

УДК 630*114:631.465:582.76/77

ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВЫ ПОД НАСАЖДЕНИЯМИ КЛЕНА ЯСЕНЕЛИСТНОГО В УСЛОВИЯХ ПОЙМЕННЫХ ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ¹

© 2021 г. О. Л. Цандекова^а, *, В. И. Уфимцев^а

^аФГБНУ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН,
Ленинградский просп., 10, Кемерово, 650065 Россия

*E-mail: zandekova@bk.ru

Поступила в редакцию 15.04.2020 г.

После доработки 23.09.2020 г.

Принята к публикации 06.04.2021 г.

Изучена активность почвенных ферментов под насаждениями клена ясенелистного, произрастающего в пойме р. Томь в пределах г. Кемерово. Отбор почвенных проб проводили по трем категориям сомкнутости крон деревьев. В качестве контроля выбрана внешняя зона одиночных деревьев. В смешанных образцах почвы, отобранных из горизонта 0–10 см в начале, середине и конце вегетационного сезона (2017–2019 гг.), определяли активность гидролитических ферментов (протеазы, фосфатазы и инвертазы). Выявлено, что наибольший уровень активности гидролитических почвенных ферментов отмечен возле одиночных деревьев *A. negundo* в несомкнутых древостоях. Наименьшая сезонная вариабельность характерна для активности протеазы и фосфатазы. У одиночных деревьев в несомкнутых древостоях коэффициент вариации ферментативной активности ниже в 1.5 раза, чем у других исследуемых образцов. Наиболее тесная отрицательная связь обнаружена между активностью почвенных ферментов под насаждениями *A. negundo* и содержанием гумуса, общего и нитратного азота. Полученные данные по ферментативной активности могут служить одним из показателей биологической активности почвы под древесными насаждениями, быть использованы при биодиагностике, биомониторинге и биоиндикации состояния почв в природных экосистемах.

Ключевые слова: клен ясенелистный, сомкнутость крон, почвенные ферменты, инвертаза, протеаза, фосфатаза.

DOI: 10.31857/S0024114821040112

Ферментативная активность почв является одним из важнейших показателей, характеризующих их биологическое состояние. Почвенные ферменты играют ведущую роль в биохимических процессах, происходящих в почве, и являются достаточно устойчивыми и чувствительными показателями при почвенной диагностике (Звягинцев, 1991; Хазиев, 2015). Являясь катализаторами химических реакций, они регулируют биохимические процессы, принимают участие в синтезе и распаде гумуса, гидролизе органических соединений, а также способствуют переводу элементов питания в формы, легкодоступные для растений. Ферменты, относящиеся к классу гидролаз (протеаза, фосфатаза, инвертаза), участвуют в основных процессах минерализации органических веществ и катализируют реакции гидролитического расщепления высокомолекулярных органических соединений. Протеазы участвуют в началь-

ных этапах минерализации белковых соединений и обуславливают динамику усвояемых форм азота. Фосфатазы катализируют гидролиз фосфорорганических веществ и регулируют интенсивность процессов мобилизации органического фосфора почвы. Активность фосфатазы тем выше, чем меньше в почве подвижных форм фосфора (Хазиев, 2005). Инвертаза участвует в биохимических превращениях углеводов, которые содержатся в почвенном органическом веществе, микроорганизмах и растениях в значительном количестве. Исследования некоторых авторов показали, что активность инвертазы лучше других ферментов отражает уровень плодородия и биологической активности почв (Казеев и др., 2003; Даденко и др., 2013а). Более высокая ферментативная активность характерна для верхних горизонтов почвы (0–10 см) по сравнению с более глубокими (20–30 см) (Сакбаева, 2014; Li et al., 2018; Yu et al., 2019). В течение вегетации активность почвенных ферментов повышается в период активного роста растений, а также при разло-

¹ Работа выполнена в рамках реализации государственного задания ФИЦ УУХ СО РАН (0352-2019-0015).

жении корневых и растительных остатков (Хежева и др., 2010; Hu et al., 2016; Moghimian et al., 2017).

Конкурентные взаимоотношения растительных сообществ в условиях природных ландшафтов ведут к усилению деятельности почвенных ферментных систем микроорганизмов и корневой системы растений (Гродзинский, 1965; Кавеленова и др., 2008; Saccone et al., 2010; Porté et al., 2011). Под влиянием насаждений клена ясенелистного в его подкрановом пространстве ферментативная активность почвы может претерпевать некоторые изменения, что приводит к сокращению площади напочвенного покрова, подавлению роста самосева и подроста растений, и препятствует их естественному возобновлению в природных сообществах (Ерёменко, 2014; Коношина и др., 2014; Веселкин и др., 2019; Лозбякова, Степанов, 2019). В настоящее время недостаточное внимание уделено особенностям изменения ферментативной активности почв под влиянием растительности, в частности в насаждениях *A. negundo*. На территории Кемеровской области данные исследования не проводились. В связи с этим, актуален поиск наиболее информативных диагностических показателей состояния почвы и ее ферментативной активности, что позволит расширить сведения об активности почвенных ферментов в конкретных почвенно-климатических условиях.

Цель работы – оценить ферментативную активность почвы под насаждениями *A. negundo* в условиях пойменных лесных биогеоценозов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследования проводили в насаждениях *Acer negundo* L. (клен ясенелистный) в пойме р. Томь в пределах г. Кемерово. Исследуемые насаждения оцениваются первой категорией жизненного состояния по шкале В.А. Алексеева, I классом бонитета, возраст деревьев – 25–30 лет, высота – 12–14 м. У одиночных деревьев диаметр кроны составлял 8–10 м, у деревьев средней и полной сомкнутости крон – 4–6 м. Живой напочвенный покров образован разнотравно-злаковым сообществом с преобладанием *Urtica dioica* L., *Poa pratensis* L., *Phleum pratense* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski., *Humulus lupulus* L., с общим проективным покрытием 20–90%. Почвы района исследований характерны для пойменных ландшафтов Кузнецкой котловины (Трофимов, 1975; Самаров, 2017), классифицируются как лугово-черноземные по эколого-генетической классификации почв СССР (Классификация ..., 1977), или как черноземе гидрометаморфизованные по профилльно-генетической классификации почв России (Полевой определитель ..., 2008), или как Gleyic Chernozems по классификации WRB (IUSS ..., 2014).

Отбор почвенных проб проводили в 2017–2019 гг. в начале (III декада мая), середине (III декада июля) и конце (III декада сентября) вегетационного периода. Почвенные пробы отбирали по категориям сомкнутости крон клена ясенелистного на учетных площадках: 1 – одиночные деревья в несомкнутых древостоях; 2 – деревья со средней (50–60%) сомкнутостью крон, 3 – деревья с высокой (100%) сомкнутостью крон. В качестве контроля (4) выбрана внешняя зона одиночных деревьев. Образцы почвы отбирали с каждого исследуемого варианта с глубины 0–10 см, поскольку основная биологическая активность и наибольшая биогенность присущи верхним горизонтам почвенного профиля (Хазиев, 2005).

Определение ферментативной активности почв проводили на свежеобработанном смешанном образце в трехкратной повторности. Активность инвертазы определяли по методу В.Ф. Купревича и Т.А. Щербаковой, активность протеазы – по методу А.Ш. Галстяна и Э.А. Арутюнян (Практикум ..., 2001), активность фосфатазы – по методу А.Ш. Галстяна (Титова, Козлов, 2012). Агрохимический анализ почвы на различных участках фитогенного поля в насаждениях клена ясенелистного проводили в аккредитованном испытательном центре агрохимической службы ФГУ ЦАС “Кемеровский”. Определяли реакцию почвенного раствора ($pH_{\text{сол}}$) (ГОСТ 26483-85), содержание гумуса (ГОСТ 26213-91), подвижные формы фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) (ГОСТ 26204-91), сумму поглощенных оснований (ГОСТ 27821-88), массовую долю нитратного (ГОСТ 26951-86) и общего азота (ГОСТ 26107-84). Статистическая обработка полученных данных и построение графиков выполнены с помощью стандартного пакета программ StatSoft STATISTICA 8.0. for Windows и Microsoft Office Excel 2007.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты агрохимических анализов показали, что исследуемые почвы характеризовались слабокислой и нейтральной реакцией солевой вытяжки (pH 5.9–6.5). Обеспеченность подвижными формами фосфора характеризуется как очень высокая и варьирует в пределах 610–1650 мг kg^{-1} , что в 2.4–6.6 раз превышает нижний предел данной градации обеспеченности (табл. 1). Некоторые исследователи отмечают, что повышенные концентрации фосфора в почве могут блокировать поступление в растения важнейших элементов питания и, как следствие этого, вызвать приостановку их роста (Адрианов, Сушеница, 2004; Balemil, Negisho, 2012; Ratliff, Fisk, 2016), что является опосредованной характеристикой аллелопатического воздействия *A. negundo*.

Таблица 1. Агрохимические показатели почвы на исследуемых площадках

Показатель	1	2	3	4
pH _(сол.)	6.5 ± 0.1*	6.1 ± 0.1	6.2 ± 0.1	5.9 ± 0.1
Гумус, %	7.6 ± 0.8	7.9 ± 0.8	10.6 ± 1.01	5.6 ± 0.6
P ₂ O ₅ , мг кг ⁻¹	1170 ± 140	610 ± 73	1650 ± 198	620 ± 74
K ₂ O, мг кг ⁻¹	290 ± 29	191 ± 19	400 ± 40	140 ± 14
N _{нитратный} , мг кг ⁻¹	26.3 ± 5.3	27.5 ± 5.5	58.9 ± 11.8	30.9 ± 6.2
N _{общий} , %	0.39 ± 0.03	0.35 ± 0.02	0.53 ± 0.03	0.30 ± 0.02
Сумма поглощенных оснований, ммоль × 100 г ⁻¹	42.4 ± 6.4	34.0 ± 5.1	43.2 ± 6.5	23.2 ± 3.5

* С учетом среднеарифметической ошибки. Примечание: Исследуемые участки: 1 – одиночные деревья в несомкнутых древостоях; 2 – деревья со средней (50–60%) сомкнутостью крон; 3 – деревья с высокой (100%) сомкнутостью крон; 4 – контроль (внешняя зона одиночных деревьев). Глубина отбора проб – 0–10 см.

Содержание нитратного азота по шкале Г.П. Гамзикова (1981) на пробных площадках колеблется на уровне высоких значений – от 26.3 до 58.9 мг кг⁻¹. Массовая доля общего азота в исследуемых почвах составила 0.30–0.53%, сумма поглощенных оснований – 23.2–43.2 ммоль × 100⁻¹ г. Содержание калия в почвах варьирует в пределах 140...400 мг·кг⁻¹ и соответствует среднему и высокому уровню (ГОСТ Р 54650-2011), причем, ниже всего в контроле. Содержание гумуса в почвах составляет 5.6–10.6%, что соответствует уровню высокогумусных луговых почв.

Сравнительный анализ агрохимических показателей почвы под насаждениями *A. negundo* показал, что более высокие показатели изучаемых параметров (подвижный фосфор и калий, азот нитратный и общий, гумус) характерны для почв пробных площадок под деревьями с высокой сомкнутостью крон, в сравнении с контролем и другими участками. Содержание азота в почве подтверждает зависимость между его количеством и органическим веществом. Со снижением содержания гумуса в почве следует снижение содержания азота, и, наоборот, с увеличением содержания гумуса увеличивается содержание азота. Так, для почв контрольного участка характерен минимальный уровень содержания органического вещества – 5.6%, а для почв под насаждениями клена на третьей учетной площадке – максимальный уровень (10.6%), при этом массовая доля общего азота составила 0.30 и 0.53% соответственно.

Анализ экспериментальных данных по ферментативной активности почвы показал, что более высокие показатели на исследуемых участках характерны для вегетационных периодов 2018–2019 гг., в сравнении с 2017 г. Очевидно, сезонные изменения активности ферментов связаны с различными гидротермическими условиями данных периодов. Климатические условия вегетационного периода 2017 г. характеризовались достаточ-

но теплой и влажной погодой. В мае среднемесячная температура воздуха составляла 11.7°C, что превышало среднегодовую норму на 0.5°C. Осадков выпало 24 мм (60% от нормы). В июле и августе отмечались понижение температуры (на 0.5–0.8°C ниже нормы) и избыток увлажнения (144–146% от нормы). Особенностью вегетации 2018 и 2019 гг. являлось понижение температуры воздуха (ниже нормы на 1–1.1°C) и увеличение влажности (153–198% от нормы) в начале и в середине вегетации, к концу вегетации среднемесячная температура превысила норму на 1.1–1.7°C, осадков выпало 51–70 мм (103–124% от нормы). Некоторые исследователи отмечают, что в активные фазы роста растений при высокой температуре почвы и достаточной влажности в летние месяцы активность почвенных ферментов максимальна (Даденко и др., 2013б; Фаизова, 2014; Хазиев, 2014). Наши исследования подтвердили данную закономерность. Выявлено, что наибольшая активность ферментов у контрольных и опытных образцов отмечена в период активного роста деревьев (июль), к концу вегетации установлено их понижение. Сравнительный анализ данных по активности гидролитических ферментов почвы под насаждениями *A. negundo* выявил некоторые различия у исследуемых образцов на площадках наблюдений. Активность инвертазы во всех почвенных образцах выше, чем активность протеазы и фосфатазы.

Анализ экспериментальных данных показал, что в течение вегетации во все сроки наблюдений активность инвертазы отличалась значительным варьированием по отношению к контролю (рис. 1). Так, у исследуемых почвенных образцов ферментативная активность варьировала в пределах от 30.20 до 56.93 мг глюкозы г⁻¹ × 24 ч⁻¹, что ниже на 2–23% относительно контроля. Более высокие показатели данного показателя отмечены в 2018 г., особенно в начале и середине вегетации в сравне-

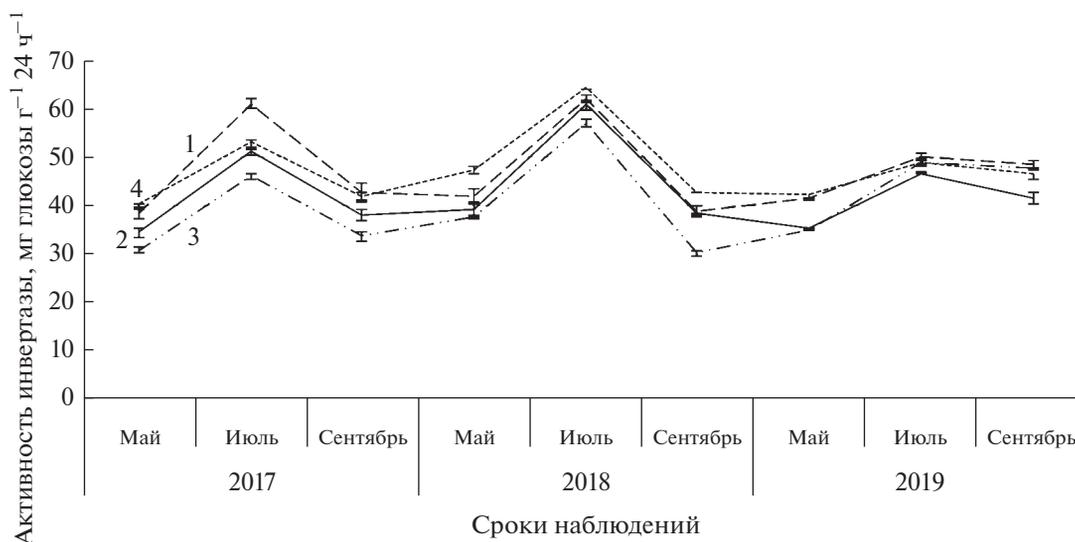


Рис. 1. Сезонная динамика активности инвертазы на исследуемых площадках. На рис. 1–3: 1 – одиночные деревья в несомкнутых древостоях; 2 – деревья со средней (50–60%) сомкнутостью крон; 3 – деревья с высокой (100%) сомкнутостью крон; 4 – контроль (внешняя зона одиночных деревьев).

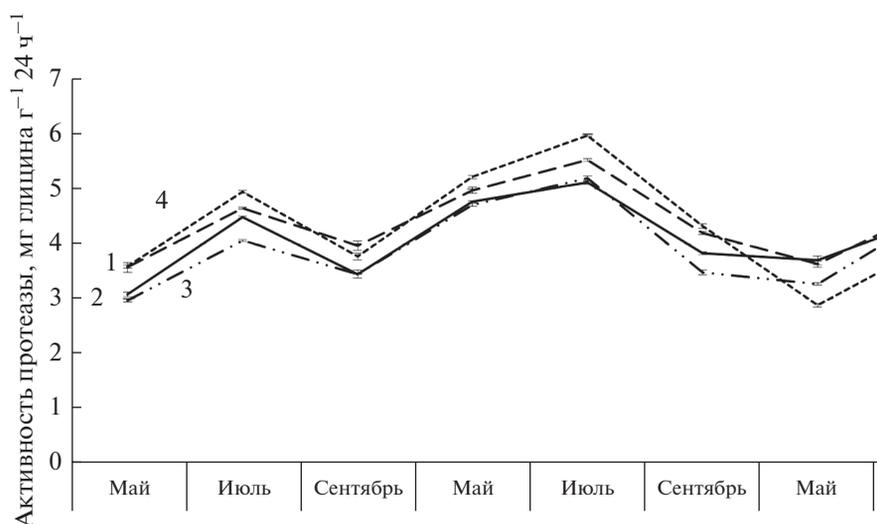


Рис. 2. Активность протеазы в течение вегетации на исследуемых площадках. Обозначения см. рис. 1.

нии с другими годами исследований. Так, активность фермента в мае составила 37.5–47.21 мг глюкозы г⁻¹ × 24 ч⁻¹, в июле – 56.93–64.21 мг глюкозы г⁻¹ × 24 ч⁻¹. Наибольшие отличия от контроля (11–21%) характерны для деревьев с высокой сомкнутостью крон. Согласно шкале сравнительной оценки биологической активности почвы, предложенной Э.И. Гапонюк и С.Г. Малаховым (Казеев и др., 2003), в мае и сентябре степень активности фермента характеризовалась как средняя, в июле – относительно высокая на всех исследуемых площадках.

В течение вегетации у контрольных и опытных почвенных образцов на учетных площадках ак-

тивность протеазы варьировала в пределах от 2.88 до 5.98 мг глицина г⁻¹ × 24 ч⁻¹ (рис. 2). Сравнительная характеристика исследуемых площадок выявила некоторые различия данного показателя в течение вегетации относительно контроля. Опытные образцы, собранные под одиночными деревьями в несомкнутых травостоях, характеризовались более высокими показателями протеолитической активности (3.57–5.53 мг глицина г⁻¹ × 24 ч⁻¹) в сравнении с другими исследуемыми участками. В вегетационный период 2019 г. значения по активности протеазы у этой категории деревьев превысили контроль на 12–26%. По анализу результатов исследований протеолитической ак-

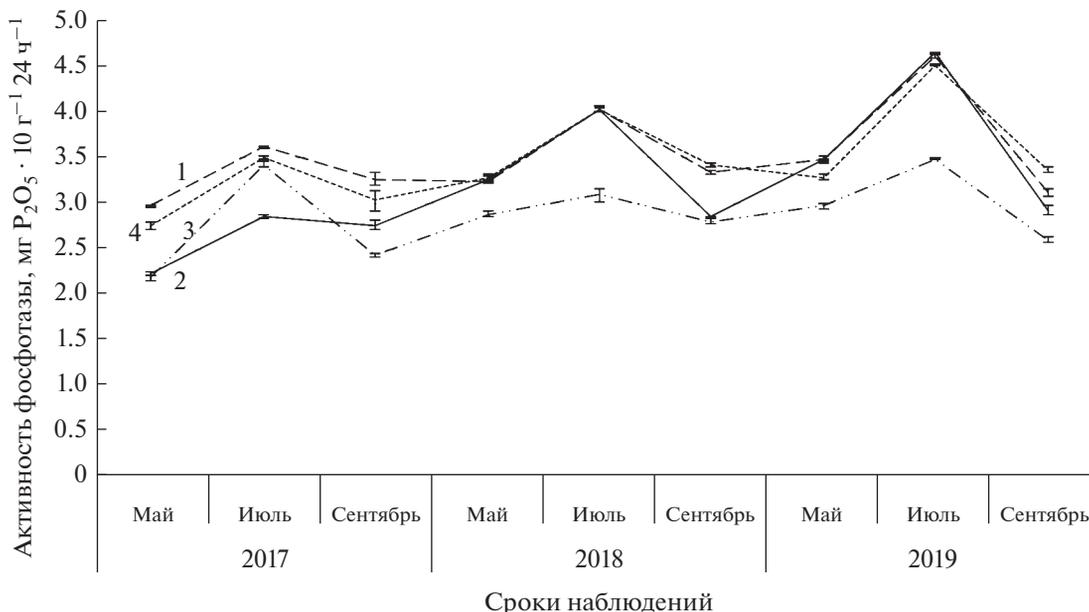


Рис. 3. Динамика активности фосфатазы в течение вегетации на исследуемых площадках. Обозначения см. рис. 1.

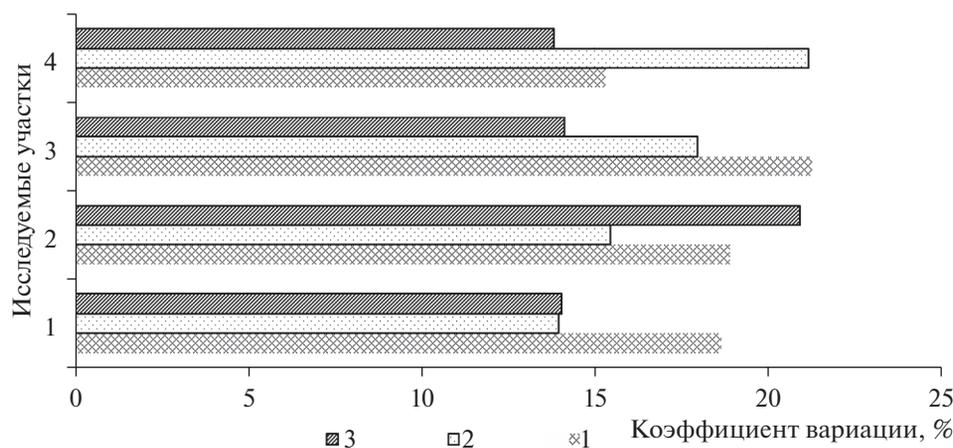


Рис. 4. Коэффициент вариации ферментативной активности почвы на исследуемых участках. Ферменты: 1 – фосфатаза; 2 – протеаза; 3 – инвертаза.

тивности установлено, что почва относится к средней степени активности.

Анализ данных по активности фосфатазы показал, что в течение вегетации она варьировала в пределах от 2.18 до 4.65 мг P₂O₅ × 10 г⁻¹ ч⁻¹. Это соответствовало средней степени активности почв. Более высокие показатели фосфатазной активности почвы на исследуемых участках отмечены в вегетационный период 2019 г. Так, в мае и июле активность фермента у деревьев в несомкнутых травостоях и со средней сомкнутостью крон выше в среднем на 4–5%, с высокой сомкнутостью крон – ниже на 17% относительно контроля. В сентябре все опытные образцы уступили контрольным значениям на 7–23% (рис. 3).

Анализ значений коэффициентов вариации почвенных ферментов выявил большую однородность активности протеазы и фосфатазы по сравнению с активностью инвертазы (рис. 4). Вариабельность активности протеазы и фосфатазы отличалась в почвах различных площадок наблюдений. Так, у одиночных деревьев в несомкнутых древостоях коэффициент вариации составил 13.97 и 14.06%, что меньше в 1–1.5 раза в сравнении с другими исследуемыми площадками. В результате анализа ферментативной активности почв было выявлено, что наиболее пригодными биоиндикационными признаками для почвенной оценки являются активность протеазы и фосфатазы.

На основе полученных экспериментальных данных проведен расчет корреляционных связей между агрохимическими свойствами почв под насаждениями клена ясенелистного на исследуемых площадках и активностью почвенных ферментов. Наиболее тесная отрицательная связь обнаружена между активностью почвенных ферментов, особенно инвертазы и фосфатазы, и содержанием гумуса ($r = -0.42...-0.44$), нитратного и общего азота ($r = -0.31...-0.39$, при $p < 0.05$, $N = 189$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Под насаждениями клена ясенелистного в условиях пойменных лесных биогеоценозов выявлен средний уровень активности гидролитических почвенных ферментов. Наибольший уровень ферментативной активности выявлен возле одиночных деревьев *A. negundo* в несомкнутых древостоях по сравнению с другими группами деревьев и контролем. Почвенные образцы характеризовались наименьшей вариабельностью по активности протеазы и фосфатазы в сравнении с активностью инвертазы. У одиночных деревьев в несомкнутых древостоях коэффициент вариации ниже в 1.5 раза в сравнении с другими исследуемыми площадками. Наиболее тесная отрицательная связь обнаружена между активностью почвенных ферментов под насаждениями *A. negundo* и содержанием гумуса, общего и нитратного азота. Полученные данные можно использовать в качестве диагностических признаков состояния почвы, при биодиагностике, биомониторинге и биоиндикации почв в природных экосистемах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Адрианов С.Н., Сушеница Б.А. Роль фосфора в современном земледелии // Плодородие. 2004. № 3(18). С. 13–16.
- Веселкин Д.В., Рафикова О.С., Екшибаров Е.Д. Почва из зарослей инвазивного *Acer negundo* неблагоприятна для образования микоризы у аборигенных трав // Журн. общей биологии. 2019. Т. 80. № 3. С. 214–225.
- Гамзиков Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири. М.: Наука, 1981. 267 с.
- ГОСТ 26107-84 ПОЧВЫ. Методы определения общего азота. М.: Издательство стандартов, 1984.
- ГОСТ 26483-85 Почвы. Определение рН солевой вытяжки, обменной кислотности, обменных катионов, содержания нитратов, обменного аммония и подвижной серы методами ЦИНАО: Сб. ГОСТов. М.: Издательство стандартов, 1985.
- ГОСТ 26951-86 Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом. М.: Издательство стандартов, 1986.
- ГОСТ 27821-88 Почвы. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена. М.: Издательство стандартов, 1988.
- ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Издательство стандартов, 1992.
- ГОСТ 26204-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. М.: Издательство стандартов, 1992.
- ГОСТ Р 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2013.
- Гродзинский А.М. Аллелопатия в жизни растений и их сообществ: основы химического взаимодействия растений. Киев: Наукова думка, 1965. 198 с.
- Даденко Е.В., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Оценка применимости показателей ферментативной активности в биодиагностике и мониторинге почв // Поволжский экологический журн. 2013а. № 4. С. 385–393.
- Даденко Е.В., Мясникова М.А., Чернокалова Е.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Сезонная динамика ферментативной активности чернозема обыкновенного // Современные проблемы науки и образования. 2013б. № 6. С. 743.
- Ерёменко Ю.А. Аллелопатическая активность инвазивных древесных видов // Российский журнал биологических инвазий. 2014. № 2. С. 33–39.
- Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
- Кавеленова Л.М., Вандышева Е.А., Розно С.А. Влияние древесных интродуцентов на некоторые показатели почвы в условиях дендрария ботанического сада // Бюллетень Самарская Лука. 2008. Т. 17. № 2. С. 407–415.
- Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовский гос. университет, 2003. 216 с.
- Классификация и диагностика почв СССР / Сост. В.В. Егоров, В.М. Фридрих, Е.Н. Иванова, Н.Н. Розов и др. М.: Колос, 1977. 221 с.
- Коношина С.Н., Хилкова Н.Л., Прудникова Е.Г. Аллелопатическая активность листового опада древесных растений Орловской области // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки. 2014. № 3. С. 152–155.
- 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.
- Полевой определитель почв России / Под ред. Остриковой К.Т. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
- Практикум по агрохимии / Под. ред. Минеева В.Г. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
- Сакбаева З.И. Влияние ферментативной активности фосфатаз на экологическое состояние сероземных почв предгорий Ферганы // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. С. 615.
- Самаров В.М. Почвы и климат Кузнецкой котловины: Учеб. пособие. Кемерово: ИИО Кемеровского ГСХИ, 2017. 79 с.
- Титова В.И., Козлов А.В. Методы оценки функционирования микробиоценоза почвы, участвующего в

- трансформации органического вещества: Научно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородская сельскохозяйственная академия, 2012. 64 с.
- Трофимов С.С. Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области. Новосибирск: Наука, 1975. 299 с.
- Фаизова В.И. Ферментативная активность черноземов Центрального Предкавказья // Вестник АПК Ставрополья. 2014. № 3(15). С. 154–157.
- Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
- Хазиев Ф.Х. Ретроспективы и проблемы почвенно-энзимологических исследований в Башкортостане // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2014. Т. 19. № 3. С. 5–15.
- Хазиев Ф.Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2015. Т. 20. № 2(78). 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 НЦ РАН. 2010. Т. 12. № 1(4). С. 1075–1078.
- Balemil T., Negisho K. Management of soil phosphorus and plant adaptation mechanisms to phosphorus stress for sustainable crop production: a review // Journal of Soil Science & Plant Nutrition. 2012. V. 12(3). P. 547–561. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162012005000015>
- 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. V. 137. P. 526–535. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.10.022>
- IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. N 106. Rome: FAO. 2014. 181 p.
- 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. V. 111. P. 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.11.006>
- 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. V. 157. P. 407–414. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.06.003>
- 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. <https://doi.org/10.1186/1472-6785-11-28>
- Ratliff T.J., Fisk M.C. Phosphatase activity is related to N availability but not P availability across hardwood forests in the northeastern United States // Soil Biology & Biochemistry. 2016. V. 94. P. 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.11.009>
- Saccone P., Pagès J.P., Girel J., Brun J.J., Michalet R. *Acer negundo* invasion along a successional gradient: early direct facilitation by native pioneers and late indirect facilitation by conspecifics // New Phytologist. 2010. V. 187. P. 831–842. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03289>
- Yu P., Tang X., Zhang A., Fan G., Liu Sh. Responses of soil specific enzyme activities to short-term land use conversions in a salt-affected region, northeastern China // Science of The Total Environment. 2019. V. 687. P. 939–945. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.171>

Soils' Enzymatic Activity Under the Boxelder Maple in Floodland Forest Biogeocenoses

O. L. Tsandekova^{1,*} and V. I. Ufimtsev¹

¹Federal Research Centre of Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch of RAS,
Leningradsky prosp 10, Kemerovo, 650065 Russia

*E-mail: zandekova@bk.ru

The study has been conducted regarding the activity of soil enzymes under the boxelder maple stands growing in the floodplain of the river Tom' within the city of Kemerovo. Soil samples have been taken on plots with three categories of tree crowns density. The outer zone of single trees was selected as a control plot. Mixed soil samples were collected from the 0–10 cm layer at the beginning, in the middle and at the end of the vegetation seasons in 2017–2019, and the activity of hydrolytic enzymes (protease, phosphatase, and invertase) was determined. The highest level of hydrolytic soil enzymes activity was observed near single *A. negundo* trees in thin stands. The least seasonal variability was found for the activity of protease and phosphatase. Single trees in the thin stands had the coefficient of variation of enzymatic activity 1.5 times lower than in other studied samples. The closest negative correlation was determined between the activity of soil enzymes under *A. negundo* stands and the content of humus, total and nitrate nitrogen. The data obtained on the enzymatic activity can serve as one of the indicators of the soils' biological activity in forest stands, and can be used in biodiagnostics, biomonitoring and bioindication of the soils' state in natural ecosystems.

Keywords: boxelder maple, crowns density, soil enzymes, invertase, protease, phosphatase.

Acknowledgements: The study has been carried out within the framework of the state contract with the Federal Research Centre of Coal and Coal Chemistry (0352-2019-0015).

REFERENCES

- Adrianov S.N., Sushenitsa B.A., Rol' fosfora v sovremenom zemledelii (The role of phosphorus in modern agriculture), *Plodorodie*, 2004, No. 3 (18), pp. 13–16.
- Balemil T., Negisho K., Management of soil phosphorus and plant adaptation mechanisms to phosphorus stress for sustainable crop production: a review, *Journal of Soil Science & Plant Nutrition*, 2012, Vol. 12(3), pp. 547–561, <http://doi.org/10.4067/S0718-95162012005000015>
- Dadenko E.V., Denisova T.V., Kazeev K.S., Kolesnikov S.I., Otsenka primenimosti pokazatelei fermentativnoi aktivnosti v biodiagnostike i monitoringe pochv (Applicability of enzyme activity indices for soil bioindication and monitoring), *Povolzhskii ekologicheskii zhurnal*, 2013a, No. 4, pp. 385–393.
- Dadenko E.V., Myasnikova M.A., Chernokalova E.V., Kazeev K.S., Kolesnikov S.I., Sezonnaya dinamika fermentativnoi aktivnosti chernozema obyknovennogo (Seasonal variations of ordinary chernozem), *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2013, No. 6, pp. 743.
- Egorov V.V., Fridland V.M., Rozov N.N., Nosin V.A., Friev T.A., *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR (Classification and diagnostics of the soils of USSR)*, Moscow: Kolos, 1977, 224 p.
- Eremenko Y.A., Allelopaticeskaya aktivnost' invazionnykh drevesnykh vidov (Allelopathic activity of invasive arboreal species), *Rossiiskii zhurnal biologicheskikh invazii*, 2014, No. 2, pp. 33–39.
- Faizova V.I., Fermentativnaya aktivnost' chernozemov Tsentral'nogo Predkavkaz'ya (Enzymatic activity of black earths of central North-Caucasus region), *Vestnik APK Stavropol'ya*, 2014, No. 3(15), pp. 154–157.
- Gamzikov G.P., Azot v zemledelii Zapadnoi Sibiri (*Nitrogen in agriculture in Western Siberia*), Moscow: Nauka, 1981, 267 p.
- GOST 26107-84.
- GOST 26204-91.
- GOST 26213-91.
- GOST 26483-85.
- GOST 26951-86.
- GOST 27821-88.
- GOST R 54650-2011.
- Grodzinskii A.M., *Allelopatiya v zhizni rastenii i ikh soobshchestv: osnovy khimicheskogo vzaimodeistviya rastenii* (Allelopathy in the life of plants and their communities: the basics of the chemical interaction of plants), Kiev: Naukova dumka, 1965, 198 p.
- 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, <http://doi.org/10.1016/j.catena.2015.10.022>
- IUSS Working Group WRB, *World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports, No. 106, Rome: FAO, 2014, 181 p.
- Kavelenova L.M., Vandysheva E.A., Rozno S.A., Vliyanie drevesnykh introdutsentov na nekotorye pokazateli pochvy v usloviyakh dendrariya botanicheskogo sada (On the influence of tree introducents on some soil parameters in dendrarium planting), *Byulleten' Samarskaya Luka*, 2008, Vol. 17, No. 2, pp. 407–415.
- Kazeev K.S., 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: Izd-vo Rostovskii gos. universitet, 2003, 216 p.
- Khaziev F.K., Funktsional'naya rol' fermentov v pochvennykh protsessakh (Functional role of enzymes in soil processes), *Vestnik Akademii nauk Respubliki Bashkortostan*, 2015, Vol. 20, No. 2(78), pp. 14–24.
- Khaziev F.K., *Metody pochvennoi enzimologii* (Methods of soil enzymology), Moscow: Nauka, 2005, 251 p.
- Khaziev F.K., Retrospektivy i problemy pochvenno-enzimologicheskikh issledovaniy v Bashkortostane (Research on soil enzymology in the Institute of biology, USC RAS: retrospections and problems), *Vestnik Akademii nauk Respubliki Bashkortostan*, 2014, Vol. 19, No. 3, pp. 5–15.
- Khezheva F.V., Uligova T.S., Tembotov R.K., Otsenka fermentativnoi aktivnosti chernozemov estestvennykh biotsenozov stepnoi zony i lesostepnogo poyasa Tsentral'nogo Kavkaza (Estimation of black earth fermentation activity of natural biocoenosis of steppe zone and forest-steppe zone of Central Caucasus), *Izvestiya Samarskogo NTs RAN*, 2010, Vol. 12, No. 1(4), pp. 1075–1078.
- Konoshina S.N., Khilkova N.L., Prudnikova E.G., Allelopaticeskaya aktivnost' listovogo opada drevesnykh rastenii Orlovskoi oblasti (Allelopathic activity of leaf litter fall of woody plants in Oryol region), *Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye, tekhnicheskii i meditsinskii nauki*, 2014, No. 3, pp. 152–155.
- 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, <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.11.006>
- Lozbyakova A.I., Stepanov M.V., Vliyanie khimicheskikh veshchestv iz opada list'ev klena ostrolistnogo (The influence of chemical substances from leaf litter of norway maple), *Samarskaya Luka: problemy regional'noi i global'noi ekologii*, 2019, Vol. 28, No. 1, pp. 100–102.
- 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, <http://doi.org/10.1016/j.catena.2017.06.003>
- Polevoi opredelitel' pochv Rossii* (Soils field guide of Russia), Moscow: Pochvennyi in-t im. V.V. Dokuchaeva, 2008, 182 p.
- 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, pp. 11–28, <http://doi.org/10.1186/1472-6785-11-28>
- Praktikum po agrokhimii*, (Practical guide on agrochemistry), Moscow: Izd-vo MGU, 2001, 689 p.
- Ratliff T.J., Fisk M.C., Phosphatase activity is related to N availability but not P availability across hardwood forests in

- the northeastern United States, *Soil Biology & Biochemistry*, 2016, Vol. 94, pp. 61–69, <http://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.11.009>
- Saccone P., Pagès J.P., Girel J., Brun J.J., Michalet R., *Acer negundo* invasion along a successional gradient: early direct facilitation by native pioneers and late indirect facilitation by conspecifics, *New Phytologist*, 2010, Vol. 187, pp 831–842, <http://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03289>
- Sakbaeva Z.I., Vliyanie fermentativnoi aktivnosti fosfataz na ekologicheskoe sostoyanie serozemnykh pochv predgorii Fergany (The influence of phosphatase enzyme activity on the ecological condition of sierozem soils of Fergana foothills), *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2014, No. 5, pp. 615.
- Samarov V.M., *Pochvy i klimat Kuznetskoi kotloviny* (Soils and climate of the Kuznetsk Basin), Kemerovo: ИО Кемеровского ГСХИ, 2017, 79 p.
- Titova V.I., Kozlov A.V., *Metody otsenki funktsionirovaniya mikrobotsenoza pochvy, uchastvuyushchego v transformatsii organicheskogo veshchestva* (Methods for assessing the functioning of soil microbocenosis involved in the transformation of organic matter), Nizhny Novgorod: Izd-vo Nizhegorodskaya s.-kh. akademiya, 2012, 64 p.
- Trofimov S.S., *Ekologiya pochv i pochvennye resursy Kemerovskoi oblasti* (Ecology of soils and soil resources of the Kemerovo region), Novosibirsk: Nauka, 1975, 300 p.
- 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.
- Yu P., Tang X., Zhang A., Fan G., Liu Sh., Responses of soil specific enzyme activities to short-term land use conversions in a salt-affected region, northeastern China, *Science of The Total Environment*, 2019, Vol. 687, pp. 939–945, <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.171>
- Zvyagintsev D.G., *Metody pochvennoi mikrobiologii i biokhimi* (Methods of soil biology and biochemistry), Moscow: Izd-vo MGU, 1991, 304 p.