость сеянцев, но к 3-му году жизни приводит к снижению их охвоенности и воздушно-сухого веса. Предпосевное облучение семян в дозе 250 рад оказывает стимулирующее действие на ростовые процессы у сеянцев (увеличение воздушно-сухого веса). Облучение в дозе 2500 рад задерживает появление всходов и снижает грунтовую всхожесть и выживаемость сеянцев в 2-2,5 раза; выжившие сеянцы отстают в росте и развитии, а к концу 3-го года жизни среди них формируются уродливые растения, составляющие около 14% от общего числа.

Под влиянием острого предпосевного гамма-облучения семян сосны в дозах от 100 до 2500 рад у сеянцев 3-го года жизни происходит увеличение числа пазушных почек, из которых в дальнейшем развиваются боковые побеги.

4. Хроническое гамма-облучение сеянцев сосны на первом году их жизни в дозах 0,5; 5, 10, 20, 80 и 50 р/сутки вызывает различные морфофизиологические изменения, степень выраженности которых зависит от величины накопленной дозы. При величине накопленной дозы, меньшей 700 р, изменения в росте и развитии сеянцев отсутствуют; увеличение её до 900 р приводит к частичному изменению окраски хвои и незначительным изменениям в росте сеянцев. При дозе облучения 1500-1800 р происходит полное изменение окраски хвои, число боковых почек увеличивается, а прирост сеянцев и их охвоенность в сравнении с необлученным контролем снижаются в 3 раза.

5. При концентрации стронция-90 в почве 1,0 микрои/кг значительное угнетение роста и гибель сеянцев происходит уже на первом году их жизни; снижение концентрации радионуклеида в почве соответственно отодвигает время проявления радиационного эффекта.

6. При одинаковом содержании стронция-90 в почве (в расчете на единицу площади) лучевое поражение сосны в значительной степени зависит от вертикального распределения радионуклида по почвенному профилю: оно тем вероятнее, чем большая часть радиоактивного стронция удерживается в поверхностных слоях почвы, где прорастают и развиваются семена растений. Снижение концентрации стронция-90 в верхних слоях почвы за счет перемешивания их с нижележащими нерадиоактивными слоями уменьшает повреждающее действие радионуклида на семенное возобновление сосны.

7. При одинаковых уровнях загрязнения почвы стронцием-90 проявление радиационного эффекта у семян зависит от длительности нахождения семян в почве до их прорастания, что в конечном итоге определяет величину накопленной ими общей дозы облучения; по этой причине в случае осеннего посева семян в загрязненную почву угнетающее действие радиации на их грунтовую всхожесть и развитие семян сказывается сильнее, чем при весеннем посеве.

8. Изучены закономерности распределения и накопления стронция-90 в сеянцах сосны на почвах с равномерным распределением излучателя по всему корнеобитаемому слою (в интервале концентраций от 0,001 до 1,0 мюри/кг почвы). Установлено, что содержание стронция-90 в растениях линейно зависит от концентрации его в почве и от времени произрастания сеянцев (биомассы). Величина коэффициента накопления стронция-90 для сеянцев сосны не изменяется во времени и не зависит от концентрации радионуклида в почве. Отмечен надземный тип распределения стронция-90 в сеянцах сосны.

9. Полученные в настоящей работе экспериментальные данные в дальнейшем могут быть использованы при прогнозировании накопления и распределения стронция-90 в подросте сосны и последствии облучения лесных ценозов.

Основные положения диссертации опубликованы
в следующих работах автора

1. О действии излучателей на фитоценозы и влиянии последних на миграцию и перераспределение радиоизотопов в почве. Труды Института биологии УФАН СССР, 1962, вып.22 (в соавт. с Н.В.Куликовым, Н.А.Порядковой и Н.В.Тимофеевым-Ресовским).

2. Влияние травяного покрова на горизонтальную миграцию радиоизотопов кобальта, стронция, рутения, цезия и церия. Труды Института биологии УФАН СССР, вып.45, 1965 (в соавт. с Н.А.Порядковой).

3. О поглощении и выделении радиоизотопов фосфора, кобальта, стронция, рутения, цезия и церия растениями гороха и пшеницы. Там же (в соавт. с Н.А.Порядковой).

4. Изменение лучевых поражений в семенах и проростках под воздействием магнитного поля. Материалы симпозиума по проблемам радиочувствительности на молекулярном, клеточном и организменном уровнях. Новосибирск, 1966 (в соавт. с А.А.Позолотиним).

5. О комбинированном воздействии магнитного поля и гамма-облучения на семена сосны обыкновенной. Тезисы доклада на совещании по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. Москва, 1966 (в соавт. с А.А.Позолотиним).

6. Ионизирующая радиация и основные лесобразующие породы Урала. Материалы Уральской зональной конференции по лесному хозяйству " Леса Урала и хозяйство в них ". Свердловск, 1968, вып.2 (в соавт. с П.И.Юшковым).

7. Влияние загрязнения почвы радиоизотопами стронция и цезия на семена сосны обыкновенной. Материалы симпозиума по миграции радиоактивных элементов в наземных биогеоценозах. Москва, 1968 (в соавт. с П.И.Юшковым и Н.В.Куликовым).

8. О радиозащитном действии предварительного облучения на семена сосны обыкновенной. Тезисы доклада на Второй республиканской конференции " Механизмы биологического действия ионизирующих излучений ". Львов, 1969 (в соавт. с Н.В.Куликовым).

9. Влияние гамма-лучей кобальта-60 на семена некоторых видов хвойных растений. Труды Института экологии растений и животных УФАН СССР, 1970, вып.74

10. Влияние постоянного магнитного поля на гамма-облученные семена сосны обыкновенной. Труды Института экологии растений и животных УФАИ СССР, 1970, вып.74 (в соавт. с А.А.Позолотинным).

11. Влияние предпосевного облучения семян на развитие сеянцев сосны обыкновенной. Там же (в соавт. с П.И.Кожковым).

12. Биологическое действие радионуклидов стронция и цезия на сеянцы сосны обыкновенной. Материалы I Всесоюзного симпозиума по радиобиологии растительного организма. Киев, 1970 (в соавт. с П.И.Кожковым).

13. Некоторые особенности формирования сеянцев сосны обыкновенной при предпосевном облучении семян. Там же.

14. Формирование сеянцев сосны обыкновенной на почвах, загрязненных стронцием-90 и цезием-137. Материалы III Уральского совещания по физиологии и экологии древесных растений. Уфа, 1970.

15. Изменение радиочувствительности растений в результате предварительного лучевого воздействия. Радиобиология, 1971; т. II, № 4 (в соавт. с Н.В.Куликовым, Л.К.Альшиц, А.А.Позолотинным).

16. Особенности накопления стронция-90 и цезия-137 в сеянцах сосны обыкновенной при разной плотности загрязнения почвы. Материалы Всесоюзного симпозиума " Теоретические и практические аспекты действия малых доз ионизирующей радиации ". Сыктывкар, 1973 (в соавт. с П.И.Кожковым).

17. Влияние температуры проращивания на устойчивость к гамма-излучениям Co^{60} семян сосны обыкновенной. Материалы I Всесоюзной конференции " Проблемы физиологии и биохимии древесных растений ". Красноярск, 1974, вып.4 (в соавт. с П.И.Кожковым и В.В.Сидоровым).

18. Накопление и биологическое действие стронция-90 на ранних стадиях развития *Pinus silvestris* L. . Труды Института экологии растений и животных УНЦ АН СССР, 1975, вып.95 (в соавт. с П.И.Кожковым).

19. Биологическое действие Sr^{90} на сеянцы сосны (*Pinus silvestris* L.) в зависимости от вертикального распределения радионуклида в почве. Там же (в соавт. с П.И.Кожковым и Н.В.Куликовым).

20. General migration regularities of fission products in forest biogeocenoses and influence of incorporated radionuclides on woody plants. Abstracts of symposium of radioecology. Centre d'etudes nucleaires de Cadarache, 8-12 september, 1969 (в соавт. с Р.М.Алексахиним, Р.Т.Карабанем, Н.В.Куликовым, А.А.Молчановым, М.А.Нарышкиным, Ф.А.Тихомировым, Э.Б.Тиржановой, П.И.Кожковым).

21. Some aspects of radioactive fission of ionizing radiations on the woody plants. Symposium Internationale de radioecology, vol.11. Centre d'etudes nucleaires de Cadarache, 8-12 september, 1969 (в соавт. с Р.М.Алексахиним, Р.Т.Карабанем, Н.В.Куликовым, А.А.Молчановым, М.А.Нарышкиным, Ф.А.Тихомировым, Э.Б.Тиржановой, П.И.Кожковым).

Материалы диссертации доложены на следующих научных совещаниях

1. Симпозиум по проблемам радиочувствительности на молекулярном, клеточном и организменном уровнях. Новосибирск, 1966.
2. Уральская зональная конференция по лесному хозяйству " Леса Урала и хозяйство в них ". Свердловск, 1968.
3. Симпозиум по миграции радиоактивных элементов в наземных биогеносах. Москва, 1968.
4. Вторая республиканская конференция " Механизмы биологического действия ионизирующих излучений ". Львов, 1969.
5. Международный симпозиум по радиозологии. Франция, Кадараш, 1969.
6. I Всесоюзный симпозиум по радиобиологии растительного организма. Киев, 1970.
7. III Уральское совещание по физиологии и экологии древесных растений. Свердловск, 1970.
8. Всесоюзный симпозиум " Теоретические и практические аспекты действия малых доз ионизирующей радиация ". Сыктывкар, 1978.

ПОДПИСАНО К ПЕЧАТИ 5/IX 1975 г. ФОРМАТ 80x84 1/16
ОБЪЕМ 1,5 ПЕЧ.Л. ТИРАЖ 170 ЗАКАЗ 1989
ЦЕХ № 4 ОБЪЕДИНЕНИЯ "ПОЛИГРАФИСТ",
СВЕРДЛОВСК, ТУРГЕНЕВА, 20