

УДК 631.46
DOI: 10.7868/S25000640210305

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ БАКТЕРИАЛЬНОЙ МИКРОФЛОРЫ В ПОЧВАХ СУМГАИТА, АЗЕРБАЙДЖАН

© 2021 г. Ч.З. Багирова¹

Аннотация. Статья посвящена исследованию закономерностей развития бактериальной микрофлоры в почвах Сумгаита (Азербайджан). На десяти мониторинговых площадках в разных функциональных зонах города, характеризующихся различной степенью антропогенного и техногенного воздействия, посезонно были изучены показатели бактериальной микрофлоры. В урбанизированных почвах общая численность микроорганизмов снижается в ряду: фоновая > парковая > придорожная > промышленно-жилая. С повышением содержания в почве углеводов снижается численность сапротрофных микроорганизмов, в структуре микробиоты повышается численность углеводородокисляющих микроорганизмов. В городских почвах с высоким содержанием углеводов в структуре микробиоценоза около 10–15 % составляют микроорганизмы, способные разлагать нефтяные углеводороды и участвующие в процессах самоочищения этих почв. Степень загрязнения почв Сумгаита нефтяными углеводородами, особенно в промышленно-жилой и придорожной зонах, во много раз превышает допустимый уровень, что отражается на структуре почвенной микробиоты. Показатели соотношения между численностью сапротрофных и углеводородокисляющих микроорганизмов могут быть положены в основу ранжирования функциональных зон города по степени техногенного загрязнения, использованы в качестве критериев оценки санитарно-гигиенических нормативов для городских почв, в разработке методов биоиндикации. Эти показатели в качестве биоиндикаторов могут быть эффективны для экологического нормирования содержания углеводов в городских почвах, обеспечивающих устойчивое равновесное функционирование биосистем, в том числе почвенной микробиоты, а также при разработке программ устойчивого развития городов Азербайджана.

Ключевые слова: городские почвы, техногенные почвы, бактериальная микрофлора, углеводородокисляющие микроорганизмы, структура микробиоты, биоиндикация, Сумгаит, Азербайджан.

THE MAIN PATTERNS OF BACTERIAL MICROFLORA DEVELOPMENT IN THE SOILS OF SUMGAIT, AZERBAIJAN

Ch.Z. Bagirova¹

Abstract. The article is devoted to the study of the patterns of bacterial microflora development in the soils of Sumgait (Azerbaijan). On 10 monitoring sites from different functional zones of the city, characterized by different degrees of anthropogenic and technogenic impact, the indicators of the bacterial microflora were studied seasonally. The results of the research showed that in urbanized soils, the total number of microorganisms decreases in the series: background > park > roadside > industrial-residential. With an increase in the content of hydrocarbons in the soil, the number of saprotrophic microorganisms decreases, the number of hydrocarbon-oxidizing microorganisms increases in the structure of the microbiota. In urban soils with a high content of hydrocarbons, about 10–15 % of the microbiocenosis structure consists of microorganisms capable of decomposing petroleum hydrocarbons and participating in the processes of self-purification of these soils. The degree of soil contamination of Sumgait with petroleum hydrocarbons, especially in industrial-

¹ Институт микробиологии Национальной академии наук Азербайджана (Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan), Азербайджан, 1004, г. Баку, ул. Мушвига, 103, e-mail: bagirovacinara85@gmail.com

residential and roadside areas, is many times higher than the permissible level, which affects the structure of the soil microbiota. The indicators of the ratio between the number of saprotrophic and hydrocarbon-oxidizing microorganisms can be used as the basis for the ranking of the functional zones of the city according to the degree of technogenic pollution, used as criteria for evaluating sanitary and hygienic standards for urban soils and in the development of bioindication methods. These indicators as bioindicators can be effective for ecological regulation of the content of hydrocarbons in urban soils, ensuring the stable equilibrium functioning of biosystems, including the soil microbiota, as well as in the consideration of programs for the sustainable development of Azerbaijani cities.

Keywords: urban soils, technogenic soils, bacterial microflora, hydrocarbon-oxidizing microorganisms, microbiota structure, bioindication, Sumgait, Azerbaijan.

ВВЕДЕНИЕ

Оптимизация ландшафтов на сегодня представляет собой одну из важнейших задач геоэкологического сохранения природных ландшафтов, в том числе и на урбанизированных территориях [1].

Хотя почвенный покров в городах формируется и функционирует под воздействием тех же абиогенных и биогенных факторов, что и естественные почвы (климат, рельеф, материнские породы, растительный и животный мир), однако городская среда подвержена воздействию техногенных факторов как в прямом, так и в опосредованном виде, в результате чего природные факторы почвообразования находятся под постоянным прессом [2].

Одним из основных качественных показателей биологического состояния почвы является численность микроорганизмов. Микробиоценоз почвы характеризует ее потенциальное плодородие, суммарный результат биохимических процессов, обусловленных жизнедеятельностью микроорганизмов [3]. Также важным диагностическим показателем состояния почвы считается качественный и количественный состав комплексов почвенных микроорганизмов, что связано с высокой чувствительностью представителей почвенной микрофлоры к изменению экологических условий [4]. Интенсивность антропогенного воздействия определяет объем негативных изменений биологических свойств почвы. Несмотря на высокую способность микробиоты приспосабливаться к постоянным изменениям окружающей среды, равновесие микробных ценозов может нарушаться вследствие антропогенного и техногенного влияния [5].

В последние годы проведен ряд исследований, посвященных различным аспектам микробиологии загрязненных городских почв [6–8]. Для Азербайджана в работе М.П. Бабаева и др. [9] отмечено, что

антропогенно деградированные серо-бурые почвы вокруг цементного завода в Карадагском районе и суперфосфатного комбината в Сумгаите в сравнении с естественными ландшафтами характеризуются угнетением микробиологической и ферментативной активности. Проведены системные исследования в области микробиологии и биогенности почв Баку [10; 11], которые показали, что городские почвы различаются по их биологической активности в зависимости от степени техногенной и антропогенной нагрузки и сложности природных компонентов.

Сумгаит расположен в 26 км к северо-востоку от Баку и является вторым по величине и значимости индустриальным центром Азербайджана. В городе сосредоточен целый комплекс многопрофильных промышленных предприятий, и спектр антропогенного воздействия на его территории очень широк.

Среди всех городов Азербайджана по уровню загрязнения атмосферы для Сумгаита и Баку характерна наивысшая среднегодовая концентрация загрязняющих веществ – более 14 ИЗА [12]. Однако до 2009 г. качество атмосферного воздуха не было приоритетным направлением природоохранной политики в Азербайджане [13].

Основные компоненты загрязнения атмосферного воздуха Сумгаита в большинстве своем те же, что и в других крупных городах: пыль, сернистый ангидрид, окись углерода, окислы азота. Расположенные в городе объекты являются основными загрязнителями атмосферы [12]. Специфическими для Сумгаита загрязнителями являются углеводороды и сероводород, отмечается постоянное присутствие в воздухе фотооксидантов.

В атмосферу Апшеронского промышленного региона предприятиями и автотранспортом ежегодно выбрасывается более 2 млн м³ газообразных отравляющих веществ. Участки со средним и сильным

загрязнением в Сумгаите и Баку составляют 50–55 % территории этих городов [14]. В 1997 г. выбросы отравляющих веществ в атмосферу в Азербайджане составили 717 тыс. т, из них на долю Баку пришлось 480 тыс. т, Сумгаита – 25 тыс. т. Только автомобильный транспорт ежегодно выбрасывал в атмосферу до 335 тыс. т отравляющих веществ.

В период 2003–2009 гг. наблюдалась тенденция к уменьшению объемов выбросов из стационарных источников, тогда как объем выбросов из мобильных источников увеличился почти на 64 %, что было связано с развитием парка транспортных средств. В 2008 г. выбросы из мобильных источников превышали выбросы из стационарных источников в 2 раза [13].

Как и другие большие города Азербайджана, Сумгаит сильно загрязняется от выхлопных газов автотранспортных средств [15]. Объем автотранспортных выбросов в 2014 г. составил 29,6 тыс. т, из которых 69,4 % пришлось на оксиды углерода, 18,5 % – на углеводороды, 9 % – на оксиды азота, 2,8 % – на сажу, 0,2 % – на диоксид серы. В составе летучих органических соединений содержатся многие опасные вещества, включая бензол, 1,3-бутадиен, формальдегид, полициклические ароматические углеводороды и др. Загрязнение атмосферного воздуха углеводородами обусловлено их выбросами с отработанными газами автотранспорта, производством моторного топлива на территории города и крупными автотранспортными предприятиями, а также стоянками автотранспортных средств. С юга Сумгаит охватывают нефтепромысловые районы, и воздействию от их выбросов город подвергается при южных ветрах.

В почвенном покрове Апшеронского полуострова, на котором расположен Сумгаит, выделено 17 элементов-загрязнителей (Cu, Sr, Mo, Cr, Ni, Co, Zr, Ti, Yb, B, Ba, V, W, Pb, Sn, Ga и Ag), а в придорожной полосе сумгаитской автотрассы содержатся свинец (45–240 мг/кг), кадмий (2,5–5,9 мг/кг), никель (107–205 мг/кг), медь (12–87 мг/кг) [16]. В селитебных зонах Сумгаита, характеризующихся низкой техногенной нагрузкой, основным загрязнителем является автотранспорт, вред от выхлопных газов которого усиливается накоплением в почве свинца и цинка [15].

Непрерывный рост численности населения обуславливает рост энергопотребления. Если в 90-х гг. прошлого столетия в Сумгаите официальная численность населения составляла 271 тыс. человек, то к 2015 г. повысилась до 426 тыс., то есть на 57 %.

Нечеткое функциональное зонирование территории города также может быть фактором, негативно воздействующим на его экологическое состояние. Например, промышленные зоны разбросаны по разным частям города, необходимая дистанция между ними и жилыми массивами не соблюдена, а там, где она есть, территория недостаточно озеленена.

Недостаточное развитие зеленых насаждений в городе и его пригородной зоне также играет отрицательную роль. В связи с отсутствием вокруг Сумгаита мощных лесных массивов пригородная зона не выполняет функции резервуара чистого воздуха.

Биоиндикация почв такого крупного индустриального центра, как Сумгаит, десятилетиями находящегося в условиях сильного промышленного пресса, является весьма актуальной. Однако особенности развития микроорганизмов в городских почвах Сумгаита исследованы слабо.

Цель исследования – изучение основных закономерностей развития различных групп микроорганизмов в городских почвах Сумгаита.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объект исследований – почвенный покров Сумгаита.

Основным типом почв, определяющих городские урбаноземы Сумгаита, являются серо-бурые почвы [17]. Работы проведены на десяти мониторинговых площадках четырех функциональных зон: парковой, придорожной, промышленно-жилой, в которой расположены как действующие предприятия, так и примыкающие к ним жилые массивы, и фоновой (рис. 1). В качестве фоновых использовали пробы почв, отобранные с территории водоохранной зоны Джейранбатанского водохранилища, для которой характерными являются серо-бурые почвы. Диагностические показатели серо-бурых почв: содержание гумуса в слое 0–20 см очень незначительно и не превышает 1,1 %, рН почв щелочная по всему профилю, содержание водопрочных агрегатов >0,25 мм невысокое (45–50 %), в верхних горизонтах водопроницаемость 0,5–0,9 мм/мин, содержание CaCO₃ – 10–33 % [17].

Для изучения почвенной микробиоты использовали образцы почв, отобранных с горизонта 0–20 см. Отбор образцов проводили в 2018 г. сезонно (весна – лето – осень – зима) в трехкратной повторности по методу конверта. В рамках прове-

денных исследований было отобрано и проанализировано 56 проб почвенных образцов.

В почвенных пробах изучена численность сапротрофных и углеводородокисляющих микроорганизмов. Для учета микроорганизмов использовали метод посева на агаризованные питательные среды [18]. Численность углеводородокисляющих микроорганизмов в почве изучали на твердой минеральной среде Раймонда. В качестве единственного источника углерода и энергии на крышки чашек Петри вносили н-гексадекан. Посевы культивировали в термостате при температуре 28 °С в течение 7 дней.

Содержание в почвах общих углеводов определяли по методике EPA method 3540 [19]. Сущность метода заключается в непрерывной экстракции до полного извлечения нефтепродукта из загрязненного образца органическими растворителями (смесь гексан : хлороформ в соотношении 1 : 1) в аппарате Сокслета, выпаривании растворителя, остаток (неполярные – собственно нефтепродукты и полярные – продукты их окисления) взвешивают.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием пакета прикладных программ Excel, Statistica V.4.5. В таблицах 1 и 2 приведены среднестатистические данные.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований показали, что почвы всех мониторинговых площадок характеризуются существенной разницей в численности микроорганизмов (табл. 1).

Наибольшая численность гетеротрофных микроорганизмов в городских почвах Сумгаита обнаружилась весной и осенью, в период наиболее благоприятных экологических условий (средняя температура составляла 20–27 °С, влажность почвы в среднем колебалась в пределах 50–60 % от полной полевой влагоемкости): $9 \cdot 10^4$ (в промышленно-жилой зоне), $3,7 \cdot 10^5$ (в придорожной зоне), $3 \cdot 10^6$ (в парковой и фоновой зонах).

Зимой и летом, когда экологические факторы являются неблагоприятными для почвенной микрофлоры (летом – снижение влагоемкости до 30–40 % при высокой температуре (32–38 °С), зимой – снижение среднемесячной температуры до 8–12 °С), численность микроорганизмов в почве всех исследуемых функциональных зон города существенно уменьшается – до $2 \cdot 10^4$... $1 \cdot 10^5$.

Численность микроорганизмов в оптимальное время сезона, весной и осенью, зависела от места

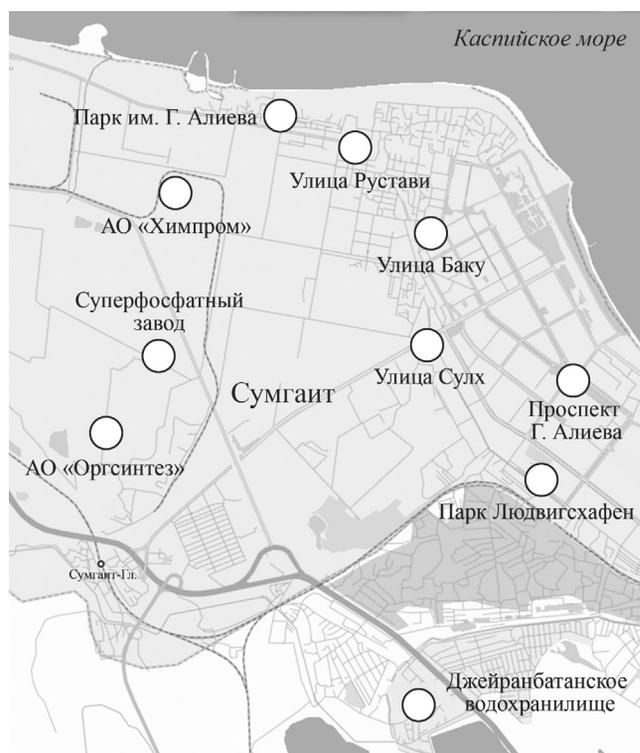


Рис. 1. Территория отбора почвенных проб.
Fig. 1. Soil sampling areas.

отбора почв: наибольшая численность была выше в почвах, отобранных в лесопарковой зоне – парке им. Гейдара Алиева, парке Людвигсхафен и др. Разница в численности микроорганизмов объясняется, вероятно, тем, что эти зоны подвергаются меньшему техногенному загрязнению (табл. 2), в них проводятся более интенсивные и частые работы по уходу за почвенным покровом – полив, уборка мусора и др. Данные таблицы 2 позволяют распределить мониторинговые площадки по степени техногенной нагрузке: максимальная – в промышленно-жилой зоне, в которой степень загрязнения почв углеводородами составляет 16,7–30,02 г/кг; средняя – в придорожной зоне, в почвах которой средняя степень загрязнения 1,8–2,5 мг/кг; слабая – в почвах парковых зон, в которых содержание загрязняющих веществ колеблется в пределах 0,7–0,8 г/кг. Наименьшее количество углеводородов было зафиксировано в почвах фоновых площадок – в пределах 0,1 г/кг.

Городские почвы в районе расположения промышленных предприятий характеризуются меньшей численностью микроорганизмов ($9 \cdot 10^4$... $1,2 \cdot 10^5$) по сравнению с почвами придорожной ($5 \cdot 10^5$... $4,1 \cdot 10^5$) и лесопарковой ($2 \cdot 10^6$... $3 \cdot 10^6$) зон.

Таблица 1. Численность микроорганизмов в почвах мониторинговых площадок г. Сумгаита по сезонам года (данные за 2018 г.)
Table 1. The number of microorganisms in the urban soils of Sumgait by season (2018)

Место отбора почвенных образцов, горизонт 0–20 см / Soil sampling point, horizon 0–20 cm	Численность бактериальной микрофлоры, КОЕ на 1 г почвы / The number of bacterial microflora, CFU per 1 g of soil							
	Общая численность бактерий / Total number of bacteria				Общая численность УОМ / Total number of hydrocarbon-oxidizing microorganisms			
	Весна Spring	Лето Summer	Осень Autumn	Зима Winter	Весна Spring	Лето Summer	Осень Autumn	Зима Winter
Парковая зона / Park area								
Парк им. Г. Алиева G. Aliyev Park	$3 \cdot 10^6 \pm 2,3$	$2 \cdot 10^5 \pm 2,1$	$4 \cdot 10^6 \pm 2,3$	$1 \cdot 10^6 \pm 1,9$	$2 \cdot 10^4 \pm 2,1$	$1,6 \cdot 10^4 \pm 2,3$	$2,1 \cdot 10^4 \pm 2,3$	$1 \cdot 10^4 \pm 2,1$
Парк Людвигсхафен Ludwigshafen Park	$2 \cdot 10^6 \pm 2,0$	$1,3 \cdot 10^6 \pm 2,6$	$1,9 \cdot 10^6 \pm 2,1$	$1 \cdot 10^5 \pm 1,9$	$1,3 \cdot 10^4 \pm 2,2$	$0,9 \cdot 10^4 \pm 2,4$	$1,4 \cdot 10^4 \pm 2,8$	$1 \cdot 10^4 \pm 2,0$
Придорожная зона / Roadside area								
Улица Сулх Sulkh Street	$4,1 \cdot 10^5 \pm 2,1$	$2,0 \cdot 10^5 \pm 1,9$	$4,7 \cdot 10^5 \pm 2,6$	$1,3 \cdot 10^5 \pm 2,1$	$2,1 \cdot 10^4 \pm 2,0$	$1,2 \cdot 10^4 \pm 2,7$	$2,2 \cdot 10^4 \pm 2,0$	$0,8 \cdot 10^4 \pm 2,3$
Проспект Г. Алиева G. Aliyev Avenue	$3,7 \cdot 10^5 \pm 2,3$	$2,8 \cdot 10^5 \pm 1,6$	$3,9 \cdot 10^5 \pm 2,0$	$2,2 \cdot 10^5 \pm 2,3$	$2 \cdot 10^4 \pm 2,3$	$1,8 \cdot 10^4 \pm 2,2$	$2,3 \cdot 10^4 \pm 2,4$	$0,7 \cdot 10^4 \pm 2,4$
Улица Баку Baku Street	$5 \cdot 10^5 \pm 2,4$	$2 \cdot 10^5 \pm 1,2$	$4,9 \cdot 10^5 \pm 2,5$	$1,3 \cdot 10^5 \pm 2,0$	$3 \cdot 10^4 \pm 2,6$	$1,0 \cdot 10^4 \pm 2,5$	$3,3 \cdot 10^4 \pm 2,8$	$0,7 \cdot 10^4 \pm 2,3$
Улица Рустави Rustavi Street	$4,1 \cdot 10^5 \pm 2,0$	$2,2 \cdot 10^5 \pm 1,7$	$4,7 \cdot 10^5 \pm 2,1$	$1,4 \cdot 10^5 \pm 1,7$	$2,1 \cdot 10^4 \pm 2,0$	$1,3 \cdot 10^4 \pm 2,1$	$2,4 \cdot 10^4 \pm 1,9$	$0,7 \cdot 10^4 \pm 2,3$
Промышленно-жилая зона / Industrial and residential area								
АО «Органический синтез» JSC “Organic Synthesis”	$1,2 \cdot 10^5 \pm 2,4$	$1,0 \cdot 10^5 \pm 1,2$	$1,4 \cdot 10^5 \pm 2,4$	$0,7 \cdot 10^5 \pm 2,8$	$5 \cdot 10^3 \pm 2,4$	$2 \cdot 10^3 \pm 2,3$	$5,5 \cdot 10^3 \pm 2,0$	$2 \cdot 10^3 \pm 2,6$
АО «Химпром» JSC “Chemical Industry”	$9 \cdot 10^4 \pm 1,8$	$4 \cdot 10^4 \pm 2,1$	$9,5 \cdot 10^4 \pm 2,0$	$2 \cdot 10^4 \pm 2,4$	$6 \cdot 10^3 \pm 2,3$	$2 \cdot 10^3 \pm 2,0$	$6,3 \cdot 10^3 \pm 2,4$	$1 \cdot 10^3 \pm 2,1$
Суперфосфатный завод Superphosphate plant	$2,1 \cdot 10^5 \pm 1,7$	$1,4 \cdot 10^5 \pm 2,4$	$3,4 \cdot 10^5 \pm 2,7$	$1,0 \cdot 10^5 \pm 2,2$	$8,3 \cdot 10^3 \pm 2,7$	$4,2 \cdot 10^3 \pm 2,3$	$8,3 \cdot 10^3 \pm 1,9$	$4,5 \cdot 10^3 \pm 2,2$
Фоновая зона / Background area								
Джейранбатанское водохранилище / Jeuranbatan Reservoir	$4,2 \cdot 10^6 \pm 2,5$	$3,5 \cdot 10^6 \pm 2,4$	$4,7 \cdot 10^6 \pm 2,3$	$1,3 \cdot 10^6 \pm 2,4$	$2,8 \cdot 10^5 \pm 2,2$	$2,6 \cdot 10^6 \pm 2,4$	$2,9 \cdot 10^5 \pm 2,0$	$1,5 \cdot 10^5 \pm 2,5$

Результаты исследований показали, что в урбанизированных почвах Сумгаита общая численность микроорганизмов снижается в ряду: фоновая > парковая > придорожная > промышленно-жилая.

В биологической оценке соотношение углеводородоокисляющие микроорганизмы (УОМ) / сапротрофы используется в качестве показателя степени нарушения почвенного покрова поллютантами нефтяного происхождения: чем выше это соотношение, тем больше в почве содержание углеводородных загрязнителей и выше численность углеводородоокисляющих микроорганизмов в структуре почвенной микробиоты. В этой связи исследовали соотношение между численностью сапротрофных

микроорганизмов на мясopептонном агаре (МПА) и углеводородоокисляющих микроорганизмов.

Результаты исследований показали, что почвы, в которых содержание общих углеводов было наибольшим (1,8–30,02 в образцах, отобранных в промышленных зонах и на придорожных полосах), характеризовались высокой численностью углеводородоокисляющих микроорганизмов в составе почвенного микробиоценоза – 12000–50000 КОЕ/г почвы, что в общем отражается на показателе соотношения между численностью углеводородоокисляющих и сапротрофных микроорганизмов (табл. 2).

Если в почвах, отобранных в промышленно-жилой зоне, соотношение между численно-

Таблица 2. Соотношение между численностью углеводородоокисляющих и сапротрофных микроорганизмов в городских почвах Сумгаита (17.05.2018 г.)**Table 2.** The ratio between the number of hydrocarbon-oxidizing and saprotrophic microorganisms in urban soils of Sumgait (17 May 2018)

№	Место отбора почвенных образцов, глубина 0–20 см / Soil sampling point, horizon 0–20 cm	Показатели / Indicators			
		Содержание общих углеводородов, г/кг почвы / Total hydrocarbon content, g/kg of soil	Общая численность сапротрофов, КОЕ/г почвы / Total number of saprophytes, CFU/g of soil	Общая численность УОМ, КОЕ/г почвы / Total number of hydrocarbon- oxidizing microorganisms, CFU/g of soil	Соотношение УОМ/сапротрофы / НОМ/saprotrophs ratio
Промышленно-жилая зона / Industrial and residential area					
1	АО «Органический синтез» JSC “Organic Synthesis”	30,02 ± 0,4	12382 ± 66	2200 ± 12	0,18
2	АО «Химпром» JSC “Chemical Industry”	92,0 ± 0,5	12438 ± 48	2500 ± 13	0,20
3	Суперфосфатный завод Superphosphate plant	16,7 ± 0,3	32100 ± 23	4367 ± 10	0,17
Придорожная зона / Roadside area					
4	Улица Сулх Sulkh Street	2,3 ± 0,2	40000 ± 68	4000 ± 15	0,10
5	Проспект Г. Алиева G. Aliyev Avenue	2,2 ± 0,2	44000 ± 34	5000 ± 17	0,11
6	Улица Баку Baku Street	2,5 ± 0,1	51000 ± 37	4800 ± 16	0,09
7	Улица Рустави Rustavi Street	1,8 ± 0,1	43000 ± 33	4200 ± 15	0,09
Парковая зона / Park area					
8	Парк им. Г. Алиева G. Aliyev Park	0,7 ± 0,01	334000 ± 31	12000 ± 21	0,035
9	Парк Людвигшафен Ludwigshafen Park	0,8 ± 0,02	246000 ± 24	12100 ± 21	0,05
Фоновая зона / Background area					
10	Джейранбатанское водохранилище Jeyranbatan Reservoir	0,1 ± 0,03	430000 ± 79	13200 ± 24	0,03

стью углеводородоокисляющих микроорганизмов и сапротрофных было в пределах 0,18–0,21, то в почвах парковой зоны это соотношение не превышало 0,03–0,05. Аналогичная закономерность обнаруживается и между почвами, отобранными в парковой и придорожной зонах. Эти данные свидетельствуют о том, что в городских почвах с высоким содержанием углеводородов в структуре микробиоценоза около 10–15 % составляют микроорганизмы, способные разлагать нефтяные углеводороды и участвующие в процессах самоочищения этих почв. Как видно из данных таблицы 2, в фо-

новой почве соотношение между общей численностью микроорганизмов и углеводородоокисляющих микроорганизмов составляет 0,03: наличие углеводородоокисляющих микроорганизмов в этих почвах может определяться наличием в них углеводородного загрязнения, источником которого могут быть как атмосферные осадки (дожди), так углеводороды биогенного происхождения, в том числе из опада листьев. Представляется, что значения соотношения между численностью сапротрофных и углеводородоокисляющих микроорганизмов могут быть использованы в качестве показателя степени

нарушенности структуры микробиоценозов почв в результате загрязнения и положены в основу ранжирования функциональных зон города по степени техногенного загрязнения:

- высокая степень нарушенности структуры микробиоценоза: 0,17–0,20;
- средняя степень нарушенности: 0,09–0,11;
- низкая степень нарушенности: 0,035–0,05;
- ненарушенные: 0,03.

Представляется, что показатели соотношения между численностью сапротрофных и углеводородоокисляющих микроорганизмов могут быть использованы в качестве показателя степени нарушенности структуры микробиоценозов почв в результате загрязнения и положены в основу ранжирования функциональных зон города по степени техногенного загрязнения:

Результаты исследования показывают, что городские почвы Сумгаита различаются по численности микробиоты, которая определяет биологическую активность микроорганизмов в зависимости от степени техногенной нагрузки и характера ландшафтов.

Территория, на которой расположен Сумгаит, относится к полупустыням и сухим степям с мягкой зимой и сухим жарким летом, что накладывает отпечаток на характер структуры и функциональную активность почвенной микробиоты. Среднегодовая температура воздуха составляет 14,4 °С при всего 247 мм осадков. В летние месяцы температура почвы в верхнем горизонте (0–5 см) может достигать 45–50 °С, что при отсутствии осадков негативно сказывается на функциональной активности почвенной микробиоты и самоочищающей способности почв.

В Азербайджане для почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, фоновое содержание определено как 100 мг/кг, то есть 0,01 %. Как видно из таблицы 2, содержание в почвах Сумгаита нефтяных углеводов составляло от 0,7–0,8 в парках до 1,8–2,3 в придорожной и до 16,7–92,0 г/кг в промышленно-жилой зоне, общих углеводов в фоновых почвах – около 0,1 г/кг.

Важна проблема восстановления функциональной активности городских почв Сумгаита. Представляется, что наряду с внесением комплекса органических и неорганических удобрений наиболее успешным может быть применение эффективных микроорганизмов (так называемая ЭМ-технология), что позволит улучшить структуру и стимулировать процесс регенерации городских почв [20].

В этой связи перспективны исследования по разработке ЭМ-технологий применительно к урбаногемам, находящимся под постоянным техногенным давлением. Защита почв Сумгаита от загрязнения органическими и неорганическими поллютантами может базироваться также на совершенствовании производств, создании замкнутых технологических систем, организации безотходных производств.

ВЫВОДЫ

Численность микроорганизмов в почвах Сумгаита зависит от сезона года: наибольшая весной и осенью, наименьшая летом и зимой. Определяющую роль играет соотношение между теплом и влажностью в эти периоды: летом – высокие температуры и минимум атмосферных осадков, зимой – низкие температуры, неблагоприятные для функционирования почвенной микробиоты. В оптимальное время сезона – весной и осенью – численность микроорганизмов в почвах зависит от места отбора проб: наибольшая численность была выше в почвах, отобранных в лесопарковой зоне.

Проведенные исследования показали, что влияние техногенного загрязнения на структуру бактериальной микрофлоры выражается в изменении численности и соотношения эколого-трофических групп микроорганизмов, обеспечивающих стабильность физиологических функций биосистемы. Так, почвенный покров различных зон Сумгаита характеризуется существенной разницей в общей численности микроорганизмов, и по степени снижения численности гетеротрофных микроорганизмов эти зоны можно ранжировать в ряду: фоновая > парковая > придорожная > промышленно-жилая.

Полученные результаты, в частности показатели соотношения численности углеводородоокисляющих и сапротрофных микроорганизмов, могут быть положены в основу критериев оценки санитарно-гигиенических нормативов для городских почв Сумгаита при разработке методов биоиндикации. Эти показатели в качестве биоиндикаторов могут быть эффективны для экологического нормирования содержания углеводов в городских почвах, обеспечивающих устойчивое равновесное функционирование биосистем, в том числе почвенной микробиоты. Результаты исследований могут быть использованы при оценке состояния почв городских ландшафтов Сумгаита, при проведении экологической экспертизы и других природоохранных мероприятий. Полученные результаты в качестве по-

казателей экологической ситуации Сумгаита, природные комплексы которого вот уже более 70 лет находятся под сильным техногенным прессингом, что проявляется в том числе в дисбалансе функционирования почвенной микробиоты, могут быть полезны при разработке программ устойчивого раз-

вития городов Азербайджана (а также городов Южного Закавказья) по показателям (в том числе и по интегральному показателю – индексу устойчивого развития городов), интенсивно рассматривающихся в научной литературе при характеристике урбанизированных территорий мира.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Денисов В.В., Кулакова Е.С., Гутенев В.В., Денисова И.А., Бондаренко В.Л., Грачев В.А., Гутенев В.В., Нагнибеда Б.А. 2008. *Экология города: учебное пособие для студентов вузов*. М., МарТ: 832 с.
2. *Экология города*. 2004. М., Научный мир: 624 с.
3. Schnabel U., Tietje O., Scholz R.W. 2004. Uncertainty assessment for management of soil contaminants with sparse data. *Environmental Management*. 33(6): 911–925. doi: 10.1007/s00267-003-2971-0
4. Сви́рске́не А. 2003. Микробиологические и биохимические показатели при оценке антропогенного воздействия на почвы. *Почвоведение*. 2: 202–210.
5. Трифонова Т.А., Сахно О.Н., Забелина О.Н., Феокистова И.Д. 2014. Сравнительная оценка состояния городских почв по их биологической активности. *Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение*. 3: 23–27.
6. Zhao D., Li F., Yang Q., Wang R., Song Y., Tao Y. 2013. The influence of different types of urban land use on soil microbial biomass and functional diversity in Beijing, China. *Soil Use and Management*. 29(2): 230–239. doi: 10.1111/sum.12034
7. Лысак Л.В., Лапыгина Е.В. 2018. Разнообразие бактериальных сообществ городских почв. *Почвоведение*. 9: 1108–1114.
8. Papa S., Bartoli G., Pellegrino A., Fioretto A. 2010. Microbial activities and trace element contents in an urban soil. *Environmental Monitoring and Assessment*. 165(1–4): 193–203. doi: 10.1007/s10661-009-0938-1
9. Бабаев М.П., Самедов П.А., Садыхова М.Э. 2004. Сравнительная морфобиодиагностическая характеристика естественных и антропогенно деградированных серо-бурых почв Апшерона. *Известия НАН Азербайджана. Серия биологических наук*. 5–6: 87–96.
10. Наджафова С.И. 2015. Экологическое состояние почвенного покрова вдоль основных автомагистралей г. Баку. *Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение*. 3: 46–49.
11. Наджафова С.И., Исмаилов Н.М. 2018. *Экологическое состояние почвенного покрова города Баку и пути улучшения его качества*. М., ИНФРА-М: 174 с
12. *Экологический атлас Азербайджанской Республики*. 2009. Баку: 112 с.
13. *2-й обзор результативности экологической деятельности: Азербайджан*. 2011. Нью-Йорк – Женева, Европейская экономическая комиссия ООН: 272 с. doi: 10.18356/e80bb2e3-ru
14. *Европейская экономическая комиссия ООН. Рабочее совещание по взаимодействию между мониторингом качества атмосферного воздуха и стратегиями охраны ат-*

мосферного воздуха в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии. 11 июня 2007 г., Дворец Наций, Женева. Мониторинг атмосферного воздуха и выбросов в Республике Азербайджан: проблемы и перспективы. 18 с.

15. Мустафаев И.И., Рафиев Р.М., Гасанов С.Г., Махмудов О.М., Рафиева Л.Р. 2016. Загрязнение воздушного бассейна города Сумгаит автомобильными выбросами. *Технологии техносферной безопасности*. 3(67): 246–249.
16. Кахраманова Ш.Ш. 2012. Техногенное загрязнение почв Апшерона. *Академический вестник УралНИИПроект РААСН*. 1: 25–30.
17. *Морфогенетические профили почв Азербайджана*. 2004. Баку, Элм: 202 с.
18. *Практикум по микробиологии*. 2005. М., Академия: 608 с.
19. Adeniji A.O., Okoh O.O., Okoh A.I. 2017. Analytical Methods for the determination of the distribution of total petroleum hydrocarbons in the water and sediment of aquatic systems: a review. *Journal of Chemistry*. 2017: Article ID 5178937. doi: 10.1155/2017/5178937
20. Шаблин П.А. 2000. *ЭМ-технология для садоводов и фермеров*. М.: 56 с.

REFERENCES

1. Denisov V.V., Kulakova E.S., Gutenev V.V., Denisova I.A., Bondarenko V.L., Grachev V.A., Gutenev V.V., Nagnibeda B.A. 2008. *Ekologiya goroda: uchebnoe posobie dlya studentov vuzov*. [Ecology of the city: a textbook for university students]. Moscow, MarT: 832 p. (In Russian).
2. *Ekologiya goroda*. [Ecology of the city]. 2004. Moscow, Nauchnyy mir: 624 p. (In Russian).
3. Schnabel U., Tietje O., Scholz R.W. 2004. Uncertainty assessment for management of soil contaminants with sparse data. *Environmental Management*. 33(6): 911–925. doi: 10.1007/s00267-003-2971-0
4. Svirskene A. 2003. Microbiological and biochemical indicators of anthropogenic impact on soils. *Eurasian Soil Science*. 36(2): 192–200.
5. Trifonova T.A., Sakhno O.N., Zabelina O.N., Feokistova I.D. 2014. [Comparative assessment of state of urban soils for their biological activity]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie*. 3: 23–27. (In Russian).
6. Zhao D., Li F., Yang Q., Wang R., Song Y., Tao Y. 2013. The influence of different types of urban land use on soil microbial biomass and functional diversity in Beijing, China. *Soil Use and Management*. 29(2): 230–239. doi: 10.1111/sum.12034
7. Lysak L.V., Lapygina E.V. 2018. The diversity of bacterial communities in urban soils. *Eurasian Soil Science*. 51(9): 1050–1056. doi: 10.1134/S1064229318090077

8. Papa S., Bartoli G., Pellegrino A., Fioretto A. 2010. Microbial activities and trace element contents in an urban soil. *Environmental Monitoring and Assessment*. 165(1–4): 193–203. doi: 10.1007/s10661-009-0938-1
9. Babaev M.P., Samedov P.A., Sadykhova M.E. 2004. [Comparative morphobiological characteristics of natural and anthropogenically degraded gray-brown soils of Absheron]. *Izvestiya NAN Azerbaydzhana. Seriya biologicheskikh nauk*. 5–6: 87–96. (In Russian).
10. Nadjafova S.I. 2015. [Ecological state of soils along side the main highways of the city Baku]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie*. 3: 46–49. (In Russian).
11. Nadjafova S.I., Ismailov N.M. 2018. *Ekologicheskoe sostoyanie pochvennogo pokrova goroda Baku i puti uluchsheniya ego kachestva*. [Ecological state of the soil cover of the city of Baku and ways to improve its quality]. Moscow, INFRA-M: 174 p. (In Russian).
12. *Ekologicheskij atlas Azerbaydzhanskoj Respubliki*. [Ecological Atlas of the Republic of Azerbaijan]. 2009. Baku: 112 p. (In Russian).
13. *2nd Environmental Performance Reviews: Azerbaijan*. 2011. New York, Geneva, United Nations Economic Commission for Europe: 272 p. doi: 10.18356/f9c2f2c3-en
14. *Evropeyskaya ekonomicheskaya komissiya OON. Rabochee soveshchanie po vzaimodeystviyu mezhdurazlichnyimi monitoringom kachestva atmosfornogo vozdukhha i strategiyami okhrany atmosfornogo vozdukhha v stranakh Vostochnoy Evropy, Kavkaza i Tsentral'noy Azii. 11 iyunya 2007 g., Dvoretz Natsiy, Zheneva. Monitoring atmosfornogo vozdukhha i vybrosov v Respublike Azerbaydzhan: problemy i perspektivy*. [United Nations Economic Commission for Europe. Workshop on the interaction between atmospheric air quality monitoring and atmospheric air protection strategies in the countries of Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia. June 11, 2007, Palais des Nations, Geneva. Monitoring of atmospheric air and emissions in the Republic of Azerbaijan: problems and prospects]. 18 p. (In Russian).
15. Mustafiyev I.I., Rafiyev R.M., Hasanov S.H., Mahmudov O.M., Rafiyeva L.R. 2016. [Air pollution of the Sumgait city by car emissions]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*. 3(67): 246–249. (In Russian).
16. Kahramanova Sh.Sh. 2012. [Anthropogenic pollution of soils in Absheron Peninsula]. *Akademicheskij vestnik UralNIiproekt RAASN*. 1: 25–30. (In Russian).
17. *Morfogeneticheskie profily pochv Azerbaydzhana*. [Morphogenetic profiles of soils in Azerbaijan]. 2004. Baku, Elm: 202 p. (In Russian).
18. *Praktikum po mikrobiologii*. [Workshop on Microbiology]. 2005. Moscow, Akademiya: 608 p. (In Russian).
19. Adeniji A.O., Okoh O.O., Okoh A.I. 2017. Analytical Methods for the determination of the distribution of total petroleum hydrocarbons in the water and sediment of aquatic systems: a review. *Journal of Chemistry*. 2017: Article ID 5178937. doi: 10.1155/2017/5178937
20. Shablin P.A. 2000. *EM-tehnologiya dlya sadovodov i fermerov*. [EM-technology for gardeners and farmers]. Moscow: 56 p. (In Russian).

Поступила 18.02.2021