

УДК 631.46 : 633.2.03 : 582.746.51

ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВЫ В ЛУГОВЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ С УЧАСТИЕМ КЛЕНА ЯСЕНЕЛИСТНОГО

О. Л. Цандекова, Н. А. Макеева*

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения РАН
(просп. Советский, 18, Кемерово, Россия, 650000), natykor@bk.ru

Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) является одним из наиболее активных инвазионных видов, который внедряется в экосистемы Сибирского региона, преобразуя их структуру и функционирование. В связи с активным внедрением клена ясенелистного в естественные растительные сообщества проблема его изучения становится актуальной. Цель исследований – оценить биологическую активность почвы по уровню активности почвенных ферментов (инвертазы, протеазы, фосфатазы) и основных эколого-трофических групп микроорганизмов (микроорганизмы, утилизирующие органические формы азота; микроорганизмы, утилизирующие минеральные формы азота; микроскопические грибы) в луговых фитоценозах под влиянием клена ясенелистного. В качестве объекта исследования выбраны естественные луговые сообщества Кузбасса с участием клена ясенелистного. Учетные площадки находились в пределах проекции крон инвазионного вида, контроль – площадки, расположенные вне проекции крон деревьев. Определение активности инвертазы проводили по методу В. Ф. Купревича и Т. А. Щербаковой, активности протеазы – по методу А. Ш. Галстяна и Э. А. Арутюнян, активности фосфатазы – по методу А. Ш. Галстяна. Численность почвенных микроорганизмов изучали стандартными методами с помощью посева почвенной суспензии на агаризованные среды. Экспериментальные данные обработаны статистически с помощью компьютерных программ Microsoft Office Excel 2007 и Statistica 10. В луговых фитоценозах инвазии клена ясенелистного повышают уровень ферментативной и микробиологической активности почвы. Под проекцией кроны *A. negundo* в исследуемых растительных сообществах активность почвенных ферментов выше на 10–12 %, чем вне проекции кроны. Отмечено преобладание микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, особенно в сообществах с доминированием *U. dioica*, в среднем в 1,8 раза относительно контроля. Разнообразие растительных сообществ существенно не отражалось на уровне биологической активности почвы. При сравнении показателей ферментативной и микробиологической активности почвы под фитоценозами с разными доминирующими видами – *U. dioica*, *T. officinale*, *V. lobelianum* – выявлены в целом близкие показатели почвенной активности. Полученные данные можно использовать в качестве диагностических признаков состояния почвы и при биомониторинге почв в природных экосистемах.

Ключевые слова: *Acer negundo* L.; инвазии; почвенные микроорганизмы; инвертаза; протеаза; фосфатаза; трансформация эколого-трофических групп микроорганизмов

Для цитирования: Цандекова О. Л., Макеева Н. А. Оценка биологической активности почвы в луговых фитоценозах с участием клена ясенелистного // Труды Карельского научного центра РАН. 2024. № 3. С. 41–50. doi: 10.17076/eco1820

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

O. L. Tsandekova, N. A. Makeeva*. ASSESSMENT OF THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF SOIL IN MEADOW PLANT COMMUNITIES COMPRISING ASH-LEAF MAPLE

Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (18 Sovetskii Ave., 650000 Kemerovo, Russia), *natykor@bk.ru

Ash-leaf maple (*Acer negundo* L.) is one of the most active invasive species in ecosystems of the Siberian region, which transforms their structure and functioning. As ash-leaf maple is actively invading natural plant communities, its study has gained relevance. The purpose of this study is to assess the biological activity of the soil through the level of activity of soil enzymes (invertase, protease, phosphatase) and the main ecological-trophic groups of microorganisms (microorganisms that utilize organic forms of nitrogen; microorganisms that utilize mineral forms of nitrogen; microscopic fungi) in meadow plant coenoses under the influence of ash-leaf maple. The object chosen for the study is natural meadow communities of Kuzbass comprising ash-leaved maple. The census plots were located within the invasive species' crown projection area, the control plots were located outside the tree crown projection. Invertase activity was determined by the method suggested by V. F. Kuprevich and T. A. Shcherbakova, protease activity – by the method of A. Sh. Galstyan and E. A. Arutyunyan, phosphatase activity – as suggested by A. Sh. Galstyan. The abundance of soil microorganisms was studied using standard methods by inoculating a soil suspension on agar media. Experimental data were treated statistically using Microsoft Office Excel 2007 and Statistica 10 programs. In meadow phytocoenoses, ash-leaf maple invasions raise the level of enzymatic and microbiological activity of the soil. The activity of soil enzymes in the studied plant communities was 10–12 % higher within the *A. negundo* crown projection area than outside of it. There prevailed the microorganisms that utilized mineral nitrogen, especially in communities dominated by *U. dioica*, 1.8-fold versus the control, on average. The diversity of plant communities had no significant effect on the level of soil biological activity. A comparison of enzymatic and microbiological activity indices of soil between communities with different dominant species – *U. dioica*, *T. officinale*, *V. lobelianum* – showed the soil activity parameters were generally similar. The resultant data can be used as diagnostic indicators of soil condition and in biomonitoring of soils in natural ecosystems.

Keywords: *Acer negundo* L.; invasions; soil microorganisms; invertase; protease; phosphatase; transformation of ecological-trophic groups of microorganisms

For citation: Tsandekova O. L., Makeeva N. A. Assessment of the biological activity of soil in meadow plant communities comprising ash-leaf maple. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2024. No. 3. P. 41–50. doi: 10.17076/eco1820

Funding. The study was carried out under state assignment (project #0286-2021-0010).

Введение

В естественных условиях клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) широко распространен в тугайных лесах и на болотистых территориях США и Канады. В Россию его завезли во второй половине XVIII столетия для пополнения декоративных коллекций и выращивания в ботанических садах Санкт-Петербурга и Москвы.

После акклиматизации *Acer negundo* стали широко внедрять как декоративное растение благодаря быстрому росту в первые годы жизни. Во второй половине XIX века вид использовали в лесоводстве как ветрозащитную и лесозащитную породу. На территории Кемеровской области клен ясенелистный стал распространяться со второй половины XX века, когда началось его активное применение в качестве

декоративного растения для озеленения городских территорий и использование в посадках лесозащитных полос для борьбы с засухой. Позднее вид расселялся самостоятельно, давая обильный самосев вдоль дорог, по заброшенным территориям, вырубкам, просекам. В настоящее время *Acer negundo* включен в Черную книгу флоры Сибири со статусом 1 – «виды-трансформеры, которые активно внедряются в естественные природные сообщества и нарушенные местообитания, изменяя облик экосистем» [Черная..., 2016].

Способность клена ясенелистного образовывать многоярусные заросли за довольно короткий период препятствует возобновлению местных видов, что представляет угрозу биологическому разнообразию. В подкroновом пространстве инвазионного вида под влиянием физиологически активных веществ снижается формирование почвенного покрова, что приводит к ухудшению естественного возобновления в природных сообществах [Del Fabbro, Prati, 2015; Жуков, Ломоносова, 2016]. Влияние растительного покрова на свойства почвы рассматривалось различными авторами [Нетрусов, Котова, 2005; Хежева и др., 2010; Онипченко, 2011; Улигова и др., 2016]. Растения в сообществах избирательно влияют друг на друга через выделения корневой системы и в зависимости от видового состава могут в значительной степени изменять интенсивность и направленность различных процессов, определяя тем самым неоднородность почвенных свойств. Влияние клена ясенелистного на аборигенные травы заключается не только в аллелопатических эффектах, но и в трансформации сообществ симбиотических, патогенных и сапротрофных организмов под его влиянием [Веселкин и др., 2019]. Определение показателей ферментативной и микробиологической активности почвы позволяет оценить интенсивность и направленность внутрипочвенных биохимических процессов под влиянием изменения состава растительных сообществ. Изучению активности ферментов почвы, численности микроорганизмов и их активности посвящено большое количество работ [Феоктистова и др., 2016; Li et al., 2018], однако работы по биологической активности почв в подкroновом пространстве инвазионного вида единичны [Цандекова, Уфимцев, 2018]. Некоторые авторы отмечают, что активность инвертаз и протеаз не зависит от численности микроорганизмов и их активности [Katsalirou et al., 2010]. Развитие дернового процесса под травянистым покровом способствует увеличению активности почвенных ферментов [Хазиев, 2015].

По сведениям Т. С. Улиговой с соавторами [2019], разнообразие растительных сообществ не отражается на уровне активности ферментов в верхнем слое почвы. В настоящее время недостаточное внимание уделено особенностям изменения структуры растительных сообществ и биологической активности почвы в луговых фитоценозах с участием клена ясенелистного.

Цель работы – оценить биологическую активность почвы в луговых фитоценозах с участием клена ясенелистного в условиях Кемеровской области. Задачи исследований включали изучение активности почвенных ферментов (инвертазы, протеазы, фосфатазы), анализ численности почвенных микроорганизмов, использующих органические и минеральные формы азота, а также определение микроскопических грибов в почвах подкroнового пространства клена ясенелистного.

Материалы и методы

Эксперимент проводили в 2021–2022 году. Объектами исследования выбраны естественные луговые сообщества с доминированием клена ясенелистного на трех площадках наблюдений (ПН), расположенных в лесостепной зоне Кемеровской области в пределах городской среды города Кемерово: ПН1 (55°29'29"N, 86°13'10"E), ПН2 (55°29'40"N, 86°12'95"E), ПН3 (55°29'36"N, 86°12'93"E) (рис. 1). Структура фитоценоза мозаичная, из них участки с доминированием *A. negundo* занимали до 15 %, остальная площадь – куртины *Betula pendula* Roch, *Salix viminalis* L., *Padus avium* Mill. и залежные луговины. Исследуемые площадки располагались на луговых почвах. Возраст насаждений клена ясенелистного составлял в среднем 20–25 лет, средняя высота в древостоях – 12–14 метров. На каждой площадке наблюдений в пределах проекции крон клена ясенелистного выбраны участки с доминированием в сообществах: ПН1 – крапива двудомная (*Urtica dioica* L.), ПН2 – одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* L.), ПН3 – чемерица Лобеля (*Veratrum lobelianum* Bernh.). Контролем служили учетные площадки, расположенные вне проекции крон деревьев.

Климатические условия 2021–2022 гг. характеризовались резкими гидротермическими перепадами. Наиболее теплым и влажным был вегетационный период 2021 года. В начале вегетации (в мае) преобладала очень теплая, со значительным недобором осадков и суховейными явлениями погода. Среднемесячная температура воздуха составила +14...+16 °С,

что на 4–5° выше нормы. Осадков выпало в среднем 11–17 мм (47–56 % от нормы). В середине вегетации (в июле) наблюдалась неустойчивая погода с резкими колебаниями температуры, во второй половине месяца с практически ежедневными обильными ливневыми дождями и грозами, с выпадением града. Среднемесячная температура воздуха составила +16...+18 °С, что на 1–2° ниже нормы. Осадков выпало от 72 до 128 мм (92–160 % от нормы). В конце вегетации (в сентябре) отмечена неустойчивая погода с резкими колебаниями температуры и обильными осадками. Средняя за месяц температура воздуха составила +8...+11 °С, что в пределах и на 1° ниже нормы. Осадков выпало 67–174 % от нормы.

Исследования ферментативной и микробиологической активности почвы проведены на свежеобранном материале в трехкратной повторности. Образцы почвы отбирали с помощью почвенного бура с глубины 0–10 см в пяти точках на каждой площадке наблюдения. Полученные почвенные образцы тщательно перемешивали для получения смешанной пробы и транспортировали в охлажденном виде до лаборатории в термобоксе. Все образцы хранились при температуре +4 °С до проведения эксперимента. Определение 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]. Численность почвенных микроорганизмов изучали методом посева почвенной суспензии на агаризованные среды: мясопептонный агар (МПА) – для определения микроорганизмов,

использующих органический азот; крахмалоаммиачный агар (КАА) – для определения микроорганизмов, использующих минеральный азот; среду Сабуро – для определения микроскопических грибов [Нетрусов, Котова, 2005]. Коэффициент минерализации рассчитывали как отношение численности микроорганизмов, выросших на КАА, и микроорганизмов, выросших на МПА [Нетрусов, Котова, 2005]. Агрохимический анализ почвы проведен для почв подкоронового пространства *A. negundo* на площадках наблюдения в аккредитованном центре агрохимической службы ФГУ ЦАС «Кемеровский». В качестве сравнения взяты смешанные почвенные образцы вне проекции крон.

Данные представлены в виде средних арифметических значений и их среднеквадратических (стандартных) ошибок. Аналитическая повторность опытов трехкратная. 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 обсуждение

Анализ агрохимических показателей выявил, что исследуемые почвы характеризовались слабокислой и нейтральной реакцией солевой вытяжки (рН 6,0–6,6) (табл. 1).

Интенсивность нитрификации и накопление нитратного азота находится в большой зависимости от погодных условий. Хорошее увлажнение и относительно высокая температура воздуха в годы исследований способствовали

Таблица 1. Агрохимические показатели почвы на исследуемых площадках (глубина отбора проб 0–10 см)

Table 1. Agrochemical soil indicators at the observation platforms (OP) within the study sites (sampling depth 0–10 cm)

Показатель / Index	ПН1 / OP1	ПН2 / OP2	ПН3 / OP3	Контроль / Control
рН _(сол.)	6,4 ± 0,11	6,6 ± 0,07	6,2 ± 0,08	6,0 ± 0,08
Гумус, % Humus, %	9,3 ± 0,55	7,1 ± 0,72	7,8 ± 0,65	5,8 ± 0,45
N _(нитрат.) , мг/кг N _(nit.) , mg/kg	45,8 ± 10,6	23,7 ± 4,5	25,8 ± 6,5	22,5 ± 4,5
N _(общ.) , % N _(total) , %	0,49 ± 0,05	0,31 ± 0,04	0,35 ± 0,03	0,28 ± 0,02
P ₂ O ₅ , мг/кг P ₂ O ₅ , mg/kg	292 ± 66,2	281 ± 54,0	189 ± 45,0	176 ± 44,0
K ₂ O, мг/кг K ₂ O, mg/kg	377 ± 24,0	276 ± 19,0	187 ± 18,5	136 ± 18,0
Сумма поглощенных оснований, ммоль/100 г Amount of absorbed bases, mmol/100 g	41,6 ± 3,5	36,4 ± 5,1	39,6 ± 6,3	21,5 ± 4,2

образованию большого количества нитратов. Содержание нитратного азота по шкале Г. П. Гамзикова [1981] на исследуемых площадках находилось на уровне высоких значений – от 22,5 до 45,8 мг/кг. Массовая доля общего азота в исследуемых почвах составляла 0,28–0,49 %, сумма поглощенных оснований – 21,5–41,6 ммоль/100 г.

Обеспеченность подвижными формами фосфора характеризовалась как очень высокая и варьировала в пределах 176–292 мг/кг. Некоторые исследователи отмечают, что повышенные концентрации фосфора в почве могут блокировать поступление в растения важнейших элементов питания и, как следствие этого, вызвать приостановку роста растений [Balemil, Negisho, 2012; Xu et al., 2022], что является опосредованной характеристикой аллелопатического воздействия *A. negundo*.

Содержание обменного калия в почвах варьировало в пределах 136–377 мг/кг и соответствовало высокому уровню, причем ниже всего – в контроле. Содержание органического вещества в почвах составляло 5,8–9,3 %, что соответствует уровню высокогумусных луговых почв. Содержание азота в почве подтвердило зависимость между его количеством и органическим веществом. Со снижением содержания гумуса в почве следовало снижение содержания азота и, напротив, с увеличением содержания гумуса увеличивалось содержание азота. Так, для почв контрольного участка характерен минимальный уровень содержания органического вещества (5,8 %), а для почв на первой учетной площадке – максимальный уровень (9,3 %), при этом массовая доля общего азота составила 0,28 и 0,49 % соответственно.

Сравнительный анализ агрохимических показателей почвы под проекцией крон *A. negundo* показал, что более высокие показатели изучаемых параметров (подвижный фосфор и калий, азот нитратный и общий, гумус) характерны для почв пробных площадок в фитоценозах с доминированием *U. dioica*, в сравнении с контролем и другими участками.

Анализ результатов проведенных исследований по ферментативной активности почв показал, что, согласно оценочной шкале [Казеев и др., 2003], уровень биологической активности почвы на исследуемых участках соответствовал среднему и высокому (инвертаза, протеаза, фосфатаза). Под проекцией кроны *A. negundo* в исследуемых растительных сообществах активность почвенных ферментов выше на 10–12 %, чем вне проекции кроны (рис. 1).

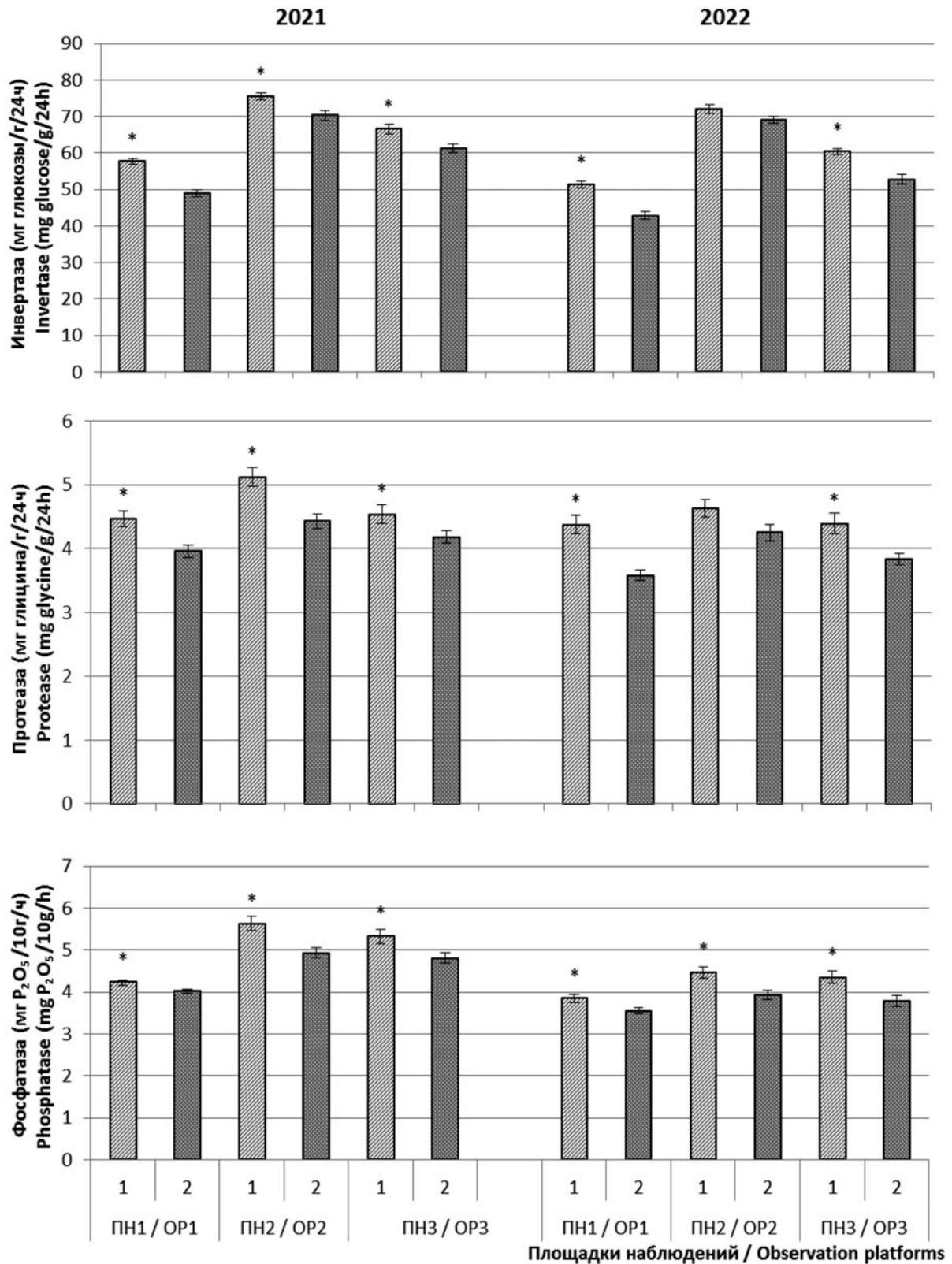
По всей видимости, более высокая активность ферментов под кронами объясняется

благоприятным сочетанием факторов освещенности, увлажнения, присутствием значительных количеств органических веществ. В вегетационный период 2021 года отмечены более высокие показатели ферментативной активности, что, очевидно, связано с наиболее благоприятными погодными условиями в сравнении с 2022 годом. При сравнении показателей ферментативной активности почвы под фитоценозами с разными доминирующими видами – *U. dioica*, *T. officinale*, *V. lobelianum* – выявлены в целом близкие показатели активности ферментов.

Уровень накопления инвертазы отражает содержание в почве легкогидролизуемых углеводов, которые служат энергетическим материалом для многих почвенных гетеротрофов. Активность инвертазы на исследуемых участках выше, чем протеазы и фосфатазы. В проведенных исследованиях показатели по содержанию инвертазы варьировали в пределах от 42,89 до 75,52 мг глюкозы / г / 24 ч. Под проекцией кроны клена ясенелистного наибольшие отличия (18–20 %) от контроля отмечены на первой площадке (ПН1) с доминированием в сообществах *U. dioica*. Прослеживается тенденция к увеличению инвертазной активности в подкрановом пространстве инвазионного вида, особенно в сообществах с доминированием *T. officinale* в вегетационный период 2021 года (75,52 мг глюкозы / г / 24 ч), что в среднем на 24 % выше по сравнению с другими площадками и контролем.

Биохимическую активность разложения азотсодержащего органического вещества в почве оценивают по ее протеолитической активности. Протеазы участвуют в начальных этапах минерализации белковых соединений и обуславливают динамику усвояемых форм азота. Анализ результатов показал, что в образцах уровень содержания протеазы варьировал в пределах от 3,58 до 5,13 мг глицина / г / 24 ч. В подкрановом пространстве клена ясенелистного в вегетационный период 2021 года наибольшие отличия от контроля отмечены у образцов на ПН2 (5,13 мг глицина / г / 24 ч), в 2022 году – на ПН1 (4,38 мг глицина / г / 24 ч), что на 16 и 22 % выше контрольных значений.

Активность фосфатаз характеризует интенсивность биохимических процессов мобилизации органического фосфора почвы. Полученные данные по активности фосфатазы показали, что на исследуемых участках показатели варьировали от 3,55 до 5,63 мг P_2O_5 / 10 г / ч. При увеличении содержания подвижного фосфора в почве, по мнению многих авторов, активность фосфатазы уменьшается [Турусов и др.,



Ферментативная активность почвы.

Здесь и в табл. 2: 1 – под кроной *A. negundo*, 2 – вне проекции крон деревьев (контроль). *Различия с контролем статистически значимы при $p < 0,05$

Soil enzymatic activity.

Here and in Table 2: 1 – under the crown of *A. negundo*, 2 – outside the projection of tree crowns (control). * The differences with the control are statistically significant at $p < 0.05$

2012; Колмогорова, Уфимцев, 2022]. В наших исследованиях данная закономерность прослеживается на ПН1, где отмечено повышенное содержание подвижного фосфора в почве (292 мг/кг) и снижение активности фосфатазы до 3, 55 мг P₂O₅/10 г/ч. Сравнительная характеристика исследуемых площадок выявила различия по активности фосфатазы относительно контроля. На ПН1 с доминированием в травостое *U. dioica* в течение вегетации 2021 года уровень активности данного фермента ниже в среднем на 5 %, в 2022 году – на 8 % относительно контроля. Значения активности фосфатазы на участках ПН2 и ПН3 с доминированием *T. officinale* и *V. lobelianum* превысили контроль на 11–15 %, что, вероятно, связано с более интенсивными биохимическими процессами.

Микробиологический анализ показал, что содержание микроорганизмов под кроной *A. negundo* выше, чем в контроле (при $p < 0,05$) (табл. 2).

При этом в почве отмечено преобладание микроорганизмов, использующих минеральные формы азота (1359–2872 тыс. КОЕ/г сухой почвы). В то время как количество микроорганизмов, использующих органические формы азота, составляет 773–1211 тыс. КОЕ/г сухой почвы, микроскопических грибов – 71–130 тыс. КОЕ/г сухой почвы. Доминирование микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, указывает на интенсивное протекание процессов минерализации почв всех ПН. Скорость разложения органических остатков в почве характеризует коэффициент минерализации. В исследуемых образцах он находится в пределах от 1,74 до 2,58, при этом в подкroновом пространстве он всегда выше, чем в контроле.

Максимальное количество всех групп микроорганизмов отмечено в почве ПН2 с преобладанием *T. officinale*. Отличия от контроля в 2021 г. составили 17 %, в 2022 г. – 11 % для микроорганизмов, использующих органические формы азота, 27 и 25 % – для микроорганизмов, использующих минеральный азот; 12 и 13 % – для микроскопических грибов. Минимальное количество микроорганизмов наблюдалось на ПН1 с доминированием *U. dioica*. Однако выявить статистически достоверные отличия количества микроорганизмов в зависимости от состава травянистого сообщества не удалось.

Количество микроорганизмов в почве зависит от многих факторов и является непостоянным. Значительное влияние на данный показатель оказывает содержание органических веществ в отмерших растительных и животных остатках. Полученные результаты указывают на то, что в подкroновом пространстве *A. negundo* содержание растительных остатков выше, чем вне крон, поэтому и протекающие в почве процессы с участием микроорганизмов более интенсивны. Кроме того, микробиологическая активность почв зависит от ее гидротермического режима. Поэтому в более теплых и влажных условиях 2021 года содержание почвенных микроорганизмов выше, чем в 2022 году.

Установлена отрицательная достоверная корреляция между численностью микроорганизмов, утилизирующих органический азот, и микроорганизмов, утилизирующих минеральные формы азота ($r = -0,53$, $p < 0,05$); между численностью микроорганизмов, утилизирующих органические формы азота, и активностью фосфатазы ($r = -0,56$, $p < 0,05$); между

Таблица 2. Количество микроорганизмов в ризосфере травянистых растений, тыс. КОЕ/г сухой почвы

Table 2. Number of microorganisms in the rhizosphere of herbaceous plants, thousand CFU/g of dry soil

ПН1 / OP1		ПН2 / OP2				ПН3 / OP3					
2021		2022		2021		2022		2021		2022	
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Микроорганизмы, использующие органические формы азота / Microorganisms using organic nitrogen											
928 ± 48*	824 ± 43	801 ± 42*	773 ± 37	1211 ± 63*	1034 ± 51	938 ± 7*	844 ± 5	1022 ± 58*	995 ± 45	964 ± 41*	857 ± 39
Микроорганизмы, использующие минеральные формы азота / Microorganisms using mineral nitrogen											
2284 ± 120*	1438 ± 78	2067 ± 101*	1359 ± 71	2872 ± 145*	2265 ± 115	1938 ± 98*	1547 ± 80	1961 ± 98*	1732 ± 87	1801 ± 94*	1648 ± 84
Микроскопические грибы / Microscopic fungi											
112 ± 10*	89 ± 5	95 ± 5*	71 ± 5	87 ± 6*	78 ± 7	77 ± 5*	68 ± 4	130 ± 9*	118 ± 7	111 ± 4*	98 ± 5
Коэффициент минерализации / Mineralization coefficient											
2,46	1,75	2,58	1,76	2,37	2,19	2,07	1,83	1,92	1,74	1,87	1,92

фосфатазной активностью почвы и содержанием в ней фосфора ($r = -0,65$, $p < 0,05$). Выявлена взаимосвязь между численностью микроскопических грибов и активностью протеазы ($r = 0,47$, $p < 0,05$).

Заключение

В луговых фитоценозах инвазии клена ясенелистного повышают уровень ферментативной и микробиологической активности почвы. Под проекцией кроны *A. negundo* в исследуемых растительных сообществах активность почвенных ферментов выше на 10–12 %, чем вне проекции кроны. Отмечено преобладание микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, особенно в сообществах с доминированием *U. dioica*, в среднем в 1,8 раза относительно контроля. Минимальное содержание микроскопических грибов отмечено на участке с доминированием *T. officinale*, для остальных групп микроорганизмов зависимость их численности от вида растения не прослеживается.

Под кроной инвазионного вида в растительных сообществах выявлено преобладание содержания питательных веществ в почве, способствующей образованию органического вещества и улучшению азотного режима. Наиболее высокие показатели (подвижный фосфор и калий, азот нитратный и общий, гумус) отмечены в сообществах с доминированием *U. dioica*, в сравнении с контролем и другими участками. Разнообразие растительных сообществ существенно не отражалось на уровне биологической активности почвы. При сравнении показателей ферментативной и микробиологической активности почвы под фитоценозами с разными доминирующими видами – *U. dioica*, *T. officinale*, *V. lobelianum* – выявлены в целом близкие показатели почвенной активности.

Установлена отрицательная достоверная корреляция между численностью микроорганизмов, утилизирующих органический азот, и микроорганизмов, утилизирующих минеральные формы азота; между численностью микроорганизмов, утилизирующих органические формы азота, и активностью фосфатазы; между фосфатазной активностью почвы и содержанием в ней фосфора. Выявлена взаимосвязь между численностью микроскопических грибов и активностью протеазы. Полученные данные можно использовать в качестве диагностических признаков состояния почвы и при биомониторинге почв в природных экосистемах.

Литература

- 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
- Гамзиков Г. П. Азот в земледелии Западной Сибири. М.: Наука, 1981. 267 с.
- Жуков Р. С., Ломоносова Л. М. Клен ясенелистный в городских лесах Москвы // Научное обозрение. Биологические науки. 2016. № 3. С. 49–50.
- 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.
- Колмогорова Е. Ю., Уфимцев В. И. Почвенные характеристики эмбриоземов под покровом сосновых насаждений на техногенных элювиях Кузбасса // Известия вузов. Лесной журнал. 2022. № 2. С. 118–131. doi: 10.37482/0536-1036-2022-2-118-131
- Нетрусов А. И., Котова И. Б. Микробиология: учебник. М.: Академия, 2005. 52 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. С. 344–345.
- Титова В. И., Козлов А. В. Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества: науч.-метод. пособие. Нижний Новгород: НГСХА, 2012. С. 14–26.
- Турусов В. И., Гармашов В. М., Дьячкова Т. И. Ферментативная активность чернозема обыкновенного в различных севооборотах при разных способах обработки почвы // Агрохимия. 2012. № 9. С. 21–25.
- 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.
- Феокистова Н. В., Марданова А. М., Хадиева Г. Ф., Шарипова М. Р. Ризосферные бактерии // Ученые записки Казанского университета. Сер. Естественные науки. 2016. Т. 158, № 2. С. 207–224.
- Хазиев Ф. Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2015. Т. 20, № 2. С. 14–24.
- Хежева Ф. В., Улигова Т. С., Темботов Р. Х. Оценка ферментативной активности черноземов естественных биоценозов степной зоны и лесостепного пояса

Центрального Кавказа // Известия Самарского научного центра РАН. 2010. Т. 12, № 1. С. 1075–1078.

Цандекова О. Л., Уфимцев В. И. Активность гидrolитических ферментов почвы в фитогенном поле *Acer negundo* L. в условиях нарушенных пойменных сообществ // Известия Самарского научного центра РАН. 2018. Т. 20, № 5. С. 92–96.

Черная книга флоры Сибири / Науч. ред. Ю. К. Виноградова, отв. ред. А. Н. Куприянов; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние; ФИЦ угля и углекислоты [и др.]. Новосибирск: Гео, 2016. С. 32–37.

Balemi T., Negisho K. Management of soil phosphorus and plant adaptation mechanisms to phosphorus stress for sustainable crop production: a review // J. Soil Sci. Plant Nutr. 2012. Vol. 12(3). P. 547–561. doi: 10.4067/S0718-95162012005000015

Del Fabbro C., Prati D. Invasive plant species do not create more negative soil conditions for other plants than natives // Perspectives in plant ecology, evolution and systematics. 2015. Vol. 17, no. 2. P. 87–95. doi: 10.1016/j.ppees.2015.02.002

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(3). P. 181–189. doi: 10.1016/j.ejsobi.2010.04.005

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 // Ecol. Eng. 2018. Vol. 111. P. 22–30. doi: 10.1016/j.ecoleng.2017.11.006

Xu H., Liu Q., Wang S., Yang G., Xue S. A global meta-analysis of the impacts of exotic plant species invasion on plant diversity and soil properties // Sci. Total Environ. 2022. Vol. 810. Art. 152286. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.152286

References

Balemi T., Negisho K. Management of soil phosphorus and plant adaptation mechanisms to phosphorus stress for sustainable crop production: a review. J. Soil Sci. Plant Nutr. 2012;12(3):547–561. doi: 10.4067/S0718-95162012005000015

Del Fabbro C., Prati D. Invasive plant species do not create more negative soil conditions for other plants than natives. Perspectives in plant ecology, evolution and systematics. 2015;17(2):87–95. doi: 10.1016/j.ppees.2015.02.002

Feoktistova N. V., Mardanova A. M., Khadieva G. F., Sharipova M. R. Rhizospheric bacteria. Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Ser. Estestvennyye nauki = Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series. 2016;158(2):207–224. (In Russ.)

Gamzikov G. P. Nitrogen in agriculture in Western Siberia. Moscow: Nauka; 1981. 267 p. (In Russ.)

Hezheva F. V., Uligova T. S., Tembotov R. Kh. Evaluation of the enzymatic activity of chernozems of natural biocenoses of the steppe zone and the forest-steppe belt of the Central Caucasus. Izvestiya Samar-skogo nauchnogo tsentra RAN = Izvestiya Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2010;12(1):1075–1078. (In Russ.)

Katsalirou E., Deng Sh., Nofziger D. L., Gerakis A., Fuhlendorf S. D. Spatial structure of microbial biomass and activity in prairie soil ecosystems. Eur. J. Soil Biol. 2010;46(3):181–189. doi: 10.1016/j.ejsobi.2010.04.005

Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I., Val'kov V. F. Biological diagnostics and indication of soils: methodology and research methods. Rostov-on-Don: RGU; 2003. 204 p. (In Russ.)

Khaziev F. H. The functional role of enzymes in soil processes. Vestnik Akademii nauk Respubliki Bashkortostan = Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. 2015;20(2):14–24. (In Russ.)

Kolmogorova E. Yu., Ufimtsev V. I. Soil characteristics of embryozems under the the cover of pine plantations on technogenic eluvium of Kuzbass. Izvestiya vuzov. Lesnoi zhurnal = Bulletin of Higher Educational Institutions. Russian Forestry Journal. 2022;2;118–131. doi: 10.37482/0536-1036-2022-2-118-131 (In Russ.)

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. Ecol. Eng. 2018;111:22–30. doi: 10.1016/j.ecoleng.2017.11.006.

Mineev V. G. (ed.). A tutorial on agrochemistry. Moscow: MSU; 2001. P. 344–345. (In Russ.)

Netrusov A., Kotova I. B. Microbiology: a textbook. Moscow: Academy; 2005. 52 p. (In Russ.)

Onipchenko V. G. The role of soil in the formation and preservation of plant diversity. Rol' pochvy v formirovanii i sokhranении biologicheskogo raznoobraziya = The role of soil in the formation and preservation of biological diversity. Moscow: KMK; 2011. P. 86–155. (In Russ.)

Titova V. I., Kozlov A. V. Methods for assessing the functioning of soil microbiocenosis involved in the transformation of organic matter: a scientific and methodological guide. Nizhnii Novgorod: NGSKhA; 2012. P. 14–26. (In Russ.)

Tsandekova O. L., Ufimtsev V. I. Activity of hydrolytic soil enzymes in the phytogenic field of *Acer negundo* L. in the conditions of the broken inundated community. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN = Izvestiya Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2018;20(5):92–96. (In Russ.)

Turusov V. I., Garmachov V. M., Diachkova T. I. Enzymatic activity of ordinary chernozem under different crop rotations and different tillage practices. Agrokhimiya = Eurasian Soil Science. 2012;9:21–25. (In Russ.)

Uligova T. S., Gedgafova F. V., O Gorobtsova N. N., Tsepkova N. L., Rapoport I. B., Tembotov R. Kh., Haku-nova E. M. Meadow subalpine Kabardino-Balkarian belt biogeocenoses of the State Highland Reserve (Central Caucasus). Nature Conservation Research. 2019;4(2):29–47. doi: 10.24189/ncr.2019.012 (In Russ.)

Uligova T. S., Gorobtsova O. N., Tsepkova N. L., Rapoport I. B., Gedgafova F. V., Tembotov R. Kh. Ecological and biological characteristics of natural steppe biogeocenoses of the Central Caucasus (Terek version of the belt, Kabardino-Balkaria). Povolzhskii ekologicheskii zhurnal = Volga Ecological Journal. 2016;3:330–340. (In Russ.)

Veselkin D. V., Rafikova O. S., Ekshibarov E. D. The soil of invasive *Acer negundo* thickets is unfavorable for mycorrhizal formation in native herbs. Zhurnal obshchei

biologii = Journal of General Biology. 2019;80(3): 214–225. doi: 10.1134/S0044459619030084 (In Russ.)

Vinogradov Yu. K., Kupriyanov A. N. (eds.). The Black Data Book of the flora of Siberia. Novosibirsk: Geo; 2016. P. 32–37. (In Russ.)

Xu H., Liu Q., Wang S., Yang G., Xue S. A global meta-analysis of the impacts of exotic plant species

invasion on plant diversity and soil properties. *Sci. Total Environ.* 2022;810:152286. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.152286

Zhukov R. S., Lomonosova L. M. Ash-leaved maple in the urban forests of Moscow. *Nauchnoe obozrenie. Biologicheskie nauki = Scientific Review. Biological Sciences*. 2016;3:49–50. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 18.10.2023; принята к публикации / accepted: 07.03.2024.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Цандекова Оксана Леонидовна

канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории рекультивации и биомониторинга

e-mail: zandekova@bk.ru

Макеева Наталья Александровна

канд. биол. наук, научный сотрудник лаборатории рекультивации и биомониторинга

e-mail: natykor@bk.ru

CONTRIBUTORS:

Tsandekova, Oksana

Cand. Sci. (Agr.), Senior Researcher, Laboratory for Remediation and Biomonitoring

Makeeva, Natalia

Cand. Sci. (Biol.), Researcher, Laboratory for Remediation and Biomonitoring