

УДК 630\*114.351:581.1:582.76/77

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.73

## ФОРМИРОВАНИЕ ПОДСТИЛКИ ПОЙМЕННЫХ ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ С УЧАСТИЕМ *ACER NEGUNDO* L.

**О.Л. Цандекова, канд. с.-х. наук;** *ResearcherID: J-4580-2018, ORCID: 0000-0002-9768-3084*

**В.И. Уфимцев, канд. биол. наук;** *ResearcherID: J-9268-2018, ORCID: 0000-0001-5854-5802*

Институт экологии человека Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения РАН, просп. Ленинградский, д. 10, г. Кемерово, Россия, 650065; e-mail: zandekova@bk.ru, uwy2079@gmail.com

Проанализированы результаты влияния опада клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) на формирование подстилки в пойменных лесных сообществах. Объектом исследования служил растительный опад, отобранный в различных зонах фитогенных полей естественных насаждений *A. negundo*, произрастающих в пойме р. Томь. Пробы отбирали по трем категориям сомкнутости крон деревьев. В качестве контроля использовалась внешняя зона одиночных деревьев. В пределах подкороновой, прикороновой и внешней зон фитогенного поля деревьев проводились описания растительного покрова, определялись доминирующие виды растений и их общее проективное покрытие. Перед началом исследования выделялись аналитические пробы, которые высушивались до воздушно-сухого состояния и взвешивались с нахождением доли каждой растительной фракции. В них определялось содержание полифенольных соединений и лигнина. Анализ результатов показал, что на формирование подстилки пойменных лесных сообществ оказывает влияние сомкнутость крон популяции *A. negundo*, а также содержание минеральных и органических соединений растительного опада. Наиболее интенсивной минерализацией опада в почве, особенно в подкороновой зоне, обладает лесная подстилка под одиночными деревьями в несомкнутых древостоях, вероятно, за счет повышенного содержания элементов питания и большей суммы поглощенных оснований, а также высокого накопления фитомассы и минимального содержания полифенолов и лигнина в сравнении с лесной подстилкой деревьев других обследованных групп. Результаты исследования могут быть использованы для мониторинга природных экосистем.

**Для цитирования:** Цандекова О.Л., Уфимцев В.И. Формирование подстилки пойменных лесных биогеоценозов с участием *Acer negundo* L. // Лесн. журн. 2019. № 3. С. 73–81. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.73

**Финансирование:** Работа выполнена в рамках реализации государственного задания ФИЦ УУХ СО РАН (проект № 0352-2019-0015).

**Ключевые слова:** клен ясенелистный, фитогенное поле, растительный опад, фитомасса, фенольные соединения, лигнин.

### Введение

Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) оказывает существенное влияние на растительность нижних ярусов, изменяя водный, тепловой и световой режим биогеоценоза. Он формирует значительное количество растительного опада, вместе с которым в почву возвращаются химические соединения, принадлежащие к разнообразным классам [16, 18, 19]. Скорость разложения опада в условиях различных ценозов в значительной степени связана с его видовым химическим составом. В начальный период разрушения опада разлагаются легкорастворимые и подвижные соединения, на следующих стадиях биохимические процессы замедляются. По данным многочисленных исследований, биохимический состав опада растений является ключевым фактором,

определяющим скорость разложения лесных подстилок [10, 15, 17, 20]. Высокое содержание легкоразлагаемых водорастворимых органических соединений благоприятствует быстрой минерализации растительного опада, а наличие большого количества лигнина замедляет этот процесс [7, 12, 14]. Изучение формирования подстилки и выявление особенностей содержания в ней органических соединений необходимы для уточнения приспособительных свойств растений к экологическим условиям их произрастания [5, 6, 11].

Цель исследования – изучение влияния растительного опада *A. negundo* L. на формирование подстилки пойменных лесных биогеоценозов.

#### *Объекты и методы исследования*

Объектом исследования выступал растительный опад, отобранный в различных зонах фитогенных полей естественных насаждений клена ясенелистного, произрастающего в пойме р. Томь в пределах г. Кемерово. Причиной появления насаждений *A. negundo* в естественных сообществах, произрастающих в пойме р. Томь, послужило, с одной стороны, проведение озеленения городских и пригородных территорий с помощью данной культуры, с другой – заселение клена из рудеральных сообществ на антропогенно нарушенные территории, а потом его внедрение в естественные природные сообщества.

Отбор образцов проводили на пробных площадках (ПП) в различных условиях сомкнутости крон с учетом зон влияния деревьев: I – одиночные деревья в несомкнутых древостоях: подкрановая (ПП 1) и прикрановая (ПП 2) зоны дерева; II – древостои со средней сомкнутостью крон (50...60 %): подкрановая (ПП 3) и прикрановая (ПП 4) зоны; III – древостои с высокой сомкнутостью крон (100 %): приствольная (ПП 5) и прикрановая (ПП 6) зоны. В качестве контроля выбрана внешняя зона (Вк) одиночных деревьев. Насаждения оценивались первой категорией жизненного состояния по шкале В.А. Алексеева I классом бонитета. Возраст деревьев составлял 20–25 лет, высота – 12...14 м. Диаметр кроны у одиночных деревьев – 8...10 м, у деревьев средней и полной сомкнутости крон – 4...6 м.

Сроки отбора образцов – в начале (III декада мая), середине (III декада июля) и конце (III декада сентября) вегетационных периодов 2017–2018 гг. Климатические условия вегетационного периода 2017 г. характеризовались достаточно теплой и влажной погодой. В мае среднемесячная температура воздуха составляла 11,7 °С, что превышало среднегодовую норму на 0,5 °С. Осадков выпало 24 мм (60 % от нормы). В июле и августе отмечались понижение температуры (на 0,5...0,8 °С ниже нормы) и избыток увлажнения (144...146 % от нормы). Особенностью вегетации 2018 г. являлись понижение температуры воздуха (ниже нормы на 4,2 °С) и увеличение влажности (198 % от нормы) в начале и середине вегетации (температура ниже нормы на 1,0 °С, влажность – 153 % от нормы). К концу вегетационного периода среднемесячная температура составляла 9,6 °С, что превышало норму на 1,1 °С, осадков выпало 51 мм (124 % от нормы).

В пределах подкрановой, прикрановой и внешней зон (контроль) проведены описания растительного покрова, определены доминирующие виды растений и их общее проективное покрытие. Образцы растений отбирались в пределах каждой ПП на учетных площадках размером 30×60 см, высушивались до воздушно-сухого состояния и взвешивались с установлением доли

каждой растительной фракции. Перед проведением исследований выделялись аналитические пробы (размер частиц – 1 мм), в которых фиксировались содержание фенольных соединений по уровню танинов [8] и содержание лигнина с использованием 72 %-го раствора серной кислоты по ГОСТ 26177–84 [3]. Повторность всех опытов 3-кратная. Агрохимический анализ почвы исследуемых площадок проводился в Федеральном государственном бюджетном учреждении Центра агрохимической службы «Кемеровский». 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 исследования и их обсуждение

Результаты агрохимических анализов (см. таблицу) показали, что исследуемые почвы обладали слабокислой и нейтральной реакцией солевой вытяжки ( $pH_{\text{сол}}$  5,9...6,5), что соответствует показателям зональных ненарушенных почв [9]. Обеспеченность подвижными формами фосфора на всех ПП характеризуется как очень высокая, варьирует в пределах 610...1650 мг/кг, что в 2,4–6,6 раз превышает нижний предел данной градации обеспеченности [4].

Отмечается тенденция увеличения содержания подвижного фосфора по мере перехода от внешних зон фитогенных полей к внутренним. С точки зрения почвенного плодородия данный фактор можно рассматривать как положительный почвенно-экологический эффект, однако повышенные концентрации фосфора в почве могут блокировать поступление в растения важнейших элементов питания и, как следствие, вызывать приостановку их роста [1, 13], что является опосредованной характеристикой аллелопатического воздействия *A. negundo*.

#### Агрохимические показатели почвы исследуемых площадок (глубина отбора проб – 0...20 см)

Показатель	Вк	ПП 1	ПП 2	ПП 3	ПП 4	ПП 5	ПП 6
Кислотность ( $pH_{\text{сол}}$ ), ед. pH	6,0±0,1	6,5±0,1	6,2±0,1	5,9±0,1	6,1±0,1	5,9±0,1	6,2±0,1
Органическое вещество, %	7,6±0,8	7,6±0,8	7,4±0,7	5,6±0,6	7,9±0,8	10,3±1,0	10,6±1,0
Фосфор подвижный ( $P_2O_5$ ), мг/кг	710±85	1170±140	1050±123	620±74	610±73	1380±156	1650±198
Калий обменный ( $K_2O$ ), мг/кг	120±12	290±29	1785±18	140±14	191±19	190±19	400±40
Азот нитратный, мг/кг	44,7±8,9	26,3±5,3	25,1±5,0	30,9±6,2	27,5±5,5	24,0±4,8	58,9±11,8
Азот общий, %	0,40±0,03	0,39±0,03	0,34±0,02	0,30±0,02	0,35±0,02	0,43±0,03	0,53±0,03
Сумма поглощенных оснований, ммоль/100 г	41,2±6,2	42,4±6,4	36,0±5,4	23,2±3,5	34,0±5,1	43,2±6,5	43,2±6,5

Содержание нитратного азота на всех ПП по шкале Г.П. Гамзикова [2] колеблется на высоком уровне – от 24,0 до 58,9 мг/кг. Массовая доля общего азота – 0,30...0,53 %, сумма поглощенных оснований – 23,2...43,2 ммоль/100 г. Содержание обменного калия варьирует от 120 до 440 мг/кг и соответствует среднему и высокому уровням (ГОСТ Р 54650–2011), причем ниже всего оно в контроле. Содержание органического вещества – 5,6...10,6 %, что соответствует уровню высокогумусных лугово-черноземных и луговых почв.

Сравнительный анализ агрохимических показателей почвы под насаждениями *A. negundo* L. показал, что более высокие значения изучаемых параметров (содержание подвижного фосфора, обменного калия, азота нитратного, азота общего, органического вещества) характерны для ПП 5 и ПП 6 под деревьями III группы в сравнении с контролем и другими ПП, при этом рН сдвигается в нейтральную и слабокислую сторону, более благоприятную для формирования плодородного слоя. Содержание азота на ПП подтверждает известную связь между количествами в почве этого элемента и органического вещества. Одновременно с уменьшением количества гумуса в почве следует снижение содержания азота, а с ростом количества гумуса увеличивается содержание азота. Так, на ПП 3 отмечен минимальный уровень органического вещества – 5,6 %, на ПП 6 – максимальный (10,6 %), при этом массовая доля общего азота составила 0,30 и 0,53 % соответственно.

Весьма существенным фактором, оказывающим влияние на интенсивность деструкции, является содержание суммы поглощенных оснований. Растительные остатки, богатые катионами, разлагаются значительно энергичнее, чем содержащие мало оснований. У деревьев I и III групп отмечены более высокие значения данного показателя, что, вероятно, способствует наиболее интенсивной минерализации опада и быстрому развитию отдельных этапов круговорота веществ в почве.

Одним из основных показателей, отражающих процесс минерального питания, особенности поглощения и накопления питательных веществ растением, является накопление фитомассы растений. В фитогенном поле модельных деревьев наблюдалась горизонтальная дифференциация растительного покрова. Доминирующими видами у одиночных растений в несомкнутых древостоях являлись *Poa pratensis* L., *Urtica dioica* L., *Phleum pratense* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski., общее проективное покрытие (ОПП) достигало 40...90 %. У деревьев со средней сомкнутостью крон ОПП составляло 20...70 % с доминированием *Humulus lupulus* L. (10 %) и *Poa pratensis* L. (50 %) У деревьев с полной сомкнутостью крон ОПП-50 %, в том числе собственный самосев *A. negundo* L. (15 %) и *H. lupulus* L. (25 %). Внешняя зона одиночных деревьев характеризовалась 100 %-м ОПП с доминированием *Poa pratensis* L., *Phleum pratense* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski.

Анализ результатов по накоплению фитомассы растительного опада *A. negundo* L. в течение вегетации показал некоторые различия в фитогенных зонах исследуемых деревьев (рис. 1).



Рис. 1. Динамика накопления фитомассы растительного опада *A. negundo* L.

Fig. 1. Phytomass accumulation dynamics of the *Acer negundo* L. plant litter

Отличительной характеристикой подстилки подкороновой зоны служит высокий уровень ее фитомассы – 6,9...10,7 т/га, что больше, чем во внешней зоне, в среднем на 24...30 %. Наибольшие значения фитомассы растений отмечены в начале и середине вегетации на всех ПП, к концу вегетации она снижается. Максимальные отличия данного показателя от контроля наблюдались в мае на ПП 2 – на 34 %, ПП 3 – на 56 %, ПП 5 – на 39 %; в июле и сентябре – на ПП 1 (на 48 и 31 % соответственно).

Важными факторами, влияющими на скорость разложения растительного опада, является также содержание полифенольных соединений и содержание лигнина. Результаты проведенных исследований показали, что на всех ПП в течение вегетации происходит повышение содержания водорастворимых полифенолов с максимумом в сентябре (1,26...1,91 %) (рис. 2).

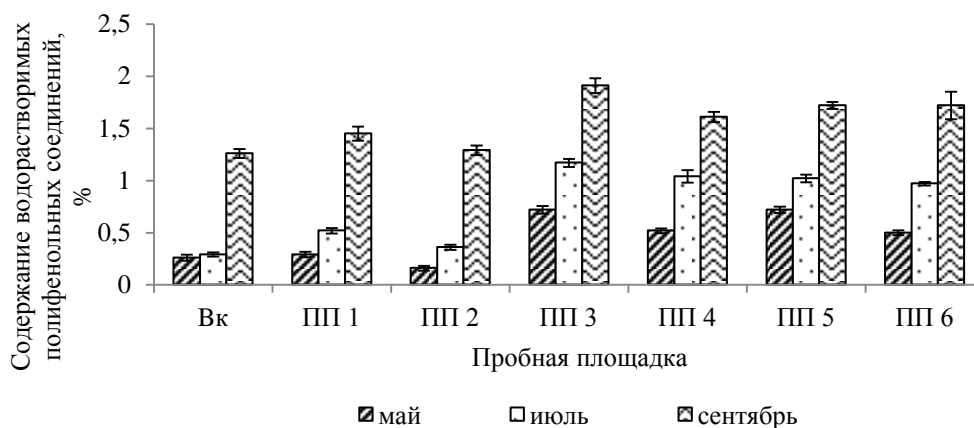


Рис. 2. Динамика содержания полифенольных соединений в растительном опаде *A. negundo* L.

Fig. 2. Polyphenolic compounds dynamics in the plant litter of *Acer negundo* L.

В течение вегетации по содержанию полифенолов отмечены наибольшие отличия от контроля для деревьев II и III групп. Так, на ПП 3 значения варьировали в пределах от 0,72 до 1,91 %, на ПП 5 – от 0,72 до 1,72 %, что выше контроля в 2,6–2,8 раза. Содержание лигнина в этих образцах изменялось от 8,57 до 12,46 %, в середине вегетации – снижалось до 7,48 % (рис. 3).

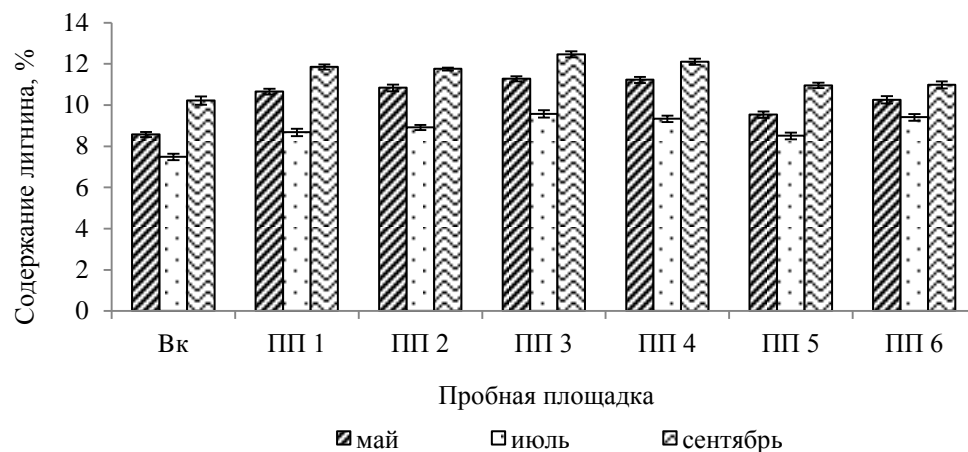


Рис. 3. Динамика содержания лигнина в растительном опаде *A. negundo* L.

Fig. 3. Level of lignin content in the plant litter of *Acer negundo* L.

Установлено, что в течение вегетации опытные образцы имели более высокий (в 1,1–1,3 раза) уровень лигнина, чем контрольные образцы. Наибольшие отличия от контроля отмечены у деревьев II группы, особенно в подкороновой зоне. Так, в мае на ПП 3 содержание лигнина выше контроля на 32 %, на ПП 4 – на 31 %; в июле – соответственно на 28 и 25 %; в сентябре – на 22 и 18 % соответственно.

Для оценки взаимосвязи исследуемых показателей, определенных нами для опада *A. negundo* L., был выполнен корреляционный анализ, который выявил достоверную положительную связь между содержанием полифенольных соединений и содержанием лигнина ( $r = 0,55$  при  $n = 126$ ,  $p < 0,05$ ).

#### Заключение

Установлено, что на формирование подстилки пойменных лесных биогеоценозов оказывает влияние сомкнутость крон популяции *A. negundo* L., а также содержание минеральных и органических соединений растительного опада. Среди показателей химического состава растительного опада наиболее выражено различие в содержании полифенольных соединений и лигнина, в меньшей степени – в накоплении фитомассы. Наиболее интенсивной минерализацией опада в почве, особенно в подкороновой зоне, обладают одиночные деревья в несомкнутых древостоях, вероятно, за счет повышенного количества элементов питания и большей суммы поглощенных оснований, а также более высокого накопления фитомассы и минимального содержания полифенолов и лигнина по сравнению с деревьями других исследуемых групп.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адрианов С.Н., Сушеница Б.А. Роль фосфора в современной земледелии // Плодородие. 2004. № 3(18). С. 13–16.
2. Гамзиков Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири. М.: Наука, 1981. 267 с.
3. ГОСТ 26177–84. Корма, комбикорма. Метод определения лигнина. М.: Изд-во стандартов, 1984. 3 с.
4. ГОСТ Р 54650–2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2013. 11 с.
5. Гродзинский А.М. Аллелопатия в жизни растений и их сообществ: Основы химического взаимодействия растений. Киев: Наук. думка, 1965. 198 с.
6. Долгих Е.А., Кавеленова Л.М. Особенности химического состава опада дуба и липы в зависимости от комплекса лесорастительных условий // Химия растительного сырья. 1999. № 4. С. 25–29.
7. Ковалева Н.О., Ковалев И.В. Биотрансформация лигнина в лесных почвах // Лесоведение. 2006. № 3. С. 57–63.
8. Коренская И.М., Ивановская Н.П., Измалкова И.Е. Лекарственные растения и лекарственное растительное сырье, содержащие антраценпроизводные, простые фенолы, лигнаны, дубильные вещества. Воронеж: ИПЦ Воронеж. ГУ, 2007. 87 с.
9. Самаров В.М. Почвы и климат Кузнецкой котловины: учеб. пособие. Кемерово: ГСХИ, 2017. 79 с.
10. Чульдиене Д., Алейниковиене Ю., Мурашкиене М., Марозас В., Армолайтис К. Распад и сохранность органических соединений и питательных элементов в листовном опаде после зимнего сезона под лесопосадками лиственницы европейской, бука обыкновенного и дуба красного в Литве // Почвоведение. 2017. № 1. С. 56–63. DOI: 10.7868/S0032180X16110022
11. Шелепова О.В., Возна Л.И. Сравнительная оценка влияния опада древесных растений на свойства дерново-подзолистых почв дендрария ГБС РАН // Бюл. ГБС. 2016. № 1(202). С. 22–26.
12. Austin A.T., Ballaré C.L. Dual Role of Lignin in Plant Litter Decomposition in Terrestrial Ecosystems // PNAS. 2010. Vol. 107, no. 10. Pp. 4618–4622. DOI: 10.1073/pnas.0909396107
13. Balemi T., Negisho K. Management of Soil Phosphorus and Plant Adaptation Mechanisms to Phosphorus Stress for Sustainable Crop Production: A Review // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 2012. Vol. 12, iss. 3. Pp. 547–561. DOI: 10.4067/S0718-95162012005000015
14. DeAngelis K.M., Allgaier M., Chavarria Y., Fortney J.L., Hugenholtz Ph., Simmons B., Sublette K., Silver W.L., Hazen T.C. Characterization of Trapped Lignin-Degrading Microbes in Tropical Forest Soil // PLoS ONE. 2011. Vol. 6, iss. 4, article no. e19306. DOI: 10.1371/journal.pone.0019306
15. Kara O., Bolat I., Cakiroglu K., Senturk M. Litter Decomposition and Microbial Biomass in Temperate Forests in Northwestern Turkey // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 2014. Vol. 14, iss. 1. Pp. 31–41. DOI: 10.4067/S0718-95162014005000003
16. Lamarque L.J., Delzon S., Lortie Ch.J. Tree Invasions: A Comparative Test of the Dominant Hypotheses and Functional Traits // Biological Invasions. 2011. Vol. 13, iss. 9. Pp. 1969–1989. DOI: 10.1007/s10530-011-0015-x
17. 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, iss. 1–3. Pp. 11–18. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.06.049
18. Porté A.J., Lamarque L.J., Lortie Ch.J., Michalet R., Delzon S. Invasive *Acer negundo* Outperforms Native Species in Non-Limiting Resource Environments Due to Its Higher Phenotypic Plasticity // BMC Ecology. 2011. Vol. 11, article no. 28. DOI: 10.1186/1472-6785-11-28
19. Saccone P., Pagès J.Ph., Girel J., Brun J.-J., Michalet R. *Acer negundo* Invasion along a Successional Gradient: Early Direct Facilitation by Native Pioneers and Late Indirect Facilitation by Conspecifics // New Phytologist. 2010. Vol. 187, iss. 3. Pp. 831–842. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2010.03289.x

20. Wang Q., Wang S., Huang Y. Comparisons of Litterfall, Litter Decomposition and Nutrient Return in a Monoculture *Cunninghamia lanceolata* and a Mixed Stand in Southern China // *Forest Ecology and Management*. 2008. Vol. 255, iss. 3–4. Pp. 1210–1218. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.10.026

Поступила 31.01.19

UDC 630\*114.351:581.1:582.76/77

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.73

### **Formation of Floodplain Forest Biogeocenosis Litter with the Participation of *Acer negundo* L.**

**O.L. Tsandekova**, Candidate of Agriculture; ResearcherID: [J-4580-2018](#),

ORCID: [0000-0002-9768-3084](#)

**V.I. Ufimtsev**, Candidate of Biology; ResearcherID: [J-9268-2018](#),

ORCID: [0000-0001-5854-5802](#)

Institute of Human Ecology of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the RAS, prosp. Leningradskiy, 10, Kemerovo, 650065, Russian Federation; e-mail: zandekova@bk.ru, uwy2079@gmail.com

The article presents the results of the influence of box elder (*Acer negundo* L.) litterfall on the forest litter formation in floodplain forest communities. The research object was plant litter collected from different sites of phytogenic fields of *A. negundo* natural stands growing in the floodplain of the Tom River. Sampling was carried out according to the three types of crown density. The outer zone of scattered trees was chosen as a control sample. The vegetation cover was described, and the dominant plant species and their total projective cover were determined within the subcrown, near-front and outer zones of the tree phytogenic field. Just before the research analytical samples were isolated; they were dried to air-dry condition and weighed in order to determine the proportion of each plant fraction. Content of polyphenolic compounds and lignin was determined in the samples. The results' analysis had shown that the crown density of *Acer negundo* L. population, as well as the content of mineral and organic compounds of plant litter, influences the formation of floodplain forest communities' litter. The most intensive mineralization of litter in the soil, especially in the subcrown zone, is found under scattered trees in sparse woodland. Probably this is due to the increased content of nutrients and total absorbed bases, as well as a higher phytomass accumulation, and minimum content of polyphenols and lignin, in comparison with the forest litter of trees from the other studied groups. The research results can be used for the monitoring of natural ecosystems.

**For citation:** Tsandekova O.L., Ufimtsev V.I. Formation of Floodplain Forest Biogeocenosis Litter with the Participation of *Acer negundo* L. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 3, pp. 73–81. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.73

**Funding:** The research was carried out within the framework of the state assignment of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the RAS (project no. 0352-2019-0015)

**Keywords:** box elder, phytogenic field, plant litter, phytomass, phenolic compounds, lignin.

#### REFERENCES

1. Adrianov S.N., Sushenitsa B.A. The role of Phosphorus in Modern Agriculture. *Plodorodie*, 2004, no. 3(18), pp. 13–16.
2. Gamzikov G.P. *Nitrogen in Western Siberia Agriculture*. Moscow, Nauka Publ., 1981. 267 p.
3. *GOST 26177-84. Fodder, Mixed Feeds. Method for Determination of Lignin*. Moscow, Standards Publ., 1984. 3 p.



4. GOST R 54650-2011. *Soils. Determination of Mobile Phosphorus and Potassium Compounds by Kirsanov Method Modified by CINAO*. Moscow, Standartinform Publ., 2013. 11 p.
5. Grodzinskiy A.M. *Allelopathy in the Life of Plants and Their Communities: Basics of Plant Chemical Interference*. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1965. 198 p.
6. Dolgikh E.A., Kavelenova L.M. Features of the Chemical Composition of Oak and Linden Litter Depending on the Complex of Forest Site Conditions. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Material], 1999, no. 4, pp. 25–29.
7. Kovaleva N.O., Kovalev I.V. Biotransformation of Lignin in Forest Soils. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2006, no. 3, pp. 57–63.
8. Korenskaya I.M., Ivanovskaya N.P., Izmalkova I.E. *Medicinal Plants and Medicinal Plant Raw Materials Containing Anthracene Derivatives, Simple Phenols, Lignans, Tannins*. Voronezh, VSU Publ., 2007. 87 p.
9. Samarov V.M. *Soils and Climate of the Kuznetsk Depression: Educational Textbook*. Kemerovo, KSAI Publ., 2017. 79 p.
10. Chul'diyene D., Aleynikoviyene Yu., Murashkiyene M., Marozas V., Armolaytis K. Desintegration and Integrity of Organic Compounds and Nutrients in Litter Fall after the Winter Season under Forest Plantations of European Larch, Common Beech and Red Oak in Lithuania. *Pochvovedenie*, 2017, no. 1, pp. 56–63. DOI: 10.7868/S0032180X16110022
11. Shelepova O.V., Vozna L.I. Comparative Evaluation of the Effect of Woody Plant Leaf Litter on Sod-podzolic soils of Arboretum of the MBG RAS. *Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the Main Botanical Garden], 2016, no. 1, iss. 202, pp. 22–26.
12. Austin A.T., Ballaré C.L. Dual Role of Lignin in Plant Litter Decomposition in Terrestrial Ecosystems. *PNAS*, 2010, vol. 107, no. 10, pp. 4618–4622. DOI: 10.1073/pnas.0909396107
13. Balemi T., Negisho K. Management of Soil Phosphorus and Plant Adaptation Mechanisms to Phosphorus Stress for Sustainable Crop Production: A Review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2012, vol. 12, iss. 3, pp. 547–561. DOI: 10.4067/S0718-95162012005000015
14. DeAngelis K.M., Allgaier M., Chavarria Y., Fortney J.L., Hugenholtz Ph., Simmons B., Sublette K., Silver W.L., Hazen T.C. Characterization of Trapped Lignin-Degrading Microbes in Tropical Forest Soil. *PLoS ONE*, 2011, vol. 6, iss. 4, article no. e19306. DOI:10.1371/journal.pone.0019306
15. Kara O., Bolat I., Cakiroglu K., Senturk M. Litter Decomposition and Microbial Biomass in Temperate Forests in Northwestern Turkey. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2014, vol. 14, iss. 1, pp. 31–41. DOI: 10.4067/S0718-95162014005000003
16. Lamarque L.J., Delzon S., Lortie Ch.J. Tree Invasions: A Comparative Test of the Dominant Hypotheses and Functional Traits. *Biological Invasions*, 2011, vol. 13, iss. 9, pp. 1969–1989. DOI: 10.1007/s10530-011-0015-x
17. 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, iss. 1–3, pp. 11–18. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.06.049
18. Porté A.J., Lamarque L.J., Lortie Ch.J., Michalet R., Delzon S. Invasive *Acer negundo* Outperforms Native Species in Non-Limiting Resource Environments Due to Its Higher Phenotypic Plasticity. *BMC Ecology*, 2011, vol. 11, article no. 28. DOI: 10.1186/1472-6785-11-28
19. Saccone P., Pagès J.Ph., Girel J., Brun J.-J., Michalet R. *Acer negundo* Invasion along a Successional Gradient: Early Direct Facilitation by Native Pioneers and Late Indirect Facilitation by Conspecifics. *New Phytologist*, 2010, vol. 187, iss. 3, pp. 831–842. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2010.03289.x
20. Wang Q., Wang S., Huang Y. Comparisons of Litterfall, Litter Decomposition and Nutrient Return in a Monoculture *Cunninghamia lanceolata* and a Mixed Stand in Southern China. *Forest Ecology and Management*, 2008, vol. 255, iss. 3–4, pp. 1210–1218. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.10.026

Received on January 31, 2019