

УДК 630*813.3

**АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В ПОЧВЕ И В ДРЕВЕСИНЕ СОСНЫ****COMPARATIVE ANALYSIS OF MINERAL CONTENT ELEMENTS
IN SOIL AND WOOD OF PINE**© **Килушева Н. В.***Северный (Арктический) федеральный университет
им. М. В. Ломоносова, г. Архангельск, Россия*© **Kilyusheva N.***Lomonosov Northern (Arctic) Federal University
Arkhangelsk, Russia*© **Евдокимов В. Н.***канд. биол. наук**Северный (Арктический) федеральный университет
им. М. В. Ломоносова, г. Архангельск, Россия*© **Evdokimov V.***Ph.D., Lomonosov, Northern (Arctic) Federal University
Arkhangelsk, Russia*© **Килушев А. Ю.***Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова,
г. Архангельск, Россия, n.volkova@narfu.ru*© **Kilyushev A.***Lomonosov Northern (Arctic) Federal University
Arkhangelsk, Russia, n.volkova@narfu.ru*

Аннотация. Исследования проводились в пригородах промышленных центров, насаждения которых имеют большое экологическое значение. Уровень и масштабы антропогенного воздействия на лесонасаждения вблизи городов постоянно возрастает. Цель исследований - анализ содержания тяжелых металлов в древесине сосны обыкновенной и в почве в черничных типах пригородных лесов (в Архангельском и Северодвинском лесничествах). Работа по определению содержания минеральных элементов и тяжелых металлов выполнена посредством рентгенофлуоресцентного анализа, проведенного на волнодисперсном спектрометре. Для проведения анализа предварительно высушенные до абсолютно сухого состояния в сушильном шкафу и измельченные пробы прессовались в таблетки. Определен ряд аккумуляции тяжелых металлов. Полученные данные могут стать «точкой отсчета» для анализа аналогичных процессов накопления и миграции тяжелых металлов в экосистемах региона и объективной оценки состояния древостоев.

Abstract. The studies were conducted in the suburban of industrial centers, spaces which are of great ecological importance. The level and extent of human impact on forests near cities is increasing. The purpose of research is analysis of heavy metals content in the wood of pine-trees and in the soil in blueberry types of suburban forests (in the Arkhangelsk and Severodvinsk forestry). Work to determine the content of mineral elements and heavy metals is accomplished by means of rentgenofluorestsentnogo analysis conducted on volnodispersny spectrometer. For the analysis of pre-dried up to absolutely dry condition in a drying Cabinet and powdered material were pressed into tablets. Defined a number of heavy metals accumulation. The obtained data can become a "reference point" for the analysis of similar processes of accumulation and migration of heavy metals in ecosystems of the region and of the objective assessment of forest stands.

Ключевые слова: тяжелые металлы, древесина, почва, сосна, аккумуляция.

Keywords: heavy metals, wood, soil, pine, accumulation.

В лесных биогеоценозах эдификаторами являются древесные растения, органы и части которых различаются зольностью и химическим составом. Основное хранилище зольных элементов - ствол древесных растений [1].

Оценка зольного состава древесины различных видов древесных растений, потребления ими зольных элементов в пределах одного биотопа является актуальной и практически важной задачей. Анализ литературных данных свидетельствует о большой изменчивости содержания химических элементов в растениях. Это связано с различными экологическими условиями произрастания.

Большая роль в определении состояния насаждений и нагрузки на древостои принадлежит тяжелым металлам, которые входят в группу основных загрязняющих веществ и представляют большую опасность из-за высокой токсичности их избыточного количества, продолжительном пребывании в живых организмах и слабой интенсивности выведения из системы: почва-растения-животные-человек. Допустимо присутствие некоторых тяжелых металлов (ТМ) в низких концентрациях для нормальной жизнедеятельности живых организмов, на уровне тысячных долей процента или ниже, однако при избыточном накоплении они становятся довольно опасными загрязнителями. Химический состав растений, как известно, отражает элементный состав почв. Поэтому избыточное накопление ТМ растениями обусловлено, прежде всего, их высокими концентрациями в почвах. Для деревьев, как и для прочих растений, доступны именно подвижные формы элементов, присутствующие в почве. Они выполняют важную роль в функционировании отдельных компонентов этих экосистем, передаваясь по трофической цепи [2].

В почве в зависимости от экологических факторов изменяется водный, воздушный и температурный режимы, ухудшается биологическая активность, изменяется численность и состав почвенной фауны. Уплотнение почвы отрицательно сказывается на физические и химические свойства. Под действием антропогенной нагрузки значительно изменяются химические параметры почв. Уменьшается содержание гумуса, азота, фосфора, калия, увеличивается гидролитическая кислотность [3]. Высокое содержание металлов в корнеобитаемых горизонтах почвы приводит к активному поступлению их в растения. По мере накопления они увеличивают свою токсичность, что приводит к различным поражениям растений. Отмечается, что при совместном действии тяжелые металлы угнетают рост и процессы метаболизма растений сильнее, чем при раздельном [4].

Целью работы являлся анализ содержания тяжелых металлов в древесине сосны обыкновенной и в почве в черничных типах пригородных лесов севера.

Подбор и закладка временных пробных площадей выполнялись с учетом требований ОСТ 56-69-83 и подробно описанных методик [5, 6]. Модельные деревья были отобраны согласно среднему диаметру и высоте, установленным по данным перечета на пробных площадях, а так же согласно категории состояния деревьев. Отбор проводился в период интенсивного роста в июне-августе. Нами изучалось содержание минеральных элементов и тяжелых металлов в древесине деревьев, а так же взаимосвязь содержания химических элементов и состояния деревьев. Оценку категории состояния деревьев проводили согласно «Санитарных правил в лесах РФ», утвержденных Приказом МПР России от 27.12.2005 [7].

Исходным материалом служили керны древесины с модельных деревьев, взятые возрастным буром Пресслера с высоты 1,3 метра. Исследования проводили для центральной и периферийной частей ствола ели и ядра и заболони сосны.

В камеральных условиях каждый образец был высушен до абсолютно сухого состояния в сушильном шкафу при температуре +105°C в течение суток. Общее количество проб составило 50 штук. Работа по определению содержания минеральных элементов и тяжелых

металлов выполнена на оборудовании ЦКП НО «Арктика» (Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова) при финансовой поддержке Минобрнауки России. Рентгенофлуоресцентный анализ проводили на волнодисперсном спектрометре LabCenterXRF-1800. Для проведения химического анализа образцов требовалась подготовка собранного материала. Для этого предварительно высушенные и измельченные пробы прессовались в таблетки.

Сначала записывали спектр образца и определяли, какие элементы присутствуют в пробе, которые затем определяли методом фундаментальных параметров.

Условия проведения измерения: рентгеновская трубка с родиевым анодом, $U=40$ кВ, $I=95$ мА, экспозиция 40 с и 20 с для фоновых точек. Анализ проводился в атмосфере вакуума. Использовали следующие кристаллы-анализаторы: для определения Fe, Mn, Ca, K, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Co – LiF, S, P, Cl–Ge, Mg, Na, O – TAP, Al–PET. Для регистрирования излучения применяли сцинтилляционный и пропорциональный детекторы. Все данные представлялись в % от абсолютно сухого вещества.

Всего было заложено 5 пробных площадей в Архангельском лесничестве и 5 – в Северодвинском лесничестве в Приморском районе Архангельской области (северная подзона тайги) в сосняке черничном свежем.

Химический анализ почв показал, что кобальт присутствует во всех изученных горизонтах и изменяется от 1,4 до 8,4 мг/кг (Таблица 1). Содержание металла незначительно превышает ПДК, но выше фонового уровня в 1,3-2,9 раза. На всех пробах прослеживается повышение концентрации в нижних горизонтах почвенного профиля. Никель обнаружен во всех горизонтах и колеблется от 0,499 до 25,5 мг/кг. Отмечается повышение ПДК в 1,2-7,4 раза, а фонового значения в 1,3-3,9 раза. Наибольшее содержание никеля наблюдается в гумусово-аккумулятивных горизонтах A1, а в последующих нижележащих горизонтах содержание уменьшается. Такое перераспределение металла по профилю характерно для участков 1 и 2 стадий дигрессии. На участках 3 и 4 стадий дигрессии повышение концентрации отмечается в нижних горизонтах. Исследование цинка в почвах показало, что его содержание в генетических горизонтах изменяется от 32,7 до 110,6 мг/кг. При этом отмечается превышение предельно-допустимой концентрации 1,4-4,0 раза, а фонового значения – 1,3-6,0 раз.

Содержание меди колеблется от 6,64 до 20,10 мг/кг. Ее концентрации превысила ПДК в 2,2-15,6 раза, а фоновое значение – в 3,2-22,3 раза.

Наиболее высокие накопление металлов выявлено в верхних горизонтах A1 на участках 1 – 2 стадий дигрессии. На участках с нарушенным органомным слоем наблюдается наибольшая аккумуляция цинка и меди в нижних горизонтах B1B2 и B2. Изучение перераспределения хрома по почвенному профилю показало, что содержание его изменяется от 1,4 до 18,3 мг/кг. Уровень концентрации хрома превышает норму в 1,5-4,8 раза, а фоновое значение – в 1,2-2,8 раза. При определении марганца в почвах обнаружено, что его содержание значительно ниже предельно-допустимой концентрации и колеблется от 47,1 до 341,4 мг/кг. Общая направленность изменения содержания элемента – это постепенное снижение с глубиной, что наблюдается на участках 1 и 2 стадий дигрессии. Это связано с аккумуляцией марганца в верхних органомных горизонтах. Обратная тенденция отмечается на участках 3 и 4 стадий дигрессии. На этих участках, с нарушенным верхним слоем, происходит миграция элемента в нижележащие слои и увеличение его концентрации в них. Содержание железа в почвах составило от 2181 до 5776 мг/кг. На всех обследованных площадях отмечается повышение концентрации в нижележащих горизонтах. В результате исследований содержания тяжелых металлов в почвах обнаружено, что их концентрация превышает предельно-допустимые нормы, исключение составил марганец. Повышенное содержание загрязнителей в почве свидетельствует о их техногенном поступлении.

Следует отметить, что просматриваются особенности в накоплении и распределении металлов по почвенному профилю (Рисунок).

Таблица 1.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВЕРХНИХ ГОРИЗОНТАХ ПОЧВ, МГ/КГ

Наименование горизонта	Мощность горизонта, см	Химический элемент									
		Zn	Fe	Mn	Ni	Cr	Co	Cu	Cd	Pd	
Участок первой стадии дигрессии											
A ₁	0 – 6	86,3±17,3	-	325,6±65,10	29,46±5,90	13,73±2,75	3,86±0,80	46,73±9,30	-	-	56,66±11,3
A ₂	6 – 10	32,70±6,50	2993±599	47,1±9,40	0,499±0,10	9,20±1,84	3,70±0,70	10,45±2,10	0,87±0,20	-	24,7±4,90
B ₁	10 – 25	59,30±11,90	5338±1068	335,6±67,1	25,55±5,10	29,00±5,80	6,90±1,40	12,09±2,40	-	-	23,94±4,80
Участок второй стадии дигрессии											
A ₁	0 – 2	91,00±18,20	5492±1098	184,6±36,90	20,32±4,10	18,25±3,65	5,40±1,10	9,29±1,90	2,79±0,60	-	26,1±5,20
A ₂ B ₁	2 – 8	49,40±9,90	5776±1155	159,2±31,80	14,48±2,90	15,70±3,14	6,20±1,20	9,23±1,80	1,20±0,20	-	16,5±3,30
B ₂	8 – 30	23,3±4,70	-	122,6±24,50	8,31±1,70	1,40±0,28	5,47±1,10	9,01±1,8	-	-	5,39±1,10
Участок третьей стадии дигрессии											
A ₂	0 – 4	46,00±9,20	2181±436	63,10±12,6	3,19±0,6	14,10±2,82	0,60±0,1	6,75±1,40	0,88±0,20	-	5,97±1,20
A ₂ B ₁	4 – 15	32,70±6,50	2993±599	47,10±9,40	0,499±0,10	9,20±1,84	3,70±0,7	10,45±2,10	0,87±0,20	-	24,7±4,90
B ₁ B ₂	15-30	54,0±10,8	4684±937	205,10±41,0	16,02±3,20	14,83±2,97	4,90±1,0	20,10±4,0	1,38±0,30	-	13,13±2,60
Участок четвертой стадии дигрессии											
B ₁	0 – 4	46,7±9,30	5300±1060	153,0±30,6	12,93±2,60	12,60±2,52	1,40±0,30	8,75±1,80	0,60±0,10	-	18,39±3,70
B ₂	4 – 15	18,60±3,70	-	84,40±16,9	4,97±1,00	9,07±1,81	2,13±0,40	6,64±1,30	-	-	6,8±1,40
B ₃	15 – 30	110,60±4,70	5279±1056	341,40±13,3	22,06±4,40	15,20±3,04	8,40±1,7	18,85±3,80	0,59±0,10	-	23,64±4,70
ПДК (ОДК)											
Содержание (мг/кг)		23,0	-	1500	4,0	6,0	5,0	3,0	0,5*		32,0
Фон											
Содержание (мг/кг)		18,5**	-	-	6,5**	10,4**	2,9**	2,1**	0,07**		4,10**

ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве»

*ГН 2.1.7.2042-06 «Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве»

** Попова, Л. А. Экологическая оценка почв сельскохозяйственного пользования в пригородной зоне Архангельска / Л. А. Попова, Б. С. Чураков,

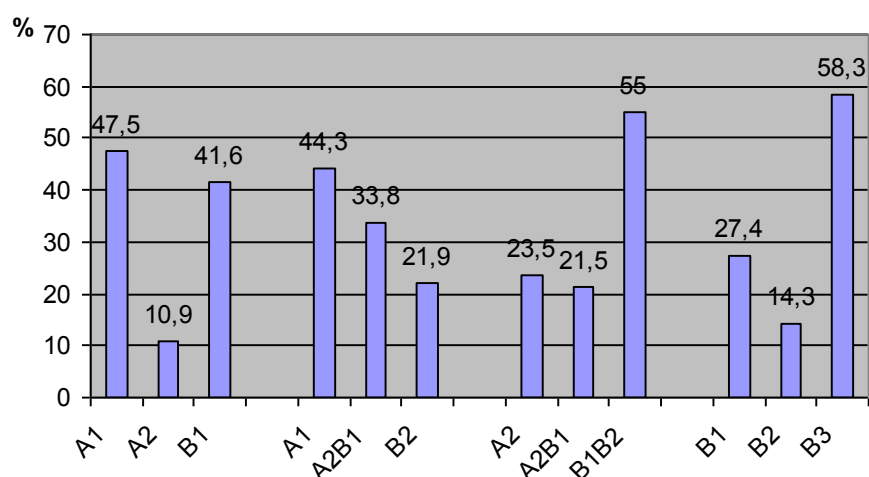


Рисунок. Процентное распределение содержания тяжелых металлов по горизонтам (A1, A2, B1... - наименование горизонта почвы).

Специфика поведения тяжелых металлов, в пределах обследованных горизонтов, проявляется не только с глубиной, но и наблюдается на участках с разной рекреационной нагрузкой. Так, на участках 1 и 2 стадий дигрессии основная доля всех металлов (до 47,5 %) аккумулируется верхнем органогенном слое. С продвижением вниз по профилю доля содержания всех элементов значительно снижается до 21,9%. Это обусловлено, по-видимому, тем, что соединения этих элементов активно сорбируются органическим веществом. На участках 3 и 4 стадий дигрессии, где полностью отсутствует гумусово-аккумулятивный горизонт, основная доля металлов до 58,3% мигрирует в минеральные горизонты. Эти слои не обладают высокой буферной способностью, поэтому поллютанты активно накапливаются в нижних горизонтах почвенного профиля.

Говоря о присутствии тяжелых металлов в древесине сосны, следует отметить их минимальное содержание у сосны (до 0,01%), не представляющее значительной угрозы. Так, например, наибольший индекс аккумуляции у сосны отмечен для меди, а также цинка в ядровой части, наименьший – для свинца. Данные представлены в Таблице 2.

Таблица 2.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДРЕВЕСИНЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ, %

Микроэлементы							
Медь		Свинец		Цинк		Марганец	
ядро	заболонь	ядро	заболонь	ядро	заболонь	ядро	заболонь
0,04	0,04	0,003	0,002	0,01	0,004	0,009	0,007

Для проведения процесса фитоэкстракции свинца и кадмия из загрязненных почв могут быть рекомендованы овес посевной и горчица полевая.

Внесение в почву активатора – янтарной кислоты повышает эффективность процесса фитоэкстракции свинца и кадмия (при их содержании в почве на уровне 4 ПДКп) овсом посевным, горчицей полевой, кресс-салатом: соответственно в 8; 5; 16 раз для свинца и в 11; 11; 4 раза для кадмия при раздельном присутствии данных металлов в почве и в 4; 10; 3 раза для свинца и в 1,3; 3; 2 раза для кадмия при их совместном присутствии в почве.

Выводы:

- Концентрация тяжелых металлов в почве превышает предельно-допустимые нормы, исключение составил марганец. Повышенное содержание загрязнителей в почве свидетельствует о их техногенном поступлении.
- На всех обследованных площадях отмечается повышение концентрации в нижележащих горизонтах.
- Наибольший индекс аккумуляции тяжелых металлов в древесине сосны отмечен для меди, а также цинка в ядровой части, наименьший – для свинца.
- Для эффективного проведения процесса фитоэкстракции свинца и кадмия могут быть рекомендованы овес посевной, горчица полевая и янтарная кислота.

Список литературы:

1. Лукина Н. В., Сухарева Т. А., Исаева Л. Г. Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северотаежных лесах. М.: Наука, 2005. 245 с.
2. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М.: 1957.
3. Корельская Т. А. Факторы, влияющие на миграцию тяжелых металлов в системе почва-растение // Экологические проблемы Севера: межвуз. сб. науч. тр. Архангельск, 2005. Вып. 8. С.254-255.
4. Михайлова Т. А., Бережная Н. С., Плешанов А. С. и др. Комплексная экологическая оценка состояния лесов Тайшетского района перед запуском алюминиевого производства в г. Тайшете. Иркутск: Изд-во Институт географии СО РАН, 2005. 159 с.
5. Анучин Н. П. Лесная таксация. 6-е изд. М.: ВНИИЛМ, 2004. 552 с.
6. ГОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки.
7. Санитарные правила в лесах РФ: Приказ МПР России от 27.12.2005 №350

References:

1. Lukina N. V., Sukhareva T. A., Isaeva L. G. Tekhnogennyye digressii i vosstanovitelnye suksessii v severotaezhnykh lesakh. M.: Nauka, 2005. 245 p.
2. Vinogradov A. P. Geokhimiya redkikh i rasseyannykh elementov v pochvakh. M.: 1957.
3. Korelskaya T. A. Faktory, vliyayushchie na migratsiyu tyazhelykh metallov v sisteme pochva-rastenie // Ekologicheskie problemy Severa: mezhvuz. sb. науч. tr. Arkhangel'sk, 2005. Вып. 8. pp. 254-255.
4. Mikhailova T. A., Berezhnaya N. S., Pleshanov A. S. i dr. Kompleksnaya ekologicheskaya otsenka sostoyaniya lesov Taishetskogo raiona pered zapuskom alyuminievogo proizvodstva v g. Taishete. Irkutsk: Izd-vo Institut geografii SO RAN, 2005. 159 p.
5. Anuchin N. P. Lesnaya taksatsiya: Uchebnik dlya vuzov. 6-e izd. M.: VNIILM, 2004. 552 p.
6. GOST 56-69-83. Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye. Metod zakladki.
7. Sanitarnyye pravila v lesakh RF: Prikaz MPR Rossii ot 27.12.2005 No 350.