



УДК 504.054

DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-2-246-257

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗОН ПРИРОДНОГО ЗАКАЗНИКА «ДОЛИНА РЕКИ СЕТУНЬ» ПО ОТКЛИКУ МИКРОБНОГО КОМПЛЕКСА ПОЧВЫ

ENVIRONMENTAL ESTIMATION OF THE FUNCTIONAL ZONES IN THE NATURAL RESERVE «VALLEY SETUN» BY THE RESPONSE OF SOIL MICROBIAL COMPLEX

А.И. Лошаков¹, Н.В. Верховцева², Г.Е. Ларина^{1,3}
A.I. Loshakov¹, N.V. Verhovtseva², G.E. Larina^{1,3}

¹Государственный университет по землеустройству
Россия, 105064, г. Москва, ул. Казакова, 15

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Россия, 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1

³ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии,
Россия, 143050, Большие Вяземы, Институт, 5

¹State university of land use planning, 15 Kazakova str., Moscow, 105064, Russia

²Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskiye Gory, GSP-1, Moscow, 119991, Russia

³All-Russian Research Institute for phytopathology, 143050, Bolshie Vayzemy, Russia

E-mail: loshakovandrei@gmail.com; gala.larina@mail.ru

Аннотация

Землепользование территории природного заказника "Долина реки Сетунь" (г. Москва) в качестве территории для активного отдыха населения привело к ослаблению устойчивости природных комплексов и их компонентов на 40 % всей площади. Установлено, что в субкавалных звеньях ландшафтного профиля исследуемой территории выпадает на 13–21 % пыли больше, чем на участках, соответствующих элювиальным звеньям. Высокая степень запыления в сочетании с местоположением участков территории влияет на отклонение рН-параметра в сторону повышения на 0.09 единиц для атмосферных осадков и 0.06 единиц для верхнего слоя почвы с увеличением абсолютной высоты на 1 м. Переносчиком спор грибов и бактерий, а также благоприятной средой для их жизнедеятельности являются пылевые частицы. Их неравномерное распределение с учетом функционального зонирования исследуемой территории отражают особенности структуры аэробно-анаэробного комплекса микроорганизмов. В зоне культурно-массового отдыха выделены доминирующие виды (выше 20×10^5 кл/г или выше 10 % в общей численности) *Propionibacterium jensenii*, *Rhodococcus equi*, *Ruminococcus* sp., *Butyrivibrio* sp.; придорожной зоне – *Rhodococcus equi*, *Ruminococcus* sp., *Butyrivibrio* sp., *Eubacterium lentum*. В лесной зоне отсутствуют условно-патогенные виды бактерий из филума *Chlamydiae* и идентифицировано высокое содержание *Actinobacteria*, что типично для природной среды. Методом биоиндикации установлены различия в качестве урбанизированных почв заказника с учетом степени их загрязнения от пылегазовых выбросов автомобильных магистралей, железнодорожной сети и близко расположенных жилых кварталов. Максимальное загрязнение почвы зафиксировано на ряде участков в придорожной зоне и зоне спортивно-детских площадок, где биомасса индикаторного растения *Triticum aestivum* L. составила 26–40 % относительно чистого контроля из лесной зоны.

Abstract

This paper studies the territory of a nature reserve within the boundaries of the modern megalopolis (Moscow) by applying the landscape profiling method. Landscape profile was laid with the use of landscape Catena. Landscape Catena is formed by consecutively changing aquatic systems and it is based on location within the Catena, the individual elements or units. The method of landscape Catena



establishes a functionally dynamic relationship between the individual elements of the internal structure of the landscape. It is established that the ecological situation is alarming in 40% of the territory of the nature reserve predominantly in the cultural and roadside functional zones (high levels of industrial and phytopathogenic microorganisms, a strong alkalization of the topsoil pH of 7.5; a large number of microorganisms to 270×10^5 cells/g with a predominance of bacteria from the phylum *Firmicutes*). The natural objects on the territory of the natural reserve area "The Valley of The Setun River" have a year-round negative impact such as dust and gas emissions on the transport infrastructure of the city.

Ключевые слова: природный заказник (ПЗ), мегаполис, микробный комплекс, ландшафтный профиль, функциональная зона, рекреация, загрязнение

Keywords: natural reserve, megalopolis, landscape profile, soil microbial complex, pollution, recreation

Введение

Устойчивость и надежность функционирования парков, садов, зеленых насаждений и прочих природных объектов, созданных руками человека, – важная составляющая экологического каркаса любого города. В границах населенных пунктов участки природных территорий подвергаются значительному антропогенному воздействию, что ухудшает их рекреационные качества [Глазовская, 1964; Башкин и др., 2004; Пухова и др., 2013; Ларина, Родионов, 2014; Бочков, Розумная, 2015].

В крупном мегаполисе – г. Москве – расположено 119 объектов, относящихся к особо охраняемым природным территориям (ООПТ). На территории Западного административного округа (ЗАО) г. Москвы представлены рекреационные объекты – природный заказник «Долина реки Сетунь», природно-исторический парк «Москворецкий», природный заказник «Воробьёвы горы», ландшафтный заказник «Тропарёвский», общей площадью 2782 га или 18.2 % от площади ЗАО (или 1.1 % от площади мегаполиса). Их функциональная нагрузка включает не только место отдыха горожан, но и имеет особое значение для сохранения или восстановления природных комплексов и их компонентов, поддержания экологического баланса и защиты определенных видов животных и растений. Среди них выделяется самый крупный природный заказник (ПЗ) «Долина реки Сетунь» с общей площадью 693.2 га [Постановление..., 2004]. В состав территории входят лесные массивы – Матвеевский лес и Троекуровский лес, а также самый крупный правый приток Москвы-реки (17 км в границах заказника) – река Сетунь.

Особый интерес к данному заказнику объясняется тем, что в условиях современных темпов индустриализации за последние 5 лет на его территории произошли значительные изменения: обновилась инфраструктура функциональных зон, увеличилась «запечатанность» почв территории, были проведены комплексные работы по озеленению отдельных участков и оздоровлению зеленых насаждений по берегам и в пойме реки Сетунь [Башкин и др., 2004; Розанов, 2010; Битюкова, 2014; Бочков, Розумная, 2015, Черных и др., 2015]. Однако пойменные территории являются зоной повышенной аккумуляции многих поллютантов, поступающих на природные территории в результате эмиссионных выбросов и последующего перераспределения потоков техногенных веществ в пределах речных бассейнов [Припутина, Башкин, 2005]. Среднегодовые фоновые уровни загрязнения атмосферного воздуха на территории ПЗ в целом не превышают рекомендованные ПДК по диоксиду серы, содержанию взвешенных частиц и окиси углерода (по данным постов стационарного наблюдения Московского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды). Однако по диоксиду азота фиксируется превышение ПДК более чем в 2 раза, что объясняется активным поступлением загрязняющих веществ с дождями, снегом и пылегазовыми выбросами (в среднем 50 кг/га в год азота; 10 кг/га серы; до 2 кг/га в год тяжелых металлов – свинец, цинк, медь и др.).

В этой связи целью нашего исследования стало изучение экологического состояния функциональных зон природного заказника «Долина реки Сетунь» в современных границах мегаполиса.

Методы исследования

Полевые исследования на территории природного заказника «Долина реки Сетунь» были проведены в период 2014–2016 гг. Территория природного заказника (ПЗ) «Долина реки Сетунь» была условно разделена на жилищный и природный (лесной) массивы, внутри которых выделены функциональные зоны: (1) культурно-массового отдыха, (2) спортивно-детских площадок, (3) придорожные участки и (4) лесной массив. Ежегодные полевые маршруты охватывали участок (полигон) площадью около 280 га, на котором в шахматном порядке отбирали образцы снега (кern высотой до 50 см), почвы с глубины 0–10 см и элементы растений (рис. 1). Средний образец почвы составляли так, чтобы он представлял участок площадью 10 га (ГОСТ 28168-89), его подсушивали при комнатной температуре и, поместив в стерильный полиэтиленовый пакет, хранили до анализа в холодильнике. Определение координат мест отбора проб в 2014–2015 гг. проводили с помощью GPS-приемника с точностью 3–5 метров.

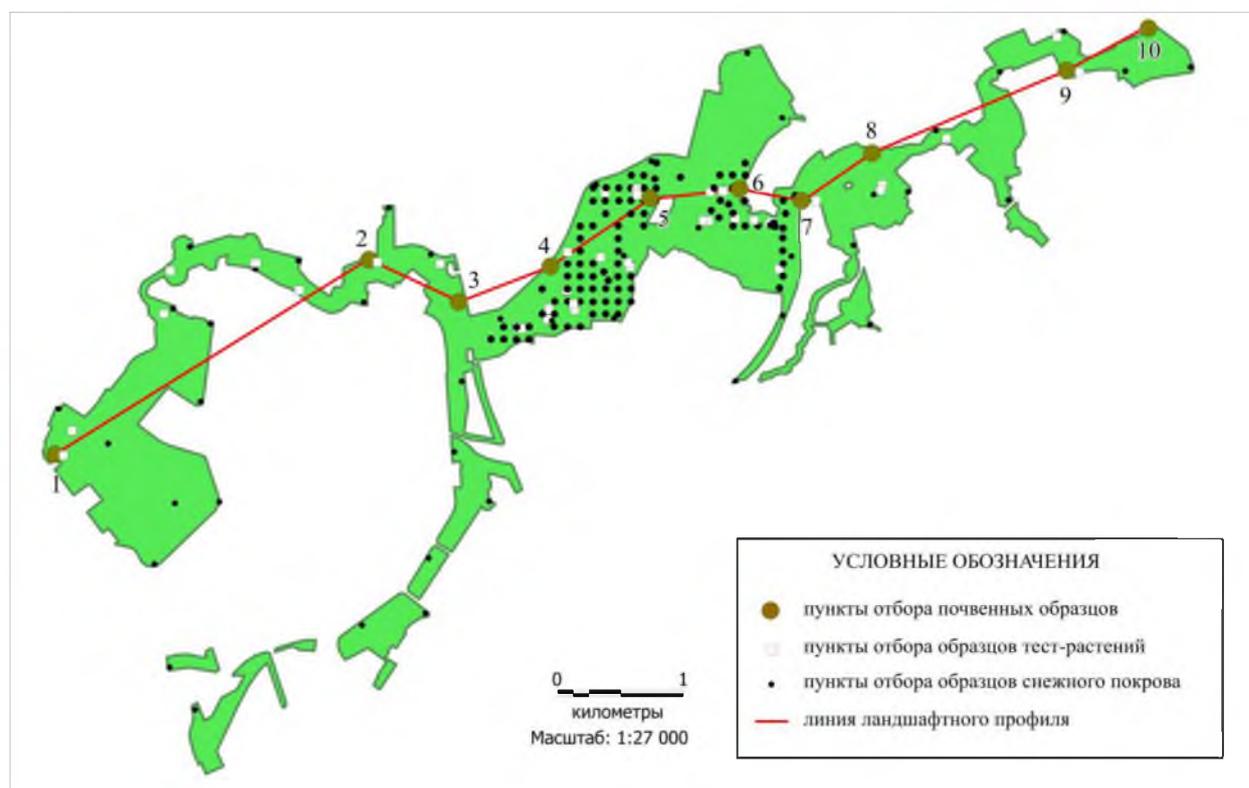


Рис. 1. Карта-схема с точками ежегодного отбора проб почвенных, растительных и снежных образцов и пунктами наблюдений

Fig. 1. Map of sampling points for soil, plant and snow samples and observation points)

В 2016 году через всю территорию заказника по направлению запад-восток был заложен ландшафтный профиль с применением ландшафтной катены протяженностью 9.62 км. Полученная катена представляет собой динамическую модель природных комплексов исследуемого ПЗ «Долина реки Сетунь» и проходит через все функциональные зоны ПЗ и включает следующие пункты: №№ 2, 3, 5 – культурно-массовая зона; №№ 1, 8 – зона спортивно детских площадок; №№ 10, 9, 4 – придорожная зона; №№ 6, 7 – лесная зона (рис. 2). Колебания высоты в разных пунктах катены составили от 128 до 145 м над уровнем моря.



Рис. 2. Ландшафтный профиль (в 1 см – 620 м)
 Fig. 2. Landscape profile (1 cm – 620 m)

Инструментальными методами в отобранных образцах снега и почвы определяли рН_{вод.} и массу взвешенных частиц; структуру микробного комплекса в почве методом газовой хроматографии с масс-спектрометрией [Верховцева, Осипов, 2008]. Уровень фитотоксичности почвы определяли по реакции биоиндикатора, где в качестве контроля рассматривали участки лесной зоны с максимальной биомассой молодых растений пшеницы [Белюченко и др., 2014; Pospelova et al., 2015].

Для графического анализа и визуализации картографических материалов использовали *MapInfo Professional 12*. Данные по климату за период проводимых наблюдений получены с метеостанции ВДНХ [Погода..., 2017] и характеризуют исследуемую территорию теплым летом (температура июля +20 °С), умеренно холодной зимой (температура января –7 °С) с устойчивым снежным покровом и хорошо выраженными переходными сезонами. Сумма осадков самая высокая приходится на август – 82.3 мм, а наименьшая в марте – 41.3 мм.

Математический анализ данных проведен методами математической статистики с помощью инструментов программного продукта *MS Excel*.

Результаты исследования

Характеристика состояния снежного покрова и почвогрунтов в звеньях катены.

Оценка изменений величины рН атмосферных осадков (талый снег) в зависимости от местоположения пункта наблюдений показала, что наибольшее значения рН равное 7.7 зафиксировано в пункте № 1 – звено катены, расположенное близко к Московской кольцевой автомобильной дороге (МКАД), а минимальное рН равное 6.4 пришлось практически на центральную часть ПЗ (пункт № 3). Территория ПЗ относится к пойменным территориям, которые отличаются высоким поступлением загрязняющих пылегазовых выбросов и антигололедных реагентов (выше 40 кг/га в год), т. е. являются зоной повышенной аккумуляции поллютантов, в том числе ряда катионов (кальций, натрий, калий). В результате рН осадков смещается в нейтральную или щелочную среду по причине нейтрализации катионами, выпадающими с пылью, кислых осадков, содержащих соединения азота и серы.

Отметим, что за последние десять лет на территории г. Москвы отмечено активное расширение жилого фонда, интенсивное строительство дорожных и промышленных объектов: крупные автомагистрали МКАД, Третье транспортное кольцо, Кутузовский проспект, железнодорожный транспорт Киевского направления, автозаправочные

станции, производственная зона комбината «Очаково». Поэтому важно учитывать распределение воздушных масс, которые приносят на территорию заказника газопылевые выбросы от основных источников загрязнения. Например, в январе преобладают ветра южного направления, и западная часть природного заказника особенно подвержена загрязнению, выпадающему вместе с осадками в виде снега и дождя, со стороны промзоны «Очаково» и железной дороги Киевского направления, а в июле усиливаются ветра северного направления, что увеличивает вклад в загрязнение от автотранспорта со стороны Кутузовского проспекта. Анализ распределения воздушных масс от техногенных источников загрязнения показал, что пограничные участки ПЗ (до 40 % площади территории) активно загрязняются газопылевыми выбросами, что ухудшает рекреационные условия (рис. 3).

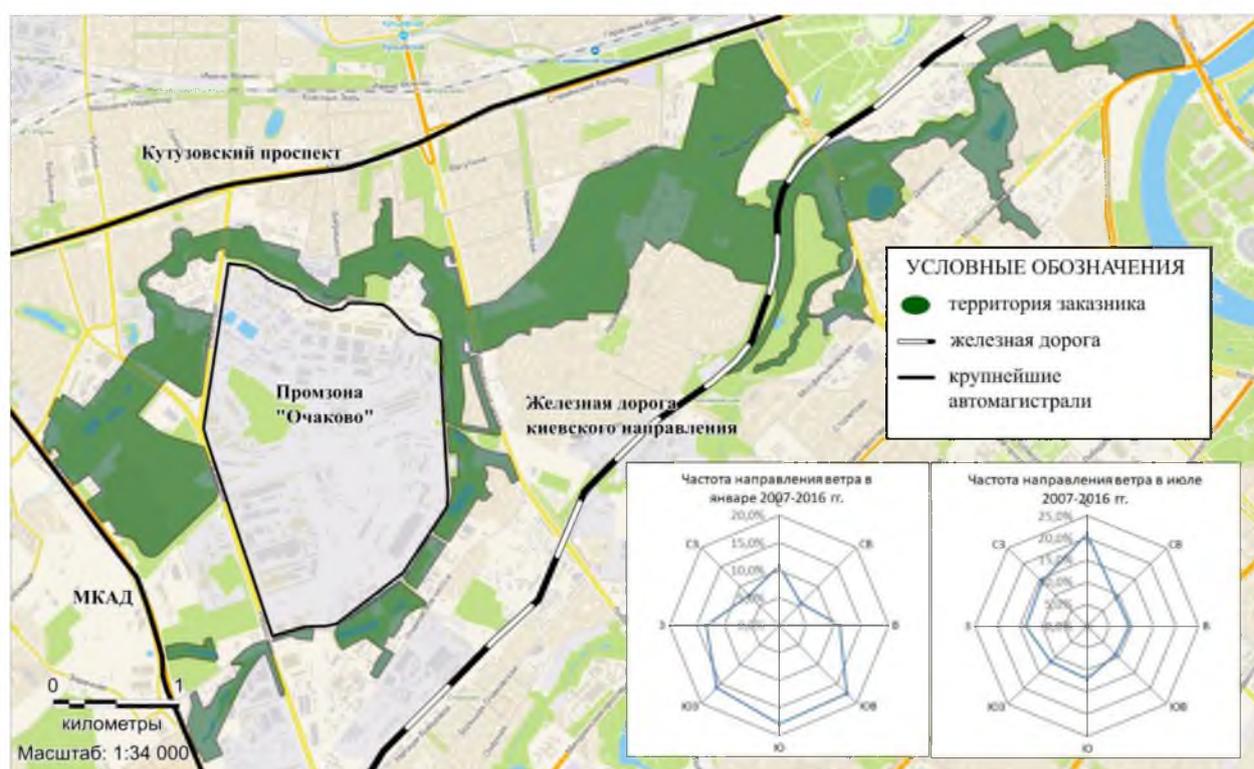


Рис. 3. Карта-схема основных источников загрязнения природного заказника "Долина реки Сетунь"

Fig. 3. Map-scheme of the main sources of pollution of the nature reserve "Valley Setun"

Нашими исследованиями установлено увеличение значений $pH_{\text{вод}}$ по мере повышения абсолютной высоты соответствующего пункта катены на территории ПЗ. На основе полученных данных предложена условная градация распределения значений пунктов наблюдения с учетом показателя высоты местности, а следовательно, перераспределения влаги, тепла, эмиссионных выбросов и потоков техногенных веществ: класс А – высота местности менее 132 м, класс Б – высота местности менее 133–142 м, класс В – высота местности выше 143 м (табл. 1).

Показатели $pH_{\text{вод}}$ для почвы имели больший разброс (6.2–7.7), чем значения pH снежного покрова (6.4–7.2) в разных пунктах наблюдений, что объясняется несколькими причинами: естественные – активно идущие подзолистые процессы, характерные для природной южно-таежной зоны и наблюдаемые на участках с лесными массивами [Глазовская, 1964]; и искусственные – применение агрохимикатов для повышения плодородия почв на открытых участках в зонах культурно-массового отдыха.



Таблица 1
Table 1

Градация территории ПЗ по абсолютной высоте пунктов наблюдения
Gradation of the territory of the nature reserve on the absolute height of observation points

Класс градации	Абсолютная высота, м	pH атмосферных осадков	pH _{вод.} (почва)	Содержание взвешенных частиц в талой воде, г/л	Общая численность микроорганизмов, ×10 ⁵ кл/г
А	≤ 132	6.50	7.05	0.110	171
Б	133–142	6.95	7.53	0.097	182
В	≥ 143	7.45	7.70	0.082	188
<i>m</i>	136	7.00	7.00	0.095	179
<i>ST</i>	5.5	0.4	0.5	0.08	77
<i>Kv, %</i>	4	6	6	47	41

Примечание: в работе для сравнения результатов в качестве контроля выделены участки с максимальной и минимальной высотой на территории ПЗ; *m* – среднее, *ST* – стандартное отклонение, *Kv* – коэффициент варьирования, %.

Характеристика звеньев ландшафтной катены на территории ПЗ

Возвышенные участки рельефа (пункты №№ 10, 2) характеризовались как элювиальное звено катены, для которого характерны процессы переноса вещества и энергии, поступающие в основном из атмосферы. Для элювиальных ландшафтов характерно глубокое залегание грунтовых вод. Поэтому вынос вещества водными массами минимален, по сравнению с денудацией воздушными массами. Ландшафты транзитного звена расположены на выпуклых вершинах и на выпуклых крутых частях склонов (пункты №№ 4, 8, 3). Для этого звена, в отличие от элювиального, характерен привнос веществ не только из атмосферы, но и с водными потоками. Супераквальное звено расположено на понижениях рельефа (пункты №№ 6, 9, 1). Характерно близкое расположение грунтовых вод, оказывающих воздействие на перенос веществ. Высокий уровень денудации для этого звена связан с притоком веществ и энергии как из атмосферы, так и из соседних звеньев с твердым и жидким стоком. Основное поступление веществ в субаквальные звенья происходит с жидким стоком.

Согласно схеме взаимного расположения звеньев, в ландшафтной катене можно говорить о более высоком загрязнении (защелачивании) проб почвогрунтов в пункте № 3 (транзитное звено) по причине привноса поллютантов с более высокого элювиального звена пункта № 2. В пункте № 7 (субаквальное звено) дополнительный привнос поллютантов с более щелочными показателями из пункта № 6, а также сезонное влияние реки Сетунь, выходящей из берегов в период паводков и весеннего снеготаяния.

Загрязнение верхних слоев почвы связано с экологическим состоянием зеленых насаждений. Методом биоиндикации оценили уровень фитотоксичности почвенных образцов, отобранных в разных пунктах катены (табл. 2). Выделены участки максимального загрязнения почвогрунтов по реакции молодых растений пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Наиболее сильное негативное влияние пылегазовых выбросов от автомобильных магистралей, железнодорожной сети и близко расположенных жилых кварталов (пункты отбора № 1, № 9, № 10) характеризовалось отклонением в развитии растений пшеницы и биомассой равной 26–40 % в сравнении с контролем (пункт № 26 и № 41). В образцах почвы с пункта № 2, расположенного в субаквальном звене, биомасса индикаторного растения равнялась 88–93 % относительно контроля. Наши данные совпадают с результатами наблюдений других авторов, которые отмечают, что для пойменных участков реки Сетунь на территории заказника характерно



удовлетворительное качество почвогрунтов по основным показателям: рН_{вод.}, содержание органического вещества, низкая загрязненность взвесями и токсичными элементами [Степаненко, 2010].

Таблица 2

Table 2

Краткая информация по ландшафтным звеньям на территории природного заказника
(за период 2014–2016 гг.)
Brief information on landscape links in the territory of the nature reserve
(for the period 2014–2016)

Название звена	рН атмосферных осадков	рН _{вод.} почвы	Общая численность микроорганизмов, ×10 ⁵ кл/г	Биомасса индикаторных растений, %
Элювиальное	6.9	7.6	166	58
Транзитное	6.5	7.3	184	82
Супераквальное	7.0	7.1	156	56
Субаквальное	7.2	7.6	219	100
<i>m</i>	6.9	7.4	181.3	73
<i>ST</i>	0.3	0.2	24.0	0.21
<i>Kv, %</i>	3.7	2.9	13.2	24.5

Изменения в составе почвенного микробного ценоза в разных функциональных зонах природного заказника

Рекреационные возможности ПЗ связаны с экологическим состоянием функциональных зон, которые зачастую представлены комплексом нескольких ландшафтных звеньев. Высокочувствительным и точным индикатором экологического состояния исследуемой территории является структура почвенного микробного комплекса (табл. 3). Функциональным назначением территории объясняется высокая численность микроорганизмов в пробах с пунктов отбора культурно-массовых зон и зон спортивно-детских площадок, а также низкие показатели рН лесной зоны заказника, характерные для естественной природной среды [Глазовская, 1964; Степаненко, 2010]. Это объясняется обособленностью этих территорий и низкими антропогенными нагрузками в этой зоне заказника.

В каждом пункте катены был отобран усредненный образец почвы и элемента растения и проведен микробиологический анализ, который показал следующий состав микробных комплексов на основе филогенетической системы классификации микроорганизмов (жирным выделены виды, встречающиеся во всех пунктах катены):

– первый филум (или филогенетическая группа) *Proteobacteria* – *Acetobacter sp.*, *Aeromonas hydrophila*, *Agrobacterium radiobacter*, *Caulobacter sp.*, *Desulfovibrio sp.*, *Pseudomonas fluorescens*, *P. Putida*, *P. Vesicularis*, *Sphingomonas adgesiva*, *Sphingomonas capsulate*, *Xanthomonas sp.*, *Nitrobacter sp.*, *Enterobacteriaceae*;

– второй филум *Actinobacteria* – *Actinomadura roseola*, *Bifidobacterium sp.*, *Corynebacterium sp.*, *Mycobacterium sp.*, *Propionibacterium sp.*, *Propionibacterium jensenii*, *Pseudonocardia sp.*, *Rhodococcus equi*, *Rhodococcus terrae*, *Nocardia carnea*, *Arthrobacter sp.*;

– третий филум *Firmicutes* – *Acetobacterium sp.*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus sp.*, *Butyrivibrio sp.*, *Eubacterium lentum*, *Clostridium pasteurianum*, *C.perfringens*, *Ruminococcus sp.*;



– четвертый филум *Bacteroidetes* – *Bacteroides fragilis*, *Bacteroides ruminicola*, *Cytophaga* sp., *Sphingobacterium spiritovorum*;
 – пятый филум *Chlamydiae* – *Chlamydia* sp.

Таблица 3
 Table 3

Краткая информация по функциональным зонам на территории природного заказника
 (за период 2014–2016 гг.)

Brief information on functional zones in the territory of the nature reserve (for the period 2014–2016)

Название функциональной зоны	pH атмосферных осадков	pH _{вод.} почвы	Общая численность микроорганизмов, ×10 ⁵ кл/г	Биомасса индикаторных растений, %
Культурно-массовая	6.9	7.5	266	87
Спортивно-детские площадки	7.1	7.7	162	63
Придорожная	6.7	7.3	136	43
Лесная	6.8	6.9	131	100
<i>m</i>	6.9	7.4	173.8	73.3
<i>ST</i>	0.2	0.3	63.0	25.3
<i>Kv</i> , %	2	4	31	30

Численность микроорганизмов в почве различалась в пунктах отбора в зависимости от местоположения в функциональных звеньях ландшафтного профиля (табл. 4). Подавляющее число видов относится к хемоорганотрофам дыхательного или бродильного типа метаболизма, кроме того, был определен вид нитрифицирующих бактерий из литоавтотрофов – *Nitrobacter* sp. Среди доминирующих представителей микробного комплекса отметим полезные бактерии, например, *Agrobacterium radiobacter* (применяют в составе микроудобрений), *Clostridium pasteurianum* (активно фиксируют молекулярный азот), *Rhodococcus equi* (разрушают сложные углеводороды, целлюлозы, хитин).

Важно отметить, что пылевые частицы не только переносят споры грибов, бактерии и прочие устойчивые микробы, но и являются благоприятной средой для жизнедеятельности различных микроорганизмов. Перемещение вещества от источников пылегазового загрязнения (автодороги, промышленные объекты) происходит воздушными и водными массами, по нашим данным, максимальное содержание взвешенных частиц зафиксировано в субаквальных звеньях ландшафтного профиля, что на 13–21 % выше, чем на участках, соответствующих элювиальным звеньям. Для пункта № 5 субаквального звена зарегистрирован наибольший перенос вещества (>0.1 г/л) с высокими показателями представленности аэробно-анаэробной ассоциации бактерий (выше 20 ×10⁵ кл/г или выше 10 % в общей численности) *Propionibacterium jensenii*, *Rhodococcus equi* из рода *Actinobacteria*; *Ruminococcus* sp., *Butyrivibrio* sp. из родов *Firmicutes*. Минимальный перенос вещества наблюдался в пункте № 10, где доминировали следующие микроорганизмы – *Rhodococcus equi* из рода *Actinobacteria*; *Ruminococcus* sp., *Butyrivibrio* sp., *Eubacterium lentum* из родов *Firmicutes*. В целом максимальная численность микроорганизмов отмечается в ландшафтах транзитного, супераквального и субаквального звена, что соответствует местоположению на склонах рельефа или же на территориях, подверженных заболачиванию, а также функциональным назначением следующих зон – места культурно-массового отдыха и спортивно-детские площадки.

Таблица 4
Table 4Численность микроорганизмов исследуемых почвенных образцов
Number of microorganisms of the investigated soil samples

Номер пункта отбора	Численность микроорганизмов, $\times 10^5$ кл/г					
	<i>Proteobacteria</i>	<i>Actinobacteria</i>	<i>Firmicutes</i>	<i>Bacteroidetes</i>	<i>Chlamydiae</i>	сумма
Культурно-массовая зона						
5	50	57	244	2	0	353
3	41	68	140	1	3	253
2	42	99	48	2	0	191
Зона спортивно-детских площадок						
8	40	38	59	1	0	138
1	57	76	47	5	0	185
Придорожная зона						
10	25	34	80	2	0	141
9	28	44	32	2	0	106
4	38	73	49	1	0	161
Лесная зона						
7	24	30	30	1	0	85
6	45	102	27	2	0	176
Статистические параметры						
<i>m</i>	39	62.1	75.6	1.9	0.3	178
<i>ST</i>	10.7	25.9	67.8	1.2	0.9	77
<i>Кв. %</i>	26	40	85	60	30	41

С учетом приуроченности участка к ландшафтному звену и функциональным зонам природного заказника изменяется также состав микробного комплекса. Максимальная численность микроорганизмов наблюдалась в культурно-массовой зоне (до 253×10^5 кл/г) с преобладанием микроорганизмов из филума *Firmicutes*, в том числе в пункте № 3, идентифицирован облигатно анаэробный вид – условно-патогенная бактерия *Eubacterium lentum* (доля в составе микробного ценоза 10–27 % от суммы всех остальных видов). Отметим, что эта бактерия также была идентифицирована ещё в двух пунктах: № 1 (зона спортивно-детских площадок) и № 10 (придорожная зона). В этих случаях можно говорить о загрязнении растительными и животными остатками, которые подвергаются ферментативному гидролизу представителями этого филума, что может быть результатом плохой работы коммунальных служб по уборке мусора на данных участках ПЗ.

Минимальная численность микроорганизмов наблюдается в лесной зоне (85×10^5 кл/г). Здесь отсутствуют бактерии из филума *Chlamydiae* (патогенные виды переносятся птицами) и высокое содержание *Actinobacteria*. Важно, что высокий показатель *Actinobacteria* в лесной зоне характеризует аэробную деструкцию сложных органических соединений (растительных остатков и углеводов корневых выделений), что типично для природной среды.

Выводы

Многолетними наблюдениями установлено активное всесезонное загрязнение территории ПЗ «Долина реки Сетунь» пылегазовыми выбросами транспортной



инфраструктуры мегаполиса (МКАД, Третье транспортное кольцо, Кутузовский проспект, железнодорожный транспорт Киевского направления, автозаправочные станции, производственная зона комбината «Очаково»), а также бытовым мусором.

В целом более 60 % площади территории природного заказника (лесная и спортивно-детские функциональные зоны) справляется с рекреационными задачами на территории мегаполиса: сохранение природной территории, место отдыха и восстановления здоровья населения. Общая численность микроорганизмов, как индикатор экологической оценки функциональных зон природного заказника «Долина реки Сетунь», отражает антропогенное влияние и убывает в ряду (среднее $\times 10^5$ кл/г): культурно-массовая зона (265) > зона спортивно детских площадок (161) > лесная зона (130).

Наибольший негативный эффект зафиксирован в культурно-массовой зоне, что характеризует высокое значение $pH_{вод.}$ почвы выше 7.2 и численность микроорганизмов до 270×10^5 кл/г. В составе микробного комплекса выделена условно-патогенная микрофлора, опасная для здоровья населения, в том числе бактерия *Eubacterium lentum*, что характерно для случаев экологически неблагоприятной ситуации (загрязнение пищевыми и бытовыми отходами). Экологическое состояние в зоне лесных насаждений природного заказника можно считать удовлетворительным, что характеризует среднее значение $pH_{вод.}$ почвы 6.9 и показатель численности микроорганизмов до 131×10^5 кл/г. В составе микробного комплекса отмечено высокое содержание аэробных бактерий-деструкторов, в том числе *Actinobacteria*, что характерно для типичных процессов в условиях естественной природной среды. Прочие функциональные зоны (спортивно-детская и придорожная) занимают промежуточное положение.

Список литературы:

References

1. Башкин В.Н., Савин Д.С., Курбатова А.С., Солнцев В.Н. 2004. Геоэкологическая оценка состояния долины реки Сетунь на территории города Москвы. География и природные ресурсы. 1: 44–51.

Bashkin V.N., Savin D.S., Kurbatova A.S., Solncev V.N. 2004. Geoeological evaluation of the state of the Setun' River valley within the Moscow urban area. Geography and natural resources, 1: 44–51. (in Russian)

2. Бережной А.В., Бережная Т.В. 2004. Ландшафтно-экологические округа Воронежской области и их катены. Вестник Воронежского государственного университета. География. Геоэкология, 1: 110–117.

Berezhnoj A.V., Berezhnaja T.V. 2004. Ecological landscape areas in the Voronezh oblast and their catens. Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geocology, 1: 110–117. (in Russian)

3. Биомониторинг состояния окружающей среды: учебное пособие. 2014. / Под редакцией Белюченко И.С., Федоненко Е.В., Смагина А.В. Краснодар, КубГАУ, 153.

Biomonitoring of environmental status: study guide. 2014. / Ed. Beljuchenko I.S., Fedonenko E.V., Smagina A.V. Krasnodar, KubSAU, 153. (in Russian)

4. Бочков А.С., Розумная Л.А. 2015. Оценка состояния окружающей среды селитебных территорий мегаполиса (на примере района Гольяново города Москвы). В кн.: Материалы VII Международной студенческой электронной научной конференции «Студенческий научный форум». URL: <http://www.scienceforum.ru/2015/927/14399> (дата обращения: 17 октября 2017)

Bochkov A.S., Rozumnaja L.A. Assessment of the environmental residential areas of the metropolis (on the example of the Golyanovo district of the city of Moscow). Proceedings of the VII International student electronic scientific conference «Student scientific forum». URL: <http://www.scienceforum.ru/2015/927/14399> (accessed 17 October 2017) (in Russian)

5. Быков А.В., Меланхолин П.Н., Полякова Г.А., Шашкова Г.В. 2009. Принципы выделения строго охраняемых и рекреационных участков в природных заказниках Москвы. Лесоведение, 3: 59–65



Bykov A.V., Melanholin P.N., Poljakova G.A., Shashkova G.V. 2009. Principles of Distinguishing Strictly Protected and Recreation Areas in Moscow Nature Reserves. *Lesovedenie*, 3: 59–65. (in Russian)

6. Верховцева Н.В., Осипов Г.А. 2008. Метод газовой хроматографии-масс-спектрометрии в изучении микробных сообществ почв агроценоза. *Проблемы агрохимии и экологии*, 1: 51–54.

Verhovceva N. V., Osipov G. A. 2008. Method of the gas-chromatography–mass-spectrometry in studying of the soil microbial communities. *Problems of Agrochemistry and Ecology*, 1: 51–54 (in Russian)

7. Глазовская М. А. 1964. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М., МГУ, 229

Glazovskaja M.A. 1964. Geochemical basics of typology and methods of natural landscape research. Moscow, MSU, 229. (in Russian)

8. Ларина Г.Е., Богомолова Н.М. 2015. Влияние экологических факторов на разнообразие видов в экосистемах Нечерноземной зоны, на примере Калужской области. *Землеустройство, кадастр и мониторинг земель*, 129 (10): 74–81.

Larina G.E., Bogomolova N.M. 2015. The influence of ecological factors on species variety in nonchernozem ecosystems by example of Kaluga region. *Land management, land monitoring and cadaster*, 129 (10): 74–81. (in Russian)

9. Ларина Г.Е., Родионов С.С. 2014. Уровень загрязнения природных сред в Ногинском районе Московской области. *Экологические системы и приборы*, 5: 22–29.

Larina G.E., Rodionov S.S. 2014. Level of environmental pollution in Noginsk district (Moscow region). *Ecological systems and devices*, 5: 22–29 (in Russian)

10. Михно В.Б., Бережной А.В., Бевз В.Н., Двуреченский В.И., Дроздов К.А. 1999. Принципы и методы ландшафтно-экологического районирования центрально-черноземных областей. *Вестник Воронежского отделения Русского географического общества*, 1 (2): 1–9

Mihno V.B., Berezhnoj A.V., Bevz V.N., Dvurechenskij V.I., Drozdov K.A. 1999. Principles and methods of landscape–ecological zoning of the Central black earth region. *Bulletin of the Voronezh branch of the Russian geographical society*, 1 (2): 1–9. (in Russian)

11. Погода в Москве по месяцам. URL: <http://weatherarchive.ru/pogoda/Moscow> (дата обращения: 20.10.2017)

Weather in Moscow for months. Available at: <http://weatherarchive.ru/pogoda/Moscow> (accessed 20.10.2017)

12. Постановление Правительства Москвы от 19.10.2004 № 714-ПП «О природном заказнике «Долина реки Сетунь», М., 2004, 9

Regional Decree No. 714-PP validating the Regulation on regional nature reserve “Setun river valley”, Moscow, 2004, 9. (in Russian)

13. Пухова Н.Ю., Верховцева Н.В., Пухов Д.Э., Ларина Г.Е. 2013. Влияние интенсивного землепользования на микробный комплекс дерново-подзолистой почвы Рязанской области. *Вестник Тамбовского университета. Естественные и технические науки*, 18 (3): 895–898.

Puhova N.Ju., Verhovceva N.V., Puhov D.Je., Larina G.E. 2013. Influence of intensive agricultural land use on microbial complex of turf-podsolic soil of Ryazan area. *Tambov university reports series: natural and technical sciences*, 18 (3): 895–898. (in Russian)

14. Розанов Л.Л. 2010. *Геоэкология*. М., Дрофа, 272.

Rozanov L.L. 2010. *Geoeology*. Moscow, Drofa, 272. (in Russian)

15. Степаненко И.И. 2010. Интенсификация целевого выращивания сосновых насаждений в южно-таёжном лесном районе таежной зоны европейской части России. Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 39

Stepanenko I.I. 2010. Intensification of Target Growing of Pine Plantations in Southern Taiga of the European Part of Russia. Abstract. dis. ... Doctor of Agricultural Sciences. Moscow, 39. (In Russian)

16. Pecelj M., Vagić N., Pecelj M., Đurić D. 2016. Geoeological evaluation of Belgrade and environment for the purposes of rest and recreation. *Archives for Tehnical Sciences*, 14. Bijeljina, Tehnical Institute Bijeljina: 63 – 72.

17. Petrishchev V.P., Chibilev A.A., Groshev I.V., Kim N.O. 2016. Landscape catena of Bogdinsko-Baskunchakskii salt dome area. *Geography*, 1: 80–86.

18. Pospelova O.A., Mandra Y.A., Stepanenko E.E., Okrut. S.V., Zelenskaya T.G. 2015. Identification of Technogenic Disturbances of Urban Ecosystems Us-ing the Methods of Bioindication and Biotesting. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 12 (3): 2241–2251.

19. Vinokurov S.F., Tarasova N.P., Trunova A.N., Sychkova V.A. 2017. A comprehensive analysis of the content of heavy rare-earth elements and platinum in snow samples to assess the ecological hazard of air pollution in urban areas. *Doklady Earth Sciences*, 475 (1): 771–774.

20. Черных О.Н., Сабитов М.А., Алтунин В.И. 2015. Типизированные приемы экологического восстановления малых рек Москвы (на примере р. Сетунь). *Природообустройство*, 3: 57–64.

Chernykh O.N., Sabitov M.A., Altunin V.I. Typified methods of ecological restoration of small rivers of Moscow (by the example of Setun). *Prirodoobustrojstvo*, 3: 57–64. (in Russian)

21. Битюкова В.Р. 2014. Интегральная оценка экологической ситуации городов России. *Региональные исследования*. 4 (46): 49–57.

Bitjukova V.R. 2014. The integral estimation of ecological situation of Russian cities and towns. *Regional research*, 4 (46): 49–57. (in Russian)

22. Припутина И.В., Башкин В.Н. 2005. Оценка риска загрязнения урбоэкосистем на основе методов расчета критических нагрузок (на примере долины реки Сетунь г. Москва). *Экология речных бассейнов: Труды 3-й Междунар. науч.-практ. конф. / Под общ. ред. проф. Т.А. Трифоновой*. Владимир: 247–251.

Priputina I.V., Bashkin V.N. 2005. Assessment of the risk of pollution of urban ecosystems based on methods for calculating critical loads (for example, the Setun River valley, Moscow). *Ecology of river basins: Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference / Under the general editorship of Professor T.A. Trifonova*. Vladimir: 247–251. (in Russian)

Ссылка для цитирования статьи

Лошаков А.И., Верховцева Н.В., Ларина Г.Е. Экологическая оценка функциональных зон природного заказника «Долина реки Сетунь» по отклику микробного комплекса почвы // *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2018. Т. 42, № 2. С. 246–257. doi: 10.18413/2075-4671-2018-42-2-246-257

Loshakov A.I., Verhovtseva N.V., Larina G.E. Environmental estimation of the functional zones in the natural reserve «Valley Setun» by the response of soil microbial complex // *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences series*. 2018. V. 42, № 2. P. 246–257. doi: 10.18413/2075-4671-2018-42-2-246-257