

6. Metodiki opytnogo dela i metodicheskie rekomendacii SKZ-NIISiV. Krasnodar, 2002. S. 143–176.
7. Proekt «Strategii razvitiya prirodopodobnyh (konvergentnyh) tekhnologij na period do 2030 goda» <https://base.garant.ru/56923126/?ysclid=lt6vod6e6z609679444> (data obrashcheniya 12.02.2024).
8. Savickij P.P. Atlas vreditelej plodovyh i yagodnyh kul'tur. Kiev, «Urozhaj», 1969. 216 s.
9. Trejvas L.Yu., Kashtanova O.A. Bolezni i vrediteli plodovyh rastenij: Atlas-opredelitel'. M.: ООО «Fiton XXI», 2016. 352 s.
10. Federal'nyj zakon № 522-FZ ot 31.12.2020 «O bezopasnom obrashchenii s pesticidami i agrohimiKatami» v chasti sovershenstvovaniya gosudarstvennogo kontrolya (nadzora) v oblasti bezopasnogo obrashcheniya s pesticidami i agrohimiKatami», <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012300040?ysclid=lt6wznh3ft692808096> (data obrashcheniya 20.02.2024).

Поступила в редакцию 01.03.2024

Принята к публикации 15.03.2024

УДК 577.16.087: 630

DOI: 10.31857/S2500208224030137, EDN: yxczmo

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДРЕВЕСИНЫ МАЛОСМОЛИСТЫХ ЛЕСНЫХ ПОРОД ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ

Вячеслав Леонидович Захаров, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Сергей Юрьевич Шубкин, кандидат технических наук, доцент

Ольга Алексеевна Дубровина, кандидат биологических наук, доцент

Валентина Андреевна Гулидова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина», г. Елец, Россия

E-mail: zaxarov7979@mail.ru

**Аннотация.** В статье представлены результаты изучения древесины 18 наиболее распространенных малосмолистых лиственных лесных и плодовых пород. Цель работы – определить содержание микроэлементов в древесине как объекте для копчения. Лидер по количеству в древесине железа – вишня магалебская (антипка), меди – яблоня домашняя, кобальта и марганца – ива белая, цинка и никеля – черная смородина. Установлена тесная зависимость между нахождением в древесине никеля и цинка ( $r = 0,8$ ), а также никеля и железа ( $r = 0,6$ ). Имеется слабая обратная зависимость между уровнем флавонолов и микроэлементов, способных перейти в тяжелые металлы (Co, Ni) ( $r = -0,5-0,53$ ). В целом по семейству розоцветные количество железа в древесине – 0,47–25,325 мг/кг, марганца – 2,266–25,858, меди – 1,853–9,006, цинка – 7,788–23,751, кобальта – 0,013–0,090, никеля – 0,025–3,389 мг/кг. Учитывая удаленность места произрастания пород, установленные значения содержания микроэлементов в древесине лиственных растений ЦЧР можно рассматривать как не превышающие ПДК тяжелых металлов. Наиболее безопасное для копчения сырье – древесина черемухи и груши обыкновенных.

**Ключевые слова:** древесина, лесные и плодовые породы, содержание микро- и макроэлементов

## COMPARATIVE BIOCHEMICAL COMPOSITION OF WOOD FROM LOW-RESIN FOREST SPECIES IN THE LIPETSK REGION

V.L. Zakharov, *Grand PhD in Agricultural Sciences, Professor*

S.Yu. Shubkin, *PhD in Engineering Sciences, Associate Professor*

O.A. Dubrovina, *PhD in Biological Sciences, Associate Professor*

V.A. Gulidova, *Grand PhD in Agricultural Sciences, Professor*

Bunin Yelets State University (YeLSU), Yelets, Russia

E-mail: zaxarov7979@mail.ru

**Abstract.** The wood of 18 of the most common low-resinous deciduous forest and fruit species was studied. The aim of the work was to find out the content of trace elements in wood species as an object for smoking. Of the studied most common 18 woody hardwoods, the leader in the content of iron in wood was the Magaleb cherry (antipka), copper – apple tree, cobalt and manganese – white willow, zinc and nickel – black currant. A close relationship has been established between the content of nickel and zinc in wood ( $r = 0.8$ ), as well as nickel and iron ( $r = 0.6$ ). There is a weak inverse relationship between the content of flavonols and trace elements capable of converting to heavy metals (Co, Ni) ( $r = -0.5-0.53$ ). In general, for the rosaceae family, the iron content in the wood of the rocks was within (mg/kg): 0.47–25.325, manganese – 2.266–25.858, copper – 1.853–9.006, zinc – 7.788–23.751, cobalt – 0.013–0.090, nickel – 0.025–3.389. Taking into account the remoteness of the place where the rocks grow, the established values of the content of trace elements in the wood of the 18 most common deciduous woody plants of the CDR can be recommended as levels not exceeding the MPC of heavy metals. A very safe raw material for smoking is the wood of common cherry and common pear.

**Keywords:** wood, forest and fruit species, the content of micro- and macroelements

Биохимический состав древесины влияет на качество дыма. В зависимости от уровня концентрации минеральных элементов в почве они могут быть как микроэлементами, так и тяжелыми металлами для растений. [10] В древесине деревьев содержится от 0,19 до 1,2 мг/кг кадмия, 2,4...9,2 хрома, 3,3...7,5 меди, 13,0...140,0 мг/кг цинка. [20] Содержание микроэлементов в древесине – показатель загрязненности окружающей территории тяжелыми металлами. Степень накопления В, Cd, Co, С, Fe, Mn и Zn зависит от возраста дерева. [15] Например, при сжигании старых тополей, выросших в очень загрязненном месте, содержание микроэлементов настолько высокое, что можно выделить две фракции золы: одна с повышенным содержанием Cu, Sr и Ni, другая – Cd, Pb и Zn. [8] Содержание тяжелых металлов (Cu, Fe, С, Ni, Sr и Zn) в побегах одно-двухлетних деревьев акации, напротив оказалось совсем невысоким, в пределах ПДК. [17] Установлено, что у березы, осины, ели и сосны наименьшее количество зольных элементов находится в древесине (0,2...0,7%), чуть больше в коре (1,9...6,4) и максимальное в листьях (2,4...7,7%). [18]

Разные древесные породы проявляют неодинаковую способность к выносу из загрязненной почвы тяжелых металлов и их аккумуляции в своих тканях. [13] Ива заметно выносит As, Cd, Pb и Zn, тополь – только Pb. [9] У тополя белого побеги оказались менее индикаторными органами, чем листья в отношении накопления кадмия и цинка. [12] Накопление микроэлементов в древесных породах имеет очень схожий характер в пределах одного ботанического семейства. Пропорции всех микроэлементов, кроме Ni, Ba, Sr и Pb в побегах сосны и ели практически идентичны. [16] Дуб черешчатый, по сравнению с елью и сосной, в своих тканях накапливает значительно больше Cd, Zn и Pb. [14] При наличии микоризы (гриб *Cadophora* и береза повислая) уменьшается накопление деревьями кадмия. [7]

На примере сосны рассмотрена связь между содержанием полифенолов и качеством дыма при сжигании древесины. [11] Когда сгорает древесина, органические кислоты разрушаются или уносятся с дымом, поскольку рН золы намного выше (более щелочная реакция), чем древесины. [6] Все литературные данные о содержании микроэлементов касаются в основном фиторемедиации и степени загрязненности растений тяжелыми металлами. Оценочные шкалы уровней содержания некоторых микроэлементов (Fe, Mn, Cl, В, Cu, Mo, Zn) разработаны только в отношении листьев и плодов и применимы к ограниченному количеству древесных видов (яблоня, вишня, груша, абрикос, персик, слива, смородина, крыжовник). [5] Биохимический состав древесины изучают по многим причинам. Побеги черешни, произрастающей в местах с разной загрязненностью, анализировали на содержание тяжелых металлов для использования древесины в качестве источника биологически активных веществ. [19]

Цель работы – определить содержание микроэлементов в древесине пород, произрастающих в ЦЧР.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в 2019–2020 годах. Объект изучения – древесина 18 наиболее распространенных малосмолистых пород: вишня обыкновенная (*Cerasus vulgaris* Mill.), рябина обыкновенная (*Sor-*

*bus aucuparia* L.), яблоня домашняя (*Malus domestica* Borkh.), вишня антипка (*Prunus mahaleb* L.), черная смородина (*Ribes nigrum* L.), терн колючий (*Prunus spinosa* L.), шиповник собачий (*Rosa canina* L.), абрикос обыкновенный (*Prunus armeniaca* L.), слива домашняя (*Prunus domestica* L.), вишня войлочная (*Prunus tomentosa* Thunb), крыжовник обыкновенный (*Ribes uva-crispa* L.), орех грецкий (*Juglans regia* L.), груша обыкновенная (*Pyrus communis* L.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), ольха черная (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn), боярышник кроваво-красный (*Crataegus sanguinea* Pall), черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.), ива белая (*Salix alba* L.). Отбирали трех-восьмилетнюю древесину в середине января 2019 и 2020 года в урочище «Коротыш» Долгоруковского района Липецкой области. Участок равноудален от городских и административных центров. Почва – лугово-черноземная тяжелосуглинистая на покровном суглинке. Анализировали свежеспеленную древесину методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрофотометре Спектр-5 в пламени ацетилен-воздух. [4] Минерализацию проб древесины осуществляли методом сухого озоления по ГОСТ 26657-85. [1] Зола экстрагировали с помощью 1М раствора HNO<sub>3</sub>. [20] Полученные данные по годам усредняли, математически обрабатывали методом дисперсионного и корреляционного анализов, используя программу Microsoft Excel. [2] В своих предыдущих работах мы выяснили, что количество полифенолов в древесине исследуемых пород составляло 0,02...1,43%, органических кислот – 0,21...1,08%, сумма дубильных и красящих веществ – 1,45...26,5%, танина – 0,83...20,8%. [3]

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Из микроэлементов, которые никогда не переходят в категорию тяжелых металлов, представляем данные по железу и марганцу (табл. 1).

Лидеры по содержанию железа в древесине – вишня магалевская (антипка) и черная смородина,

**Таблица 1.**  
**Содержание железа и марганца в свежей древесине исследуемых пород деревьев, мг/кг**

Порода	Железо	Марганец
Вишня обыкновенная	11,500	25,858
Рябина обыкновенная	13,000	20,564
Яблоня домашняя	12,933	11,891
Вишня антипка	25,325	13,595
Черная смородина	21,239	9,612
Терн колючий	15,944	13,885
Шиповник собачий	4,127	12,209
Абрикос обыкновенный	5,380	7,640
Слива обыкновенная	0,837	2,266
Вишня войлочная	11,464	21,421
Крыжовник обыкновенный	2,079	7,252
Орех грецкий	3,242	7,785
Груша обыкновенная	4,106	3,577
Липа мелколистная	3,320	3,815
Ольха черная	0,245	26,472
Боярышник кроваво-красный	0,470	8,767
Черемуха обыкновенная	8,610	19,775
Ива белая	8,098	100,830

Таблица 2.

Содержание микроэлементов в свежей древесине исследуемых пород деревьев, мг/кг

Порода	Медь	Цинк	Кобальт	Никель
Вишня обыкновенная	1,982	11,540	0,061	0,679
Рябина обыкновенная	5,115	14,817	0,074	1,022
Яблоня домашняя	9,006	16,616	0,038	1,128
Вишня антипка	2,978	12,744	0,070	1,328
Черная смородина	4,932	23,751	0,081	3,389
Терн колючий	3,665	13,705	0,055	0,852
Шиповник собачий	6,952	14,648	0,075	1,147
Абрикос обыкновенный	2,250	11,188	0,037	0,538
Слива обыкновенная	1,853	7,788	0,080	0,070
Вишня войлочная	3,526	15,720	0,085	0,481
Крыжовник обыкновенный	2,830	14,906	0,046	1,479
Орех грецкий	2,082	11,603	0,057	0,522
Груша обыкновенная	2,929	9,381	0,040	0,025
Липа мелколиственная	2,980	7,775	0,060	0,443
Ольха черная	6,895	11,240	0,170	0,210
Боярышник кроваво-красный	4,700	18,195	0,090	0,805
Черемуха обыкновенная	3,678	14,960	0,013	1,160
Ива белая	7,702	19,008	0,230	1,040

наименьшее количество этого микроэлемента было в ольхе черной.

По содержанию марганца максимум установлен в древесине ивы белой, минимум — сливы обыкновенной.

По семейству розоцветные содержание железа в древесине — 0,47...25,325 мг/кг, марганца — 2,266...25,858 мг/кг.

Из микроэлементов, которые способны при повышенных концентрациях быть тяжелыми металлами, приводим данные по меди, кобальту, никелю и цинку. Все они, кроме никеля, — биогенные (табл. 2).

Наибольшее количество меди отмечено в древесине яблони домашней, наименьшее — сливы обыкновенной. Лидером по кобальту оказалась ива белая, минимум этого элемента отмечен в древесине черемухи. Больше всего цинка, по сравнению с остальными породами, в черной смородине, меньше — в липе мелколистной и сливе обыкновенной. Самый высокий уровень никеля в древесине черной смородины, низкий — у груши обыкновенной.

По семейству розоцветные количество меди — 1,853...9,006, цинка — 7,788...23,751, кобальта — 0,013...0,090, никеля — 0,025...3,389 мг/кг.

В результате корреляционного анализа не найдено связи между содержанием в древесине микроэлементов и воды, дубильных и красящих веществ, танина, органических кислот, полифенолов и гигроскопичностью. Установлена прямая тесная зависимость между количеством в древесине никеля и цинка ( $r = 0,8$ ), а также никеля и железа ( $r = 0,6$ ). Нами обнаружена обратная слабая зависимость между нахождением никеля и флавонолов ( $r = -0,53$ ), кобальта и флавонолов ( $r = -0,5$ ).

**Выводы.** Из наиболее распространенных 18 лиственных пород лидер по содержанию в древесине железа — вишня магалебская (антипка), меди — яблоня домашняя, кобальта и марганца — ива белая, цинка и никеля — черная смородина.

По семейству розоцветные количество железа в древесине — 0,47...25,325 мг/кг, марганца — 2,266...25,858, меди — 1,853...9,006, цинка — 7,788...23,751, кобальта — 0,013...0,090, никеля — 0,025...3,389 мг/кг.

Установлена прямая тесная корреляция между нахождением в древесине никеля и цинка ( $r=0,8$ ), никеля и железа ( $r = 0,6$ ). Однако имеется слабая обратная зависимость между уровнями флавонолов и микроэлементов, способных перейти в тяжелые металлы (Co, Ni) ( $r = -0,5...0,53$ ).

Учитывая удаленность места произрастания пород, значения содержания микроэлементов в древесине лиственных растений ЦЧР можно рассматривать как не превышающие ПДК тяжелых металлов.

Наиболее безопасным древесным сырьем для копчения из изученных пород можно считать черемуху и грушу, поскольку в них минимальное количество никеля и кобальта.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- ГОСТ 26657-85 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания фосфора. М.: Государственный комитет СССР по стандартам. 12 с.
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
- Захаров В.Л., Шубкин С.Ю., Бунеев С.С., Сухарев И.Н. Анализ содержания БАВ в древесине пород ЦЧР как сырья для копчения // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания. 2021. № 1. С. 112—119.
- Практикум по агрохимии: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. академика РАСХН В. Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
- Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур. М.: Агропромиздат, 1990. 235 с.
- Augusto L., Bakker M.R., Meredieu C. Wood ash applications to temperate forest ecosystems — potential benefits and drawbacks // Plant and soil. 2007. Volume: 306. Issue: 1—2. PP. 181—198.
- Berthelot C., Blaudez D., Leyval C. Differential growth promotion of poplar and birch inoculated with three dark septate endophytes in two trace element-contaminated soils // International Journal of Phytoremediation. Vol. 19. 2017. Issue 12. PP. 1118—1125.
- Chalot M., Blaudez D., Rogaume Y. et al. Fate of Trace Elements during the Combustion of Phytoremediation Wood. Environmental Science & Technology 2012, 46, 24, 13361—13369.
- Fischerová Z., Tlustoš P., Száková J., Šichorová K. A comparison of phytoremediation capability of selected plant species for given trace elements // Environmental Pollution. Vol. 144, Issue 1, November 2006, PP. 93—100.
- Plant Roots. The Hidden Half, Third Edition. Edited By Yoav Waisel, Amram Eshel, Tom Beeckman, Uzi Kafkafi. Edition 3rd Edition. 2002. Pub. Location Boca Raton. Imprint CRC Press. P. 1136.
- Jones J., Mitchell E., Williams A. et al. Examination of Combustion-Generated Smoke Particles from Biomass at Source: Relation to Atmospheric Light Absorption // Combustion science and technology. 2020. Vol. 192. Issue: 1. PP. 130—143.
- Madejón P., Marañón T., Murillo J.M., Robinson B. White poplar (*Populus alba*) as a biomonitor of trace elements in contaminated riparian forests // Environmental Pollution. Vol. 132, Issue 1, November 2004, pp. 145—155.

13. Mleczek M., Gaśceka M., Kaniuczak J. et al. Dendroremediation: The Role of Trees in Phytoextraction of Trace Elements // *Phytoremediation*. 2019. No 3. PP. 267–295.
14. Placek A., Grobelak A., Kacprzak M. Improving the phytoremediation of heavy metals contaminated soil by use of sewage sludge // *International Journal of Phytoremediation*. Vol. 18. 2016. Issue 6: 11th International Phytotechnologies Conference, Heraklion, Crete, Greece, September 30–October 3, 2014. PP. 605–618.
15. Robinson B., Mills T., Green S. et al. Trace element accumulation by poplars and willows used for stock fodder // *New Zealand Journal of Agricultural Research*. Vol. 48. 2005. Issue 4. PP. 489–497.
16. Rossbach M., Jayasekera R. Air pollution monitoring at the Environmental Specimen Bank of Germany: spruce and pine shoots as bioindicators // *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry*. 1996. Vol. 354. PP. 511–514.
17. Vural A. Trace/heavy metal accumulation in soil and in the shoots of acacia tree, Gümüşhane-Turkey // *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*. 2014. Vol. 148. Issue 148. PP. 85–106.
18. Werkelin J., Skrifvars B.J., Hupa M. Ash-forming elements in four Scandinavian wood species. Part 1: Summer harvest // *Biomass and Bioenergy*. Vol. 29, Issue 6, December 2005. PP. 451–466.
19. Zagurskaya Yu.V., Siromlya T.I. Comparative analysis of the elemental chemical composition of *Padus avium* shoots from antropogenically disturbed ecotops // *Forestry journal*. 2019. Issue: 5. PP. 105–114.
20. Zhan, G., Erich, M.S., Ohno, T. Release of trace elements from wood ash by nitric acid. *Water Air Soil Pollut* 88. 1996. PP. 297–311.
8. Chalot M., Blaudez D., Rogaume Y. et al. Fate of Trace Elements during the Combustion of Phytoremediation Wood. *Environmental Science & Technology* 2012, 46, 24, 13361–13369.
9. Fischerová Z., Tlustoš P., Száková J., Šichorová K. A comparison of phytoremediation capability of selected plant species for given trace elements // *Environmental Pollution*. Vol. 144, Issue 1, November 2006, PP. 93–100.
10. *Plant Roots. The Hidden Half*, Third Edition. Edited By Yoav Waisel, Amram Eshel, Tom Beeckman, Uzi Kafkafi. Edition 3rd Edition. 2002. Pub. Location Boca Raton. Imprint CRC Press. P. 1136.
11. Jones J., Mitchell E., Williams A. et al. Examination of Combustion-Generated Smoke Particles from Biomass at Source: Relation to Atmospheric Light Absorption // *Combustion science and technology*. 2020. Vol. 192. Issue: 1. PP. 130–143.
12. Madejón P., Marañón T., Murillo J.M., Robinson B. White poplar (*Populus alba*) as a biomonitor of trace elements in contaminated riparian forests // *Environmental Pollution*. Vol. 132, Issue 1, November 2004, PP. 145–155.
13. Mleczek M., Gaśceka M., Kaniuczak J. et al. Dendroremediation: The Role of Trees in Phytoextraction of Trace Elements // *Phytoremediation*. 2019. No 3. PP. 267–295.
14. Placek A., Grobelak A., Kacprzak M. Improving the phytoremediation of heavy metals contaminated soil by use of sewage sludge // *International Journal of Phytoremediation*. Vol. 18. 2016. Issue 6: 11th International Phytotechnologies Conference, Heraklion, Crete, Greece, September 30–October 3, 2014. PP. 605–618.
15. Robinson B., Mills T., Green S. et al. Trace element accumulation by poplars and willows used for stock fodder // *New Zealand Journal of Agricultural Research*. Vol. 48. 2005. Issue 4. PP. 489–497.
16. Rossbach M., Jayasekera R. Air pollution monitoring at the Environmental Specimen Bank of Germany: spruce and pine shoots as bioindicators // *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry*. 1996. Vol. 354. PP. 511–514.
17. Vural A. Trace/heavy metal accumulation in soil and in the shoots of acacia tree, Gümüşhane-Turkey // *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*. 2014. Vol. 148. Issue 148. PP. 85–106.
18. Werkelin J., Skrifvars B.J., Hupa M. Ash-forming elements in four Scandinavian wood species. Part 1: Summer harvest // *Biomass and Bioenergy*. Vol. 29, Issue 6, December 2005. PP. 451–466.
19. Zagurskaya Yu.V., Siromlya T.I. Somparative analysis of the elemental chemical composition of *Padus avium* shoots from antropogenically disturbed ecotops // *Forestry journal*. 2019. Issue: 5. PP. 105–114.
20. Zhan, G., Erich, M.S., Ohno, T. Release of trace elements from wood ash by nitric acid. *Water Air Soil Pollut* 88. 1996. PP. 297–311.

#### REFERENCES

1. GOST 26657-85 Korma, kombikorma, kombikormovoe syr'e. Metody opredeleniya sodержaniya fosfora. M.: Gosudarstvennyj komitet SSSR po standartam. 12 s.
2. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij). 5-e izd. dop. i pererab. M.: Agropromizdat, 1985. 351 s.
3. Zaharov V.L., Shubkin S.Yu., Buneev S.S., Suharev I.N. Analiz sodержaniya BAV v drevesine porod CChR kak syr'ya dlya kopcheniya // *Tekhnologii pishchevoj i pererabatyvayushchej promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya*. 2021. № 1. S. 112–119.
4. Praktikum po agrohimii: Ucheb. posobie. 2-e izd., pererab. i dop. / Pod red. akademika RASHN V. G. Mineeva. M.: Izd-vo MGU, 2001. 689 s.
5. Cerling V.V. Diagnostika pitaniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur. M.: Agropromizdat, 1990. 235 s.
6. Augusto L., Bakker M.R., Meredieu C. Wood ash applications to temperate forest ecosystems – potential benefits and drawbacks // *Plant and soil*. 2007. Volume: 306. Issue: 1–2. PP. 181–198.
7. Berthelot S., Blaudez D., Leyval C. Differential growth promotion of poplar and birch inoculated with three dark septate

*Поступила в редакцию 12.11.2023  
Принята к публикации 26.11.2023*