

УДК 630*160.2:582.76/77

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДСТИЛКИ ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ С УЧАСТИЕМ КЛЕНА ЯСЕНЕЛИСТНОГО

О. Л. Цандекова

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН
650065, Кемерово, пр. Ленинградский, 10

E-mail: zandekova@bk.ru

Поступила в редакцию 27.03.2024 г.

Представлены результаты исследования влияния сомкнутости крон популяции клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) на формирование подстилки лесных фитоценозов. Объектами исследования служили лесные подстилки, сформированные под естественными насаждениями клена ясенелистного на территории заброшенных пахотных земель в пределах г. Кемерово. Проведены описания растительного покрова, определены доминирующие виды растений и их общее проективное покрытие. Аналитические пробы образцов высушивали до воздушно-сухого состояния, взвешивали с определением доли каждой растительной фракции (листья, травы, ветки) и определяли запасы подстилки на абсолютно сухую массу. Из образцов подстилки с учетом горизонтов A0L и A0F, отобранных в насаждениях клена ясенелистного на каждой площадке, готовили средний образец, в котором определяли зольность путем сухого озоления в муфельной печи при 400–500 °С по ГОСТ 24027.2-80 и содержание азота – по методу Кьельдаля. Выявлено, что на формирование подстилки лесных фитоценозов оказывает влияние сомкнутость крон популяции клена ясенелистного, а также содержание минеральных и органических соединений растительного опада. В составе подстилки в фитоценозах преобладал слой ферментации из не полностью разложившихся, морфологически идентифицируемых растительных остатков с повышенным содержанием азота и зольности в сравнении с вышележащим слоем. В подкрановом пространстве клена ясенелистного растительные остатки располагались по содержанию химических соединений в убывающем порядке: листья > ветки > травы. Наиболее интенсивной минерализацией опада обладали деревья в несомкнутых древостоях, вероятно, за счет более высокого накопления фитомассы и химических соединений по сравнению с деревьями других исследуемых групп. Результаты исследования могут быть использованы для мониторинга природных экосистем.

Ключевые слова: растительный опад, *Acer negundo* L., фитомасса, зола, азот, фитоценоз.

DOI: 10.15372/SJFS20240507

ВВЕДЕНИЕ

Лесная подстилка служит главным источником элементов питания для растений. Формирование подстилки и ее деструкция зависят от структуры насаждений, породного состава и лесорастительных условий. В Кемеровской области происходит активное внедрение в естественные и антропогенно нарушенные лесные сообщества агрессивного инвазионного вида – клена ясенелистного (*Acer negundo* L.). Он образует густой подлесок, способствует изменениям микроклимата, оказывает существенное влияние на растительность нижних ярусов, а в отдельных

случаях вытесняет аборигенные виды природной флоры. Под его кроной формируется значительное количество подстилки, вместе с которой в почву возвращаются химические соединения, принадлежащие к различным классам (Гродзинский, 1965; Turk et al., 2008; Решетникова, 2011; Овчаренко, Кузьмичев, 2013). По данным многочисленных исследований, биохимический состав растительного опада является ключевым фактором, определяющим скорость разложения лесных подстилок (Кузнецов, 2010; Тарасов и др., 2015; Цандекова, 2019; Lucas-Vorja et al., 2019; Иванова, 2021). На начальном периоде разрушения опада происходит разложение лег-

корастворимых и подвижных соединений, затем биохимические процессы замедляются. Высокое содержание легкоразлагаемых водорастворимых органических соединений благоприятствует быстрой минерализации растительного опада (Hunt et al., 2008; Шелепова, Возна, 2016; Чульдиене и др., 2017; Chul'diene et al., 2017). Опад, богатый азотом, быстро разлагается (Tashe, Schmidt, 2001; Polyakova, Billor, 2007; Vesterdal et al., 2008), бедный минеральными элементами листовый опад, напротив, формирует медленно разлагающиеся лесные подстилки (Walela et al., 2014). Показатель содержания зольности важен как в аспекте химизма растений, так и с позиций поступления минеральных веществ из фитомассы в прочие компоненты экосистемы (Husmann et al., 2018). В связи с вышеизложенным, целью наших исследований было изучение особенностей формирования подстилки лесных фитоценозов с участием клена ясенелистного в условиях Кемеровской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования служили лесные подстилки, сформированные под естественными насаждениями клена ясенелистного на территории заброшенных (более 25 лет) пахотных земель в пределах г. Кемерово (55°29'29" с. ш., 86°13'10" в. д.). Структура насаждений мозаичная, площадь массива с доминированием клена ясенелистного составляла около 15 % от общей, остальная территория занята куртинами тополя черного (*Populus nigra* L.), ивы прутовидной (*Salix viminalis* L.), березы повислой (*Betula pendula* Roth), черемухи обыкновенной (*Padus avium* L.). Почвы участка представлены черноземом выщелоченным.

Образцы отбирали на площадках наблюдений (пн) под кроной клена ясенелистного из расчета ее сомкнутости: 1 (пн 1) – несомкнутые древостои (30 %); 2 (пн 2) – древостои со средней сомкнутостью крон (60 %); 3 (пн 3) – древостои с высокой сомкнутостью крон (90 %). В качестве контроля выбраны естественные насаждения деревьев вне проекции кроны (пн к). Возраст насаждений клена ясенелистного составлял 25–30 лет, средняя высота в древостоях – 12–14 м, с широкой раскидистой кроной диаметром 10–12 м. Живой напочвенный покров на пробных площадках образован разнотравно-злаковым сообществом с доминиро-

ванием крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.), мятлика лугового (*Poa pratensis* L.), ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.), овсяницы луговой (*Festuca pratensis* Huds.) с общим проективным покрытием (ОПП) 20–90 %.

Образцы отбирали в вегетационный период (май, июль, сентябрь) 2021–2023 гг. Наиболее влажным характеризовался 2021 г. (ГТК = 1.69), теплым – 2022 г. (ГТК = 0.78). В начале вегетации (в мае) преобладала очень теплая, со значительным недобором осадков погода. Среднемесячная температура воздуха составила 18–20 °С, что на 5–6 °С выше нормы. Осадков выпало в среднем 11–13 мм (48–52 % от нормы). В июле и августе наблюдалась неустойчивая погода с резкими колебаниями температуры и обильными осадками. Среднемесячная температура воздуха составила 11–18 °С, что на 1–2 °С ниже нормы. Осадков выпало 67–174 % от нормы.

На каждой учетной площадке проведены описания растительного покрова, определены доминирующие виды растений и их общее проективное покрытие. Отбор подстилок проводили в десятикратной повторности на площадках размером 30 × 60 см, на всю глубину подстилок до начала почвенного горизонта, который устанавливался по наличию минерального субстрата. Образцы разбивались на фракции с учетом их генетического строения: а) морфологически хорошо сохранившиеся, слабо затронутые разложением остатки опада, представляющие в сумме слой А0L; б) растительные остатки, которые оставались на сите с диаметром ячеек 2 мм после отбора компонентов верхнего слоя, оставшиеся фракции представляли собой ферментированные, в разной степени затронутые разложением, компоненты слоя А0F; в) гумифицированные, сильно преобразованные растительные остатки, трудно диагностируемые, относились к слою А0Н. В насаждениях клена ясенелистного отчетливо выделялся верхний слой А0L, остальная растительная масса, в разной степени трансформированная процессами разложения, диагностировалась как А0F + А0Н. Фракции подстилок высушивались до воздушно-сухого состояния и взвешивались с установлением доли растительной фракции (листья, травы, ветки) и определяли запасы подстилки на абсолютно сухую массу. Из 10 образцов подстилки с учетом горизонтов А0L и А0F, отобранных в насаждениях клена ясенелистного на каждой площадке, готовился средний образец, в котором определяли зольность (общая зола) путем сухого

озоления в муфельной печи при 400–500 °С по ГОСТ 24027.2-80 (1981) и содержание азота – по методу Къельдаля (Минеев и др., 2001). 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 ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В подкрановом пространстве клена ясенелистного на исследуемых площадках отмечена горизонтальная дифференциация растительного покрова. Общее проективное покрытие в несомкнутых древостоях составляло 40–95 % с доминированием крапивы двудомной, мятлика лугового, пырея ползучего (*Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski), тимopheевки луговой (*Phleum pratense* L.). В древостоях со средней сомкнутостью крон (ОПП 20–65 %) доминантами выступали хмель обыкновенный (*Humulus lupulus* L.) (10 %) и мятлик луговой (50 %). В насаждениях с высокой сомкнутостью крон (ОПП 50 %) доминировали собственный самосев клена ясенелистного (15 %) и хмель обыкновенный (25 %).

Основным источником формирования подстилки в насаждениях клена ясенелистного служат ежегодно опадающие фракции фитомассы древостоев. На обследованных участках интенсивность опада верхнего (A0L) горизонта изменялась от 2.46 до 9.18 т/га (рис. 1).

В 2022 г. масса опада была выше в 1.1–1.9 раз, чем в другие годы. Можно предположить, что наиболее благоприятные гидротермические условия 2022 г. способствовали развитию листового аппарата растений, который составлял значительную часть массы опада. Отличительной характеристикой опада в несомкнутых древостоях на пн 1 служил высокий уровень ее фитомассы – 4.64–9.18 т/га, что больше в 1.1–1.7 раз, чем в контроле. У деревьев с высокой сомкнутостью крон отмечен низкий уровень накопления опада, особенно в 2023 г. (2.46 т/га), что ниже на 28 % относительно контроля.

Учет запасов всех горизонтов и состава подстилки показал, что в насаждениях клена ясенелистного ее масса изменялась от 9.27 до 11.59 т/га (рис. 2).

В составе подстилки на растительные остатки верхнего слоя A0L приходилось от 37 до 40 % ее общей массы. Преобладающим в составе подстилок в древесных насаждениях являлся слой ферментации (A0F), который состоял из не полностью разложившихся, морфологически идентифицируемых остатков растительного происхождения. Его доля составила 48–52 % массы подстилки с максимумом у деревьев с высокой сомкнутостью крон. Почти полностью разложившаяся масса растительных остатков слоя гумификации не превышала 11 % общего запаса подстилок на всех исследуемых площадках.

Анализ фракционного состава подстилки в горизонтах A0L и A0F в древостоях с различной сомкнутостью крон характеризовался преобладанием фракции листьев, доленое участие

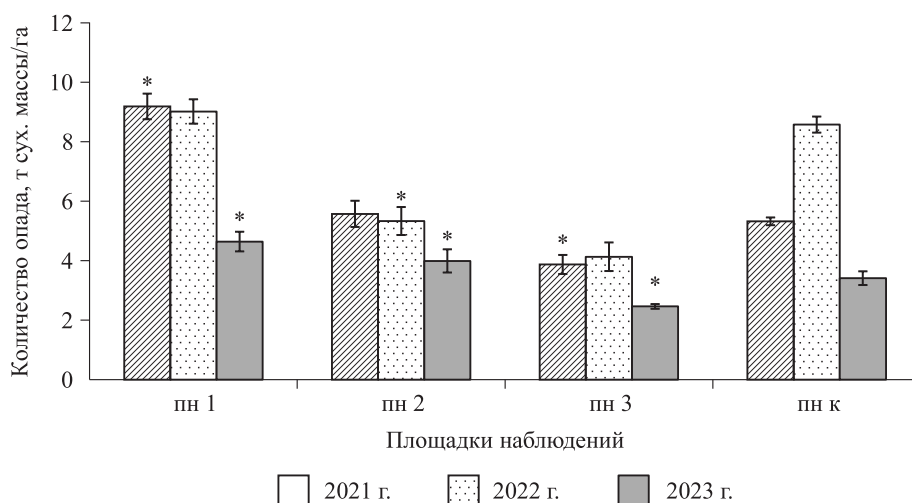


Рис. 1. Количество растительного опада за вегетационный период на исследуемых площадках.

* Различия с контролем статистически значимы при $p < 0.05$.

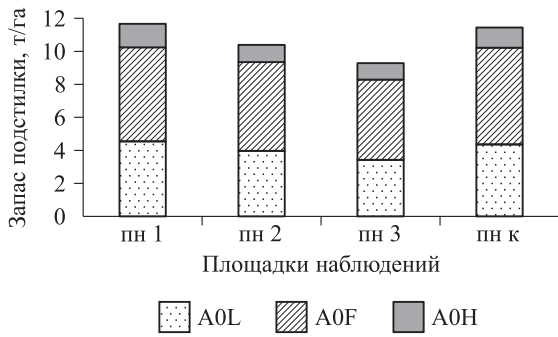


Рис. 2. Запасы подстилки на исследуемых площадках.

которых составляло в среднем 77–86 % за вегетацию, что обуславливает наибольшие запасы легкоразлагаемых компонентов (рис. 3).

Доля ветвей на площадках варьировала в среднем от 11.4 до 22.6 %, травянистых растений – от 0.9 до 2.5 %. В мае отмечены максимальные значения листовых фракций в подстилке (в среднем 81–91 %), в июле – мелких веток и травы (17.2–29.2 и 1.5–3 % соответственно).

В процессе старения листьев и формирования растительного опада происходит реутилизация азотсодержащих веществ растением. Это может объясняться иммобилизацией азота на ранних стадиях разложения подстилки (Xie et al., 2004; Piatek et al., 2010). Наши данные показали, что у исследуемых образцов в течение вегетации количество азота в подстилке в слое A0L составляло в среднем 0.76–2.22 %, в A0F – 1.01–2.55 % (рис. 4).

На всех пробных площадках у деревьев отмечен наиболее высокий уровень общего азота

в мае, минимальный – в июле. Содержание общего азота в образцах определялось основной фракцией, входящей в подстилку.

Концентрация азота в подстилке A0L слоя, формирующаяся за счет листьев, составляла в среднем 2.02–2.22 % и была в 1.5–1.8 раз выше, чем во фракции веток и травянистых растений. В слое A0F уровень содержания азота в листовой фракции образцов составил 2.16–2.41 %, что выше в 1.4–1.7 раз других фракций. Максимальные показатели по содержанию общего азота выявлены у деревьев первой группы. Так, в течение вегетации у опытных образцов на пн 1 уровень накопления азота в листовой фракции выше, чем на других площадках, в среднем на 2–13 %, во фракции травянистых растений – на 5–13 %, во фракции веток – на 2–11 %.

Одним из основных показателей, отражающих процесс минерального питания, особенности поглощения и накопления питательных веществ растением, является содержание золы в тканях его органов. Анализ проведенных исследований показал, что по мере разложения растительных остатков в подстилке увеличивалось содержание зольности. Так, на пробных площадках у образцов количество общей золы увеличивалось с мая по сентябрь с максимумом в листовой фракции и варьированием в пределах от 10.66 до 12.97 % в слое A0L и от 11.74 до 14.05 % – в слое A0F (рис. 5).

У деревьев клена ясенелистного в несомкнутых древостоях (пн 1) содержание общей золы в подстилке выше в среднем в 1.1–1.4 раза по сравнению с другими группами деревьев. Сопос-

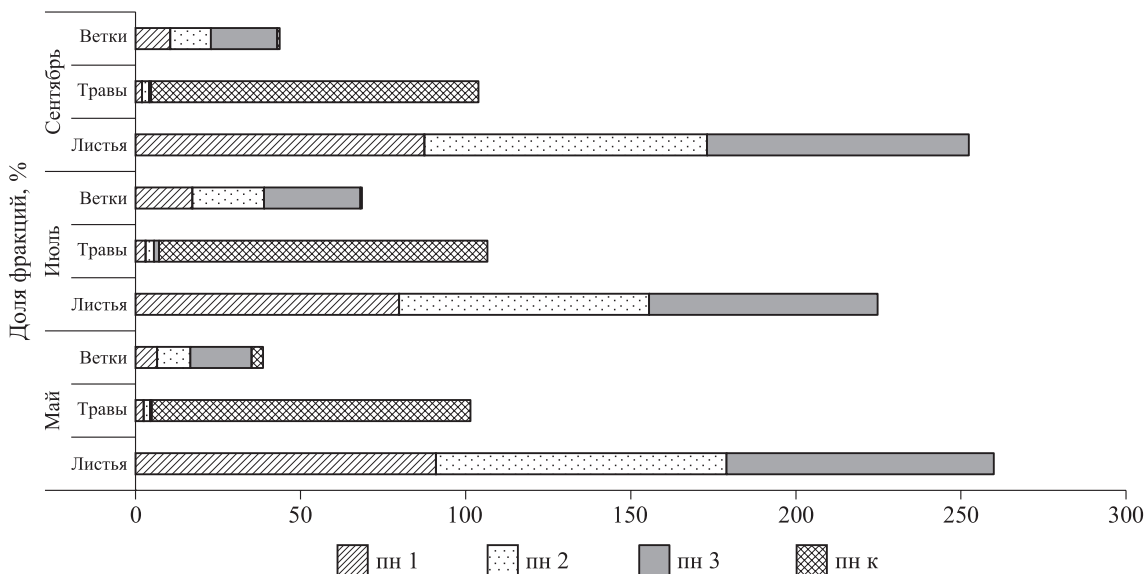


Рис. 3. Накопление массы фракций на учетных площадках (средние данные за 2021–2023 гг.).

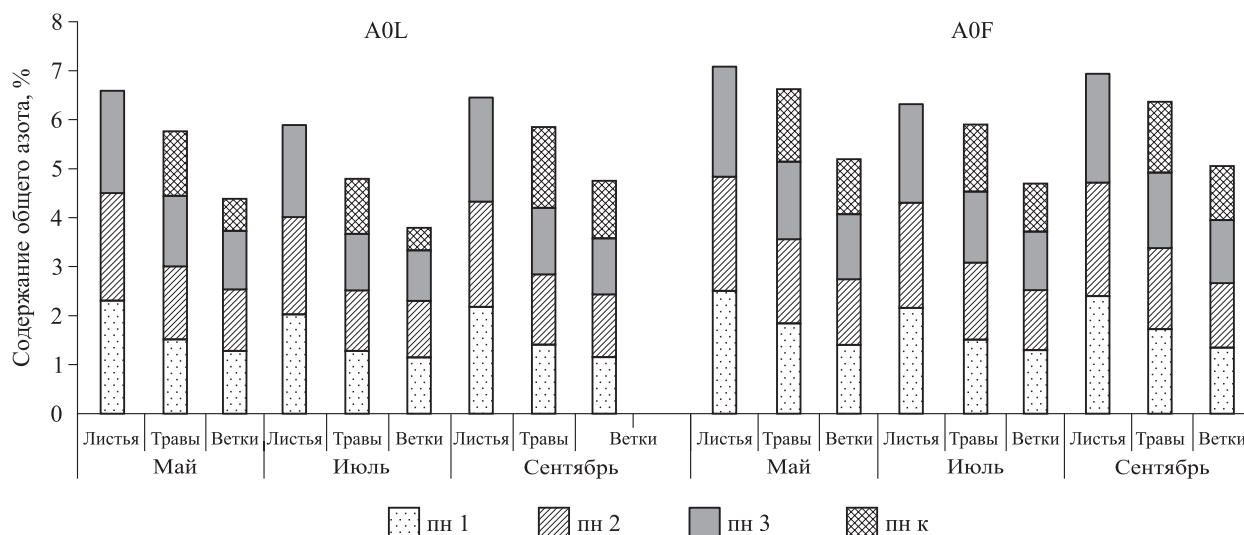


Рис. 4. Содержание азота в подстилке на исследуемых площадках.

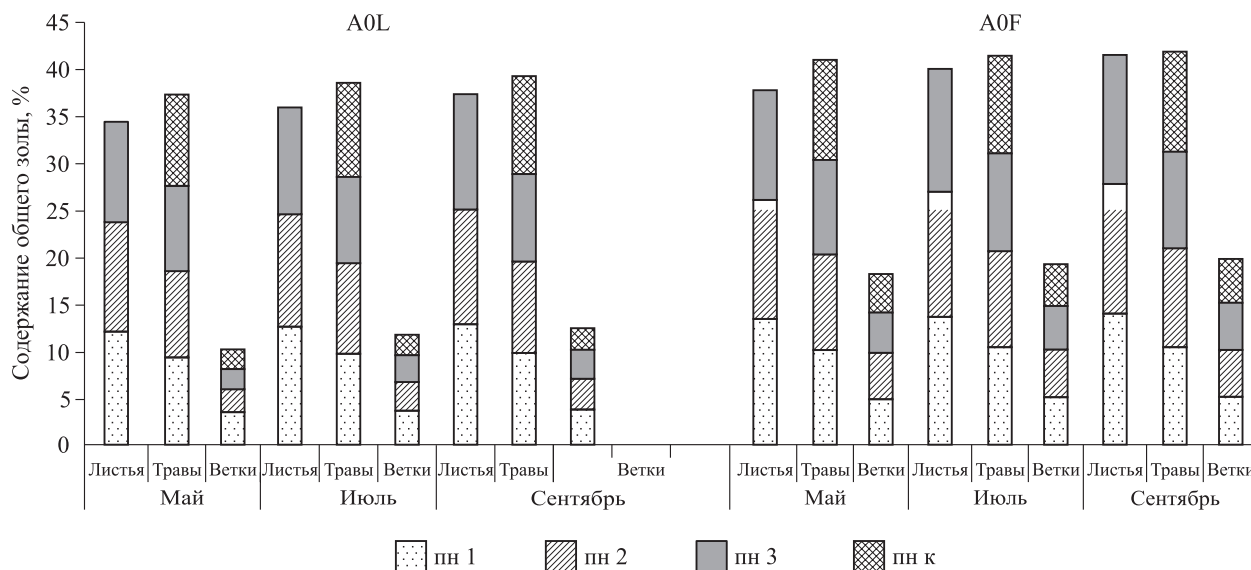


Рис. 5. Содержание общей золы в подстилке на исследуемых площадках.

тавляя полученные данные с уровнем зольности листьев, травы и веток, можно отметить, что в целом диапазон уровня содержания золы в опаде соответствовал амплитуде для представителей рода клена (*Acer* L.). По данным Е. Г. Тюльковой (2016), уровень зольности в опаде клена остролистного составлял от 7 до 13 %.

В исследованиях Е. А. Осиповой (2009) зольность листовой массы у представителей 13 видов рода клен, в том числе и клена ясенелистного, варьировала от 4–6 до 12–14 %.

Для оценки взаимосвязи исследуемых показателей проведен корреляционный анализ, который выявил ряд закономерностей. Между фитомассой и азотом установлена наиболее тесная взаимосвязь ($r = 0.75$, $p < 0.05$), между азотом и зольностью обнаружена отрицательная

корреляция ($r = -0.44$, $p < 0.05$). Таким образом, при формировании подстилки в сообществах с участием клена ясенелистного наиболее сильно различавшимся показателем химического состава опада на исследуемых площадках было содержание золы, в меньшей степени варьировало содержание азота.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На формирование подстилки лесных фитоценозов оказывает влияние сомкнутость крон популяции клена ясенелистного, а также содержание минеральных и органических соединений растительного опада. В составе подстилки в фитоценозах преобладает слой ферментации (A0F) из не полностью разложившихся,

морфологически идентифицируемых растительных остатков с повышением содержания азота и зольности в сравнении с вышележащим слоем А0L. В подкroновом пространстве клена ясенелистного растительные остатки располагались по содержанию химических соединений в убывающем порядке: листья > ветки > травы. Наиболее интенсивной минерализацией опада обладали деревья в несомкнутых древостоях, вероятно, за счет более высокого накопления фитомассы и химических соединений по сравнению с деревьями других исследуемых групп. Выяснение роли биологически активных веществ при формировании подстилки лесных фитоценозов с доминированием клена ясенелистного важно для понимания состояния напочвенного покрова и почвы в процессах биологического круговорота в лесных сообществах.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 24027.2–80. Сырье лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла. М.: Изд-во стандартов, 1981. С. 120–121.
- Гродзинский А. М. Аллелопатия в жизни растений и их сообществ. Основы химического взаимодействия растений. Киев: Наук. думка, 1965. 200 с.
- Иванова Е. А. Формирование и разложение древесного опада в лесных экосистемах в фоновых условиях и при аэротехногенном загрязнении // *Вопр. лесн. науки*. 2021. Т. 4. № 3. С. 30–52.
- Кузнецов М. А. Влияние условий разложения и состава опада на характеристики и запас подстилки в средне-таежном чернично-сфагновом ельнике // *Лесоведение*. 2010. № 6. С. 54–60.
- Овчаренко А. А., Кузьмичев А. М. Роль биологически активных выделений древесных растений в формировании экологической среды фитоценозов среднего Прихоперья // *Вестн. Тамбов. гос. ун-та*. 2013. Т. 18. № 3. С. 822–825.
- Осипова Е. А. Эколого-биологические особенности видов рода клен (*Acer* L.) в лесостепи среднего Поволжья (на примере г. Самары): дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. Тольятти: Ин-т экол. Волжск. басс. РАН, 2009. 132 с.
- Практикум по агрохимии / В. Г. Минеев, В. Г. Сычев, О. А. Амеляничик и др. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
- Решетникова Т. В. Лесные подстилки как депо биогенных элементов // *Вестн. КрасГАУ*. 2011. № 12. С. 74–81.
- Тарасов П. А., Тарасова А. В., Иванов В. А. Основные характеристики лесной подстилки производных мелко-лиственных насаждений // *Вестн. КрасГАУ*. 2015. № 2. С. 197–200.
- Толькова Е. Г. Зольность и морфометрические параметры листьев древесных растений как индикаторы загрязнения окружающей среды (на примере г. Гомеля) // *Изв. Гомел. гос. ун-та им. Ф. Скорины. Сер. Естеств. науки*. 2016. № 3. С. 64–69.
- Цандекова О. Л. Особенности химического состава растительного опада *Acer negundo* L. (Sapindaceae) в условиях нарушенных пойменных фитоценозов // *Хим. раст. сырья*. 2019. № 2. С. 197–203.
- Чульдиене Д., Алеиниковиене Ю., Мурашкиене М., Марозас В., Армолайтис К. Распад и сохранность органических соединений и питательных элементов в листовом опаде после зимнего сезона под лесопосадками лиственницы европейской, бука обыкновенного и дуба красного в Литве // *Почвоведение*. 2017. № 1. С. 56–63.
- Шелепова О. В., Возна Л. И. Сравнительная оценка влияния опада древесных растений на свойства дерново-подзолистых почв дендрария ГБС РАН // *Бюл. Гл. бот. сада*. 2016. № 1. С. 22–26.
- Chul'diene D., Aleinikoviene Yu., Murashkiene M., Marozas V., Armolaitis K. Release and retention patterns of organic compounds and nutrients after the cold period in foliar litterfall of pure European larch, common beech and red oak plantations in Lithuania // *Euras. Soil Sci.* 2017. V. 50. Iss. 6. P. 49–56 (Original Rus. Text © 2017, D. Chul'diene, Yu. Aleinikoviene, M. Murashkiene, V. Marozas, K. Armolaitis, publ. in *Pochvovedenie*. 2017. N. 1. P. 56–63).
- Hunt J. F., Ohno T., Fernandez I. J. Influence of foliar phosphorus and nitrogen contents on chemical properties of water extractable organic matter derived from fresh and decomposed sugar maple leaves // *Soil Biol. Biochem.* 2008. V. 40. N. 7. P. 1931–1939.
- 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 // *J. Clean. Prod.* 2018. V. 172. P. 4044–4056.
- 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 // *Sci. Total Environ.* 2019. V. 650. Part 1. P. 749–758.
- 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 // *North. J. Appl. For.* 2010. V. 27. Iss. 3. P. 97–104.
- Polyakova O., Billor N. Impact of deciduous tree species on litter fall quality, decomposition rates and nutrient circulation in pine stands // *For. Ecol. Manag.* 2007. V. 253. N. 1–3. P. 11–18.
- Tashe N. C., Schmidt M. G. The impact of vine maple on site fertility of coastal temperate forests // *For. Ecol. Manag.* 2001. V. 147. N. 2–3. P. 263–279.
- Turk T. D., Schmidt M. G., Roberts N. J. The influence of bigleaf maple on forest floor and mineral soil properties in a coniferous forest in coastal British Columbia // *For. Ecol. Manag.* 2008. V. 255. N. 5–6. P. 1874–1882.
- 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 // For. Ecol. Manag. 2008. V. 255. N. 1. P. 35–48.

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 Biol. Biochem. 2014. V. 77. P. 268–275.

Xie Yo., Yu D., Ren B. Effects of nitrogen and phosphorus availability on the decomposition of aquatic plants // Aqua. Bot. 2004. V. 80. Iss. 1. P. 29–37.

FEATURES OF LITTER FORMATION IN FOREST PHYTOCOENOSES WITH ASH MAPLE

O. L. Tsandekova

*Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
Leningradskiy Prospekt., 10, Kemerovo, 650065 Russian Federation*

E-mail: zandekova@bk.ru

The results of the influence of crown density of the ash-leaved maple (*Acer negundo* L.) population on the formation of forest phytocenosis litter are presented. The objects of the study were forest floors formed under natural stands of ash maple on the territory of abandoned arable land within the city of Kemerovo. The vegetation cover was described, the dominant plant species and their general projective cover were determined. Analytical samples of the samples were dried to an air-dry state, weighed to determine the proportion of each plant fraction (leaves, grass, branches) and litter reserves per absolutely dry mass were determined. From the litter samples, taking into account the A0L and A0F horizons, selected from the ash maple plantations at each site, an average sample was prepared, in which the ash content was determined by dry ashing in a muffle furnace at 400–500 °C according to GOST 24027.2-80 and the nitrogen content was determined by the method Kjeldahl. It was revealed that the formation of the litter of forest phytocenoses is influenced by the density of the crowns of the ash maple population, as well as the content of mineral and organic compounds of plant litter. The predominant composition of the litter in phytocenoses was a fermentation layer of incompletely decomposed, morphologically identifiable plant residues with an increase in nitrogen and ash content in comparison with the overlying layer. In the under-crown space of the ash-leaved maple, plant remains were arranged according to the content of chemical compounds in descending order: leaves > branches > grass. Trees in open stands had the most intense mineralization of litter, probably due to a higher accumulation of phytomass and chemical compounds compared to trees of other studied groups. The results of the study can be used to monitor natural ecosystems.

Keywords: *plant litter, Acer negundo* L., *phytomass, ash, nitrogen, phytocenosis.*

How to cite: Tsandekova O. L. Features of litter formation in forest phytocenoses with ash maple // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 5. P. 89–95 (in Russian with English abstract and references).