ПАРАЗИТОЛОГИЯ, 2025, том 59, № 4, с. 305–316.

УДК 593.1:576.8

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ИНФУЗОРИЙ-ЭНДОБИОНТОВ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОГО ТРАКТА РАЗЛИЧНЫХ НЕПАРНОКОПЫТНЫХ ИЗ ЗООПАРКОВ

© 2025 О. А. Корнилова [a], М. Е. Белоконь [b], И. Э. Лев [c], А. В. Колбасин [c], С. В. Акулова [d], Л. В. Чистякова [b, *]

[a] Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена, наб. р. Мойки, 48, Санкт-Петербург, 191186 Россия

[b] Зоологический институт РАН, Университетская наб., 1, Санкт-Петербург, 199034 Россия

[c] Ростовский-на-Дону зоопарк, ул. Зоологическая, Ростов-на-Дону, 344039 Россия

[d] ГАУ “Московский зоопарк”, Большая Грузинская ул., 8, Москва, 123242 Россия

[*] e-mail: Ludmila.Chistyakova@zin.ru

Поступила в редакцию 25.06.2025
После доработки 09.08.2025
Принята к публикации 10.08.2025

Исследовано видовое разнообразие инфузорий-эндобионтов пищеварительного тракта белого носорога *Ceratotherium simum*, американского равнинного тапира *Tapirus terrestris* и различных представителей рода *Equus* из зоопарков Москвы, Санкт-Петербурга и Ростова-на-Дону. Проведен сравнительный анализ сообществ инфузорий-эндобионтов лошадиных из естественных и искусственных местообитаний, в том числе зоопарков и биосферных заповедников. Показано, что в зоопарках часто наблюдается снижение видового разнообразия эндобионтных инфузорий. В составе сообществ эндобионтов практически отсутствуют инфузории-бактериофаги сем. Buetschliidae, а также инфузории, специфические для отдельных видов хозяев. Предположительно, подобные изменения видового состава могут быть связаны с антимикробными обработками животных, изменениями в их рационе, а также отсутствием контактов между отдельными особями.

Ключевые слова: эндобионтные инфузории, видовое разнообразие, непарнокопытные, зоопарки

DOI: ; **EDN:**

Инфузории-эндобионты пищеварительного тракта были обнаружены у представителей различных групп растительноядных млекопитающих, в том числе парно- и непарнокопытных, хоботных, приматов и др. (Корнилова, 2004). Согласно современным

представлениям, подобные ассоциации образовались в результате длительной совместной эволюции партнеров в системе, успех их формирования во многом определялся особенностями строения пищеварительной системы, питания и образа жизни хозяина (Vd'ăcný, 2018). Современное видовое разнообразие эндобионтных инфузорий является результатом их адаптации к обитанию в пищеварительном тракте представителей различных таксономических групп позвоночных (Vd'ăcný, 2018). Видовой состав эндобионтов специфичен в пределах отдельных отрядов млекопитающих, наиболее разнообразны инфузорные сообщества, формирующиеся в кишечнике непарнокопытных и рубце жвачных (Корнилова, 2004; Vd'ăcný, 2018).

Современные представления о сообществах инфузорий-эндобионтов и различных аспектах их жизнедеятельности основаны преимущественно на результатах исследований эндобионтной фауны одомашненных видов жвачных и лошадиных (Newbold et al., 2015; Cedrola et al., 2019). Предположительно, инфузории влияют на процесс пищеварения хозяев, в этой связи исследования их сообществ у одомашненных животных имеют практическую важность. В то же время фауна эндобионтов других растительноядных млекопитающих, в том числе различных видов диких непарнокопытных, исследована фрагментарно. При этом для понимания путей формирования сообществ эндобионтных инфузорий и их трансформации под действием различных факторов безусловно важно провести сравнительный анализ видового разнообразия эндобионтов у близкородственных хозяев в природных и искусственных местообитаниях. В этой связи интерес представляют в том числе животные, которые содержатся в зоопарках и являются удобным модельным объектом для изучения влияния таких факторов, как изменение рациона и длительная изоляция хозяев, на популяции отдельных видов и сообществ эндобионтов в целом. В настоящей работе приведены результаты изучения видового разнообразия эндобионтных инфузорий в пробах фекалий различных видов непарнокопытных из Ленинградского, Московского зоопарков и зоопарка из Ростова-на-Дону. Проведен сравнительный анализ сообществ эндобионтных инфузорий различных видов лошадиных из разных местообитаний, выявлены тенденции в изменении видового состава эндобионтов при содержании хозяев в неволе.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Пробы фекалий непарнокопытных были собраны в 2011, 2023 и 2024 годах в зоопарках Москвы, Санкт-Петербурга ("Ленинградский зоопарк") и Ростова-на-Дону (табл. 1). Пробы фиксировали 10% формалином в соотношении 1 : 1 проба : формалин, хранили в темноте при комнатной температуре. Количество инфузорий в пробах подсчитывали по методу калиброванной капли. Видовую принадлежность эндобионтов определяли на основании комплекса морфологических признаков, выявленных методом световой микроскопии, с использованием следующих определителей и публикаций: Стрелков (1939), Wolska, Piechaczek (1970), Timoshenko, Imai (1995), Корнилова (2003a), Ito et al. (2008). Ядра инфузорий окрашивали 0.1% раствором метиленового зеленого в 1% уксусной кислоте. Особенности организации цилиатуры обычно хорошо выявляются с использованием контраста Номарского (дифференциального интерференционного контраста), в некоторых случаях дополнительно использовали импрегнацию сере-

бром. Светооптические исследования и микрофотографирование производили с использованием микроскопа Leica DM2500, оснащенного дифференциальным интерференционным контрастом и цифровой камерой Leica DFC495 (8.0MP).

Статистическую обработку данных производили в программе Past 4.03, уровень сходства видового состава эндобионтных инфузорий у разных хозяев оценивали с использованием индекса Брея–Кёртиса.

Таблица 1. Список проб фекалий (использованных в настоящем исследовании) различных непарнокопытных из зоопарков
Table 1. List of faeces samples from different odd-toed ungulates kept in zoos used in the present study

Год	Москва	Санкт-Петербург	Ростов-на-Дону
2011		*Equus ferus przewalskii* *Equus quagga burchelli* *Tapirus terrestris*	*Equus ferus przewalskii* *Equus hemionus*
2023	*Equus grevi* *Equus ferus przewalskii*		
2024			*Equus quagga chapmani* *Equus ferus przewalskii* *Equus hemionus* *Ceratotherium simum*

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эндобионтные инфузории африканского белого носорога *Ceratotherium simum*

В пробах фекалий африканского белого носорога *Ceratotherium simum* (Burchell, 1817) было обнаружено три вида инфузорий – *Triplumaria hamertoni* Hoare, 1937, *Triplumaria grypoclunis* Ito et al., 2008 и *Lavierella klipdrifi* Van Hoven et al., 1998 (рис. 1). Это крайне мало для данного хозяина по сравнению с африканскими носорогами из дикой природы, фауна инфузорий которых насчитывает не менее 28 родов и 40 видов, в том числе три вида из трех разных родов сукторий (Van Hoven et al., 1998). Наиболее часто встречались инфузории *L. klipdrifi* – порядка 100 клеток на 1 мл пробы, остальные два вида эндобионтов были представлены единичными экземплярами. Виды *L. klipdrifi* и *T. grypoclunis* до настоящего времени обнаружены только у белого носорога и, возможно, специфичны для данного хозяина, инфузории *T. hamertoni* были также выявлены у других видов носорогов и слонов (Корнилова, 2004; Timoshenko, Imai, 1995; Van Hoven et al., 1998; Ito et al., 2008).

Эндобионтные инфузории американского равнинного тапира *Tapirus terrestris*

В пробах фекалий равнинного тапира *Tapirus terrestris* (Linnaeus, 1758) из Ленинградского зоопарка (Санкт-Петербург) найден один вид инфузорий из сем. Buetschliidae – *Buissonella tapiri* Cunha, Muniz, 1925, специфичный для хозяев – равнинных тапиров (рис. 2А). Следует отметить, что эндобионтная фауна большинства видов тапиров на сегодняшний день практически не исследована. За все время изучения эндобионтных инфузорий млекопитающих американским тапирам были посвящены три статьи

с первоописаниями *Prototapirella intestinalis*, *Buissonella tapiri*, *Bundleia batypharyngea* (Cunha, 1918; Cunha, Muniz, 1925, 1928). В зоопарках у американских равнинных тапиров находили несколько уже известных видов инфузорий-трихостоматид: *Buissonella tapiri*, *Blepharocorys cardionucleata*, *Balantidium coli* (зоопарки Лодзи и Плоцка) и *Prototapirella intestinalis* (Ленинградский зоопарк) (Wolska, Piechaczek, 1970; Корнилова, 2006). При этом инфузории *Bl. cardionucleata* – характерные представители фауны эндобионтных инфузорий лошадиных. Систематическое положение инфузорий *Balantidium coli* несколько раз пересматривалось, в настоящее время признано валидным родовое наименование *Balantioides* Alexeieff, 1931, однако в литературе, особенно медицинской и ветеринарной, по-прежнему часто используется название *Balantidium coli* (Chistyakova et al., 2014; Ahmed et al., 2020). *B. coli* способны заражать широкий спектр позвоночных-хозяев, часто вызывая балантидиаз – протозойное заболевание, сопровождающееся диареей (Ahmed et al., 2020).

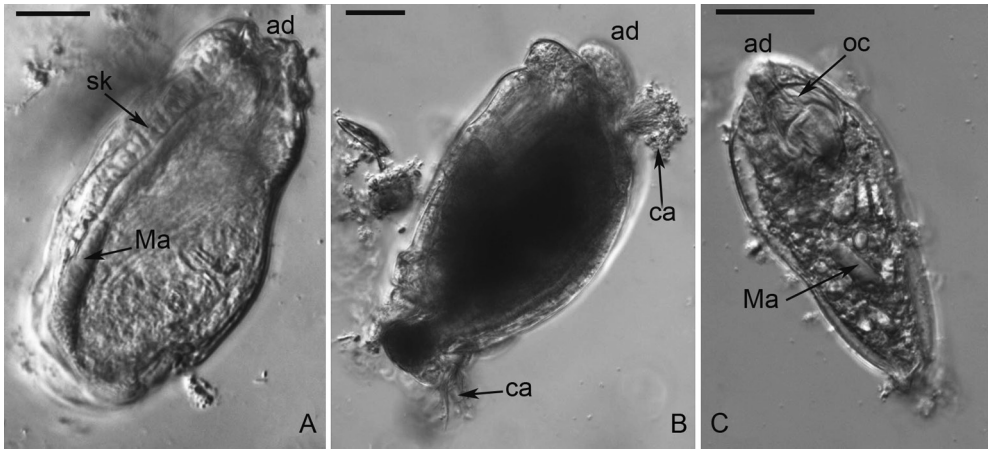

Рисунок 1. Эндобионтные инфузории из проб фекалий белого носорога:
A – *Triplumaria hamertoni*, B – *Triplumaria grypoclunis*, C – *Lavierella klipdrifi*;
ad – адоральный полюс клетки, oc – ротовая цилиатура, ca – каудалии,
sk – скелетная пластина, Ma – макронуклеус. Масштабные линейки 20 мкм.

Figure 1. Endobiotic ciliates from the faeces of the white rhinoceros: A – *Triplumaria hamertoni*, B – *Triplumaria grypoclunis*, C – *Lavierella klipdrifi*; ad – adoral pole of the cell, oc – oral ciliature, ca – caudalia, sk – skeletal plate, Ma – macronucleus. Scale bars 20 μm.

По американским горным тапирам *Tapirus pinchaque*, обитающим в дикой природе, данные об эндобионтных инфузориях отсутствуют (Trillanes-Flores et al., 2025), тогда как у содержащихся в зоопарках горных тапиров были отмечены случаи балантидиаза (Padilla et al., 2010). Инфузории *B. coli* были обнаружены также у центральноамериканских тапиров *Tapirus bairdii,* а также, возможно – у чепрачных тапиров *Tapirus indicus* из зоопарков Малайзии (Cruz-Aldan et al., 2006; Mustapa et al., 2014). Таким образом, в зоопарках наблюдалось неспецифическое заражение тапиров инфузориями-

эндобионтами пищеварительного тракта других групп хозяев, в том числе патогенными.

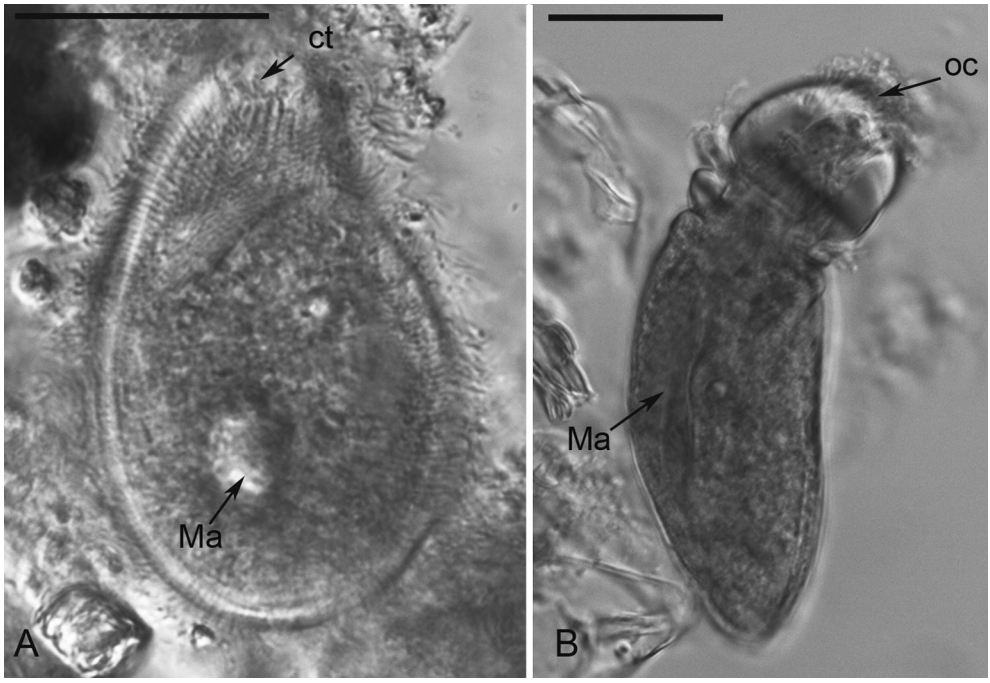

Рисунок 2. Эндобионтные инфузории из проб фекалий зебр и американского тапира: A – *Buissonella tapiri*, B – *Spirodinium nanum*; ct – цитостом, oc – ротовая цилиатура, Ma – макронуклеус. Масштабные линейки 20 мкм.

Figure 2. Endobiotic ciliates from the faeces of the zebras and the South American tapir: A – *Buissonella tapiri*, B – *Spirodinium nanum*; ct – cytostome, oc – oral ciliature, Ma – macronucleus. Scale bars 20 μm.

Эндобионтные инфузории лошадиных (сем. Equidae)

Среди непарнокопытных фауна эндобионтных инфузорий лошадиных исследована наиболее детально. В настоящее время описано более 80 видов эндобионтов, обнаруженных у различных представителей рода *Equus* (Cedrola et al., 2019). Фауна эндобионтных инфузорий у различных видов лошадиных достаточно сходна, для подавляющего большинства эндобионтов не была отмечена специфичность по отношению к хозяевам. Только несколько видов инфузорий, обнаруженных в природных местообитаниях у зебр и куланов, не встречались у других видов лошадиных и, возможно, специфичны (Корнилова, 2003б; Kornilova et al., 2024).

Общее число видов инфузорий, найденных в пробах из фекалий различных представителей рода *Equus* из разных зоопарков – 37, в том числе одна суктория. Список диагностированных видов представлен в табл. 2. Количество инфузорий отдельных видов составляло не более 10–100 клеток на 1 мл фиксированной пробы.

Таблица 2. Виды эндобионтных инфузорий, обнаруженные в пробах фекалий различных представителей рода *Equus* в зоопарках

Table 2. Endobiotic ciliates from the faeces of different equids kept in zoos

№	Семейство/род/вид	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	Buetschliidae Poche, 1913											
1	*Alloiozona trizona* Hsiung, 1930									+		
2	*Prorodonopsis coli* Gassovsky, 1919				+							
3	*Hemiprorodon gymnoposthium* Strelkow, 1939											
4	*Holophryoides macrotricha* Strelkow, 1939	+		+								
5	*Polymorphella ampulla* (Dogiel, 1929)			+	+	+						
6	*Blepharoprosthium polytrichum* Strelkow,1939						+					
7	*Bundleia postciliata* (Bundle, 1895)	+		+	+					+		
8	*Bundleia nana* Strelkow, 1939	+		+						+		
9	*Bundleia elongata* Strelkow, 1939								+			
10	*Bundleia benbrooki* Hsiung, 1930							+				
11	*Bundleia inflata* Strelkow, 1939	+		+		+			+			
12	*Bundleia piriformis* Strelkow, 1939		+			+		+				
13	*Bundleia dolichosoma* Strelkow, 1939	+										
	Paraisotrichidae da Cunha, 1917											
14	*Paraisotricha minuta* Hsiung, 1930				+							
15	*Paraisotricha colpoidea* Fiorentini, 1890				+							
	Blepharocorythidae Hsiung, 1929											
16	*Blepharocorys jubata* Bundle, 1895											+
17	*Blepharocorys curvigula* Gassovsky, 1919	+	+	+	+				+	+	+	+
18	*Blepharocorys cardionucleata* Hsiung, 1930								+			
19	*Blepharocorys angusta* Gassovsky, 1919	+	+			+			+	+	+	+
20	*Blepharocorys microcorys* Gassovsky, 1919	+				+			+	+	+	
21	*Blepharocorys valvata* (Fiorentini, 1890)										+	
22	*Circodinium minimum* (Gassovsky, 1919)				+	+			+	+	+	
23	*Ochoterenaia appendiculata* Chavarria, 1933					+						
	Cycloposthiidae Poche, 1913											
24	*Cycloposthium bipalmatum* (Fiorentini, 1890)	+			+		+	+	+	+		
25	*Cycloposthium edentatum* Strelkow, 1928	+			+	+	+	+	+	+	+	+
26	*Tripalmaria dogieli* Gassovsky, 1919	+				+					+	
	Spirodiniidae Strelkow, 1939											
27	*Ditoxum funinucleum* Gassovsky, 1919				+	+				+		
28	*Ditoxum brevinucleatum* Strelkow, 1931	+									+	

29	*Triadinium caudatum* Fiorentini, 1890	+			+	+			+	+		
30	*Triadinium magnum* Hsiung, 1935										+	
31	*Gassovskiella galea* (Gassovsky, 1919)	+										
32	*Tetratoxum parvum* Hsiung, 1930	+		+					+	+	+	
33	*Tetratoxum unifasciculatum* Fiorentini, 1890				+	+			+	+		
34	*Spirodinium nanum* Strelkow, 1931	+		+								
35	*Spirodinium equi* Fiorentini, 1890									+	+	
36	*Spirodinium confusum* Hsiung, 1935		+		+					+	+	
	Allantosomatidae Jankowski, 1967											
37	*Allantosoma intestinale* Gassovsky, 1919			+		+					+	+
	Total	16										
			4	10	13	13	3	4	12	15	13	5

Примечания. A – *Equus quagga chapmani*, зоопарк Ростова-на-Дону, 2024; B – *E. q. burchellii*, Ленинградский зоопарк, 2011; C – *Equus grevyi*, Московский зоопарк, 2023; D–I – различные особи *Equus ferus przewalskii* (D, E – Московский зоопарк, 2023; F, G – Ленинградский зоопарк, 2011; H (2011), I (2024) – зоопарк Ростова-на-Дону); J (2024), K (2011) – *Equus hemionus*, зоопарк Ростова-на-Дону.

Видовое разнообразие эндобионтных инфузорий у лошадиных из зоопарков во многих случаях оказывалось ниже, чем у тех же хозяев из природных местообитаний. Для сравнения, у зебр *E. quagga burchelli* из ЮАР и *E. quagga boehmi* из Кении было обнаружено 19 и 16 видов эндобионтов, соответственно (Strelkow, 1931; Kornilova et al., 2021), тогда как, например, у бурчелловой зебры из Ленинградского зоопарка (Санкт-Петербург) диагностировано только 4 вида инфузорий. У куланов *Equus hemionus* наибольшее число видов инфузорий – 54 – было выявлено у свободноживущих животных в заповеднике Барсакельмес (Казахстан) (Корнилова, 2003б), тогда как в зоопарке эндобионтная фауна куланов значительно беднее.

В составе всех инфузорных сообществ у непарнокопытных из зоопарков крайне немногочисленны оказались представители сем. Buetschliidae, которые, как правило, достаточно разнообразны у этих хозяев. Бючлиды – преимущественно бактериофаги, и их элиминацию можно, предположительно, объяснить периодическими флуктуациями в составе и численности микрофлоры кишечника вследствие антимикробных обработок животных в зоопарках. Редкими оказались и эндобионтные суктории – представители сем. Allantosomatidae. Единственный вид *A. intestinale* был обнаружен только у зебр Греви *Equus grevyi* и одной из лошадей Пржевальского *Equus ferus przewalskii* из Московского зоопарка, а также у куланов из зоопарка Ростова-на-Дону.

В пробах фекалий зебр из зоопарков нам не удалось обнаружить большинство специфичных видов эндобионтов. При изучении фауны эндобионтных инфузорий *E. quagga boehmi* из Кении Стрелков описал пять видов – *Trifascicularia cycloposthium*, *Ditoxum hamulus*, *Spirodinium ferrumequinum*, *Triadinium elongatum*, *Spirodinium nanum*,

которые, по его мнению, были специфичны для данного хозяина и в своем происхождении связаны с Африканским континентом (Strelkow, 1931). Спустя 50 лет эти же виды инфузорий, за исключением *S. ferrumequinum*, были обнаружены у *E. quagga burchellii* из ЮАР (Kornilova et al., 2021). В исследованных нами пробах был обнаружен только вид *S. nanum* (рис. 2В). Нужно отметить, что сходная ситуация наблюдалась и при исследованиях эндобионтной фауны зебр из других зоопарков и биосферных заповедников. Довольно часто встречался только один вид – *S. nanum*, виды *T. cycloposthium* и *D. hamulus* были обнаружены лишь однажды, в зоопарках Калининграда и стамбульского зоопарка "Darica Zoo", соответственно (Gürelli, 2023). Сходную ситуацию можно наблюдать и для куланов – виды, специфичные для данного хозяина, были встречены только у куланов из заповедника Барсакельмес (Корнилова, 2003б). Мы предполагаем, что подобное явление может быть обусловлено в том числе изменениями в рационе непарнокопытных при содержании их в неволе. Виды инфузорий, специфичные для лошади Пржевальского, в настоящее время неизвестны. При этом все современные лошади Пржевальского являются потомками 11 диких лошадей *E. ferus przewalskii* и одной домашней лошади *E. caballus*, содержатся почти исключительно в биосферных заповедниках и зоопарках и их рацион существенно отличается от рациона их предков, обитавших в лесостепях, степях и полупустынях Европы и Азии (Климов, 2018). В связи с этим можно предположить, что современная фауна эндобионтных инфузорий у данного хозяина формировалась фактически de novo, и эти инфузории были получены в том числе от других лошадиных, в первую очередь домашних лошадей. При этом виды эндобионтов, специфичные для лошади Пржевальского, могли быть утрачены.

Статистический анализ полученных данных не позволил выявить однозначную зависимость видового состава эндобионтных инфузорий от систематического положения и местообитания хозяев (рис. 3). Различия в видовом составе эндобионтов у хозяев из разных зоопарков не удивительны, если принять во внимание возможность случайной утраты тех или иных видов инфузорий при длительном изолированном содержании животных. Кроме того, при совместном содержании хозяев разных видов существует вероятность обмена между ними эндобионтами посредством копрофагии и, соответственно, появления в составе инфузорных сообществ новых видов.

Таким образом, можно заключить, что у непарнокопытных в зоопарках мы наблюдали уменьшение видового разнообразия эндобионтных инфузорий. В составе сообществ эндобионтов снижалось количество видов-бактериофагов, а также практически отсутствовали инфузории, специфичные для определенного хозяина. Сходные изменения в структуре сообществ эндобионтных инфузорий у животных в зоопарках ранее были описаны для разных видов зебр и черных носорогов (Kornilova et al., 2023, 2024). В условиях изолированного содержания животных подобная тенденция может привести к полному исчезновению эндобионтов, как это наблюдалось в неволе у представителей другого отряда млекопитающих – приматов (Irbis et al., 2008; Modry et al., 2009).

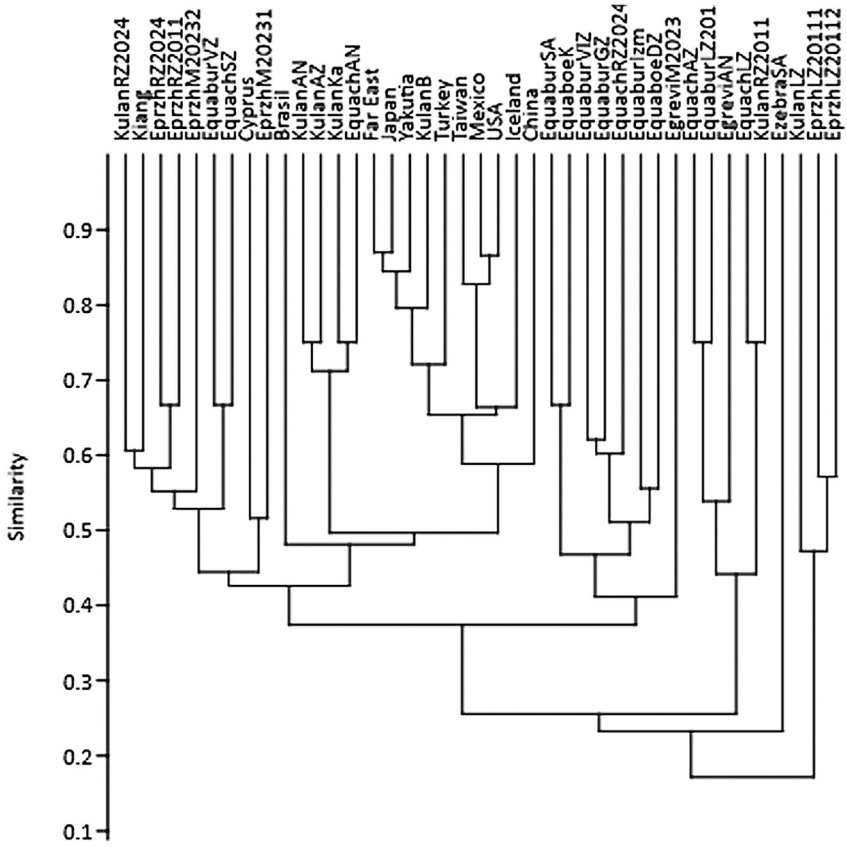

Рисунок 3. Дендрограмма, полученная по результатам кластерного анализа видового состава сообществ инфузорий-эндобионтов различных представителей рода *Equus* из разных географических регионов, с использованием коэффицента Брея–Кёртиса.
China, Far East, Yakutia, Japan, Turkey, Taiwan, Mexico, Cyprus, Brazil, USA, Iceland – домашние лошади из разных географических регионов (Kornilova et al., 2019).
Equabur – *Equus quagga burchelli*, Equaboe – *E. quagga boehmi*, Equach – *E. quagga chapmani*, *Eprzh* – *E. ferus przewalskii*, SA – ЮАР, B – Барсакельмес, AN – Аскания-Нова, K – Кения, Ka – Казахстан, AZ – зоопарк Алма-Аты, LZ – Ленинградский зоопарк, RZ – зоопарк Ростова-на-Дону, VZ – зоопарк Вены, VlZ – зоопарк Владивостока, GZ – зоопарк “Gaziantep Zoo”, Турция, Izm – национальный парк “Sasalı”, Турция, DZ – зоопарк “Darica Zoo”, Турция, SZ – зоопарк Старого Оскола, M – Московский зоопарк (Kornilova et al., 2019, 2024, настоящее исследование).

Figure 3. Dendrogram obtained from the results of cluster analysis of the species composition of communities of ciliates-endobionts of various representatives of the genus Equus from different geographical regions, using the Bray–Curtis coefficient.
China, Far East, Yakutia, Japan, Turkey, Taiwan, Mexico, Cyprus, Brazil, USA, Iceland – domestic horses from different geographical regions (Kornilova et al., 2019).
Equabur – Equus quagga burchelli, Equaboe – E. quagga boehmi, Equach – E. quagga chapmani, Eprzh – E. ferus przewalskii, SA – South Africa, B – Barsakelmes, AN – Askania-Nova, K – Kenya, Ka – Kazakhstan, AZ – Alma-Ata Zoo, LZ – Leningrad Zoo, RZ – Rostov-on-Don Zoo, VZ – Vienna Zoo, VlZ – Vladivostok Zoo, GZ – Gaziantep Zoo, Izm – İzmir Natural Life Park, Turkey, DZ – Darıca Faruk Yalçın Zoo, Turkey, SZ – Stary Oskol Zoo, M – Moscow Zoo (Kornilova et al., 2019, 2024, present paper).

Имеющиеся в настоящее время представления об особенностях взаимодействий эндобионтных инфузорий и их хозяев противоречивы и основаны преимущественно на данных, полученных при изучении микробиомов рубца жвачных. С одной стороны, известно, что в некоторых случаях полная дефаунизация хозяина не оказывала существенного влияния на его жизнеспособность (Eugène et al., 2004). При этом подавляющее большинство инфузорий-эндобионтов способно к бактериофагии, и по крайней мере у некоторых эндобионтов были обнаружены ферменты, активные в отношении широкого спектра растительных углеводов, в том числе полисахаридов клеточной стенки (Feng et al., 2019; Li et al., 2022). Таким образом, эндобионты, очевидно, влияют на переваривание хозяином растительной пищи как косвенно – определяя состав бактериальной микрофлоры пищеварительного тракта, так и напрямую – принимая участие в расщеплении растительных волокон (Andersen et al., 2023). Можно предполагать, что богатая инфузорная фауна, в том числе и у непарнокопытных, играет определенную роль в оптимизации процессов пищеварения и поддержании жизнеспособности хозяина.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 23–24–00240 и темы государственного задания 125012800903–5 (Зоологический институт РАН).

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных, соответствующих критериям Директивы 2010/63/EU.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Климов В.В. 2018. Лошадь Пржевальского: последняя дикая лошадь на планете. М., Ленанд, 320 с. [Klimov V.V. 2018. Przewalski's Horse: the last wild horse on the planet. M., Lenand, 320 pp. (in Russian)].

Корнилова О.А. 2003а. Определитель инфузорий кишечника лошадиных. Омск, Полиграфист, 38 с. [Kornilova O.A. 2003. The key to the identification of the ciliates from the gut of equines. Omsk, Poligrafist, 38 pp. (in Russian)].

Корнилова О.А. 2003б. Фауна инфузорий кишечника кулана. СПб., ТЕССА, 216с. [Kornilova O.A. 2003b. The fauna of ciliates from the intestine of Asiatic wild ass (kulan). SPb., TESSA, 216 pp. (in Russian)].

Корнилова О.А. 2004. История изучения эндобионтных инфузорий млекопитающих. СПб., ТЕССА, 352 с. [Kornilova O.A. 2004. History of study of endobiotic ciliates of mammalia. St.-Petersburg, TESSA, 352 pp. (in Russian)].

Корнилова О.А. 2006. Эндобионтные инфузории млекопитающих. В сб.: Функциональная морфология, экология и жизненные циклы животных. Научные труды кафедры зоологии РГПУ им. А. И. Герцена, СПб., ТЕССА, 6: 21–78. [Kornilova O.A. 2006. The key to identification of the ciliates from the gut of mammals**.** In: Functional morphology, ecology and life cycles of animals. Scientific proceedings of the Department of Zoology of A.I. Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, TESSA, 6: 21–78. (in Russian)].

Стрелков А.А. 1939. Паразитические инфузории из кишечника непарнокопытных семейства Equidae. Уч. зап. ЛГПИ им. А. И. Герцена 17 (7): 1–262. [Strelkow A.A. 1939. Parasitical Infusoria from the intestine

of Ungulata belongs to the family Equidae. Uchenye Zapiski, Leningradskiy Pedagogicheskiy Institut im. Gertsena 17 (7): 1–262. (in Russian)].

Ahmed A., Ijaz M., Ayyub R.M., Ghaffar A., Ghauri H.N., Aziz M.U., Ali S., Altaf M., Awais M., Naveed M., Nawab Y., Javed M.U. 2020. *Balantidium coli* in domestic animals: An emerging protozoan pathogen of zoonotic significance. Acta Tropica 203: 105298. https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2019.105298

Andersen T.O., Altshuler I., Vera-Ponce de León A., Walter J.M., McGovern E., Keogh K., Martin C., Bernard L., Morgavi D.P., Park T., Li Z., Jiang Y., Firkins J.L., Yu Z., Hvidsten T.R., Waters S.M., Popova M., Arntzen M. Ø., Hagen L.H., Pope P.P. 2023. Metabolic influence of core ciliates within the rumen microbiome. ISME J 17: 1128–1140. https://doi.org/10.1038/s41396-023-01407-y

Chistyakova L.V., Kostygov A.Y., Kornilova O.A., Yurchenko V. 2014. Reisolation and redescription of *Balantidium duodeni* Stein, 1867 (Litostomatea, Trichostomatia). Parasitology Research 113: 4207–4215. https://doi.org/10.1007/s00436-014-4096-1

Cedrola F., Bordim S., D'Agosto M., Dias R.J.P. 2019. Intestinal ciliates (Alveolata, Ciliophora) in Brazilian domestic horses (*Equus caballus* L.) and a review on the ciliate communities associated with horses around the world. Zootaxa 4585 (3): 478–488. https://doi.org/10.11646/zootaxa.4585.3.4

Cruz-Aldan E., Lira-Torres I., Guiris-Andrade D.M., Osorio-Sabaria D., Quintero M.T. 2006. Parasitos del tapir centro Americano *Tapirus bairdii* (Perissodactyla: Tapiridae) en Chipias, Mexico. Revista de biologia tropical 54 (2): 445–450. http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v54i2.14109

Cunha A.M. 1918. Sobre os ciliados intestinaes dos mammiferos. Brazil Medico 32: 16.

Cunha A.M., Muniz J. 1925. Contribuicao para o conhecimento dos ciliados parasitas dos mammiferos do Brasil. Sci. Med. 3 (12): 732–745.

Cunha A.M., Muniz J. 1928. Nouveau cilie parasite du coecum du *Tapirus americanus*. Description d' un nouveau genre. Comptes rendus des séances de la Société de biologie et de ses filiales 98: 631–632.

Feng J.-M., Jiang C.-Q, Sun Z.-Y., Hua C.-J., Wen J.-F., Miao W., Xiong J. 2019. Single-cell transcriptome sequencing of rumen ciliates provides insight into their molecular adaptations to the anaerobic and carbohydrate-rich rumen microenvironment. Molecular Phylogenetics and Evolution 106687. https://doi.org/10.1016/j.ympev.2019.106687

Gürelli G. 2023. Intestinal Ciliates of Plains Zebra (*Equus quagga* Gmelin, 1788) in Turkey. Zootaxa 5239 (1): 79–90. https://doi.org/10.11646/zootaxa.5239.1.3

Eugène M., Archimède H., Sauvant D. 2004. Quantitative meta-analysis on the effects of defaunation of the rumen on growth, intake and digestion in ruminants. Livestock Production Science 85 (1): 81–97. https://doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00117-9

Irbis C., Garriga R., Kabasawa A., Ushida K. 2008. Phylogenetic analysis of *Troglodytella abrassarti* isolated from chimpanzees (pan troglodytes verus) in the wild and in captivity. Journal of General and Applied Microbiology 54: 409–413. https://doi.org/10.2323/jgam.54.409

Ito A., Van Hoven W., Miyazaki Y., Imai S. 2008. Two new entodiniomorphid *Triplumaria* ciliates from the intestine of the wild African white rhinoceros. European Journal of Protistology 44: 149–158. https://doi.org/10.1016/j.ejop.2007.11.003

Kornilova O.A., Chistyakova L.V., Kamyshatskaya O.G. 2019. Report on ciliates from

the hindgut of horses in Iceland. Amurian Zoolical Journal 11 (4): 375–383. https://doi.org/10.33910/2686-9519-2019-11-4-375-383

Kornilova O.A., Radaev A.V., Chistyakova L.V. 2021. Intestinal ciliates (Ciliophora) from the wild plains zebra (*Equus quagga*) in South Africa, with notes on the microtubule cytoskeleton organization. European Journal of Protistology 81: 125842. https://doi.org/10.1016/j.ejop.2021.125842

Kornilova O., Skazina M., Belokon M., Alekseeva O., Chistyakova L. 2023. Ciliates from the intestine of zoo-kept black rhinoceros, with immunofluorescence microscopic and molecular phylogenetic investigation of *Rhinozeta rhinozeta* (Litostomatea). European Journal of Protistology 90:126006. https://doi.org/10.1016/j.ejop.2023.126006

Kornilova O., Alekseeva O., Skazina M., Belokon M., Chistyakova L. 2024. Ciliates from faeces of zebras *Equus quagga* from different zoos: species composition and intraspecies diversity. Protistology 18 (2): 161–172. https://doi.org/10.21685/1680-0826-2024-18-2-6

Li Z., Wang, X., Zhang, Y., Yu, Z., Zhang, T., Dai, X., Pan X., Jing R., Yan Y., Liu Y., Gao S., Li F., Huang Y., Tian J., Yao J., Xing X., Shi T., Ning J., Yao B., Huang H., Jiang Y. 2022. Genomic insights into the phylogeny and biomass-degrading enzymes of rumen ciliates. ISME J. 16 (12): 2775–2787. https://doi.org/10.1038/s41396-022-01306-8

Modrý D. Petrželková K.J., Pomajbíková K., Tokiwa T., Křížek J., Imai S., Vallo P., Profousová I., Šlapeta I.l. 2009. The occurrence and ape-to-ape transmission of the entodiniomorphid ciliate *Troglodytella abrassarti* in captive gorillas. Journal of Eukaryotic Microbiology 56 (1): 83–87. https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.2008.00369.x

Mustapa M.S., Ismail A., Rahman F., Ramli M.N.H. 2014. Preliminary study on the occurrence of intestinal parasites in Malayan tapir (*Tapirus indicus*) in Zoo Negara, Malaysia. Journal of Tropical Biology and Conservation 11: 97–101.

Newbold C.J, de la Fuente G., Belanche A., Ramos-Morales E., McEwan N.R. 2015. The role of ciliate protozoa in the rumen. Frontiers in Microbiology 6: 1313. https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01313

Padilla M., Dowler R.C., Downer C.C. 2010. *Tapirus pinchaque* (Perissodactyla: Tapiridae). Mammalian Species 42 (863):166–182. https://doi.org/10.1644/863.1

Strelkow A. 1931. Über die Fauna des Colons beim Zebra. Zoologischer Anzeiger 94: 37–54.

Timoshenko O., Imai S. 1995. Eleven new ciliate species of the genus *Triplumaria* (Ciliophora, Entodiniomorphida) from Asian elephant, *Elephas maximus*, and African elephant, *Loxodonta Africana.* Journal of Protozoology 5 (4): 157–175. https://doi.org/10.32268/jprotozoolres.5.4_157

Trillanes-Flores C.E., Naranjo E.J., Ramírez-Marcial N., Pérez-Jiménez J.C., Perera-Marín J.G., Rojas-Maya S., Chávez C. 2025. What do we know about the epidemiology of infectious diseases and parasites of free-ranging Neotropical ungulates? Needs and priorities. Animal Health Research Reviews 1–11. https://doi.org/10.1017/S1466252325000040

Wolska M., Piechaczek H. 1970. Some intestinal ciliates from American tapir (*Tapirus terrestris* L.). Acta Protozoologica 7 (11/12): 221–227.

Van Hoven W., Gilchrist E.M.C., Stenson M.O. 1998. Six new ciliated protozoan species of Trichostomatida, Entodiniomorphida and Suctorida from the intestine of wild African rhinoceroses. Acta Protozoologica 37: 113–124.

Vd'ačný P. 2018. Evolutionary associations of endosymbiotic ciliates shed light on the timing of the marsupial–placental split. Molecular Biology and Evolution 35 (7): 1757–1769. https://doi.org/10.1093/molbev/msy071

SPECIES DIVERSITY OF ENDOBIOTIC CILIATES IN THE DIGESTIVE TRACT OF VARIOUS ODD-TOED UNGULATES FROM ZOOS

O. A. Kornilova, M. E. Belokon, I. E. Lev, A. V. Kolbasin, S. V. Akulova, L. V. Chistyakova

Keywords: endobiotic ciliates, species diversity, odd-toed ungulates, zoos

SUMMARY

The species diversity of ciliates, endobionts of the digestive tract of the white rhinoceros *Ceratotherium simum*, the South American tapir *Tapirus terrestris* and various equines from zoos in Moscow, St. Petersburg and Rostov-on-Don, was studied. A comparative analysis of communities of ciliates – endobionts of equines from natural and artificial habitats, including zoos and biosphere reserves, was carried out. It has been shown that in zoos a decrease in the species diversity of endobiotic ciliates is often observed. The communities are practically devoid of bacteriophagous ciliates – representatives of the Buetschliidae family, as well as ciliates specific to individual host species. Presumably, such changes in species composition may be associated with antimicrobial treatments of animals, changes in their diet, and the lack of contact between individuals.