

УДК 579.26

ВЛИЯНИЕ УРБАНИЗАЦИИ НА МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА ПОЧВ Г. РОСТОВА-НА-ДОНУ

А.В. Горовцов^{1,2}, Ф.Д. Иванов¹, С.В. Козьменко¹, И.С. Алешукина³

¹*Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского. Ростов-на-Дону.*

²*ФГБНУ Федеральный аграрный научный центр, п. Рассвет, Ростовская обл.*

³*ФГБНУ Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии Роспотребнадзора, Ростов-на-Дону.*

E-mail: gorovtsov@gmail.com

Аннотация

Целью данной работы была оценка влияния урбанизации на количественные характеристики и видовой состав микробных сообществ на примере почв г. Ростова-на-Дону. Проведено исследование 10 проб почв, характеризующихся резко различающимся уровнем антропогенной нагрузки и степенью трансформации: приводится сравнение микробных сообществ верхних горизонтов сравнительно слабо нарушенных естественных почв – черноземов обыкновенных карбонатных, и урбиковых горизонтов почв центральной части города. Показано, что процесс урбанизации приводит к кардинальному изменению микробных сообществ городских почв степной зоны. Наблюдается снижение видового разнообразия, кроме того, в антропогенно-преобразованных почвах наблюдается повышенное число аммонификаторов по сравнению со слабо нарушенными почвами. В несколько раз снижается число аэробных спорообразующих бактерий порядка *Bacillales*. Одновременно с падением их численности изменяется и видовой состав, что проявляется в исчезновении типичных видов из микробных комплексов антропогенно-преобразованных почв. В микробных сообществах городских почв повышается доля быстро растущих видов бактерий (r-стратегов), что говорит о том, что почвы находятся в состоянии стресса. Это указывает на нарушение стабильности почвенной экосистемы, что может привести к потере ряда ее экологических функций.

Кроме того, в антропогенно-преобразованных почвах отмечено увеличение доли микроорганизмов, обладающих антиоксидантными пигментами.

Ключевые слова: микробные сообщества, r-стратегии, антропогенно-преобразованные почвы, урбанизация, биоиндикация, антиоксиданты

Abstract

The paper aims to assess the impact of urbanization on the quantitative characteristics and species composition of microbial communities of the urban soils of Rostov-on-Don. 10 soil samples characterized by a dramatically different level of anthropogenic impact and transformation have been studied. The microbial communities of the upper horizons of weakly disturbed natural soils (Haplic chernozem) were compared to those from the urbic horizons of the Technosols in the central part of the city. It has been shown that the process of urbanization leads to a fundamental change in the microbial communities of urban soils in the steppe zone. There is a decrease in species diversity in the microbial communities. In addition, in anthropogenically transformed soils there is an increased number of copiotrophic bacteria compared to weakly disturbed soils. The number of aerobic spore-forming bacteria of the order *Bacillales* decreases several times. The species composition also changes, which is manifested in the disappearance of typical species from microbial complexes of anthropogenically transformed soils. The proportion of rapidly growing species of bacteria (r-strategists) is increased in the microbial communities of urban soils, indicating that the soils are under stress. The stability of the soil ecosystem is impaired and this may lead to the loss of its ecological functions. In addition, an increase in the proportion of microorganisms with antioxidant pigments was observed in anthropogenically transformed soils.

Keywords: microbial communities, r-strategists, anthropogenically transformed soils, urbanization, bioindication, antioxidants

Введение

Рост городов всегда сопровождается усилением антропогенного воздействия на экосистемы, и наиболее ярко эти изменения отражаются на почвах, как базовом их компоненте. Урбанизация приводит к множеству последствий для почвенного покрова. Происходит перемешивание естественных профилей, их погребение под толщами антропогенного происхождения, запечатывание

значительных территорий асфальтовым покрытием [3]. Под влиянием строительных работ в почвы городов поступают значительные количества песка, обломков кирпича и цементной пыли, что отражается на физико-химических свойствах почв. Отмечается повышение рН почвенного раствора по сравнению с естественными зональными почвами, наблюдается значительное уплотнение, что приводит к нарушению структуры почв и изменениям в их водно-воздушном режиме. При этом на основе зональных почв формируются совершенно новые типы почв – урбостратоземы и урбаноземы.

В сложной и крайне неоднородной городской среде существует слишком много переменных, и вряд ли возможно прямо оценить результат взаимодействия множества факторов. Биоиндикация позволяет подходить к оценке всего комплекса негативных факторов одновременно за счет изучения их влияния на биологические системы. Использование живых организмов для оценки качества окружающей среды может облегчить прогнозирование возможных негативных последствий для жителей города.

Изменения, связанные с процессом урбанизации не могут не отразиться на микробных сообществах почвы, которые постоянно контактируют с почвенной средой, и во многом обеспечивают как сами почвообразовательные процессы, так и выполнение почвой её экосистемных функций. Процессы, происходящие в микробных сообществах под влиянием урбанизации, остаются слабо изученными [15]. Особенно мало данных имеется по влиянию урбанистической нагрузки на почвенные микробные сообщества почв степной зоны, и в частности, чернозёмов.

Микробные сообщества почв реагируют на антропогенный пресс изменением численности отдельных таксономических и эколого-трофических групп бактерий, снижением биоразнообразия и изменением видового состава, а также изменением функциональной структуры сообществ. Особенно интересны изменения соотношения бактерий с разными экологическими стратегиями. По данным литературы известно, что в почве существуют пулы микроорганизмов с разным физиологическим статусом [17], и кроме того, имеются значительные различия в скорости роста и утилизации субстратов. При этом, микроорганизмы с медленным ростом часто оказываются менее устойчивыми к воздействию негативных факторов [14].

В связи с этим, целью настоящей работы было оценить характер изменений микробных сообществ при воздействии урбанистической нагрузки на естественные почвы территории г. Ростова-на-Дону – черноземы обыкновенные карбонатные.

Объект исследования

Объектом настоящего исследования послужили почвы г. Ростова-на-Дону, характеризующиеся разным уровнем антропогенной нагрузки. Отбор почвы производился в 10 точках на территории города. Точки № 1-5 были расположены на территориях с минимальным антропогенным воздействием. При выборе места отбора оценивалось состояние растительного покрова, при этом отмечались виды, являющиеся индикаторными для ненарушенных степных фитоценозов, а именно типчак *Festuca valesiaca*, ковыль *Stipa sp.*, бельвалия сарматская *Bellevalia sarmatica* и другие. Отбор проб производился из горизонта А с глубины 0-10 см.

Точки № 6-10 были расположены на территориях в центральной части города с длительным и выраженным антропогенным урбанистическим воздействием. Район отбора этих проб характеризовался плотной застройкой, высоким уровнем автомобильного трафика и пешеходного движения. При выборе конкретных мест отбора использовали данные многолетнего мониторинга уровня загрязнения и выпадения атмосферной пыли [15] отбор проб производился из горизонта урбик с глубины 0-10 см. Места расположения площадок отбора отмечены на карте (Рис. 1).

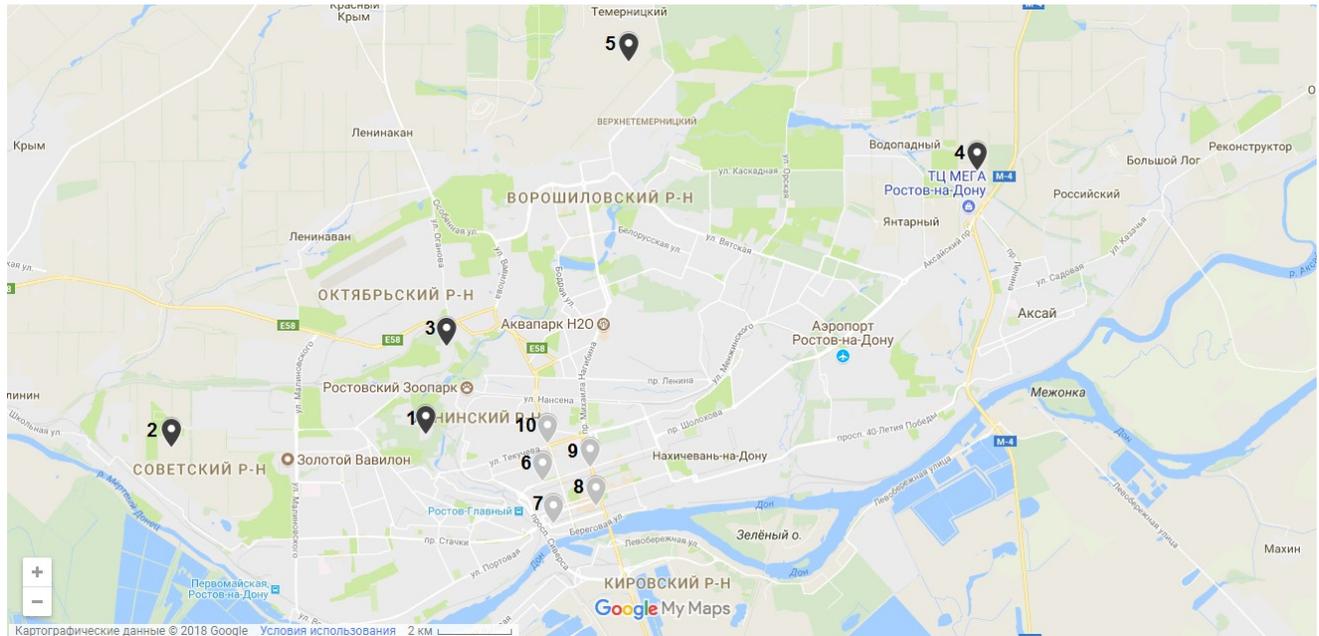


Рис 1 – Местоположение площадок отбора проб.

Методы исследования

Пробы почвы отбирались в июне 2018 г. по методу конверта в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02.84. В образцах почвах определялась численность микроорганизмов методом посева на плотные питательные среды. Аммонифицирующих бактерий учитывали на мясо-пептонном агаре, аминоавтотрофных – на крахмало-аммиачном агаре, отдельно учитывали численность актиномицетов. Численность аэробных спорообразующих бактерий определяли методом посева на МПА с добавлением ячменного суслу [7]. Для проведения количественных учетов использовались разведения почвенной суспензии от 1:1000 до 1:10000.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием непараметрического критерия Краскелла-Уоллиса.

На основании данных по численности аммонифицирующих и аминоавтотрофных бактерий был определен коэффициент минерализации, рассчитываемый как отношение численности бактерий, растущих на среде КАА (аминоавтотрофы) к бактериям, растущим на среде МПА (аммонификаторы) [10].

Для изучения соотношения микроорганизмов с разными экологическими стратегиями проводили посуточный учет видимых колоний [16]. Учет вели в

течение недели на среде МПА с пониженной в 100 раз концентрацией. Разбавленная среда использовалась, поскольку ранее было установлено, что на данной среде лучше проявляется разница в скорости образования колоний [4]

Учет бактерий, формирующих видимые колонии в разные сроки, позволяет оценивать общее разнообразие микробного сообщества. Для количественного выражения такой оценки был использован H' -индекс H' (Shannon Diversity Index). Расчёт производился по следующей формуле:

$$H' = - \sum (p_i \times \log p_i)$$

где p_i – популяция в классе (количество видимых колоний, появившихся в каждый день учёта).

Для изучения способности бактерий продуцировать каротиноидные пигменты проводили посев почвенных разведений на соевый агар. Чашки с посевами инкубировали на свету при комнатной температуре в течение 7-10 дней, после чего проводили сбор биомассы бактерий с поверхности чашек, нанося на них 2 мл физиологического раствора, и смывая биомассу шпателем Дригальского. Затем густую суспензию клеток бактерий переносили в пробирку и осаждали центрифугированием при 5000 g в течение 5 мин. Супернатант удаляли, а клетки экстрагировали прибавлением 1 мл 100% диметилсульфоксида. Экстракцию проводили в течение 1 ч с периодическим встряхиванием на вортексе. Затем вновь центрифугировали пробирки при 5000 g в течение 5 минут и отбирали супернатант, содержащий каротиноидные пигменты. Затем супернатант вносили по 100 мкл в полистироловый планшет и снимали полный спектр на приборе Fluostar Omega [5].

Также в данной работе был проведен анализ видового состава спорообразующих бактерий в исследуемых почвах. Чистые культуры подвергались видовой идентификации с помощью метода масс-спектрометрии MALDI TOF. Образцы для MALDI-TOF масс-спектрометрии были получены путем культивирования бактериальных штаммов на питательном агаре при 30°C в течение 16 часов для сбора достаточного количества биомассы с низким процентом спорулирующих клеток. Идентификацию проводили на приборе Microflex LT (Bruker Daltonics GmbH, Лейпциг, Германия) с программным обеспечением Biolyser (версия 3.0) (Bruker Daltonics). Необработанные спектральные данные были автоматически проанализированы с помощью программного обеспечения MALDI BioTyper (Bruker Daltonics) с использованием библиотеки, содержащей 5989 спектров (база данных

обновлена производителем в 2016 году). Идентификацию проводили путем отбора небольшого количества клеток из бактериальной колонии с использованием стерильного наконечника и распределения биомассы на стальных пластинках-мишенях MSP 96 (Bruker Daltonics). Тонкий слой бактерий покрывали 1 мкл матрицы (насыщенный раствор α -циано-4-гидроксикоричной кислоты в 50% ацетонитриле с добавлением 2,5% трифторуксусной кислоты) и оставляли сушиться при комнатной температуре. Затем в автоматическом режиме были получены спектры, которые анализировались в автоматическом режиме с помощью программного обеспечения BioTyper.

Результаты и обсуждение

По итогам микробиологического анализа были выявлены существенные различия в численности и видовом составе микробных сообществ исследуемых почв. Наиболее резкие отличия наблюдались для аммонифицирующих бактерий. Численность данной группы микроорганизмов в среднем оказалась в 2,68 раз выше в почвах с высоким уровнем антропогенной нагрузки по сравнению с почвами с минимальным уровнем воздействия. Данные различия были статистически достоверными ($H=21,39$; $p < 0,0001$). При этом численность аминоавтотрофных бактерий различалась между отдельными точками сильнее, чем между почвами с разным уровнем антропогенной нагрузки ($H=2,32$; $p=0,1277$). Результаты учета численности бактерий на плотных питательных средах представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Численность эколого-трофических бактерий в почвах с разным уровнем антропогенной нагрузки

№	Численность бактерий, млн. КОЕ/г абс. сух почвы		K _{мин}
	Аммонификаторы	Аминоавтотрофы	
Почвы с минимальным уровнем антропогенной нагрузки			
1	10,4±2	10,7±2,7	1,03
2	7,3±0,4	29,3±6	4,03
3	12,5±0,7	21,5±9	1,71
4	7,2±0,5	39,6±8,5	5,50
5	10,3±0,9	24,5±2,4	2,39
Почвы с высоким уровнем антропогенной нагрузки			
6	14,6±2	15,7±3,8	1,07

7	35,8±0,8	37,4±2,4	1,04
8	22,1±0,8	40,4±8	1,83
9	25,8±1,7	24,5±1,2	0,95
10	29,6±2,6	28,2±1,8	0,95

Очень хорошим показателем состояния почвы является коэффициент минерализации, который отражает направленность минерализационных процессов, и в естественных почвах всегда значительно больше единицы. В черноземах Хомутовской степи [1] в абсолютно заповедных почвах коэффициент минерализации составил 4,05.

В настоящей работе в почвах с минимальной нагрузкой значения коэффициента минерализации сильно варьировали, и для всех почв, кроме площадки №1 значительно превышали единицу, тогда как в почвах центральной части города наблюдалась прямо противоположная картина. Снижение коэффициента минерализации в урбопочвах можно связать с поступлением нехарактерных субстратов, не содержащих азота (например, алифатических углеводов и ПАУ) при низком уровне поступления растительного опада, что не приводит к пропорциональному увеличению численности бактерий, использующих минеральный азот.

Эти же закономерности подтверждались и при анализе численности отдельных таксономических групп микроорганизмов (Табл. 2)

Таблица 2 – Численность аэробных спорообразующих бактерий и актиномицетов в почвах с разным уровнем антропогенной нагрузки

№	Численность бактерий, КОЕ/г абс. сух почвы			
	Аэробные спорообразующие бактерии		Актиномицеты	
	Абс. число	% от аммонификаторов	Абс. число	% от аминоксавтотрофов
Почвы с минимальным уровнем антропогенной нагрузки				
1	4,44±1,90	42,7	6,0±0,4	56,1
2	4,59±0,71	62,8	3,5±0,3	11,9
3	4,46±0,90	35,7	9,2±1,1	42,8
4	4,36±1,53	60,6	7,6±1,2	19,2
5	3,00±0,37	29,1	6,4±5,3	26,1
Почвы с высоким уровнем антропогенной нагрузки				
6	1,32±0,13	9,0	6,1±2	38,9
7	1,12±0,22	3,1	4,4±0,2	11,8
8	1,25±0,18	5,7	13,3±4,3	32,9

9	0,28±0,03	1,1	2,9±0,4	11,8
1				
0	0,62±0,13	2,1	5,6±0,2	19,9

Как видно из данных таблицы, численность аэробных спорообразующих бактерий в слабо нарушенных почвах колебалась от 3,0 до 4,59 млн. КОЕ/г, тогда как в почвах с высоким уровнем антропогенной нагрузки отмечено 0,28-1,32 млн. КОЕ/г абсолютно сухой почвы. Разница составляет в среднем 4,5 раза. Данная закономерность оказывается еще более выраженной при анализе доли спорообразующих бактерий в микробном сообществе. В почвах, близких к естественному состоянию данная группа является доминантной, составляя от трети до более чем 60%, при этом в почвах центральной части города их доля не превышает 10%. Следует отметить, что доминирование бацилл характерно для целинных черноземных почв [11, 13].

По-видимому, наблюдаемое снижение численности спорообразующих бактерий связано со снижением поступления растительного опада почву. Полученные данные хорошо согласуются с предыдущими работами, в которых также наблюдалось снижение доли бацилл от окраин к центру города [2].

Численность актиномицетов демонстрировала очень значительные колебания между точками, как в слабо нарушенных, так и в антропогенно-преобразованных почвах. Отсутствие заметной разницы в численности актиномицетов в почвах с разным уровнем антропогенной нагрузки отражает меньшую зависимость данной группы микроорганизмов от поступления свежего органического вещества, что связано с их способностью к ассимиляции гумуса [8]. Одновременно, значительные колебания относительной и абсолютной численности актиномицетов в почвах с сопоставимым уровнем антропогенной нагрузки может свидетельствовать об их чувствительности к локальным почвенным условиям.

Более ярко различия между микробными сообществами почв с разным уровнем антропогенной нагрузки проявляются при анализе динамики образования колоний.

Значения ЕР-индекса в почвах с разным уровнем антропогенной нагрузки приведены в таблице 2.

Таблица 3 – Значения ЕР-индекса в почвах г. Ростов-на-Дону с разным уровнем антропогенной нагрузки

№	Почвы с минимальной антропогенной нагрузкой	№	Почвы с высокой антропогенной нагрузкой
1	0,752±0,006	6	0,733±0,008
2	0,743±0,006	7	0,649±0,025
3	0,757±0,004	8	0,640±0,071
4	0,758±0,005	9	0,671±0,057
5	0,749±0,006	10	0,669±0,023

Значения ЕР-индекса для почв с высоким уровнем нагрузки оказались достоверно ниже его значений в ненарушенных почвах. Это говорит о том, что при адаптации микробного сообщества к условиям городских почв происходит потеря видового разнообразия.

Помимо общего снижения разнообразия, под влиянием антропогенной нагрузки изменяется и соотношение бактерий с разными экологическими стратегиями, что ясно видно из рис. 2.

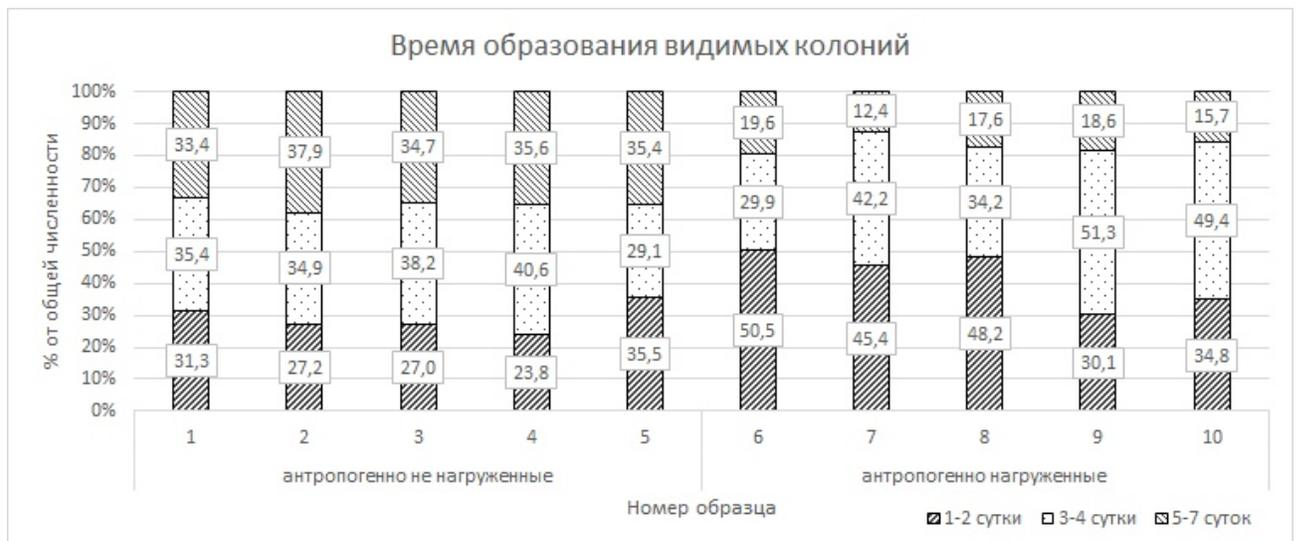


Рис. 2 – Соотношение бактерий с разной скоростью образования колоний на разбавленной среде МПА

Как можно видеть, в микробных сообществах слабо нарушенных почв, доля медленно растущих бактерий (к-стратегия) относительно постоянна и держится на уровне 33,4-37%. В противоположность этому, в почвах центральной части города доля к-стратегов снижается практически вдвое (12,4-19,6%) и одновременно повышается доля наиболее быстро растущих видов (г-стратегия).

Особенно ярко это видно на примере площадок 6, 7 и 8, тогда как на площадках 9 и 10 преобладают бактерии со средней скоростью роста. По-видимому, это связано с тем, что в нарушенных и нестабильных экосистемах преимущество получают виды, которые могут быстро наращивать свою численность, за счет адаптации к использованию субстратов антропогенного происхождения. Медленно растущие виды, приспособленные к утилизации сложных природных субстратов, оказываются более многочисленны в ненарушенных экосистемах.

Анализ видового состава аэробных спорообразующих бактерий показал, что изменения микробных сообществ под влиянием урбанизации не ограничиваются количественными показателями. Наблюдались также и качественные изменения микробных комплексов исследуемых почв (Табл. 4).

Среди выделенных культур спорообразующих бактерий был идентифицирован 21 вид, принадлежавший к трем родам: *Bacillus*, *Paenibacillus* и *Brevibacillus*.

Среди выделенных видов бактерий четыре вида встречались часто (*B. cereus*, *B. simplex*, *B. megaterium* и *B. Muralis*). Остальные виды обнаруживались в 1-2 образцах. При этом хорошо заметно, что в почвах, близких к естественным, присутствовали 3 из 4 обычных видов, а редкие и уникальные виды встречались мало, что делает эти почвы весьма близкими по видовому составу, несмотря на значительное удаление точек отбора друг от друга.

Таблица 4 – Видовой состав аэробных спорообразующих бактерий в почвах с разным уровнем антропогенной нагрузки

Вид	Почвы с минимальной антропогенной нагрузкой					Почвы с высокой антропогенной нагрузкой				
	+	+	+		+	+		+		
<i>B.cereus</i>	+	+	+	+			+			
<i>B.muralis</i>	+									
<i>B. cibi</i>	+	+	+	+	+				+	
<i>B. simplex</i>	+									
<i>P.lautus</i>		+	+	+	+		+	+	+	+
<i>B. megaterium</i>		+								
<i>B. barbaricus</i>				+						
<i>B. pseudomycooides</i>				+		+				
<i>B. bataviensis</i>					+					
<i>B. niacini</i>		+				+				
<i>B. mojavensis</i>						+				
<i>B. agaradhaerens</i>						+				

<i>B. arsenicus</i>								+		
<i>B. firmus</i>								+		
<i>B. licheniformis</i>								+		
<i>B. atrophaeus</i>									+	
<i>P. polymyxa</i>										+
<i>B. acidicola</i>										+
<i>B. drentensis</i>									+	
<i>B. subtilis</i>									+	+
<i>Br. laterosporus</i>	+	+	+		+	+			+	

В антропогенно-преобразованных почвах, напротив, было снижено число обычных видов бацилл, при этом в каждой точке обнаруживались виды, не встречающиеся в других точках. Таким образом, несмотря на сравнительно небольшое расстояние между точками отбора, в городской среде формировались микробные сообщества, значительно отличающиеся друг от друга. Такая картина может быть связана с высокой степенью турбированности урбиковых горизонтов и привнесением в них материала разного происхождения. При этом наблюдается потеря естественного разнообразия почвенной микробиоты (из типичных для чернозема видов в измененных почвах широко представлен лишь *B. megaterium*). Данный вид отмечался как обычный для естественных почв и урбиковых горизонтов и в более ранних исследованиях почв г. Ростова-на-Дону [6].

Следующим этапом работы было выяснение некоторых свойств измененных микробных сообществ. В ходе исследований было установлено увеличение доли бактерий, образующих каротиноидные пигменты (Рис. 3).

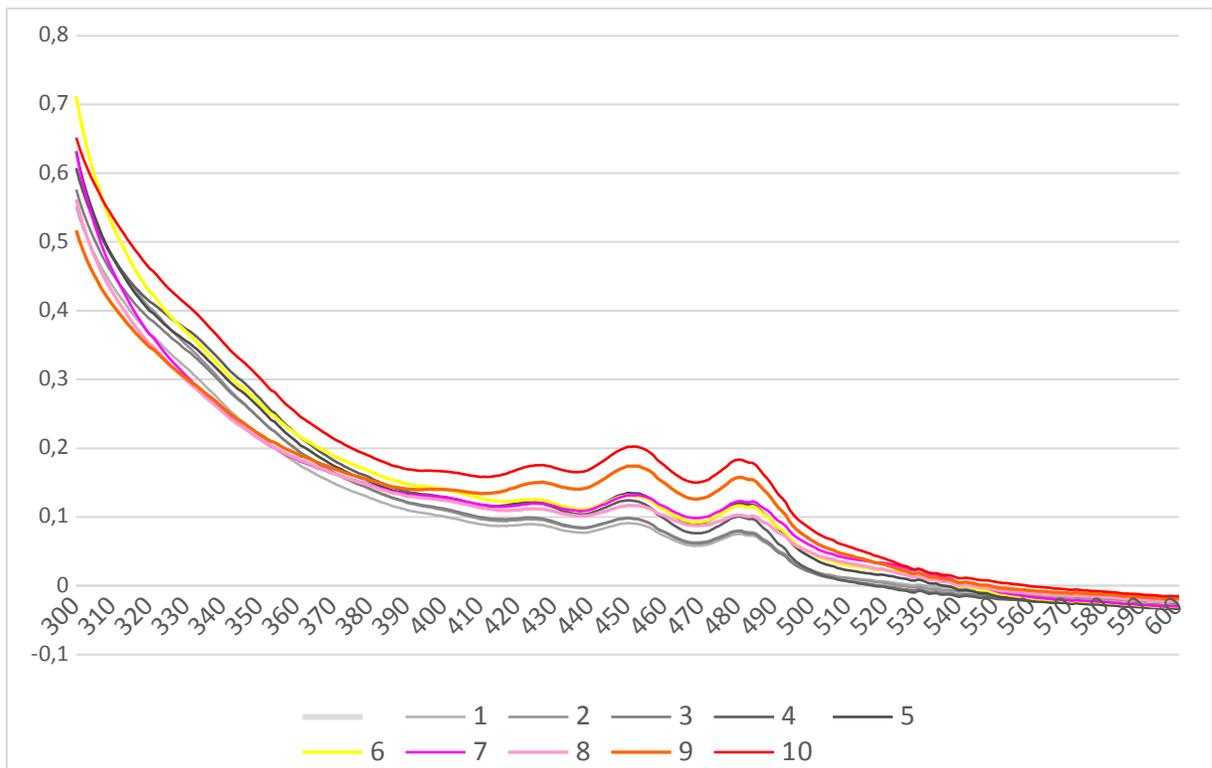


Рис. 3 – Спектры ДМСО-экстрактов биомассы бактерий из посевов почвенных разведений

Как видно из представленных данных, в почвах, подверженных интенсивной урбанистической нагрузке, гораздо выше доля бактерий, образующих окрашенные в желтый, оранжевый и розовый цвет за счет продукции пигментов-каротиноидов и близких к ним веществ (хорошо видимые пики поглощения с длинами волн 400-500 нм).

На рисунке 4 представлены данные по среднему содержанию пигментов в сухой биомассе бактерий, рассчитанному по чистому бета-каротину. Хорошо заметно, что в посевах из антропогенно-преобразованных почв существенно выше доля ярко окрашенных колоний. Это отражается в увеличенном содержании пигментов в ДМСО-экстрактах биомассы, собранной с агаровых пластинок. Интересно отметить, что подобная закономерность наблюдается и в отношении актиномицетов. По данным Н.Н. Назаренко и И.Д. Свистовой, в урбаногемах г. Воронежа отмечалось повышенная частота ярко

пигментированных форм актиномицетов, а также видов, продуцирующих меланоидные пигменты [7].

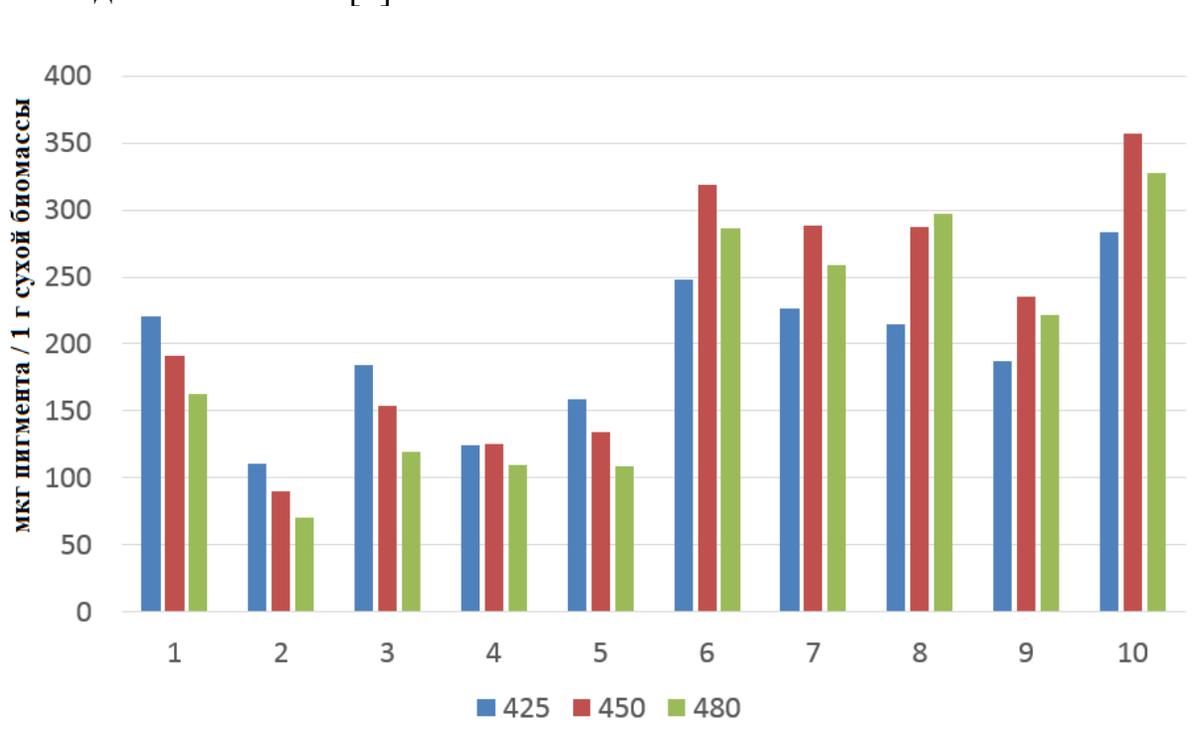


Рис. 4 – Количество пигментов в биомассе бактерий, выращенных на соевом агаре

Данную закономерность мы связываем с антиоксидантным действием ряда веществ, продуцируемых микроорганизмами. Известно, что многие загрязнители антропогенной природы способны индуцировать образование активных форм кислорода в клетках. В частности, такие механизмы токсичности показаны для тяжелых металлов [18], а также для полиароматических углеводородов [19]. Таким образом, в загрязненных почвах селективное преимущество получают штаммы, способные продуцировать пигменты с антиоксидантными свойствами.

Еще одним предполагаемым механизмом накопления пигментообразующих штаммов бактерий в почвах центральной части города является отбор клеток бактерий в ходе цикла иссушения-образования и выпадения пыли с атмосферными осадками. Данному процессу способствует ветровая и водная эрозия городских почв, лишенных устойчивого травянистого покрова.

Поверхностный слой почвы вымывается на тротуары и дороги, где подвергается иссушению и интенсивной инсоляции, а также служит значимым источником образования пыли. Данные многолетнего мониторинга [12] свидетельствуют о том, что в центральной части города интенсивность выпадения атмосферной пыли в несколько раз выше, чем на его окраинах. При этом, при исследовании снежного покрова г. Ростова-на-Дону зимой 2018 г. [5] нами было установлено присутствие большого количества ярко окрашенных бактерий в образцах снега, отобранных в центральной части города, и значительно меньшее их число на окраинах и за пределами города. Это показывает, что при попадании в атмосферу, бактерии-продуценты антиоксидантных пигментов выживают лучше, чем те микроорганизмы, которые лишены такой способности. Со временем это приводит к их накоплению в поверхностном слое почвы, а наличие загрязнителей – индукторов окислительного стресса, а также периодическое иссушение поверхностного слоя почвы способствует поддержанию высокой доли пигментообразующих штаммов в микробных сообществах антропогенно-измененных почв.

Заключение

Таким образом, в настоящей работе было показано, что процесс урбанизации приводит к кардинальному изменению микробных сообществ городских почв степной зоны. Наблюдается снижение видового разнообразия, преобладание в сообществах быстро растущих видов, кроме того, в антропогенно-преобразованных почвах наблюдается повышенное число аммонификаторов по сравнению со слабо нарушенными почвами.

Повышенное число бактерий, растущих на МПА, по-видимому, отражает изменения в соотношении бактерий с разными экологическими стратегиями, поскольку именно к этой группе относятся копиотрофные бактерии, способные перерабатывать большие количества органических субстратов. При этом наблюдается отсутствие одновременного роста численности аминоавтотрофов, что снижает коэффициент минерализации и может говорить о переключении микробного сообщества городских почв на утилизацию субстратов антропогенного происхождения. Эта группа веществ включает органические поллютанты, не содержащие азота, например, алифатические и ароматические углеводороды, образующиеся при неполном сгорании топлива. Этот вывод подтверждается результатами более ранних исследований, показывающих

доминирование в городских почвах видов р. *Arthrobacter* и *Pseudomonas* [6], для которых неоднократно показана способность к деструкции углеводов, и в том числе ПАУ.

При этом доля микроорганизмов, утилизирующих природные субстраты оказывается резко понижена – в городских почвах в несколько раз снижается число аэробных спорообразующих бактерий порядка *Bacillales*. Одновременно с падением их численности изменяется и видовой состав, что проявляется в исчезновении типичных видов из микробных комплексов антропогенно-преобразованных почв.

В микробных сообществах городских почв повышается доля быстро растущих видов бактерий, что говорит о том, что почвы находятся в состоянии стресса. Это указывает на нарушение стабильности почвенной экосистемы и может привести к потере ряда ее экологических функций. Тем не менее, параллельно происходит и адаптация к изменившимся условиям среды, которая выражается в увеличении доли микроорганизмов, обладающих антиоксидантными пигментами.

В целом, можно говорить о практически полной перестройке микробных сообществ, и о формировании характерных сообществ урбопочв, очень своеобразных и отличающихся от исходных микробоценозов черноземов в той же мере, как отличаются между собой микробные сообщества зональных типов почв.

Список литературы

1. Андреюк Е. И., Валагурова Е. В. Основы экологии почвенных микроорганизмов // Киев: Наукова думка, 1992. – 223 с.
2. Батталов Д.В., Морозов И.В., Горовцов А.В., Фалеева Т.Г., Васильченко Н.Г., Шкуропадская К.В., Боровикова Я.В., Моисеева Т.С., Корниенко И.В. Проблемы идентификации почв с использованием микробиологических методов в судебно-почвоведческой экспертизе // Современные проблемы науки и образования, 2017. №. 2. – С. 234-234.
3. Горбов С.Н., Горовцов А.В., Безуглова О.С., Вардуни Т.В., Тагивердиев С.С. Биологическая активность запечатанных почв Ростова-на-Дону // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Том 18, №2 (2), 2016. – С. 331—336.
4. Горовцов А. В., Иванов Ф. Д. Применение метода CFC (colony-forming curve) для изучения микроорганизмов с разными экологическими стратегиями в

- условиях антропогенной нагрузки // Генетика – фундаментальная основа инноваций в медицине и селекции: материалы Научно-практической конференции с международным участием (Ростов-на-Дону, 2–4 ноября 2017 г.) / Южный федеральный университет; [гл. ред.: Т. П. Шкурат, А. В. Усатов, А. Е. Панич]. Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017. – С. 49-50.
5. Горовцов А.В., Дёмин К.А., Зинченко В.В. Влияние переноса микроорганизмов с атмосферными осадками на формирование микробных сообществ антропогенно-преобразованных почв // Устойчивое развитие территорий: теория и практика: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции (24-26 мая 2018 г. г. Сибай.). – Сибай: Сибайский информационный центр – филиал ГУП РБ Издательский дом «Республика Башкортостан», 2018. – С. 155-158.
 6. Горовцов А. В., Васильченко, Н. Г., Гагурин, Н. Н., Гильдебрант, А.В. Характеристика видового состава микробных сообществ почв г. Ростова-на-Дону // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных ресурсосберегающих технологий в АПК. 2017. – С. 98-104.
 7. Звягинцев Д. Г. (ред.). Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1991. – 304 с.
 8. Зенова Г. М. Почвенные актиномицеты // М.: изд-во МГУ, 1992. – 78 с.
 9. Микробиологическая индикация почв урболандшафтов: монография / Н.Н. Назаренко, И.Д. Свистова. Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2013. – 135 с.
 10. Мишустин Е.Н. Микроорганизмы и плодородие почвы. М.: Изд-во АН СССР, 1956. – 246 с.
 11. Мишустин Е.Н. Микрофлора черноземных почв // Микрофлора почв северной и средней части СССР/ Е.Н. Мишустин, В.А. Мирзоева, Е.П. Громько; под ред. Е.Н. Мишустина. М.: Наука, 1966. – С. 215-249.
 12. Приваленко В.В., Безуглова О.С. Экологические проблемы антропогенных ландшафтов Ростовской области. Том 1. Экология города Ростова-на-Дону. Ростов-на-Дону: изд-во СКНЦВШ, 2003. – 290 с.
 13. Самцевич С.А. Микрофлора южного чернозема под лесными насаждениями и в степи // Микрофлора почв северной и средней части СССР/ под ред. Е.Н. Мишустина. М. : Наука, 1966. – С. 186-213.
 14. De Leij F., Whipps J. M., Lynch J. M. The use of colony development for the

- characterization of bacterial communities in soil and on roots //Microbial ecology, 1993. Т. 27. №. 1. – С. 81-97.
15. Gorbov S. N. et al. Genotoxicity and contamination of natural and anthropogenically transformed soils of the city of Rostov-on-Don with heavy metals //Eurasian soil science, 2015. Т. 48. №. 12. – С. 1383-1392.
 16. Kataoka N. et al. Examination of bacterial characteristics of anaerobic membrane bioreactors in three pilot-scale plants for treating low-strength wastewater by application of the colony-forming-curve analysis method //Applied and environmental microbiology, 1992. Т. 58. №. 9. – С. 2751-2757.
 17. Loepmann S. et al. Shift from dormancy to microbial growth revealed by RNA: DNA ratio //Ecological Indicators, 2018. Т. 85. – С. 603-612.
 18. Lemire, J. A., Harrison, J. J., & Turner, R. J. (2013). Antimicrobial activity of metals: mechanisms, molecular targets and applications. *Nature Reviews Microbiology*, 11(6), 371.
 19. Pašková, V., Hilscherová, K., Feldmannová, M., & Bláha, L. (2006). Toxic effects and oxidative stress in higher plants exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons and their N-heterocyclic derivatives. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 25(12), 3238-3245.

Spisok literaturey

1. Andreyuk E. I., Valagurova E. V. Osnovy ehkologii pochvennykh mikroorganizmov //Kiev: Naukova dumka. – 1992. – 223 s.
2. Battalov D.V., Morozov I.V., Gorovtsov A.V., Faleeva T.G., Vasil'chenko N.G., SHkuropadskaya K.V., Borovikova YA.V., Moiseeva T.S., Kornienko I.V. Problemy identifikatsii pochv s ispol'zovaniem mikrobiologicheskikh metodov v sudebno-pochvovedcheskoj ehkspertize //Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. – 2017. – №. 2. – S. 234-234.
3. Gorbov S.N., Gorovcov A.V., Bezuglova O.S., Varduni T.V., Tagiverdiev S.S. Biologicheskaya aktivnost' zapechatannyh pochv Rostova-na-Donu // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. Tom 18, №2 (2), 2016. – S. 331—336.
4. Gorovtsov A. V., Ivanov F. D. Primenenie metoda SFC (colony-forming curve) dlya izucheniya mikroorganizmov s raznymi ehkologicheskimi strategiyami v usloviyakh antropogennoj nagruzki. – 2017. – S. 49-50.

5. Gorovtsov A.V., Dyomin K.A., Zinchenko V.V. Vliyanie perenosa mikroorganizmov s atmosferynymi osadkami na formirovanie mikrobnnykh soobshhestv antropogenno-preobrazovannykh pochv // Ustojchivoe razvitie territorij: teoriya i praktika: materialy IX Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii (24-26 maya 2018 g. g. Sibaj.). – Sibaj: Sibajskij informatsionnyj tsentr – filial GUP RB Izdatel'skij dom «Respublika Bashkortostan», 2018. - S. 155-158.
6. Gorovtsov A. V., Vasil'chenko, N. G., Gagurin, N. N., Gil'debrant, A.V. KHarakteristika vidovogo sostava mikrobnnykh soobshhestv pochv g. Rostova-na-Lonu //EHkologicheskoe sostoyanie prirodnoj sredy i nauchno-prakticheskie aspekty sovremennykh resursosberegayushhikh tekhnologij v APK. – 2017. – S. 98-104.
7. Zvyagintsev D. G. (red.). Metody pochvennoj mikrobiologii i biokhimii. – Izd-vo MGU, 1991.
8. Zenova G. M. Pochvennye aktinomitsety //M.: izd-vo MGU. – 1992.
9. Mikrobiologicheskaya indikatsiya pochv urbolandshaftov: monografiya / N.N. Nazarenko, I.D. Svistova. – Voronezh: FGBOU VPO Voronezhskij GAU, 2013. – 135 s.
10. Mishustin E.N. Mikroorganizmy i plodorodie pochvy. M.: Izd-vo AN SSSR, 1956. 246 s.
11. Mishustin E.N. Mikroflora chernozemnykh pochv // Mikroflora pochv severnoj i srednej chasti SSSR/ E.N. Mishustin, V.A. Mirzoeva, E.P. Gromyko; pod red. E.N. Mishustina. – M. : Nauka, 1966. – S. 215-249.
12. Privalenko V.V., Bezuglova O.S. EHkologicheskie problemy antropogennykh landshaftov Rostovskoj oblasti. Tom 1. EHkologiya goroda Rostova-na-Donu. Rostov-na-Donu: izd-vo SKNCVSH, 2003. – 290 s.
13. Samtsevich S.A. Mikroflora yuzhnogo chernozema pod lesnymi nasazhdeniyami i v stepi // Mikroflora pochv severnoj i srednej chasti SSSR/ pod red. E.N. Mishustina. – M. : Nauka, 1966. – S. 186-213.
14. De Leij F., Whipps J. M., Lynch J. M. The use of colony development for the characterization of bacterial communities in soil and on roots //Microbial ecology. – 1993. – T. 27. – №. 1. – S. 81-97.
15. Gorbov S. N. et al. Genotoxicity and contamination of natural and anthropogenically transformed soils of the city of Rostov-on-Don with heavy metals //Eurasian soil science. – 2015. – T. 48. – №. 12. – S. 1383-1392.
16. Kataoka N. et al. Examination of bacterial characteristics of anaerobic membrane

- bioreactors in three pilot-scale plants for treating low-strength wastewater by application of the colony-forming-curve analysis method //Applied and environmental microbiology. – 1992. – Т. 58. – №. 9. – S. 2751-2757.
17. Loepmann S. et al. Shift from dormancy to microbial growth revealed by RNA: DNA ratio //Ecological Indicators. – 2018. – Т. 85. – S. 603-612.
18. Lemire, J. A., Harrison, J. J., & Turner, R. J. (2013). Antimicrobial activity of metals: mechanisms, molecular targets and applications. *Nature Reviews Microbiology*, 11(6), 371.
19. Pašková, V., Hilscherová, K., Feldmannová, M., & Bláha, L. (2006). Toxic effects and oxidative stress in higher plants exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons and their N-heterocyclic derivatives. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 25(12), 3238-3245.