

АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СОСТОЯНИЯ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОЧВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ЗОНАХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Н.М. ШЕБАЛОВА,

*кандидат технических наук, доцент,
Уральский ГЛТУ, г. Екатеринбург*



Ключевые слова: *лесная почва, загрязнение, фтор, ферменты.*

Установление связи активности ферментов лесных почв с экологическими факторами является важной предпосылкой для диагностики процессов биотической деструкции органического вещества и специфики почвообразования в разных зонах загрязнения, а также возможности использования показателей ферментативной активности для функциональной диагностики лесных почв в условиях техногенного загрязнения. Формирование и функционирование ферментативной активности лесных почв – сложный и многофакторный процесс, представляющий собой единство экологических обусловленных процессов поступления, стабилизации и проявления активности ферментов в почве. Этот процесс, в конечном счете, определяет интенсивность продуцирования ферментов, степень их мобилизации и уровень активности. Формирование определенного уровня ферментативной активности в каждом конкретном горизонте является процессом историческим, отражающим функционирование и эволюцию всех главнейших составляющих почвообразовательного процесса.

Ряд исследователей считают, что основными продуцентами ферментов являются бактерии и грибы, отмечая тесную корреляционную связь между активностью ферментов и количеством микроорганизмов [1, 2, 4, 5]. Другие отрицают наличие такой связи и предполагают, что важнейшую роль в поступлении ферментов в почву играет характер растительного покрова, с которым тесно связан биохимический и химический состав опада и подстилки, а также различные темпы их разложения [3].

Для сравнительного анализа были выбраны лесные почвы зоны действия Полевского криолитового завода (ПКЗ)

и Первоуральско-Ревдинского промышленного узла (ПРПУ). Лесные территории ПКЗ в течение многих лет подвергаются воздействию комплекса токсикантов с превалированием фтористых соединений, токсичность которых в десятки раз превосходит токсичность окислов азота и сернистого газа. Фториды не участвуют в обмене и с большим трудом подвергаются детоксикации. В зоне действия ПРПУ сочетаются токсическое воздействие тяжелых металлов и сернистого ангидрида. Насаждения на всех исследуемых ППП по растительным и гидротермическим условиям примерно одинаковы. Тип леса – сосняк разнотравный. Почвенные условия исследуемых сосняков достаточно близки друг к другу. В обоих районах преобладают серые лесные среднеподзоленные почвы, характерной особенностью которых является то, что лесная подстилка дифференцируется только на два горизонта. Это горизонт 01, представленный свежеопавшей хвоей, листьями, злаками, и ферментативно-гумусовый горизонт (02-03), где происходят основные процессы разложения растительного опада и гумификации.

Цель и методика исследований

Действие ферментов строго избирательно, поэтому в работе основное внимание уделено исследованию ферментов, определяющих главные звенья круговорота органических веществ. Это оксидоредуктазы, играющие важную роль в обмене веществ и энергии, и гидролазы, расщепляющие сложноэфирные, глюкозидные, пептидные и другие связи в органических соединениях, обогащая почву подвижными и доступными растениям и микроорганизмам питательными веществами.

Прежде чем перейти к рассмотре-

нию данных по активности ферментов лесной почвы, следует отметить, что они в лесной подстилке могут иметь двойную природу. В верхнем горизонте лесной подстилки это остатки ферментов растений и эпифитной микрофлоры, бывших в свежем опаде, а также ферменты микроорганизмов, развивающихся в лесной подстилке в процессе ее разложения. К сожалению, в настоящее время нет возможности отделить ферменты опада от ферментов микроорганизмов, поэтому в настоящих исследованиях речь пойдет о суммарной их активности. В нижележащих горизонтах лесной подстилки, наиболее мощных по запасам органического вещества, активность ферментов в основном обусловлена деятельностью микромицетов, бактерий, беспозвоночных животных.

Для определения относительной суммарной активности ферментов использовали метод насыщающих концентраций вносимого субстрата. Суммарную активность фермента выражали в единицах ферментативного действия, что представляет собой количественное изменение субстрата под действием фермента за определенный промежуток времени. Активность каталазы определяли газометрическим методом по измерению скорости разложения перекиси водорода. Активность протеазы определялась по образованию продуктов гидролиза белков и реакции их с реактивом Фолина, целлюлазы – фотометрическим методом определения глюкозы, образовавшейся в результате расщепления целлюлозы. Активность инвертазы изучали по реакции сахаров с 3,5-динитросалициловой кислотой, в результате чего кислота превращается в 3-амино-5-нитросалициловую кислоту, имеющую желто-оранжевый цвет. Ак-

Wood ground, pollution, fluorine, enzymes.

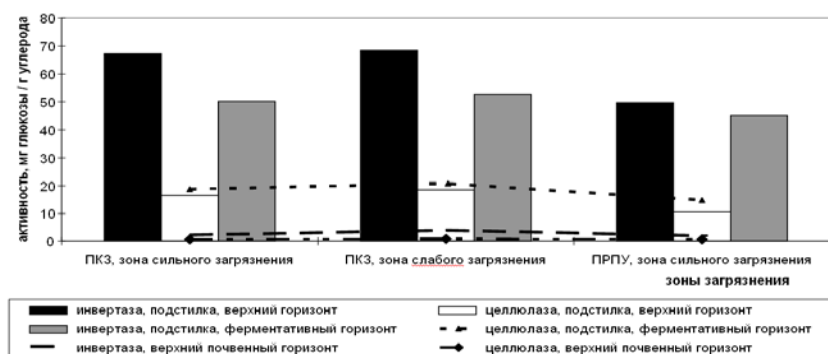


Рисунок 1. Активность ферментов в горизонтах лесной подстилки и верхнем почвенном горизонте, расположенных в разных зонах загрязнения

тивность пероксидазы определяли модифицированным методом Бояркина по изменению скорости окисления бензидина перекисью водорода до образования окрашенного продукта определенной концентрации [6].

Поскольку анализ образцов лесной подстилки, почвы и хвои связан с доставкой их в лаборатории, было проведено исследование влияния времени отбора образцов и условий их хранения на изучаемые показатели. Достоверность результатов и обоснованность выводов обеспечена проведением длительных многолетних исследований; анализом большого по объему фактического материала, собранного авторами с использованием современных методик; статистической обработкой материала на разных этапах работы, сопровождающейся выявлением степени изменчивости изучаемого признака.

Конечно, по годам исследований в зависимости от гидротермических факторов и экологических условий активность ферментов лесной почвы изменялась в широких пределах, но, несмотря на это, довольно отчетливо прослеживалась общая тенденция изменения уровня активности изученных ферментов в зависимости от степени накопления в исследуемых горизонтах лесной подстилки и гумусовом почвенном горизонте загрязняющих веществ.

Результаты исследований

Основную массу разлагающихся в почве органических веществ составляют полимеры, которые, попадая в почву, подвергаются ферментативному гидролизу, превращаясь в доступные растениям и микроорганизмам питательные вещества. Наибольшее значение имеют ферменты, расщепляющие сложноеэфирные, глюкозидные, пептидные и некоторые другие связи органических соединений. В горизонтах лесной подстилки в течение всего вегетационного периода сохраняется довольно высокий уровень активности протеазы, свидетельствующий о том, что в них содержится недостаточное количество азота и для пополнения его содержания интенсифицируются процессы реутилизации азота из азотсодержащих органических веществ. Наиболее высокая активность протеазы приурочена к верхнему горизонту

лесной подстилки, органическое вещество которого еще слабо минерализовано. По мере увеличения степени разложения органического вещества уровень активности энзима в ферментативном горизонте подстилки по сравнению с верхним горизонтом снижается в зоне сильного загрязнения ПКЗ на 10,8-22,2% и в зоне слабого загрязнения - на 10,8-15,7%. Еще более резко уменьшается активность протеазы в гумусовом почвенном горизонте. Уровень активности фермента в исследуемых горизонтах лесной почвы в зоне сильного загрязнения ПРПУ практически такой же, что и в зоне сильного загрязнения ПКЗ.

Горизонты лесной подстилки характеризуются и высоким уровнем инвертазной активности, особенно ее верхний слабоминерализованный горизонт (рис. 1). В ферментативном горизонте активность энзима снижается по сравнению с верхним горизонтом на 25,0-50,0%. Довольно резко снижается активность инвертазы по сравнению с горизонтами лесной подстилки (в 30-35 раз) выявлено в гумусовом почвенном горизонте. Распределение фермента по горизонтам лесной подстилки и почвы определяется содержанием легкогидролизуемых углеводных соединений в каждом из них. Наиболее существенное влияние на уровень инвертазной активности оказывает и химическая природа аккумулированных токсических веществ. В зоне сильного загрязнения ПРПУ активность фермента верхнего горизонта подстилки ниже на 34,0-35,1%, а в ферментативном - на 11,6-12,4%, чем в аналогичных горизонтах зоны ПКЗ.

Выявлено (рис. 1), что среди ферментов, катализирующих процесс разложения углеводов, активность целлюлазы самая низкая. В зависимости от степени разложения органического вещества опада и содержания токсикантов в исследуемом горизонте лесной подстилки она в 2,3-4,9 раза ниже уровня активности инвертазы. Такое соотношение уровней энзимов, участвующих в распаде углеводов, свидетельствует о более высокой степени расщепления легкогидролизуемых углеводов в исследуемых горизонтах лесной почвы, служащих основным энергетическим материалом для почвенной микрофлоры, и об

очень медленном разложении клетчатки, а, следовательно, и растительного опада, поскольку целлюлоза является одним из его основных компонентов, а также о сравнительно низком уровне обеспеченности почв доступными для растений и микроорганизмов формами углеводов. Кроме того, низкая интенсивность минерализации клетчатки в горизонтах лесной почвы способствует накоплению растительного опада на поверхности почв.

Концентрация токсических веществ оказывает существенное влияние на уровень пероксидазной активности. Из данных, представленных на рисунке 2, видно, что чем выше концентрация аккумулированного токсиканта, тем активнее фермент. В верхнем горизонте лесной подстилки, аккумулирующем фтора до 930 мкг/г углерода, активность энзима в 1,8-2,1 раза ниже, чем в ферментативном горизонте лесной подстилки, содержащей фтор-иона до 19894 мкг/г углерода. Последнее подтверждает предположение о том, что фтор-ион способен инициировать появление перекисных соединений, необходимых для деятельности данного фермента. На изменение уровня активности огромное влияние оказывает химическая природа накопленных в почве поллютантов. Так, в зоне сильного загрязнения ПРПУ по сравнению с таковой в районе ПКЗ уровень активности пероксидазы снижается в верхнем горизонте лесной подстилки в 2,7-2,8; в ферментативном горизонте - в 2,9-3,2; в гумусовом почвенном горизонте - в 3,9-4,5 раза.

Наибольшей каталазной активностью (рис. 3), свидетельствующей о количестве кислорода, выделившегося при разложении перекиси водорода, обладает лесная подстилка, а именно ее ферментативный горизонт. Вблизи ПКЗ активность каталазы верхнего горизонта подстилки колеблется в пределах от 22,7 до 31,8 см³ O₂; в нижележащем горизонте - от 35,2 до 43,1 и в гумусовом слое - от 9,9 до 11,3 см³ O₂. В зоне слабого загрязнения активность энзима в лесной подстилке увеличивается на 20,0-26,6, а в гумусовом горизонте - на 5,0-9,3%. Активность каталазы в зоне ПРПУ в 2-3, а то и в 4 раза ниже, чем в тех же горизонтах лесной подстилки и почвы зоны ПКЗ. Уровень полифенолоксидазы в гумусово-аккумулятивном горизонте исследуемых лесных почв и активность энзима меньше, чем в горизонтах лесной подстилки, в 4,5-6,2 раза и зависит от времени года, химической природы и концентрации токсикантов. Оценивая степень обогащенности исследованных лесных почв дегидрогеназой, следует также отметить, что характер распределения фермента в лесной почве зависит в основном от содержания органического вещества растительного опада, а не от концентрации накопленных в исследуемых горизонтах загрязняющих веществ. Максимум дегидрогеназной активности свойственен лесной под-

Таблица

Таксационные и морфометрические показатели сосны обыкновенной, произрастающей в зонах техногенного загрязнения ПКЗ

Показатели	Зона сильного загрязнения				Зона слабого загрязнения			
	нормально вегетирующие		угнетенные		нормально вегетирующие		угнетенные	
	хвоя 1-го года жизни	хвоя 2-го года жизни	хвоя 1-го года жизни	хвоя 2-го года жизни	хвоя 1-го года жизни	хвоя 2-го года жизни	хвоя 1-го года жизни	хвоя 2-го года жизни
Высота дерева, м	9,9	–	8,2	–	13,9	–	13,3	–
Диаметр ствола на высоте 1,3 м, см	20,3	–	18,1	–	22,9	–	22,3	–
Длина хвои, см	5,7	5,7	5,2	5,2	5,8	5,8	5,4	5,4
Продолжительность жизни хвои, лет	2,0-2,5	–	2,0-2,5	–	3,0-3,5	–	–	3,0-3,5
Степень поражения хвои по длине, %	2,7	7,9	3,5	14,2	0,4	0,9	1,2	1,7
Высота кроны, м	8,3	–	7,1	–	12,1	–	11,6	–
Ширина кроны, м	5,8	–	5,0	–	6,5	–	6,0	–
Высота до первого живого сучка, м	1,4	–	1,1	–	1,8	–	1,7	–

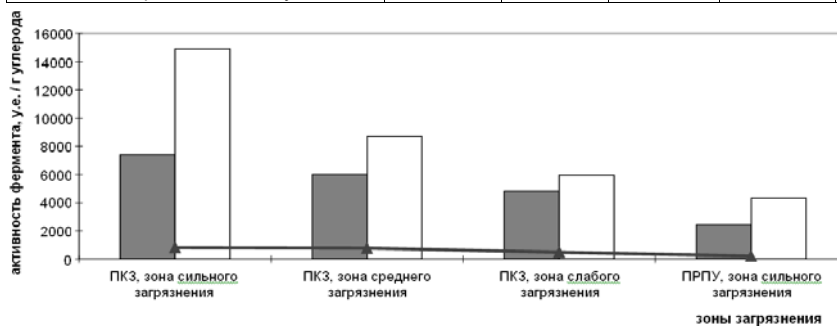


Рисунок 2. Активность пероксидазы в горизонтах лесной подстилки и почвы, расположенных в зонах техногенного загрязнения

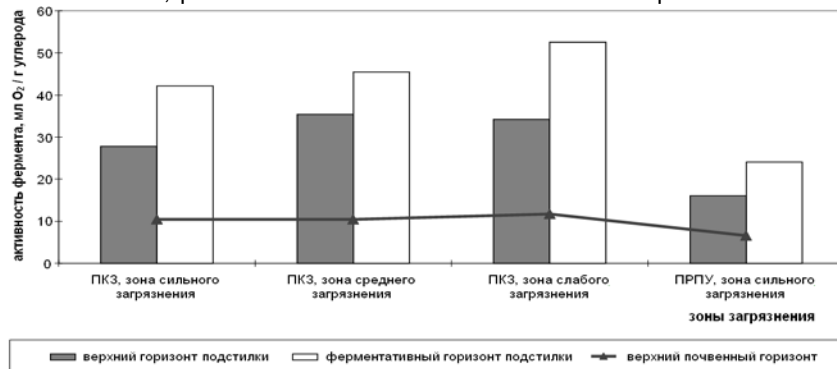


Рисунок 3. Активность каталазы в горизонтах лесной почвы, расположенных в техногенных зонах

стилке, особенно ее ферментативному горизонту. Уровень активности дегидрогеназы в горизонтах лесной почвы зависит так же, как и у других изученных ферментов, от времени года.

Выводы

Сложный комплекс загрязнителей, присутствующий в атмосфере, оказывает существенное влияние на характер и глубину ферментативного потенциала горизонтов лесной почвы. Суще-

ственное различие в уровнях активности ферментов обуславливается степенью аккумуляции промышленных токсикантов и их химической природой. Инвертазная активность горизонтов лесной подстилки зоны сильного загрязнения ПКЗ в течение всего вегетационного периода выше целлюлазной активности в 2,5-4,0 раза. Наиболее существенное различие между уровнями активности данных ферментов, ката-

лизирующих процессы разложения углеводов, - в зоне сильного загрязнения ПРПУ, где активность инвертазы превышает уровень целлюлазы подстилки в 3,3-4,9 раза. То есть легкогидролизуемые углеводы, служащие основным энергетическим материалом для почвенной микрофлоры, гидролизуются быстрее, чем целлюлоза. Низкая интенсивность минерализации клетчатки в горизонтах лесной почвы способствует накоплению растительного опада на поверхности почв. Следовательно, лесные почвы, расположенные в зонах техногенного загрязнения, обладают низким уровнем обеспеченности доступными для растений и микроорганизмов формами углеводов.

Чем выше концентрация токсических веществ, аккумулированных горизонтом лесной почвы, тем выше уровень пероксидазной активности, и наоборот. Это подтверждает предположение о том, что фтор-ион способен инициировать появление перекисных соединений, необходимых для деятельности данного фермента. Следовательно, в лесной почве находится достаточно большое количество перекисных соединений, способных вызвать генные мутации, обуславливающие в той или иной степени выраженные нарушения метаболизма.

Длительное азротехногенное загрязнение лесной подстилки и почвы превращается в ведущий экологический фактор, определяющий ферментативную активность лесных почв, что, в свою очередь, ведет к снижению лесорастительных свойств почв и ухудшению устойчивости растительности к промышленным эмиссиям. Особенно существенно это сказывается на хвойных деревьях, вызывая угнетение физиологического состояния древостоя в целом (таб.).

Литература

1. Купревич В. Ф., Щербаква Т. А. Почвенная энзимология. Минск : Наука и техника, 1966. С. 274.
2. Малюкович А. И. Экологическая роль почвенных ферментов в биогеоценозах высотного профиля Украинских Карпат. Львов : ЛГУ, 1990. С. 17.
3. Мирчинк Т. Г. Почвенная микология. М. : Изд-во МГУ, 1988. С. 220.
4. Хазиев Ф. Х. Почвенные ферменты. М. : Знание, 1972. С. 70.
5. Хазиев Ф. Х. Ферментативная активность почв. М. : Знание, 1976. С. 276.
6. Практикум по агрохимии / под ред. В. Г. Минеева. М. : Изд-во МГУ, 1983. С. 304.