

УДК 630\*907.1

## ТЕРАТОГЕНЕЗ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ – БИОИНДИКАТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКОВ ПЕСТИЦИДАМИ

Фрейберг И.А., Стеценко С.К.

*ФГБУН Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург, Россия, (620134, Екатеринбург, ул. Билимбаевская, 32а), e-mail: [stets\\_s@mail.ru](mailto:stets_s@mail.ru)*

Приводятся результаты исследования тератогенеза сеянцев сосны, вызванного применением пестицидов в лесных питомниках лесной и лесостепной зоны Уральского региона. В серии экспериментов изучено влияние на сосну ТМТД, фундазола, 2,4-Д и раундапа и степень проявления у нее тератогенеза при использовании химических препаратов по отдельности и в комплексе. А также исследовано влияние на тератогенез сосны превышения рекомендованной дозы пестицида. Воздействие на сеянцы каждого пестицида изучалось в мелкоделяночных опытах. В конце эксперимента 2-летние сеянцы сосны выкапывали и делили на группы в зависимости от морфологического строения (фенотипа). Содержание пестицидов в почве и сеянцах определялось на газовом хроматографе в лаборатории ядохимикатов Свердловской ОблСЭС. Установлено, что нарушение морфологического состояния сеянцев сосны под воздействием как отдельных пестицидов, так и их комплекса, имеет четко выраженный характер, что позволяет использовать тератогенез сеянцев как биоиндикатор наличия химического загрязнения почвы.

Ключевые слова: сосна, сеянцы сосны, пестициды, морфогенез, биоиндикация.

## TERATOGENESIS OF PINE SEEDLINGS AS BIOINDICATOR OF SOIL CONTAMINATION IN FOREST NURSERIES BY PESTICIDES

Freiberg I.A., Stetsenko S.K.

*Botanical Garden, Ural Branch RAS, Ekaterinburg, Russia, (620134 Ekaterinburg, ul. Bilimbaevskaya 32a). e-mail: [stets\\_s@mail.ru](mailto:stets_s@mail.ru)*

The results of the study of teratogenesis pine seedlings caused by the use of pesticides in nurseries of forest and forest-steppe zone of the Ural region have described. Series of experiments by study the effect on pine TMTD, fundazol, 2,4-D and Roundup and degree of display the teratogenesis on pine by using chemicals separately and in combination were carried out. And also studied the influence on teratogenesis of pine the exceeding of recommended pesticide dose. Impact on the seedlings of each pesticide was studied in small plot experiments. At the end of experiment 2-year-old pine seedlings were dug up and divided into groups according to the morphological structure (phenotype). Pesticide residues in the soil and in seedlings was determined by gas chromatography. It is found that a violation of the morphological status of pine seedlings under the influence of both individual pesticides and their complex has a distinct character, so the teratogenesis of pine seedlings can be used as a bioindicator on presence of chemical contamination of the soil.

Keywords: pine, pine seedlings, pesticides, morphogenesis, bioindication.

Эффективность, простота и доступность химического метода ухода за растениями сделали его основным в защите растений от травянистой растительности, болезней и энтомовредителей. Однако в связи с накоплением негативных явлений, следующих за применением пестицидов, что отмечается во всех странах мира [2], возникла необходимость объективной оценки побочных явлений. На это обращают внимание такие известные ученые, как А.В. Яблоков, В.А. Захаренко, М.И. Лунев и многие другие. В лесном хозяйстве особенно широко применяются пестициды в лесных питомниках. Перечень химических препаратов весьма значителен: 2,4-Д, ТМТД, фундазол, атразины, далапон, раундап и целый ряд других пестицидов. Хотя при использовании пестицидов большое их количество

рассеивается в окружающей среде и доля реально работающих составляет от 5 до 40 % от примененного количества [6], все же значительная их часть аккумулируется почвой питомников. В почве пестициды распределяются диффузно, образуя одни локусы, в которых количество их значительно превышает рекомендуемые нормы, а в других они полностью отсутствуют [1]. Загрязнение почвы пестицидами после их применения наблюдается длительное время – 10 и более лет [7]. Срок их существования в почве зависит от химического препарата и природных условий. Таким образом, в почве лесных питомников образуется склад остатков пестицидов и их метаболитов, представляющий собой некий черный ящик. Результатом загрязнения почвы лесных питомников пестицидами является тератогенез сеянцев хвойных пород. Лесные питомники становятся непригодными для их целевого назначения, что следует рассматривать как одно из негативных проявлений применения пестицидов.

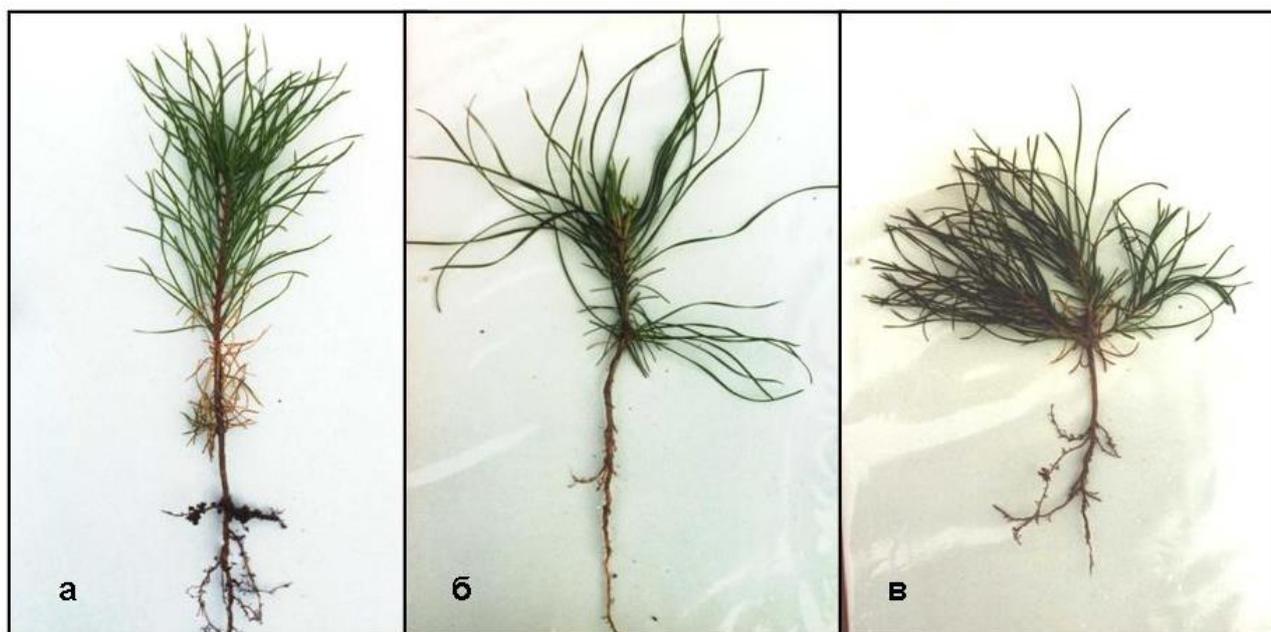


Рис. 1. Фенотипы 2-летних сеянцев сосны обыкновенной (а – нормальный; б – условно нормальный; в – аномальный)

Проведенные в отделе лесоведения Ботанического сада УрО РАН исследования свидетельствуют о том, что независимо от зоны применения и почвенных условий включение пестицидов в агротехнику выращивания сеянцев сосны различных химических препаратов вызывает их тератогенез, который выражается в формировании двух фенотипов сосны: аномальные и условно нормальные (рис. 1). Для первых характерны дополнительные на стволике побеги, для вторых – нарушение корреляции между длиной хвои и стволика.

Пестициды, содержащиеся в почвенном растворе, поглощаются корневой системой, поступают в организм и, обладая системным действием, вызывают изменения в некоторых физиолого-биохимических показателях. А.А. Федоров [8] сообщает, что нарушение

морфоструктур растений проявляется лишь в том случае, когда изменен нормальный обмен веществ в них, что изменяет характер и направление развития активных очагов роста (меристем). Было проведено изучение таких физиолого-биохимических показателей, которые важны для жизнеспособности растений при переносе их из питомника в посадку на лесокультурной площади и дальнейшего роста сосны. При исследовании установлено, что тератоморфным растениям свойственны более высокая активность пероксидазы, большие потери воды, что ведет к обезвоживанию, снижение рН гомогената хвои, замедление апикального роста и более значительная масса по сравнению с сеянцами сосны нормального фенотипа [9].

Наличие в лесных питомниках явления тератогенеза сеянцев сосны может служить биоиндикатором загрязнения почвы. Согласно решениям международной конференции «Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред» [2013 г.], биоиндикация является составной частью биодиагностики, которая является важным показателем загрязнения. В наше время в окружающую среду поступает масса загрязняющих соединений, и биоиндикация является первым шагом, не требующим значительных экономических затрат для установления загрязнения с последующим, при необходимости установлением количества загрязняющего вещества физико-химическими методами.

Огромное количество пестицидов проявляет мутагенную, канцерогенную и тератогенную активность [3, 5]. Из применяемых пестицидов в лесных питомниках наибольшей мутагенностью обладает зенкор. Получивший распространение в последние годы раундап (основное действующее вещество – глифосат) характеризуется промутагенной активностью [5]. В то же время недостаточно сведений о тератогенных свойствах пестицидов, наиболее часто используемых в лесных питомниках.

### **Цель исследования**

Целью наших исследований было изучить влияние пестицидов на явление тератогенеза сеянцев сосны при использовании изолированно отдельных химических препаратов и степень проявления тератогенеза, а также показать влияние на тератогенез превышения дозы пестицида против рекомендованной производству и влияние на характер тератогенеза дополнительного использования на загрязненной пестицидами почве других классов химических соединений.

### **Методы исследования**

Исследования проводили в лесной и лесостепной зонах Уральского региона (Свердловская и Курганская области) на песчаных, супесчаных и среднесуглинистых почвах лесных питомников быв. Просветского, Талицкого, Березовского, Билимбаевского и Северского лесхозов. Погодные условия за время исследований не обнаружили

значительных отклонений от средних многолетних данных по сумме положительных температур и сумме осадков. По гранулометрическому составу в первом питомнике – песок с плотностью пахотного горизонта 1,25–1,4 г/см<sup>3</sup>, в остальных – супесь и средний суглинок с плотностью 0,7–1,0 г/см<sup>3</sup>. Содержание гумуса колеблется от 1,61 % (песчаная почва) до 6,57 % (среднесуглинистая). Воздействие на сеянцы каждого пестицида (ТМТД, фундазола, 2,4-Д, раундапа) изучалось в мелкоделяночных опытах. Величина делянки 1 м<sup>2</sup> с шестью сближенными попарно строчками. Каждый вариант опыта закладывали в четырехкратной повторности и осуществляли необходимые мероприятия [4]. На 1 пог. м. высевали 2 г семян первого класса качества. В конце вегетационного периода опытные 2-летние сеянцы сосны выкапывали и делили на группы в зависимости от морфологического строения (фенотипа). Содержание пестицидов в почве и сеянцах определялось на газовом хроматографе в лаборатории ядохимикатов Свердловской ОблСЭС.

### **Результаты и их обсуждение**

Изучение 2-летних сеянцев сосны показало, что в вариантах опыта, также как и в производственных посевах при использовании комплекса пестицидов, помимо сеянцев нормального фенотипа, формируются тератоморфные сеянцы: аномальные и условно нормальные. Эти сеянцы преобладают над сеянцами нормального фенотипа и сопутствуют друг другу в разном количестве (табл. 1).

В контрольных посевах тератоморфные сеянцы отсутствовали. Лишь у 1,6 и 2,5 % сеянцев было отмечено раздвоение главного побега – стволика («двойчатка»). Контрольные сеянцы полностью соответствовали тем, которые выращивались в питомниках Сысертской семеноводческой станции Свердловской области и быв. Шумихинского лесхоза Курганской области. В этих питомниках сеянцы выращивались по традиционным технологиям, без включения в агротехнику пестицидов.

О том, что пестициды, применявшиеся в опыте, влияют на морфогенез сеянцев сосны, свидетельствуют результаты изучения содержания их в почве и стволиках сеянцев. В результате анализа газовой хроматографией было установлено, что при использовании 2,4-ДА за 1-2 года до посева содержание его остатков в почве составляло от 0,0 до 0,4 и 1,4 мг/кг; в стволиках – следы, 0,8 и 1,2 мг/кг. При обработке семян ТМТД при посеве, в почве пестицид не был обнаружен, но в стволиках его содержание было от 1,2 до 1,4 и 2,4 мг/кг.

Таблица 1

Распределение 2-летних сеянцев сосны по фенотипам

Питомник, зона	Число сеянцев на 1 пог. м	Нормальный	Условно нормальный	Аномальный	Сеянцы с нарушенным морфогенезом, %
Предпосевная обработка семян ТМТД, 5 г на 1 кг семян					
Просвет, лесостепная	108	0,0	61,9	38,1	100
Северка, лесная	84	19,2	58,5	22,3	80,8
Талица, лесная	362	13,6	81,0	5,4	86,4
Предпосевная обработка семян фундазолом, 4 г на 1 кг семян					
Северка, лесная	75	4,9	65,5	29,6	95,1
Первоуральск, лесная	22	7,8	65,0	27,2	92,2
Обработка парового поля гербицидом 2,4-ДА, 2 кг на 1 га					
Просвет, лесостепная	119	10,9	37,4	51,7	89,1
Первоуральск, лесная	44	6,0	78,0	16,0	94,0
Обработка травянистой растительности раундапом, 3 л/га (в 2-кратной повторности)					
Березовск, лесная	48	4,0	73,0	23,0	96,0
Контроль					
Кузино, лесная	22	98,4	0,0	1,6	1,6
Сабик, лесная	48	97,5	0,0	2,5	2,5

Предложенные для использования в производственных процессах нормы пестицидов разработаны и обоснованы для защиты растений, в т.ч. сеянцев в лесных питомниках, в ЛенНИИЛХе. При этом утверждается, что они не несут вреда сеянцам. Нами было изучено изменение фенотипа 2-летней сосны при использовании отдельно взятых препаратов ТМТД и фундазола в дозах, рекомендованных производству для защиты растений, и с увеличением дозы пестицида в 3-4 раза (табл. 2). Как следует из таблицы, повышенные дозы пестицида не изменяют характер проявления тератогенеза сеянцев и не увеличивают количество тератоморфных сеянцев. Однако они являются более значительным и длительным источником загрязнения среды.

Таблица 2

Распределение 2-летних сеянцев сосны по фенотипам в лесном питомнике Северского учебно-опытного лесхоза УГЛТУ, %

№	Содержание	Штук	Фенотип	Всего
---	------------	------	---------	-------

варианта	варианта	на 1 пог. м	нормальный	условно нормальный	аномальный	тератоморфных
1	ТМТД (5 г/кг)	84	19	59	22	81
2	ТМТД (10 г/кг)	87	3	83	14	97
3	ТМТД (20 г/кг)	69	9	68	23	91
4	Фундазол (4 г/кг)	75	5	65	30	95
5	Фундазол (8 г/кг)	139	1	62	37	99
6	Фундазол (12 г/кг)	101	8	61	31	92

Влияние использования пестицида в условиях уже загрязненной пестицидами почвы исследовалось на двух опытных участках питомника быв. Березовского лесхоза. Загрязнение вызвано многолетним применением на участке симазина, ТХА, 2,4-ДА, раундапа, байлетона. Сорную растительность на участках дважды в сезон в год, предшествующий посеву, обрабатывали раундапом в дозе 3 л/га, семена протравливали ТМТД – 5 г/кг и фундазолом – 6 г/кг. Результаты опытов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Распределение 2-летних сеянцев сосны по фенотипам в лесном питомнике быв. Березовского лесхоза, %

№ варианта	Химический препарат на фоне комплекса пестицидов	Штук на 1 пог. м	Фенотип			Всего тератоморфных
			нормальный	условно нормальный	аномальный	
Опытный участок 1.						
1	Раундап, ТМТД	37	0	68	32	100
2	Раундап, фундазол	32	1	74	25	99
3	Раундап	48	4	73	23	96
4	Контроль, комплекс пестицидов	54	0	80	20	100
Опытный участок 2.						
1	Раундап, ТМТД	44	0	92	8	100
2	Раундап, фундазол	43	1	88	11	99
3	Раундап	62	0	88	12	100
4	Контроль, комплекс пестицидов	58	0	74	26	100

Из них следует, что дополнительное внесение пестицидов в почву, уже содержащую остатки пестицидов и их метаболитов, не оказывает влияния на количество тератоморфных растений и не вносят дополнительных изменений в морфологическое строение сосны.

### Заключение

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют утверждать, что явление тератогенеза сосны является ее ответной реакцией на воздействие пестицидов в период органогенеза. Оно имеет неспецифический характер и не зависит от природной зоны и химического класса пестицида. Нарушение морфологического строения сеянцев сосны

носит четкий, хорошо выраженный характер и может служить биоиндикатором загрязнения почвы лесных питомников, что позволяет планировать хозяйственные мероприятия в лесных питомниках. Одним из них может быть замена сосны елью, как породой более устойчивой к загрязнению пестицидами [10].

### Список литературы

1. Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. – М.: МГУ, 1989. – 336 с.
2. Мажарова И.В. Пестициды и охрана окружающей среды // Сельскохозяйств. биол. – 1989. – № 5. – С.103–111.
3. Морозова Т.Н., Огурцова Л.В., Соромотин А.В. Биологическая деградация пестицидов // Экология и промышленность России. – 2009. – № 5. – С. 19-23.
4. Новосельцева А.И., Смирнов Н.А. Справочник по лесным питомникам. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 280 с.
5. Саратовских Е.А., Глазер В.М., Костромина Н.Ю., Котелевцев С.В. Генотоксичность пестицидов в тексте Эймса и их способность к образованию комплексов с ДНК // Экологическая генетика. – 2007. – Т. 5. – № 3. – С.46–54.
6. Скурлатов Ю.И., Дука Г.Г., Мизита А. Введение в экологическую химию. – М.: Высш. шк., 1994. – 400 с.
7. Цукерман В.Г., Чавар Э.Я. Прогноз разложения и накопления пестицидов в почве // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – С. 114–121.
8. Федоров А.А. Тератология и формообразование у растений. / А.А. Федоров // Комаровские чтения XI. – М.; Л.: АН СССР, 1958. – 28 с.
9. Фрейберг И.А., Ермакова М.В., Стеценко С.К. Влияние пестицидов на морфологию и физиолого-биохимические показатели сеянцев сосны обыкновенной // Лесоведение. – 2004. – № 2. – С.55-60.
10. Фрейберг И.А., Стеценко С.К. Биологические параметры очистки почв от пестицидной токсичности // Экология и промышленность России. – 2013. – № 2. – С. 40–42.

### Рецензенты:

Колтунов Е.В., д.б.н., профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории лесовосстановления, защиты леса и лесопользования, ФГБУН Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург;

Сродных Т.Б., д.с.-х.н., доцент, профессор кафедры ландшафтного строительства, ФГБОУ  
ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург.