

## КАТАЛАЗНАЯ И ДЕГИДРОГЕНАЗНАЯ АКТИВНОСТЬ ДЕРНОВО–ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫБРОСОВ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Введение.** Ферментативная активность многофакторная и многофункциональная характеристика почв. Как наиболее адекватно отражающий изменений свойств почв этот показатель успешно применяется при мониторинге динамики почв [1] в условиях естественно-эволюционного развития и в результате антропогенных (агрогенных и техногенных) трансформаций.

По ферментативному разнообразию почва – самая богатая природная система, поскольку ферменты всех организмов в конечном итоге поступают в почву. Почва «как биохимическая система» [2] или «как система связанных (иммобилизованных) ферментов» [3] формируется и функционирует в качестве единого целого с согласованными и направленными биохимическими процессами, протекающими в ней, в результате многочисленных ферментативных реакций обмена веществом и энергией в биогеоценозах.

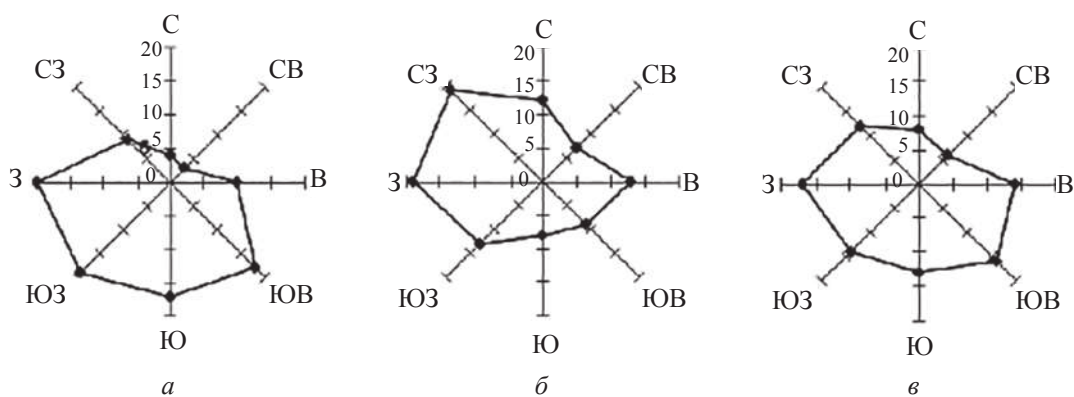
Ферменты в почвах играют важную биогеохимическую роль. Будучи мощными катализаторами биохимических процессов, они обеспечивают успешное осуществление системой «почва–микроорганизмы» ее главной общепланетарной функции – разрушения первичного органического вещества и синтеза вторичного, обогащения почвы биогенными элементами и гумусом. Тем самым ферменты участвуют в осуществлении важнейших биогеоценологических функций почвы – функции катализатора биохимических процессов и функции трансформатора веществ и энергии, находящихся в биогеоценозе или поступающих в него. Осуществляя функциональные связи между почвой и населяющими ее живыми организмами через механизмы вещественно-энергетического обмена, ферменты способствуют поддержанию целостности биогеоценоза (экосистемы), тем самым играют важную роль в экосистемных процессах и характеризуют качественное состояние почв [4].

Окислительно-восстановительные ферменты являются объектом внимания в связи с их большой ролью в процессах почвообразования. В связи с этим является актуальным количественная оценка активности каталазы и дегидрогеназы в дерново-подзолистых почвах в зоне влияния выбросов предприятия по производству строительных материалов (на примере ОАО «Красносельскстройматериалы», Беларусь).

**Материалы и методы исследования.** Объектом исследования служили образцы дерново-подзолистых почв лесных и прилегающих к ним сельскохозяйственных земель, отобранные на разном расстоянии от предприятия (1, 1.5, 2, 2.5, 3.5, 5 (6,5), 8, 15 км) с учетом «розы ветров» (СЗ, ЮЗ, СВ, ЮВ). Отбор проб проводился в соответствии с ГОСТ 28168–89 [5]. Отбор контрольных (фоновых) образцов почвы был осуществлен на расстоянии 15 км от источника загрязнения.

Климатические условия территории, прилегающей к цементному предприятию, оценивали по метеорологическим показателям Волковысской метеорологической станции. Преобладающими ветрами на протяжении всего года являются ветры западных и южных направлений. На рисунке 1 приведена роза ветров в зимние, летние месяцы и за год в целом.

Пробы почвенных образцов отбирали с помощью почвенного бура из горизонта 0–20 см. На каждой пробной площадке ( $n = 60$ ) отбирали по пять проб пробоотборником. Почвенный покров территории исследования представлен дерново-подзолистыми песчаными почвами на моренных связных песках и супесчаными почвами на моренных пылевато-песчаных рыхлых супесях.



*a* – январь; *б* – июль; *в* – среднегодовая  
**Рисунок 1 – Повторяемость направлений ветра**

Исследования биологической активности проводили в образцах летнего периода отбора (июль). Для определения активности каталазы – использовали газометрический метод по Галстяну [6]. Дегидрогеназную активность определяли по методу Ленарда в модификации Галстяна [6]. В основу определения дегидрогеназной активности почв было положено использование 2,3,5-трифенилтетразолий хлорида, который, акцептируя мобилизованный дегидрогеназой водород, превращается в 2,3,5-трифенилформаза, имеющий красную окраску. По интенсивности окраски колориметрическим способом измеряли количество формаза. Ферментативную активность почв определяли в пятикратной повторности в воздушно-сухих образцах.

Статистическая обработка данных включала: оценку формы распределения с помощью гистограмм и критериев Колмогорова-Смирнова с поправкой Лиллиефорса и Шапиро-Уилка; дисперсионный корреляционный анализы. Анализ данных проводился с помощью пакетов программ Excel 2016 и Statistica 10.

**Результаты и их обсуждение.** Одним из важных показателей состояния почвы и степени ее трансформации является реакция почвенной среды, с которой тесно взаимосвязаны процессы превращения минеральной и органической составляющих почв.

Поскольку цементная пыль распространяется воздушным путем, накопление карбонатов кальция наблюдается в поверхностных горизонтах и их содержание постепенно повышается по мере приближения к источнику загрязнения, что подтверждается подщелачиванием почвенной среды.

В таблице 1 представлен диапазон варьирования значений  $pH_{KCl}$  почвенных образцов территорий, прилегающих к цементному предприятию. Анализ  $pH_{KCl}$  дерново-подзолистых почв показал преобладание слабощелочных (при значениях  $pH_{KCl}$  от 7,06 до 7,42) и щелочных условий (при значениях  $pH_{KCl}$  от 7,55 до 8,09).

**Таблица 1 – Реакция дерново-подзолистых почв в градиенте расстояния от источника загрязнения и направления ветра**

Показатель	Направление ветра	Расстояние от источника загрязнения, км								
		1	1,5	2	2,5	3,5	5 (6,5)	8	контроль (фон)	
$pH_{KCl}$	лес	ЮЗ	6,81	7,20	7,06	7,31	6,21	6,10	–*	6,07
		ЮВ	7,35	7,61	6,71	–	5,21	–	5,32	6,10
		СЗ	7,42	7,55	–	–	6,95	6,82	5,67	3,99
		СВ	–	7,57	–	7,25	6,87	7,90	4,79	6,12
	поле	ЮЗ	–	–	–	–	–	–	–	–
		ЮВ	7,20	7,21	–	–	4,77	6,02	6,32	4,03
		СЗ	–	6,91	6,92	–	6,90	6,83	6,38	5,47
		СВ	7,57	–	7,30	7,25	7,12	8,09	–	4,67

*Примечание.* \* – отсутствие возможности отбора проб почвенных образцов

Диапазон варьирования усредненных значений  $pH_{KCLV}$  в градиенте расстояния от источника загрязнения и в зависимости от направления ветра для почвенных образцов лесных земель составил 6,44–6,88 ед., а для сельскохозяйственных земель – 6,30–7,47 ед. Следует отметить, что для почвенных образцов лесных земель с учетом розы ветров статистически достоверной разницы между средними значениями  $pH_{KCLV}$  не было выявлено, однако, была выявлена статистически достоверная разница для почв сельскохозяйственных земель северо-восточного и юго-восточного направлений ( $p = 0,0049$ ).

Закономерности перераспределения загрязняющих веществ, выбрасываемые в атмосферный воздух предприятием по производству строительных материалов, позволяют условно выделить 3 зоны с разным уровнем влияния промышленного предприятия на реакцию почвы. Для изученных дерново-подзолистых почв сельскохозяйственных земель установлена зона максимального влияния газопылевых выбросов цементного предприятия на реакцию почвы в градиенте 1–1,5 км, а для лесных земель – 1–2,5 км от источника загрязнения.

Одним из характерных показателей биологической активности почвы является активность каталазы. Каталаза разлагает ядовитую для клеток перекись водорода, образующуюся в процессе дыхания живых организмов и в результате различных биохимических реакций окисления органических веществ.

Для дерново-подзолистых почв, испытывающих воздействие газо-пылевых выбросов цементного предприятия, нами установлены следующие количественные значения каталазной активности, представленные в таблице 2.

**Таблица 2 – Каталазная активность дерново-подзолистых почв в градиенте расстояния от источника загрязнения и направления ветра**

Показатель		Направление	Расстояние от ИЗ, км							
			1	1,5	2	2,5	3,5	6,5(5,0)	8	контроль
Каталаза, мл $O_2$ /1 г/ 1 мин.	лес	ЮЗ	1,32	1,34	1,40	1,40	1,80	1,95	–	4,00
		ЮВ	0,37	0,87	–	–	1,57	–	1,90	7,00
		СЗ	0,80	0,90	–	–	1,10	1,50	2,00	2,13
		СВ	–	0,40	–	1,10	1,20	0,60	1,60	3,15
	поле	ЮЗ	–	–	–	–	–	–	–	–
		ЮВ	0,60	0,63	–	–	1,73	2,00	–	3,00
		СЗ	0,70	–	0,90	–	1,00	0,70	1,82	2,10
		СВ	0,50	–	0,49	0,50	1,2	1,15	1,35	1,25

Диапазон изменения активности каталазы (в градиенте 1–8 км от источника загрязнения) варьирует по всем направлениям ветра (за исключением юго-западного) в почвах лесных земель в пределах 0,98–1,26 мг, а в почвах сельскохозяйственных земель – 0,87–1,24 мл  $O_2$  на 1 г в.-с. почвы за 1 мин. Максимальной каталазной активностью обладает почва под лесным фитоценозом юго-западного направления, где составляет 1,53 мл  $O_2$  на 1 г в.-с. почвы за 1 мин.

В соответствии со шкалой оценки степени обогащенности почв ферментами (каталазой) по Звягинцеву, установлено, что почвы лесных и сельскохозяйственных земель во всех направлениях (за исключением юго-западного) в радиусе 2 км от источника загрязнения относятся к очень бедным, то есть <1 мл  $O_2$  на 1 г в.-с. почвы за 1 мин.

Для оценки общего уровня биогенности почвы использована ее дегидрогеназная активность. Как известно, дегидрогеназы имеются у абсолютного большинства микроорганизмов, они характеризуют интенсивность процессов дегидрирования органических субстратов и метаболическую активность микрофлоры. В отличие от других ферментов, дегидрогеназы не имеют внеклеточного компонента, они не адсорбируются и не накапливаются в почве, дегидрирование органического субстрата идет за счет дегидрогеназ живых микробных клеток [7].

Именно поэтому дегидрогеназная активность относится к наиболее объективным характеристикам как актуальной численности, так и метаболической активности микробных сообществ почвы.

Для дерново-подзолистых почв, испытывающих воздействие газо-пылевых выбросов цементного предприятия, установлены значения дегидрогеназной активности, представленные в таблице 3.

В результате проведенных исследований выявлено, что минимальной дегидрогеназной активностью обладают почвы сельскохозяйственных земель юго-восточного направления в градиенте расстояния от источника загрязнения. В соответствии со шкалой оценки степени обогащенности почв ферментами (дегидрогеназой) по Звягинцеву, установлено, что данные почвы относятся к очень бедным, то есть < 1 мг ТТФ на 10 гв.–с. почвы за 24 часа. Снижение этого показателя свидетельствует об ухудшении условий для жизнедеятельности микроорганизмов, выделяющих дегидрогеназы.

**Таблица 3 – Дегидрогеназная активность дерново-подзолистых почв в градиенте расстояния от источника загрязнения и направления ветра**

Показатель		Направление	Расстояние от ИЗ, км							
			1	1,5	2	2,5	3,5	6,5(5,0)	8	контроль
ДГ, мг ТТФ/10 г / 24 ч	лес	ЮЗ	3,28	2,78	2,67	1,65	0,99	1,30	–	3,29
		ЮВ	0,39	0,62	1,95	–	1,07	–	1,01	4,59
		СЗ	1,16	0,72	–	–	1,08	0,63	0,90	1,40
		СВ	–	0,38	–	0,50	1,37	0,25	0,71	6,36
	поле	ЮЗ	–	–	–	–	–	–	–	–
		ЮВ	0,69	1,64	–	–	0,66	0,77	1,08	0,93
		СЗ	–	1,64	2,95	–	3,16	0,70	3,20	3,44
		СВ	2,92	–	0,86	2,14	1,77	1,08	–	2,78

Для выявления влияния отдельных экологических параметров нами была проведена обработка полученных данных многофакторным дисперсионным анализом.

Результаты дисперсионного анализа для изученных дерново-подзолистых почв лесных и сельскохозяйственных земель, прилегающих к цементному предприятию, представлены в таблице 4.

**Таблица 4 – Результаты многофакторного дисперсионного анализа влияния расстояния от источника загрязнения и реакции почвенной среды на каталазную активность почв лесных земель и сельскохозяйственных земель**

Показатель		Статистические показатели	Расстояние от источника загрязнения	Реакция среды (pH <sub>KCl</sub> )
Каталаза, мл O <sub>2</sub> /1 г/ 1 мин.	лес	$\eta^2$ , %	64,81	71,59
		F	4,99	11,59
		P	<b>0,002*</b>	<b>0,000011</b>
	поле	$\eta^2$ , %	62,8	90,24
		F	2,81	20,34
		P	0,072	<b>0,000032</b>

*Примечание.* \* – Жирным шрифтом выделены значения при  $p < 0,05$

Результаты дисперсионного анализа показали, что уровни влияния расстояния от источника загрязнения и реакции почвенной среды на активность каталазы достаточно высокие, однако не было обнаружено статистически достоверного влияния данных факторов на активность дегидрогеназы. На активность каталазы для почв лесных земель сила влияния расстояния от источника загрязнения составила 64,81 % и для сельскохозяйственных земель – 62,8 %. При этом сила влияния реакции почвенной среды (pH<sub>KCl</sub>) на активность фермента каталазы для почв лесных земель составила от 71,59 %, а для почв сельскохозяйственных земель – 90,24%. Отмечено изменение влияния реакции почвенной среды на активность каталазы отрицательной взаимосвязью (для почв лесных земель –  $r = -0,86$ , а для почв сельскохозяйственных земель –  $r = -0,74$  при  $p < 0,05$ ).

**Заключение.** В результате проведенных нами исследований дерново-подзолистых почв лесных и сельскохозяйственных земель выявлены значения рН почвенной среды в градиенте расстояния от источника загрязнения и с учетом розы ветров. Анализ рН<sub>KCl</sub> почв показал, что в 42 % от исследованных образцов почв, обнаружено смещение значений рН в слабощелочную и щелочную области. Такая реакция почвенной среды объясняется распространением цементной пыли и, в свою очередь, накоплением в поверхностных горизонтах карбонатов кальция.

Для изученных дерново-подзолистых почв лесных и сельскохозяйственных земель установлен уровень активности каталазы и дегидрогеназы в условиях воздействия предприятия по производству строительных материалов. Результаты дисперсионного анализа показали высокие уровни влияния расстояния от источника загрязнения и реакции почвенной среды лишь на активность каталазы почв лесных и сельскохозяйственных земель, что обосновывает необходимость дальнейшего изучения вопроса о влиянии факторов различной природы на биологическую активность почвы в условиях промышленного (цементного) загрязнения.

#### Список использованных источников

1. Казеев, К. Ш. Биология почв Юга России / К. Ш. Казеев, С. И. Колесников, В. Ф. Вальков. – Ростов н/Д: Изд-во ЦВВР, 2004. – 350 с.
2. Ковда, В. А. Основы учения о почвах. – М.: Наука. – 1973. – Т. 1. – 447 с.
3. McLaren, A. D. Soil as system of bound enzymes // Chem. and Ind. –1974. –№ 7. –Р. 316.
4. Хазиев, Ф. Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах // Вестник АН РБ. – 2015. – Т.10. –№ 2. – С. 14–24.
5. Почвы. Отбор проб : ГОСТ 28168–89. – Введ. 01.04.90. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 7 с.
6. Хазиев, Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. – М.: Наука, 1990. – 178 с.
7. Петерсон, Н. В. Окислительно-восстановительные условия и дегидрогеназная активность в некоторых почвах западных областей Украины / Н. В. Петерсон, Г. Т. Периг // Научные труды Львовского СХИ. – 1968. – № 17. – С. 76–84.

УДК 661.18

Н. Е. Сосновская, С. И. Коврик  
Государственное научное учреждение  
«Институт природопользования НАН Беларуси»

### ПРИРОДНЫЕ СОРБЕНТЫ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ИОНАМИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Техногенные загрязнения окружающей среды приводят к концентрированию ионов ТМ (ТМ) в прикорневом слое почв, что создает условия для их поступления в растения и в конечном итоге в пищу человека. Очистка почв от ионов ТМ представляет собой трудно решаемую практическую задачу, поскольку она предполагает сбор и удаление загрязняющих веществ с территории с максимально возможным сохранением плодородия. Значительно проще провести экологическую рекультивацию почвы путем перевода ионов ТМ в недоступные для растений формы.

В почвах наибольшую способность к связыванию ТМ с образованием нерастворимых металлгуминовых комплексов (МГК) проявляют гуминовые вещества, в частности, гуминовые кислоты (ГК). Учитывая трудность выделения МГК из природных объектов и особенно их идентификацию, получение и изучение их свойств было проведено на модельных опытах путем формирования МГК из моно- и поликатионных растворов ТМ. В нашу задачу входило исследование влияния условий взаимодействия на связывание катионов хрома (III), меди