

Промышленная экология и биотехнологии. Экология (по отраслям)

УДК 577.151:631.44:628.4.032

ГРНТИ 34.35.51

ПОЛИФЕНОЛОКСИДАЗНАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВЫ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Дроздова Наталья Ивановна

к.х.н., доцент, заведующий кафедрой химии

Шихалова Анастасия Андреевна

магистрант биологического факультета

УО «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины»

Республика Беларусь, г. Гомель

Аннотация: Проведен анализ полифенолоксидазной активности почвы территорий, сопредельных с санитарно-защитными зонами полигона твердых коммунальных отходов г. Гомеля. Установлено, что для дерново-подзолистых почв характерна слабая активность фермента полифенолоксидазы (менее 1 мл 0,01 н I₂ / 1 г почвы). Анализ сезонной динамики активности полифенолоксидазы в летне-осенний период 2021 год не выявил статистически значимых различий показателей. На основании коэффициентов парной и множественной корреляции и регрессии выявлена зависимость активности фермента от ряда почвенных показателей. Анализ влияния различных факторов на активность полифенолоксидазы в почве позволяет предположить, что данный показатель может рассматриваться как чувствительный интегральный критерий состояния почвы, как для первичной диагностики, так и в комплексной оценке экологического состояния почвы территорий, подвергшихся антропогенной нагрузке.

Ключевые слова: полигон твердых коммунальных отходов, почва, активность полифенолоксидазы, корреляция, регрессия, биоиндикация.

POLYPHENOL OXIDASE ACTIVITY OF SOIL IN ZONE OF INFLUENCE OF SOLID MUNICIPAL WASTE POLYGONS

Drozdova Natalya Ivanovna

Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Chemistry

Shikhalova Anastasia Andreevna

Master's student of the Faculty

Biology Francisk Skorina Gomel State University

Republic of Belarus, Gomel

Abstract: The analysis of the polyphenol oxidase activity of the soil of the territories adjacent to the sanitary protection zones of the solid municipal waste landfill in Gomel was carried out. It was found that sod-podzolic soils are characterized by weak activity of the polyphenol oxidase enzyme (less than 1 ml of 0.01 N I₂/1 g of soil). Analysis of seasonal dynamics of polyphenol oxidase activity in the summer-autumn period of 2021 did not reveal statistically significant differences in indicators. Based on the coefficients of paired and multiple correlation and regression, the dependence of enzyme activity on a number of soil indicators was revealed. The analysis of the influence of various factors on the activity of polyphenol oxidase in the soil suggests that this indicator can be considered as a sensitive integral criterion for the state

of the soil, both for primary diagnostics and in a comprehensive assessment of the ecological state of the soil of territories subjected to anthropogenic stress.

Keywords: municipal solid waste landfill, soil, polyphenol oxidase activity, correlation, regression, bioindication

На сегодняшний момент одной из актуальных экологических проблем во всем мире является постоянно увеличивающееся количество отходов, в том числе твердых коммунальных отходов (ТКО). Для их обезвреживания и захоронения создаются специализированные полигоны. В настоящее время лишь незначительная часть ТКО подвергается дальнейшей переработке или вторичному использованию. Отходы, относящиеся к классу твердых коммунальных, имеют широкое разнообразие состава и при захоронении претерпевают ряд изменений, в результате которых выделяются многочисленные высокотоксичные соединения в твердом, жидком и газообразном состоянии, что приводит к возрастанию экологической нагрузки на объекты биогеоценозов. При этом проблема загрязнения может носить не только локальный характер, ограниченный санитарно-защитными зонами (СЗЗ) полигонов, но и распространяться на сопредельные территории, в том числе, в виде аэриального переноса веществ, переноса загрязнителей с грунтовыми водами, поверхностными фильтрационными стоками и др. Исходя из этого для оценки возможного уровня воздействия полигонов ТКО на окружающую среду и человека требуется осуществление комплексного анализа состояния почвы и других объектов не только в санитарно-защитных зонах, но и на сопредельных территориях.

Для комплексной экологической оценки состояния почвы целесообразно использовать ряд химических, физических и биологических показателей. Последние из них наиболее корректно отражают экологическое состояние рассматриваемых объектов. Это обусловлено тем, что на значения показателей биологической активности оказывают влияние целый ряд биотических и абиотических факторов, в том числе и антропогенных [1, 2]. Для почвенной биоиндикации наиболее значимыми биологическими показателями являются активность ферментов класса гидролаз и оксидоредуктаз, которые обуславливают уровень плодородия почв, участвуют в процессах детоксикации веществ и гумусообразования [3].

К числу ферментов оксидоредуктаз относится полифенолоксидаза, которая катализирует окисление фенольных соединений с участием кислорода воздуха, участвует в реакциях образования гумусовых веществ. Для каждого типа почвы существуют определенные диапазоны варьирования активности полифенолоксидазы, что следует учитывать при изучении влияния на почву того или иного фактора окружающей среды [4]. На активность полифенолоксидазы влияют такие факторы внешней среды, как влажность, кислотность, температурный режим, физические и химические свойства почвы. Все большее значение в настоящее время придают влиянию антропогенного фактора [5].

Целью проводимых исследований являлось изучение возможности использования активности полифенолоксидазы как биоиндикатора состояния почвы в условиях антропогенного воздействия.

Объектом исследования являлись почвы, отобранные в зоне влияния городского полигона ТКО г. Гомеля (полигон высокой мощности, средняя нагрузка 870 тыс. м³/год).

Отбор проб производился в июле и сентябре 2021 года на глубину 0 – 20 см с пробных площадок, удаленных от зоны обваловки полигона на 500 м (граница СЗЗ), 650 м, 800 м, 1000 м и 2,5 км (контрольный участок в районе д. Сосновка). С каждой пробной площадки методом конверта отбирали по 5 точечных проб, получали объединенные пробы. К анализу подготовлено 12 смешанных почвенных образцов.

Определение активности полифенолоксидазы осуществлялось по методу К.А. Козлова йодометрическим титрованием реакционной смеси, содержащей пирокатехин в качестве субстрата [5].

Результаты и обсуждение

Диапазон варьирования активности полифенолоксидазы в почве анализируемых территорий представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Активность полифенолоксидазы в почве в районе влияния полигона ТКО г. Гомеля

Период отбора проб	Почвы в районе полигона ТКО	
	В мл 0,01 н I ₂ / 1 г почвы	
Июль 2021	0,086 – 1,612	
	0,830	
Сентябрь 2021	0,138 – 0,553	
	0,288	

Примечание – результаты представлены в виде $\frac{min-max}{среднее}$ значение показателей

Активность полифенолоксидазы анализируемых образцов составила 0,086-1,612 мл 0,01 н I₂/1 г почвы, что указывает на низкий уровень активности фермента. Максимальные значения активности отмечались для почвы контрольных участков.

Как указывалось ранее, активность почвенных ферментов находится в зависимости от многих факторов, в том числе и от гидротермического режима и типа почвы. Из всех контролируемых параметров метеорологического состояния природной среды наибольшая значимость для настоящих исследований принадлежит температуре и количеству атмосферных осадков. Норма среднемесячной температуры июля: 20,4 °С. Фактическая средняя температура месяца по данным наблюдений в г. Гомеле составляла 24,2 °С с отклонением от нормы +3,8 °С. Норма среднемесячной температуры сентября по данным многолетних наблюдений составляет 13,7 °С. Фактическая средняя температура месяца по данным наблюдений в г. Гомеле составляла 11,4 °С с отклонением от нормы минус 2,2 °С [6-9]. Согласно наблюдениям Государственного учреждения «Гомельский областной центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» период 2021 года характеризовался значительным варьированием количества атмосферных осадков относительно климатических норм. Норма суммы осадков в июле на основании многолетних наблюдений составляет около 100 мм. В сумме в июле 2021 года выпало 19 мм осадков, что составляет 19 % от нормы. Норма суммы осадков в сентябре (52 мм) была превышена: выпало 99 мм осадков (191 % от нормы). Данные погодные условия могут оказывать определенное влияние на количественный и видовой состав почвенной биоты, что, в свою очередь, отражается на активности почвенных ферментов.

Для выявления возможных сезонных различий в активности полифенолоксидазы нами выполнен однофакторный дисперсионный анализ, результаты которого представлены на рисунке 1.

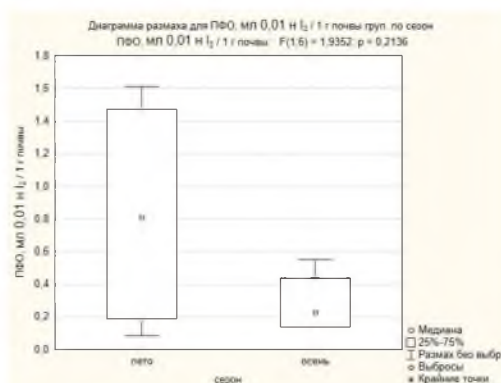


Рисунок 1 – Анализ сезонной динамики активности полифенолоксидазы в почве. Таким образом, наблюдаемые сезонные различия в активности фермента не имеют статистически подтвержденной значимости: Fкрит. (1,6) > Fстат. (1,9) при уровне значимости $p > 0,05$.

На активность полифенолоксидазы влияют такие факторы среды, как кислотность почвы, содержание органического вещества, некоторых ионов, которые могут накапливаться в почве в результате антропогенного воздействия на территории.

Исследуемые почвы характеризовались диапазонами значений кислотности (рН_{KCl}) в пределах 5,34 – 6,93, что позволило отнести их к категории слабокислых и близких к нейтральным. Результаты определения физико-химических показателей почвы анализируемых территориях представлены в таблице 2. Установлено, что в большинстве случаев в качестве приоритетных анионов-загрязнителей выступали нитрат-ионы, содержание которых превышало значение ПДК в 1,3 раза в 12,5% случаев.

Таблица 2 – Физико-химические показатели почвы в районе влияния полигона ТКО г. Гомеля

Гидролитическая кислотность, мг-экв на 100 г почвы	Сумма обменных оснований, мг-экв на 100 г почвы	Подвижный фосфор, мг P ₂ O ₅ /100 г почвы	Нитраты, мг/кг почвы	Хлориды, мг/кг почвы	Гумус, %
Июль, 2021					
<u>1,05 – 1,47</u> 1,22	<u>1,64 – 4,64</u> 3,27	<u>0,69 – 2,95</u> 1,48	<u>69,70 – 95,50</u> 78,26	<u>40,40 – 148,03</u> 93,33	<u>0,90-1,75</u> 1,31
Сентябрь, 2021					
<u>0,66 – 1,47</u> 1,10	<u>6,56 – 7,24</u> 6,82	<u>1,03 – 3,05</u> 1,77	<u>53,76 – 169,20</u> 111,92	<u>9,90 – 13,39</u> 11,49	<u>1,12 – 1,75</u> 1,42

Примечание – результаты представлены в виде $\frac{min-max}{\text{среднее}}$ значение показателей

Результаты определения содержания подвижных форм тяжелых металлов в почвах территорий, сопредельных с санитарно-защитной зоной полигона ТКО г. Гомеля позволили установить, что к приоритетным загрязнителям почвы по превышению показателей ПДК/ОДК относятся медь и кадмий (таблица 3). Установлено превышение ПДК подвижных форм меди (3 мг/кг) в 1,26 – 16,56 раза, как в летний, так и осенний периоды 2021 года. В почве контрольного участка, расположенного на удалении 2,5 км от полигона, содержание подвижных форм меди не превышало предельных концентраций и составляло 2,66 мг/кг. Содержание подвижных форм кадмия превышало в 1,03 – 2,2 раза ОДК (0,5 мг/кг) в 58,3 % проанализированных почвенных проб.

Таблица 3 – Содержание подвижных форм металлов в почве территорий, сопредельных с СЗЗ полигона ТКО г. Гомеля

мг/кг почвы			
Cu	Zn	Cd,	Pb
Полигон ТКО г. Гомеля, лето			
<u>5,63 – 9,35</u> 7,87	<u>6,94 – 14,51</u> 11,18	<u>0,22 – 0,40</u> 0,30	<u>3,23 – 3,91</u> 3,56
Полигон ТКО г. Гомеля, осень			
<u>3,77 – 8,77</u> 7,24	<u>5,87 – 13,86</u> 10,04	<u>0,31 – 0,38</u> 0,34	<u>2,08 – 3,02</u> 2,65

Примечание – результаты представлены в виде $\frac{min-max}{\text{среднее}}$ значение показателей

С целью выявления характера связи между рассмотренными нами показателями и активностью фермента ПФО был проведен парный корреляционный анализ. Значения достоверных парных коэффициентов корреляции представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Парные коэффициенты корреляции между активностью полифенолоксидазы и некоторыми показателями почвы

pH_{H_2O}	pH_{KCl}	Сумма обменных оснований, мг-экв на 100 г почвы	Хлориды, мг/кг почвы	Гумус, %	Cd, мг/кг почвы
0,798	0,810	- 0,535	0,923	- 0,600	- 0,573

Так как представленные коэффициенты достоверны при уровне значимости $p \leq 0,05$, это обстоятельство позволило провести более глубокий статистический анализ: процедуру множественной корреляции и регрессии. Результативным признаком (зависимая переменная) являлись значения показателя активности ПФО почв, независимыми переменными - химические показатели. Уравнение регрессии представлено линейным уравнением Пирсона:

$$A_{пфо} = a + b \cdot C(Cd) + c \cdot pH_{H_2O} + d \cdot pH_{KCl} + e \cdot \text{сумм. обмен. основ.} + f \cdot C(Cl^-) + g \cdot \text{гумус.}$$

где $A_{пфо}$ – показатель биологической активности почв;

C_j – химические показатели почвы;

$a - g$ – коэффициенты уравнения регрессии.

Коэффициенты множественной корреляции имеют средние и высокие значения. Все приведенные показатели достоверны при уровне значимости $p < 0,05$. Зная коэффициенты уравнения регрессии, можно построить теоретические линии регрессии, зная всего несколько параметров данной модели. Для теоретических прогнозных расчетов активности полифенолоксидазы предлагается использовать следующее уравнение:

$$A_{пфо} = -0,6 - 2,69 \cdot C(Cd) + 0,26 \cdot pH_{H_2O} - 0,06 \cdot pH_{KCl} + 0,13 \cdot \text{сумм. обмен. основ.} + 0,01 \cdot Cl^- - 0,44 \cdot \text{гумус.}$$

Немаловажным компонентом данного анализа является оценки адекватности приведенной модели. Для адекватной модели характерно постоянство дисперсии ошибок наблюдения вследствие чего остатки укладываются вдоль нулевой линии в полосу. Адекватность модели, предложенной для оценки активности ферментов ПФО в почве, представлена на рисунке 2.

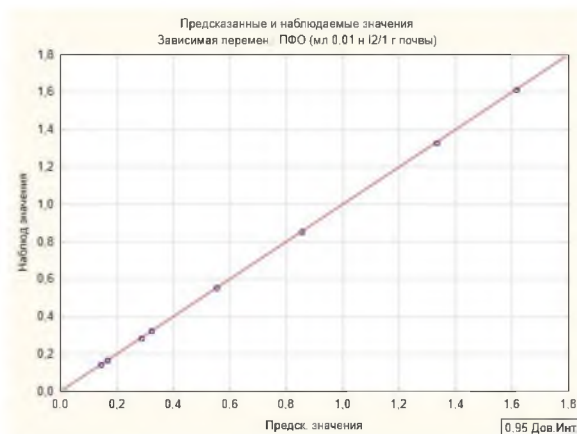


Рисунок 2 – Адекватность модели для расчета активности ПФО в почве

Таким образом, установлено, что активность полифенолоксидазы достоверно изменяется при вариации важнейших физико-химических показателей почвы и может быть использована как индикатор состояния почвы.

Выводы

Полученные нами результаты показывают необходимость контроля состояния почв территорий, выходящих за пределы санитарно-защитных зон полигонов ТКО. На

необходимость внимания к изучению данного вопроса указывают как превышение предельно допустимых концентраций некоторых показателей, входящих в перечень обязательного контроля почвы на территории СЗЗ, так и низкие показатели ее биохимической активности, в частности активность ключевого фермента ПФО, принимающего участие в процессах гумификации и обеспечении плодородия почвы.

Анализ влияния различных факторов на активность полифенолоксидазы в почве позволяет предположить, что данный показатель может рассматриваться как чувствительный интегральный критерий состояния почвы как для первичной диагностики, так и в комплексной оценке экологического состояния почвы территорий, подвергшихся антропогенной нагрузке.

Список литературы:

1. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований: / К.Ш. Казеев, С.И. Колесников - Ростов-на-Дону. – Издательство Южного федерального университета, 2012. - 260 с.

2. Швакова, Э. В. Использование показателей ферментативной активности почв в почвенно-экологическом мониторинге / Э. В. Швакова // Потенциал современной науки. – Липецк, 2015. – № 4(12). – С. 62–66.

3. Рыкова, А.Н. Активность оксидоредуктаз городских почв / А. Н. Рыкова // Материалы Всероссийской научно-практической конференции XII Зырянские чтения", Курган, 11–12 декабря 2014 г. – Курган, 2014. – 248 с.

4. Якушев А.В. Зависимость активности полифенолпероксидаз и полифенолоксидаз в современных и погребенных почвах от температуры / А.В. Якушев, И.Н. Кузнецова, Е.В. Благодатная // Почвоведение. – Москва, 2014. – № 5. – С. 590-596.

5. Самусик Е.А. Полифенолоксидазная и пероксидазная активность дерново-подзолистых почв в условиях воздействия выбросов предприятия по производству строительных материалов / Е.А. Самусик, Т.П. Марчик, С.Е. Головатый // Экология. – Минск, 2019. – № 3. – С. 65-79.

6. World Weather. Прогноз погоды. Погода в Гомельской области [Электронный ресурс]. – URL: https://world-weather.ru/pogoda/belarus/homiel_voblast/

7. Белгидромет. Климатическая характеристика июля 2021 года. [Электронный ресурс]. – URL : <https://belgidromet.by/ru/climatolog-ru/view/klimaticheskaja-karakteristika-ijulja-2021-goda-4433-2021/>

8. Climate-Data.org. Климат Гомель (Беларусь) [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.climate-data.org/европа/беларусь/г%20омельская-область/гомель-222/>

9. Погода и климат. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=33041&month=7&year=>

*Работа выполнена в рамках задания ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда», подпрограммы «Радиация и биологические системы 3.04» на 2021-2025 г.г.

