

## ИЗМЕНЕНИЕ ВИДОВОГО СОСТАВА ФЛОРЫ И АКТИВНОСТИ ПОЧВЕННЫХ ФЕРМЕНТОВ В СООБЩЕСТВАХ *ACER NEGUNDO* В УСЛОВИЯХ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2023 Цандекова О.Л.\*, Шереметова С.А., Уфимцев В.И., Хрусталёва И.А.

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук,  
Кемерово, 650065, Россия;  
e-mail: \*zandekova@bk.ru

Поступила в редакцию 23.03.2022. После доработки 07.04.2023. Принята к публикации 10.05.2023

В статье представлены результаты изучения видового состава сосудистых растений и активности почвенных ферментов в сообществах с доминированием *Acer negundo*. Исследования проводили на учётных площадках, расположенных в горно-таёжной и лесостепной зонах Кузбасса. Подбор пробных площадей проведён с учётом горизонтальной дифференциации пространства на подкروновые (учётные площадки) и внешние зоны (контроль) фитогенных полей. Осуществлены флористические описания и анализ почвы по уровню активности ферментов (инвертазы, протеазы, фосфатазы) стандартными методами. Видовое разнообразие сосудистых растений на исследованных площадках составило 64 вида. Выявлены доминирующие виды растений в сообществах клёна ясенелистного. Под пологом *A. negundo* преобладают рудеральные виды – *Cirsium setosum*, *Elytrigia repens*, *Lamium album*, *Urtica dioica*, *Taraxacum officinale*, тогда как во внешних зонах возрастает участие луговых видов – *Achillea millefolium*, *Dactylis glomerata*, *Festuca pratensis*. Установлено, что флористический состав сообществ не оказывает существенного влияния на уровень активности почвенных ферментов. В подкромовом пространстве *A. negundo* отмечено повышение активности гидролитических ферментов в среднем на 11%, по сравнению с внешними зонами.

**Ключевые слова:** *Acer negundo*, видовой состав, проективное покрытие, фитогенные зоны, инвертаза, протеаза, фосфатаза.

DOI: 10.35885/1996-1499-16-2-288-296

### Введение

*Acer negundo* L. (клён ясенелистный) является одним из наиболее активных инвазивных видов, который внедряется в экосистемы Сибирского региона, преобразуя их структуру и функционирование. В Кемеровской обл. он стал распространяться с середины XX в. Основной путь проникновения вида – использование его в качестве декоративного растения для городского озеленения, другой путь – создание защитных лесных насаждений для агролесомелиоративных питомников. В настоящее время вид включён в Чёрную книгу флоры Сибири со статусом 1 – инвазионный вид, который активно внедряется в естественные и полустественные сообщества, изменяя облик экосистем [Чёрная книга..., 2016].

Вследствие высокой семенной продуктивности и всхожести семян, клён ясенелист-

ный образует загущенные насаждения. Он осваивает территорию быстрее, чем аборигенные виды, становясь абсолютным доминантом уже на начальной стадии сукцессии [Гусев и др., 2017]. Помимо повышенной репродуктивной способности обладает высокой биологической продуктивностью при полной акклиматизации к суровым условиям вторичного ареала, высокой скоростью роста, резистентностью к местным вредителям и возбудителям заболеваний, выделением в среду ингибиторов роста растений [Агишев, 2016; Саксонов, 2018; Zhao et al., 2020]. Становясь эдификатором сообществ, *A. negundo* формирует деградированные – обеднённые сообщества, из состава которых выпадают многие виды природной флоры, в том числе апофиты, то есть аборигенные растения, перешедшие из естественных местообитаний на территории, связанные с хозяйственной

деятельностью человека (пашни, посевы, посадки, пастбища и т. д.).

Конкурентные взаимоотношения видов, входящих в состав растительных сообществ, ведут к усилению деятельности почвенных ферментов и корневой системы растений [Sacccone et al., 2010; Porté et al., 2011; Straigyte et al., 2015; Hu et al., 2016; Li et al., 2018; Abramova et al., 2019]. С участием ферментов почва осуществляет основные биогеоэкологические функции в наземных экосистемах: катализацию биохимических реакций обмена вещества и энергии, служит источником элементов питания, обеспечивает биоразнообразие [Хазиев, 2015]. Ферменты, относящиеся к классу гидролаз (протеаза, фосфатаза, инвертаза) участвуют в основных процессах минерализации органических веществ и катализируют реакции гидролитического расщепления высокомолекулярных органических соединений, а также играют большую роль в осуществлении функциональной связи между компонентами экосистем [Ерёменко, 2014; Лозбякова, Степанов, 2018; Веселкин, Дубровин, 2019; Елесова и др., 2021]. В настоящее время недостаточное внимание уделено особенностям изменения структуры растительных сообществ и биологической активности почвы в фитоценозах с участием клёна ясенелистного. На территории Кемеровской обл. подобное исследование проводится впервые.

Цель настоящей работы – выявление видового состава флоры сосудистых растений и активности почвенных ферментов под влиянием *A. negundo* L. в различных ландшафтных зонах Кемеровской обл.

### Материалы и методы

Объектами исследования выбраны растительные сообщества с доминированием *A. negundo*. Исследования проводили на трёх площадках наблюдений (ПН), расположенных в горно-таёжной и лесостепной зонах Кузбасса: 1 – пгт Таштагол (ПН1), расположен в Горной Шории, в горно-таёжной зоне на юге Кемеровской обл. (52°45'56" с. ш.; 87°53'21" в. д.); 2 – пгт Ягуновский (ПН2), расположен в Кузнецкой котловине в лесостепной зоне, в 12 км к юго-западу от г. Ке-

мерово (55°17'58" с. ш.; 85°59'41" в. д.); 3 – г. Кемерово (ПН3) – административный центр Кузбасса, расположен в Кузнецкой котловине в лесостепной зоне, на юго-востоке Кемеровской обл. (55°21'55" с. ш.; 85°09'45" в. д.). Площадки расположены в населённых пунктах, но растительные сообщества, которые представлены в различных зонах и являются основными донорами диаспор для нарушенных территорий, во многом определяют особенности видового состава сосудистых растений на площадках. На ПН1 почвы лесные светло-серые с невысоким плодородием и с незначительным слоем гумуса, представлены суглинками, с примесями щебнистого материала; на ПН2 и ПН3 – чернозёмные почвы, слабовыщелоченные, с мелкокомковатым строением, обладают высоким плодородием, удовлетворительно обеспечены питательными веществами [Самаров, 2017].

Климат района исследований резко континентальный с продолжительной холодной зимой и коротким, но жарким летом. Средняя годовая температура воздуха варьирует от –1.4 до +1.0 °С. В Горной Шории, занимающей южное положение в Кемеровской обл., среднегодовая температура воздуха ниже, чем в лесостепной зоне Кузнецкой котловины. Так, в Таштаголе она составляет –0.4 °С, тогда как в Кемерово – +0.4 °С. Средняя дата последнего заморозка весной в Кузнецкой котловине приходится на последнюю декаду апреля – первую декаду мая, в Горной Шории – с последней декады мая по первую декаду июня. Распределение осадков неравномерно и, в значительной мере, определяется разнообразием рельефа. Средняя годовая амплитуда осадков колеблется в Кузнецкой котловине – от 43 до 63 мм, в районах Горной Шории – от 71 до 86 мм [Доклад о состоянии..., 2021].

Изучение флористического состава сообществ и ферментативной активности почвы проводили на учётных площадках, расположенных в пределах проекции крон *A. negundo*. Контролем служили учётные площадки, расположенные вне проекции крон деревьев. Площадь каждой учётной площадки составляла 100 м<sup>2</sup>. По стандартной методике [Лавренко, Корчагин, 2013] проведены флористические описания состава сообществ

ществ. На площадках фиксировали видовой состав, проективное покрытие в сообществах с *A. negundo*. Проективное покрытие видов определяли по шкале Б.М. Миркина: (+) – до 1%; I – от 2 до 5%; II – 6–15%; III – 16–25%; IV – 26–50%; V – 51–100% [Миркин и др., 1989]. Флористические данные обрабатывали с помощью интегрированной ботанической информационной системы IBIS (Integrated Botanical Information System), разработанной А.А. Зверевым [Зверев, 2007]. Номенклатура таксонов приведена согласно The International Plant Names Index [2023].

Исследования ферментативной активности почвы проведены на свежесобранном материале в трёхкратной повторности из смешанной пробы. Образцы почвы отбирали с каждого исследуемого варианта с глубины 0–10 см, поскольку основная биологическая активность почвы свойственна верхним слоям почвенного профиля [Хазиев, 2005]. Определение уровня активности инвертазы проводили по методу В.Ф. Купревича и Т.А. Щербаковой, активности протеазы – по методу А.Ш. Галстяна и Э.А. Арутюнян [Практикум..., 2001], активности фосфатазы – по методу А.Ш. Галстяна [Титова, Козлов, 2012]. Данные представлены в виде средних арифметических значений. Статистическая значимость различий между вариантами определена с помощью t-критерия Стьюдента ( $p < 0.05$ ). Экспериментальные данные обработаны статистически с помощью компьютерных программ Microsoft Office Excel 2007 и Statistica 10.

### Результаты и их обсуждение

Всего на исследуемых участках отмечено 64 вида сосудистых растений, относящихся к 26 семействам и 55 родам. Ведущими по количеству видов являются семейства: Asteraceae, Fabaceae, Poaceae, Rosaceae (табл. 1).

Изучение видového разнообразия сосудистых растений в сообществах *A. negundo* показало, что в целом, в результате инвазии клёна ясенелистного, видовой разнообразие растений заметно снижается [Емельянов, Фролова, 2011; Lanta et al., 2013; Ерёменко, 2014]. Полученные нами результаты подтверждают данный вывод и свидетельствуют о

**Таблица 1.** Таксономический состав флоры исследованных ПН

Семейство	Число видов	Число родов
Asteraceae	12	10
Fabaceae	7	5
Poaceae	7	7
Rosaceae	5	4
Brassicaceae	3	3
Lamiaceae	3	3
Ranunculaceae	3	3
Rubiaceae	3	1
Caryophyllaceae	2	2
Plantaginaceae	2	1
Sapindaceae	2	1
Amaranthaceae	1	1
Betulaceae	1	1
Convolvulaceae	1	1
Equisetaceae	1	1
Fumariaceae	1	1
Geraniaceae	1	1
Liliaceae	1	1
Melanthiaceae	1	1
Papaveraceae	1	1
Polygonaceae	1	1
Scrophulariaceae	1	1
Apiaceae	1	1
Urticaceae	1	1
Viburnaceae	1	1
Violaceae	1	1
Всего: 26	64	55

том, что в условиях Кемеровской обл. в сообществах с доминированием *A. negundo* происходит снижение видového состава в среднем на 55% относительно контроля (табл. 2).

Выявлено трансформирующее влияние *A. negundo* на видовой разнообразие сообществ, формирующихся под его пологом в различных ландшафтных зонах. В сообществах горно-таёжной зоны отмечено снижение видového разнообразия в 1.7 раза, в сообществах лесостепной зоны, особенно на ПН2 – в 3 раза относительно контроля. Сокращение количества видов на исследуемых площадках под проекцией крон *A. negundo* можно связать с условиями, формирующимися под пологом инвазионного вида. Результаты наших исследований согласуются с опубликованными ранее данными [Костина и др., 2015; Гусев и др., 2017; Веселкин, Дубровин, 2019].

В подкроновом пространстве *A. negundo* на исследуемых площадках отмечена значительная доля рудеральных видов (40–60%), среди которых преобладают *Cirsium setosum*, *Elytrigia repens*, *Lamium album*, *Urtica dioica*. Во внешних зонах значительно возрастает число луговых видов, особенно на ПН2

Таблица 2. Список видов сосудистых растений исследованных ПН

Вид	ПН1		ПН2		ПН3	
	с <i>A. negundo</i>	контроль	с <i>A. negundo</i>	контроль	с <i>A. negundo</i>	контроль
<i>Achillea millefolium</i> L.	–	III	–	–	–	II
<i>Aconitum septentrionale</i> Koelle	+	–	–	–	–	–
<i>Agrostis gigantea</i> Roth	–	–	–	–	–	I
<i>Angelica sylvestris</i> L.	–	–	–	–	–	I
<i>Amoria hybrida</i> (L.) C. Presl	+	–	–	–	–	–
<i>Amoria repens</i> (L.) C. Presl	–	–	–	I	–	–
<i>Arctium lappa</i> L.	+	–	–	–	–	–
<i>Arctium tomentosum</i> Mill.	–	–	+	–	+	+
<i>Armoracia rusticana</i> G. Gaertn., B. Mey. et Scherb.	–	–	–	+	–	–
<i>Artemisia vulgaris</i> L.	–	–	–	I	–	I
<i>Barbarea vulgaris</i> R. Br.	–	+	–	–	–	–
<i>Betula pendula</i> Roth	–	–	–	+	–	–
<i>Bunias orientalis</i> L.	–	+	–	–	–	–
<i>Centaurea scabiosa</i> L.	–	–	–	I	–	–
<i>Chelidonium majus</i> L.	+	–	–	–	–	+
<i>Chenopodium album</i> L.	–	–	–	I	–	–
<i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten.	+	–	–	–	–	+
<i>Cirsium setosum</i> (Willd.) Besser	–	–	–	I	I	I
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	–	–	I	–	–	–
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	–	–	–	+	–	–
<i>Corydalis bracteata</i> (Steph. ex Willd.) Pers.	–	I	–	–	–	–
<i>Dactylis glomerata</i> L.	V	+	–	I	+	V
<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski	+	II	–	I	–	II
<i>Equisetum arvense</i> L.	–	–	I	–	–	–
<i>Erythronium sibiricum</i> (Fisch. et C.A. Mey.) Krylov	–	+	–	–	–	–
<i>Festuca pratensis</i> Huds.	–	–	–	I	–	II
<i>Fragaria vesca</i> L.	–	–	I	–	–	–
<i>Fragaria viridis</i> (Duchesne) Weston	–	–	–	I	–	–
<i>Galium boreale</i> L.	–	–	–	–	+	II
<i>Galium mollugo</i> L.	–	–	I	–	–	–
<i>Galium verum</i> L.	–	+	–	–	–	–
<i>Geranium sibiricum</i> L.	–	+	–	–	–	–
<i>Glechoma hederacea</i> L.	–	–	–	–	I	–
<i>Lamium album</i> L.	–	–	I	–	–	–
<i>Lathyrus pratensis</i> L.	–	–	–	–	–	I
<i>Leontodon autumnalis</i> L.	–	–	–	I	–	–
<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.	–	+	–	I	–	–
<i>Malus baccata</i> (L.) Borkh.	–	–	–	+	–	–
<i>Melilotus albus</i> Medikus	–	+	–	–	–	–
<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.	–	–	–	–	–	I
<i>Oberna behen</i> (L.) Ikonn.	–	–	–	+	I	–
<i>Phleum phleoides</i> (L.) H. Karst.	–	–	–	–	–	I
<i>Plantago lanceolata</i> L.	–	+	–	–	–	–
<i>Plantago media</i> L.	–	II	–	II	–	–
<i>Poa supina</i> Schrad.	+	I	–	–	–	–
<i>Prunella vulgaris</i> L.	–	–	–	I	+	–
<i>Ranunculus repens</i> L.	–	+	–	–	–	–
<i>Rubus idaeus</i> L.	–	–	–	I	–	–
<i>Rumex longifolius</i> DC.	–	+	–	–	–	–
<i>Setaria viridis</i> (L.) P. Beauv.	–	–	–	I	–	–
<i>Sorbus sibirica</i> Hedl.	–	–	–	I	–	–
<i>Stellaria graminea</i> L.	–	–	–	–	–	I
<i>Tanacetum vulgare</i> L.	–	–	–	–	–	+
<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.	+	V	–	III	+	II
<i>Thalictrum minus</i> L.	–	–	I	I	–	–
<i>Trifolium pratense</i> L.	–	–	–	I	–	–
<i>Urtica dioica</i> L.	I	+	II	I	II	I
<i>Veratrum lobelianum</i> Bernh.	I	–	I	–	I	–
<i>Veronica chamaedrys</i> L.	–	II	–	–	–	–
<i>Viburnum opulus</i> L.	–	–	–	+	–	–
<i>Vicia cracca</i> L.	–	–	–	I	–	I
<i>Viola hirta</i> L.	–	–	–	+	–	–
Всего видов	11	19	9	28	10	20

Примечание: проективное покрытие: (+) – до 1%; I – от 2 до 5%; II – 6–15%; III – 16–25%; IV – 26–50%; V – 51–100%.

(35% от общего количества видов). Доминантами здесь выступают *Achillea millefolium*, *Dactylis glomerata*, *Festuca pratensis*, *Trifolium pratense*. Число лесных видов в сообществах с участием инвазионного вида минимально и составляет менее 5%.

На площадке ПН1 отмечено 25 видов сосудистых растений. Доминантами травяного яруса выступают *Dactylis glomerata* и *Taraxacum officinale*. Субдоминантами являются *Achillea millefolium*, *Elytrigia repens* и *Veronica chamaedrys*. Под проекцией кроны *A. negundo* отмечено 11 видов высших растений, с преобладанием лугового вида – *Dactylis glomerata* (65%). Проективное покрытие *Urtica dioica* и *Veratrum lobelianum* составляет менее 10%, остальных видов – менее 1%. Во внешней зоне отмечено 19 видов растений. Высота травяного яруса от 15 до 40 см, в котором доминируют *Taraxacum officinale* и *Achillea millefolium*.

Общее число видов на ПН2 – 34. В растительном сообществе преобладают *Taraxacum officinale*, *Lamium album*, *Plantago media* и *Urtica dioica*. На исследуемой площадке с *A. negundo* отмечено 9 видов сосудистых растений с преобладанием *Lamium album* и *Urtica dioica*. Средняя высота травяного яруса – 30 см, максимальная – не превышает 50 см. Во внешней зоне отмечено 28 видов растений. Средняя высота травяного яруса составляет 10–15 см с доминированием *Taraxacum officinale* и *Plantago media*. На площадке ПН2 отмечены два инвазионных вида: *A. negundo* и *Armoracia rusticana*.

На ПН3 выявлено 23 вида сосудистых растений. Отмечено преобладание видов из семейств Asteraceae и Poaceae. Под проекцией кроны *A. negundo* отмечено 10 видов растений с доминированием рудерального вида – *Urtica dioica*. Во внешней зоне, наиболее удалённой от деревьев *A. negundo*, основная доля участия (более 60%) принадлежит луговым видам, среди которых доминируют *Dactylis glomerata*, *Festuca pratensis*, *Galium boreale*. Среди рудеральных видов преобладают *Elytrigia repens*, *Cirsium setosum*, *Urtica dioica*, *Taraxacum officinale*. Остальные виды представлены единично.

На контрольных площадках, расположенных вне проекции кроны *A. negundo* пред-

ставлены луговые сообщества и заросли кустарников, сформировавшиеся на залежах. Сообщества расположены в населённых пунктах и, соответственно, испытывают постоянное антропогенное воздействие. Они отличаются бедным видовым составом. Установлено, что ассоциации подобного типа не имеют в своём составе собственных (характерных только данному типу сообществ) видов [Лацинский, 2009]. Особенности луговых сообществ является угнетённое состояние травяного яруса, средняя высота которого составляет не более 30 см. Заросли кустарников обладают более выраженной ярусностью сообщества, большим количеством видов и более высоким травяным ярусом – до 40–50 см. Тем не менее, несмотря на различия контрольных площадок можно отметить, что количество видов на них более чем в два раза превышает таковое у сообществ, описанных под пологом клёна ясенелистного. Объяснить этот факт только степенью затенения невозможно, к тому же были выбраны площадки с сомкнутостью кроны клёна, не превышающей 70%.

Значительных различий в видовом составе между площадками горно-таёжной и лесостепной зон нами не установлено. В составе лугового сообщества в горной Шории отмечен *Erythronium sibiricum*, который занесён в Красную книгу Кузбасса [2021], а также присутствие в сообществе с участием клёна ясенелистного – *Arctium lappa*, что объясняется распространением этого вида в регионе.

Оценить уровень биологической активности почвы позволяет определение показателей ферментативной активности, отражающих интенсивность и направленность внутрипочвенных биохимических процессов. Изучению ферментативной активности почв посвящено большое количество работ [Звягинцев, 1991; Хежева и др., 2010; Улигова и др., 2016, 2019; Li et al., 2018], однако сведений о биологической активности почвы в подкroновом пространстве *A. negundo* практически нет. Ранее нами проводились исследования по влиянию сомкнутости кроны клёна ясенелистного на ферментативную активность почвы в естественных растительных сообществах [Цандекова, Уфимцев, 2018]. Наибольший

уровень активности выявлен в подкороновой и прикороновой зонах одиночных деревьев в несомкнутых древостоях, по сравнению с контролем. Активность инвертазы под покровом одиночных деревьев варьировала в пределах от 38.27 до 60.79 мг глюкозы/г/24 ч, в сомкнутых насаждениях – от 29.91 до 51.51 мг глюкозы/г/24 ч. По активности протеазы и фосфатазы почвы характеризовались средним уровнем активности.

Некоторые авторы [Казеев и др., 2016; Hu et al., 2016] отмечают, что активность инвертазы и протеаз коррелирует с плотностью и видовым составом насаждений. Развитие лугового процесса, образование мощной дернины под травянистым покровом способствует увеличению активности почвенных ферментов, тогда как в нарушенных экосистемах их показатели снижаются [Хазиев, 2015]. Т.С. Улиговой с соавторами [2016] отмечено, что разнообразие растительных сообществ (видовой состав растительных сообществ) не отражается на уровне активности ферментов в верхнем слое чернозёмов. При сравнении показателей ферментативной активности чернозёмной почвы под фитоценозами с разными доминирующими видами (*Bothriochloa ischaetum*, *Cynodon dactylon* и *Elytrigia repens*) – выявлены в целом близкие показатели активности ферментов. Очевидно, равномерному распределению их активности способствует взаимное влияние различных видов растений через корневую систему, оказывающее гомогенизирующий эффект на свойства почвы [Онипченко, 2011].

Результаты проведённых нами исследований показали, что активность почвенных ферментов в трансформированных сообществах с доминированием *A. negundo* выше в среднем на 11%, чем в сообществах без участия инвазионного вида. Согласно оценочной шкале биологической активности почвы, предложенной Э.И. Гапонюк и С.Г. Малаховым [Казеев и др., 2003], активность гидролитических ферментов на исследуемых площадках соответствует высокому (инвертаза) и среднему (протеаза, фосфатаза) уровням (табл. 3). В условиях лесостепной зоны активность инвертазы в среднем в 1.3 раза выше, чем в условиях горно-таёжной зоны. Однако активность протеазы и фосфатазы, наоборот, выше на площадке, расположенной в горно-таёжной зоне (в среднем в 1.1 раза), чем в лесостепной зоне, что, возможно, связано со сменой гидротермических условий.

В сообществах с доминированием *A. negundo* в различных ландшафтных зонах уровень инвертазной активности в почве варьировал в пределах от 42.89 мг глюкозы/г/24 ч (ПН1) до 72.10 мг глюкозы/г/24 ч (ПН2). Выявлена тенденция к увеличению данного показателя в фитогенном поле деревьев *A. negundo*. По всей видимости, более высокая активность фермента под кронами объясняется благоприятным сочетанием факторов освещённости, увлажнения, присутствием значительных количеств органических веществ. Наибольшие отличия от контроля по активности инвертазы отмечены в почвах горно-таёжной зоны на участке ПН1 (на 17%).

**Таблица 3.** Ферментативная активность почвы исследованных ПН

Показатель	ПН1		ПН2		ПН3	
	с <i>A. negundo</i>	контроль	с <i>A. negundo</i>	контроль	с <i>A. negundo</i>	контроль
Инвертаза (мг глюкозы /г/24 ч)	51.38±1.04*	42.89±0.99	72.10±1.16	69.17±0.96	60.36±0.86*	52.81±1.29
Протеаза (мг глицина /г/24 ч)	4.63±0.14	4.23±0.13	4.38±0.17*	3.58±0.12	4.01±0.16*	3.54±0.11
Фосфатаза (мг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /10г/ч)	5.63±0.17*	4.93±0.12	4.47±0.13*	3.92±0.12	5.33±0.17*	4.81±0.12

*Примечание:* \* различия с контролем статистически значимы при p<0.05.

Биохимическую активность разложения азотсодержащего органического вещества в почве оценивают по её протеолитической активности. Протеазы участвуют в начальных этапах минерализации белковых соединений и обуславливают динамику усвояемых форм азота. Анализ полученных данных по активности протеазы показал, что у контрольных и опытных почвенных образцов на учётных площадках активность фермента составила от 3.54 мг глицина/г/24 ч (ПНЗ) до 4.63 мг глицина/г/24 ч (ПН1). Наибольшие отличия относительно контроля выявлены под проекцией крон в сообществах с доминированием *A. negundo* (ПН2 – выше на 18%, ПН3 – выше на 12%), чем в сообществах без участия инвазионного вида, что, вероятно, связано с более интенсивными процессами аммонификации.

Активность фосфатаз характеризует интенсивность биохимических процессов мобилизации органического фосфора почвы. Фосфатазная активность почвы определяется её генетическими особенностями и физико-химическими свойствами. Уровень активности фосфатазы на учётных площадках варьировал в пределах от 3.92 мг  $P_2O_5$ /10г/ч (ПН2) до 5.63 мг  $P_2O_5$ /10г/ч (ПН1). Более высокие показатели фермента отмечены под проекцией крон деревьев, произрастающих в Таштаголе (5.63 мг  $P_2O_5$ /10г/ч) и Кемерово (5.33 мг  $P_2O_5$ /10г/ч), и превысили контроль на 12%.

### Заключение

Видовое разнообразие сосудистых растений на исследованных площадках составило 64 вида. В подкороновом пространстве *A. negundo* преобладают рудеральные виды – *Cirsium setosum*, *Elytrigia repens*, *Lamium album*, *Urtica dioica*, *Taraxacum officinale*, тогда как во внешних зонах возрастает доля луговых видов – *Achillea millefolium*, *Dactylis glomerata*, *Festuca pratensis*. Сопоставление данных по видовому составу фитоценозов и активности почвенных ферментов позволило выявить, что в сообществах с участием *A. negundo* происходит снижение видового разнообразия сосудистых растений (в среднем на 55%) и повышение уровня активности гидролитических ферментов (в среднем на 11%), в сравнении с сообществами без участия

инвазионного вида. Установлено, что флористический состав сообществ не оказывает существенного влияния на уровень активности почвенных ферментов. Анализ ферментативной активности почвы под фитоценозами на учётных площадках с разными доминирующими видами – *Dactylis glomerata*, *Taraxacum officinale*, *Achillea millefolium* – показал в целом близкие показатели активности ферментов. Активность инвертазы в среднем в 1.3 раза выше в условиях лесостепной зоны, а активность протеазы и фосфатазы – в среднем в 1.1 раза выше в почвах горно-таёжной зоны.

### Финансирование работы

Работа выполнена по государственному заданию ФИЦ УУХ СО РАН; проект № 0286-2021-0010.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

### Соблюдение этических стандартов

Статья не содержит никаких исследований с участием животных в экспериментах, выполненных кем-либо из авторов.

### Литература

- Агишев В.С. Стратегия жизни клёна ясенелистного (*Acer negundo* L.) за пределами естественного ареала // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 8 (64). С. 30–32. (Электронный ресурс) // (<https://web.snauka.ru/issues/2016/08/70744>). Дата обращения 25.01.2023.
- Веселкин Д.В., Дубровин Д.И. Разнообразие травяного яруса урбанизированных сообществ с доминированием инвазивного *Acer negundo* // Экология. 2019. № 5. С. 323–331. DOI: 10.1134/S0367059719050111
- Гусев А.П., Шпилевская Н.С., Веселкин Д.В. Воздействие *Acer negundo* L. на восстановительную сукцессию в ландшафтах Беларуси // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. 2017. № 1 (94). С. 47–53.
- Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2020 году. Кемерово, 2021. 240 с.
- Елесова Н.В., Терёхина Т.А., Овчарова Н.В., Силантьева М.М. Фитоценотическая характеристика лесных сообществ с участием *Acer negundo* L. Касмалинского ленточного бора (Алтайский край) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2021. № 20 (1). С. 542–547. DOI: 10.14258/pbssm.2021109

- Емельянов А.В., Фролова С.В. Клён ясенелистный (*Acer negundo* L.) в прибрежных фитоценозах р. Ворона // Российский журнал биологических инвазий. 2011. Т. 4. № 2. С. 40–43.
- Ерёменко Ю.А. Аллелопатическая активность инвазионных древесных видов // Российский журнал биологических инвазий. 2014. № 2. С. 33–39.
- Зверев А.А. Информационные технологии в исследованиях растительного покрова: Учеб. пособие. Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. 304 с.
- Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
- Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем: Монография. Ростов н/Д: Изд-во Южного федерального ун-та, 2016. 356 с.
- Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов-н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 2003. 204 с.
- Костина М.В., Ясинская О.И., Барабанщикова Н.С., Орлюк Ф.А. К вопросу о вторжении клёна ясенелистного (*Acer negundo* L.) в подмосковные леса // Российский журнал биологических инвазий. 2015. Т. 8. № 4. С. 72–80.
- Красная книга Кузбасса. Т. 1. / Отв. ред. д. б. н., проф. А.Н. Куприянов. Кемерово: ВЕКТОР-ПРИНТ, 2021. 240 с.
- Лавренко Е.М., Корчагин А.А. Полевая геоботаника. Т. 3: Заложение экологических профилей и пробных площадей. М.: Книга по Требованию, 2013. 554 с.
- Лацинский Н.Н. Растительность Салаирского кряжа. Новосибирск: Гео, 2009. 263 с.
- Лозбякова А.И., Степанов М.В. Биотестирование химического влияния опада листьев древесных растений // Научный альманах. 2018. № 6–2 (44). С. 104–109. DOI 10.24411/2073-1035-2019-10188
- Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И. Методические указания для практикума по классификации растительности методом Браун-Бланке. Уфа: БГУ, 1989. 37 с.
- Онипченко В.Г. Роль почвы в формировании и сохранении разнообразия растений // Роль почвы в формировании и сохранении биологического разнообразия / Отв. ред. Г.В. Добровольский, И.Ю. Чернов. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2011. С. 86–155.
- Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. М.: МГУ, 2001. 689 с.
- Саксонов С.С. Инвазии *Acer negundo* L. (Aceraceae) в Ульяновской области // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2018. Т. 27. № 3. С. 215–219. DOI: 10.24411/2073-1035-2018-10072
- Самаров В.М. Почвы и климат Кузнецкой котловины: Учеб. пособие. Кемерово: ИИО Кемеров. ГСХИ, 2017. 79 с.
- Титова В.И., Козлов А.В. Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества: Научно-методическое пособие / Нижегородская сельскохозяйственная академия. Нижний Новгород, 2012. 64 с.
- Улигова Т.С., Гедгафова Ф.В., Горобцова О.Н., Цепкова Н.Л., Рапопорт И.Б., Темботов Р.Х., Хакунова Е.М. Луговые биогеоценозы субальпийского пояса Кабардино-Балкарского государственного высокогорного заповедника (Центральный Кавказ) // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2019. Т. 4. № 2. С. 29–47. DOI: 10.24189/ncr.2019.012
- Улигова Т.С., Горобцова О.Н., Цепкова Н.Л., Рапопорт И.Б., Гедгафова Ф.В., Темботов Р.Х. Эколого-биологическая характеристика естественных степных биогеоценозов Центрального Кавказа (терский вариант поясности, Кабардино-Балкария) // Поволжский экологический журнал. 2016. № 3. С. 330–340. DOI: 10.18500/1684-7318-2016-3-330-340
- Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
- Хазиев Ф.Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах // Вестник Академии наук. 2015. Т. 20. № 2 (78). С. 14–24.
- Жежева Ф.В., Улигова Т.С., Темботов Р.Х. Оценка ферментативной активности чернозёмов естественных биоценозов степной зоны и лесостепного пояса Центрального Кавказа // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. № 1 (4). С. 1075–1078.
- Цандекова О.Л., Уфимцев В.И. Аллелопатическое влияние *Acer negundo* L. на ферментативную активность почвы в естественных растительных сообществах // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 3 (161). С. 56–61.
- Чёрная книга флоры Сибири / Науч. ред. Ю.К. Виноградова, отв. ред. А.Н. Куприянов; Рос. акад. Наук, Сиб. отд-ние; ФИЦ угля и углехимии [и др.]. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2016. 440 с.
- Abramova L.M., Agishev V.S., Khaziakhmetov R.M. Immigration of *Acer negundo* L. (Aceraceae) into the Floodplain Forests of the Northwest of Orenburg Region // Russian Journal of Biological Invasions. 2019. Vol. 10. P. 199–204. DOI: 10.1134/S2075111719030020
- Hu R., Wang X., Zhang Ya., Shi W., Chen N. Insight into the influence of sand-stabilizing shrubs on soil enzyme activity in a temperate desert // Catena. 2016. Vol. 137. P. 526–535. DOI: 10.1016/j.catena.2015.10.022
- Lanta V., Hyvonen T., Norrdahl K. Non-native and native shrubs have differing impacts on species diversity and composition of associated plant communities // Plant Ecology. 2013. Vol. 214. No. 12. P. 1517–1528. DOI: 10.1007/s11258-013-0272-0
- Li J., Tong X., Awash M.K., Wu F., Ha S., Ma J., Sun X., He Ch. Dynamics of soil microbial biomass and enzyme activities along a chronosequence of desertified land revegetation // Ecological Engineering. 2018. Vol. 111. P. 22–30. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2017.11.006
- Porté A.J., Lamarque L.J., Lortie C.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. P. 11–28. DOI: 10.1186/1472-6785-11-28
- Saccone P., Pagès J.P., Girel J., Brun J.J., Michalet R. *Acer negundo* invasion along a successional gradient: early di-



rect facilitation by native pioneers and late indirect facilitation by conspecifics // *New Phytologist*. 2010. Vol. 187. P. 831–842. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2010.03289.x

Straigytė L., Cekstere G., Laivins M., Marozas V. The spread, intensity and invasiveness of the *Acer negundo* in Riga and Kaunas // *Dendrobiology*. 2015. Vol. 74. P. 157–168. DOI:10.12657/denbio.074.016

The International Plant Names Index (Электронный реестр) // (<https://ipni.org/>). Access date 25.01.2023.

Zhao X., Li H., Zhou L., Chen F. Wilt of *Acer negundo* L. caused by *Fusarium nirenbergiae* in China // *Journal of Forestry Research*. 2020. Vol. 31. P. 2013–2022. DOI:10.1007/s11676-019-00996-9.

## CHANGES IN FLORA SPECIES COMPOSITION AND SOIL ENZYME ACTIVITY IN COMMUNITIES OF *ACER NEGUNDO* IN THE KEMEROVO REGION

© 2023 Tsandekova O.L.\*, Sheremetova S.A., Ufimtsev V.I., Khrustaleva I.A.

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, 650065, Russia  
e-mail: \*zandekova@bk.ru

The article presents the study results of the species composition of vascular plants and soil activity in communities dominated by *Acer negundo*. The studies were carried out on accounting sites located in the mountain-taiga and forest-steppe zones of Kuzbass. The selection of trial plots was made taking into account the horizontal differentiation of space into under-crown (registration plots) and external zones (control) of phytogenic fields. Floristic descriptions and analysis of the soil by the level of activity of enzymes (invertase, protease, phosphatase) were carried out using standard methods. The species diversity of vascular plants in the areas under study constituted 64 species. The dominant plant species in the ash-leaved maple communities were identified. Under the canopy of *A. negundo*, ruderal species – *Cirsium setosum*, *Elytrigia repens*, *Lamium album*, *Urtica dioica*, and *Taraxacum officinale* – dominate, while in the outer zones, the proportion of meadow species increases – *Achillea millefolium*, *Dactylis glomerata*, and *Festuca pratensis*. It has been established that the floristic composition of communities does not affect significantly the level of activity of soil enzymes. In the undercrown space of *A. negundo*, an increase in the activity of hydrolytic enzymes by an average of 11% was noted, compared with the outer zones.

**Keywords:** *Acer negundo*, species composition, projective cover, phytogenic zones, invertase, protease, phosphates.