

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



ЖАДОБИН АЛЕКСАНДР ВАСИЛЬЕВИЧ

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ
РОСТОВСКОГО ЗООПАРКА ПО БИОЛОГИЧЕСКИМ
ПОКАЗАТЕЛЯМ**

*03.02.08 – экология (биологические науки)
03.02.13 – почвоведение (биологические науки)*

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Ростов-на-Дону – 2021

Работа выполнена на кафедре экологии и природопользования
Академии биологии и биотехнологии имени Д.И. Ивановского
Южного федерального университета

Научные руководители:

Колесников Сергей Ильич,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
Южный федеральный университет, кафедра
экологии и природопользования, заведующий

Казеев Камиль Шагидуллович,
доктор географических наук, профессор,
Южный федеральный университет, кафедра
экологии и природопользования, профессор

Официальные оппоненты:

Сулейманов Руслан Римович,
доктор биологических наук, доцент,
Уфимский Институт биологии – обособленное
структурное подразделение Уфимского
Федерального исследовательского центра РАН,
лаборатория почвоведения, главный научный
сотрудник

Жаркова Мария Геннадьевна,
кандидат биологических наук,
Донской государственный технический
университет, кафедра «Технические средства
аквакультуры», доцент

Защита диссертации состоится **07 апреля 2021 г. в 15:00** на заседании диссертационного совета ЮФУ03.01 по биологическим наукам на базе Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194/1, к. 603.

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке им. Ю.А. Жданова Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Р. Зорге, 21Ж и на сайте Южного федерального университета <https://hub.lib.sfedu.ru/diss/show/1284904/>.

Автореферат разослан «___» февраля 2021 г.

Отзыв на автореферат в 2-х экз. (с указанием даты, полностью ФИО, учёной степени со специальностью, звания, организации, подразделения, должности, адреса, телефона, e-mail), заверенный печатью организации, просим направлять по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194/1, к. 803а, ученому секретарю диссертационного совета ЮФУ03.01 Акименко Ю.В., а также в формате .pdf на e-mail: jvakimenko@sfedu.ru.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат биологических наук

Акименко Юлия Викторовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Целью создания зоопарков было сохранение и размножение животных, а также их демонстрация посетителям. В зоопарках, аккредитованных Ассоциацией зоопарков и аквариумов (AZA), насчитывается около 750 000 животных, представляющих 6000 видов (Association of Zoos and Aquariums, 2016). Для эффективного выполнения функций зоопарка необходимо обеспечить оптимальные условия обитания для каждого животного. Неправильная подборная площадь вольера приводит к скученности животных, что негативно сказывается на их среде обитания, в том числе посредством их влияния на почвенный покров территории. Также, вследствие выделения животными отходов жизнедеятельности в почвах зоопарков могут накапливаться токсичные вещества и патогенная микрофлора (Gustin, Kelley, 1971; Бузмаков и др., 2014). Аккумулирующиеся на поверхности почвы органические отходы могут не только снижать эстетическую привлекательность зоопарков, но и служить источниками патогенной микрофлоры, биотоксинов и неприятных запахов (Юркова, 2008; Conrad et al., 2018). Зоопарки могут быть источниками загрязнения атмосферы от экскрементов животных, навоза, загрязненной подстилки (Бузмаков и др., 2014). Исследований, посвященных изучению экологического состояния территорий зоопарков в мире практически нет. Ранее были проведены комплексные исследования почв Московского зоопарка (Юркова и др., 2007, 2008; Yurkova et al., 2009). Также близкой к данной теме является оценка пастбищной дигрессии на различных территориях.

Определение качества почвы является важной составляющей мониторинга окружающей среды и наряду с загрязнением включает весь комплекс экологических функций почв (Bünemann et al., 2018). Подбор показателей проводится с учетом существующих условий исследуемой среды обитания и необходимости отражения физических, химических и биологических свойств почв, количество показателей которых необходимо свести к минимуму, для снижения сложности, трудоемкости и дорогоизны определения (Baridon et al, 2014).

Цель работы - исследовать экологическое состояние почв Ростовского зоопарка по биологическим показателям.

В задачи исследований входило:

- Определить особенности почв разных функциональных зон зоопарка и уровень их деградации.
- Провести комплексную оценку физических (температура, влажность, плотность, сопротивление пенетрации), химических (содержание органического вещества, биогенных элементов, загрязняющих веществ) и биологических (микроорганизмы, ферменты, дыхание почв и др.) свойств почв разных зон зоопарка.
- Оценить воздействие животных зоопарка на среду их обитания, включая непосредственное физическое воздействие на поверхность почвы, а также загрязнение вольеров продуктами жизнедеятельности животных, тяжелыми металлами и патогенной микрофлорой.
- Определить возможность использования биологической активности в диагностике экологического состояния почв с разной степенью воздействия вольерных животных.
- Выработать рекомендации по оптимизации экологической ситуации и улучшению условий содержания животных.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Почвы Ростовского зоопарка подвержены деградационным процессам, которые вызваны вольерным содержанием животных и рекреационным воздействием посетителей. Основные результаты деградации – переуплотнение, разрушение структуры, загрязнение биогенными элементами, ухудшение биологической активности почв.
2. Степень деградации почвенного покрова зоопарка зависит от размера вольера и уровня воздействия животных. Крупные копытные млекопитающие (зебры, олени, буйволы, ослы) вызывают большую деградацию почв по сравнению с другими копытными, имеющими меньший размер (голубые бараны, ламы) или оказывающими меньшее давление на почву вследствие строения копыт (двугорбый верблюд), а также птицами. Избыточное содержание аммонийного азота и подвижного фосфора в почвах Ростовского зоопарка имеет прямую связь с количеством отходов продуктов жизнедеятельности животных.
3. Внесение в тяжелосуглинистую почву вольеров речного песка улучшает физические свойства почв, но негативно сказывается на их способности к самоочищению от экскрементов, уменьшая их биологическую активность. Внесение древесных опилок лучше других мелиорантов способствует оптимизации экологического состояния почв зоопарков и активизации биологической активности почв. Наилучшие результаты показало внесение в почву древесных опилок в дозе 5-10 кг/м².
4. Для диагностики и мониторинга экологического состояния почв зоопарков следует применять следующие показатели: плотность сложения, структурно-агрегатный состав, численность микроорганизмов, а также активность ферментов циклов основных биогенных элементов (уреазу, фосфатазу и инвертазу).

Научная новизна. Научная новизна работы заключается в исследовании уникального объекта с разнообразными экологическими условиями, в результате чего получены новые для экологии и почвоведения данные о влиянии животных зоопарка на почву. Впервые установлена взаимосвязь животных в вольерах с комплексом показателей, характеризующих экологическое состояние почв и проведено обоснование способов его оптимизации. Впервые проведена оценка рекреационного воздействия посетителей на экологическое состояние почв парковой зоны зоопарка. Выявлена зависимость биологических показателей от внесения в почвы вольеров в качестве мелиоранта речного песка.

Практическая значимость. Практическая значимость работы заключается в определении набора показателей для проведения экологического мониторинга территории зоопарков и предложениях по улучшению экологического состояния почв вольеров с помощью разных мелиорантов. Это важно для повышения скорости биологических процессов в почве и ее очистки от продуктов жизнедеятельности животных. Полученные результаты могут быть использованы в работе зоопарков и научных учреждений для оценки экологического состояния почв. Результаты, полученные в исследовании, также могут быть использованы при преподавании дисциплин «Экология», «Почвоведение», «Экологический мониторинг» и других, как в Южном федеральном университете, так и в других высших учебных заведениях.

Личный вклад автора. Диссертационная работа основана на оригинальном материале, полученном лично автором в результате модельных, полевых и лабораторных исследований с 2017 по 2020 гг. Тема исследования, цель, задачи, объекты, методы выбраны автором совместно с научными руководителями. Полевые и лабораторные работы выполнены при участии автора. Обобщение

результатов, анализ полученных данных, формулировка выводов и положений, выносимых на защиту, произведены лично автором при участии научных руководителей.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы представлены на симпозиумах и научных конференциях: «Актуальные проблемы экологии и природопользования» (Ростов-на-Дону, 2017-2020 гг.), «Неделя науки» (Ростов-на-Дону, 2018-2020 гг.), «Современное состояние чернозёмов» (Ростов-на-Дону, 2018), «Техногенные системы и экологический риск» (Обнинск, 2018), «Почвы в биосфере» (Томск, 2018), «Теоретические и технологические основы биогеохимических потоков веществ в агроландшафтах» (Ставрополь, 2018), «Энтузиасты аграрной науки» (Краснодар, 2019).

Соответствие паспорту специальности. Диссертация соответствует паспорту специальности 03.02.08 – Экология, разделу «Прикладная экология – разработка принципов и практических мер, направленных на охрану живой природы как на видовом, так и экосистемном уровне; разработка принципов создания искусственных экосистем (агроэкосистемы, объекты аквакультуры и т.п.) и управления их функционированием. Исследование влияния антропогенных факторов на экосистемы различных уровней с целью разработки экологически обоснованных норм воздействия хозяйственной деятельности человека на живую природу», разделу «Системная экология – изучение взаимодействия сообществ с абиотической средой обитания и закономерности превращений вещества и энергии в процессах биотического круговорота», и паспорту специальности 03.02.13 – Почловедение, пункту 10 «Охрана почв и почвенного покрова от деградации», пункту 9 «Оценка плодородия почв и мониторинг его состояния. Агрохимические и экологические основы управления почвенным плодородием и оптимизация его параметров», пункту 8 «Проблемы биологии и биохимии почв».

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликованы 25 научных работ, из них 4 статьи в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ЮФУ и 2 статьи в журналах, входящих в базу данных международных индексов научного цитирования Scopus. Доля участия автора в публикациях составляет 80%.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, выводов, списка литературы и приложения. Работа изложена на 118 страницах печатного текста, содержит 11 таблиц, 57 рисунков. Список литературы включает 199 источников, из них 113 источников на иностранном языке.

Конкурсная поддержка работы. Исследование выполнено при поддержке грантов ведущей научной школы Российской Федерации (НШ-9072.2016.11, НШ-3464.2018.11 и НШ-2511.2020.11) и Министерства высшего образования и науки Российской Федерации (5.5735.2017/БЧ).

Благодарности. Автор выражает благодарность сотрудникам зоопарка А.В. Мироненко, И.О. Грибановой и К.Ю. Чирковой и Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета А.Н. Федоренко, А.А. Гобаровой и И.А. Камневой за помощь в работе. Особенно автор благодарит своих научных руководителей д.с.-х.н., заведующего кафедрой экологии и природопользования С.И. Колесникова и д.г.н., профессора К.Ш. Казеева за ценные советы и помощь в организации исследований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В главе 1 представлен литературный обзор российских и зарубежных источников, посвященных особенностям зоопарков, их целям и задачам, возможным негативным последствиям скученного содержания животных, характеристика продуктов их выделения и диагностике экологического состояния почв.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ростовский-на-Дону зоопарк – один из крупнейших зоопарков России (площадь территории – 57 гектар). Расположен в центре города Ростов-на-Дону с населением более 1 миллиона человек (рис.1).

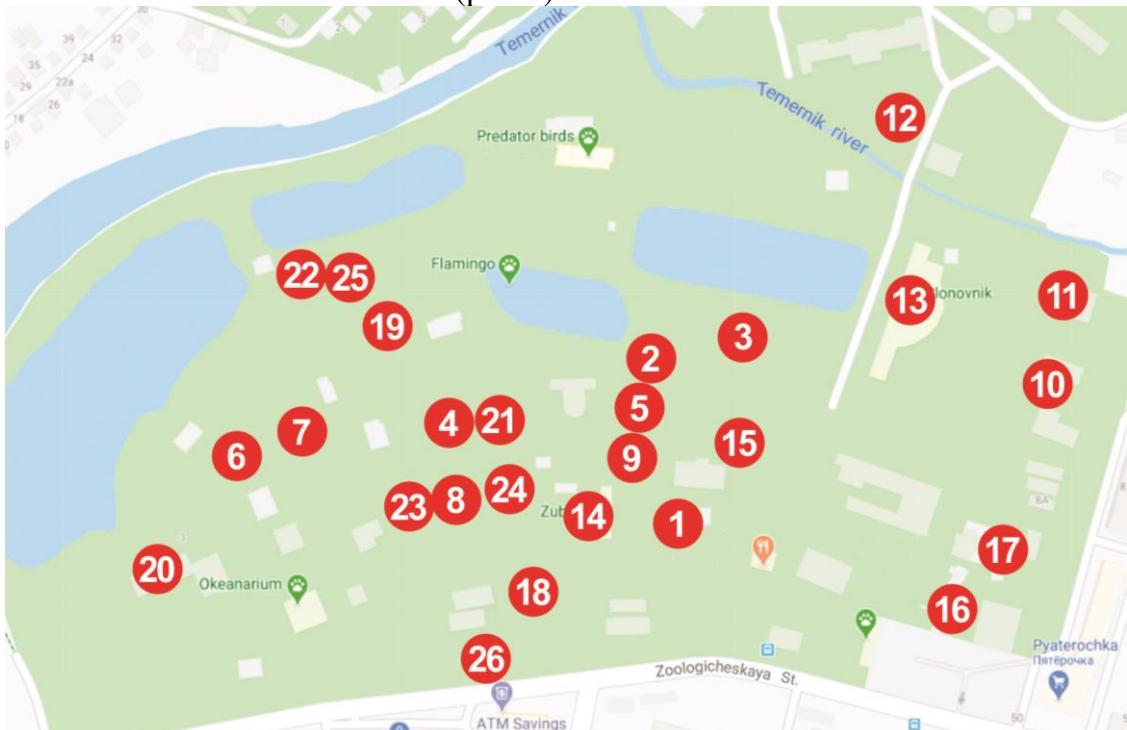


Рис. 1 - Схема размещения мониторинговых площадок в зоопарке: 1 – зебры; 2 - алтайский марал (2017г.) ламы (2019-2020гг.); 3 - бараны; 4 - журавли и другие птицы; 5 – верблюдов; 6 - детская площадка; 7 – контроль парк; 8 – эму (2017г.) позже олень марал (2018-2020гг.); 9 – буйвол; 10 – носорог; 11 – жираф; 12 – домашние ослы; 13 – слоновник; 14 – зубры; 15,17,18,19, 26 – парковая зона; 16 – клуба; 20 – эму; 21 – казарки; 22 – пумы; 23 – такины; 24 – лани; 25 – гиены

Инвентаризация зеленых насаждений, проведенная сотрудниками Ботанического сада Южного федерального университета в 2017 году, показала, значительное разнообразие дендрофлоры Ростовского-на-Дону зоопарка. Здесь обнаружено более 3500 деревьев 33 видов. Самыми распространенными деревьями в зоопарке являются клены (*Acer*), которые встречаются в более, чем 19% от общего количества деревьев территории зоопарка. Кроме того, широко распространены ясени (*Fraxinus*), туи (*Thuja*), сосны (*Pinus*), тополя (*Populus*), робиния, вязы (*Ulmus*), конские каштаны (*Aesculus*), липы (*Tilia*) и другие деревья. Объектами исследований были почвы территории Ростовского-на-Дону зоопарка: вольеры с птицами (серые журавли *Grus grus*, павлины *Pavo cristatus*, казарки *Branta canadensis* и др.), зебрами Чапмана (*Equus burchelli chapmani*), алтайскими маралами (*Cervus elaphus sibiricus*), которые подвергались сезонным переселениям – весной 2018 г. в вольер эму (*Dromaius Vieillot*), а на место оленей летом 2019 г. – ламы (*Lama glama*), верблюдом двугорбым

(*Camelus bactrianus*), голубыми баранами (*Pseudois nayaur*), буйволами Арни (*Bubalus bubalis arnee*), белыми носорогами (*Ceratotherium simum*), жирафом Ротшильда (*Giraffa camelopardalis rothschildi*), домашними ослами (*Equus asinus dom*), индийскими слонами (*Elephas maximus*), европейскими зубрами (*Bison bonasus*), канадскими казарками (*Branta canadensis*), эму (*Dromaius novaehollandiae*), ланями (*Dama dama*), таинами (*Budorcas taxicolor*) и пумами (*Puma concolor*). За контроль был взят участок парковой зоны с минимальным антропогенным нарушением, с почвенно-растительным покровом, характерным для большей части территории зоопарка. Рекреационно-нарушенный участок находится в 50 м от контрольного участка и характеризуется существенным нарушением поверхности почвы в результате значительного воздействия посетителей. Кроме того, в 2020 г. дополнительно исследованы еще 5 участков парковой зоны в разных местах зоопарка и участок клумбы с цветами.

В ноябре 2020 г. в центре зоопарка в парковой зоне был заложен разрез для оценки свойств почв зоопарка, который показал значительную мощность гумусовых горизонтов – 104 см, хорошую оструктуренность и плотность сложения (1,1 г/см³). Почва исследуемой территории - чернозем обыкновенный (миграционно-сегрегационный) карбонатный тяжелосуглинистый мощный (по WRB - Haplic Chernozem Loamic). Подобные почвы широко распространены на юге России и в Ростовской области в частности (Вальков и др., 1989, 2008, 2012; Безуглова, Хырхырова, 2008; Казеев, Колесников, 2015).

ГЛАВА 3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На каждой мониторинговой площадке отбирали по 3 индивидуальных образца почв и в каждом из них проводили аналитические исследования, повторность – 3-10-кратная. Среди определяемых показателей были физические, химические, физико-химические и биологические свойства почв. Аналитические исследования выполнены в лабораториях Академии биологии и биотехнологии Южного федерального университета в 2017-2020 гг. в соответствии с методами биологической диагностики экологического состояния почв (Казеев и др., 2016).

Температуру почв определяли послойно электронным термометром HANNA СНЕСТЕМР. Кроме того, для определения температуры поверхности почв использовали пиromетр в 10-кратной повторности. Динамику температуры в течение 2018-2020 годов исследовали с помощью температурных датчиков Термохрон DS1921 на глубинах 10 и 30 см с периодичностью измерения 3-6 часов. Влажность почвы определяли в полевых условиях влагомером Fieldscout TDR 100 в 10-кратной повторности. Плотность сложения почвы определяли объемно-весовым методом с помощью стальных колец в 3-х кратной повторности. Твердость почв (сопротивление пенетрации) исследовали в полевых условиях с помощью penetрометра EIJKELKAMP на глубину 50 см с интервалом 5 см в 10-кратной повторности. Структурно-агрегатный анализ почвы проводили методом сухого просеивания почвы через колонку сит с размерами ячеек от 10 мм до 0,25 мм, водопрочность агрегатов определили по Адрианову. Содержание общего гумуса определяли методом И.В. Тюрина в модификации Никитина. Показатель pH определяется в почвенной суспензии потенциометрическим методом АНИОН 4100. Содержание легкорастворимых солей определяется кондуктометрическим методом кондуктометром HANNA Instruments HI 9034. Общую численность бактерий определяли методом люминесцентной микроскопии с акридином оранжевым. Биомассу микроорганизмов определяли регидратационным

методом. Численность аммонифицирующих бактерий определяли посевом на МПА, микроскопических грибов учитывали на подкисленной среде Чапека. Обилие азотфикссирующих бактерий рода *Azotobacter* определяли на среде Эшби. Санитарно-показательных микроорганизмов определяли путём посева на среды ЭНДО и VRBD-агар. О ферментативной активности почв судили по активности разных классов ферментов: оксидоредуктаз (каталаза, дегидрогеназы, пероксидаза) и гидролаз – (β-фруктофуранозидаза (инвертаза), фосфатаза и уреаза). Содержание подвижных форм азота и фосфора, определяли традиционными методами: определение содержания обменного аммония с реагентом Несслера, нитратов потенциометрическим методом и по Грандвалль-Ляжу и подвижных форм фосфора по Мачигину (Минеев и др., 2001). Фитотоксичность почв определяли по всхожести и интенсивности начального роста семян редиса *Raphanus sativus*. Для определения различий в уровне биогенности и биологической активности разных почв определяли интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) почвы.

Определение дыхания почв в модельных опытах проводился в 7-9 повторностях газоанализаторами ПГА-7 (ЗАО "НПП "Электронстандарт", г. С.-Петербург, Россия и Testo 535 (Testo SE & Co. KGaA, Германия). Камерные методы определения эмиссии углекислого газа с применением газоанализаторов широко распространены в почвоведении и экологии (Ivanov et al., 2018; Lopes et al., 2018; Osipov, 2018; Adkinsa et al., 2019). Повторность опыта (количество изолирующих камер) – 3-5-кратная. Пересчет результатов измерений в величину потока С-СО₂, выполняли с использованием уравнения Менделеева-Клапейрона (Safonov et al., 2012). Определение выделения углекислого газа из почвы проводили также адсорбционным методом с помощью натронной (Keith, Wong, 2006).

Модельный опыт №1. Определение дыхания почв разных вольеров для оценки биологической активности и степени загрязнения продуктами выделения животных. Измерение выделения СО₂ проводили через 14, 17, 32 дней. Изменение влажности почвы определяли всякий раз при определении СО₂ и корректировали до 60% полевой влагоемкости. Дыхание определяли, измеряя накопление газа в изолированном на 1 час контейнере.

Модельный опыт №2. Определение оптимального по составу и действию мелиорирующего вещества. К загрязненной отходами жизнедеятельности почве из вольера с оленем добавили мелиоранты в дозе 5% от массы почвы. Вносили глауконитовый песок, древесные стружки и опилки (липа), гидрогель «Акватерра» на основе акрила, микробиологический препарат «Тамир». Определение эмиссии углекислого газа проводили через 14, 21 и 28 дней после закладки опыта.

Модельный опыт №3. Определение концентрации мелиорирующего вещества, необходимую для внесения в почву. Для опыта использована почва из вольера, в котором содержатся буйволы, наиболее загрязненной отходами жизнедеятельности животных. Для мелиорации использовали древесные опилки и речной песок.

Полученные результаты подвергнуты вариационно-статистической обработке с использованием программ Statistica for Windows 10.0, MS Exel и Python 3.6.5 пакет Matplotlib.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

4.1. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ИССЛЕДУЕМЫХ УЧАСТКОВ

Приведены описания исследуемых участков мониторинга территории зоопарка, включая вольеры, парковую и рекреационно-нарушенные площадки.

4.2. ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПОЧВ ЗООПАРКА

Определение химического состава почв зоопарка не выявило существенных различий для почв разных участков. Установлено, что валовой состав исследуемых почв близок к таковому, характерному для зональных черноземов. Значительная часть состава почв занимают кремний, алюминий, железо, кальций, магний, калий, титан и фосфор. Значительных расхождений в валовом составе почв разных вольеров не обнаружено. Только в вольере с баранами благодаря добавлению песка повышенено содержание кремния и снижено содержание других элементов, в первую очередь железа и алюминия.

Загрязнения валовыми формами тяжелых металлов в почвах не выявлено. Есть некоторое повышение содержания меди, никеля, хрома, ванадия, стронция и мышьяка в почвах вольеров по сравнению с контрольным участком, однако превышения не выходят за рамки ПДК. Загрязнения почв тяжелыми металлами в вольерах зоопарка также не обнаружено. Содержание основных элементов загрязнителей в почвах вольеров, в целом, соответствует зональным почвам. Повышенное содержание в почвах зоопарка хрома характерно для черноземов юга России.

4.3. ХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ ЗООПАРКА

Значительных различий в значениях содержание легкорастворимых солей в почвах зоопарка не обнаружено. Реакция почвенной среды оказалась наиболее консервативным показателем. На всех исследуемых участках pH изменялся в небольшом диапазоне от 7,4-7,8, что соответствует нейтральной реакции, которая является типичной для чернозема обыкновенного. Ранее Н.Е. Юрковой с соавторами (2008) в почвах Московского зоопарка показано, что pH варьируется в широком диапазоне, что возможно, обусловлено внесением противогололедных реагентов во время зимнего периода. Благодаря высокой буферной способности почв Ростовского зоопарка, показатель pH устойчив.

4.4. ГИДРОТЕРМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Температура почвы контрольного участка в течение года не опускается ниже минусовых значений ни на глубине 30 см, ни на глубине 10 см. Большую часть года в верхнем слое почвы господствуют положительные температуры выше 10°C, что благоприятствует интенсивному протеканию биологических процессов в почве. В целом, в теплые месяцы 2018-2020 гг. температура почв в вольерах была выше, чем на контрольном участке. Это связано с затенением поверхности почвы в парковой зоне зоопарка. Открытые пространства вольеров характеризуются на 24-90% большей температурой поверхности почвы. особенно это наглядно в вольерах баранов, зебр, ослов, носорогов и жирафа.

Влажность верхнего слоя почвы варьировала в широких пределах в зависимости от сезона года. Осеню и весной влажность почвы была высокой (в среднем 20-22%), в жаркие месяцы влажность снижается до критических значений для протекания биологических процессов (менее 13%). Однако год от года влажность может сильно варьировать даже в один месяц наблюдения. Например, в мае 2018 года вследствие большого количества осадков в весенний период влажность почвы в среднем составляла 21% (амплитуда значений на разных участках 16-36), а в сухом мае 2019 года влажность почвы была значительно меньше – 7,4% (амплитуда значений 3-10%). При усреднении всех значения за 2017-2020 годы выяснили, что влажность в почвах вольеров меньше, чем на контрольном участке.

На детской площадке влажность также ниже, чем в контрольной почве. Отмечено значительное варьирование влажности в почвах вольеров в разные периоды определения. В летние месяцы влажность почв была ниже вследствие летней засухи. Минимальные значения влажности выявлены в почвах с высоким содержанием песка, добавляемого для улучшения водно-физических свойств почв.

4.5. ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЧВ ЗООПАРКА

Плотность сложения почв

Степень нарушения почвенного покрова из-за воздействия на него животных в первую очередь отражают физические показатели. Наиболее показательным параметром, отражающим степень нарушения почвенного покрова на территории ряда участков зоопарка, была плотность сложения почвы. Этот показатель тесно связан с показателями структурности и порозности и является одним из важнейших показателей экологического состояния почв (Antille et al., 2019). Во всех вольерах с животными плотность почв была повышенена относительно контрольных значений (рис.2).

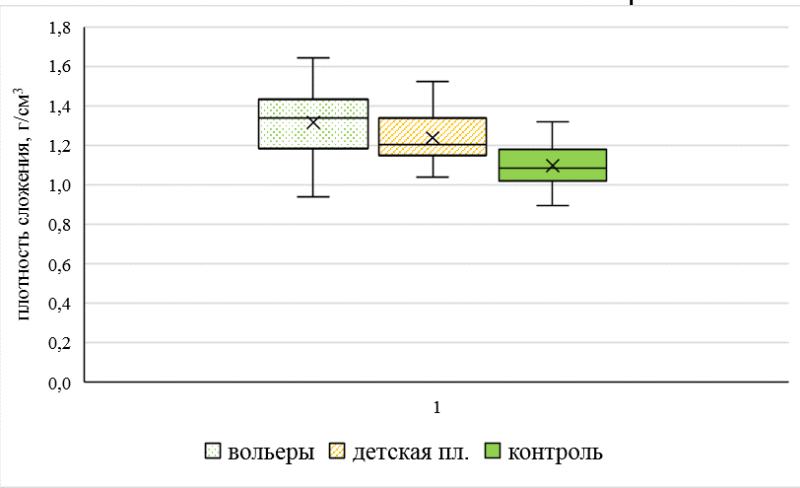


Рис. 2. Плотность сложения почв зоопарка, в среднем 2017-2020 гг.

При этом значения достигали высоких величин – 1,4–1,5 г/см³. Деградация растительности и уплотнение почвенного покрова наиболее сильно выражено в вольерах крупныхкопытных животных. Сильное изменение внешнего состояния почвенного покрова и растительности отмечено вследствие содержания в них оленей и зебр. Максимальная деградация поверхности почв выявлена в вольере с буйволами. Все эти животные оказывают достаточно существенное физическое влияние на почвы вольеров, растительный покров и уплотнение почв, вследствие их высокой суточной активности и морфологических особенностей строения копыт (Жизнь животных, 1971). Только в вольерах с птицами плотность почв была на уровне контрольных значений. При внесении речного песка в почвы вольеров крупных животных улучшается дренирование и обеспечивается более рыхлое сложение почвы.

В ноябре 2020 г. плотность сложения была минимальная в почве парковой зоны (1,1 г/см³). Максимальные значения отмечены в почве вольера с ланями (1,5 г/см³). Уплотнение почвы здесь связано с поведением этих животных, которые ведут активный образ жизни с активными перемещениями по территории вольера. Кроме того, большое значение имеет строение их небольших копыт, оказывающее разрушающее воздействие на почвенную структуру. Минимальные значения плотности почв (менее 1,2 г/см³) зафиксированы в вольере с канадскими казарками. Здесь в относительно большом вольере содержится всего 6 некрупных птиц, которые оказывают

минимальное давление на почву. В небольшом вольере, куда в 2018 г. перевели эму, почва уплотнена чуть сильнее. В вольерах с такинами, пумами и оленями плотность сложения почв практически не различается – на уровне 1,3 г/см³.

Сопротивление пенетрации (твердость) почв зоопарка

Установлено значительное повышение твердости почв (сопротивления пенетрации) в вольерах с животными Ростовского-на-Дону зоопарка. Изменение значений показателя зависит от величины животных и влажности почв. Критическим значением сопротивления пенетрации, при которой затруднено проникновение корней в почву и растения начинают заметно страдать от повышенного сопротивления проникновению корней, считается величина около 3 МПа (\approx 30 кг/см²). В зарубежной научной литературе критические значения этого параметра физического состояния для почв среднесуглинистого состава находятся в пределах 2-3 МПа (Coder, 2007).

В результате исследований было установлено, что сопротивление пенетрации верхнего слоя почв (0-5см) почв вольеров было выше, чем в контрольном участке. На контрольном участке значения показателя были близки к оптимальным для растений значениям (1,4 МПа), в то время как в почвах вольеров с крупными животными показания были превышенены в несколько раз. Максимальные значения выявлены в вольере благородного оленя (7,3 МПа). Очень высокие значения твёрдости почв отмечены в вольерах с зебрами и верблюдом. В вольерах с мелкими животными сопротивление пенетрации были значительно ниже, но все же выше контрольных значений. В почве детской площадки в результате высокой рекреационной нагрузки твердость почвы превышала контрольные значения в 4,5 раза. При сравнении средних значений, рассчитанных на весь исследуемый полуметровый слой почвы, было выявлено, что почва в нескольких вольерах была переуплотнена (рис.3).

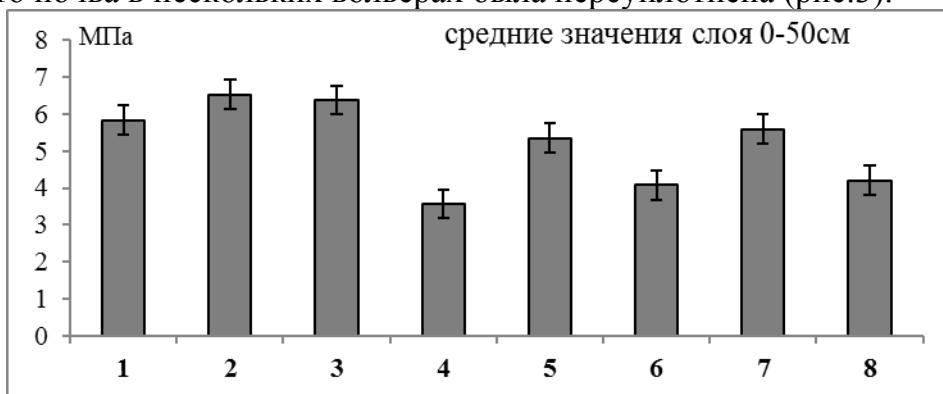


Рис. 3. Средние значения сопротивления пенетрации почв Ростовского зоопарка в слое 0-50см, август 2018 г.: 1) зебры; 2) олень марал; 3) верблюд; 4) олени/эму; 5) бараны; 6) журавли и другие птицы; 7) детская площадка; 8) контроль

При этом более благоприятные значения, по сравнению с контрольным участком (4,2 МПа) выявлены в почвах с журавлями и другими птицами (3,6-4,1 МПа). На остальных участках твердость почв была выше контроля (5,3-6,5 МПа). Как и для поверхностного слоя, максимальные значения сопротивления пенетрации выявлены в почве вольера с благородным оленем. Здесь значения показателя превыщены относительно контрольного участка на 55%. В почве детской площадке превышение составляет 33%. Сопротивление пенетрации связано обратной связью с влажностью поверхностного слоя почв. Коэффициент корреляции составляет $-0,70$. С температурой почв подобной тесной связи не обнаружено. При этом выявлена обратная связь температуры поверхности почвы и влажностью ($R = -0,52$).

Структурно-агрегатный состав

Содержание животных в вольерах существенно влияет на структурность почв, которая связана с плотностью сложения почв. Все участки с животными и птицами отличаются от почвы контрольного участка меньшим содержанием структурных отдельностей размерами от 1 до 10 мм (рис.4). В вольерах с крупными животными структура почвы была изменена с комковатой (как в контроле) на глыбистую. Нарушение структурности в вольере №3, оказываемое множеством совместно содержащихся средних по размерам птиц (журавли, павлины, гуси, куры, и другие) больше, чем оказывают несколько крупных эму. То есть воздействие на почву связано как с размерами содержащихся птиц, так и с их количеством в вольере, а также размерами волььера.

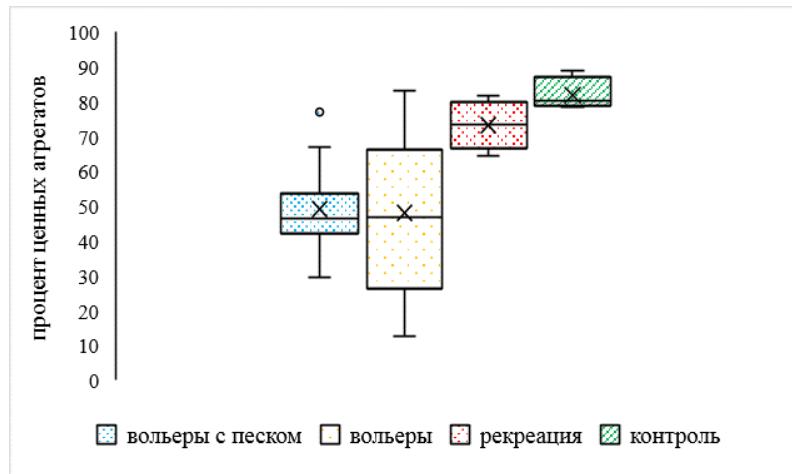


Рис. 4. Содержание ценных агрегатов размером 0,25-10мм в почвах зоопарка

Причиной изменения физических свойств почв являются животные, так как они оказывают непосредственное влияние на почвенных покровов в вольерах. Соотношение количества животных и их общей массы, которой они осуществляют нагрузку на поверхность почвы, к площади вольеров, показывает силу воздействия этого фактора на увеличение плотности в исследуемых вольерах (рис.5).

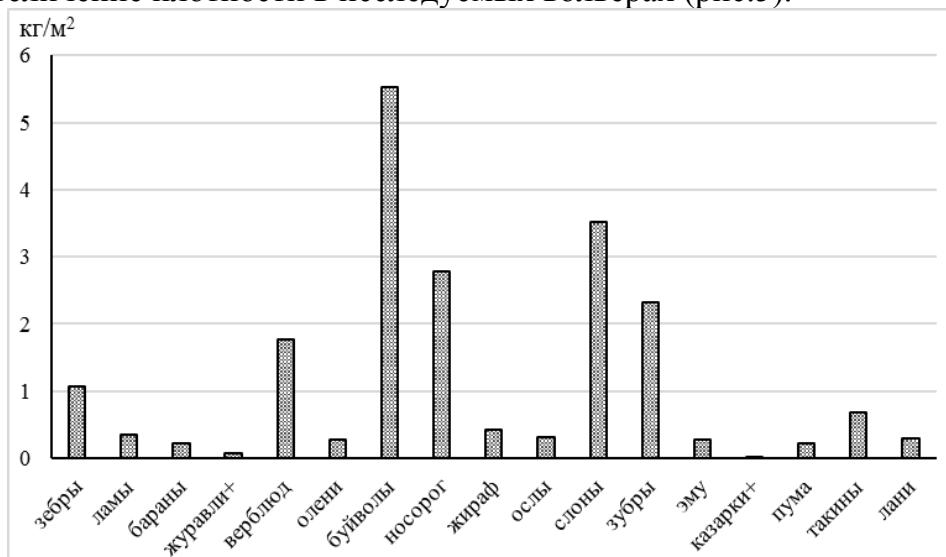


Рис. 5. Нагрузка животных на почвенный покров в вольерах зоопарка

Исходя из расчетов, наибольшую нагрузку на почву осуществляют буйволы, однако в этом вольере отмечено хоть и существенное, однако не максимальное увеличение значений до 1,28-1,42 г/см³. Здесь было отмечено существенное варьирование значений плотности по всей территории вольера, которое связано с наличием постоянного водоема с водой и разного количества песка, неравномерно распределенного в разных участках вольера. Также большую нагрузку создает носорог – уплотнение в его вольере достигает максимальных значений среди исследуемых участков. В вольере буйволов нагрузка составляет 5,5 кг/м², в вольере носорога – 2,8 кг/м². Значительно меньше воздействие в вольерах с другими животными. Минимальная рассчитанная нагрузка, как и следовало ожидать, приходится на вольеры с птицами: у журавлей с другими птицами – 0,08 кг/м², у казарок – 0,024 кг/м². Кроме размера животного большое значение имеет и его активность, а также непосредственное давление копыт на почву, которое зависит от массы животного и размера его копыт. Относительно небольшие и острые копыта оленей, ланей и зебр создают большее разрушающее действие на почву, чем у более крупного верблюда с широким и мягким копытом.

4.5. ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ЗООПАРКА БИОГЕННЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

При оценке содержания доступных форм азота, к которым относятся азот нитратов и обменного аммония (Гамзиков, 1981) была установлена высокая обеспеченность почв Ростовского зоопарка. Почва контрольного участка также имела «высокое» содержание аммонийного азота. Содержание аммонийного азота максимально в вольере с буйволами все время наблюдений. Здесь его значения на 71-97% выше таковых на контрольном участке. В мае пониженное содержание аммонийного азота в почве было в вольерах с птицами (на 48% ниже контроля), а в августе минимальное содержание аммонийного азота были в почве вольера с зебрами. Максимальное содержание нитратов отмечено в мае в почве вольера с птицами (на 307% выше контроля). Минимальное содержание нитратов было в вольере с носорогами (на 28% ниже контроля). Содержание подвижного фосфора в мае 2019 года в 2-5 раз превышает порог «очень высокое содержание» оценочной шкалы. Максимальное значение показано в почве вольера с оленями (на 194% выше контроля), а минимум – в вольере с баранами (на 38% ниже контроля). В августе 2019 концентрации в почвах подвижного фосфора были значительно ниже, что позволяет отнести их к «средним» и «очень высоким» по обогащенности. В 2017 году содержание фосфора во всех почвах соответствует очень высокому уровню. В почве контрольного участка его содержание составляет 8,6 мг Р₂O₅/100 г почвы, а в почвах вольеров еще выше. В вольерах с крупными копытными обнаружено максимальная концентрация подвижного фосфора (15-18 мг Р₂O₅/100 г).

Длительное пребывание животных в вольерах на ограниченной территории сильно сказывается на экологическом состоянии почв. Физическое воздействие животных на поверхность почв в вольерах зоопарка приводит к их уплотнению, деградации растительного покрова и изменению биологических процессов в почвах. На поверхность почвы поступает значительное количество продуктов метаболизма животных. За год животные вносят в почву вместе с отходами жизнедеятельности от 0,7 до 97,8 кг органического вещества на квадратный метр, что является внушительным вкладом в пополнение минеральными соединениями почвы вольера. Самое значительное биогенное загрязнение выявлено в вольере буйволов. В то время как, в вольерах ланей и баранов поступление продуктов жизнедеятельности наименьшее

среди всех вольеров с копытными животными ($2,7 \text{ кг}/\text{м}^2/\text{год}$). Несмотря на ежедневную уборку, полностью удалить продукты жизнедеятельности животных не удается. Из-за ограниченного размера вольера поступление мочи в почвы вольеров очень высокое, например, в вольере с зебрами оно превышало $7,3$, а у буйволов $39,1 \text{ л}/\text{м}^2/\text{год}$. Немаловажную роль играет специфика животных, определяющая их физиологию. Так для млекопитающих и птиц химический состав выделений различен, что также имеет значение.

Причина высокого содержания подвижных форм азота и фосфора в почвах вольеров зоопарка связана с постоянным поступлением отходов жизнедеятельности животных. Подобное накопление этих биогенных элементов характерно для почв пастбищ после выпаса животных (Sato al., 2019). Различия в содержании соединений азота и фосфора в почвах разных участков зоопарка зависят от количества их поступления с экскрементами.

Прямая корреляционная зависимость содержания аммонийного азота выявлена с экскрементами животных ($r = 0,79$ в мае и $0,94$ в августе). Тесная зависимость содержания подвижного фосфора от количества экскрементов обнаружена в августе ($r = 0,75$). В целом, в августе корреляция исследуемых показателей была теснее, чем в мае.

В условиях зоопарка местообитание животных значительно уменьшается. При этом физиологические особенности обитателей остаются прежними. Вольерное содержание и скученность животных приводит к накоплению биогенных элементов, содержащихся в почвах. Значительное количество отходов жизнедеятельности способствует изменению почвенных микробоценозов. Не исключено развитие патогенной микрофлоры, приводящей к ухудшению экологического состояния почв и заражению животных. Биологическая активность почв вольеров, также претерпевает существенные изменения. Особенno активизируются ферменты уреаза и фосфатаза, регулирующие циклы азота и фосфора. В целом почвы Ростовского зоопарка обладают высокой биологической активностью, сопоставимой с почвами естественных экосистем. Это способствует биодеструкции значительной доли попадающих в почву зоопарка органических веществ. Количество экскрементов животных в некоторых вольерах зоопарка значительно превосходит аналогичные показатели в естественных экосистемах. И это продолжается в течение десятилетий. Повышение скорости протекания биологических процессов в почвах зоопарка необходимо для ускоренной минерализации органических загрязнителей и подавления патогенной микрофлоры. Низкая биологическая активность почв может привести к ухудшению состояния зеленых насаждений и снижению скорости биодеструкции органических веществ и другим негативным процессам (Юркова и др., 2009). Поэтому в настоящее время ведется работа по замене основного мелиоранта, используемого для улучшения физических свойств почв. Речной песок, используемый для этого в некоторых вольерах с крупными животными, снижает содержание гумуса и биологическую активность почв.

4.6. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ ЗООПАРКА

Почвенные микроорганизмы

Исследования обилия почвенных микроорганизмов в почвах Ростовского зоопарка выявило высокую обогащенность сaproфитными бактериями ($11,2 \text{ млн}/\text{г}$) и микроскопическими грибами ($112 \text{ тыс}/\text{га}$) на контрольном участке парковой зоны зоопарка. Уровень обогащенности этими микроорганизмами соответствует обилию в

зональных черноземах обыкновенных Ростовской области (Казеев и др., 2004). В разных вольерах уровень обилия почвенных микроорганизмов различен (рис.6). Максимальное обилие отмечено в вольере с птицами. Здесь численность бактерий более чем в 4 раза превышает контрольные значения. Также значительно выше численность бактерий в почвах вольеров буйволов, верблюда и ослов.

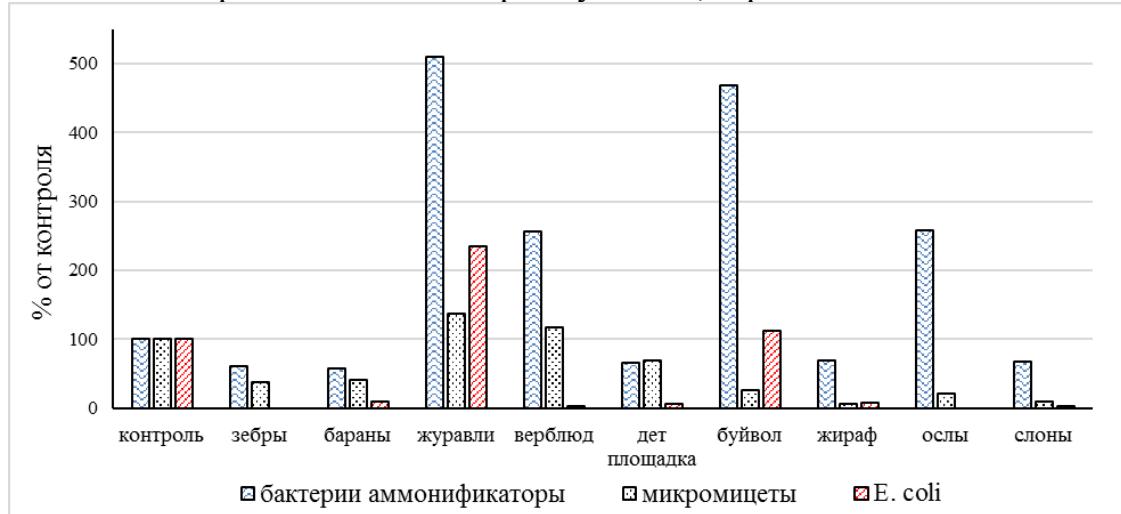


Рис. 6. Микроорганизмы почв зоопарка (% от контроля), август 2020 г.

В остальных вольерах численность бактерий снижена на 31-42%. Численность грибов микромицетов во всех вольерах снижена относительно контрольных значений. Особенно низкие значения отмечены в вольерах жирафа и слонов, где количество внесенного песка максимально. Поэтому здесь обитает в 10 раз меньше микроскопических грибов, чем в парковой зоне зоопарка. Исключение составляют вольер с птицами и верблюдом, где обилие грибов несколько повышенено. В ноябре 2020 г. в почве участка парка №19 численность бактерий (3,5 млн/г) и микромицетов (38 тыс./г) была значительно ниже, чем летом в связи с низкими температурами почв в позднеосенний период.

Санитарно-показательная микрофлора почв

В августе 2020 г. выявлено высокое содержание во всех образцах почв зоопарка санитарно-показательных бактерий. В почве контрольного участка выявлено опасное количество энтерококков и чрезвычайно-опасное - *Escherichia coli*. В некоторых вольерах зоопарка содержание санитарно-показательных бактерий было значительно выше контрольных данных. Особенно велико содержание обеих групп этих бактерий было в почве вольера с птицами (журавли и другие птицы) и буйволами. В 2019 г. также было отмечено микробиологическое загрязнение почв вольеров. Общее количество энтеробактериальных клеток в 2019 г. было прямо пропорциональным количеству фекальной нагрузки на почву. Количество же клеток условно-патогенных микроорганизмов сообщает о санитарно-эпидемиологическом состоянии этих участков. Согласно СанПиНу 2.1.7.1287-03 в зоопарке было выявлено 5 образцов почв с «чрезвычайно опасным» уровнем загрязнения почвы. Число бактерий в 1 грамме почвы, то есть индекс, достигает 18 тыс. для *Escherichia coli* и 21 тыс. для энтерококков. Однако в Ростове-на-Дону отмечены места и с более серьезным загрязнением. Индекс энтерококков почвы в районе Центрального рынка варьирует примерно от 50 до 130 тыс./г почвы (Аль-Раммахи, Горовцов, 2014).

Азотфикссирующая микрофлора почв

В результате проведенных в ноябре 2017 года исследований установлено разное обилие бактерий рода *Azotobacter* в почвах разных участков Ростовского зоопарка. Эти бактерии осуществляют важную роль в круговороте азота в природе, связывая недоступный растениям атмосферный азот. Контрольные участки характеризовались высоким обилием бактерий – на уровне 91-97% обраствания. Такие значения характерны для зональных черноземов обычновенных (Казеев и др., 2004). Значительное понижение обилия азотфикссирующих бактерий выявлено в вольерах с гиенами, зебрами и голубыми баранами. В последних двух вольерах в почву добавляли речной песок для оптимизации водно-физических свойств почв. Это и привело к значительному понижению обилия исследуемых бактерий. Рекреационное нарушение поверхности почвы посетителями не привело к снижению значений показателя, в то время как выявлено влияние содержания животных в вольерах на этот показатель. Проведенные повторно в августе 2018 года исследования показали меньшие отличия почв разных участков по обилию бактерий. При этом почва контрольного участка в обоих периодах наблюдений обладала равным обилием азотфикссирующих бактерий. Достоверные различия между участками установлены только для почв вольеров с зебрами и голубыми баранами. В ноябре 2020 г. численность энтерококков была высокой в почвах вольеров с копытными животными – ланями, такими и оленями. Не обнаружены эти бактерии в почвах вольеров с пумами, казарками и эму.

4.7. ОЦЕНКА БИОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ РОСТОВСКОГО ЗООПАРКА

В представленной работе в качестве биоиндикаторов использованы ферменты двух классов. Из класса гидролаз определена активность уреазы и фосфатазы, из класса оксидоредуктаз определена активность дегидрогеназ, каталазы и пероксидаз. Ферментативная активность в почве контрольного участка парка в течение всего срока наблюдения характеризуется средним уровнем активности каталазы и слабо варьирует в течение всех сезонов.

В почвах практических всех вольеров активность ферментов была значительно повышена относительно контрольных значений. Активность каталазы и инвертазы на контрольном участке соответствует уровню ее содержания в зональных черноземах (рис.7). Почвы вольеров отличаются по активности этих ферментов. В целом активность повышена относительно контрольных значений (в среднем на 18%), однако при внесении песка активность значительно уменьшается (на 11-86% в зависимости от вида фермента). Песчаный грунт в слоновнике и вольере зубров характеризуется на 76-77% меньшими значениями активности каталазы. Почва рекреационно-нарушенного участка имеет меньшие отличия от контрольных значений активности каталазы по сравнению с активностью инвертазы. Активность дегидрогеназ была значительно повышена во всех наблюдаемых участках относительно контрольной почвы парка. Значительное повышение фермента отмечено в почвах вольеров с буйволами (на 171%), жирафом (126%), баранами (123%) и верблюдом (122%). На других участках повышение составило от 32 до 65% относительно контрольного участка. Для этого фермента такие повышенные значения свидетельствуют об интенсивности биологических процессов в почвах вольеров. Это связано с повышенным поступлением продуктов выделения животных, которые служат пищей для почвенной микрофлоры.

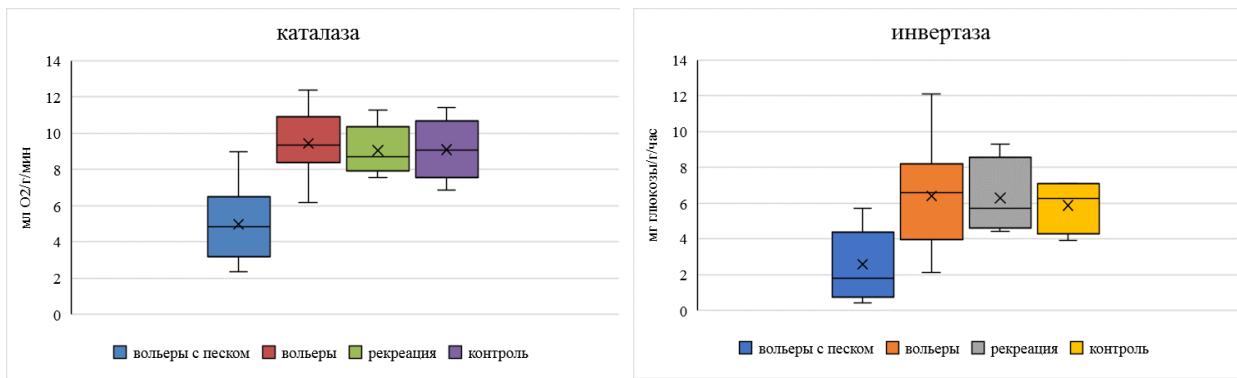


Рис. 7. Ферментативная активность почв разных зон зоопарка, 2017-2019 гг.

Для быстрого удаления продуктов пищеварения и отходов метаболизма необходимо стимулировать интенсивность биологических процессов в почвах. Это позволит избежать накопления органических отходов, способствующих сопутствующим проблемам неприятных запахов и заражения почвы патогенной микрофлорой. Исходя из факта большого влияния животных на почвенный покров данной территории, наиболее значимыми ферментами для исследования почв зоопарка являются уреаза и фосфатаза, т.к. с выделениями животных в почву попадает большое количество субстрата, который активизирует данные ферменты. Также они отражают вовлеченность почв в процессы круговорота азота и фосфора. Особенно высокие значения были выявлены в почвах вольеров для активности уреазы (рис.8).

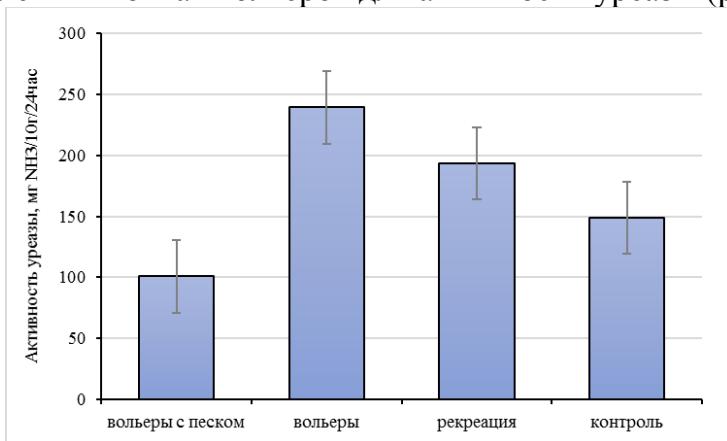


Рис.8. Активность уреазы в почвах разных зон зоопарка, 2018-2020 гг.

Этот фермент катализирует разложение мочевины, которая в значительных количествах ежедневно поступает в почву от животных. В вольерах с крупными животными поступление мочи в почву вольеров составляет до нескольких тысяч литров в год. Учитывая размеры вольеров, за год величина поступления мочи может составлять до 4-7 л/м². Поэтому важны биологические процессы, направленные на ликвидацию загрязнения почвы азотными веществами. Особенно высокие значения активности уреазы установлены для вольера с буйволами. Здесь превышение активности фермента было на 740% выше, чем в почве контрольного участка. Это связано с наибольшим загрязнением почв этого вольера, где на достаточно маленькой площади обитает несколько крупных животных. Активность уреазы также в 2-3 раза была выше в почвах вольеров с оленем, зебрами и птицами. Меньшее повышение зафиксировано и в других вольерах. Только на одном из участков вольера с носорогом было обнаружено снижение активности уреазы относительно контроля. Это связано с двумя основными причинами. Первая - недавнее расширение вольера с вновь

прибывшими животными, которые в зоопарк прибыли лишь полтора года назад, а вольере находятся и того меньше (только в теплые месяцы года). Второй причиной было внесение значительного количества речного песка, применяемого для мелиорации почвы вольера. Вследствие применения песка для разбавления почвы активность фермента была относительно снижена и в других вольерах (зебры, бараны, жираф). Но все же и здесь активность уреазы была выше контрольных значений. А в песчаном грунте слоновника и вольера зубров активность уреазы была снижена 87-94%. Отмечена тесная корреляционная связь между нагрузкой животных на почвенный покров вольера и активностью уреазы ($r = 0,74$).

Результаты активности фосфатазы различаются в зависимости от сезона, в который проведены исследования. Значения активности фосфатазы варьировали в пределах 0,15-0,25 мг Р₂O₅/10г/час (рис.9). Корреляционная связь данного фермента с нагрузкой в различные сроки показывает заметную прямую связь ($r = 0,68$) в мае 2019 года. В августе того же года достоверной прямой связи установлено не было. Наличие таких результатов, подтверждает факт высокого варьирования активности фермента в зависимости от различных факторов, в том числе от количества повторностей в опыте.

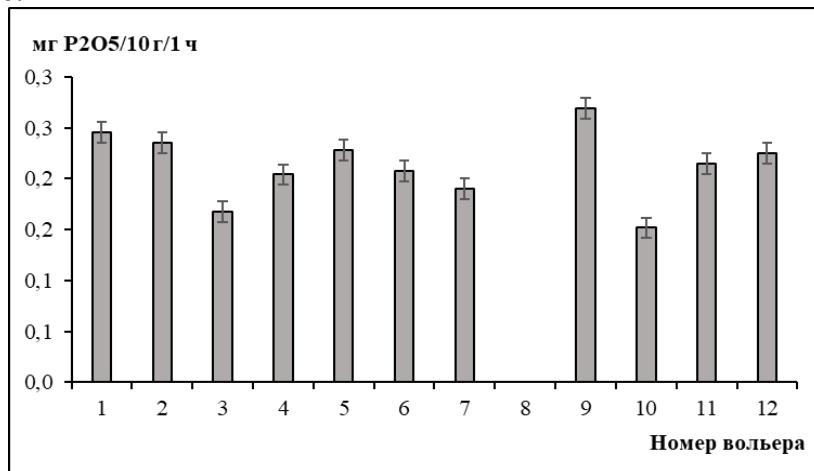


Рис. 9. Активность фосфатазы в почвах зоопарка, май 2019: 1 – зебры Чапмана; 2 – лама; 3 – голубые бараны; 4 – птицы; 5 – верблюд двугорбый; 6 – детская площадка; 7 – контроль; 8 – марал; 9 – азиатский буйволы; 10 –белый носорог; 11 – жираф Ротшильда; 12 – домашние ослы

Полученные в 2019-2020 гг. результаты согласуются с установленными ранее данными об информативности применения некоторых физических параметров, азотфикссирующих бактерий и фитотоксичности для оценки степени деградации почв в Ростовском зоопарке (Kazeev et al, 2017; Казеев и др., 2018; Жадобин и др., 2019). При этом аналогичные исследования в Московском зоопарке показали меньшую информативность биологических параметров (Юркова, 2008; Юркова и др., 2008). Между этими зоопарками существуют различия в интенсивности протекания биологических процессов в почве, т.к. отличаются их генезис, состав и свойства. Так, в почвах Московского зоопарка была установлена низкая биологическая активность, с помощью метода определения интенсивности субстрат-индукции дыхания и метода биодеструкции лигноцеллюлозных соединений, что исследователи связали с возможным техногенным или микотоксинным загрязнением (Юркова и др., 2008, 2009). В исследованиях почв Ростовского зоопарка показана высокая биологическая активность практически на всех мониторинговых площадках. Связано это с исходно высокой биологической активностью черноземов по сравнению со стратифицированными урбаноземами Московского зоопарка. Черноземы обладают высокой

устойчивостью к разным видам деградационных воздействий (Казеев и др., 2015; Колесников и др., 2019).

4.8. ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ МЕЛИОРАНТОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ЗООПАРКА

В условиях тяжелого, глинистого состава почв отмечено ухудшение водно-физических свойств почв, что отражается на содержащихся животных. Одним из способов мелиорации почв является применяемая в зоопарке технология облегчения гранулометрического состава почв с помощью песка, который добавляется в почву некоторых, наиболее деградированных участков (вольеры с баранами, носорогами, буйволами, зебрами). Количество добавляемого песка варьирует на разных исследуемых участках. В условиях слабого нарушения почвенного покрова песок вообще не вносится, а в некоторых вольерах с наиболее крупными животными (слоны, зубры) песок полностью покрывает почву толстым слоем. Содержание животных в вольерах может привести не только к деградации почв, но и к загрязнению атмосферного воздуха аммиаком. Его источниками могут быть не только сельскохозяйственные животные (Priekulis et al., 2019), но и, локально, животные зоопарков. Поэтому важно оптимизировать цикл азота в почвах, для чего важно сохранить высокую скорость биологических процессов в почве и, в частности, нитрификации. Для решения проблемы улучшения экологического состояния проведены исследования по применению в качестве мелиорантов и других веществ: глауконита, древесных стружек и опилок, гидрогеля на основе акрила.

Значения интенсивности дыхания в значительной мере были весьма динамичными. В целом контрольная почва парка меньше выделяла углекислого газа, чем загрязненная продуктами выделения почва вольера оленя (рис.10).

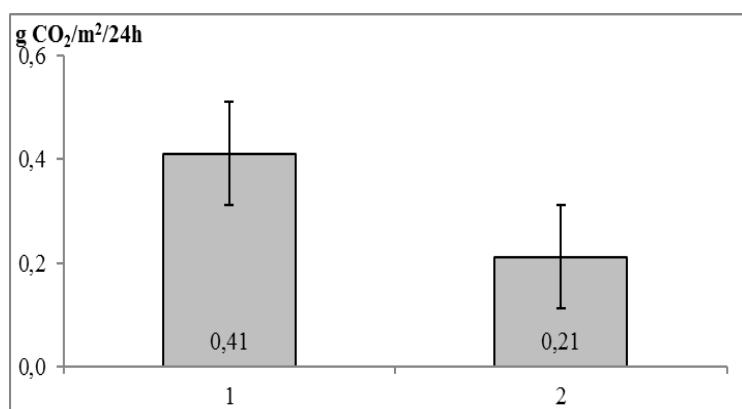


Рис.10. Среднее за опыт (12 определений за 24 сут.) значение дыхания почв контроля (1) и вольера с оленем (2)

Это связано с повышенным содержанием в вольере биогенных элементов. Особенno высокая разница в течение всего срока наблюдения 2017-2019 гг. была выявлена для содержания подвижного фосфора, содержание которого было в 2 и более раз выше в почве вольера оленя. Доступность питательных веществ имеет первостепенное значение для микробных и растительных дыхательных процессов (Mordhorst et al., 2014). Следовательно, естественное содержание азота и углерода в почве, а также органические и минеральные удобрения играют важную роль в регулировании почвенного дыхания. Повышение содержания азота в почве обычно приводит к более высокому дыханию почвы. В вольере оленя почва содержала при-

мерно на 50% больше обменного аммония, чем в почве контрольного участка. Почвенное дыхание уменьшается во время длительных экспериментов по добавлению азота (Bowden et al., 2004). Поэтому в вольере дыхание почв лимитируется этим показателем, поскольку плотность почвы в нем ($1,3\text{-}1,6 \text{ г}/\text{см}^3$) всегда была значительно выше контрольных значений ($1,1\text{-}1,2 \text{ г}/\text{см}^3$). Однако в модельном эксперименте этот фактор не учитывался, поскольку все почвы имели одинаковое сложение. Дыхание почв было максимальным в почве вольера с птицами в течение всего срока наблюдения. Это связано с минимальным воздействием птиц на почвенный покров. Здесь экологические свойства почв были оптимальны по сравнению с почвами других участков.

Применение альтернативных мелиорантов было направлено на повышение скорости разложения отходов жизнедеятельности животных и улучшения экологического состояния почв. Модельный опыт был проведен для почвы одного из наиболее загрязненных вольеров (самец благородного оленя марала). Биологические показатели реагируют на мелиоранты по-разному (рис.11).

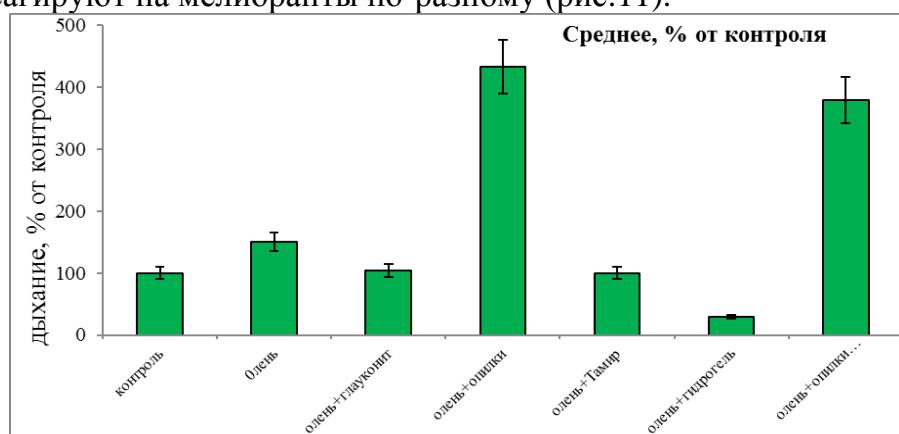


Рис. 11. Влияние мелиорантов на дыхание почв в среднем за опыт, опыт №2

В проведенном модельном исследовании применение гидрогеля показало наименьшую эффективность. При его внесении значительно понижалась влажность почвы, что приводило к ее иссушению и резкому снижению интенсивности биологических процессов. Хотя некоторые ученые считают, что применение акрилосодержащего гидрогеля не угнетает почвенную гетеротрофную микрофлору (Mellelo et al., 2019). Применение инертного глауконитового песка, в целом, достоверно не повлияло на интенсивность дыхания почв и даже существенно уменьшило в первый срок определения через 14 суток. Максимальный эффект на исследуемый показатель активизации биологических процессов оказало внесение 5% древесных опилок. Повышение интенсивности дыхания отмечено на всех трех сроках определения при их внесении, а максимум активизации выявлен в конце опыта (повышение в 2,9 раз относительно почвы без мелиоранта). Применение микробиологического препарата Тамир незначительно активизировало дыхание через месяц после начала опыта. Совместное применение его с опилками привело к значительному возрастанию интенсивности эмиссии CO_2 (повышение в 2,5 раз).

Применение адсорбционного метода определения дыхания почв подтвердило полученные с помощью газоанализаторов результаты. Контрольная почва выделяла наименьшее количество углекислого газа – всего $11 \text{ мг С}/\text{м}^2/24 \text{ час}$. Загрязненная почва вольера оленя выделяла в 3 раза больше углерода в виде углекислого газа. Глауконит и микробиологический препарат не оказали стимулирующего воздействия на интенсивность дыхания почвы. Гидрогель практически полностью подавил

биологические процессы в почве. В наибольшей степени эмиссия углерода была простимулирована после внесения древесных опилок и опилок совместно с микробиологическим препаратом Тамир. Увеличение эмиссии при этом повысилось до 254-259 мг С/м²/24час.

Таким образом, во втором модельном опыте была выявлена активизация биологических процессов в результате применения древесных опилок, которые, кроме этого, могут значительно лучше песка адсорбировать избыток биогенных веществ жизнедеятельности животных. При этом древесные опилки по своему составу и структуре весьма схожи с лесной подстилкой и степным войлоком естественных экосистем, в которых обитают содержащиеся в зоопарке животные.

Исходя из второго опыта с оценкой разных мелиорантов в третьем модельном опыте определяли оптимальную концентрацию опилок. В длительном опыте было проанализированы результаты внесения песка и трех доз древесных опилок. Все вносимые дозы заметно активизировали биологические процессы в первые месяцы после внесения опилок по сравнению с контрольной почвой (рис.12). В максимальной дозе 10% опилки повышали интенсивность дыхания до 13-18 раз через 30-45 суток после внесения.

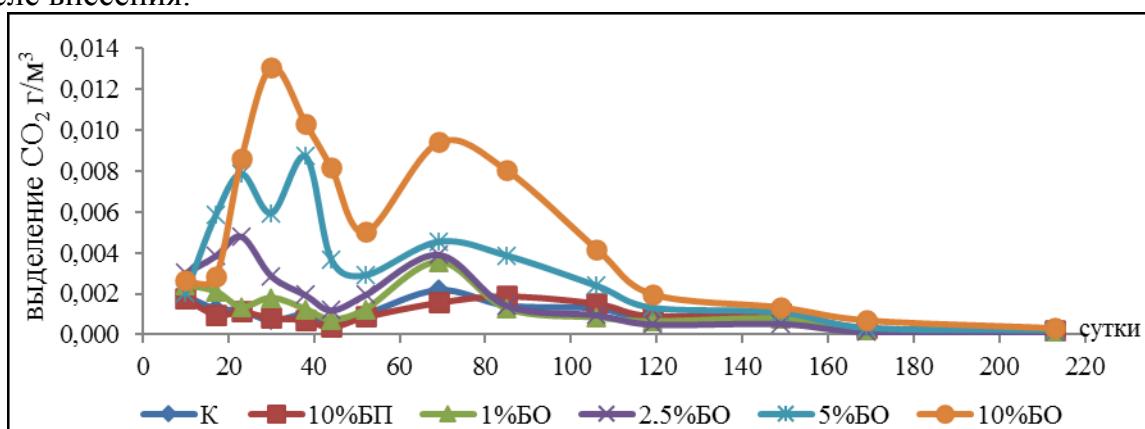


Рис. 12. Динамика интенсивности дыхания почв вольера буйволов при внесении мелиорантов, опыт №3: K- контроль; 10%БП – внесение 10% песка; 1%БО – внесение 1% опилок; 2,5%БО – внесение 2,5% опилок; 5%БО – внесение 5% опилок; 10%БО – внесение 10% опилок

Внесение песка, напротив, уменьшило эмиссию углекислого газа. В дальнейшем по мере разложения опилок дыхание почв в опытных вариантах уменьшилось. Через 100-120 суток биологическая активность почв в разных вариантах выровнялась, а через 160-180 суток эффект внесения всех мелиорантов был нивелирован. Во всех трех модельных экспериментах древесные опилки зарекомендовали себя лучше, чем другие используемые мелиоранты. Оптимальная концентрация внесения опилок также была определена – 10% от массы почвы. Такие вещества, как микробиологические препараты и стимуляторы либо не оказывали существенного влияния, либо ухудшали биологическую активность. Внесение гидрогеля оказывает отрицательное влияние, резко усиливая иссушение почвы. Внесение, как обычного песка, так и глауконитового не рекомендуется, так как это приводит к разбавлению биологически активного слоя почвы, что ухудшает возможности по самоочистке почв от экскрементов и других продуктов жизнедеятельности животных.

ВЫВОДЫ

1. Почвы Ростовского зоопарка – черноземы обыкновенные – подвержены деградационным нарушениям в результате содержания животных в вольерах, а также рекреационного воздействия посетителей. В наибольшей степени это касается крупных копытных животных, которые уплотняют почву вольеров и загрязняют ее продуктами отходов метаболизма (нагрузка до 5,5 кг/м², экскрементов до 97,8 кг/м²/год). Особенно это касается оленей и буйволов, которые оказывают более сильное разрушающее воздействие на поверхность почвы по сравнению с другими животными, вследствие строения своих копыт. Кроме того, они значительно обзывают растительность в вольерах. Минимальные нарушения отмечены в больших вольерах с птицами (нагрузка 0,08 кг/м², экскрементов 4,2 кг/м²/год). В вольерах сопоставимого размера крупные эму меньше нарушают физические и биологические свойства почв по сравнению с птицами меньшего размера, но с большей активностью и численностью (журавли, павлины, гуси, казарки).

2. Выявлено избыточное содержание подвижных форм азота и фосфора в почвах Ростовского зоопарка. В почвах вольеров установлена зависимость высоких концентраций аммонийного азота ($R=0,79-0,94$) и подвижного фосфора ($R=0,33-0,75$) от количества экскрементов животных.

3. При сравнительной оценке эффективности разных методов диагностики выявлен ряд перспективных показателей для мониторинга экологического состояния почв Ростовского-на-Дону зоопарка. Среди десятков показателей наиболее информативными и чувствительными параметрами были плотность сложения, структурно-агрегатный состав, а также активность ферментов цикла азота и фосфора. Эти показатели позволили диагностировать нарушение экологического состояния почв вольеров с высокой нагрузкой от содержащихся в них животных.

4. Не все используемые параметры отражают изменения почв разных функциональных зон Ростовского зоопарка. Ряд показателей (содержание гумуса, реакция среды, валовой состав, активность каталазы) слабо реагировал на высокую нагрузку животных в вольерах.

5. В результате рекреационного воздействия посетителей деградирует почвенно-растительный покров, повышается плотность сложения, сопротивление проникновению, ухудшается структурность, ухудшается прорастание семян растений.

6. Выявлена зависимость биологических показателей от внесения в почву песка для улучшения физических свойств. Значительное количество речного песка, внесенного в почву вольеров с некоторыми копытными животными (зебры, бараны, носороги, жираф) для улучшения физических свойств почв, снижает их ферментативную активность в целом на 33%, а содержание гумуса – на 37%. Песчаный грунт слоновника и вольера зубров имеет в 7,6-9,5 раз меньшие значения биологической активности, чем в контрольной почве.

7. Модельные эксперименты показали высокую эффективность применения древесных опилок для улучшения экологического состояния почв в вольерах зоопарка с высокой степенью нарушения почвенного покрова. Опилки показали лучший результат по сравнению с песком, акриловым гидрогелем и внесением микробиологических препаратов, вследствие высокой способности адсорбировать избыток биогенных веществ жизнедеятельности животных и большей экологичности (подобию растительного опада в природе). Биологическая активность почв при внесении опилок значительно возрастает (дыхание почв в 3-18 раз), что наряду с улуч-

шением водно-физических и тепловых свойств почв позволяет улучшить санитарно-гигиеническое состояние вольерах и условия содержания животных. Оптимальной дозой внесения древесных опилок в почву вольеров в зависимости от степени их загрязнения составляет 5-10 кг/м².

РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Мониторинг экологического состояния почв зоопарков необходимо проводить в обязательном порядке с выделением учетных площадок в разных функциональных зонах с применением физических, химических и биологических методов диагностики.
2. Результаты мониторинга экологического состояния почв необходимо использовать для оптимизации размещения животных, учитывая размеры вольеров, нагрузку от животных, а также свойства почв зоопарка влияющих на их устойчивость к воздействиям животных.
3. Для оптимизации экологического состояния и повышения возможности самоочищения необходимо поддерживать оптимальные гидротермические условия и биологическую активность почв. Для этого целесообразно наряду с речным песком вносить в почву древесные опилки и биостимуляторы биологической активности почв, что ускорит самоочищение почв от накопленных продуктов жизнедеятельности животных и снизит вероятность загрязнения воздуха и почв.
4. В местах наибольшего воздействия посетителей в парковой зоне зоопарка (детские площадки, грунтовые дорожки и тропинки) следует проводить восстановление почвенно-растительного покрова, мелиорацию путем облегчения гранулометрического состава и временно ограничивать воздействие в период высокой влажности почв для предотвращения ее переуплотнения.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Всего по теме диссертации опубликовано 25 научных работ. Важнейшие из них:

Статьи, опубликованные в журналах, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и/или Web of Science

1. Kazeev, K.S., Zhadobin, A.V., Barbashev, A.I., Akimenko, Y.V., Kolesnikov, S.I.. Ecological State of the Soil at the Rostov-on-Don Zoo. // International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. – 2018. – V.18 (3.2). - Pp. 119-126. - DOI: 10.5593/sgem2018/3.2/S13.016.
2. Zhadobin A.V., Kazeev K.Sh. and Kolesnikov S.I. Influence of ameliorants on soil respiration of voleys of the Rostov Zoo // Indian journal of ecology. 2020. 47 (4). P.979-983. <http://indianecologicalsociety.com/society/wp-content/themes/ecology/fullpdfs/1606993007.pdf>
3. Kazeev K., Zhadobin A., Gobarova A., Fedorenko A., Kolesnikov S. Assessment of ecological state of Rostov zoo soil // Eurasian Journal of Soil Science. In Press, Corrected Proof, Article first published online: 11 Nov 2020. <http://ejss.fesss.org/10.18393/ejss.824654>. DOI: 10.18393/ejss.824654.

Статьи, опубликованные в журналах, входящих в Перечни рецензируемых научных изданий ЮФУ и ВАК

4. Казеев К.Ш., Жадобин А.В., Лесина А.Л., Александров А.А., Бакаева Ю.С., Кравцова Н.Е., Колесников С.И. Экологическое состояние почв вольеров с животными и птицами Ростовского зоопарка // АгроЭкоИнфо. – 2018. – №3. – С. 32. – URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/3/st_358.doc
5. Федоренко А.Н., Жадобин А.В., Гобарова А., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Оценка содержания биогенных элементов в почвах зоопарка (Ростов-на-Дону) // Агрехимический вестник. – 2020. – №5. – С.80-84.

6. Гобарова А.А., Жадобин А.В., Казеев К.Ш., Федоренко А.Н., Колесников С.И. Сравнительная оценка методов при мониторинге почв в вольерах Ростовского-на-Дону зоопарка // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2020. – №3. – С. 91-97. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44124120>

Статьи и тезисы, опубликованные в других изданиях

7. Жадобин А.В., Казеев К.Ш., Лесина А.Л., Александров А.А., Казеев Д.К., Колесников С.И. Оценка экологического состояния почв Ростовского зоопарка // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2019. – № 1 (33). – С. 131-141.
8. Свидетельство о государственной регистрации базы данных RU 2018622032. Фитотоксичность почв разных функциональных зон Ростовского зоопарка: №2018621711: заявлено 22.11.2018: опубликовано 13.12.2018 / Казеев К.Ш., Жадобин А.В., Колесников С.И., Дмитриев П.А.; правообладатель ФГОАУ ВО «Южный федеральный университет». - 67155 байт.
9. Свидетельство о государственной регистрации базы данных RU 2019622210. Фитотоксичность почв разных функциональных зон Ростовского зоопарка по данным за 2017-2018 г.г.: № 2019622158 : заявлено 19.11.2019 : опубликовано 28.11.2019 / Казеев К.Ш., Жадобин А.В., Колесников С.И., Дмитриев П.А. ; правообладатель ФГОАУ ВО «Южный федеральный университет» - 8229 байт.
10. Жадобин А.В., Казеев К.Ш., Барбашев А.И., Колесников С.И. Перспективы исследований экологического состояния и функционирования почв Ростовского зоопарка // Экология и биология почв : материалы научной конференции с международным участием. – Ростов-на-Дону ; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2017. – С. 58-61.
11. Жадобин А.В., Барбашев А.Ю., Агак О.С., Александров А.А., Лесина А.Л., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биологическая индикация почв Ростовского зоопарка // Техногенные системы и экологический риск : тезисы докладов II Международной (XV Региональной) научной конференции. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2018. - С.202-203.
12. Казеев К.Ш., Жадобин А.В., Лесина А.Л., Александров А.А., Бакаева Ю.С., Кравцова Н.Е., Шерстнев А.К., Колесников С.И. Биологическая активность почв Ростовского зоопарка // Современное состояние чернозёмов: материалы II Международной научной конференции: в 2 томах. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во ЮФУ. 2018. – Т.2. – С.259-266.
13. Жадобин А.В., Кравцова Н.Е., Казеев К.Ш. Агрохимические параметры почв Ростовского зоопарка // Теоретические и технологические основы биогеохимических потоков веществ в агроландшафтах. – Ставрополь: Секвойя. 2018. – С. 171-173.
14. Жадобин А.В., Казеев К.Ш. Влияние мелиорантов на биологическую активность почв вольеров Ростовского зоопарка // Актуальные вопросы экологии и природопользования: сборник материалов. – Ростов-на-Дону ; Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2019. – С. 57-61.
15. Жадобин А.В., Федоренко А., Гобарова А., Казеев Д.К., Александров А., Бакаева Ю.С., Лесина А.Л., Казеев К.Ш. Влияние животных на почвы вольеров Ростовского зоопарка // Энтузиасты аграрной науки. – Краснодар: КубГАУ, 2019. – Вып.21. – С.366-371.
16. Гобарова А.А., Федоренко А.Н., Жадобин А.В., Казеев К.Ш. Загрязнение почв Ростовского зоопарка биогенными веществами // Устойчивое развитие территорий: теория и практика. – Сибай: Издательский дом «Республика Башкортостан», 2019. – С. 93-95.
17. Гобарова А.А., Федоренко А.Н., Камнева И.А., Жадобин А.В. Биологическая активность почв Ростовского зоопарка // Наука XXI века: вызовы и перспективы : межрегиональная научно - практическая конференция. – Элиста, 2019. – С. 268-271.
18. Гобарова А.А., Федоренко А.Н., Жадобин А.В., Казеев К.Ш. Сравнительная оценка диагностических показателей в диагностике состояния почв Ростовского зоопарка // Экология и природопользование. – Ростов-на-Дону; Таганрог : Изд-во ЮФУ, 2020. – Вып. 17. – С.10-13.