

ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ И ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ПОПУЛЯЦИИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПРОИЗРАСТАЮЩИЕ НА ТЕРРИТОРИЯХ С КОНТРАСТНЫМ УРОВНЕМ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

Васильев Д.В., Кузьменков А.Г.

В настоящее время общепризнано, что система нормирования радиационного воздействия на биоту должна ориентироваться на защиту популяций [1]. Но для эффективного нормирования необходимо учитывать, что в естественных условиях популяции испытывают воздействие комплекса естественных и антропогенных факторов. Надо знать какой эффект вызывают изучаемые факторы на разных уровнях организации живого, чтобы представлять степень их опасности. Важно иметь представление о динамике воздействия изучаемых факторов. Для этого необходимы комплексные, долговременные наблюдения за растениями и животными в естественных условиях их обитания. Вместе с тем, существует острый дефицит информации о радиационно-индуцированных эффектах у представителей живой природы в условиях хронического облучения в естественной среде обитания [2; 3], а примеры организации наблюдений в течение ряда последовательных лет являются единичными [4; 5].

Целью настоящей работы была оценка цитогенетических эффектов и репродуктивной способности популяций сосны обыкновенной в отдалённый период после аварии на Чернобыльской АЭС.

На протяжении одиннадцати лет исследовали популяции сосны (*Pinus sylvestris* L.) Брянской области, населяющие контрольные участки: К; К1 и территории наиболее загрязнённые радионуклидами, находящиеся примерно в 200 - 250 км от Чернобыльской АЭС: ВИУА (ВИУА); Старые Бобовичи (СБ); Заборье поле (ЗП); Заборье кладбище (ЗК), характеризующиеся высоким представительством сосновых деревьев в фитоценозе, однородностью типа и физико-химических свойств почв, а также уровнем техногенного загрязнения.

В качестве тест объекта была выбрана сосна обыкновенная. Это основной лесообразующий вид эдификатор Северной Евразии. Обладая высокой радиочувствительностью, она стала одним из референтных биологических видов, на которых базируется современная концепция радиационной защиты окружающей среды [1]. Наиболее чувствительны к воздействию ионизирующих излучений у сосны репродуктивные органы, отличающиеся сложностью организации и длительностью генеративного цикла (с момента закладки примордиев генеративных органов до созревания семян проходит 28 месяцев [6]). В условиях хронического действия техногенных факторов столь длительный цикл развития ведёт к накоплению в неспециализированных инициальных клетках семян достаточное для индикации внешнего воздействия количество повреждений ДНК, реализация которых в абберрации происходит главным образом в первом митозе [7].

С помощью дозиметрической модели, подробное описание которой дано в [8, 9] были рассчитаны уровни дозовых нагрузок для генеративных органов изучаемых растений (табл. 1).

Таблица 1 - Поглощённые в генеративных органах сосны дозы

Участок	Мощность дозы в кроне, мГр/год		
	γ-излучение	β-излучение	всего
К	0.12	0.01	0.13
К1	0.27	0.01	0.27
ВИУА	6.6	0.3	6.9
СБ	22.7	0.2	22.9
ЗП	90.2	1.2	91.4
ЗК	129.4	0.5	129.9

Цитогенетический анализ, клеток корневой меристемы проростков семян, показал, что в популяциях, населяющих загрязнённые радионуклидами участки, частота цитогенетических нарушений в большинстве случаев статистически значимо превышает (рис. 1) соответствующие контрольные значения на протяжении всех лет исследования (2003–2013). Максимальная частота aberrантных клеток зафиксирована в проростках с участков ЗП и ЗК, характеризующихся наибольшими значениями поглощенных репродуктивными органами сосны доз.

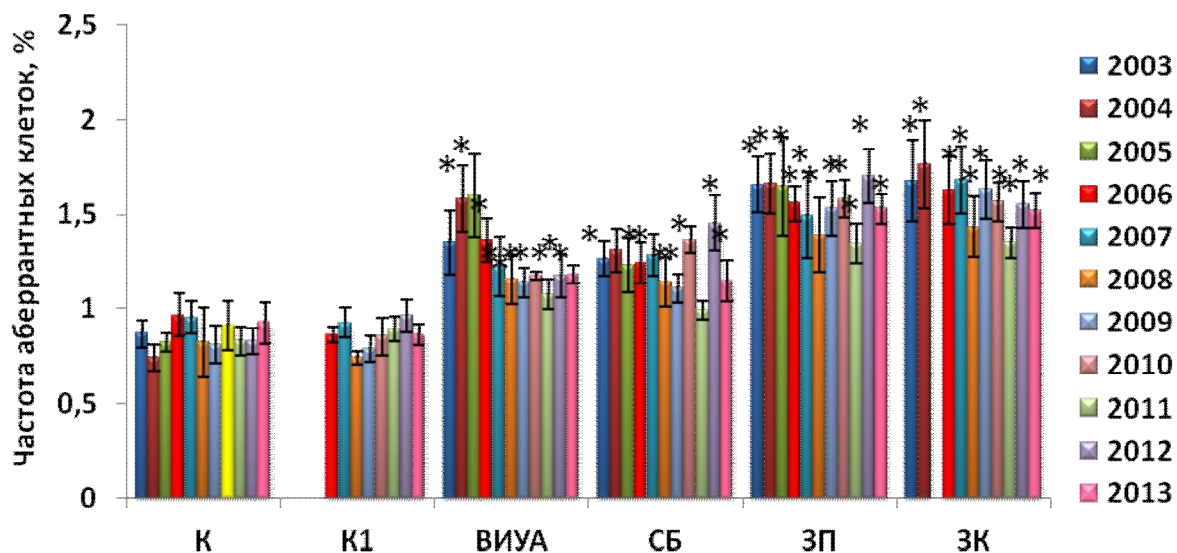


Рис 1. Частота цитогенетических нарушений в корневой меристеме проростков семян. *- отличие от референтных уровней (К или К1) достоверно ($p < 0,05$)

Более того, на протяжении всех лет исследования наблюдалась статистически значимая корреляция ($r=0.70-0.99$; $p < 1\%$) между средней частотой aberrантных клеток в проростках семян и средней мощностью экспозиционной дозы на участке. Анализ спектра регистрируемых цитогенетических нарушений показал, что в популяциях сосны, населяющих наиболее загрязненные радионуклидами участки – ЗП и ЗК – частота маркеров радиационного воздействия (аббераций хромосомного типа) и митотических аномалий (отставаний хромосом и многополюсных митозов) значительно превышала контрольный уровень на протяжении всех лет исследования. Причем в большинстве случаев это различие было статистически значимым.

При длительном воздействии неблагоприятного фактора популяция может к нему адаптироваться. Выявить наличие адаптации к действию радиационного фактора можно при

помощи провокационного облучения высокой дозой. Чтобы оценить адаптационный потенциал изучаемых популяций сосны, часть собранных в 2003, 2004, 2006 и 2013 гг. семян перед проращиванием была подвергнута острому γ -облучению. Однако полученные результаты не позволили выявить устойчивый эффект по увеличению радиоустойчивости в популяциях сосны с участков, подвергшихся радиоактивному загрязнению. Эффект радиоадаптации в природных популяциях растений неоднократно был показан в исследованиях на ВУРСе и в 30-км зоне ЧАЭС. В том числе, и на семенах сосны. В тоже время, есть немало примеров, когда повышение радиоустойчивости в подвергающихся хроническому воздействию популяциях растений не происходит. По-видимому, скорость и сама возможность формирования этого признака могут существенно различаться в разных экологических условиях.

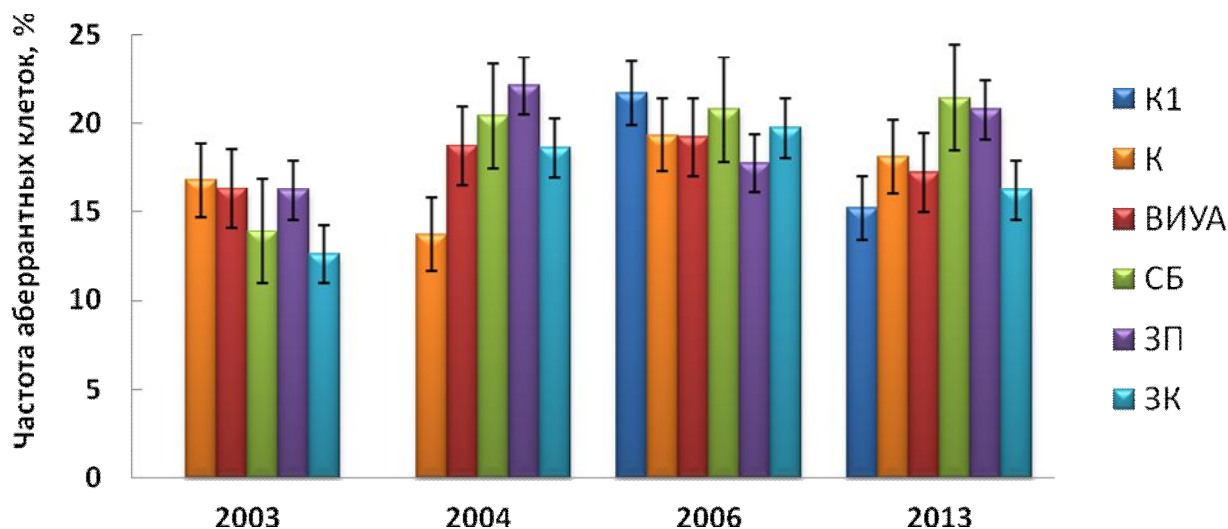


Рис 2. Частота цитогенетических нарушений в корневой меристеме проростков семян подвергшихся дополнительному острому облучению

Возникает естественный вопрос – как отражается наблюдаемый уровень радиационного воздействия на более высоких уровнях организации, и на показателях жизнеспособности популяций? Анализ качества семян не выявил взаимосвязь между долей abortивных семян и величиной радиационной нагрузки ($p > 5\%$). Всхожесть семян, хотя и характеризовалась значительно большим разбросом значений, что проявилось в наличии статистически значимых отличий от контроля, также не проявляла зависимости от величины радиационного воздействия ($p > 5\%$) (рис. 3 и 4).

Поскольку нам не удалось обнаружить связи качества семян с поглощенными ими дозами, а загрязнение участков тяжелыми металлами не превышает допустимых уровней [9], логично предположить, что наблюдаемая изменчивость изучаемых параметров определяется другими факторами. В отдаленный период после радиационных аварий, когда, вследствие радиоактивного распада, радиационная нагрузка на растения существенно снизилась, на первый план по силе влияния выходят другие факторы, среди которых важное место занимают метеорологические условия в период формирования семян.

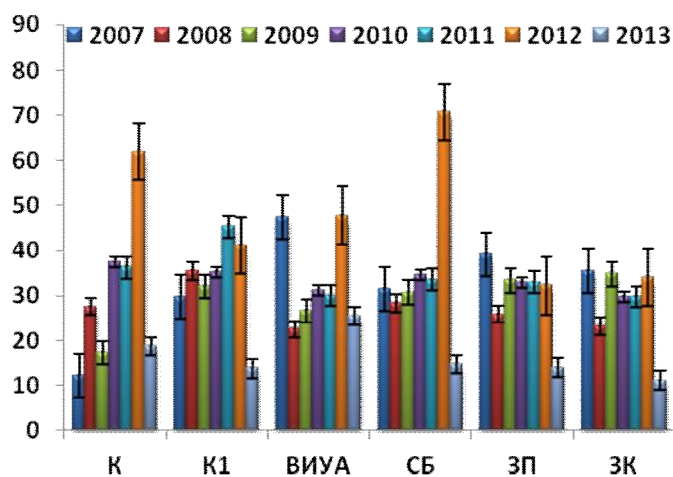


Рис 3 - Доля abortивных семян, %

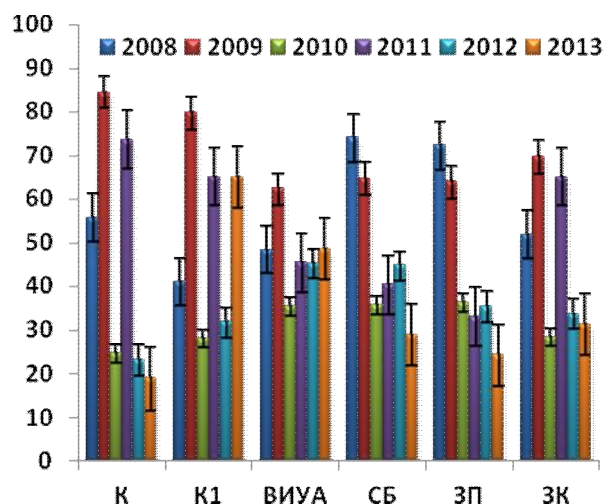


Рис 4 - Всхожесть семян, %

Действительно анализ зависимости показателей качества семян от погодных условий выявил в ряде случаев наличие достоверных корреляций ($r=0.89-0.99$; $p<1\%$), согласно которым повышенные температуры в течение всего периода развития семян и осадки в августе увеличивают долю abortивных семян, а повышенные температуры в августе снижают их всхожесть.

Таким образом, многолетние наблюдения показали, что в исследованных популяциях сосны обыкновенной, формируется семенное потомство с высоким уровнем цитогенетических нарушений. Сопоставление частоты цитогенетических нарушений с характеристиками радиационной ситуации на экспериментальных участках свидетельствует об увеличении частоты мутаций с ростом радиационной нагрузки. При этом, несмотря на то, что радиоакционный фактор воздействует на изученные популяции уже не одно десятилетие, они не смогли к нему адаптироваться. Однако устойчиво воспроизводившаяся в импактных популяциях за время исследования (2003-2013гг.) повышенная частота цитогенетических нарушений не оказала существенного влияния на репродуктивную способность деревьев. В отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС погодные условия оказывают гораздо большее влияние на качество семян, чем радиоактивное загрязнение, а формирующееся в условиях хронического облучения семенное потомство характеризуется высоким уровнем межгодовой изменчивости показателей жизнеспособности.

Список использованных источников

1. ICRP Publication 108. Environmental protection: the concept and use of reference animals and plants. // *Ann. ICRP*, 2009, 38, No. 4–6, P. 1–242.
2. Real A., Sundell-Bergman S., Knowles J.F., et al. Effects of ionising radiation exposure on plants, fish and mammals: relevant data for environmental radiation protection // *J. Radiol. Prot.* 2004. V. 24. P. A123-A137.
3. Garnier-Laplace J., Copplestone D., Gilbin R., et al. Issues and practices in the use of effects data from FREDERICA in the ERICA integrated approach // *J. Environ. Radioact.* 2008. V. 99. P. 1474-1483.
4. Федотов И.С., Кальченко В.А., Игонина Е.В., Рубанович А.В. Радиационно-генетические последствия облучения популяции сосны обыкновенной в зоне аварии на ЧАЭС // *Радиационная биология. Радиоэкология.* 2006. Т. 46. Вып. 3. С. 268-278.

5. Гончарова Р.И., Рябоконт Н.И. Биологические эффекты в природных популяциях мелких грызунов на радиационно-загрязненных территориях. Динамика частоты aberrаций хромосом в ряду поколений европейской рыжей лесной полевки (*Clethrionomys glareolus*, Schreber) // *Радиац. биология. Радиоэкология*. 1998. Т. 38. № 5. С. 746-753.
6. Козубов Г.М., Таскаев А.И. *Радиобиологические и радиоэкологические исследования древесных растений*. С.-П.: Наука, 1994. 256 с.
7. Geras'kin S.A., Zimina L.M., Dikarev V.G. et al. Bioindication of the anthropogenic effects on micropopulation of *Pinus sylvestris* L. in the vicinity of a plant for the storage and processing of radioactive waste and in the Chernobyl NPP zone // *J. Environmental Radioactivity*. 2003. V. 66. P. 171-180.
8. Спиридонов С.И., Фесенко С.В., Гераськин С.А. и др. Оценка доз облучения древесных растений в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2008. Т. 48. Вып. 4. С. 432-438.
9. Geras'kin S.A., Oudalova A.A., Dikareva N.S. et al. Effects of radioactive contamination on Scots pines in the remote period after the Chernobyl accident // *Ecotoxicology*. 2011. V. 20. P. 1195-1208.