

О. Л. Цандекова**Н. А. Макеева****Ферментативная и микробиологическая активность почвы под влиянием *Acer negundo* L.**

Изучение биологической активности почвы проводили в насаждениях *Acer negundo* L. (клена ясенелистного) на бывших пахотных землях в пределах г. Кемерово (55°21'55" с. ш.; 85°09'45" в. д.). Учетные площадки расположены в пределах проекции крон *Acer negundo* в подкроновой и прикроновой зонах: I — одиночные деревья в несомкнутых древостоях; II — древостои со средней сомкнутостью крон; III — древостои с высокой сомкнутостью крон. В качестве контроля выбрана внешняя зона одиночных деревьев. Почва исследуемых участков характеризовалась нейтральной и слабощелочной реакцией солевой вытяжки, средней обеспеченностью подвижными формами фосфора, низким содержанием нитратного азота. Авторами статьи отмечено повышение ферментативной и микробиологической активности почвы в период активного роста растений, к концу вегетации — их понижение. Аллелопатически активные вещества клена ясенелистного, выделяемые в почву, не оказали существенного влияния на показатели биологической активности почв, особенно на участках с высокой сомкнутостью крон. Установлены некоторые особенности биологической активности почв в насаждениях клена: преобладание микроорганизмов, участвующих в трансформации соединений азота, над микроскопическими грибами, увеличение активности инвертазы и снижение активности протеазы и фосфатазы.

Ключевые слова: *Acer negundo* L., инвазии, почвенные микроорганизмы, инвертаза, протеаза, фосфатаза, трансформация сообществ.

Введение

Acer negundo L. является одним из инвазионных видов, который, обладая высокой продуктивностью и всхожестью семян, образует густые заросли и тем самым вытесняет аборигенные древесные и даже травянистые растения. В результате формируется упрощенный тип экосистем с доминированием клена [29, с. 32—37].

В подкроновом пространстве насаждений клена ясенелистного под влиянием физиологически активных веществ листового опада ферментативная и микробиологическая активность почвы может претерпевать некоторые изменения, что приводит к снижению напочвенного покрова и препятствует его естественному возобновлению в природных сообществах [3; 18]. Почвенные микроорганизмы (бактерии и грибы) и гидролитические ферменты (протеаза, инвертаза и фосфатаза) регулируют процессы расщепления органических веществ и энергии в наземных экосистемах, а также способствуют поддержанию целостности биогеоценоза [13; 25; 35; 36]. В литературе достаточно много сведений о воздействии *Acer negundo* на растительность в условиях естественных и антропогенных местообитаний [1; 4; 6; 7; 9—11; 14—17; 23; 30—32], но работы по биологической активности почв в подкроновом пространстве инвазионного вида единичны [2; 26]. Ранее нами проводились исследования по определению уровня активности гидролитических ферментов в почве под насаждениями клена ясенелистного [27; 28], однако сведений о взаимном влиянии почвенных ферментов и численности микроорганизмов и их активности недостаточно. Некоторые авторы отмечают, что активность инвертаз и протеаз не зависит от численности микроорганизмов и их активности [34], однако установлены корреляции с плотностью и видовым составом насаждений [13; 22; 33]. В условиях сибирского региона актуален поиск наиболее информативных диагностических показателей состояния напочвенного покрова сообществ и почвы, что позволит расширить сведения

© Цандекова О. Л., Макеева Н. А., 2022

о биологической активности почвы под влиянием инвазионного вида в конкретных почвенно-климатических условиях.

Цель работы — оценка биологической активности почвы под влиянием клена ясенелистного. В задачи исследований входили: оценка уровня активности почвенных ферментов (инвертазы, протеазы, фосфатазы), анализ численности эколого-трофических групп микроорганизмов: микроорганизмов, использующих органические формы азота, микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, и микроскопических грибов в подкроновом пространстве клена ясенелистного.

Материалы и методика

Эксперимент проводился в летний период 2020—2021 гг. (май — сентябрь) в насаждениях *Acer negundo* L. (клена ясенелистного), расположенных на бывших пахотных землях в пределах г. Кемерово (55°21'55" СШ; 85°09'45" ВД), возраст залежи составил 35—40 лет. Почвы опытного участка — чернозем выщелоченный, среднемощный, тяжелосуглинистый по гранулометрическому составу [19]. Высота деревьев в исследуемых насаждениях составила 12—14 м, возраст — 25—30 лет. Травянистый покров представлен разнотравно-злаковыми видами (преобладают *Urtica dioica* L., *Poa pratensis* L., *Dactylis glomerata* L., *Festuca pratensis* Huds.) с проективным покрытием 20—90%.

Погодные условия вегетационных периодов 2020 и 2021 гг. в целом были сходными, однако характеризовались некоторыми особенностями [8]. Так, в 2020 г. погода была достаточно теплой и влажной, в 2021 г. превышение средней температуры воздуха отмечено в мае и июне, количество осадков было умеренным.

Учетные площадки расположены в пределах проекции крон *Acer negundo* в подкроновой (П) и прикроновой зонах (ПК): I — одиночные деревья в несомкнутых древостоях (П1 и ПК1); II — древостой со средней сомкнутостью крон (П2 и ПК2); III — древостой с высокой сомкнутостью крон (П3 и ПК3). В качестве контроля выбрана внешняя зона (В) одиночных деревьев.

Отбор почвенных образцов проводили трижды за период вегетации: в третьей декаде мая, июля и сентября. Определение активности инвертазы, протеазы и фосфатазы проводили общепринятыми методами [21, с. 344—345; 24, с. 14—26]. Численность почвенных микроорганизмов изучали методом посева почвенной суспензии на агаризованные среды: мясопептонный агар (МПА) — для определения микроорганизмов, использующих органический азот, крахмало-аммиачный агар (КАА) — для определения микроорганизмов, использующих минеральный азот, среду Сабуро — для определения микроскопических грибов [20, с. 71—82].

Агрохимический анализ почвы исследуемых площадок проведен в аккредитованном испытательном центре агрохимической службы ФГУ ЦАС «Кемеровский». Статистическая обработка и построение графиков выполнены с помощью программ StatSoft Statistica 8.0 for Windows и Microsoft Office Excel 2007.

Результаты и их обсуждение

Почва исследуемых участков характеризовалась нейтральной и слабощелочной реакцией солевой вытяжки (рН 7,0—7,9). Содержание подвижных форм фосфора и калия на всех учетных площадках соответствует средней обеспеченности питательными элементами и составляет для фосфора 75—80 мг/кг и калия — более 80 мг/кг. Количество нитратного азота по шкале Г. П. Гамзикова [5] находится на уровне очень низких и низких значений — от 3,0 до 13,5 мг/кг, что в среднем ниже контроля на 50%. Массовая доля обменного аммония превышала массовую долю нитратов в 1,3—1,7 раза. Сумма поглощенных оснований варьировала в пределах 48,4—64,3 ммоль/100 г, что соответствует очень высокому уровню. Сравнительный анализ показал, что в насаждениях с высокой

сомкнутостью крон выявлены более высокие значения агрохимических показателей в сравнении с данными параметрами почвы контроля и других участков.

Наиболее чутким индикатором изменения состояния почвы в фитогенных зонах *Acer negundo* является численность почвенных микроорганизмов. Проведенные исследования показали, что численность микроорганизмов, использующих минеральный азот, значительно превышала количество микроорганизмов, использующих органический азот (табл. 1), что говорит о протекании иммобилизационных и мобилизационных процессов в почве под насаждениями *Acer negundo* с одинаковой скоростью.

Сравнительная характеристика по содержанию микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, показала наиболее высокие значения на пробных участках с высокой (100%) сомкнутостью крон (превышает контроль на 67—228%). При этом на тех же участках наблюдалось наименьшее количество микроорганизмов, использующих органические формы азота, в мае и июле, что говорит о более интенсивном процессе минерализации в почве под деревьями с высокой сомкнутостью крон. Наибольшая численность микроорганизмов на МПА в мае и июне наблюдалась в почве прикрановой зоны одиночных деревьев (отличия от контроля составили 146 и 15%), в сентябре — в подкрановой зоне деревьев с высокой сомкнутостью крон (превышает контроль на 193%). Анализ численности микроорганизмов показал существенную пестроту значений, обусловленную неравномерным распределением микробиоты. Максимальная активность микроорганизмов исследуемых групп наблюдалась в июле. Небольшое их содержание в июне и сентябре связано с низкими температурами, в начале периода вегетации — с меньшим содержанием питательных веществ.

Таблица 1

Количество микроорганизмов в почве клена, тыс. КОЕ/г сухой почвы
(средние данные за 2020—2021 гг.)

Месяц отбора образцов	Несомкнутые древостои (одиночные деревья)		Среднесомкнутые древостои		Высокосомкнутые древостои		Контроль (В)
	П	Пк	П	Пк	П	Пк	
<i>Микроорганизмы, использующие минеральные формы азота</i>							
Май	1931±185	2008±184	1413±128	1451±144	2076±177	2221±179	676±54
Июнь	3398±228	2852±222	1985±155	2754±265	3703±254	3066±295	1830±167
Сентябрь	1325±143	1779±167	1617±105	1069±103	5024±477	2673±255	2086±151
<i>Микроорганизмы, использующие органические формы азота</i>							
Май	1848±165	5487±432	2054±211	1823±175	1234±89	1134±94	2233±178
Июнь	3210±278	4467±433	3612±372	2517±244	2669±122	1551±167	3855±335
Сентябрь	734±66	834±85	1189±107	1032±98	3238±136	1511±145	1105±105
<i>Микроскопические грибы</i>							
Май	29,0±5,0	30,0±1,3	54,0±5,3	68,0±6,6	63,0±5,8	25,0±1,8	62,0±6,3
Июнь	39,0±2,5	35,0±1,8	40,0±4,4	41,0±3,9	21,0±1,8	27,0±2,4	28,0±2,7
Сентябрь	138,0±8,8	75,0±6,3	66,0±5,3	52,0±4,7	175,0±15,5	54,0±5,3	183,0±17,7

Примечание: П — подкрановая зона, Пк — прикрановая зона.

На протяжении периода вегетации на всех исследуемых участках наблюдалось постепенное увеличение количества микроскопических грибов, обусловленное накоплением органического вещества на поверхности почвы в виде опада. Более низкое содержание грибов на участках с высокой сомкнутостью в начале вегетации достигает близких значений к ее концу. Распределение численности не имеет выраженной тенденции. В начале периода вегетации максимальные значения отмечались на участках со средней сом-

кнутостью крон, тогда как в конце — на контрольных площадках. Минимальная численность микроскопических грибов наблюдалась в середине вегетации, когда интенсивный рост растений обуславливает снижение органических соединений в почве. Увеличение количества микромицетов в конце вегетации (сентябрь) связано с поступлением в почву органического вещества в виде свежих растительных остатков. Существенных отличий от контроля для данного показателя нами не выявлено.

Одним из показателей оценки состояния почвы является активность гидролитических ферментов, которые принимают непосредственное участие в процессах гумификации и минерализации. Изучение активности почвенных ферментов позволяет судить о скорости мобилизации основных элементов питания и дает возможность определить степень влияния чужеродных видов на почвенные процессы.

Уровень биологической активности почвы наиболее точно отражает активность инвертазы, посредством которой протекают биохимические превращения углеводов почвенного органического вещества. Катализируя реакции гидролитического расщепления сахарозы, инвертаза обеспечивает микроорганизмы доступной энергией. В проведенных исследованиях инвертазная активность была выше, чем активность протеазы и фосфатазы, на всех учетных площадках. В изученных почвенных образцах инвертазная активность составляла 44,63—71,35 мг глюкозы/г/сутки. Наибольшие отличия от контроля в мае (40—41%) отмечены у деревьев с высокой сомкнутостью крон. В июле уровень активности инвертазы вырос до 71,35 мг глюкозы/г/сутки и превысил контрольные значения в среднем на 18%. Максимальные отличия от контроля (19—24%) характерны для деревьев со средней и высокой сомкнутостью крон, особенно в прикромовой зоне фитогенных полей. В сентябре активность фермента у одиночных деревьев в несомкнутых древостоях, особенно в прикромовой зоне, снизилась до 47,69 мг глюкозы/г/сутки, что меньше на 9% относительно контроля. У деревьев второй и третьей категории по данному показателю выявлены более высокие значения относительно контроля (на 14—24%). Согласно шкале сравнительной оценки биологической активности почвы [13, с. 136—149], степень активности инвертазы у одиночных деревьев в несомкнутых древостоях в прикромовой зоне определяется как средняя, а в древостоях со средней и высокой сомкнутостью крон — высокая (рис. 1).

Уровень протеолитической активности характеризует скорость протекания процессов минерализации белковых соединений почв и обуславливает динамику доступных растениям форм азота. Согласно полученным данным, активность протеазы в течение периода вегетации изменялась в пределах от 4,03 до 5,89 мг глицина/г/24 ч (рис. 2). Выявлены некоторые различия данного показателя в течение вегетации относительно контроля. Опытные образцы, собранные в насаждениях со средней сомкнутостью крон, характеризовались более высокими показателями протеолитической активности (4,69—5,89 мг глицина/г/сутки) в сравнении с другими исследуемыми участками и контролем. В вегетационный период значения по активности протеазы у этой категории деревьев превысили контроль на 7—12%. Протеолитическая активность исследуемых почв характеризуется как средняя.

Фосфатазы катализируют гидролиз фосфорорганических веществ и регулируют интенсивность процессов расщепления органических соединений фосфора почвы. Активность фосфатазы обратно пропорционально зависит от содержания подвижных форм фосфора в почве. Проведенный анализ показал, что во все периоды исследования содержание фосфатазы составило 3,73—5,63 мг P_2O_5 /10г/ч. У деревьев в несомкнутых древостоях уровень активности фермента находился в пределах контрольных значений и варьировал от 3,73 до 5,10 мг P_2O_5 /10г/ч, что соответствует средней биологической ак-

тивности почвы. В течение вегетации наиболее высокие отличия относительно контроля (на 9—24%) отмечены у опытных образцов, собранных в подкроновой и прикроновой зонах высокосомкнутых насаждений *A. negundo* (рис. 3).

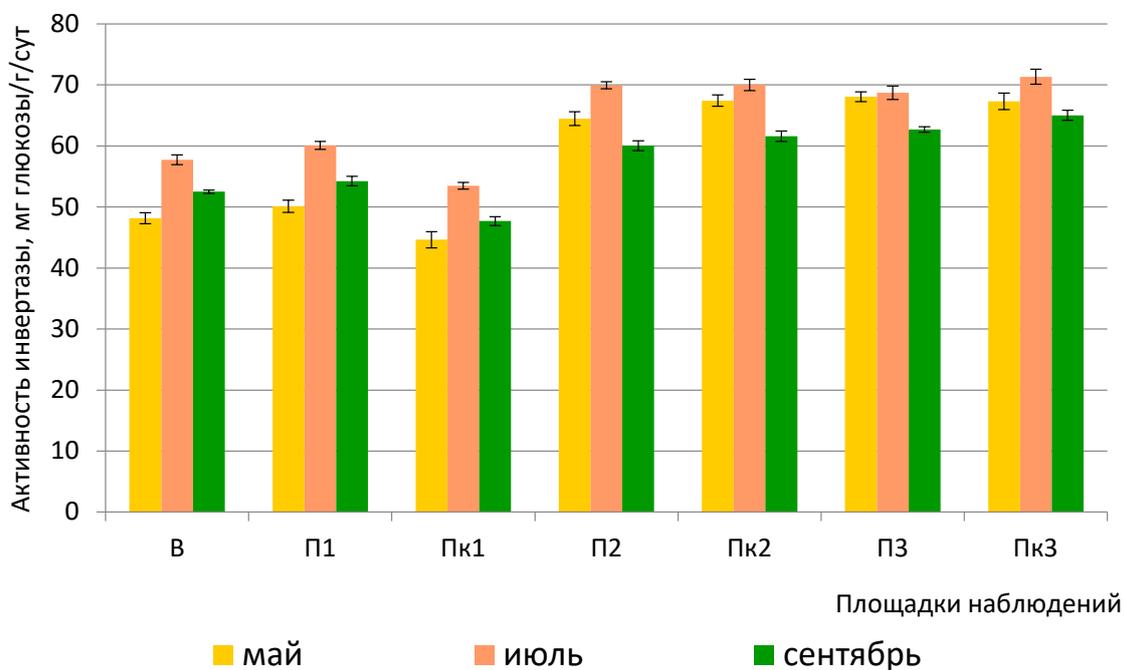


Рис. 1. Инвертазная активность почвы под насаждениями *A. negundo* (средние данные за 2020—2021 гг.). Учетные площадки (здесь и далее): одиночные деревья в несомкнутых древостоях в подкроновой (П1) и прикроновой (Пк1) зонах, деревья со средней сомкнутостью крон в подкроновой (П2) и прикроновой (Пк2) зонах, деревья с высокой сомкнутостью крон в подкроновой (П3) и прикроновой (Пк3) зонах, контроль (внешняя зона одиночных деревьев), контроль (В)

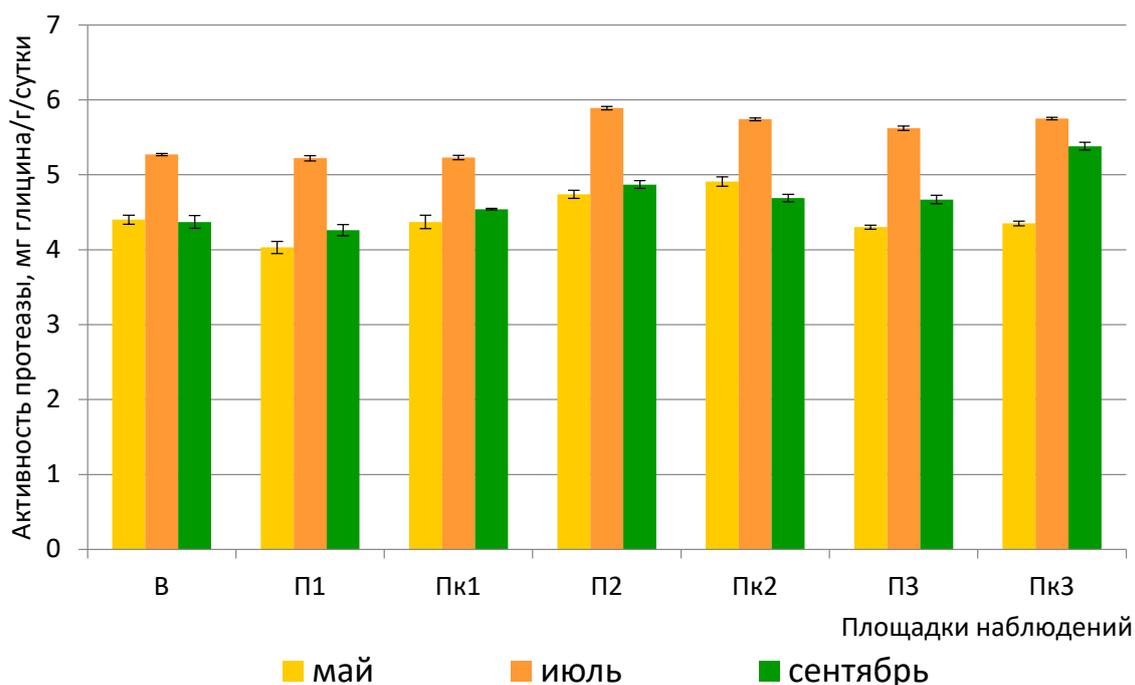


Рис. 2. Протеолитическая активность почвы под насаждениями *A. negundo* (средние данные за 2020—2021 гг.)

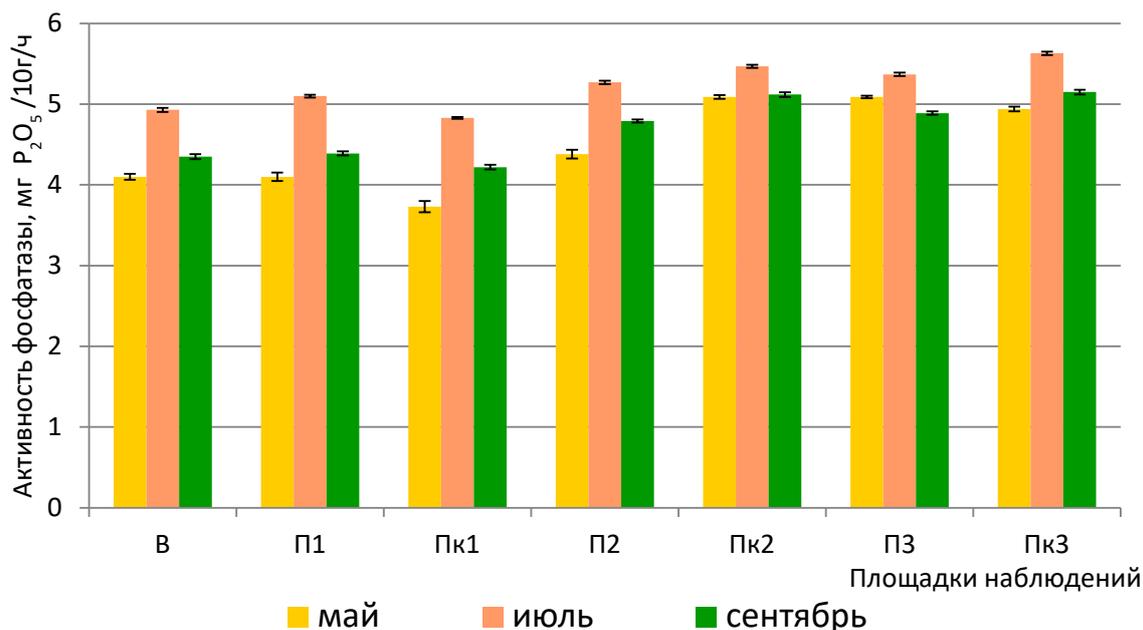


Рис. 3. Фосфатазная активность почвы под насаждениями *A. negundo* (средние данные за 2020—2021 гг.)

Закключение. Совокупный анализ характеристик ферментативной и микробиологической активности почвы под насаждениями *Acer negundo* показал взаимосвязь этих показателей. Аллелопатически активные вещества инвазионного вида, содержащиеся в почве, не оказывали существенного влияния на растения, особенно на участках с высокой сомкнутостью крон. Установлены некоторые особенности биологической активности почв под насаждениями инвазионного вида, в том числе преобладание микроорганизмов, участвующих в трансформации соединений азота, над микроскопическими грибами. Микроорганизмы, использующие минеральные формы азота, характеризовались наиболее высокими значениями на пробных участках, особенно у высокосомкнутых древостоев, и превысили контроль в 1,5—3 раза. В период активного роста растений отмечено повышение ферментативной активности почвы, к концу вегетации — ее понижение. Так, уровень активности почвенной инвертазы в июле повышался до 71,35 мг глюкозы/г/сутки, в сентябре — до 65,03 мг глюкозы/г/сутки и превысил в среднем на 24% контроль. Установлена средняя активность протеазы и фосфатазы в почве. Наибольший уровень протеолитической активности отмечен у деревьев со средней сомкнутостью крон, фосфатазной активности — у деревьев с высокой сомкнутостью крон, что выше в среднем на 10—16% относительно контроля.

Благодарность. Работа выполнена в рамках реализации государственного задания ФИЦ УУХ СО РАН (проект № 0286-2022-0010).

Список использованной литературы

1. Агишев В. С. Стратегия жизни клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) за пределами естественного ареала // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 8 (64). С. 30—32.
2. Бухарина И. Л., Кузьмина А. М., Кузьмин П. А. Динамика активности медьсодержащих ферментов в листьях древесных растений в условиях крупного промышленного центра (Среднее Поволжье) // Растительные ресурсы. 2018. Т. 54, № 2. С. 280—289.
3. Веселкин Д. В., Рафикова О. С., Екшибаров Е. Д. Почва из зарослей инвазивного *Acer negundo* неблагоприятна для образования микоризы у аборигенных трав // Журнал общей биологии. 2019. Т. 80, № 3. С. 214—225. DOI: 10.1134/S0044459619030084.

4. 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.
5. Гамзиков Г. П. Азот в земледелии Западной Сибири. М. : Наука, 1981. С. 66—90.
6. 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.
7. Дайнеко Н. М., Тимофеев С. Ф., Булохов А. Д., Панасенко Н. Н. Инвазия клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) в условиях Добрушского района Гомельской области // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. 2017. № 3 (102). С. 35—39.
8. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области — Кузбасса в 2020 году / Администрация правительства Кузбасса. Министерство природных ресурсов и экологии Кузбасса. Кемерово, 2021. 474 с. URL: http://ecokem.ru/wp-content/uploads/2022/02/%D0%94%D0%9E%D0%9A%D0%9B%D0%90%D0%94-2020-%D0%BD%D0%B0-04.02.2022_1-1.pdf (дата обращения: 30.03.2022).
9. Елесова Н. В., Терехина 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.
10. Емельянов А. В., Фролова С. В. Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) в прибрежных фитоценозах р. Ворона // Российский журнал биологических инвазий. 2011. Т. 4, № 2. С. 40—43.
11. Инфантов А. А. Распространение *Acer negundo* L. в степных сообществах окрестностей города Балашова // NovalInfo.Ru. 2016. Т. 1, № 49. С. 1—3.
12. Казеев К. Ш., Колесников С. И., Акименко Ю. В., Даденко Е. В. Методы биодиагностики наземных экосистем / отв. ред. д-р геогр. наук, проф. К. Ш. Казеев. Ростов-на-Дону : Изд-во Южного федерального ун-та, 2016. 356 с.
13. Казеев К. Ш., Колесников С. И., Вальков В. Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону : Изд-во РГУ, 2003. 204 с.
14. Колтунова А. И., Кузьмин Н. И. Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) в Оренбуржье // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 5 (67). С. 211—213.
15. Коляда Н. А., Коляда А. С. Встречаемость потенциально инвазионного вида клена негундо (*Acer negundo* L.) на юге Дальнего Востока России // Российский журнал биологических инвазий. 2016. Т. 9, № 4. С. 51—55.
16. Кулахметов Р. М., Башмаков Д. И. Микропопуляции *Acer negundo* L. в условиях различной антропогенной нагрузки // Труды Мордовского государственного природного заповедника им. П. Г. Сидовича. 2019. № 23. С. 101—109.
17. Лазарева Д. Д., Калашников Д. В. Аллелопатическое влияние клена ясенелистного (*Acer negundo*) в условиях Москвы // Вестник ландшафтной архитектуры. 2017. № 10. С. 53—58.
18. Лозбякова А. И., Степанов М. В. Влияние химических веществ из опада листьев клена остролистного // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2019. Т. 28, № 1. С. 100—102.
19. Национальный атлас почв Российской Федерации / под общ. ред. чл.-кор. РАН С. А. Шобы. М. : Астрель, 2011. 632 с.
20. Нетрусов А. И., Котова И. Б. Микробиология : учебник. М. : Академия, 2009. 352 с.
21. Практикум по агрохимии / под ред. В. Г. Минеева. М. : МГУ, 2001. 689 с.
22. Раськова Н. В., Звягинцев Д. Г. Методические аспекты определения ферментативной активности почв // Микроорганизмы как компонент биогеоценоза. М. : Наука, 1984. С. 127—140.
23. Терехина Т. А., Овчарова Н. В., Елесова Н. В. Биологическая и структурная оценка популяций клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) в Барнаульском ленточном бору // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2020. № 19 (2). С. 374—379. DOI: 10.14258/pbssm.2020138.
24. Титова В. И., Козлов А. В. Методы оценки функционирования микробиоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества : науч.-метод. пособие. Нижний Новгород : Нижегородская сельскохозяйственная академия, 2012. 64 с.
25. Хазиев Ф. Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2015. Т. 20, № 2. С. 14—24.
26. Цандекова О. Л. Влияние клена ясенелистного на инвертазную активность почвы в условиях суходольных фитоценозов // Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов : материалы докл. VI Междунар. конф. Кемерово, 2021. С. 93—94. DOI: 10.53650/9785902305606_93.
27. Цандекова О. Л., Уфимцев В. И. Активность гидролитических ферментов почвы в фитогенном поле *Acer negundo* L. в условиях нарушенных пойменных сообществ // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20, № 5 (85). С. 92—96.

28. Цандекова О. Л., Уфимцев В. И. Ферментативная активность почвы под насаждениями клена ясенелистного в условиях пойменных лесных биогеоценозов // Лесоведение. 2021. Т. 4, № 4. С. 437—445. DOI: 10.31857/S0024114821040112.
29. Черная 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.
30. Чернявская И. В., Еднич Е. М., Толстикова Т. Н. Эколого-физиологические особенности *Acer negundo* L. в условиях предгорий Северо-Западного Кавказа // Образование и наука в современных условиях. 2015. № 2 (3). С. 23—26.
31. Abramova L. M., Agishev V. S., Khaziakhmetov R. M. Immigration of *Acer negundo* L. (Aceraceae) into the floodplain forests of the northwest of Orenburg oblast // Russian Journal of Biological Invasions. 2019. Vol. 10, N 3. P. 199—204. DOI: 10.1134/S2075111719030020.
32. Andronova M. M. Maple ash (*Acer negundo* L.) in gardening in small north towns // European Science Review. 2016. N 7-8. P. 194—195.
33. 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.
34. Katsalirou E., Deng Sh., Nofziger D. L., Gerakis A., Fuhlendorf S. D. Spatial structure of microbial biomass and activity in prairie soil ecosystems // European Journal of Soil Biology. 2010. Vol. 46, N 3. P. 181—189. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2010.04.005.
35. Li J., Tang X., Awasthi 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.
36. Moghimian N., Hosseini S. M., Kooch Ya., Darki B. Z. Impacts of changes in land use/cover on soil microbial and enzyme activities // Catena. 2017. Vol. 157. P. 407—414. DOI: 10.1016/j.catena.2017.06.003.

Поступила в редакцию 31.03.2022

Цандекова Оксана Леонидовна, кандидат сельскохозяйственных наук
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения РАН
Российская Федерация, 650065, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10
E-mail: zandekova@bk.ru
ORCID: 0000-0002-9768-3084

Макеева Наталья Александровна, кандидат биологических наук
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения РАН
Российская Федерация, 650065, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10
E-mail: natykor@bk.ru
ORCID: 0000-0002-1971-4068

UDC 579.2:581.524.2

O. L. Tsandekova**N. A. Makeeva****Enzymatic and microbiological activity of the soil under the influence of *Acer negundo* L.**

The study of the enzymatic and microbiological activity of the soil was carried out in *Acer negundo* L. plantations (ash-leaved maple), located on former arable land within the city of Kemerovo (55°21'55" N; 85°09'45" E). The registration sites are located within the projection of the *Acer negundo* crowns in the sub-crown and under-crown zones: I — single trees in non-closed stands; II — stands with medium crown closeness; III — stands with high crown closeness. The external zone of single trees was selected as control. The soil of the studied sites was characterized by a neutral and slightly alkaline reaction of salt extract, an average supply of mobile forms of phosphorus, and a low content of nitrate nitrogen. The authors of the article noted an increase in the enzymatic and microbiological activity of the soil during the period of active plant growth, by the end of the growing season — their decrease. Allelopathically active substances of ash-leaved maple released into the soil did not significantly affect the indicators of biological activity of soils, especially in areas with high crown closeness. Some features of the biological activity of soils in maple plantations have been established: an increase in the number of microorganisms involved in the transformation of nitrogen mineral compounds and invertase activity, a decrease in the number of microscopic fungi and the activity of protease and phosphatase.

Key words: *Acer negundo* L., invasions, soil microorganisms, invertase, protease, phosphatase, community transformation.

Tsandekova Oksana Leonidovna, Candidate of Agricultural Sciences

Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry Siberian branch of Russian Academy of Sciences
Russian Federation, 650065, Kemerovo, Leningradsky pr-t, 10

E-mail: zandekova@bk.ru

ORCID: 0000-0002-9768-3084

Makeeva Natalia Aleksandrovna, Candidate of Biological Sciences

Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry Siberian branch of Russian Academy of Sciences
Russian Federation, 650065, Kemerovo, Leningradsky pr-t, 10

E-mail: natykor@bk.ru

ORCID: 0000-0002-1971-4068

References

1. Agishev V. S. Strategiya zhizni klena yasenelistnogo (*Acer negundo* L.) za predelami estestvennogo areala [Life strategy ash-leaved maple (*Acer negundo* L.) outside of natural area]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii*, 2016, no. 8 (64), pp. 30—32. (In Russian)
2. Bukharina I. L., Kuz'mina A. M., Kuz'min P. A. Dinamika aktivnosti med'soderzhashchikh fermentov v list'yakh drevesnykh rastenii v usloviyakh krupnogo promyshlennogo tsentra (Srednee Povolzh'e) [Dynamics of copper enzymes activity in tree leaves under conditions of large industrial center (Middle Volga region)]. *Rastitel'nye resursy*, 2018, vol. 54, no. 2, pp. 280—289. (In Russian)
3. Veselkin D. V., Rafikova O. S., Ekshibarov E. D. Pochva iz zaroslei invazivnogo *Acer negundo* neblagopriyatna dlya obrazovaniya mikorizy u aborigennykh trav [The soil of invasive *Acer negundo* thickets is unfavorable for mycorrhizal formation in native herbs]. *Zhurnal obshchei biologii*, 2019, vol. 80, no. 3, pp. 214—225. DOI: 10.1134/S0044459619030084. (In Russian)
4. Veselkin D. V., Dubrovin D. I. Raznoobrazie travyanogo yarusy urbanizirovannykh soobshchestv s dominirovaniem invazivnogo *Acer negundo* [Diversity of the grass layer of urbanized communities dominated by invasive *Acer negundo*]. *Ekologiya*, 2019, no. 5, pp. 323—331. DOI: 10.1134/S0367059719050111. (In Russian)
5. Gamzikov G. P. *Azot v zemledelii Zapadnoi Sibiri* [Nitrogen in agriculture in Western Siberia]. Moscow, Nauka Publ., 1981, pp. 66—90. (In Russian)

6. Gusev A. P., Shpilevskaya N. S., Veselkin D. V. Vozdeistvie Acer negundo L. na vosstanovitel'nyu suktsessiyu v landshaftakh Belarusi [Impact of Acer negundo L. on the restoration succession in the landscapes of Belarus]. *Vestnik Vitsebskaya dzyarzhaynaga universiteta*, 2017, no. 1 (94), pp. 47—53. (In Russian)
7. Daineko N. M., Timofeev S. F., Bulokhov A. D., Panasenko N. N. Invaziya klena yasenelistnogo (Acer negundo L.) v usloviyakh Dobrushskogo raiona Gomel'skoi oblasti [Invasion of the maple tree (Acer negundo L.) in the conditions of Dobrush district of Gomel region]. *Izvestiya Gomel'skogo gosudarstvennogo universiteta imeni F. Skoriny — Proceedings of Francisk Scorina Gomel State University*, 2017, no. 3 (102), pp. 35—39. (In Russian)
8. *Doklad o sostoyanii i okhrane okruzhayushchei sredy Kemerovskoi oblasti — Kuzbassa v 2020 godu* [Report on the state and protection of the environment of the Kemerovo region — Kuzbass in 2020]. Kemerovo, 2021. 474 p. Available at: http://ecokem.ru/wp-content/uploads/2022/02/%D0%94%D0%9E%D0%9A%D0%9B%D0%90%D0%94-2020-%D0%BD%D0%B0-04.02.2022_1-1.pdf. Accessed: 30.03.2022. (In Russian)
9. Elesova N. V., Terekhina T. A., Ovcharova N. V., Silant'eva M. M. Fitotsenoticheskaya kharakteristika lesnykh soobshchestv s uchastiem Acer negundo L. Kasmalinskogo lentochного bora (Altaiskii krai) [Phytocenotic characterization of forest communities with Acer negundo L. of the Kasmalin ribbon forest (Altai Krai)]. *Problemy botaniki Yuzhnoi Sibiri i Mongolii — Problems of Botany of South Siberia and Mongolia*, 2021, no. 20 (1), pp. 542—547. DOI: /10.14258/pbssm.2021109. (In Russian)
10. Emel'yanov A. V., Frolova S. V. Klen yasenelistnyi (Acer negundo L.) v pribrezhnykh fitotsenozakh r. Vorona [Acer negundo L. in coastal phytocenoses of the Vorona River]. *Rossiiskii zhurnal biologicheskikh invazii*, 2011, vol. 4, no. 2, pp. 40—43. (In Russian)
11. Infantov A. A. Rasprostranenie Acer negundo L. v stepnykh soobshchestvakh okrestnosti goroda Balashova [Distribution of Acer negundo L. in the steppe communities in the vicinity of the city of Balashov]. *NovaInfo.Ru*, 2016, vol. 1, no. 49, pp. 1—3. (In Russian)
12. Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I., Akimenko Yu. V., Dadenko E. V. *Metody biodiagnostiki nazemnykh ekosistem* [Methods for biodiagnostics of terrestrial ecosystems]. Rostov-on-Don, Yuzhnyi federal'nyi un-t Publ., 2016. 356 p. (In Russian)
13. Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I., Val'kov V. F. *Biologicheskaya diagnostika i indikatsiya pochv: metodologiya i metody issledovaniya* [Biological diagnostics and indication of soils: methodology and research methods]. Rostov-on-Don, RGU Publ., 2003. 204 p. (In Russian)
14. Koltunova A. I., Kuz'min N. I. Klen yasenelistnyi (Acer negundo L.) v Orenburzh'e [The ash-leaved maple (Acer negundo L.) in the Orenburg region]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, no. 5 (67), pp. 211—213. (In Russian)
15. Kolyada N. A., Kolyada A. S. Vstrechaemost' potentsial'no invazionnogo vida klena negundo (Acer negundo L.) na yuge Dal'nego Vostoka Rossii [Occurrence of potentially invasive species Acer negundo L. in the south of the Russian Far East]. *Rossiiskii zhurnal biologicheskikh invazii*, 2016, vol. 9, no. 4, pp. 51—55. (In Russian)
16. Kulakhmetov R. M., Bashmakov D. I. Mikropopulyatsii Acer negundo L. v usloviyakh razlichnoi antropogennoi nagruzki [Micropopulations of Acer negundo L. under various anthropogenic pressure]. *Trudy Mordovskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika im. P. G. Smidovicha*, 2019, no. 23, pp. 101—109. (In Russian)
17. Lazareva D. D., Kalashnikov D. V. Allelopaticeskoe vliyanie klena yasenelistnogo (Acer negundo) v usloviyakh Moskvy [Allelopathic influence of the ash-leaved maple (Acer negundo) in the conditions of Moscow]. *Vestnik landshaftnoi arkhitektury*, 2017, no. 10, pp. 53—58. (In Russian)
18. Lozbyakova A. I., Stepanov M. V. Vliyanie khimicheskikh veshchestv iz opada list'ev klena ostrolistnogo [Influence of chemicals from Norway maple leaf litter]. *Samarskaya Luka: problemy regional'noi i global'noi ekologii*, 2019, vol. 28, no. 1, pp. 100—102. (In Russian)
19. *Natsional'nyi atlas pochv Rossiiskoi Federatsii* [National Soil Atlas of the Russian Federation]. Moscow, Astrel' Publ., 2011. 632 p. (In Russian)
20. Netrusov A. I., Kotova I. B. *Mikrobiologiya* [Microbiology]. Moscow, Akademiya Publ., 2009. 352 p. (In Russian)
21. *Praktikum po agrokhimii* [Workshop on agrochemistry]. Moscow, MGU Publ., 2001. 689 p. (In Russian)
22. Ras'kova N. V., Zvyagintsev D. G. Metodicheskie aspekty opredeleniya fermentativnoi aktivnosti pochv [Methodological aspects of determining the enzymatic activity of soils]. *Mikroorganizmy kak komponent biogeotsenoza* [Microorganisms as a component of biogeocenosis]. Moscow, Nauka Publ., 1984, pp. 127—140. (In Russian)
23. Terekhina T. A., Ovcharova N. V., Elesova N. V. Biologicheskaya i strukturnaya otsenka populyatsii klena yasenelistnogo (Acer negundo L.) v Barnaul'skom lentochnom boru [Biological and structural assessment of ash-

leaved maple populations (*Acer negundo* L.) in the Barnaul stripe pine forest]. *Problemy botaniki Yuzhnoi Sibiri i Mongolii*, 2020, no. 19 (2), pp. 374—379. DOI: 10.14258/pbssm.2020138. (In Russian)

24. Titova V. I., Kozlov A. V. *Metody otsenki funktsionirovaniya mikrobootsenoza pochvy, uchastvuyushchego v transformatsii organicheskogo veschestva* [Methods for assessing the functioning of soil microbiocenosis involved in the transformation of organic matter]. Nizhny Novgorod, Nizhegorodskaya sel'skokhoz. akademiya Publ., 2012. 64 p. (In Russian)

25. Khaziev F. Kh. Funktsional'naya rol' fermentov v pochvennykh protsessakh [Functional role of enzymes in soil processes]. *Vestnik Akademii nauk Respubliki Bashkortostan — The Herald of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*, 2015, vol. 20, no. 2, pp. 14—24. (In Russian)

26. Tsandekova O. L. Vliyanie klena yasenelistnogo na invertaznuyu aktivnost' pochvy v usloviyakh sukhodol'nykh fitotsenozov [Influence of ash-leaved maple on soil invertase activity under conditions of upland phytocenoses]. *Problemy promyshlennoi botaniki industrial'no razvitykh regionov: materialy dokl. VI Mezhdunar. konf.* [Problems of industrial botany of industrially developed regions. Proceed. of VI Internat. conf.]. Kemerovo, 2021, pp. 93—94. DOI: 10.53650/9785902305606_93. (In Russian)

27. Tsandekova O. L., Ufimtsev V. I. Aktivnost' gidroliticheskikh fermentov pochvy v fitogenom pole *Acer negundo* L. v usloviyakh narushennykh poimennykh soobshchestv [Activity of hydrolite soil enzymes in the phytogenic field *Acer negundo* L. in the conditions of the broken floodplain communities]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk — Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2018, vol. 20, no. 5 (85), pp. 92—96. (In Russian)

28. Tsandekova O. L., Ufimtsev V. I. Fermentativnaya aktivnost' pochvy pod nasazhdeniyami klena yasenelistnogo v usloviyakh poimennykh lesnykh biogeotsenozov [Soils enzymatic activity under the boxelder maple in floodland forest biogeocenoses]. *Lesovedenie — Russian Journal of Forest Science*, 2021, vol. 4, no. 4, pp. 437—445. DOI: 10.31857/S0024114821040112. (In Russian)

29. *Chernaya Kniga flory Sibiri* [The Black Book of Siberian Flora]. Novosibirsk, Akademicheskoe izd-vo "Geo" Publ., 2016. 440 p. (In Russian)

30. Chernyavskaya I. V., Ednich E. M., Tolstikova T. N. Ekologo-fiziologicheskie osobennosti *Acer negundo* L. v usloviyakh predgorii Severo-Zapadnogo Kavkaza [Ecological and physiological features of *Acer negundo* L. in the foothills of the Northwestern Caucasus]. *Obrazovanie i nauka v sovremennykh usloviyakh*, 2015, no. 2 (3), pp. 23—26. (In Russian)

31. Abramova L. M., Agishev V. S., Khaziakhmetov R. M. Immigration of *Acer negundo* L. (Aceraceae) into the floodplain forests of the northwest of Orenburg oblast. *Russian Journal of Biological Invasions*, 2019, vol. 10, no. 3, pp. 199—204. DOI: 10.1134/S2075111719030020.

32. Andronova M. M. Maple ash (*Acer negundo* L.) in gardening in small north towns. *European Science Review*, 2016, no. 7-8, pp. 194—195.

33. 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, pp. 526—535. DOI: 10.1016/j.catena.2015.10.022.

34. Katsalirou E., Deng Sh., Nofziger D. L., Gerakis A., Fuhlendorf S. D. Spatial structure of microbial biomass and activity in prairie soil ecosystems, *European Journal of Soil Biology*, 2010, vol. 46, no. 3, pp. 181—189. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2010.04.005.

35. Li J., Tang X., Awasthi 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, pp. 22—30. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2017.11.006.

36. Moghimian N., Hosseini S. M., Kooch Ya., Darki B. Z. Impacts of changes in land use/cover on soil microbial and enzyme activities. *Catena*, 2017, vol. 157, pp. 407—414. DOI: 10.1016/j.catena.2017.06.003.