

УДК 630*160.2:581.5

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТАВА ОПАДА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ПРИ ЗАРАСТАНИИ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ

© О.Л. Цандекова

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН,
Ленинградский пр., 10, Кемерово, 650065, Россия, zandekova@bk.ru

В статье анализируются результаты химического состава опада древесных растений, произрастающих на территории заброшенных приусадебных участков в пределах городской среды Кемерово. Объектом исследований служил растительный опад, отобранный под пологом древесных растений. Проведены описания растительного покрова, определены доминирующие виды растений и их общее проективное покрытие. Сравнительная характеристика состава опада древесных растений при зарастании залежных земель выявила зависимость от видовой принадлежности и химического состава. Определен запас фитомассы, уровень содержания азота, фосфора и танинов в опаде древесных видов. Количество фитомассы на площадках варьировало в пределах от 3.1 до 5.1 т/га воздушно-сухой массы. Под пологом исследуемых деревьев в течение вегетации преобладала фракция листьев, доленое участие которой составило 72–94%. Среди показателей химического состава растительного опада наиболее выражено различие в содержании полифенольных соединений, в меньшей степени варьировало содержание азота и фосфора. Наиболее интенсивной минерализацией обладал опад *Acer negundo* за счет более высокого накопления фитомассы, азота и фосфора, но низкого содержания танинов в сравнении с деревьями других видов. Исследуемые древесные растения можно расположить по мере снижения содержания фитомассы, азота и фосфора в следующем порядке: клен ясенелистный > черемуха обыкновенная > береза повислая. Экспериментальные данные можно использовать для биомониторинга природных сообществ.

Ключевые слова: растительный опад, фракционный состав, *Acer negundo* L., *Betula pendula* Roth, *Padus avium* Mill., фитомасса, азот, фосфор, танины, залежи.

Для цитирования: Цандекова О.Л. Сравнительная характеристика состава опада древесных растений при зарастании залежных земель // Химия растительного сырья. 2025. №2. С. 245–252. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250215088>.

Введение

При зарастании для восстановления естественного растительного покрова залежные земли проходят различные стадии сукцессии. После прохождения луговой стадии появляется кустарниковая и древесная растительность с преобладанием лиственных пород [1–3]. Под кроной лиственных деревьев ежегодно образуется значительное количество опада, вместе с которым в почву возвращаются химические соединения, принадлежащие к разнообразным классам [4–6]. За период вегетации возвращается в почву с опадом значительная часть азота и фосфора, накопленные растениями в фитомассе. Наиболее высокое содержание азота и фосфора наблюдается в листьях деревьев и травах [7–10]. Опад, богатый азотом и фосфором, способен быстро разлагаться [11–13], напротив, бедный минеральными элементами лиственный опад формирует медленно разлагающиеся лесные подстилки [14]. Показатель содержания полифенольных соединений также важен как в аспекте химизма растений, так и с позиций поступления химических веществ из фитомассы в прочие компоненты экосистемы [15, 16]. Несмотря на наличие представлений об экологических факторах, определяющих содержание химических соединений в растениях, остается неясным вопрос об их изменчивости в опаде древесных растений на залежах. В связи с вышеизложенным целью наших исследований являлось изучение структуры и химического состава опада древесных растений при зарастании залежных земель в условиях Кемеровской области. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: сравнить запас фитомассы и ее фракционный состав под пологом деревьев, а также выявить особенности накопления азота, фосфора и танинов в опаде древесных видов (*Acer negundo* L., *Betula pendula* Roth, *Padus avium* Mill.) при зарастании заброшенных приусадебных территорий.

Экспериментальная часть

Объектом исследований служил растительный опад, отобранный под пологом древесных растений, произрастающих на территории брошенных (более 30 лет назад) приусадебных участков в пределах городской среды Кемерово (55°29'29" N, 86°13'10" E). Возраст деревьев составлял 30–35 лет, II класса бонитета с полной 0.3–0.5. Живой напочвенный покров образован разнотравно-злаковым сообществом с общим проективным покрытием, равным 30–90%. Отбор образцов проводили на пробных площадках с преобладанием различных древесных видов в сообществах: 1 – клена ясенелистного (*Acer negundo* L.); 2 – березы повислой (*Betula pendula* Roth); 3 – черемухи обыкновенной (*Padus avium* Mill.). Учетные площадки находились в пределах проекции крон древесных видов, контроль – площадки, расположенные вне проекции крон деревьев.

Сбор материала проводили в вегетационный период (май, июль, сентябрь) 2022–2023 гг. Наиболее теплым характеризовался 2022 год (ГТК=0.78), влажным – 2023 год (ГТК=1.25). В мае преобладала очень теплая погода с минимальным количеством осадков. Среднемесячная температура воздуха составила +14...+16 °С, что на 4–5 °С выше нормы. Осадков выпало от 11–17 мм (47% нормы). В июле и сентябре наблюдалась неустойчивая погода с резкими колебаниями температуры и обильными осадками. Среднемесячная температура воздуха была на 1–2 °С ниже нормы, осадков выпало 92–174% от нормы.

Образцы растений отбирались в пределах каждой учетной площадки с помощью рамки размером 30×60 см, укладывали в zip-пакеты и доставляли в лабораторию. В камеральных условиях подстилку из верхнего (L) горизонта высушивали до воздушно-сухого состояния, взвешивали с установлением доли растительной фракции (листья, травы, ветки) и определяли количество фитомассы на абсолютно сухую массу. Определение азота и фосфора – из одной навески после мокрого озоления: азот – по методу Кьельдаля, фосфор – по методу Мерфи и Райли [17]. Содержание водорастворимых полифенольных соединений (танинов) определяли методом Левенталья-Нейбауера в модификации А.Л. Курсанова [18]. Повторность всех опытов трехкратная с каждой учетной площадки. Статистическая обработка полученных данных и построение графиков выполнялись с помощью стандартного пакета программ StatSoft Statistica 8.0. for Windows и Microsoft Office Excel 2007.

Результаты и обсуждение

На обследованной территории бывших приусадебных участков происходит зарастание лиственным лесом с преобладанием *Betula pendula* Roth, *Acer negundo* L., *Padus avium* Mill., *Salix viminalis* L. Существенного изменения видового богатства растительности при зарастании залежи не наблюдается. Под пологом исследуемых древесных растений на учетных площадках отмечена горизонтальная дифференциация растительного покрова. Общее проективное покрытие в древостоях составляло 30–90% с доминированием *Urtica dioica* L., *Poa pratensis* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski., *Humulus lupulus* L., *Phleum pratense* L. Большинство растений относилось к луговым видам. Их доля составляла около 30–50%. Запас фитомассы под пологом деревьев варьировал в среднем в пределах от 3.1 до 5.1 т/га воздушно-сухой массы (рис. 1). Отмечено, что накопление фитомассы на всех площадках в 2022 году ниже в среднем на 4%, чем в 2023 году. Опытные образцы по показателям фитомассы уступили контролю в среднем в 1.1–1.2 раза. Отличительной характеристикой растительного опада на площадке с участием клена ясенелистного служил высокий уровень его фитомассы, что выше в 1.2–1.5 раза, чем у других древесных видов.

Анализ фракционного состава опада в подкроновом пространстве в древостоях характеризовался преобладанием фракции листьев, доленое участие которых составило 72–94% за вегетацию, что обуславливает наибольшие запасы легкоразлагаемых компонентов (рис. 2). Доля веток на площадках варьировала в пределах от 5 до 17%, травянистых растений – от 2 до 22%. В мае отмечены максимальные значения фракций мелких веток, особенно под пологом *P. avium* (13.5%). В июле в опаде преобладала фракция травянистых растений с варьированием от 4 до 22%, сентябре – фракция листьев (85–94%). Вне проекции кроны деревьев опад характеризовался преобладанием фракции листьев в мае (65–71%) и сентябре (64–84%), в июле – фракции травянистых растений, с максимумом у *P. avium* (52%). Эта закономерность является естественной, поскольку в июле – время активной вегетации у травянистых растений, в сентябре происходит их увядание, но увеличивается доля листьев.

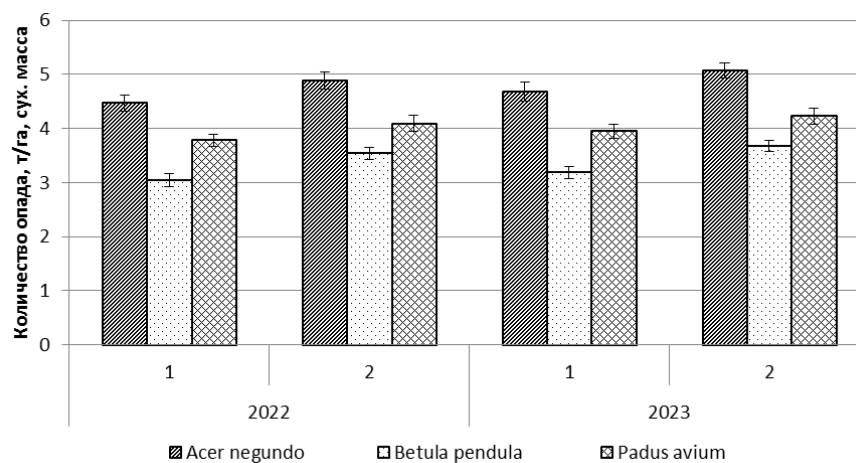


Рис. 1. Количество опада древесных растений (здесь и далее: 1 – под кроной деревьев, 2 – вне кроны деревьев)

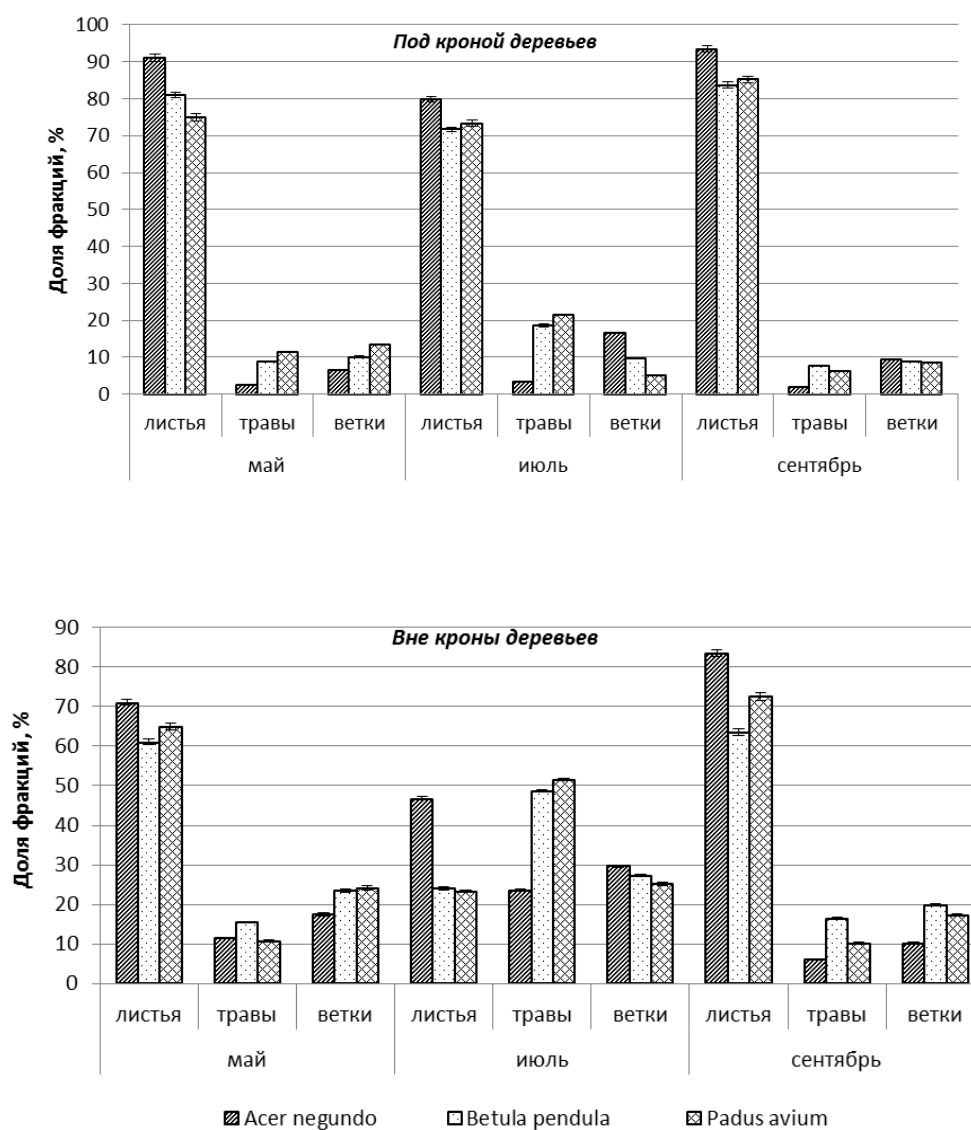


Рис. 2. Доля фракций опада древесных растений (средние данные за 2022–2023 гг.)

В процессе старения листьев и формирования растительного опада происходит реутилизация азотсодержащих веществ растением. Это может объясняться иммобилизацией азота на ранних стадиях разложения подстилки [19, 20]. Наши данные показали, что в течение вегетации количество азота в опаде под кроной исследуемых древесных растений составляло в среднем 2.2–2.4%, что ниже в 1–1.2 раз относительно контроля (рис. 3). Выявлено снижение уровня концентрации азота в середине вегетации (до 1.4%) у опытных образцов, к концу вегетации – его повышение (до 2.2%). На всех площадках отмечается осенний максимум накопления азота в связи с поступлением свежего растительного опада. У опытных образцов на исследуемых участках отмечены наиболее высокие показатели по содержанию азота в сентябре 2023 года (2.4–2.6%), в сравнении с тем же периодом 2022 года (2.0–2.5%). Очевидно, это связано с наиболее благоприятными гидротермическими условиями. На учетных площадках запасы азота в опаде снижались от менее к более производительным насаждениям в связи с уменьшением их фитомассы. Так, исследуемые древесные виды по содержанию азота можно расположить в следующем порядке: клен ясенелистный > черемуха обыкновенная > береза повислая.

Характер изменения концентраций фосфора в растительном опаде различался на исследуемых площадках. Так, в мае и сентябре под кроной у древесных образцов отмечалось достоверное повышение уровня фосфора от 0.14 до 0.27%, в июле – снижение до 0.11% в сравнении с контролем. Выявлено, что в течение вегетации наибольшие отличия от контроля отмечены под пологом *A. negundo*. Так, показатели по содержанию фосфора на первой площадке варьировали от 0.15 до 0.27%, что ниже в среднем в 1.1–1.3 раза относительно контроля (рис. 4).

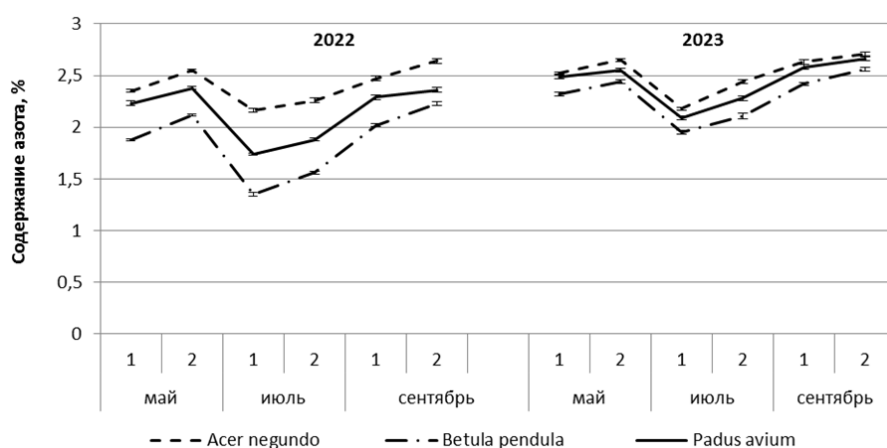


Рис. 3. Динамика содержания азота в опаде древесных растений

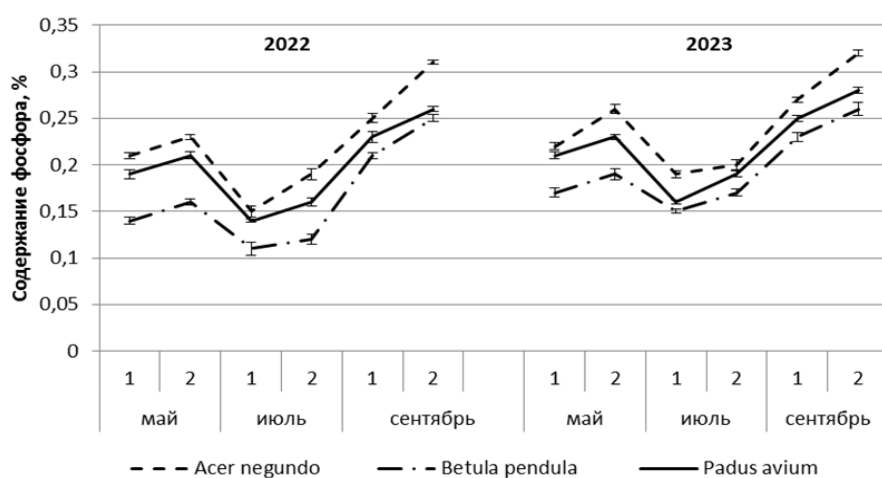


Рис. 4. Динамика содержания фосфора в опаде древесных растений

Концентрация полифенольных соединений в опаде древесных растений повышалась от начала до конца вегетационного периода у образцов с варьированием от 0.62 до 1.95%. Под кроной деревьев уровень концентрации танинов в течение вегетации выше в среднем на 12–14%, чем вне проекции кроны. Наибольшие отличия от контроля отмечены под пологом *A. negundo*, особенно в 2023 году. Так, на первой площадке в мае содержание танинов выше контроля в среднем на 18%, в июле – на 12%, в сентябре – на 21% (рис. 5). Исследуемые древесные виды можно расположить по мере снижения полифенольных соединений в следующем порядке: береза повислая > клен ясенелистный > черемуха обыкновенная.

Для оценки взаимосвязи различных показателей, определенных нами для растительного опада исследуемых древесных видов, выполнен корреляционный анализ, который выявил ряд закономерностей. Наиболее тесная положительная связь показана для азота и фосфора ($r=0.75$, при $n=72$, $p<0.05$), несколько меньшая для фитомассы и азота – ($r=0.65$) и для фитомассы и фосфора ($r=0.45$). Отрицательная корреляционная связь обнаружена между азотом и танином ($r=-0.51$). Таким образом, для древесных растений, произрастающих на залежах, наиболее сильно различавшимся показателем химического состава опада на пробных площадках было содержание полифенольных соединений, в меньшей степени варьировало содержание азота и фосфора.

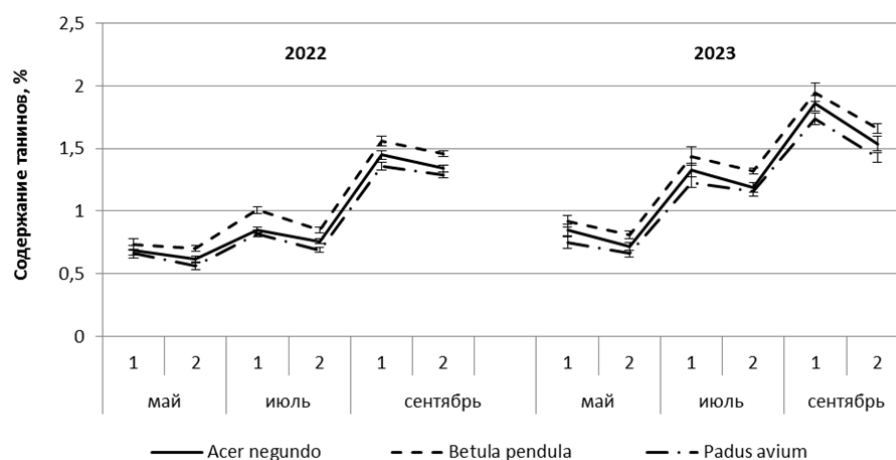


Рис. 5. Содержание танинов в опаде древесных растений

Заключение

Сравнительная характеристика состава опада древесных растений при зарастании залежных земель обнаруживает зависимость от видовой принадлежности и его химического состава. В подкроновом пространстве древесных видов растительные остатки располагались по содержанию химических соединений в убывающем порядке: листья > ветки > травы. Запас фитомассы на площадках варьировал в пределах от 3.1 до 5.1 т/га воздушно-сухой массы. Под пологом исследуемых деревьев в течение вегетации преобладала фракция листьев, долевого участие которой составило 72–94%. Среди показателей химического состава растительного опада наиболее выражено различие в содержании полифенольных соединений, в меньшей степени варьировало содержание азота и фосфора. Наиболее интенсивной минерализацией обладал опад *A. negundo* за счет более высокого накопления фитомассы, азота и фосфора, но снижения уровня содержания танинов в сравнении с деревьями других видов. Исследуемые древесные растения можно расположить по мере снижения количества фитомассы, азота и фосфора в следующем порядке: клен ясенелистный > черемуха обыкновенная > береза повислая; по уровню концентрации полифенолов – береза повислая > клен ясенелистный > черемуха обыкновенная. Полученные данные можно использовать для биомониторинга природных сообществ.

Финансирование

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Федерального исследовательского центра угля и углехимии СО РАН (проект № 0286-2024-0022).

Конфликт интересов

Автор данной работы заявляет, что у нее нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение

и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Москаленко С.В., Бобровский М.И. Расселение лесных видов растений из старовозрастных дубрав на брошенные пашни в заповеднике «Калужские засеки» // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14, №1(5). С. 1332–1335.
2. Нгуен Д., Тишков А.А. Вторичные сукцессии и структура тропических муссонных ландшафтов Центрального Вьетнама // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2021. Т. 85, №1. С. 59–69. <https://doi.org/10.31857/S2587556621010088>.
3. Ding B., Cai X., Wang Y., Li H., Zhao X., Xiao M., Li J., Yu Q., Zhao Y. Secondary vegetation succession following reforestation intensifies preferential flow by improving soil structure in the Chinese Karst region // Ecological Indicators. 2023. Vol. 156. Article 111166. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111166>.
4. Гродзинский А.М. Аллелопатия в жизни растений и их сообществ: Основы химического взаимодействия растений. Киев, 1965. 198 с.
5. Овчаренко А.А., Кузьмичев А.М. Роль биологически активных выделений древесных растений в формировании экологической среды фитоценозов среднего Прихоперья // Вестник Тамбовского государственного университета. 2013. Т. 18, №3. С. 822–825.
6. Lucas-Borja M.E., Hedo de Santiago J., Yang Y., Shen Y., Candel-Pérez D. Nutrient, metal contents and microbiological properties of litter and soil along a tree age gradient in Mediterranean forest ecosystems // Science of The Total Environment. 2019. Vol. 650. Pp. 749–758. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.079>.
7. Tashe N.C., Schmidt M.G. The impact of vine maple on site fertility of coastal temperate forests // Forest Ecology and Management. 2001. Vol. 147, no. 2-3. Pp. 263–279. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00468-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00468-0).
8. Vourlitis G.L., Pinto O.B., Dalmagro H.J., Zanella P.E., Lobo F.A. Nitrogen and phosphorus pools and fluxes in upland and seasonally flooded forests and woodlands of the Cerrado-Pantanal transition of Brazil // Trees, Forests and People. 2023. Vol. 12. Article 100383. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100383>.
9. Gong H., Niu Y., Niklas K.J., Huang H., Deng J., Wang Z. Nitrogen and phosphorus allocation in bark across diverse tree species // Science of The Total Environment. 2024. Vol. 908. Article 168327. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168327>.
10. Huang X., Lu Z., Xu X., Wan F., Liao J., Wang J. Global distributions of foliar nitrogen and phosphorus resorption in forest ecosystems // Science of The Total Environment. 2023. Vol. 871. Article 162075. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162075>.
11. Polyakova O., Billor N. Impact of Deciduous Tree Species on Litterfall Quality, Decomposition Rates and Nutrient Circulation in Pine Stands // Forest Ecology and Management. 2007. Vol. 253, no. 1-3. Pp. 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.049>.
12. Vesterdal L., Schmidt I.K., Callesen I., Nilsson L.O., Gundersen P. Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species // Forest Ecology and Management. 2008. Vol. 255, no. 1. Pp. 35–48. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.08.015>.
13. Han W., Fang J., Guo D., Zhang Y. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China // New Phytologist. 2005. Vol. 168, no. 2. Pp. 377–385. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01530.x>.
14. Walela Ch., Daniel H., Wilson B., Lockwood P., Cowie A., Harden S. The initial lignin:nitrogen ratio of litter from above and below ground sources strongly and negatively influenced decay rates of slowly decomposing litter carbon pools // Soil Biology and Biochemistry. 2014. Vol. 77. Pp. 268–275. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.06.013>.
15. Husmann K., Rumpf S., Nagel J. Biomass functions and nutrient contents of European beech, oak, sycamore maple and ash and their meaning for the biomass supply chain // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 172. Pp. 4044–4056. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.019>.
16. Ainalis A.B., Tsiouvaras C.N., Nastis A.S. Effect of summer grazing on forage quality of woody and herbaceous species in a silvopastoral system in northern Greece // Journal of Arid Environments. 2006. Vol. 67, no. 1. Pp. 90–99. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.01.017>.
17. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Амелянчик О.А., Большева Т.Н., Гомонова Н.Ф., Дурынина Е.П., Егоров В.С., Егорова Е.В., Едемская Н.Л., Карпова Е.А., Прижукова В.Г. Практикум по агрохимии. М., 2001. 689 с.
18. Коренская И.М., Ивановская Н.П., Измалкова И.Е. Лекарственные растения и лекарственное растительное сырье, содержащие антраценпроизводные, простые фенолы, лигнаны, дубильные вещества. Воронеж, 2007. С. 50–51.
19. Xie Yo., Yu D., Ren B. Effects of nitrogen and phosphorus availability on the decomposition of aquatic plants // Aquatic Botany. 2004. Vol. 80. Pp. 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2004.07.002>.
20. Piatek K.B., Munasinghe P., Peterjohn W.T., Adams M.B., Cumming J.R. A decrease in oak litter mass changes nutrient dynamics in the litter layer of a Central Hardwood Forest // Northern Journal Applied Forestry. 2010. Vol. 27. Pp. 97–104. <https://doi.org/10.1093/njaf/27.3.97>.

Поступила в редакцию 19 апреля 2024 г.

После переработки 29 мая 2024 г.

Принята к публикации 14 ноября 2024 г.

Tsandekova O.L. COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE COMPOSITION OF WOODY PLANT LITTER WHEN OVERGROWING FALLOW LANDS

Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry SB RAS, Leningradsky av., 10, Kemerovo, 650065, Russia, zandekova@bk.ru

The article analyzes the results of the chemical composition of litter of woody plants growing on the territory of abandoned garden plots within the urban environment of Kemerovo. The object of research was plant litter collected under the canopy of woody plants. The vegetation cover was described, the dominant plant species and their general projective cover were determined. A comparative description of the composition of woody plant litter during the overgrowing of fallow lands revealed a dependence on the species and chemical composition. The reserve of phytomass, the level of nitrogen, phosphorus and polyphenolic compounds (tannins) in the litter of tree species were determined. The amount of phytomass at the sites varied from 3.1 to 5.1 t/ha of air-dry mass. Under the canopy of the trees under study, during the growing season, the leaf fraction predominated, the proportion of which was 72–94%. Among the indicators of the chemical composition of plant litter, the most pronounced difference was in the content of polyphenolic compounds; the content of nitrogen and phosphorus varied to a lesser extent. *Acer negundo* litter had the most intense mineralization, due to higher accumulation of phytomass, nitrogen and phosphorus, but low tannin content in comparison with trees of other species. The studied woody plants can be arranged according to the decrease in the content of phytomass, nitrogen and phosphorus in the following order: ash maple > bird cherry > silver birch. Experimental details can be used for biomonitoring of natural communities.

Keywords: plant litter, fractional composition, *Acer negundo* L., *Betula pendula* Roth, *Padus avium* Mill., phytomass, nitrogen, phosphorus, tannins, deposits.

For citing: Tsandekova O.L. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2025, no. 2, pp. 245–252. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250215088>.

References

1. Moskalenko S.V., Bobrovskiy M.I. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2012, vol. 14, no. 1(5), pp. 1332–1335. (in Russ.).
2. Nguyen D., Tishkov A.A. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2021, vol. 85, no. 1, pp. 59–69. <https://doi.org/10.31857/S2587556621010088>. (in Russ.).
3. Ding B., Cai X., Wang Y., Li H., Zhao X., Xiao M., Li J., Yu Q., Zhao Y. *Ecological Indicators*, 2023, vol. 156, article 111166. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111166>.
4. Grodzinskiy A.M. *Allelopatiya v zhizni rasteniy i ikh soobshchestv: Osnovy khimicheskogo vzaimodeystviya ras-teniy*. [Allelopathy in the life of plants and their communities: Fundamentals of chemical interaction of plants]. Kyiv, 1965, 198 p. (in Russ.).
5. Ovcharenko A.A., Kuz'michev A.M. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, vol. 18, no. 3, pp. 822–825. (in Russ.).
6. Lucas-Borja M.E., Hedo de Santiago J., Yang Y., Shen Y., Candel-Pérez D. *Science of The Total Environment*, 2019, vol. 650, pp. 749–758. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.079>.
7. Tashe N.C., Schmidt M.G. *Forest Ecology and Management*, 2001, vol. 147, no. 2-3, pp. 263–279. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00468-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00468-0).
8. Vourlitis G.L., Pinto O.B., Dalmagro H.J., Zanella P.E., Lobo F.A. *Trees, Forests and People*, 2023, vol. 12, article 100383. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100383>.
9. Gong H., Niu Y., Niklas K.J., Huang H., Deng J., Wang Z. *Science of The Total Environment*, 2024, vol. 908, article 168327. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168327>.
10. Huang X., Lu Z., Xu X., Wan F., Liao J., Wang J. *Science of The Total Environment*, 2023, vol. 871, article 162075. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162075>.
11. Polyakova O., Billor N. *Forest Ecology and Management*, 2007, vol. 253, no. 1-3, pp. 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.049>.
12. Vesterdal L., Schmidt I.K., Callesen I., Nilsson L.O., Gundersen P. *Forest Ecology and Management*, 2008, vol. 255, no. 1, pp. 35–48. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.08.015>.
13. Han W., Fang J., Guo D., Zhang Y. *New Phytologist*, 2005, vol. 168, no. 2, pp. 377–385. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01530.x>.
14. Walela Ch., Daniel H., Wilson B., Lockwood P., Cowie A., Harden S. *Soil Biology and Biochemistry*, 2014, vol. 77, pp. 268–275. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.06.013>.
15. Husmann K., Rumpf S., Nagel J. *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 172, pp. 4044–4056. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.019>.
16. Ainalis A.B., Tsiouvaras C.N., Nastis A.S. *Journal of Arid Environments*, 2006, vol. 67, no. 1, pp. 90–99. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.01.017>.
17. Mineyev V.G., Sychev V.G., Amel'yanchik O.A., Bolysheva T.N., Gomonova N.F., Durygina Ye.P., Yegorov B.S., Yegorova Ye.V., Yedemskaya N.L., Karpova Ye.A., Prizhukova V.G. *Praktikum po agrokhimii*. [Workshop on agro-chemistry]. Moscow, 2001, 689 p. (in Russ.).
18. Korenskaya I.M., Ivanovskaya N.P., Izmailkova I.Ye. *Lekarstvennyye rasteniya i lekarstvennoye rastitel'noye syr'ye, sodержashchiye antratsenproizvodnyye, prostyye fenoly, lignany, dubil'nyye veshchestva*. [Medicinal plants and medicinal plant raw materials containing anthracene derivatives, simple phenols, lignans, tannins]. Voronezh, 2007, pp. 50–51. (in Russ.).

19. Xie Yo., Yu D., Ren B. *Aquatic Botany*, 2004, vol. 80, pp. 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2004.07.002>.
20. Piatek K.B., Munasinghe P., Peterjohn W.T., Adams M.B., Cumming J.R. *Northern Journal Applied Forestry*, 2010, vol. 27, pp. 97–104. <https://doi.org/10.1093/njaf/27.3.97>.

Received April 19, 2024

Revised May 29, 2024

Accepted November 14, 2024

Сведения об авторе

Цандекова Оксана Леонидовна – старший научный сотрудник, zandekova@bk.ru

Information about author

Tsandekova Oksana Leonidovna – Senior Researcher, zandekova@bk.ru