

Изучение реакции сосновых фитоценозов на выпадения тяжелых металлов в условиях полевого эксперимента

*Т. В. Рыкова – научный сотрудник,
Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства
и механизации лесного хозяйства, rykova.tv@mail.ru*

Дана оценка реакции молодняков сосны обыкновенной на различные уровни техногенных нагрузок цинка, смоделированных в полевом эксперименте. Приведены результаты изучения контролируемых величин выпадений цинка на изменение индекса состояния древостоев сосны, биометрических показателей хвои, реакцию подпологового естественного возобновления. Исходя из принципов развития экологических подходов в нормировании техногенного воздействия на леса, сделаны предварительные выводы о величине предельно допустимых нормативов промышленных выпадений цинка для сосновых экосистем.

Ключевые слова: *загрязнение среды, тяжелые металлы, цинк, сосновые экосистемы, грунтовая всхожесть семян, состояние древостоев, прирост деревьев, естественное возобновление, нормативы техногенных выпадений.*

Evaluation of Scotch pine young woods responses on various man-made zink load levels simulated in a field experiment. Findings of studies of zink fallout controlled values .on pine stand condition index variations, needle biometric indicators, response of under canopy natural regeneration. Preliminary conclusions on values of maximum allowable industrial zink fallout for pine ecosystems based on principles of environmental approaches in man-made forest impact rating.

Key words: *environmental contamination, heavy metals, zink, pine ecosystems, ground seed germinability, stand condition, tree growth, natural regeneration, man-made fallout rating.*

Загрязнение лесных экосистем выбросами промышленных предприятий до настоящего времени остается существенным фактором ухудшения состояния и снижения продуктивности лесов на больших площадях. В биосферу Земли, наряду с газовыми токсикантами, поступают значительные объемы тяжелых металлов, которые в большинстве случаев оказывают наибольшее отрицательное воздействие на природные экосистемы на локальных территориях вокруг промышленных центров цветной и черной металлургии, химической и нефтехимической промышленности, машиностроения. Для большинства тяжелых металлов объемы антропогенных выпадений превышают 60 % их общего поступления в атмосферу, а для таких элементов, как свинец, кадмий, никель, ванадий и мышьяк, доля таких источников составляет 90–99 % [1]. Площадь техногенно загрязненных земель, прежде всего, тяжелыми металлами, достигает 18 млн га. Они встречаются практически во всех федеральных округах страны [2–4].

В системе комплексных мероприятий по сохранению и реабилитации лесов в условиях техногенного загрязнения ведущее место принадлежит ограничению объемов поступления загрязняющих веществ в лесные экосистемы до безвредных для их нормальной жизнедеятельности количеств, т. е. нормированию техногенного воздействия на леса. Существуют разнообразные подходы к такому нормированию, а также разработано много нормативов допустимого влияния химических веществ на лесные растения и экосистемы [5–11], но большинство из них разработано на основе санитарно-гигиенических принципов нормирования и экспериментов, проводимых в лабораторных или лабораторно-тепличных условиях. Известны научные работы с использованием экологических подходов, позволяющих учитывать реакцию лесных экосистем на воздействие загрязнителей в естественных условиях местопрорастания [12–16], прежде всего путем нормирования выпадений техногенных веществ. На основе этого подхода нами проведены экспериментальные исследования по обоснованию

допустимых выпадений тяжелых металлов (на примере цинка) на сосновые экосистемы по их реакции на нормированное воздействие в полевых условиях.

В качестве загрязнителя выбран цинк как один из наиболее распространенных тяжелых металлов окружающей среды и выбросов промышленных предприятий.

Объекты и методика экспериментов. Исследования проводили в молодняках сосны (лесные культуры, состав – 10 С; возраст – 15 лет; класс бонитета – I; запас – 68 м³/га; тип условий произрастания – В₂) на территории Виноградовского лесничества Московской обл. Изучаемые леса подвержены техногенному воздействию химических и цементных предприятий г. Воскресенска. На территории Воскресенского района в растворимом виде ежегодно за зимний период в снегу накапливается в среднем около 6 кг/га сульфатов, 0,7 кг/га соединений азота, 3,4 кг/га хлоридов, 0,4 кг/га фторидов, 3 кг/га железа, 0,07 кг/га кобальта, 0,1 кг/га цинка [17].

Для решения поставленных исследовательских задач были проведены полевые работы с контролируемым загрязнением лесных насаждений цинком. В этих целях использовалась соль азотно-кислого цинка $Zn(NO_3)_2 \cdot 7H_2O$. Для экспериментов выбраны лесные насаждения с минимальным уровнем содержания химических веществ в компонентах среды – почвах, снеге, дождевых осадках, хвое.

На участке молодняков сосны были заложены опытные площадки (по 40 м² каждая). В начале вегетационного периода в поверхностный слой почвы был внесен цинк в следующих вариантах, г/м²: 0, 7, 30, 90, 150, 225 и 300. Фитотоксический эффект воздействия загрязнителя на сосновые фитоценозы оценивали по изменению индекса состояния древостоев сосны, линейного прироста деревьев, роста и степени поражения хвои, а также реакции самосева и подроста на различные техногенные нагрузки цинка.

Состояние деревьев определяли по методике ВНИИЛМ, специально разработанной для условий промышленного загрязнения среды [18] и характеризующей состояние деревьев сосны, в

основном продолжительностью жизни хвои и густотой охвоения побегов кроны. Степень ослабления насаждений характеризовалась средним индексом состояния, вычисленным как средневзвешенное через баллы состояния отдельных деревьев.

Ход роста насаждений по высоте (линейный прирост) оценивали по данным измерений прироста по мутовкам или данным анализа ствола 5-ти средних деревьев на пробной площади.

Образцы хвои для определения биометрических показателей отбирали в верхней части кроны деревьев (3–4-я мутовки сверху) с побегов 2-го порядка (за побег 1-го порядка принят ствол дерева). Измерения длины хвои и массы хвоинок проводили в лаборатории в день отбора проб.

Для изучения влияния техногенных нагрузок цинка на подпоговое естественное возобновление сосны заложен полевой эксперимент в



Рис. 1. Дехромация хвои в молодняках сосны на участке с дозой внесения цинка 300 г/м²

средневозрастных сосняках зеленомошниковых. На пробных площадках размером 2×2 м в поверхностный слой почвы вносили цинк в виде соли азотно-кислого цинка $Zn(NO_3)_2$ в количестве, обеспечивающем техногенную нагрузку, аналогичную нагрузке в молодняках.

Естественное возобновление на площадках, заложенных под пологом средневозрастных сосняков зеленомошниковых, разделяли по возрастным группам в соответствии с ОСТ 56-108-98 [19]: всходы сосны – растения возрастом до 1 года, самосев – молодые растения семенного происхождения в возрасте 2–5 лет, подрост – молодое поколение растений старше 5 лет, способное образовать новый древостой. Учет состояния самосева и подростка сосны проводили по следующей шкале: 1 – без признаков ослабления; 2 – ослабленные; 3 – усыхающие; 4 – сухие.

Для оценки влияния загрязнителей на появление всходов сосны было проведено лабораторное исследование энергии прорастания и всхожести ее семян при разных нагрузках цинка. Для этого в сосуды с почвой вносили азотно-кислый цинк $Zn(NO_3)_2$ в виде водного раствора с содержанием токсического вещества согласно вариантам опыта, указанным выше. Для опыта использовали семена 1-го класса качества. Всходы поливали дистиллированной водой в количестве, обеспечивающем полную влагоемкость почвы. Подсчет всходов семян проводился каждый третий день в течение 30 сут (после начала появления всходов). Взошедшими считались семена с длиной корешка не менее длины семени (фаза «ключика»).

Анализ результатов. Результаты экспериментальных исследований показывают, что первые симптомы избыточного содержания в почве $Zn(NO_3)_2$ появились при нагрузках более 150 г/м² в виде пожелтения хвои у деревьев сосны через 3 мес после внесения элемента. Через год после внесения соли цинка при нагрузках элемента 150, 225 и 300 г/м² дехромация хвои наблюдалась у 13, 47 и 94 % деревьев соответственно. При нагрузке 300 г/м² около 5 % деревьев сосны имели сильное поражение хвои (рис. 1).

Таблица 1. Биометрические показатели хвои средних деревьев в молодняках сосны

№ п/п	Цинк, г/м ²	Количество деревьев, шт.	1999 г.		2000 г.				2001 г.			
			Доля деревьев с пожелтевшей хвоей, %		Длина хвоинок, мм			Масса 100 шт. хвоинок, мг	Длина хвоинок, мм			Масса 100 шт. хвоинок, мг
			сильная степень	слабая степень	max	min	средняя		max	min	средняя	
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

Изучение биометрических показателей хвоинок сосны показало, что нагрузки от 30 до 150 г/м² в первые годы наблюдений не оказывали влияния на длину и массу хвоинок текущего года. Однако более высокие дозы Zn(NO₃)₂ в этот же период вызывали значительное снижение этих показателей (табл. 1). При дозе 225 г/м² средняя длина хвоинок в 2000–2001 гг. уменьшилась по сравнению с контролем на 17–19 %, масса хвоинок – на 21–24 %. При дозе 300 г/м² уровень нарушения роста хвои ещё больше усилился: средняя длина хвоинок текущего года сократилась на 33–50 %, а масса 100 шт. хвоинок – на 60–65 %.

В условиях контроля линейный прирост осевого побега деревьев сосны (рис. 2) у измеренных деревьев достигал в среднем 50 и 68 см в год (минимальные значения – 20 см, максимальные – 87 см). С повышением уровня нагрузки загрязнителя отмечалось снижение данного показателя по сравнению с контрольными значениями, причем устойчивое уменьшение начиналось при нагрузке 30 г/м². При нагрузке 225 г/м² сокращение среднего линейного прироста достигало примерно 50 % значений контроля. Повышение техногенной нагрузки до 300 г/м² приводило к резкому падению линейного прироста до минимальных величин – 8–14 см в год.

Индекс состояния (ИС) древостоев сосны как интегральный показатель их устойчивости (рис. 3) свидетельствует о постепенном ослаблении молодняков в течение 2000–2004 гг., начиная с нагрузки 30 г/м². При этом за весь период

наблюдений в контрольных древостоях и на участке с нагрузкой 7 г/м² индекс состояния древостоев изменялся незначительно и не выходил за

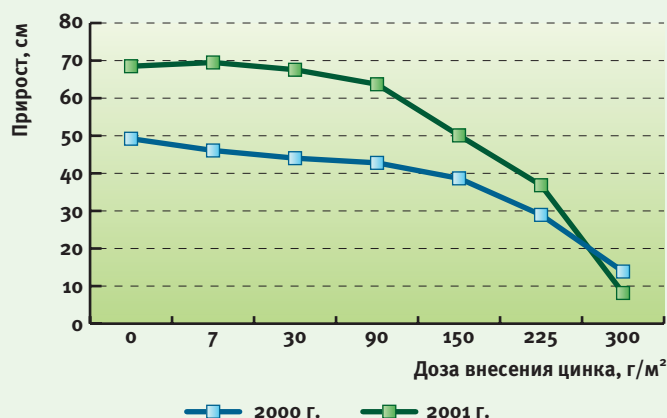


Рис. 2. Изменение линейного прироста деревьев в сосновом молодняке

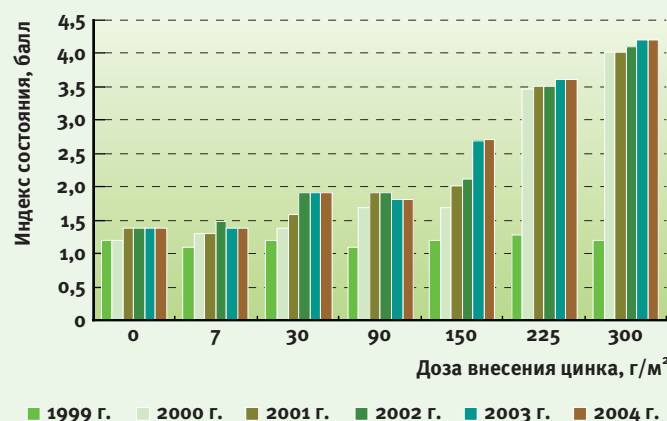


Рис. 3. Динамика изменения индекса состояния в сосновых молодняках при разных дозах внесения цинка в почву

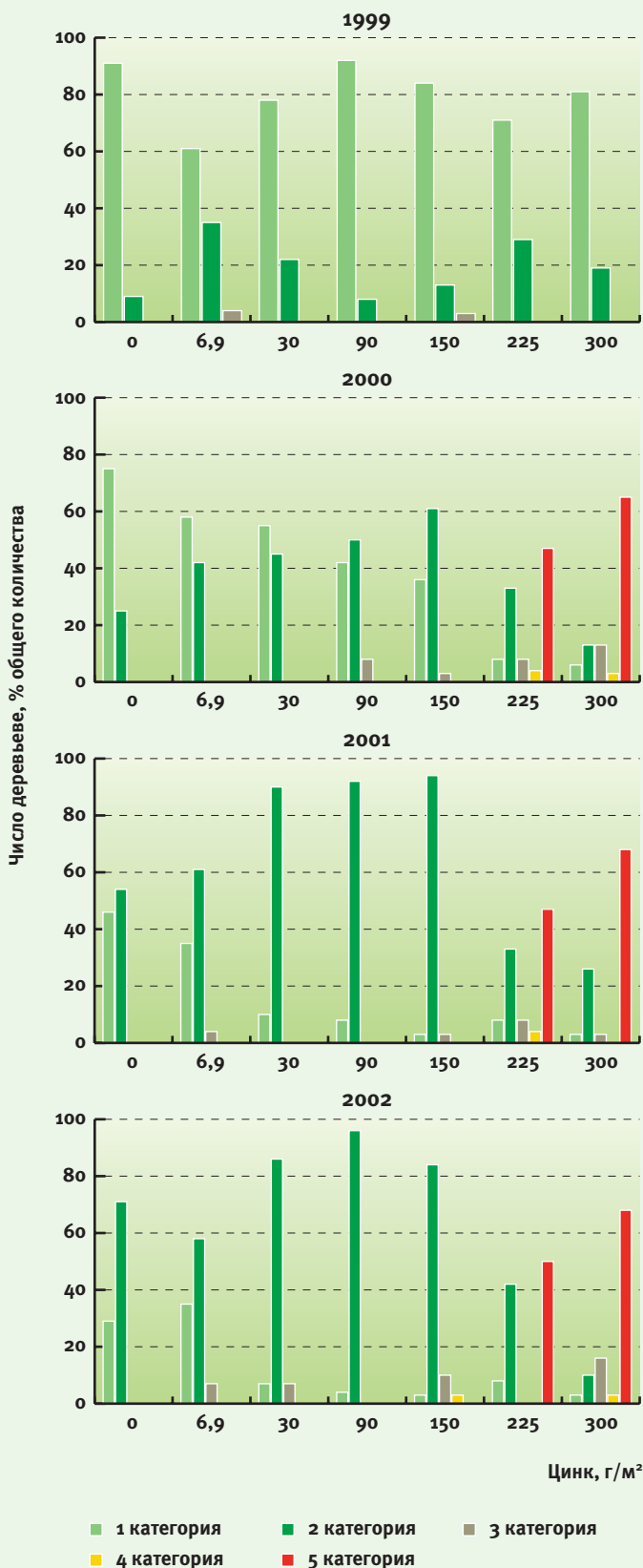


Рис. 4. Динамика распределения деревьев по категориям состояния в молодняках в 1999-2002 гг.

пределы ИС=1,5 – здоровые насаждения. При нагрузках 30 и 90 г/м² ухудшение состояния древостоев наблюдалось на следующий год после внесения цинка; причем переход критического значения состояния с ИС=1,5 при нагрузке 30 г/м² происходил на 2-м году, при нагрузке 90 г/м² – на 3-м году эксперимента.

Существенные различия в состоянии насаждений между контролем и участками с внесенным цинком стали появляться при нагрузке 150 г/м²: на 2-й год наблюдений индекс состояния древостоев ухудшился на 17 %, а на 6-м году – на 52 %. С дальнейшим увеличением нагрузки эти отклонения возрастали, а при 300 г/м² наблюдалось массовое усыхание деревьев, в результате которого средний индекс состояния ухудшился с 1,2 балла в 1999 г. до 4,2 балла в 2003–2004 гг.

Данные о переходе деревьев из более высоких категорий состояния в более низкие и, в итоге, в отпад в связи с увеличением уровня техногенной нагрузки представлены на рис. 4. В начале эксперимента 65–90 % деревьев всех вариантов опыта соответствовали 1-й категории состояния – «здоровые деревья». На протяжении периода наблюдений в контроле появилась тенденция увеличения доли деревьев 2-й категории состояния – «слабо ослабленные», однако не отмечалось появление деревьев 3-й категории состояния – «сильно ослабленные». Однако уже при низких техногенных нагрузках – 7 и 30 г/м² – на 3- и 4-й год эксперимента фиксировались сильно ослабленные деревья.

При максимальных нагрузках (225 г/м² и 300 г/м²) большая часть деревьев на 2-й год наблюдений резко перешла в 5-ю категорию состояния – «погибшие». В последующие годы количество этих деревьев только увеличивалось за счет перехода деревьев 1-й категории состояния в категории «слабо ослабленные» и «сильно ослабленные». Следовательно, выпадения цинка способны существенно трансформировать состояние деревьев в древостое, причем наиболее губительными для молодняков сосны можно считать нагрузки 225 и 300 г/м².

Результаты полевых исследований реакции подпочвенного естественного возобновления со-

сны на техногенные нагрузки свидетельствуют о связи его жизнеспособности с уровнем загрязнения (табл. 2). Так, за 3-летний период наблюдений установлена устойчивая тенденция снижения числа всходов в средневозрастных сосняках зеленомошниковых при уровне загрязнения почвы цинком 90 г/м² и более. При уровне загрязнения 300 г/м² количество сохранившихся всходов составляло около 10 % исходного количества. При этом на контроле и при минимальной нагрузке цинка (7 г/м²), а также, отчасти, 30 г/м² наблюдалось увеличение числа всходов сосны под пологом древостоя.

Такая реакция всходов на загрязнение почвы объясняется токсичным влиянием соли цинка на энергию прорастания и всхожесть семян сосны. Как показали лабораторные исследования, нагрузка цинка уже на уровне 7 мг/м² приводит к снижению энергии прорастания семян (табл. 3). При уровнях загрязнения 225 и

300 г/м² на 15-е сут эксперимента взошедшие семена отсутствовали. Всхожесть семян на 30-е сут после начала эксперимента снижается с увеличением уровня загрязнения почвы цинком, составляя при нагрузке 90 г/м² 50 %, а при 300 г/м² – 5 % значений контроля. Нагрузка элемента на уровне 7 г/м², обеспечивающая расчетную величину предельно допустимой концентрации цинка в почве, равную 23 мг/кг, снижала количество всходов семян сосны на 20 %; в целом доля всходов семян сосны была пропорциональна уровню загрязнения почвы.

За 3-летний период наблюдений (2001–2003 гг.) установлена тенденция снижения количества самосева и подроста сосны (количество в 2003 г. относительно исходного в 2001 г.) при всех уровнях загрязнения, включая контроль. В последнем случае это можно объяснить влиянием комплекса факторов внутренней среды сообщества (например, изменение освеще-

Таблица 2. Состояние самосева и подроста сосны при разной нагрузке цинка

Величина нагрузки, г/м ²	Год учета	Количество всходов, шт.	Количество самосева и подроста, шт., по градам высот, см					Сохранность, самосева и подроста, %
			6–10	10–20	20–30	свыше 30	Всего	
Контроль	2001	95	34	60	39	-	133	
	2002	97	28	64	44	20	156	
	2003	199	9	12	47	15	83	62,4
7	2001	76	20	37	42	22	121	
	2002	79	34	40	35	21	130	
	2003	203	21	29	26	22	98	81,0
30	2001	134	83	124	23	-	230	
	2002	60	54	86	36	1	177	
	2003	193	20	27	40	11	98	42,6
90	2001	92	32	70	29	13	204	
	2002	22	17	12	4	3	26	
	2003	47	7	14	5	3	29	14,2
150	2001	74	52	54	43	5	154	
	2002	11	4	1	-	5	10	
	2003	33	1	2	1	-	4	2,6
225	2001	66	32	26	15	3	76	
	2002	5	-	2	-	-	5	
	2003	15	-	3	-	-	5	6,5
300	2001	60	50	88	38	-	196	
	2002	-	-	-	-	-	-	
	2003	7	-	-	-	-	-	0

Таблица 3. Всхожесть и энергия прорастания семян сосны в вариантах лабораторного опыта

Уровень загрязнения почвы, г/м ²	Энергия прорастания семян на 15-е сут, %	Всхожесть семян (за 30 сут), %	Количество всходов, % от контроля
Контроль	40	90	100
7	30	70	80
30	10	50	55
90	20	45	50
150	10	35	39
225	0	20	22
300	0	5	5

ценности под пологом древостоя), в остальных – действием загрязняющего вещества. При этом, если в контроле и при низком уровне загрязнения цинком (7 г/м²) снижение числа самосева и подроста имеет нелинейный характер (отмечалось даже его повышение в 2002 г.), то при более высоких нагрузках (с 30 г/м²) проявляется устойчивая тенденция к снижению количества живого самосева и подроста. Так, при уровне загрязнения почвы 30 г/м² сохранность самосева и подроста сосны снижается до 43 % от первоначального количества, при 225 г/м² – почти до 6 %, а при 300 г/м² отмечается полная гибель подпологового естественного возобновления сосны (рис. 5).



Рис. 5. Повреждаемость самосева и подроста сосны при нагрузке цинка 225 г/м²

Выводы. Выпадение тяжелых металлов с выбросами промышленных предприятий в атмосферу может приводить к существенному нарушению роста и развития лесных фитоценозов сосны обыкновенной. Это выражается в повреждении и ухудшении биометрических показателей ассимиляционного аппарата деревьев, снижении их прироста, общем ослаблении деревьев и увеличении отпада в древостоях, нарушении жизнеспособности и гибели подпологового естественного возобновления сосны.

Результаты полевого эксперимента показывают, что устойчивая дехромация хвои и снижение ее биометрических показателей наблюдаются при нагрузках цинка 90 г/м² (900 кг/га), а ухудшение состояния древостоев и уменьшение линейного прироста – с нагрузки 30 г/м² (300 кг/га).

Практически необратимые изменения в состоянии естественного подпологового возобновления сосны возникают при уровне загрязнения цинком в дозе более 90 г/м² (900 кг/га).

Список литературы

1. *Рассеянные элементы в бореальных лесах* / В. В. Никонов, Н. В. Лукина, В. С. Безель [и др.]; отв. ред. А.С. Исаев. – М. : Наука, 2004. – 616 с.
2. *Большаков, В. А. Загрязнение почв* / В. А. Большаков. – М.: ВИНТИ (научный портал ВИНТИ). – 2006. – 4 с.
3. *Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды РФ»*. – М., 2001.
4. *О состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2005 году: государственный (национальный) доклад*. – М., 2006. – 200 с.
5. *Временные нормативы ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, оказывающих вредное воздействие на лесные насаждения в районе музея-усадьбы «Ясная Поляна»*. – М. : ВНИИЛМ, 1984. – 17 с.
6. *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.
7. *Научные основы разработки ПДК тяжелых металлов в почвах* / А. И. Обухов, И. П. Бабьева, А. В. Гринь [и др.] // *Тяжелые металлы в окружающей среде*. – М. : МГУ, 1980. – С. 20.
8. *Николаевский, В. С. Методика определения предельно допустимых концентраций вредных газов для растений* / В. С. Николаевский, Т. В. Николаевская. – М., 1988. – 15 с.
9. *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.
10. *Серебрякова, Л. К. Допустимые концентрации токсических веществ в атмосферном воздухе для древесной растительности* / Л. К. Серебрякова // *Газоустойчивость растений*. – Новосибирск : Наука, 1980. – С. 184-185.
11. *Нормирование техногенного воздействия на лесные экосистемы* / А. А. Мартынюк, Ю. Б. Боронин, А. В. Костенко, Е. В. Ромашкевич // *Лесн. хоз-во*. – 1998. – № 1. – С. 25–27.
12. *Воробейчик, Е. Л. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень)* / Е. Л. Воробейчик, О. Ф. Садыков, М. Г. Фарафонов. – Екатеринбург: Наука, 1994. – 280 с.
13. *Крючков, В. В. Предельные антропогенные нагрузки и состояние экосистем Севера* / В. В. Крючков // *Экология*. – 1991. – № 3. – С. 28-40.
14. *Николаевский, В. С. Способ расчета критических нагрузок химических загрязнителей для лесных экосистем* / В. С. Николаевский // *Вопросы адаптации растений к неблагоприятным факторам среды*. – Пермь : Пермский гос. ун-т, 1993. – С. 52-57.
15. *Air Quality Guidelines – Ecological effects of air pollutants* // World Health Organization ; Regional Office for Europe ; ICP/CEN 902/m 71(S). – 29 July, 1985.
16. *Prinz, B. Study on the impact of the principal atmospheric pollutants on the vegetation* / V. Prinz, C. I. Brandt // Commission of the European Communities. – EUR 6644 EN / 1980.
17. *Мартынюк, А. А. Особенности пространственного загрязнения лесных экосистем выбросами промышленных предприятий* / А. А. Мартынюк, Т. В. Рыкова // *Актуальные проблемы лесного комплекса : сб. науч. трудов по итогам междунар. науч.-техн. конф. Вып. 38.* / Под общ. редакцией Е. А. Памфилова. - Брянск: БГИТА, 2014. – С. 104-110.
18. *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.
19. *ОСТ 56-108-98. Стандарт отрасли «Лесоводство. Термины и определения»*. Утвержден приказом Рослесхоза от 03.12 1998 № 203.

Referenses

1. *Bol'shakov, V. A.* Zagryaznenie pochv. – M.: VINITI (nauchnyj portal VINITI). – 2006 g. – 4 s.
2. *Vorobejchik, E. L.* Ekologicheskoe normirovanie texnogennyx zagryaznenij nazemnyx ekosistem (lokal'nyj uroven') / E. L. Vorobejchik, O. F. Sadykov, M. G. Farafonov. – Ekaterinburg: Nauka, 1994. – 280 s.
3. *Vremennaya metodika po uchetu sosnovykh nasazhdenij, podverzhennyx vliyaniyu promyshlennyx vybrosov.* VNIILM, Voronkov N. A., Zhirin V. M., Kasimov V. D., Kozhenkov L. L., Martynyuk A. A. 1986g. 35str
4. *Vremennye normativy PDK zagryaznyayushhix veshhestv v atmosfernom vozduxe, okazyvayushhix vrednoe vozdejstvie na lesnye nasazhdeniya v rajone muzeya-usad'by «Yasnaya Polyana».* – M. : VNIILM, 1984. – 17 s
5. *Gos.doklad « O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushhej sredy» RF.* – M., 2001.
6. *Kryuchkov, V. V.* Predel'nye antropogennye nagruzki i sostoyanie ekosistem Severa / V. V. Kryuchkov // *Ekologiya.* – 1991. – № 3. – S. 28–40.
7. *Martynyuk A.A., Rykova T.V.* Osobennosti prostranstvennogo zagryazneniya lesnyx ekosistem vybrosami promyshlennyx predpriyatij.//Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa/Pod obshej redakcziej E.A.Pamfilova. Sbornik nauchnyx trudov po itogam mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferenczii. Vypusk 38. – Bryansk: BGITA,2014. – S. 104–110.
8. *Mixajlova, T. A.* Ekologo-fiziologicheskoe sostoyanie lesov, zagryaznyaemyx promyshlennymi emissiyami: avtoref. dis. – d-ra biol. nauk: 03.00.16 / T. A. Mixajlova. – Irkutsk : SIFiBR, 1997. – 47 s.
9. *Nauchnye osnovy razrabotki PDK tyazhelyx metallov v pochvax/ A. I. Obuxov, I. P. Bab'eva, A. V. Grin' [i dr.] // Tyazhelye metally v okruzhayushhej srede.* – M. : MGU, 1980. – S. 20.
10. *Nikolaevskij, V. S.* Metodika opredeleniya predel'no dopustimyx koncentraczij vrednyx gazov dlya rastenij / V. S. Nikolaevskij, T. V. Nikolaevskaya. – M., 1988. – 15 s.
11. *Nikolaevskij, V. S.* Sposob rascheta kriticheskix nagruzok ximicheskix zagryaznitelej dlya lesnyx ekosistem / V. S. Nikolaevskij // *Voprosy adaptaczii rastenij k neblagopriyatnym faktoram sredy.* – Perm' : Permskij gos. un-t, 1993. – S. 52–57.
12. *Normirovanie texnogennogo vozdejstviya na lesnye ekosistemy / A. A. Martynyuk, Yu. B. Boronin, A. V. Kostenko, E. V. Romashkevich //Lesn. xoz-vo.- 1998. – № 1.- S. 25–27.*
13. *O sostoyanii i ispol'zovanii zemel' v Rossijskoj Federaczii v 2005 godu : gosudarstvennyj (naczional'nyj) doklad.* – M.: 2006. – 200 s.
14. *OST 56-108–98 Standart otrasli «Lesovodstvo. Terminy i opredeleniya» (utv. prikazom Roslesxoza ot 3 dekabrya 1998 g. № 203).*
15. *Rasseyannye elementy v boreal'nyx lesax / V. V. Nikonov, N. V. Lukina, V. S. Bezel' i dr. ; otv. red. A. S. Isaev.* – M. : Nauka, 2004. – 616 s.
16. *Romashkevich, E. V.* Fitotoksichnost' soedinenij tyazhelyx metallov dlya drevesnyx rastenij / E. V. Romashkevich, Yu. B. Boronin // *Ekologiya lesa i ohrana prirody.* – M.: VNIILM, 1993. – S. 78–82.
17. *Serebryakova, L. K.* Dopustimye koncentraczii toksicheskix veshhestv v atmosfernom vozduxe dlya drevesnoj rastitel'nosti / L. K. Serebryakova // *Gazoustojchivost' rastenij.* – Novosibirsk : Nauka, 1980. – S. 184–185.
18. *Air Quality Guidelines – Ecological effects of air pollutants // World Health Organization ; Regional Office for Europe ; ICP/CEN 902/m 71(S).* – 29 July, 1985.
19. *Prinz, B.* Stady on the impact of the principal atmospheric pollutants on the vegetation / B. Prinz, C. I. Brandt // *Commission of the European Commutities.* – EUR 6644 EN / 1980.

Studies of pine phytocoenosis responses on heavy metal fallouts in field experiment

T. Rykova – researcher, Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry

So far forest ecosystem contamination with industrial pollutions is a significant factor of forest productivity decline and reduction in sufficient areas. Rating of its adverse impacts has a leading role in pollution scope limitation in a set of forest conservation and protection operations. For this reason we conducted field experiments to identify allowable heavy metals fallouts (for example zink) in pine ecosystems.

Controlled forest stand contaminations with zink were conducted ($Zn(NO_2)_2 \cdot 7H_2O$) in young pine woods in the Vinogradovskoye forest dictrict in Moscow region.

It was found that industrial heavy metals fallout may result in sufficient breakdown of Scotch pine phytocoenossis growth and evolution. It is reflected in tree needle indicator damage and deterioration, its growth decrease, general tree decline and tree mortality growth, Scotch pine undergrowth natural regeneration decline.

Controlled field experiment results show that stable needle dehromation and its biometric indicator deterioration is visible at zink loads 90 g/m^2 (900 kg/2a), and stand condition decline and linear growth reduction at 30 g/m^2 (300 kg/2a).

At zink fallouts 90 g/m^2 (900 kg/2a) practically irreversible changes in stand condition occur at under canopy natural regeneration .

Key words: *environmental contamination, heavy metals, zink, pine ecosystems, ground seed germinability, stand condition, tree growth, natural regeneration, man-made fallout rating.*