

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВОЛЬЕРНОГО СОДЕРЖАНИЯ ЖИВОТНЫХ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ

© 2023 г. А.А. Гобарова, К.Ш. Казеев, А.В. Жадобин, А.Н. Федоренко, С.И. Колесников

Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета  
Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, просп. Стачки, д. 194/1. E-mail: kamil\_kazeev@mail.ru

Поступила в редакцию 10.11.2022. После доработки 10.01.2023. Принята к публикации 13.01.2023.

Животные в процессе жизнедеятельности оказывают значительное влияние на территорию, где обитают. Исследуемые объекты находятся в зоне сухих степей, где климатические условия лимитируют развитие растительности, способствуют изменениям почвенных характеристик, что в сочетании с воздействием животных усиливает эффект. Цель работы оценить влияние животных на экологическое состояние почв вольеров Ассоциации «Живая природа степи».

В ходе исследования были определены основные показатели экологического состояния почв вольеров с животными на территории вольеров Ассоциации «Живая природа степи» в засушливых районах Ростовской области. Исследовали вольеры разных размеров, с африканскими страусами (*Struthio camelus*), эму (*Dromaius novaehollandiae*), козлами (*Capra* sp.), лошадьми Пржевальского (*Equus ferus przewwalskii*) и сайгаками (*Saiga tatarica*), и на территории с полувольным выпасом копытных животных – лошадей (*Equus caballus*), верблюдов (*Camelus bactrianus*), буйволов (*Bubalus arnee*), яков (*Bos mutus*) и лам (*Lama ganicoe*). Исследуемые участки отличались интенсивностью деградации почв. Для оценки физического состояния определяли влажность, температуру, плотность и структурность почвы, также была произведена оценка рН, валового химического состава почв, содержания гумуса и биологической активности, было проведено ранжирование участков по степени пастбищной дигрессии.

В ходе исследования вольер с африканскими страусами получил максимальную 10 степень деградации, что характеризуется сильным угнетением растительности и сбитостью почв. Также плотность почвы в вольере с африканскими страусами была наибольшей – 1.49 г/см<sup>3</sup>, процент структурности наименьшим – 37%. Данные параметры имели тесную отрицательную корреляцию с давлением копыт и лап животных на почву (-0.9). Уровень влажности на исследуемых участках не поднимался выше 11%, несмотря на это ферментативная активность почв зависела больше не от гидротермических условий, а от влияния выделений продуктов жизнедеятельности животных. В вольерах с копытными животными, в частности в вольере с козлами, активность каталазы и уреазы всегда была выше, чем на остальных участках. Там же было отмечено высокое содержание гумуса – 10.3%, что является нехарактерным для каштановых почв и подтверждает влияние на них жизнедеятельности животных.

По результатам исследований наиболее низкие значения структурности, гумуса и биологической активности, а также повышенная плотность сложения почвы были в вольере с африканским страусом. Полученные данные объясняют уменьшение роста и развития растительности на территории, где обитают содержащиеся в скученных условиях животные.

**Ключевые слова:** пастбищная дигрессия, экологическое состояние, ферментативная активность, биоиндикация, содержание гумуса, физические свойства.

**DOI:** 10.24412/1993-3916-2023-2-109-117

**EDN:** WRCBNN

Сохранение биоразнообразия на нашей планете является одной из важных задач в настоящее время. С этой целью создаются различные заповедники, заказники, ассоциации и т.д. На территории Ростовской области с 2004 г. существует общественная экологическая организация – ассоциация «Живая природа степи», основными целями которой являются охрана и восстановление естественного биоразнообразия степи, создание искусственных популяций исчезающих степных

животных, пропаганда рационального использования ресурсов природы и формирование экологической культуры среди населения области. Ассоциация активно работает с ведущими природоохранными организациями – ЮНЕСКО, ТАСИС, WWF, научными учреждениями РАН, вузами и др., выступает инициатором проведения российских и международных научно-практических конференций. Благодаря разработанной инновационной технологии по искусственному разведению сайгака, Центр редких животных европейских степей в Ассоциации стал ведущим по сохранению этих животных. В настоящее время в Центре успешно проводятся работы по содержанию лошади Пржевальского, бизонов, верблюдов, куланов, яков, антилоп Канна, буйволов, которые демонстрируют значительный прирост (буйволы – на 90%, верблюды – на 70%, антилопы Канна – на 90%, лошади Пржевальского – на 70%; Ассоциация «Живая природа степи», 2022). Территория находится в зоне сухих степей на востоке Ростовской области, с характерными для нее аридными почвами. Климатические условия лимитируют развитие растительности, также обуславливая небольшой объем фитомассы. Вместе с этим важно осуществлять мониторинг за состоянием окружающей среды на территории, где обитают животные. Выпас может изменить баланс структуры, состава и функций экосистем, путем непосредственного механического воздействия на почву, внесения продуктов жизнедеятельности, изменения состава растительных сообществ и т.д. (Wiesmeier et al., 2009; Zhou et al., 2010; Chen et al., 2019). Ранее проведенные исследования в зоопарках, заповедниках и на других территориях, где содержатся животные, подтверждают их исключительное влияние на растительно-почвенный покров (Yurkova, 2009; Ганиева и др., 2019; Власенко и др., 2019; Гобарова и др., 2020; Zhadobin et al., 2020; Kazeev et al., 2021). При увеличении интенсивности выпаса снижается доля водоустойчивых агрегатов и скорость инфильтрации, происходит увеличение плотности сложения почвы и сопротивление пенетрации, снижается биомасса растений и микробная активность в почве (Hoffmann et al., 2008; Steffens et al., 2008).

Целью работы было оценить влияние животных на экологическое состояние почв вольеров Ассоциации «Живая природа степи».

### Материалы и методы

Исследования проводили в августе 2021 года на территории вольерного комплекса Ассоциации «Живая природа степи» Орловского района Ростовской области (46° 24' 40.1" с.ш., 42° 38' 36.5" в.д.). Климат характеризуется жарким летом и холодной, малоснежной зимой. Средняя месячная температура воздуха в январе – -5.5°C, в июле – 24.4°C. Максимальная температура летом поднимается до +43°C. Количество осадков – от 379 до 422 мм в год. Почвенный покров представлен каштаново-солонцовыми комплексами с лугово-каштановыми почвами в понижениях рельефа. Сложность почвенного покрова обуславливает чрезвычайно высокие показатели варьирования значений показателей состава и свойств почв. Главные черты диагностики каштановых почв: малая гумусность гуматно-фульватного типа с мощностью гумусового горизонта около 40-50 см, слабая выщелоченность от легкорастворимых солей с формированием иллювиального карбонатно-деструктивного горизонта и горизонта гипса и легкорастворимых солей. Солонцы – интразональные образования зоны сухих степей с каштановыми почвами. Образуют комплексную структуру почвенного покрова с контрастными по экологии и плодородию почвами (каштановые, лугово-каштановые и солонцы) с разным содержанием компонентов комплекса. Солонец каштановый является автоморфной почвой, формируется без участия грунтовых вод под злаково-полынными растительными группировками (полынь черная, кермек, типчак и др.; Казеев и др., 2010). Значительную долю надземной фитомассы формируют злаки (54-66%) и разнотравье (32-46%). Доля других видов сосудистых растений: осоковых – осоки узколистной (*Carex stenophylla*<sup>1</sup>), бобовых – горошка четырехсемянного (*Vicia tetrasperma*), а также спорыша раскидистого (*Polygonum patulum*) не превышает 3.9% (Казьмин и др., 2016). Растительность пастбищного участка представлена комплексом из 6 компонентов: луковичномятликово-житнякового (*Agropyron desertorum*, *Poa bulbosa*), кострецового (*Bromopsis inermis*) и однолетникового (*Descurainia sophia*, *Sisymbrium loeselii* – летом, *Atriplex aucheri*, *A. tatarica*, *Bassia sedoides* – осенью) фитоценозов на

<sup>1</sup> Латинские названия растений приводятся по работе С.К. Черепанова (1995).

каштановых почвах; полынно-злакового (*Agropyron cristatum*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia austriaca*) и луковичномятликово-полынного (*Artemisia austriaca*, *Poa bulbosa*) на лугово-каштановых почвах; лерхопопынного (*Artemisia lerchiana*) на солонцах каштановых (Джапова и др., 2020).

Контрольный участок расположен на территории Ассоциации на удалении в 3 км от вольеров, с минимальным животным и антропогенным воздействием (рис. 1). Образцы почвы для анализов были взяты из вольеров с: африканскими страусами (*Struthio camelus*<sup>2</sup>), эму (*Dromaius novaehollandiae*), козлами (*Capra* sp.), лошадьми Пржевальского (*Equus ferus przewalskii*) и сайгаками (*Saiga tatarica*), а также на территории с полувольным выпасом копытных животных – лошадей (*Equus caballus*), верблюдов (*Camelus bactrianus*), буйволов (*Bubalus arnee*), яков (*Bos mutus*) и лам (*Lama ganicoe*).

Исходя из площади вольера, веса животных и их количества была рассчитана нагрузка, осуществляемая животными в процессе их жизнедеятельности на ограниченной территории. Соотношение количества животных и их общей массы, которой они осуществляют нагрузку на поверхность почвы, к площади вольеров, показывает силу воздействия этого фактора изменение почвенных свойств. Также была проведена ранжировка исследуемых участков по степени пастбищной дигрессии согласно шкале Л.Г. Раменского с соавторами (1956; табл. 1).



**Рис. 1.** Расположение объектов исследования: 1 – африканские страусы, 2 – эму, 3 – козлы, 4 – копытные на полувольном выпасе, 5 – лошади Пржевальского и сайгаки, 6 – контроль.

В рамках работы был проведен анализ показателей эколого-биологического состояния почв с помощью полевых и лабораторных методов в соответствии с разработанной методологией эколого-биологического состояния почв (Казеев и др., 2016). В полевых условиях была измерена температура почвенного покрова с помощью электронного термометра HANNA СНЕСТЕМР послойно на глубине 0, 5, 10 см, влажность почвы – влагомером Fieldscout TDR 100 в 10-кратной повторности, плотность сложения почвы определяли объемно-весовым методом с использованием стальных колец объемом 135 см<sup>3</sup> в 3-кратной повторности. Аналитические исследования проводили на кафедре экологии и природопользования Южного федерального университета (Ростов-на-Дону, Россия). Структурный анализ почвы проводился с использованием сухого просеивания почвы через колонну сит с ячейками от 10 мм до 0.25 мм. Качество структуры почвы оценивали по процентному содержанию суммы агрегатов почв размером менее 10 и более 0.25 мм от общей суммы агрегатов.

<sup>2</sup> Латинские названия животных приводятся по сайту Систематического списка коллекции животных Ростовского-на-Дону зоопарка (2022).

Реакцию почвенной среды (рН) и окислительно-восстановительный потенциал определяли потенциометрическим методом (HANNA HI 98128 рНер 5, Германия) в почвенной суспензии с соотношением почва: вода – 1: 2.5. Содержание легкорастворимых солей определяли кондуктометрическим методом на основе электропроводности (ЕС) по прибору HANNA HI 9034. Активность каталазы определяли газометрическим методом по А.Ш. Галстяну (1978), активность уреазы – модифицированным методом А.Ш. Галстяна (1978) с использованием реактива Несслера, активность инвертазы – колориметрическим методом с реактивом Феллинга. Активность почвенных ферментов изучали при естественном рН почвы без буфера в 3-6-и кратной повторности. Определение содержания органического углерода почвы проводили методом И.В. Тюрина в модификации Б.А. Никитина. Вариационно-статистическая обработка полученных данных выполнена с применением корреляционного, вариационного и дисперсионного анализов, с использованием программ Statistica for Windows 10.0 и MS Excel.

**Таблица 1.** Условия содержания животных в вольерах ассоциации «Живая природа степи».

Участок	Координаты	Площадь вольера, м <sup>2</sup>	Животные	Масса животных, кг	Нагрузка, кг/м <sup>2</sup>	Степень пастбищной дигрессии (шкала Раменского)
1	46° 24' 6.27" с.ш., 42° 38' 53.9" в.д.	600	Африканские страусы ( <i>Struthio camelus</i> )	936	1.56	10
2	46° 24' 6.26" с.ш., 42° 38' 53.9" в.д.	600	Эму ( <i>Dromaius novaehollandiae</i> )	220	0.37	9
3	46° 24' 6.26" с.ш., 42° 38' 53.9" в.д.	600	Козлы ( <i>Capra sp.</i> )	455	0.76	8
4	46° 24' 6.26" с.ш., 42° 38' 53.9" в.д.	20000000	Лошади ( <i>Equus caballus</i> ), верблюды ( <i>Camelus bactrianus</i> ), яки ( <i>Bos mutus</i> ), ламы ( <i>Lama ganicoe</i> ), буйволы ( <i>Bubalus arnee</i> )	101450	0.01	1-2
5	46° 41' 17.9" с.ш., 42° 61' 9.15" в.д.	630000	Лошади Пржевальского ( <i>Equus ferus przewwalskii</i> ), сайгаки ( <i>Saiga tatarica</i> )	28882	0.05	1-2
6	46° 40' 6.84" с.ш., 42° 60' 48.6" в.д.	–	Контроль	–	–	1-2

### Результаты и обсуждение

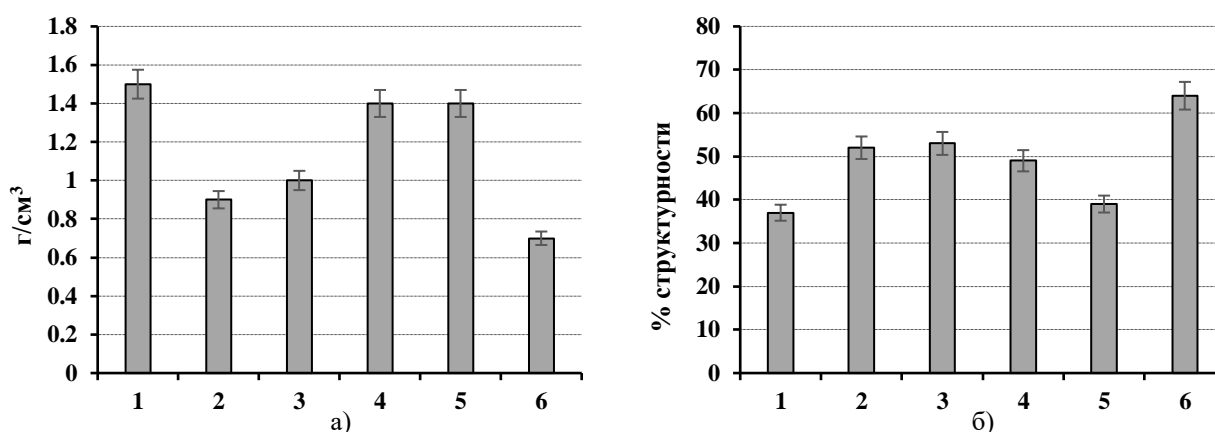
Реакция почвенной среды на исследуемых участках нейтральная, что характерно для каштановых почв. Для гидротермического режима почвы на момент проведения исследования характерны значения температуры почвы на глубине 5 см в диапазоне от 24.9 до 32.5°C, и значения влажности почвы – от 3 до 11% (табл. 2).

Обитая на ограниченной территории, животные видоизменяют ее путем вытаптывания и потребления растительности, а также уплотнения почвенного покрова. Исследованные участки отличаются разной степенью пастбищной дигрессии (табл. 1). Используя шкалу Л.Г. Раменского с соавторами (1956), была дана оценка состояния территории – вольер с африканскими страусами на 10 ступени: растительность полностью отсутствует; вольер с эму на 9 ступени: растительный покров изрежен, представлен спорышом (*Polygonum aviculare*); вольер с козлами на 8 ступени: растительный покров представлен сбоевыми однолетниками; вольер с сайгаками и лошадьми Пржевальского, а также территория с полувольным выпасом животных и контрольный участок на 1-2 ступени: отличается высоким травостоем (30-150 см) представленным злаковой или злаково-разнотравной

растительностью. Изменения в растительном сообществе связаны с физическими свойствами почв. В результате изменения плотности почвенного покрова меняется характер растительного сообщества на плохо поедаемые и ядовитые виды трав, которые способны расти даже в таких условиях из-за особенностей строения корневой системы. В результате снижается интенсивность использования таких территорий животными (Русанов, 2011). Согласно исследованиям зарубежных ученых, выпас оказывает влияние на верхний слой почвы через воздействие на объем и размер пор, и связность почвы, что ведет к повышению плотности сложения почв на территории (Parwada, Van Tol, 2019; Levi et al., 2020). Результаты исследования показали уплотнение почвы на исследуемых участках по сравнению с контролем (рис. 2а).

**Таблица 2.** Некоторые характеристики почв исследуемых участков.

№	Вольеры	Температура (глубина 5 см), °С	Влажность, %	pH	Гумус, %
1	Африканские страусы	28.4	8.4	7.3	4.2
2	Эму	24.9	8.3	7.2	6.4
3	Козлы	27.1	11.0	6.8	10.3
4	Лошади, верблюды, яки, ламы, буйволы	30.9	3.4	6.4	4.1
5	Лошади Пржевальского, сайгаки	32.5	5.4	6.7	3
6	Контроль	25.9	9.7	5.8	6.7

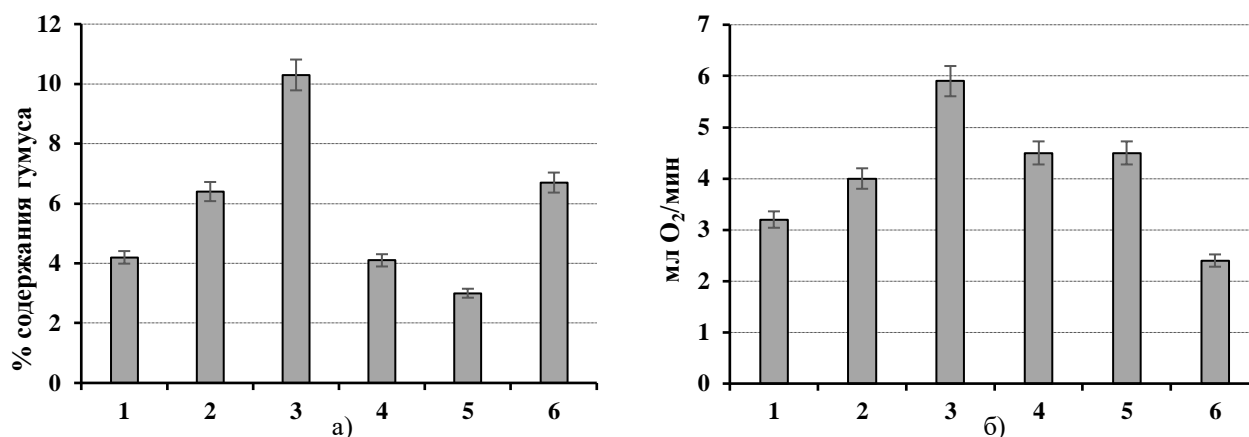


**Рис. 2.** Плотность (а) и структурность (б) почв исследуемых участков: 1 – африканские страусы, 2 – эму, 3 – козлы, 4 – копытные на полувольном выпасе, 5 – лошади Пржевальского и сайгаки, 6 – контроль.

Значения выше остальных получены в вольере с африканскими страусами, в то время как эму оказали наименьшее влияние на данный параметр. Значения показателя в вольерах с копытными животными также имеют высокие значения, превышающие оптимальные для благоприятного роста и развития растений. Переуплотнение происходит вследствие нарушения почвенной структуры под давлением копыт и лап животных, что подтверждает полученная высокая отрицательная корреляция между этими параметрами –  $r = -0.9$ . Увеличение плотности почвы и изменение размера почвенных агрегатов влияют на распространение корней и доступ питательных веществ к растениям. В агрономическом смысле наиболее ценными считаются агрегаты размером от 0.25 до 10 мм, при интенсивном физическом воздействии животными на почвенный покров происходит увеличение количества глыбистых агрегатов. Согласно шкале для оценки структурного состояния почвы по системе Росгипрозема (1995-2000; Вальков и др., 2004), на исследуемых участках наблюдается удовлетворительное (60-40%) и неудовлетворительное (40-20%) структурное состояние почв

(рис. 2б). Наименьшие значения были получены в образцах из вольера с африканскими страусами и на территории свободного выпаса лошадей Пржевальского с сайгаками – 37% и 39% соответственно. Результаты коррелируют со значениями нагрузки, оказываемой животными на почву за счет их веса и площади территории. Умеренная обратная связь отражает зависимость, заключающуюся в уменьшении коэффициента структурности с увеличением нагрузки животных на почву –  $r = -0.4$ . Таким образом, прослеживается прямое влияние животных на физические параметры почвы.

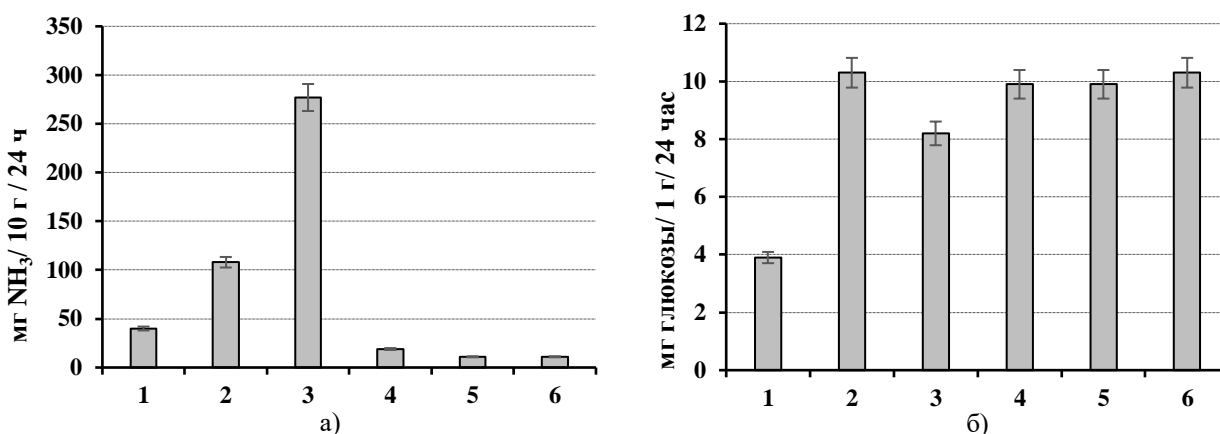
Через изменение растительного сообщества выпас животных оказывает влияние на изменения в сообществе почвенных микроорганизмов и их активности (Garcia-Franco et al., 2015). Это в дальнейшем повлияет на стабильность почвенных агрегатов, т.к. высокая численность почвенных бактерий способствует объединению частиц разных размеров, т.е. образованию макроагрегатов из микроагрегатов, и повышает стабильность агрегатов. Было установлено, что поступление питательных веществ и корни растений влияют на стабильность почвенных агрегатов через бактериальное сообщество (Zhao et al., 2018). Структура почвы – трехмерная, образующаяся внутри и между агрегатами – является важным показателем качества почвы (Menon et al., 2020). Почвенные агрегаты являются основными единицами структуры почвы и служат основными носителями почвенного органического углерода и питательных веществ почвы (Sarker et al., 2018). Их формирование, стабилизация и фрагментация определяют, насколько хорошо функционирует почва, поскольку размер агрегатов является наиболее важным фактором, определяющим способность удерживать питательные вещества в почве (Lu et al., 2019). Почвенный гумус влияет на ферментативную активность почвы, это проявляется в его воздействии на жизнедеятельность почвенных организмов и растений, т.к. в гумусе накоплены основные запасы питательных веществ и биогенных элементов (Хазиев, 2018). Полученные результаты по содержанию гумуса в исследуемых вольерах отражают значительное повышение показателя в вольере с козлами – 10.3%, относительно характерных для данных почв значений, обычно не превышающих 3.5%. Наименьшие значения получены на территории свободного выпаса лошадей Пржевальского и сайгаков – 3% (рис. 3а). Согласно шкале Л.А. Гришиной и Д.С. Орлова (1978), содержание гумуса на исследуемой территории находится в диапазоне от низких до очень высоких значений. Для каштановых почв очень высокое содержание гумуса (>10%) является нехарактерным явлением, и свидетельствует о внесении большого количества органических остатков, т.к. гумусовые вещества формируются из веществ растительных и животных остатков, тел микроорганизмов и продуктов метаболизма всей биоты во взаимодействии с комплексом компонентов окружающей среды.



**Рис. 3.** Содержание гумуса (а) и активность каталазы (б) в почвах исследуемых участков: 1 – африканские страусы, 2 – эму, 3 – козлы, 4 – копытные на полувольном выпасе, 5 – лошади Пржевальского и сайгаки, 6 – контроль.

Ферменты являются надежными индикаторами метаболизма почвенных микроорганизмов, отражают изменения в структуре микробного сообщества и косвенно регулируют питательные вещества почвы и микроорганизмов (Xiao et al., 2020). Согласно шкале Д.Г. Звягинцева по степени обогащенности почвы ферментами (1978), полученные результаты свидетельствуют о средней

обогащенности почв каталазой на территории с животными (рис. 3б). По данным исследователей активность ферментов сильно зависит от гидротермического режима почв (Хазиев, 2018). Наиболее оптимальные условия для протекания биохимических реакций в почве соответствуют температуре 20-30°C и влажности 40-60%. Для почв сухостепных районов более важен уровень влажности, который на исследуемых участках не поднимался выше 11%, что способствовало замедлению ферментативных процессов. Кроме явного влияния гидротермического режима, отмечено влияние животных. Активность фермента была выше в вольерах с копытными животными, в то время как в вольере с африканскими страусами, а также у эму активность понижалась. Исследованиями подтверждено влияние навоза млекопитающих на активность ферментов, т.к. с привнесением органического вещества животного происхождения стимулируется почвенная микробиота посредством обеспечения ее одновременно углеродом и азотом (Marinari et al., 2006). Активность уреазы также была высокой в вольере с копытными животными, а именно на территории, где обитают козлы (рис. 4а). Степень обогащенности ферментом в вольере с козлами отмечена как очень богатая. В то же время на территории, где обитают другие копытные животные, степень ниже на два порядка (соответствует средней обогащенности), что обусловлено меньшей плотностью животных в данных вольерах. Активность уреазы в вольере с африканскими страусами была ниже, чем в вольере с эму в 2.7 раза, что наглядно подтверждает разницу в нагрузке птиц на почвенный покров и согласуется со сделанными ранее выводами по степени дигрессии. Активность инвертазы была одинаковой на исследуемых участках, кроме вольера с африканскими страусами, где степень обогащенности фермента соответствует бедной по шкале Д.Г. Звягинцева (1978). Птичий помет отличается от навоза своей высокой концентрированностью, что негативно влияет на корни растений, способствуя угнетению роста и развития растений, которые в данном случае являются основным источником органического вещества почв, обеспечивающего углеродсодержащими соединениями.



**Рис. 4.** Активность уреазы (а) и инвертазы (б) в почвах исследуемых участков: 1 – африканские страусы, 2 – эму, 3 – козлы, 4 – копытные на полувольном выпасе, 5 – лошади Пржевальского и сайгаки, 6 – контроль.

### Выводы

Изменение почвенно-растительного покрова и свойств почв вольеров Ассоциации «Живая природа степи» зависит от площади вольеров, видов и количества содержащихся в них животных. При содержании животных в скученных условиях происходит вытаптывание растений и переуплотнение почв на некоторых участках, что влечет за собой изменение биологической активности. Наиболее разрушительное воздействие на почву оказывают африканские страусы, в маленьком вольере которых отмечена максимальная нагрузка. В вольерах большего размера, где обитают лошади Пржевальского и сайгаки и на территории с полувольным выпасом животных не отмечено переуплотнения почвы и изменения биологической активности почв, вследствие меньшей нагрузки осуществляемой животными. В небольшом вольере с козлами отмечено увеличение содержания органического углерода и биологической активности почв по сравнению с другими вольерами вследствие поступления большого объема отходов жизнедеятельности.

*Финансирование.* Исследования проведены при финансовой поддержке ведущей научной школы Российской Федерации «Оценка и прогноз состояния почв при различных антропогенных воздействиях и изменении климата» (НШ-449.2022.5).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ассоциация «Живая природа степи». 2022. [Электронный ресурс <https://xn--80ahejdbaffdbom.xn--p1ai/zhivaya-prigoda-stepi/> (дата обращения 11.02.2022)].
- Вальков В.Ф., Елисеева Н.В., Имгрунт И.И., Казеев К.Ш., Колесников С.И. 2004. Справочник по оценке почв. Майкоп: ГУРИПП «Адыгея». 236 с.
- Власенко М.В., Кулик А.К., Салугин А.Н. 2019. Оценка экологического состояния и потерь продуктивности аридных пастбищных экосистем Сарпинской низменности // Аридные экосистемы. Т. 25. № 4 (81). С. 71-81. [Vlasenko M.V., Kulik A.K., Salugin A.N. 2019. Evaluation of the Ecological Status and Loss of Productivity of Arid Pasture Ecosystems of the Sarpa Lowland // Arid Ecosystems. Vol. 9. No. 4. P. 273-281.].
- Ганиева С.А., Дюньмалиева Н.Я., Рамазанова Ф.М. 2019. Влияние выпаса на свойства почв в условиях сухих субтропических степей Азербайджана // Аридные экосистемы. Т. 25. № 3 (80). С. 39-44. [Ganieva S.A., Dyunyamalieva N.Ya., Ramazanova F.M. Grazing Effect on Soil Properties in Dry Subtropic Steppes of Azerbaijan // Arid Ecosystems. Vol. 9. No. 3. P. 174-178.].
- Гобарова А.А., Жадобин А.В., Казеев К.Ш., Федоренко А.Н., Колесников С.И. 2020. Сравнительная оценка методов при мониторинге почв в вольерах Ростовского-на-Дону зоопарка // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. № 3 (207). С. 91-97.
- Гришина Л.А., Орлов Д.С. 1978. Система показателей гумусного состояния почв // Проблемы почвоведения. М. С. 42-47.
- Джапова В.В., Бембеева О.Г., Аюшева Е.Ч., Казьмин В.Д., Джапова Р.Р., Абатуров Б.Д. 2020. Кормовая избирательность полувольных бизонов (*Bison bison*) в дерновиннозлаковой степи долины Западного Маныча // Аридные экосистемы. Т. 26. № 4 (85). С. 59-65. [Dzhapova V.V., Bembeeva O.G., Ayusheva E.Ch., Kazmin V.D., Dzhapova R.R., Abaturov B.D. Forage Selectivity of Semi-Free-Roaming Bison (*Bison bison*) in Sod-Forming Cereal Steppes in the Western Manych River Valley // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 4. P. 305-311.].
- Звягинцев Д.Г. 1978. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. № 6. С. 48-54.
- Казеев К.Ш., Вальков В.Ф., Колесников С.И. 2010. Атлас почв Юга России. Ростов н/Д: Изд-во «Эверест». 128 с.
- Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. 2016. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ. 356 с.
- Казьмин В.Д., Абатуров Б.Д., Демина О.Н., Колесников М.П. 2016. Кормовые ресурсы и питание полувольных бизонов (*Bison bison*) на степном пастбище долины западного Маныча // Зоологический журнал. Т. 95. № 2. С. 234-244.
- Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипин Н.А. 1956. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. Москва: Гос. изд-во с.-х. лит. 470 с.
- Русанов А.М. 2011. Почва как фактор восстановления растительности естественных пастбищ // Экология. № 1. С. 34-42.
- Систематический список коллекции животных Ростовского-на-Дону зоопарка. 2022 [Электронный ресурс <https://www.zoopark-rostov.ru/index.php/novosti-i-sobytiya/2-uncategorised/200-kollektsiya-zooparka> (дата обращения 14.01.2023)].
- Хазиев Ф.Х. 2018. Экологические связи ферментативной активности почв // Экобиотех. № 1(2). С. 80-92.
- Черепанов С.К. 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья. 990 с.
- Chen J., Shao C., Jiang S., Qu L., Zhao F., Dong G. 2019. Effects of changes in precipitation on energy and water balance in a Eurasian meadow steppe // Ecological processes. Т. 8. № 1. С. 1-15.
- Garcia-Franco N., Martínez-Mena M., Goberna M., Albaladejo J. 2015. Changes in soil aggregation and microbial community structure control carbon sequestration after afforestation of semiarid shrublands // Soil biology and biochemistry. Т. 87. С. 110-121.
- Hoffmann C., Funk R., Li Y., Sommer M. 2008. Effect of grazing on wind driven carbon and nitrogen ratios in the grasslands of Inner Mongolia // Catena. Т. 75. № 2. С. 182-190.
- Kazeev K., Zhadobin A., Gobarova A., Fedorenko A., Kolesnikov S. 2021. Assessment of ecological state of Rostov zoo soil // Eurasian Journal of Soil Science. Т. 10. № 2. С. 87-95.
- Levi E.M., Archer S.R., Throop H.L., Rasmussen C. 2020. Soil-litter mixing promotes decomposition and soil aggregate formation on contrasting geomorphic surfaces in a shrub-invaded Sonoran Desert grassland // Plant and Soil.



Т. 450. № 1. С. 397-415.

- Lu M., Yang M., Yang Y., Wang D., Sheng L.* 2019. Soil carbon and nutrient sequestration linking to soil aggregate in a temperate fen in Northeast China // *Ecological Indicators*. Т. 98. С. 869-878.
- Marinari S., Mancinelli R., Campiglia E., Grego S.* 2006. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy // *Ecological Indicators*. Vol. 6 (4). P. 701-711.
- Menon M., Mawodza T., Rabbani A., Blaud A., Lair G. J., Babaei M., Banwart S.* 2020. Pore system characteristics of soil aggregates and their relevance to aggregate stability // *Geoderma*. Т. 366. P. 114259.
- Parwada C., Van Tol J.* 2019. Effects of litter quality on macroaggregates reformation and soil stability in different soil horizons // *Environment, Development and Sustainability*. Т. 21. No. 3. P. 1321-1339.
- Sarker J.R., Singh B.P., Cowie A.L., Fang Y., Collins D., Badgery W., Dalal R.C.* 2018. Agricultural management practices impacted carbon and nutrient concentrations in soil aggregates, with minimal influence on aggregate stability and total carbon and nutrient stocks in contrasting soils // *Soil and Tillage Research*. Т. 178. P. 209-223.
- Steffens M., Kölbl A., Totsche K.U., Kögel-Knabner I.* 2008. Grazing effects on soil chemical and physical properties in a semiarid steppe of Inner Mongolia (PR China) // *Geoderma*. Т. 143. No. 1-2. P. 63-72.
- Wiesmeier M., Steffens M., Kölbl A., Kögel-Knabner I.* 2009. Degradation and small-scale spatial homogenization of topsoils in intensively-grazed steppes of Northern China // *Soil and Tillage Research*. Т. 104. No. 2. P. 299-310.
- Xiao L., Liu G., Li P., Li Q., Xue S.* 2020. Ecoenzymatic stoichiometry and microbial nutrient limitation during secondary succession of natural grassland on the Loess Plateau, China // *Soil and Tillage Research*. Т. 200. P. 104605.
- Yurkova N.E., Yurkov A.M., Smagin A.V.* 2009. Ecological status of soils in Moscow Zoo // *Eurasian Soil Science*. Т. 42. No. 3. P. 342-348.
- Zhadobin A.V., Kazeev K.S., Kolesnikov S.I.* 2020. Influence of ameliorants on soil respiration of volleys of the Rostov zoo // *Indian Journal of Ecology*. Т. 47. No. 4. P. 979-983.
- Zhao F.Z., Fan X.D., Ren C.J., Zhang L., Han X.H., Yang G.H., Doughty R.* 2018. Changes of the organic carbon content and stability of soil aggregates affected by soil bacterial community after afforestation // *Catena*. Т. 171. P. 622-631.
- Zhou X., Wang J., Hao Y., Wang Y.* 2010. Intermediate grazing intensities by sheep increase soil bacterial diversities in an Inner Mongolian steppe // *Biology and Fertility of Soils*. Т. 46. No. 8. P. 817-824.