

УДК 630*425:630*18

Р. И. Винокурова, О. Н. Денисова

ВЛИЯНИЕ АВТОДОРОГИ НА СОДЕРЖАНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ХВОЕ ЕЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ

Представлены результаты исследования влияния условий придорожной зоны на содержание свинца, цинка и меди в хвое разного возраста деревьев и подроста ели обыкновенной. Показаны особенности накопления данных металлов в хвое в зависимости от продолжительности вегетации и возраста растений. Установлено, что основным загрязняющим тяжелым металлом объектов придорожных экосистем продолжает оставаться свинец.

Ключевые слова: автодороги, тяжелые металлы, ель обыкновенная.

Введение. Бурное развитие сети автодорог и выраженная тенденция увеличения численности автомобилей на трассах, в том числе и в Республике Марий Эл (РМЭ), привели к тому, что автодороги стали одним из наиболее мощных источников загрязнения окружающей среды. Загрязнение распространяется не только на прилегающие к автомобильным трассам участки, но и с ветряными потоками на всю территорию регионов. Тотальная автомобилизация в настоящее время входит в глубокое противоречие с экологическими требованиями к окружающей среде.

В ряду научных методов, с помощью которых возможно объективное исследование биологических объектов (в том числе и растений), наряду с биоиндикационными способами оценки занимает количественный химический анализ. Одним из специфичных загрязнителей придорожных экосистем являются тяжелые металлы (ТМ). Их содержание в атмосферном воздухе и почвенном покрове нормируется с помощью сравнения валовых значений с нормами ПДК. Поскольку поглощение ТМ растениями происходит одновременно с поступлением биогенных веществ через корневую систему и, особенно в случае менее подвижных ионов, непосредственно через листья и хвою, фотосинтезирующие органы растений являются активными их накопителями. Поэтому при отсутствии внешних признаков угнетения индикацию состояния растительных объектов экосистемы можно проводить по содержанию тяжелых металлов в фотосинтезирующих органах.

Если аккумуляция ТМ растениями рассматривать как проявление воздействия загрязнения, то сравнительное изучение содержания некоторых металлов-поллютантов на придорожной и фоновой территории является весьма целесообразным для решения одной из основных задач экологического мониторинга – выделения антропогенных изменений на фоне естественных.

Цель исследований состояла в определении дальности и интенсивности распространения некоторых ТМ (свинец, цинк, медь) от источника загрязнения – автомобильной дороги Йошкар-Ола – Казань, поскольку известно, что данная группа металлов интенсивно аккумулируется в почвенных горизонтах вблизи автодорог [1].

В качестве объекта исследования выбраны придорожные лесные экосистемы, представленные естественными елово-пихтовыми фитоценозами вдоль линейного ис-

точника загрязнения на примере автомагистрали Йошкар-Ола – Казань. Почва придорожной зоны может быть отнесена к дерново-подзолистой, которой присущ интенсивный дерновый процесс, сопровождаемый накоплением в верхних горизонтах гумуса и элементов питания [2]. В качестве тест-объектов экологического мониторинга придорожной экосистемы выбрана хвоя деревьев и подрост ели обыкновенной (*Picea abies*), поскольку ель обыкновенная – одна из основных лесобразующих пород РМЭ. Для видов *Picea* характерно явление гибридного смешивания. По данным В. И. Пчелина [3], в естественных насаждениях Среднего Поволжья преобладает ель гибридного происхождения с доминированием признаков *Picea abies*, на долю которой приходится 57,6 %.

Полевые исследования и отбор образцов для анализа проводили на заложенных в 2003 году пробных площадях в соответствии с ГОСТ 17-4-4.02.84 в течение всего сезона вегетации с интервалом в две недели на разном расстоянии от полотна дороги. Почвенные образцы отбирали в местах отбора растительных проб. Образцы хвои разделяли на хвою текущего, второго и третьего годов вегетации. Растительные и почвенные образцы высушивали до воздушно-сухого, затем при 105°C доводили до абсолютно сухого состояния и озоляли при 450°C в муфельной печи. Количественный химический анализ содержания тяжелых металлов в образцах почвы и золы растений осуществляли методом атомно-эмиссионной спектроскопии. Проведенное количество измерений и анализов позволило обеспечить не менее чем пятипроцентный уровень значимости (доверительная вероятность 95%).

В практике экологического мониторинга в настоящее время наряду с ПДК предлагаются новые нормирующие показатели – местные фоновые содержания химических элементов в почвах, основных видах дикорастущих растений в конкретных геохимических ландшафтах. Результаты химического анализа объектов придорожной экосистемы сравнивались с данными по фоновым уровням содержания микроэлементов в почвах и растениях РМЭ, определенными сотрудниками кафедры химии МарГТУ [4].

Обработку экспериментальных данных проводили с использованием табличного процессора Microsoft Excel, статистических пакетов Statistica 6.0, Curve expert 1.3 методами корреляционного, регрессионного, однофакторного и двухфакторного дисперсионного анализа. О достоверности оценок судили по значению критерия Фишера [5, 6].

Результаты и их обсуждение. При анализе экспериментальных данных выявлена локализация свинца и цинка в приповерхностном слое почвы придорожной зоны, связанная с накоплением в этом слое органического вещества, являющегося эффективным аккумулятором и утилизатором полиметаллического загрязнения [7]. Такое распределение характерно для почв, подвергающихся антропогенному воздействию, когда техногенная аккумуляция накладывается на биогенную, а перемещение тяжелых металлов вниз по почвенному профилю выражено слабо [8]. Содержание меди в горизонтах А1 и А1В практически одинаково, что может свидетельствовать об отсутствии аэрозольного загрязнения почвы соединениями этого металла (см. табл. на с. 77).

Найденные средние значения уровня валового содержания свинца в почве придорожной зоны вблизи автодороги Йошкар-Ола – Казань, составляющего 65 мг/кг абс. сух., не превышают ПДК. Однако максимальное содержание свинца в почвенном горизонте А1 (глубина 0–10 см), найденное на удалении 40 м от асфальтового полотна, превышает его фоновый уровень для почв (РМЭ) в 1,4 раза, тогда как на глубине 20–30 см (горизонт А1В) на этом же расстоянии от дороги превышения фонового уровня по содержанию свинца в почве не наблюдается [4]. Содержание меди и цинка в почве придорожной зоны находится ниже фонового уровня и составляет для цинка – 57,78 и

5,89 г/кг абс. сух. почвы, для меди – 22,98 и 22,31 мг/кг абс. сух. почвы в горизонтах А1 и А1В соответственно.

Свинец относится к элементам среднего накопления в растениях [9]. Однако содержание этого металла в исследованных пробах хвои растений подроста и деревьев ели обыкновенной в придорожной зоне многократно превышает известные фоновые уровни для РМЭ. В хвое растений подроста ели обыкновенной превышение составляет от 1,5 до 2,5 раза (в отдельных пробах до 15 раз), в хвое взрослых деревьев – от 2 до 7 раз (в отдельных пробах – до 12,5 раза).

Среднее содержание свинца, цинка и меди в объектах исследования

Объект исследования		Среднее содержание тяжелых металлов, мг/кг абс. сух.		
		Pb	Zn	Cu
Почва	A1	53,135	57,78	22,31
	A1B	15,895	35,89	22,98
Хвоя деревьев ели обыкновенной	1 год	0,648	6,714	3,914
	2 год	0,880	22,03	2,652
	3 год	1,090	19,36	3,437
Хвоя подроста ели обыкновенной	1 год	0,512	1,806	3,525
	2 год	0,520	4,967	2,573
	3 год	0,726	6,437	2,046

С увеличением возраста хвои содержание в ней свинца закономерно возрастает. Поглощение свинца хвоей третьего года растений подроста ели обыкновенной – в 1,4 раза интенсивнее по сравнению с хвоей текущего и второго годов вегетации, хвоей третьего года взрослых деревьев ели в 1,2 и 1,7 раза по сравнению с хвоей второго и третьего годов соответственно. Среднее содержание свинца в хвое взрослых деревьев превышает содержание в хвое растений подроста в 1,5 раза (рис.1).

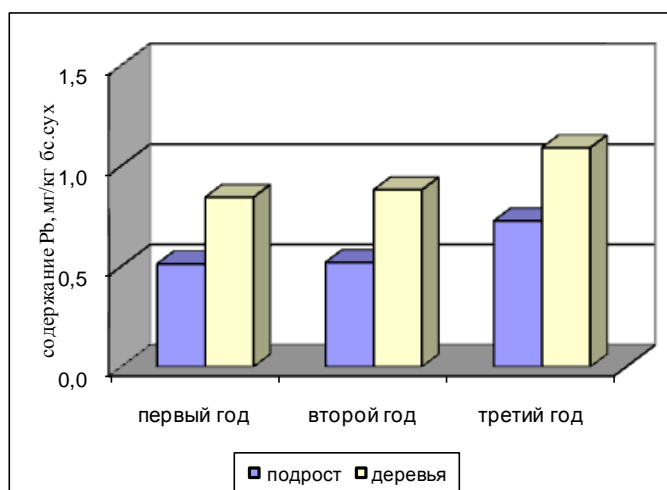


Рис.1. Содержание свинца в хвое разных лет подроста и деревьев ели обыкновенной

Подобный характер распределения свинца в хвое разных лет вегетации характерен и для фоновых территорий РМЭ.

Свинец характеризуется широким спектром вызываемых им токсических эффектов на различных представителей биоты. Механизм его действия обусловлен ингибиро-

нием ферментов детоксикации ксенобиотиков. Воздействие свинца приводит к биохимическим сдвигам, к нарушению функции ряда ферментов. Следует отметить, что поскольку неорганические соединения свинца в почве образуют нерастворимые соли и комплексы с различными анионами, обычно их попадание в наземные части растений через корневую систему весьма ограничено. Вследствие этого аэральный путь загрязнения свинцом является преобладающим для зеленых частей растений. Расстояние, на котором найдено наибольшее содержание свинца в хвое, составляет 40 м, что практически совпадает с наибольшим содержанием этого ТМ в почве. Данный факт также может свидетельствовать о присутствии аэрозольной составляющей в поглощении свинца хвоей растений придорожной экосистемы. На расстоянии от автодороги 115 м загрязнение свинцом фотосинтезирующих органов ели не обнаружено, а его содержание в хвое ели обыкновенной практически соответствует фоновому уровню для елово-пихтовых фитоценозов республики (0,4 мг/кг абс. сух.).

Сбалансированность химического состава живых организмов – основное условие их нормального роста и развития. В условиях загрязнения наблюдаются значительные изменения в химическом составе хвои разного возраста. Отражением биохимических процессов, протекающих в растительном организме, может служить наличие определенных взаимосвязей в аккумуляции микроэлементов.

Цинк относится к элементам сильного накопления растениями и характеризуется обычно равномерным распределением по всем органам и тканям. Но содержание данного металла в хвое подроста в 2–3 раза ниже фоновых уровней и до 10 раз ниже по сравнению с содержанием, которое считается достаточным для растений [7]. Хвоя текущего года вегетации деревьев ели обыкновенной содержит цинк в количестве, в 7,2 раза меньшем, чем хвоя аналогичных деревьев фоновых территорий придорожной зоны.

В хвое растений подроста ели обыкновенной содержание цинка повышается по мере увеличения возраста хвои. Для деревьев найдено наибольшее содержание в хвое второго года вегетации (рис.2).

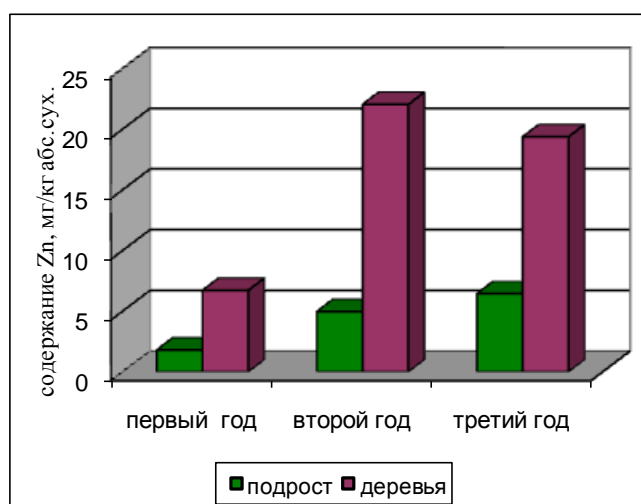


Рис.2. Содержание цинка в хвое разных лет подроста и деревьев ели обыкновенной

Факт пониженного содержания цинка в хвое ели обыкновенной в условиях придорожной зоны возможно объяснить пониженным содержанием его в почве придорожной

зоны, а также высоким уровнем содержания свинца в исследованных образцах. В ряде работ [7, 10] сделано предположение о том, что антагонизм цинка и свинца выражается во взаимно неблагоприятном действии на перенос этих химических элементов из корней в надземные части растений, что и могло вызвать снижение содержания цинка в хвое изученных объектов.

В хвое второго и третьего годов деревьев ели обыкновенной распределение цинка является иным. В трехлетней хвое его содержание достигает фонового, а в хвое второго года на 10% превышает фоновый уровень. Очевидно, метаболические процессы в многолетней хвое взрослых деревьев характеризуются большей стабильностью и в меньшей степени подвержены негативному влиянию свинцового загрязнения.

Ряд исследователей [10–12] связывают понижение содержания цинка в фотосинтезирующих органах растений с повышенным содержанием меди. Несмотря на то, что медь относится к группе элементов слабого накопления и среднего захвата, ее содержание в хвое ели обыкновенной в придорожной зоне найдено достаточно высоким, в 2–4 раза превышающим фоновые концентрации. Причем наибольшее содержание этого металла найдено в хвое текущего года как растений подроста, так и взрослых деревьев ели (рис.3). В хвое подроста содержание данного металла уменьшается с увеличением возраста хвои, а для деревьев ели обыкновенной такой зависимости содержания меди от возраста хвои не прослеживается.

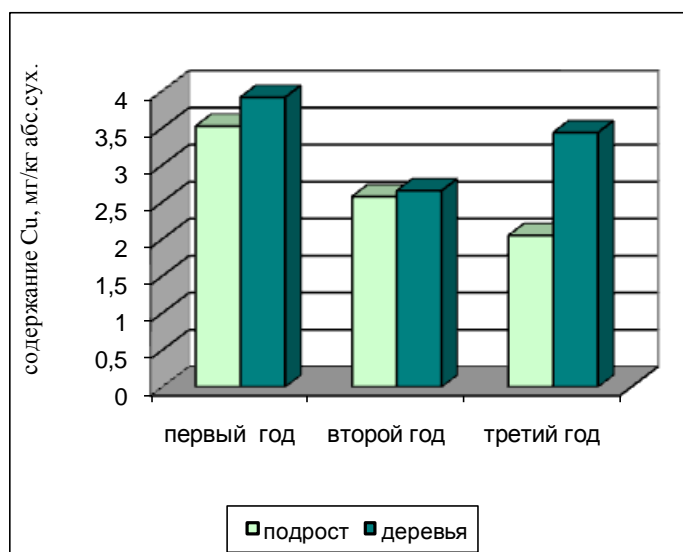


Рис. 3. Содержание меди в хвое разных лет подроста и деревьев ели обыкновенной

Поскольку содержание меди в корнеобитаемом слое почвы существенно понижено по сравнению с фоновым, можно сделать предположение о значительном вкладе аэрозольной составляющей в поступления меди в хвою ели обыкновенной в придорожной полосе.

Данные о взаимовлиянии поглощения цинка и меди растениями согласуются с выводами, сделанными в работах Г. Я. Ринькиса [10], Н. В. Лукиной с соавторами [11] и Е. В. Федоровой [12]. По результатам этих исследований сделано предположение о

сходстве механизмов поглощения данных металлов, вследствие чего наблюдается взаимная конкуренция и ингибирование поглощения одного металла другим.

Однако следует отметить, что согласно данным других исследователей [7,13], найденные нами содержания меди в хвое растений подроста и деревьев ели обыкновенной в придорожной зоне не являются избыточными и не оказывают негативного воздействия на функционирование растительного организма. Поэтому повышенное содержание этого физиологически значимого микроэлемента можно расценивать как ответную адаптивную реакцию на существенный уровень свинцового загрязнения.

Выводы. Установлено, что основным загрязнителем почвы и фотосинтезирующих органов ели обыкновенной в придорожной зоне продолжает оставаться свинец. Максимальное загрязнение почвы соединениями свинца и повышенное содержание свинца в хвое разных лет вегетации растений подроста и деревьев ели обыкновенной найдено на расстоянии 40 м от асфальтового полотна. Свинцовое загрязнение почвы и хвои проявляется на расстоянии до 115 м от дороги.

Наибольшее содержание свинца и цинка обнаружено в хвое третьего года вегетации, меди – в хвое текущего года. В условиях загрязнения наблюдаются значительные изменения в химическом составе хвои ели обыкновенной и нарушаются свойственные данному виду соотношения между содержаниями свинца, цинка и меди.

В условиях придорожной зоны в хвое ели обыкновенной найдено повышенное содержание меди. На фоне высокого содержания свинца и меди в хвое разных лет деревьев и подроста ели обыкновенной снижается аккумуляция цинка.

Список литературы

1. Автомобильные дороги в экологических системах (проблемы взаимодействия) / Д. Н. Кавтрадзе, Л. Ф. Николаева, Е. Б. Поршнева, Н. Б. Фролова. – М.: ЧеРо, 1999. – 240 с.
2. *Сабиров, А. Т.* Почвы и продуктивность еловых и пихтовых биогеоценозов Вятско-Камского междуречья / А. Т. Сабиров // Экология и леса Поволжья: сб. ст. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1999. – С.58–61.
3. *Пчелин, В. И.* Внутрипопуляционное разнообразие ельников Среднего Поволжья / В. И. Пчелин // Экология и генетика популяций: Сб. науч. материалов Всерос. популяционного семинара. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1998. – С. 151–153.
4. Роль растений елово-пихтовых лесов в миграции химических элементов / Р. И. Винокурова, О. В. Андриянова, И. Ю. Волкова и др. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 196 с.
5. *Лакин, Г. Ф.* Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
6. *Жигунов, А. В.* Статистическая обработка материалов лесокультурных исследований / А. В. Жигунов, И. А. Маркова, А. С. Бондаренко. – СПб: ЛТА, 2002. – 87 с.
7. *Кабата-Пендиас, А.* Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
8. *Глазовская, М. А.* Принципы классификации почв по опасности их загрязнения тяжелыми металлами / М. А. Глазовская // Биологические науки. – 1989. – № 9. – С.38–46.
9. *Попова, О. В.* Индикация дальности и интенсивности влияния Новолипецкого металлургического комбината на прилегающую территорию (по реакциям клена остролистного) / О. В. Попова, А. И. Федорова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2005. – №1. – С.135–142.
10. *Ринькис, Г. Я.* Оптимизация минерального питания растений / Г. Я. Ринькис. – Рига: Зинанте, 1979. – 355 с.
11. *Лукина, Н. В.* Химический состав хвои сосны на Кольском полуострове / Н. В. Лукина, В. В. Нионов, Х. Райтго // Лесоведение. – 1994. – №6. – С.10-21. 12.

12. Федорова, Е. В. Биоаккумуляция металлов растительностью в пределах малого аэротехногенного загрязненного водосбора / Е. В. Федорова, Г. Я. Одинцева // Экология. – 2005. – № 1. – С.26–31.
13. Ильин, В. Б. Тяжелые металлы в системе почва–растения / В. Б. Ильин. – Новосибирск: Наука. – 1991. – 151 с.

Статья поступила в редакцию 10.11.08

R. I. Vinokourova, O. N. Denisova

MOTOR ROAD INFLUENCE ON THE CONCENTRATION OF SOME HEAVY METALS IN ACEROUS LEAF OF *PICEA ABIES*

The results of the study of roadside area conditions influencing concentration of lead, zinc and copper in acerous leaf of different age trees and undergrowth of Picea Abies are presented. Peculiarities of these metals accumulation in acerous leaf depending on the length of vegetation and the age of the plants are shown. Lead is defined to be the main polluting heavy metal for the roadside ecosystem objects.

Key words: motor roads, heavy metals, *Picea Abies*.

ВИНОКУРОВА Раиса Ибрагимовна – доктор биологических наук, профессор кафедры химии МарГТУ. Область научных интересов – устойчивое природопользование, биогеохимия, экология и физиология лесных растений. Автор более 100 научных работ, в том числе пяти монографий.

ДЕНИСОВА Ольга Николаевна – кандидат химических наук, доцент кафедры химии МарГТУ. Область научных интересов – экология и физиология лесных растений. Автор 15 научных работ.