

DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2019.1.11
УДК 630.182

Оценка реакции древостоя сосновых молодняков на внесение азотнокислого цинка в полевом эксперименте

Т. В. Рыкова

*Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, научный сотрудник, Пушкино, Московская обл., Российская Федерация,
rykova.tv@mail.ru*

Рассматриваются результаты моделирования воздействия азотнокислого цинка на рост и состояние сосновых молодняков в условиях полевого эксперимента. Дана оценка динамики биометрических показателей деревьев в молодняках сосны при разных величинах нагрузок азотнокислого цинка. Приведены результаты снижения категорий санитарного состояния деревьев с увеличением нагрузки цинка.

Ключевые слова: *тяжелые металлы, сосновые молодняки, полевой эксперимент, цинк, состояние древостоя, линейный прирост.*

Для ссылок: <http://dx.doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.1.11>

Рыкова, Т. В. Оценка реакции древостоя сосновых молодняков на внесение азотнокислого цинка в полевом эксперименте [Электронный ресурс] / Т. В. Рыкова // Лесохоз. информ. : электрон. сетевой журн. – 2019. – № 1. – С. 137–148. URL: <http://lhi.vniilm.ru/>

Введение. Тяжелые металлы (ТМ) относятся к наиболее распространённым и фитотоксичным загрязнителям окружающей среды. Их избыточное накопление в компонентах биосферы (атмосферный воздух, почвы, водоемы, растения, сельскохозяйственная и лесная продукция и др.) связано, преимущественно, с деятельностью промышленных предприятий и транспорта, коммунальных служб и сельскохозяйственных организаций (при внесении минеральных удобрений) [1–4].

Не подверженные процессам естественного разрушения тяжелые металлы, попадая в почву и накапливаясь в ней, способствуют образованию техногенных аномалий, вызывают изменение состояния и продуктивности лесной растительности [4, 5]. Согласно последним оценкам, зоны с загрязненными почвами только вокруг промышленных предприятий охватывают территорию площадью 18 млн га [1]. По данным Росгидромета, с учетом суммарного коэффициента, который комплексно отражает особенности полиэлементного состава загрязнения территорий, к опасной и умеренно опасной категории загрязнения почв ТМ относится 11,5% обследованных в 2007–2016 гг. площадей, включающих населённые пункты, их отдельные районы, 1- и 5-километровые зоны вокруг источников загрязнения. С высокой долей вероятности можно сказать, что значительная их часть относится к землям, занятым лесными насаждениями, которые имеют не только лесосырьевое значение, но и выполняют, важнейшие для таких районов средообразующие и защитные функции. Основной фон загрязнения формируют такие тяжелые металлы, как свинец (Pb), кадмий (Cd), кобальт (Co), медь (Cu), никель (Ni) и цинк (Zn) [2]. В настоящее время загрязнение тяжелыми металлами территорий вокруг промышленных предприятий рассматривается как одна из серьезных внутренних угроз экологической безопасности страны.

Несмотря на достаточную изученность влияния тяжелых металлов на лесные экосистемы [1, 2, 5, 6], закономерности воздействия их конкретных доз на состояние лесных растений

и насаждений, которые можно использовать для целей техногенного нормирования, остаются пока не до конца понятными. Существующие научно-методологические основы, методы и технологии обоснования допустимого уровня техногенного воздействия на леса [7–15], система нормирования, базирующаяся на санитарно-гигиеническом подходе и построенная на основе методологии и приемов, которые используются в токсикологии с точки зрения опасности для отдельного организма (прежде всего человека), применительно к лесам требует пересмотра. Необходимо на принципах экологического подхода осуществить переход к нормированию, учитывающему воздействие фитотоксичного эффекта вредных веществ на естественные экосистемы, изменчивость загрязнения среды вокруг источников выбросов, полиэлементный состав эмиссий, его пространственную и временную трансформацию в биосфере [4, 17].

Данный подход особенно актуален для определения допустимого уровня загрязнения почв тяжелыми металлами; до настоящего времени его нормирование осуществлялось с учетом санитарно-гигиенических подходов (транслокационный, миграционный, общесанитарный и др.), не отражающих в достаточной мере характер воздействия загрязнителей на древесные растения, тем более на лесные экосистемы. Доминирование принципов санитарно-гигиенического подхода с преобладанием лабораторных исследований при определении устойчивости лесной растительности к воздействию тяжелых металлов, не учитывает экологические особенности разных типов почв, их физико-химические свойства, которые могут оказывать существенное влияние на фитотоксичный эффект загрязнителей. Кроме того, нормирование содержания тяжелых металлов в лесных почвах имеет свои особенности, и величина их допустимого воздействия должна увязываться и с породным составом насаждений, и их целевым назначением [12–14].

Цель настоящей работы – изучение реакции древостоя сосновых молодняков как эдификатора лесного сообщества на контролируемое по количеству (величине нагрузки) воздействие

цинка (одного из наиболее распространенных в промышленных выбросах загрязнителя).

Методика и объекты исследований. Для решения поставленной задачи нами заложен полевой эксперимент в сосновых молодняках на территории Воскресенского научно-исследовательского стационара ВНИИЛМ – Виноградовское лесничество, бывший Виноградовский лесхоз (Воскресенский район Московской обл.). Для опыта выбран участок в 15-летних культурах сосны, на котором выделены 7 делянок по 40 м². На поверхность почвы вручную наносили соль азотнокислого цинка (Zn(NO₃)₂·6H₂O) в следующих вариантах, г/м²: контроль – 0; 7 (расчетная величина, соответствующая значению ПДК = 23 мг/кг цинка в почве); 30; 90; 150; 225; 300. Реакцию древостоя сосны на разные величины нагрузки цинка оценивали по изменению цвета хвои (появлению хлорозов), длины и массы хвоинок, индекса состояния древостоев, динамики отпада деревьев, линейного прироста осевых побегов [18, 19].

Результаты исследований и их обсуждение. Обследование опытных делянок молодняков сосны в год начала исследований (1999 г.) показало, что уже через 3 мес. после внесения цинка пожелтение хвои наблюдалось у деревьев сосны при нагрузках выше 150 г/м². Через год, в 2000 г., после внесения соли цинка (табл. 1.) при

нагрузках 150 г/м², 225 и 300 г/м² дехромация хвои наблюдалась у 13%, 47 и 94% деревьев соответственно. Степень пожелтения изменялась в той же последовательности, при этом значительное увеличение доли пожелтевшей хвои 2-го года происходило уже при величине нагрузки 90 г/м² (46%), при 150 (52%) и 225 г/м² (38%) (рис. 1).

Биометрические исследования хвои показали, что нагрузки от 30 до 150 г/м² в первые годы наблюдений не оказали заметного влияния на длину и массу хвоинок сосны текущего года. Высокие дозы Zn(NO₃)₂ в этот же период вызывали значительное снижение длины и уменьшение массы хвои (табл. 2). При внесении цинка в дозе 225 г/м² средняя длина хвоинок за 2000–2001 гг. уменьшилась на 17–19%, масса 100 хвоинок – на 21–24%.

Максимальное снижение роста хвои наблюдалось при нагрузке 300 г/м²: средняя длина хвоинок текущего года сократилась на 33–50%, а масса 100 хвоинок – на 60–65%.

Данные о состоянии сосновых молодняков (табл. 2, рис. 2), характеризующиеся таким интегральным показателем, как индекс состояния (ИС) древостоев, свидетельствуют о постепенном, начиная с нагрузки 30 г/м², их ослаблении в течение 2000–2004 гг.

К 2004 г. категория состояния древостоев при нагрузках в 90 и 150 г/м² ухудшилась по

Таблица 1. Биометрические показатели хвои у средних деревьев в молодняках сосны при различных величинах нагрузок цинка

№ п/п	Нагрузка цинка, г/м ²	Число деревьев, шт.	Год наблюдений									
			2000						2001			
			% деревьев с пожелтевшей хвоей		Длина хвоинок, мм			Масса 100 хвоинок, мг	Длина хвоинок, мм			Масса 100 хвоинок, мг
			сильная	слабая	макс.	мин.	сред.		макс.	мин.	сред.	
1	0	26	0	8	82	61	73,3	3,37	82	53	65,2	3,04
2	7	24	0	12	87	51	67,2	2,88	85	60	69,1	3,12
3	30	29	0	17	89	66	77,9	3,36	76	52	63,6	3,27
4	90	24	9	46	94	51	79,9	3,93	68	48	58,0	3,86
5	150	31	13	52	92	64	75,0	3,56	75	44	62,9	3,42
6	225	24	47	38	75	46	60,5	2,67	60	46	52,7	2,32
7	300	31	94	6	55	26	36,9	1,18	54	33	43,9	1,23



Рис. 1. Дехромация деревьев сосны на участке с нагрузкой цинка 300 г/м²

сравнению с состоянием в контроле на 0,4–0,5 балла (на 28–35%), а по сравнению с их первоначальным состоянием (до внесения солей цинка в 1999 г.) – на 0,7 балла (58–64%). При нагрузке 150 г/м² различия с контролем возросли до 1,3 балла, т.е., практически в 2 раза. С увеличением нагрузки до 225, особенно до 300 г/м², состояние молодняков резко ухудшалось (изменение индекса состояния в 2,6 и 3,3 раза соответственно) уже на следующий год после нанесения солей цинка на поверхность почвы (2000 г.). В последующие 4 года состояние древостоев при указанных нагрузках цинка ухудшилось (всего на 0,2 балла). К 2004 г. при нагрузке 225 г/м² ИС составлял 3,6 балла (среднеослабленное насаждение), при нагрузке 300 г/м² – 4,2 балла (сильно ослабленное насаждение) [18].

Интерес представляют данные по переходу деревьев в составе древостоя из одной категории состояния в другую, в связи с увеличением уровня нагрузок (рис. 2). Изучаемые молодняки сосны в начале эксперимента по всем вариантам опыта на 61–92% были представлены здоровыми

Таблица 2. Динамика индекса состояния и отпада в древостоях сосновых молодняков при различных величинах нагрузок цинка

Вариант опыта	Нагрузка цинка, г/м ²	Год					
		1999	2000	2001	2002	2003	2004
<i>Индекс состояния древостоя, балл</i>							
1	Контроль 0	1,2+0,1	1,2+0,1	1,4+0,1	1,4+0,1	1,4+0,1	1,4+0,1
2	7	1,1+0,1	1,3+0,1	1,3+0,1	1,5+0,1	1,4+0,1	1,4+0,1
3	30	1,2+0,1	1,4+0,1	1,6+0,1	1,9+0,1	1,9+0,1	1,9+0,1
4	90	1,1+0,1	1,7+0,1	1,9+0,1	1,9+0,1	1,8+0,1	1,8+0,1
5	150	1,2+0,1	1,7+0,1	2,0+0,1	2,1+0,1	2,7+0,1	2,7+0,1
6	225	1,3+0,1	3,4+0,1	3,5+0,1	3,5+0,1	3,6+0,1	3,6+0,1
7	300	1,2+0,1	4,0+0,1	4,0+0,1	4,1+0,1	4,2+0,1	4,2+0,1
<i>Доля погибших деревьев в древостое, %</i>							
1	Контроль 0	0	0	0	0	0	0
2	7	0	0	0	0	0	0
3	30	0	0	0	0	0	0
4	90	0	0	0	0	0	0
5	150	0	0	0	0	3	3
6	225	0	47	47	50	46	50
7	300	0	65	68	68	67	70

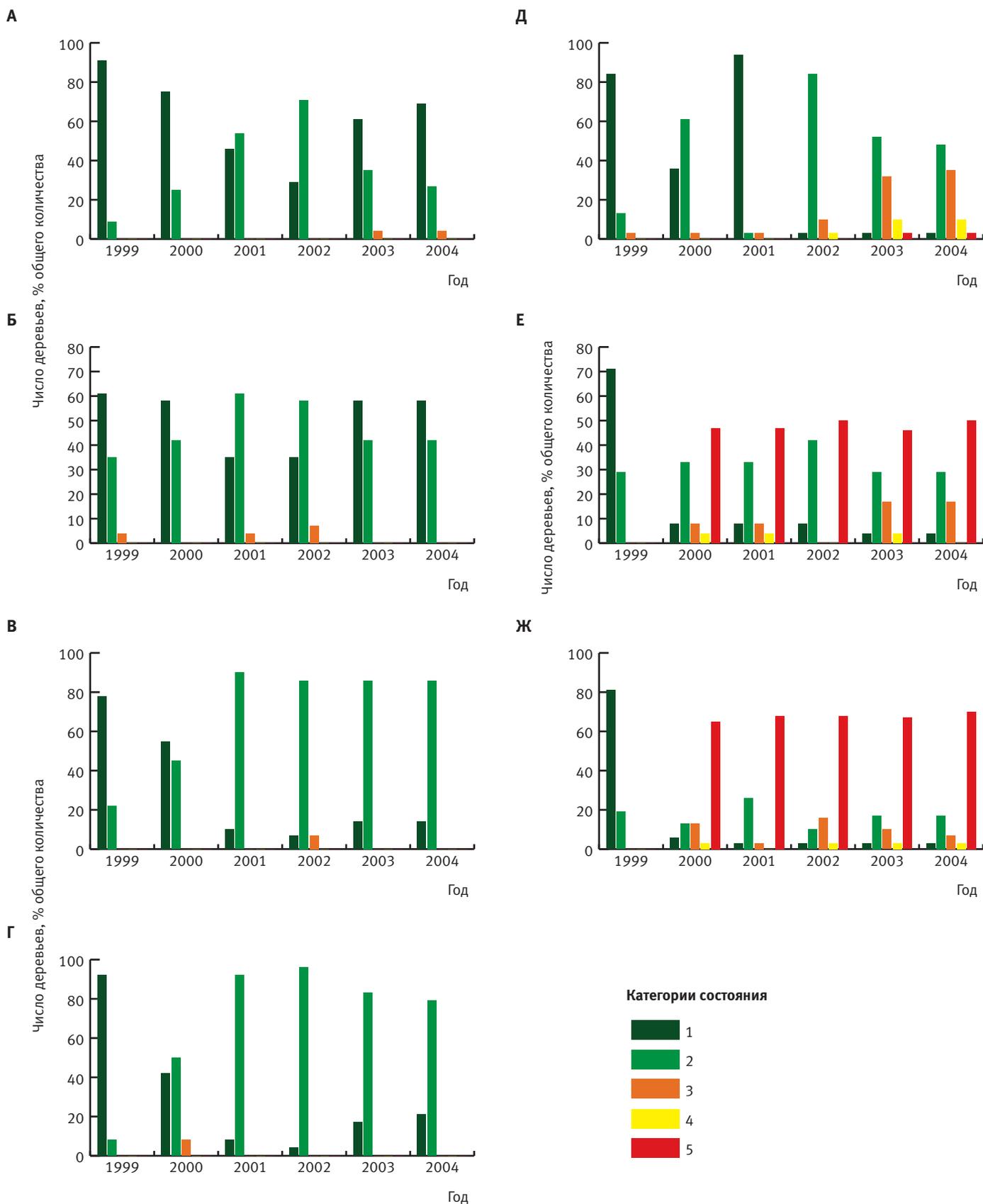


Рис. 2. Динамика распределения деревьев по категориям состояния в молодняках за 1999-2004 гг. по вариантам нагрузки цинка:
А – контроль; Б – 7 г/м²; В – 30, Г – 90; Д – 150; Е – 225, Ж – 300 г/м²

деревьями (1-я категория состояния). Необходимо отметить, что даже на контрольном участке в течение периода наблюдений состояние деревьев менялось за счет перехода части деревьев 1-й категории состояния во 2-ю, доля которой с 2001 г. временно превысила долю здоровых; затем произошел возврат к доминированию деревьев 1-й категории состояния.

При минимальных нагрузках (7 г/м²) превышение доли деревьев 2-й категории состояния над 1-й произошло на третий год эксперимента (2001 г.). К году завершения наблюдений во 2-ю категорию состояния перешло 42% деревьев, остальную часть (58%) составляли деревья 1-й категории.

На участках с нагрузкой 30 г/м² изменение состояния древостоев выражалось в переходе на 3-й год наблюдений 90% деревьев 1-й категории состояния во 2-ю, доля которой в дальнейшем стабилизировалась на уровне 86%.

В вариантах с нагрузкой цинка 225 и 300 г/м² уже на второй год наблюдения почти половина здоровых и слабоослабленных деревьев (1- и 2-я категории состояния) перешла в 5-ю категорию состояния (погибшие деревья), доля которой в последующие годы сохранилась на достигнутом уровне – 47%.

Кроме использованных выше показателей оценки реакции молодняков сосны на загрязнение среды нами изучалось изменение линейного прироста осевого побега ствола сосны.

Увеличение нагрузки цинка солей приводило к снижению линейного прироста осевого побега сосны. При этом на следующий год после внесения цинка достоверные различия на 5%-м уровне значимости ($\alpha = 0,05$) наблюдали в вариантах 5 и 7 (табл. 3). В последующие годы достоверность различий опытных вариантов с контролем значительно варьировалась, но во все годы наблюдений оставалась значимой для максимальных нагрузок цинка – 225 и 300 г/м². Характерно, что при наименьшей нагрузке цинка (7 г/м²) на второй и третий годы после его внесения наблюдалась тенденция увеличения прироста побегов до значений, превышающих контрольный уровень. Это, видимо, можно объяснить влиянием азота, содержащегося в составе вносимой соли, на рост деревьев. При более высоких нагрузках цинка возможное положительное влияние азота на увеличение прироста побегов могло элиминироваться токсическим воздействием цинка.

По влиянию на рост растений среди тяжелых металлов цинк относится к элементам средней токсичности, занимая место после меди, хрома и никеля. Обладая средней подвижностью, цинк по ксилеме в ионной или хелатной форме передвигается от корней в листья, а затем по флоэме поступает от листьев к другим органам растения. Механизм воздействия избыточного количества цинка на растительный организм разнообразен и не до конца изучен. Вероятно, он не отличается

Таблица 3. Изменение прироста деревьев в высоту в молодняках сосны

Вариант опыта	Величина нагрузки цинка, г/м ²	Средний годичный прирост осевого побега ствола по годам наблюдений, см			
		2000	2001	2002	Среднее
1	Контроль	49 ± 2,1	68 ± 2,8	59 ± 1,9	58 ± 2,2
2	7	46 ± 2,1	69 ± 2,6	60 ± 1,8	58 ± 2,2
3	30	44 ± 1,7	68 ± 3,1	54 ± 1,7	55 ± 2,2
4	90	43 ± 2,3	64 ± 2,4	53 ± 1,9**	53 ± 2,2
5	150	39 ± 2,6**	62 ± 2,1	52 ± 2,3**	51 ± 2,3
6	225*	-	57 ± 1,5**	46 ± 1,6**	51 ± 1,6**
7	300	25 ± 2,8**	27 ± 4,8**	23 ± 3,1**	25 ± 3,6**

* Внесение соли цинка было осуществлено летом 2000 г.

** Значения, различия которых с контролем достоверны при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

принципиально от закономерностей, присущих другим металлам, и связан с особенностями поступления (селективность поглощения ионов, изменение проницаемости мембран клеток) элемента, его перераспределения (иммобилизация ионов, изменение характера метаболизма) в организме и удаления из него в результате вымывания природными осадками, листопада, корневых выделений и других процессов [5, 20].

Изменение физиолого-биохимических процессов в организме под воздействием избыточного поступления цинка приводит к дехромации хвои сосны. Она может быть вызвана нарушением синтеза и фотодеструкции хлорофилла и каротиноидов, в том числе в связи с частым снижением концентрации железа при повышенном содержании цинка в растениях [20].

Ухудшение состояния насаждений и угнетение их роста, приведенные нами выше, отмечают и многие авторы, проводившие исследования в условиях аэротехногенного загрязнения. В результате такого загрязнения может наблюдаться снижение средней высоты и производительности древостоя [6, 18, 19]. Имеются сведения, подтверждающие снижение линейного прироста саженцев при загрязнении почв цинком в лабораторных условиях [15]. В настоящее время известно, что при поступлении токсиканта из почвы в растение, которое смоделировано в нашем эксперименте, в наибольшей степени угнетается рост корней в длину и уменьшается накопление их биомассы [16, 20]. Следовательно, в нашем полевом эксперименте ухудшение роста деревьев можно объяснить, с одной стороны, ухудшением их корневого питания вследствие нарушения роста и гибели корней от избыточных нагрузок цинка, а с другой стороны, последующим снижением продукционной способности хвои вследствие сокращения ее ассимилирующей биомассы из-за преждевременного опада, снижения площади продуцирующей поверхности и интенсивности фотосинтеза [20–22].

Этими же причинами можно объяснить и приведенные выше данные об ухудшении состояния древостоев сосновых молодняков под воздействием различных нагрузок цинка, которые

согласуются с многочисленными сведениями, полученными преимущественно в процессе полевых наблюдений в зонах воздействия промышленных выбросов [4, 6, 8, 19]. При этом действие нагрузок до 90 г/м² и, отчасти, 150 г/м² можно отнести к так называемому хроническому типу повреждения, при котором в составе древостоя на протяжении всего периода наблюдений доминируют деревья 1-й (здоровые) и 2-й (слабоослабленные) категорий состояния с появлением в отдельные годы незначительной доли деревьев 3-й (сильно ослабленные) категории состояния. Наблюдаемое изменение состояния древостоев на опытных делянках происходит, преимущественно, из-за увеличения доли деревьев 2-й категории состояния, в которую в ходе эксперимента переходят деревья 1-й категории.

Динамику состояния древостоев при нагрузках 225 и 300 г/м² следует классифицировать как острую форму повреждения. Ей присуще не только визуальное нарушение состояния ассимиляционного аппарата, но и последовавшее за ним резкое ухудшение индекса состояния древостоев, прежде всего за счет интенсивного отпада. Результаты эксперимента подтверждают, что под влиянием больших нагрузок загрязнителя, как и в зонах сильного загрязнения вблизи промышленных предприятий [17], вследствие увеличения в древостое количества деревьев с неустойчивым состоянием возрастают темпы его усыхания и сокращается продолжительность жизни древостоя.

Выводы. Впервые в контролируемом по уровню загрязнения полевом эксперименте получены данные о реакции сосновых насаждений на различные дозы внесения солей цинка.

Избыточное поступление цинка в «организм» дерева приводит к дехромации хвои сосны, что может быть обусловлено нарушением синтеза и фотодеструкции хлорофилла и каротиноидов. В молодняках сосны, спустя год после внесения азотнокислого цинка, дехромация хвои при нагрузках 150, 225 и 300 г/м² наблюдалась у 13, 47 и 94% деревьев соответственно, при нагрузке цинка 225 и 300 г/м² существенно уменьшались длина и масса хвоинок.

После двух лет воздействия внесенной на поверхность почвы соли азотнокислого цинка состояние сосновых древостоев стало ухудшаться с нагрузки в дозе 30 г/м². Индекс состояния древостоев при нагрузках 90 и 150 г/м² составил 1,7 балла (слабоослабленный древостой), при нагрузках 225 г/м² – 3,45 (сильно ослабленный древостой) и 300 г/м² – 4,0 балла (усыхающий древостой). Ухудшение состояния древостоев связано с изменением категорий состояния деревьев в ходе эксперимента. Интенсивность перехода от здоровых деревьев к ослабленным и

интенсивность образования отпада возрастают с увеличением нагрузки цинка. К завершению эксперимента при внесении цинка в дозе 225 и 300 г/м² древостой на 50–70% состоял из усыхающих и сухих деревьев, т.е. фактически находился в состоянии распада.

Увеличение нагрузки цинка приводит к снижению величины линейного прироста осевого побега сосны; во все годы наблюдений достоверность различий с контролем оставалась значимой для максимальных нагрузок цинка – 225 и 300 г/м².

Список использованных источников

1. Об экологическом развитии Российской Федерации в интересах будущих поколений [Электронный ресурс] / Доклад к заседанию Госсовета РФ 27.12. 2016 г. – Режим доступа: <http://www.cenef.ru/file/Doklad.pdf>
2. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году : Государственный доклад. – М. : НИИ-Природа, 2017. – 760 с.
3. Кураев, В. Н. Использование органических отходов в лесном хозяйстве / В. Н. Кураев, А. А. Мартынюк. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2012. – 126 с.
4. Воробейчик, Е. Л. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем / Е. Л. Воробейчик, О. Ф. Садыков, М. Г. Фарафонов. – Екатеринбург : УИФ “Наука”, 1994. – 280с.
5. Рассеянные элементы в бореальных лесах / В. В.Никонов, Н. В. Лукина, В. С. Безель [и др.] ;отв. ред. А. С. Исаев. – М. : Наука, 2004. – 61 с.
6. Мартынюк, А. А. Сосновые экосистемы в условиях аэротехногенного загрязнения / А. А. Мартынюк. – М. : ВНИИЛМ, 2004. – 160 с.
7. Алексеев, А. С. Экологическое нормирование атмосферного загрязнения SO₂ и HF по состоянию древостоев ели европейской / А. С. Алексеев // Лесоведение. – 1994. – № 4. – С. 82–86.
8. Михайлова, Т. А. Эколого-физиологическое состояние лесов, загрязняемых промышленными эмиссиями : автореф. дисс. ... д-ра биол. наук : 03.00.16 / Т. А. Михайлова. – Иркутск : СИФИБР, 1997. – 47 с.
9. Николаевский, В. С. Биологические основы газоустойчивости растений / В. С. Николаевский // Новосибирск : Наука, 1979. – 278 с.
10. Николаевский, В. С. Способ расчета критических нагрузок химических загрязнителей для лесных экосистем / В. С. Николаевский // Вопросы адаптации растений к неблагоприятным факторам среды. – Пермь : Пермский ГУ, 1993. – С. 52–57.
11. Обухов, А. И. Методические основы разработки ПДК тяжелых металлов и классификация почв по загрязнению / А. И. Обухов // Система методов изучения почвенного покрова, деградирующего под влиянием химического загрязнения. – М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 1992. – С. 13–20.
12. Опыт нормирования техногенного воздействия на леса / А. А. Мартынюк, Ю. Б. Боронин, А. Н. Жидков [и др.] // Лесохоз. информ. – 1998. – № 5. – С. 50–65.
13. Air Quality Guidelines – Ecological effect of air pollutants // World Health Organization ; Regional Office for Europe ; ICP/CEN 902/m 71(S). – 29 July, 1985
14. Ильин, В. Б. О надежности гигиенических нормативов содержания тяжелых металлов в почве / В. Б. Ильин // Агрохимия. – 1992. – № 12. – С. 78–85.
15. Ромашкевич, Е. В. Фитотоксичность соединений тяжелых металлов для древесных растений / Е. В. Ромашкевич, Ю. Б. Боронин // Экология леса и охрана природы. – М. : ВНИИЛМ, 1993. – С. 78–82.
16. Временная методика по учету сосновых насаждений, подверженных влиянию промышленных выбросов / Н. А.Воронков, В. М. Жирин, В. Д. Касимов, Л. Л. Коженков, А. А. Мартынюк. – Пушкино : ВНИИЛМ, 1986. – 35 с.
17. Мартынюк, А. А. Сосновые экосистемы в условиях аэротехногенного загрязнения, их сохранение и реабилитация : дисс. ... д-ра с.-х. наук / А. А. Мартынюк. – М., 2009. – 380 с.
18. Кулагин, Ю. З. Лесобразующие виды, техногенез и прогнозирование / Ю. З. Кулагин. – М. : Наука, 1980. – 116 с.
19. Ворон, В. П. Динамика состояния лесных насаждений в зоне калийного производства / В. П. Ворон // Влияние промышленного загрязнения на лесные экосистемы и мероприятия по повышению их устойчивости : тез. докл. Всесоюз. науч.-практ. совещ. (Каунас, ЛитНИИЛХ, 26–27 июня 1984). – Каунас – Гирионис : ЛитНИИЛХ, 1984. – С. 80–82.

20. Устойчивость к тяжелым металлам дикорастущих видов / под ред. Н. А. Алексеевой-Поповой. – Л. : Ботан. ин-т им. В. Л. Комарова АН СССР, 1991. – 214 с.
21. Гирс, Г. И. Физиология ослабленного дерева / Г. И. Гирс // Новосибирск : изд-во Наука, 1982. – 253 с.
22. Мартынюк, А. А. Особенности формирования надземной фитомассы сосновых молодняков в условиях техногенного загрязнения / А. А. Мартынюк // Лесоведение. – 2008. – № 1. – С. 39–45.

References

1. Ob ehkologicheskom razvitii Rossijskoj Federacii v interesah budushchih pokolenij [EHlektronnyj resurs] / Doklad k zasedaniyu Gossoveta RF 27.12. 2016 g. – Rezhim dostupa: <http://www.cenef.ru/file/Doklad.pdf>
2. O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej srede Rossijskoj Federacii v 2016 godu : Gosudarstvennyj doklad. – M. : NIA-Priroda, 2017. – 760 s.
3. Kuraev, V. N. Ispol'zovanie organicheskikh othodov v lesnom hozyajstve / V. N. Kuraev, A. A. Martynyuk. – Pushkino : VNIILM, 2012. – 126 s.
4. Vorobejchik, E. L. Ehkologicheskoe normirovanie tekhnogennyh zagryaznenij nazemnyh ehkosistem / E. L. Vorobejchik, O. F. Sadykov, M. G. Farafontov. – Ekaterinburg : UIF “Nauka”, 1994. – 280s.
5. Rasseyannye ehlementy v boreal'nyh lesah / V. V. Nikonov, N. V. Lukina, V. S. Bezel' [i dr.] ; otv. red. A. S. Isaev. – M. : Nauka, 2004. – 61s.
6. Martynyuk, A. A. Sosnovye ehkosistemy v usloviyah aehrotekhnogennogo zagryazneniya / A. A. Martynyuk. – M. : VNIILM, 2004. – 160 s.
7. Alekseev, A. S. Ehkologicheskoe normirovanie atmosfernogo zagryazneniya SO₂ i HF po sostoyaniyu drevostoev eli evropejskoj / A. S. Alekseev // Lesovedenie. – 1994. – № 4. – S. 82–86.
8. Mihajlova, T. A. Ehkologo-fiziologicheskoe sostoyanie lesov, zagryaznyaemyh promyshlennymi ehmissiyami : avtoref. diss. ... d-ra biol. nauk : 03.00.16 / T. A. Mihajlova. – Irkutsk : SIFiBR, 1997. – 47 s.
9. Nikolaevskij, V. S. Biologicheskie osnovy gazoustojchivosti rastenij / V. S. Nikolaevskij // Novosibirsk : Nauka, 1979. – 278 s.
10. Nikolaevskij, V. S. Sposob rascheta kriticheskikh nagruzok himicheskikh zagryaznitelej dlya lesnyh ehkosistem / V. S. Nikolaevskij // Voprosy adaptacii rastenij k neblagopriyatnym faktoram srede. – Perm' : Permskij GU, 1993. – S. 52–57.
11. Obuhov, A. I. Metodicheskie osnovy razrabotki PDK tyazhelyh metallov i klassifikaciya pochv po zagryazneniyu / A. I. Obuhov // Sistema metodov izucheniya pochvennogo pokrova, degradiruyushchego pod vliyaniem himicheskogo zagryazneniya. – M. : Pochv. in-t im. V. V. Dokuchaeva, 1992. – S. 13–20.
12. Opyt normirovaniya tekhnogennogo vozdejstviya na lesa / A. A. Martynyuk, Yu. B. Boronin, A. N. Zhidkov [i dr.] // Lesohoz. inform. – 1998. – № 5. – S. 50–65.
13. Air Quality Guidelines – Ecological effect sofar pollutants // World Health Organization ; Regional Officefor Europe ; ICP/CEN 902/m 71(S). – 29 July, 1985
14. Il'in, V. B. O nadezhnosti gigienicheskikh normativov sodержaniya tyazhelyh metallov v pochve / V. B. Il'in // Agrohimiya. – 1992. – № 12. – S. 78–85.
15. Romashkevich, E. V. Fitotoksichnost' soedinenij tyazhelyh metallov dlya drevesnyh rastenij / E. V. Romashkevich, YU. B. Boronin // Ehkologiya lesa i ohrana prirody. – M. : VNIILM, 1993. – S. 78–82.
16. Vremennaya metodika po uchetu sosnovykh nasazhdenij, podverzhennyh vliyaniyu promyshlennyh vybrosov / N. A. Voronkov, V. M. Zhirin, V. D. Kasimov, L. L. Kozhenkov, A. A. Martynyuk. – Pushkino : VNIILM, 1986. – 35 s.
17. Martynyuk, A. A. Sosnovye ehkosistemy v usloviyah aehrotekhnogennogo zagryazneniya, ih sohranenie i reabilitaciya : diss. ... d-ra s.-h. nauk / A. A. Martynyuk. – M., 2009. – 380 s.

18. Kulagin, Yu. Z. Lesoobrazuyushchie vidy, tekhnogenez i prognozirovanie / Yu. Z. Kulagin. – M. : Nauka, 1980. – 116 s.
19. Voron, V. P. Dinamika sostoyaniya lesnyh nasazhdenij v zone kalijnogo proizvodstva / V. P. Voron // Vliyanie promyshlennogo zagryazneniya na lesnye ehkosistemy i meropriyatiya po povysheniyu ih ustojchivosti : tez. dokl. Vsesoyuz. nauch.-prakt. soveshch. (Kaunas, LitNIIILH, 26–27 iyunya 1984). – Kaunas – Girionis : LitNIIILH, 1984. – S. 80–82.
20. Ustojchivost' k tyazhelym metallam dikorastushchih vidov / pod red. N. A. Alekseevoj-Popovoj. – L. : Botan. in-t im. V. L. Komarova AN SSSR, 1991. – 214 s.
21. Girs, G. I. Fiziologiya oslablennogo dereva / G. I. Girs // Novosibirsk : izd-vo Nauka, 1982. – 253 s.
22. Martynyuk, A. A. Osobennosti formirovaniya nadzemnoj fitomassy sosnovyh molodnyakov v usloviyah tekhnogennoho zagryazneniya / A. A. Martynyuk // Lesovedenie. – 2008. – № 1. – S. 39–45.

Evaluation of Response of the Forest Is in the Pine Underbrush on the Introduction of Zinc Nitrate in a Field Experiment

T. Rykova

Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, researcher, Pushkino, Moscow region, Russian Federation, rykova tv@mail.ru

Key words: heavy metals, pine young stands, field experiment, zinc, stand condition, linear growth.

Heavy metals (HM) belong to the most common and phytotoxic environmental pollutants that trigger changes in forest condition and productivity in large areas. Despite sufficient research, regularities of specific TM dose impacts on forest plant and stand condition are still understudied. To address this goal field experiments were established in 15 year old pine plantations with the following manual soil applications of zinc nitrate salt ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) loads: control – 0g/m², 7, 30, 90, 150, 225 and 300 g/m² in 40 m² plots. For the first time in a controlled pollution rate field experiment data on pine wood impacts to various zinc loads was found. Excessive Zn intake by tree organism resulted in pine needle chrome deficiency that could be triggered by breakdown of synthesis and photodisruption of chlorophyl and caratenoids. A year after $Zn(NO_3)_2$ application needle chlorosis was observed at 150-225-300 g/m² in 13%, 47% and 94% of tress respectively while 225 and 300 g/m² zinc loads reduced needle length and mass sufficiently. 2 years after zinc applications pine stand condition index began to deteriorate from 30 g/m² load and reduced at 90 – 150 g/m² to CI=1,7 (low poor condition), at 225 and 300 g/m² to CI=3.45 (severely poor condition) and CI = 4.0 (decline condition). Stand condition decline was due to various condition trees redistribution while shift intensity from more healthy trees to poorer ones and mortality development intensity raised with metal load growth. By experiment end at Zn 225-300 g/m²loads 50-70% of stand were declining or dead trees so in fact it broke down. Zinc load increase resulted in reduction of axial shoot linear growth, over all observation years variation accuracy to the control remained sufficient at maximum 225 and 300 g/m² zinc loads.