Анализ микробиологической и ферментативной активности урбанизированных почв на примере г. Хабаровска

Бархатова Ольга Антоновна
ассистент, Высшая школа управления природных ресурсов, Тихоокеанский государственный университет, 013479@togudv.ru,

Майорова Людмила Петровна
доктор химических наук, доцент, Высшая школа управления природных ресурсов, Тихоокеанский государственный университет, 000318@togudv.ru

В работе исследовались почвы рекреационной, промышленной, селитебной (жилой) функциональных зон города Хабаровска. Рассмотрена численность сообществ микроорганизмов различных эколого-трофических групп и каталазная активность почв различных функциональных зон г. Хабаровска. Были выбраны следующие эколого-трофические группы: бактерии аммонификаторы, олигонитрофильные бактерии, бактерии амилолитики, актиномицеты, микроскопические грибы (микромицеты).

Сделан вывод о том, что самая многочисленная эколого-трофическая группа в почвах – гетеротрофные бактерии, малочисленная – микромицеты. Была сделана попытка выявления закономерностей распределения разных экологических групп микроорганизмов в почвах, подвергающихся антропогенному прессингу различной степени. Подтверждена связь между антропогенным прессингом и каталазной активностью почв, выявлено, что наиболее чувствительными микроорганизмами к неблагоприятному воздействию являются микромицеты и актиномицеты. Можно предположить, что данные группы микроорганизмов являются индикаторными по количеству выделяемой ими каталазы.

Результаты работы могут послужить более глубокому изучению экологической роли отдельных групп микроорганизмов в формировании почвенного плодородия и ферментативного пула. В дальнейшем данная работа может иметь перспективу развития в области разработки шкалы оценки экологического состояния урбанизированных почв по таким показателям, как количество каталазы и аэробных микроорганизмов.

Ключевые слова: микроорганизмы, урбанизированные почвы, ферменты, каталазная активность, антропогенное воздействие, эколого-трофические группы, ферментативная активность почвы, биоиндикация.

Введение

Ферменты (энзимы) – вещества белковой природы, способные в сотни раз ускорять биохимические процессы.

Ферментативная активность почвы порождается в результате совокупности процессов поступления ферментов из живых организмов и их стабилизации и действия в почве [1, 2]. Накапливаясь, ферменты становятся неотъемлемым реактивным компонентом экосистемы.

Известно, что суммарная ферментативная активность складывается из: внеклеточных иммобилизованных ферментов; внеклеточных свободных ферментов; внутриклеточных ферментов живых клеток; внутриклеточных ферментов мертвых клеток; внутриклеточных и внеклеточных ферментов, образовавшихся в искусственных условиях эксперимента и не характерных для естественной почвы [2].

Накопление ферментов в почве происходит, в первую очередь, за счет внеклеточных ферментов, выделенных микроорганизмами, поступивших после отмирания растений и животных, которые находятся в иммобилизованном состоянии, то есть скомплексированы с почвенными компонентами – минеральной частью и гумусом.

Вследствие комплексного поступления ферментов (микроорганизмы, растения, почвенная биота) почва – это самая богатая система по ферментному разнообразию. Потенциально активный пул ферментов при создании соответствующих условий в почве (субстрат, влажность, температура, pH и др.) и играет важную роль в почвенных процессах, делает возможным осуществление последовательных биохимических превращений [3].

Одним из характерных показателей биологической активности почвы является активность каталазы. Каталаза разлагает ядовитую перекись водорода, образующуюся в процессе дыхания живых организмов, а также окисляет первичные спирты и другие соединения. Перенос электрона по цепи сопровождается синтезом АТФ, поэтому для микроорганизмов разложение перекиси – один из источников пополнения запасов высокоэнергетических материалов для осуществления синтетических процессов.

Фермент каталаза является одним из наиболее универсальных и информативных показателей состояния стабильности микробоценоза. Этот фермент катализирует реакцию разложения перекиси водорода на кислород и воду и отражает способность микробного сообщества противостоять воздействию стресс-факторов.

По данным Казеева К.Ш. и соавторов [3] из биохимических показателей контроля экологического состояния почвы, в первую очередь, рекомендуются показатели изменения ферментативной активности каталазы, инвертазы, уреазы, фосфатазы и ряда других почвенных ферментов, активность которых коррелирует со степенью антропогенного пресса. Наиболее важными и широко применяемыми для почвенной биоиндикации являются ферменты класса оксидоредуктаз, которые участвуют в процессах детоксикации, образовании гумусовых веществ и, следовательно, обуславливают уровень плодородия почв [4]. К числу ключевых ферментов данного класса относится каталаза.

Активность каталазы обнаруживается практически во всех почвах и варьирует в зависимости от температуры и влажности, влияющих как на биогенность почвы, так и непосредственно на скорость ферментативной реакции [4-6]. Оптимум действия каталазы находится в интервале pH 7,2–8,3 [7].

А.Ш. Галстяном проведено изучение активности ферментов почв в свежих и воздушно-сухих образцах. Установлено, что иммобилизованные почвой ферменты обладают высокой устойчивостью в воздушно- сухом состоянии. В течение первого года хранения почвы в воздушно-сухом состоянии инактивация ферментов незначительна – до 10%, через 10 лет – от 24 до 60% для разных ферментов, за 20 лет – от 44 до 80% и за 25 лет – от 49 до 84% первоначальной активности. Автором делается вывод, что иммобилизованные почвой ферменты можно рассматривать в качестве диагностического показателя почв [7].

Наличие в почвах фермента каталазы связано с жизнедеятельностью преимущественно аэробных микроорганизмов [1]. Однако разложение перекиси водорода может осуществляться не только ферментом каталазой, но и присутствующими в почвах катализаторами абиотической природы, например, солей железа, меди, марганца и т.д. Поэтому в данной работе была определена как общая каталазная активность, так и ее органическая составляющая в отдельности.

Цель работы: изучить взаимосвязь ферментативной активности и микробиологических сообществ урбанизированных почв различных функциональных зон на примере почв г. Хабаровска.

Объект исследования – городские почвы различных функциональных зон. Предмет – численность микроорганизмов и каталазная активность городских почв.

Объекты и методы

В качестве пробных площадок в работе были выделены три основные функциональные зоны города Хабаровска, а именно, жилая, промышленная и рекреационные зоны, а также зона природного фона. Всего было выбрано

25 площадок опробования почвы. Карта фактического отбора проб за 2022-2024 годы представлена на рисунке 1.

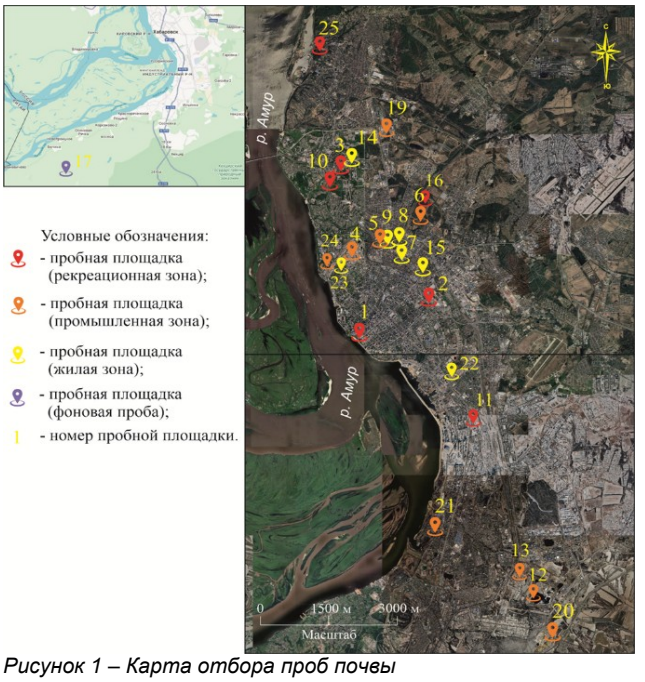


Рисунок 1 – Карта отбора проб почвы

Зеленые зоны парков были приняты в качестве рекреационных зон Хабаровска. Были выбраны следующие парки: парк Муравьева-Амурского, парк Динамо, Северный парк (зеленая зона с искусственными насаждениями), Северный парк (хозяйственно неосвоенная часть), парк Гагарина. Выбранные места отбора проб характеризовались довольно мощным нижним растительным ярусом, а также присутствием верхнего яруса типичных городских насаждений. Растительные сообщества характеризуются как эугемеробные.

В жилой зоне пробы отобраны в зеленых зонах по адресам Тихоокеанская улица, д. 158, улица Дикопольцева, д. 43А, а также три пробы в микрорайоне Большая-Вяземская, выбранных в местах с повышенным риском – территории, прилегающие к детским садам, школам. Как и в зонах рекреации, растительность жилых зон представлена эугемеробными сообществами.

Промышленная зона Хабаровска представлена территориями, подверженными активному антропогенному воздействию. Площадки для отбора проб почвы были выбраны на: зеленой буферной зоне, прилегающей к забору Хабаровского нефтеперерабатывающего завода на ул. Металлистов, присутствует лишь маломощный травяной ярус; территории, которая в течение 15 лет подвергалась засорению строительным мусором и сметами с близлежащих дорог по адресу Воронежская, 38 А, растительность отсутствует; локальном скоплении отходов вблизи частного сектора в границах питомника Лукашова, непосредственно на площадке растительность отсутствует; территория существующего золоотвала Хабаровской ТЭЦ-1 (часть золоотвала с ассимилировавшейся растительностью, представленной синантропными травами); территория заброшенной птицефабрики по адресу ул. Южная, 8, выражены травянистый и древесный ярусы, представлены также городскими синантропными самосевами.

Пробы почвы были отобраны в период с лета 2022 года по лето 2024, и были проанализированы на каталазную активность в феврале-марте 2025 года. Таким образом, есть основания полагать, что при оценке каталазной активности воздушно-сухих проб спустя 2 года после отбора при соблюдении правил их хранения погрешность будет являться незначительной относительно свежих образцов.

В данной работе для определения числа микроорганизмов в почвах использовался классический метод Коха – определение количества клеток высевом на плотные питательные среды. Для культивирования микроорганизмов использовались 5 видов твердых питательных сред на агаре, а именно: рыбопептонный агар (универсальная для большинства видов аэробных бактерий аммонификаторов), среда Эшби (для культивирования олигонитрофильных бактерий), крахмал-аммиачный агар (в качестве универсальной среды для бактерий амилолитиков и актиномицетов), среда Чапека-Докса (для культивирования плесневых грибов). Культивировали аэробные и факультативно анаэробные микроорганизмы, способные продуцировать каталазу.

Пробы почв доводили до воздушно-сухого состояния и готовили к исследованиям в соответствии с требованиями к подготовке образцов для проведения биохимических исследований [1, 2]. Активность каталазы определяли в смешанных образцах газометрическим методом в 3-кратной повторности. Метод основан на измерении скорости распада перекиси водорода при взаимодействии её с почвой по объему выделившегося кислорода.

Каталазная активность определялась в воздушно-сухих образцах почвы. Абиотическая составляющая каталазной активности почвы определялась в воздушно-сухих образцах почвы, стерилизованных сухим жаром при температуре 180°С в течении 3 ч [1, 2]. Исходя из полученных значений абиотической и общей каталазной активности была определена биотическая составляющая путем расчета по формуле 1.

$$K_б = K - K_а, \quad (1)$$

где $K_б$ – биотическая (органическая) каталазная активность,

К – общая каталазная активность,

$K_а$ – абиотическая каталазная активность.

Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием пакета программ Excel.

Результаты и обсуждение

Результаты анализа количества микроорганизмов в пробах почвы, разделенных по функциональным зонам, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты микробиологического анализа проб почвы

№ пробы	km, млн. КОЕ/г				km, тыс. КОЕ/г
	Бактерии олигонитрофилы	Бактерии амилолитики	Бактерии гетеротрофы	Актиномицеты	Микро-мицеты
Рекреационная зона					
1	4,02	4,59	5,03	2,2	109,12
2	74,26	43,12	72,67	6,65	42,59
3	6,43	12,15	9,09	2,28	47,5
10	39,64	47,99	38,86	1,3	39,12
11	15,69	36,26	16,24	1,98	24,35
16	18,91	17,73	19,62	1,5	23,64
25	12,19	16,06	18,56	2,86	44,31
Промышленная зона					
4	12,01	6,55	22,92	6,09	49,12
5	10,55	13,63	25,06	0,88	17,59
6	11,05	11,05	23,62	1,38	8,29
12	70,1	64,15	53,46	3,16	46,01
13	5,04	16,33	8,97	6,52	62,51
19	179,41	55,68	28,48	1,55	30,93
20	36,42	6	20,14	5,07	44,98
21	93,92	47,24	251,58	2,14	47,52
24	90,69	89,21	86,18	9,29	14,82
Жилая зона					
7	11,05	11,05	23,62	1,38	8,29
8	9,81	5,03	13,05	2,56	21,54
9	29,31	20,57	21,22	7,72	25,71
14	93,92	47,24	251,58	2,14	47,52
15	51,37	85,7	46,26	4,19	36,69
22	16,53	41,18	34,74	6,53	2,8
23	48,75	53,6	53,74	10,36	28,51
Природный фон					
17	5,84	6,47	13,89	1,32	45,78

По результатам расчета k_m были сделаны следующие выводы: число бактерий повсеместно превалирует над актиномицетами и микромицетами.

Соотношения бактерий 3-х различных эколого-трофических групп неравномерны в различных пробах.

В ряду по степени убывания средних значений численности актиномицетов и микромицетов на первом месте стоит промышленная зона. Это связано с угнетением бактериального сообщества на данных территориях вследствие химического загрязнения и физического воздействия – уплотнения почвы, переувлажнения или высушивания, угнетения или полного отсутствия растительности. Данные закономерности прослеживаются в литературных источниках [3-5].

Пробы № 14 и № 21 показали наиболее высокий уровень КОЕ/г бактерий. Это свидетельствует о высоком привнесении в почву органического вещества (возможно, бытовых органических отходов).

Проба № 1 характеризовалась высоким содержанием микромицетов (после пробы № 13). Пробная площадка была заложена на прибрежной зоне р. Амур, в парке Муравьева-Амурского. Высокое содержание микромицетов объясняется благоприятными условиями для их развития – повышенная влажность воздуха, интенсивные порывы ветра (что способствует расселению спор), достаточное количество органического вещества. Результаты определения каталазной активности почвы сведены в таблицу 2.

Наиболее высокие значения каталазной активности выявлены в пробах природного фона, при этом как общей, так и абиотической, что связано с высокими содержаниями в природных почвах Дальнего Востока соединений железа, меди, марганца. Помимо природного фона высокие содержания биотической каталазной активности выявлены в почвах проб № 25 (рекреационная зона), 4, 13, 20 (промышленная зона). Даная зависимость подтверждается

исследованиями ферментативной активности, так как почвенные ферменты под влиянием различных стресс-факторов могут как подавляться, так и увеличиваться за счет большей выработки микроорганизмами.

Таблица 2
Каталазная активность почв, мг O_2/г сухой почвы за 1 мин

Функциональная зона	№ пробы	Общая каталазная активность	Абиотическая каталазная активность	Биотическая каталазная активность
рекреационная	1	2,026	0,832	1,195
	2	1,444	0,602	0,842
	3	2,593	1,289	1,304
	10	2,502	1,091	1,411
	11	0,803	0,446	0,357
	16	1,519	0,849	0,67
	25	6,502	2,598	3,903
промышленная	4	3,586	1,101	2,485
	5	1,431	1,043	0,388
	6	2,668	1,764	0,904
	12	1,448	0,88	0,568
	13	3,405	0,549	2,856
	19	1,803	1,051	0,753
	20	4,587	1,59	2,997
	21	2,659	1,445	1,213
	24	2,004	0,803	1,201
жилая	7	0,835	0,692	0,143
	8	1,736	0,287	1,448
	9	1,201	0,743	0,458
	14	0,807	0,465	0,342
	15	2,074	0,966	1,108
	22	1,643	0,914	0,728
	23	2,475	0,965	1,51
природный фон	17	6,435	4,303	2,132

Каталаза является эндоферментом, соответственно, ее попадание в почвы по большому счету инициировано разрушением клетки. Исходя из этого было сделано предположение о том, что за определенный период размножения и отмирания клеток микроорганизмов в почве будет накапливаться некоторое количество ферментов, зависящее от количества аэробных микроорганизмов.

Для проверки гипотезы был рассчитан коэффициент корреляции Пирсона между значениями количества микроорганизмов и количества каталазы в почве по всем функциональным зонам. В подсчетах участвовали: количество аммонифицирующих бактерий, актиномицетов, амилолитических бактерий, микроскопических грибов (КОЕ/г почвы) и количество органической составляющей каталазной активности почвы (млO_2/г почвы за 1 мин).

По результатам расчета коэффициента корреляции выявлена отрицательная умеренная связь между численностью бактерий аммонификаторов, амилолитиков, олигонитрофилов и биотической каталазной активностью, и умеренная положительная связь между численностью актиномицетов, микромицетов и биотической каталазной активностью (таблица 3).

Таблица 3
Коэффициенты корреляции между каталазной активностью и количеством микроорганизмов в почвах

Коэффициент корреляции	Аммонификаторы	Амилолитики	Актиномицеты	Олигонитрофилы	Микромицеты
Органическая каталазная активность	-0,317	-0,304	0,305	-0,262	0,362

Актиномицеты это плесневидные бактерии, или лучистые грибы, являющиеся переходной формой между бактериями и грибами. В почве актиномицетов содержится меньше, чем бактерий и грибов, но значение их в почвообразовании очень велико. Подавляющее большинство актиномицетов – аэробы, поэтому они живут преимущественно в верхнем горизонте почв. Данные микроорганизмы образуют простейший одноклеточный мицелий, часть которого обычно погружается в разлагающиеся органические вещества, а другая располагается на его поверхности [2].

Актиномицеты и микромицеты в подавляющем большинстве являются аэробами, и одними из главных продуцентов биологически активных веществ в почвах, в число которых входят ферменты. Кроме того, микромицеты – многоклеточные микроорганизмы.

Связь между выработкой каталазы и численностью актиномицетов и микромицетов, вероятно, связана с их высокой биопродуктивностью, так как они являются продуцентами биологически активных веществ. Предположительно, одними из главных продуцентов каталазы в изучаемых почвах стали актиномицеты и микромицеты [2], а гетеротрофные бактерии в большей степени представлены факультативными аэробами, продуцирующими каталазу неравномерно во времени в зависимости от условий среды.

При этом между содержанием гетеротрофных бактерий, общим микробным числом и биотической каталазной активностью корреляция отрицательная, умеренная. Это может говорить о том, что внешние условия, такие как кислотность, колебания температуры переувлажнение, уплотнение почвенного покрова влияют на накопление каталазы в почве больше, нежели активность бактерий.

Рассматривая корреляцию отдельно по функциональным зонам, наибольший коэффициент корреляции между численностью микромицетов и каталазной активностью (r=0,68), а также и между числом актиномицетов и каталазной активностью (r=0,47) в почвах промышленной зоны, в то время, как в селитебной и рекреационной зонах связь практически отсутствует (r=0,1-0,12).

Каталазную активность часто рассматривают как показатель антропогенной нагрузки на почвы – загрязнение тяжелыми металлами, нефтепродуктами, так как при неблагоприятных условиях микроорганизмы более активно вырабатывают каталазу [9].

Исходя из того, что численность микромицетов и актиномицетов в зоне высокой антропогенной нагрузки имеет наибольшую корреляционную связь с биотической каталазной активностью почвы, можно предположить, что они являются более чувствительными индикаторами загрязнения почвы, чем бактерии. В городских функциональных зонах, на которые не оказывается сильное воздействие, главными факторами, определяющими каталазную активность почвы, остаются температура, кислотность, влажность, аэрация и жизнедеятельность мезофауны, а также ризосферы почвы.

Многие авторы считают, что каталазную активность можно рассматривать как показатель функциональной активности микрофлоры в различных экологических нишах.

Таким образом, выработка каталазы действительно может быть показателем стрессовых факторов, воздействующих на микроорганизм, таких, как загрязнение нефтепродуктами или тяжелыми металлами.

Выводы

При выборе точек отбора проб выделены функциональные зоны: Рекреационная зона – точки в парковых зонах города; Селитебная зона – точки, прилегающие к детским учреждениям и школам и придомовым территориям; Промышленные зоны – точки в зоне влияния предприятий, при эксплуатации которых в окружающую среду поступают органические вещества, углеводороды, тяжелые металлы, строительные отходы.

Самая многочисленная эколого-трофическая группа в почвах – гетеротрофные бактерии, малочисленная – микромицеты.

Биотическая каталазная активность изменяется в пределах от 3,9 до 0,14 мгO_2/г в 1 мин, аномально высокие значения на территории парка дома офицеров, бывшей птицефабрики и на бывшей свалки в районе Ореховой сопки, среднее значение в рекреационной зоне 1,19, промышленной – 1,2, селитебной – 0,73.

Наиболее тесная связь биотической каталазы выявлена с актиномицетами, культивированными на среде РПА, как универсальной для гетеротрофных микроорганизмов, а также с микромицетами, в силу их экологической роли и особенностей строения.

Обнаружен диагностический потенциал фермента каталазы в выявлении антропогенного прессинга по количеству ее выработки данными группами микроорганизмов. В дальнейшем данная работа может иметь перспективу развития в области разработки шкалы оценки экологического состояния урбанизированных почв по таким показателям, как количество каталазы и аэробных микроорганизмов.

Литература

1. Инишева, Л. И. Руководство по определению ферментативной активности торфяных почв и торфов / Л. И. Инишева, С. Н. Ивлева, Т. А. Щербакова. – Томск : Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2003. – 119 с. – ISBN 5-7511-1652-6. – EDN SZZJAR.
2. Хазиев Ф. Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2015. №2 (78). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/funktsionalnaya-rol-fermentov-v-pochvennyh-protsessah (дата обращения: 17.04.2025).
3. 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.
4. Каталазная активность подзолистых почв и ее изменение при естественном лесовосстановлении на вырубках среднетаежных еловых лесов / Е. М. Перминова, Ю. А. Виноградова, Т. Н. Щемелинина, Е. М. Лаптева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18, № 1. – С. 27-33. – EDN WJDLBD.
5. Хазиев Ф.Х. Ферментативная активность почв [Текст] / Ф.Х. Хазиев. – М., 1976. – 180 с.
6. Рыкова, А.Н. Активность оксидоредуктаз городских почв / А. Н. Рыкова // Материалы Всероссийской научно-практической конференции XII Зыряновские чтения", Курган, 11−12 декабря 2014 г. − Курган, 2014. –248 с.
7. Галстян А.Ш., Абрамян С.А., Баданян Е.Л. Изучение ферментативной активности гумусовых веществ // Докл. АН Арм.ССР, 1980, № I, с.61-64.
8. Кириенко, О. А. Микроорганизмы как индикаторы экологического состояния антропогенных почв / О. А. Кириенко, Е. Л. Имранова // Города Дальнего Востока: экология и жизнь человека : Материалы конференции (Дружининские чтения), Владивосток-Хабаровск, 25–27 февраля 2003 года / Главный редактор

серии д.б.н. Б.А. Воронов. Том Выпуск 1. – Владивосток-Хабаровск: Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, 2003. – С. 63-65. – EDN TTOJIZ.;
9. Багирова Ч. З., Наджафова С. И., Некоторые закономерности активности ферментов в различных зонах почв городских ландшафтов г. Сумгаита // «Живые и биокосные системы». – 2019. – № 30; URL: https://jbks.ru/archive/issue-30/article-4; DOI: 10.18522/2308-9709-2019-30-4

Analysis of microbiological and enzymatic activity of urbanized soils on the example of Khabarovsk

Barkhatova O.A., Mayorova L.P.
Pacific National University

JEL classification: L61, L74, R53

The work investigated the soils of recreational, industrial, residential (residential) functional zones of the city of Khabarovsk. The number of microbial communities of various ecological and trophic groups and the catalase activity of soils in various functional zones of Khabarovsk are considered. The following ecological and trophic groups were selected: ammonifying bacteria, oligonitrophilic bacteria, amylolytic bacteria, actinomycetes, microscopic fungi (micromycetes).

It is concluded that the most numerous ecological and trophic group in soils is heterotrophic bacteria, and the smallest is micromycetes. An attempt was made to identify patterns of distribution of different ecological groups of microorganisms in soils exposed to anthropogenic pressure of varying degrees. The relationship between anthropogenic pressure and catalase activity of soils has been confirmed, and it has been revealed that micromycetes and actinomycetes are the most sensitive microorganisms to adverse effects. It can be assumed that these groups of microorganisms are indicative in terms of the amount of catalase they release.

The results of the work can serve as a deeper study of the ecological role of individual groups of microorganisms in the formation of soil fertility and the enzymatic pool. In the future, this work may have a development perspective in the field of developing a scale for assessing the ecological state of urbanized soils based on indicators such as the amount of catalase and aerobic microorganisms.

Keywords: microorganisms, urbanized soils, enzymes, catalase activity, anthropogenic impact, ecological and trophic groups, soil enzymatic activity, bioindication.

References

1. Inisheva L. I. Guidelines for determining the enzymatic activity of peat soils and peats / L. I. Inisheva, S. N. Ivleva, T. A. Shcherbakova. – Tomsk : National Research Tomsk State University, 2003. – 119 p. – ISBN 5-7511-1652-6. – EDN SZZJAR.
2. Khaziev F. Kh. Functional role of enzymes in soil processes // Herald of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. – 2015. – Vol. 20, no. 2 (78). – URL: cyberleninka.ru (date of access: 17.04.2025).
3. Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I. Biodiagnostics of soils: methodology and research methods / K. Sh. Kazeev, S. I. Kolesnikov. – Rostov-on-Don : Southern Federal University Press, 2012. – 260 p.
4. Catalase activity of podzolic soils and its change during natural reforestation in clearings of middle taiga spruce forests / E. M. Perminova, Yu. A. Vinogradova, T. N. Shchemelinina, E. M. Lapteva // Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. – 2016. – Vol. 18, no. 1. – P. 27–33. – EDN WJDLBD.
5. Khaziev F. Kh. Enzymatic activity of soils : [Text] / F. Kh. Khaziev. – Moscow, 1976. – 180 p.
6. Rykova A. N. Oxidoreductase activity of urban soils / A. N. Rykova // Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference "XII Zyryanov Readings", Kurgan, December 11–12, 2014. – Kurgan, 2014. – 248 p.
7. Galstyan A. Sh., Abramyan S. A., Badanyan E. L. Study of the enzymatic activity of humic substances // Reports of the Academy of Sciences of the Armenian SSR. – 1980. – No. 1. – P. 61–64.
8. Kirienko O. A. Microorganisms as indicators of the ecological status of anthropogenic soils / O. A. Kirienko, E. L. Imranova // Cities of the Far East: Ecology and Human Life : Conference Proceedings (Druzhinin Readings), Vladivostok-Khabarovsk, February 25–27, 2003 / Editor-in-chief B. A. Voronov. – Vol. 1. – Vladivostok-Khabarovsk : Institute of Water and Ecological Problems FEB RAS, 2003. – P. 63–65. – EDN TTOJIZ.
9. Bagirova Ch. Z., Nadzhafova S. I. Some regularities of enzyme activity in different soil zones of urban landscapes of Sumgait // Living and Biocosmos Systems. – 2019. – No. 30. – URL: jbks.ru ; DOI: 10.18522/2308-9709-2019-30-4.