

УДК 593.1: 576.8

ФАУНА ЭНДОБИОНТНЫХ ИНФУЗОРИЙ РУБЦА ОЛЕНЕЙ *CERVUS ELAPHUS LINNAEUS, 1758*

© 2023 г. О. А. Корнилова^а, А. В. Радаев^б,
И. В. Серёдкин^с, Л. В. Чистякова^{д, *}

^а Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,
наб. р. Мойки, д. 48, Санкт-Петербург, 191186 Россия

^б Санкт-Петербургский государственный университет,
Университетская наб. 7–9, Санкт-Петербург, 199034 Россия

^с Тихоокеанский институт географии ДВО РАН,
ул. Радио, 7, Владивосток, 690041 Россия

^д Зоологический институт РАН, Университетская наб., 1, Санкт-Петербург, 199034 Россия

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

Поступила в редакцию 31.10.2022 г.

После доработки 19.12.2022 г.

Принята к публикации 21.12.2022 г.

Впервые исследована фауна инфузорий-эндобионтов рубца изюбря *Cervus elaphus xanthopigus* и марала *Cervus elaphus sibiricus* на территории Азии. Всего обнаружено 14 видов и 5 форм инфузорий, относящихся к пяти родам семейств Ophryoscolecidae и Isotrichidae. Видовой состав эндобионтных инфузорий у всех исследованных изюбрей и марала оказался сходен в значительной степени. В большинстве проб обнаружен *Entodinium wapiti*, ранее считавшийся специфичным для североамериканского оленя-вапити *Cervus canadensis*. Обсуждается влияние различных факторов на формирование определенной структуры сообществ инфузорий-эндобионтов рубца благородного оленя *Cervus elaphus*.

Ключевые слова: эндобионтные инфузории, *Cervus elaphus*, Ophryoscolecidae, Isotrichidae

DOI: 10.31857/S0031184723010052; **EDN:** FJPECC

Эндобионтные инфузории – один из компонентов сложной экосистемы, формирующейся в рубце жвачных (Newbold et al., 2015). Как важная составная часть микробиома рубца, инфузории принимают участие в процессах пищеварения хозяина, в т.ч. в процессах расщепления растительных волокон. Фауна инфузорий-эндобионтов рубца крупного рогатого скота и других одомашненных видов жвачных исследована достаточно детально, значительное количество публикаций посвящено изучению видовой

разнообразия инфузорий, их взаимодействий с различными группами микроорганизмов, населяющих рубец, биохимии рубца, в первую очередь процессов метаногенеза (Корнилова, 2004а; Hall, 2011; Denton et al., 2015; Tapio et al., 2017; Park, Yu, 2018). Однако эндобионтные инфузории из пищеварительного тракта диких видов жвачных изучены далеко не так подробно. Как правило, имеются единичные публикации о видовом разнообразии эндобионтов рубца того или иного вида хозяина, для ряда видов жвачных данные отсутствуют вовсе. В то же время изучение сообществ инфузорий из рубца жвачных, различающихся особенностями биологии и экологии (например, по пищевому рациону, уровню стадности и др.), представляет несомненный интерес. Результаты подобных исследований позволяют оценить влияние различных факторов на формирование сообществ эндобионтов, выявить различия в видовой структуре таких сообществ между отдельными популяциями и видами животных-хозяев, определить уровень специфичности взаимодействий партнеров в симбиотической ассоциации. В настоящей работе впервые была исследована фауна эндобионтных инфузорий подвидов благородного оленя *Cervus elaphus* на территории Азии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проведено на материале инфузорий из рубца благородного оленя – подвида изюбрь *Cervus elaphus xanthopygus* Milne-Edwards, 1867 (Тернейский и Ольгинский районы, Приморский край) и подвида марал *C. e. sibiricus* Severtzov, 1873 (Ондугайский район, Республика Алтай) (табл. 1).

Сбор материала проводили в разные сезоны года с 2015 по 2021 гг. Содержимое рубца объемом 30 мл отбирали в его заднем отделе (на удалении от сообщения с пищеводом и сеткой) у внутренней стенки с помощью стерильных скальпеля и пинцета и помещали в стерильную пробирку объемом 100 мл. Пробы фиксировали в 7%-ном растворе формалина в соотношении 2:1 раствора к содержимому рубца, до фиксации образцы хранили при температуре +4°C.

Светомикроскопические исследования и микрофотографирование проводили с использованием микроскопов МБИ-11 (ЛЮМО, Россия), Альтами-Инверт-3 (Альтами, Россия) с фотонасадкой и Leica DM2500 (Leica-Microsystems, Germany), оснащённого дифференциальным интерференционным контрастом и цифровой камерой Leica DFC495 (8.0MP).

При изучении морфологии клетки для выявления макронуклеуса использовали 0.1% раствор метилового зелёного в 1% растворе уксусной кислоты. Численность инфузорий в 1 мл содержимого рубца определяли методом «калиброванной капли» (Корнилова, 2004б). Для определения видовой принадлежности инфузорий использовали работы Догеля (1929), Williams, Coleman (1992), Dehority (1993) и Корниловой (2010).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.

В пробах содержимого рубца благородных оленей в общей сложности нами было выявлено 14 видов и 5 форм инфузорий, относящихся к пяти родам семейств Ophryoscolecidae и Isotrichidae (табл. 2; рис. 1, 2). Общая численность инфузорий в 1 мл содержимого рубца составила от 122 290 у изюбря № 3 до 420 380 у изюбря № 4. Во всех без исключения пробах обнаружены виды *Epidinium caudatum* и

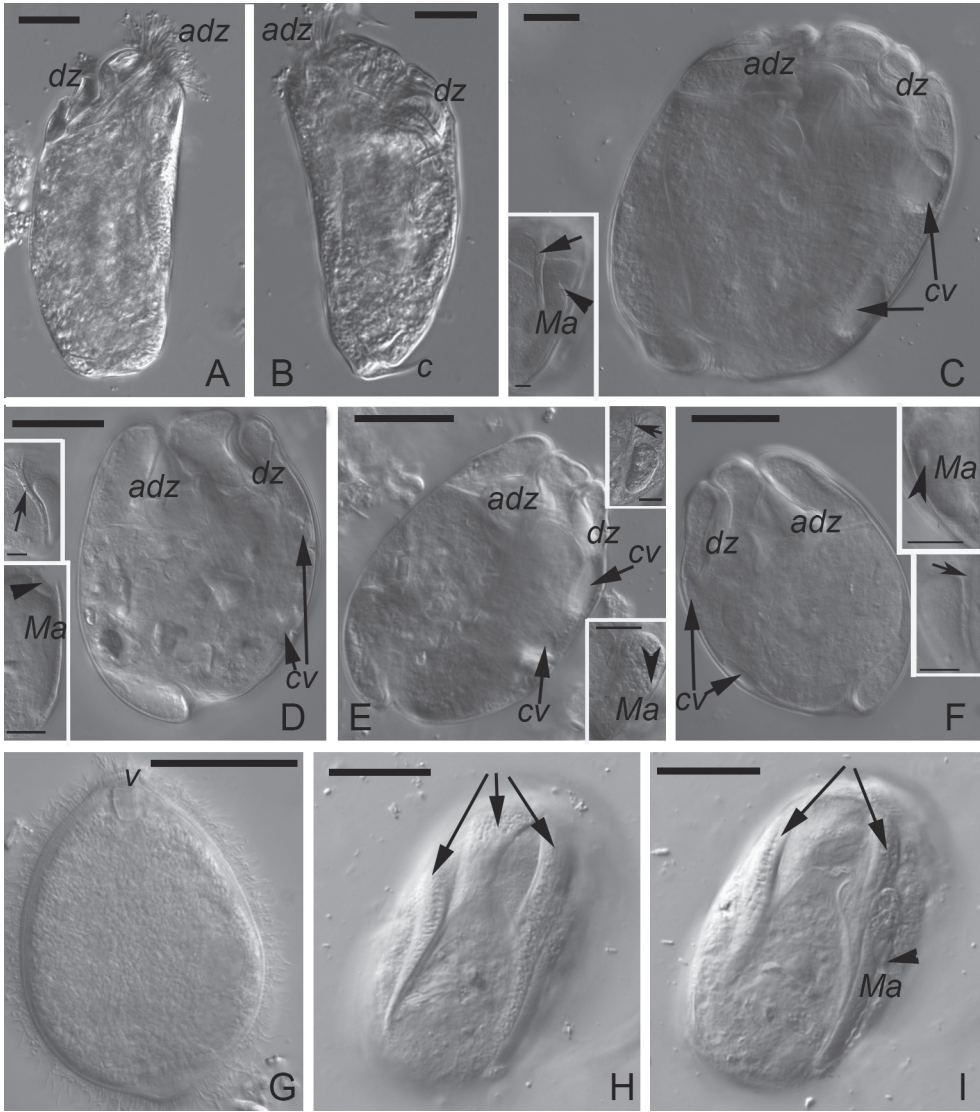


Рисунок 1. Эндобионтные инфузории из рубца благородного оленя *Cervus elaphus*: A – *Epidinium ecaudatum*; B – *E. caudatum*; C – *Eudiplodinium maggii*; D – *E. neglectum f. impalae*; E – *E. neglectum f. bovis*; F – *E. neglectum f. spectabile*; G – *Dasytricha ruminantium*; H, I – *Enoploplastron triloricaum*. dz – дорсальная зона мембранелл, adz – адоральная зона мембранелл, c – каудальный вырост, cv – сократительная вакуоль, Ma – макронуклеус, наконечник стрелки – микронуклеус, стрелка – скелетная пластина. Световая микроскопия, DIC. Масштабная линейка 20 мкм, на врезках – 10 мкм.

Figure 1. Endobiotic ciliates from the rumen of the red deer *Cervus elaphus*: A – *Epidinium ecaudatum*; B – *E. caudatum*; C – *Eudiplodinium maggii*; D – *E. neglectum f. impalae*; E – *E. neglectum f. bovis*; F – *E. neglectum f. spectabile*; G – *Dasytricha ruminantium*; H, I – *Enoploplastron triloricaum*. dz – dorsal zone of membranelles, adz – adoral zone of membranelles, c – caudal spine, cv – contractile vacuole, Ma – macronucleus, arrowhead – micronucleus, arrow – skeletal plate. Light microscopy, DIC. Scale bar 20 μm, inserts – 10 μm.

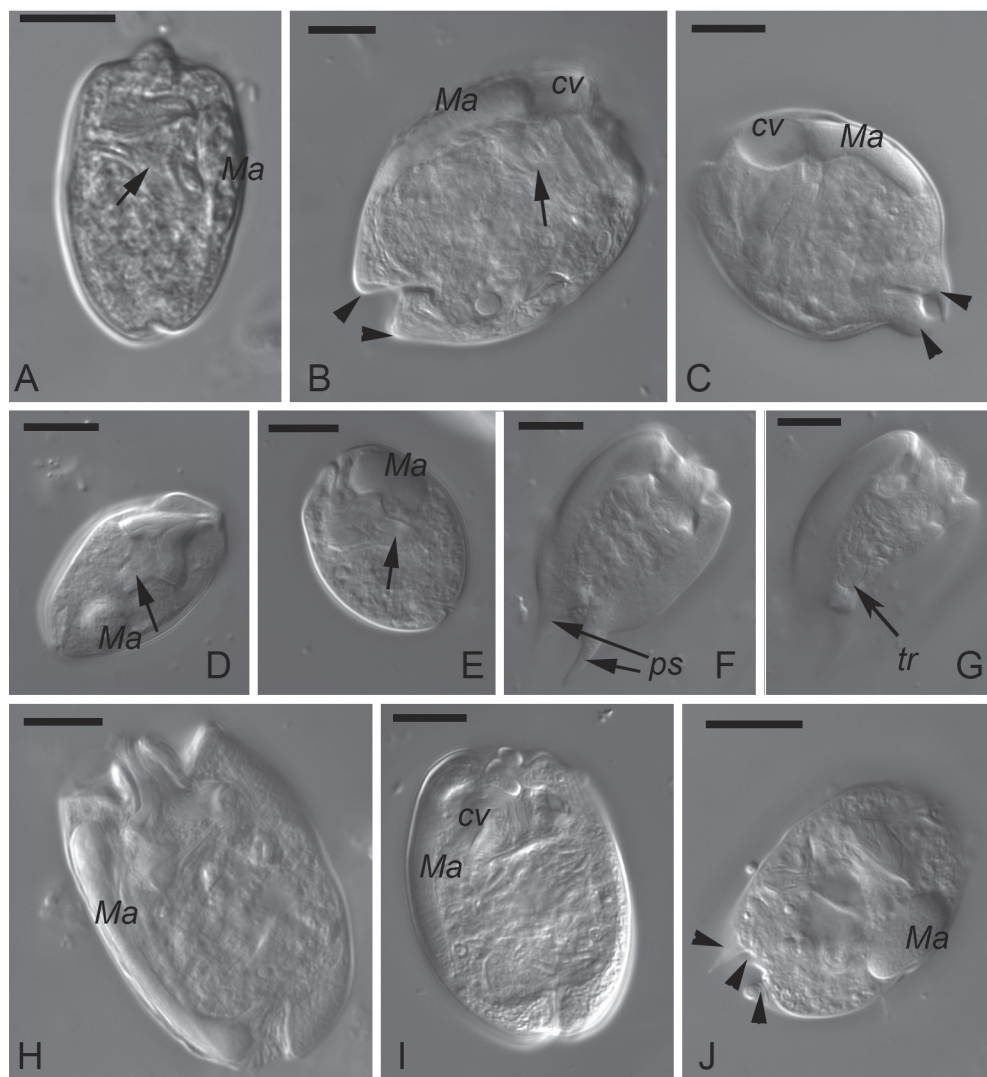


Рисунок 2. Инфузории рода *Entodinium* из рубца благородного оленя *Cervus elaphus*: A – *Entodinium simplex*; B – *E. furca f. dilobum*; C – *E. furca f. furca*; D – *E. exiguum*; E – *E. nanellum*; F, G – *E. wapiti*; H – *E. longinucleatum*; I – *E. dubardi*; J – *E. caudatum*. *Ma* – макронуклеус, *cv* – сократительная вакуоль, *tr* – треугольный вырост на поверхности клетки, *ps* – заостренные выступы на заднем конце клетки, стрелка – цитофаринкс, наконечник стрелки – выступы на заднем конце клетки. Световая микроскопия, DIC. Масштабная линейка 10 мкм.

Figure 2. *Entodinium* ciliates from the rumen of the red deer *Cervus elaphus*: A – *Entodinium simplex*; B – *E. furca f. dilobum*; C – *E. furca f. furca*; D – *E. exiguum*; E – *E. nanellum*; F, G – *E. wapiti*; H – *E. longinucleatum*; I – *E. dubardi*; J – *E. caudatum*. *Ma* – macronucleus, *cv* – contractile vacuole, *tr* – triangular rib on the cell surface, *ps* – posterior spines, arrow – cytopharynx, arrowhead – posterior lobes. Light microscopy, DIC. Scale bar 10 μm .

Таблица 1. Условия отбора проб содержимого рубца изюбрей *C. elaphus xanthopygus* Milne-Edwards, 1867 из Приморского края (пробы 1–10) и марала *C. elaphus sibiricus* Severtzov, 1873 из Республики Алтай (проба 11)

Table 1. Conditions for the selection of rumen contents samples of the red deer *C. elaphus xanthopygus* Milne-Edwards, 1867 from Primorsky Krai (samples 1–10) and *C. elaphus sibiricus* Severtzov, 1873 from of the Altai Republic (sample 11)

Показатели	Пробы										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Дата сбора	28.05.2015	11.07.2016	22.03.2019	02.12.2019	02.12.2019	03.07.2020	17.09.2020	24.09.2020	15.12.2020	26.12.2020	22.04.2021
Пол, возраст оленей	Самец, 1 г.	Самка, взр.	Самец, 2 г.	Самка, взр.	Самка, сетолетка	Самка, 2 г.	Самка, взр.	Самец, взр.	Самец, 3 г.	Самец, сетолетка	
Условия хранения материала	Несколько часов	5–6 часов	Сутки охлажд.	20 часов охлажд.	20 часов охлажд.	4 часа охлажд.	Несколько часов	2–3 часа	1 час	12 часов	12 часов охлажд.
Место сбора	Тернейский р-н	Тернейский р-н	Тернейский р-н	Тернейский р-н	Тернейский р-н	Тернейский р-н	Тернейский р-н	Ольгинский р-н	Тернейский р-н	Тернейский р-н	Ондугайский р-н

Таблица 2. Виды и формы эндобонтных инфузорий, обнаруженные в рубце азиатских полдивов благородного оленя *Cervus elaphus* Linnaeus, 1758 – изюбрей *C. elaphus xanthopygus* Milne-Edwards, 1867 из Приморского края (пробы 1–10) и марала *C. elaphus sibiricus* Severtzov, 1873 из Республики Алтай (проба 11)

Table 2. Species and forms of endobiotic ciliates found in the rumen of the Asian subspecies of the red deer *Cervus elaphus* Linnaeus, 1758 – red deer *C. elaphus xanthopygus* Milne-Edwards, 1867 from Primorsky Krai (samples 1–10) and *C. elaphus sibiricus* Severtzov, 1873 from of the Altai Republic (sample 11)

Род, вид, форма	Пробы										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Entodinium</i> Stein, 1859											
<i>E. caudatum</i> Stein, 1859	+++	+++	++	++	++	+	+	+	++	++	++
<i>E. dubardi</i> Buisson, 1923	++	++	++	++	++	++	++	+	++	++	++

<i>E. exiguum</i> Dogiel, 1925	++	++	++	++	+	+	++	++	++	++	++	+	+	++	++	++
<i>E. furca</i> Cunha, 1914	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>E. furca f. dilobum</i> Dogiel, 1927	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>E. furca f. furca</i> Dogiel, 1927	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>E. longinucleatum</i> Dogiel, 1925	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>E. nanellum</i> Dogiel, 1922	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>E. simplex</i> Dogiel, 1927	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>E. wipitii</i> Dehority, 1995	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Endiplodinium Dogiel, 1927																
<i>E. maggii</i> (Fiorentini, 1889)	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>E. neglectum</i> (Dogiel, 1925)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>E. neglectum f. bovis</i> (Dogiel, 1925)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>E. neglectum f. imparatae</i> (Dogiel, 1925)	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>E. neglectum f. spectabile</i> (Dogiel, 1925)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Enoploplastron Kofoid & MacLennan, 1932																
<i>E. triloricaatum</i> (Dogiel, 1925)	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Epidinium Crawley, 1923																
<i>E. escaudatum</i> (Fiorentini, 1889)	+++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>E. caudatum</i> (Fiorentini, 1889)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Dasytricha Schuberg, 1888																
<i>D. ruminantium</i> Schuberg, 1888	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Количество инфузорий в 1 мл содержимого рубца	137580	420380	122290	160510	145220	359230	290440	129940	267510	198730	191080					

Примечания. Количество инфузорий в 1мл пробы: + единичные клетки, ++ более 100 клеток, +++ более 1000 клеток, прочерк – инфузории данного вида не обнаружены.

E. ecaudatum, причём по численности *E. ecaudatum* всегда занимал доминирующее положение. *Eudiplodinium maggii* был выявлен в подавляющем большинстве проб (за исключением пробы № 2). Также в содержимом рубца всех оленей мы обнаружили инфузорий, которые согласно набору определительных признаков, могут быть отнесены к трём формам вида *Eudiplodinium neglectum* (Догель, 1929) (табл. 2).

При этом *E. neglectum f. bovis* и *E. neglectum f. spectabile* различаются преимущественно по форме клетки и макронуклеуса, главным отличием *E. neglectum f. impalae* от предыдущих двух форм является расположение микронуклеуса у переднего края макронуклеуса (рис. 1). В настоящее время эти формы часто рассматриваются в ранге отдельных видов, однако многие авторы вслед за Догелем отмечают исключительное сходство видов *E. bovis*, *E. spectabile* и *E. impalae*, что заставляет сомневаться в их валидности (Kofoid, MacLennan, 1932; Hungate, 1942; Williams, Coleman, 1992). Мы предпочитаем рассматривать исследуемых инфузорий как формы вида *Eudiplodinium neglectum*, в соответствии с определителем Догеля (1929).

В рубце оленей мы обнаружили 9 видов и форм рода *Entodinium*, при этом три вида – *E. caudatum*, *E. dubardi* и *E. exiguum* – встречались у всех исследованных особей (рис. 2). Остальные виды энтодиниумов (за исключением *E. longinucleatum* и *E. furca f. furca*) были обнаружены более чем в половине проб. У подавляющего большинства изюбрей, а также у марала в рубце были найдены инфузории *Entodinium wapiti* (рис. 2). Этот вид был описан из рубца оленя из Северной Америки – вапити *Cervus canadensis* Erxleben, 1777 и считался специфичным для данного хозяина (Dehority, 1995). В табл. 3 показаны сравнительные морфометрические данные по *E. wapiti* из изюбря (№ 7), марала (№ 11) и вапити (по: Dehority, 1995). Диапазон изменчивости инфузорий из рубца изюбря и вапити сходен, тогда как в рубце марала встречаются преимущественно крупные инфузории. Широкий размах изменчивости морфометрических признаков очень характерен для эндобионтных инфузорий, однозначно идентифицировать *E. wapiti* позволяет такой уникальный признак, как треугольный вырост на поверхности клетки.

Видовой состав инфузорий-эндобионтов у всех изюбрей из Тернейского и Ольгинского районов Приморья, а также марала из республики Алтай демонстрирует значительную степень сходства (индекс Чекановского-Серенсена 0.9). В то же время только в рубце марала был обнаружен вид *Enoploplastron triloricatum*. Интересно также отметить, что инфузории-изотрихиды *Dasytricha ruminantium* были обнаружены у марала и только двух изюбрей – матери и дочери из Тернейского района Приморья. При этом видовой состав эндобионтных инфузорий у этих двух особей оказался идентичным, что объясняется особенностями передачи эндобионтов в ряду поколений жвачных (Корнилова, 2004а).

Фауна инфузорий-эндобионтов рубца благородного оленя на территории Азии ранее не была исследована. По инфузориям из оленей этого вида из других географических регионов были ранее проведены исследования в нескольких странах Европы,

в Новой Зеландии и Австралии (Dehority, 1997). Также имеется единственная публикация, посвящённая изучению эндобийонтной фауны вапити (Dehority, 1995). Этот олень долгое время рассматривался как подвид благородного оленя и лишь сравнительно недавно был выделен в отдельный вид *Cervus canadensis* (Ludt et al., 2004; Mizzi et al., 2017). Результаты новейших исследований предполагают близость изюбря и марала к вапити с возможным объединением их в *C. canadensis* (Mackiewicz et al., 2022), однако для проведения полноценной таксономической ревизии рода *Elaphus* необходимы дополнительные исследования в этой области. В связи с этим мы в своей работе рассматриваем изюбря и марала как подвиды благородного оленя *C. elaphus*. В табл. 4 приведены сводные данные по встречаемости инфузорий разных родов в рубце оленей из разных географических регионов.

Таблица 3. Морфометрия инфузорий *E. wapiti* (без учёта каудальных отростков) из рубца изюбря (1), марала (2) и вапити (3)

Table 3. Morphometry of *E. wapiti* (without taking into account caudal projections) from the rumen of (1) red deer, (2) Altai maral, and (3) wapiti

Животное-хозяин	Длина (min–max), мкм	Средняя длина, мкм	SD	CV, %	Ширина (min–max), мкм	Средняя ширина μm	SD	CV, %	Отношение длины к ширине (min–max)	Отношение длины к ширине (среднее)	SD	CV, %
1	25.0–40.0	34.4	2.6	7.5	20.0–30.5	24.1	2.1	8.7	1.20–1.60	1.42	0.24	16.9
2	34.0–37.5	35.8	0.9	2.5	27.5–32.5	29.2	1.1	3.8	1.10–1.30	1.22	0.09	7.4
3	21.0–34.0	28.2	3.6	12.8	21.0–28.0	25.0	2.3	9.2	1.00–1.28	1.13	0.11	9.7

Примечания. 1 – изюбрь № 7; 2 – марал № 11, 3 – вапити (по: Dehority, 1995). Число измеренных клеток у изюбря и марала – по 25, у вапити – 10.

По существующим представлениям, структура сообществ инфузорий-эндобийонтов пищеварительного тракта позвоночных определяется совокупным действием нескольких факторов (Newbold et al., 2015). Эндобийонтные инфузории характеризуются определённой специфичностью по отношению к хозяину, которая возникла в результате коэволюции партнеров в симбиотической системе. В то же время, определённое влияние на видовой состав эндобийонтов оказывают особенности питания и образа жизни хозяина, в т.ч. уровень стадности. И, наконец, возможен горизонтальный неспецифический перенос эндобийонтов между различными видами хозяев при тесном

контакте. Состав эндобионтной фауны азиатских подвидов благородного оленя (по родам инфузорий) более сходен с таковым у вапити, что может свидетельствовать в пользу их достаточно близкого родства. Хотелось бы еще раз подчеркнуть, что, согласно имеющимся данным, только у этих двух видов хозяев обнаружен вид инфузорий *E. wapiti*. Сходство видового состава сообществ инфузорий у оленей, обитающих на одной территории, может быть связано в т.ч. с возможностью тесного взаимодействия отдельных семейных групп хозяев. Для марала на Алтае характерны сезонные миграции протяженностью до 50 км, связанные со сменой зимних и летних пастбищ (Собанский, 2008). В Приморском крае среди изюбрей встречаются как оседлые, так и мигрирующие особи. У мигрирующих оленей зимние участки обитания удалены на 10–45 км от летних (Мысленков, Миквел, 2003). Во всех трёх районах отбора проб благородные олени в течение большей части года, в особенности в летний период, посещают природные солонцы (Panchev et al., 2018, 2022). На солонцах отмечается концентрация благородных оленей, одновременно их присутствует до 15 особей, они активно коммуницируют друг с другом, по очереди вылизывая грунт из одних и тех же «лизунцов» – углублений, выеденных в наиболее привлекательных для литофагии участках. На солонцах благородные олени контактируют не только между собой, но и с другими видами оленей: лосем *Alces alces* (Linnaeus, 1758) и сибирской косулей *Capreolus pygargus* (Pallas, 1771), а также пятнистым оленем *Cervus nippon* Temminck, 1838 для Ольгинского района Приморского края (Серёдкин, Паничев, 2022). Преобладание в сообществах эндобионтов видов рода *Entodinium* и довольно низкий уровень видового разнообразия инфузорий отмечены для многих видов диких жвачных, что обычно связывают с особенностями питания или образа жизни хозяина (в т.ч. низким уровнем стадности) (Williams, Coleman, 1992; Clauss et al., 2011; Корнилова и др., 2021). Так, высказывались предположения, что подобная структура сообществ инфузорий характерна для хозяев, питающихся преимущественно веточным кормом, хотя прямой взаимосвязи между рационом хозяев и видовым составом эндобионтов показано не было (Clauss et al., 2011). В связи с этим нужно отметить, что как изюбрь, так и марал летом питаются в основном травянистой растительностью и листьями древесных пород, а в зимний период переходят на древесно-веточный корм (Бромлей, Кучеренко, 1983; Собанский, 2008). Осенью изюбрь нередко потребляет жёлуди дуба и орехи корейской сосны (Шереметьев, Прокопенко, 2005).

Согласно предположению Догеля (1946) о филогении инфузорий жвачных, эволюционное формирование ветвей *Epidinium–Eudiplodinium* произошло у общего предка оленей и полорогих. При этом такие роды, как *Ostracodinium*, *Polyplastron*, *Ophryoscolex* сформировались позже уже у полорогих хозяев. В связи с этим интересно отметить, что у одомашненных оленей, по сравнению с дикими особями, в целом наблюдается большее разнообразие инфузорий-эндобионтов (табл. 4). Возможно, фауна эндобионтных инфузорий европейских и австралийских оленей была обогащена за счёт более близких и частых контактов с местными видами полорогих и их одомашненными формами.

Таблица 4. Встречаемость представителей различных родов эндобионтных инфузорий в рубце благородного оленя *Cervus elaphus* из разных географических регионов

Table 4. Occurrence of representatives of various genera of endobiotic ciliates in the rumen of the red deer *Cervus elaphus* from different locations

№	Род	Регион обитания			
		1	2	3	4
1	<i>Entodinium</i> Stein, 1859	100	88	100	100
2	<i>Diplodinium</i> Schuberg, 1888	–	75	58	–
3	<i>Eudiplodinium</i> Dogiel, 1927	100	88	100	100
4	<i>Ostracodinium</i> Dogiel, 1927	–	13	–	–
5	<i>Metadinium</i> Awerinzew & Mutafova, 1914	–	13	33	50
6	<i>Enoploplastron</i> Kofoid & MacLennan, 1932	9	13	–	50
7	<i>Elytroplastron</i> Kofoid & MacLennan, 1932	–	25	33	–
8	<i>Epidinium</i> Crawley, 1923	100	75	25	50
9	<i>Ophryoscolex</i> Stein, 1859	–	13	–	–
10	<i>Isotricha</i> Stein, 1859	–	50	67	–
11	<i>Dasytricha</i> Schuberg, 1888	27	38	–	–

Примечания. 1 – подвиды благородного оленя (изюбрь и марал) из Азии, 2 – дикие и одомашненные благородные олени из Европы (по: Dehority, 1997), 3 – благородный олень (одомашненный) из Австралии (Dehority, 1997), 4 – олень вапити из Канады (Dehority, 1995). Показано отношение (%) положительных проб к общему числу проб, прочерк – представители данного рода инфузорий не обнаружены.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке темы государственного задания 122031100260–0 (Зоологический институт РАН).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бромлей Г.Ф., Кучеренко С.П. 1983. Копытные юга Дальнего Востока СССР. М.: Наука, 305 с. [Bromley G.F., Kucherenko S.P. 1983. Копытные юга Dalnego Vostoka SSSR. M., Nauka, 305 pp. (in Russian)].
- Догель В.А. 1929. Простейшие – Protozoa. Малоресничные инфузории – Infusoria Oligotricha. Сем. Ophryoscolecidae. 2. Определители по фауне СССР, издаваемые Зоологическим музеем Академии Наук. Ленинград, Изд-во Акад. наук СССР, 97 с. [Dogiel V. 1929. Protozoa. Infusoirs oligotriches. Fam. Ophryoscolecida. 2. Tableaux analytiques de la faune le l'URSS, publiés par le Musée Zoologique de l'Académie des sciences. Leningrad, Academie des sciences de L'URSS, 97 pp. (in Russian)].
- Догель В.А. 1946. Филогения инфузорий желудка жвачных в свете палеонтологических и эколого-паразитологических данных. Зоологический журнал 25 (5): 1162–1188. [Dogiel V. 1946. Phylogeny of ciliates from the stomach of ruminants based on paleontological, ecological and parasitological data. Zoological Journal 25 (5): 1162–1188. (In Russian)].
- Корнилова О.А. 2004а. История изучения эндобионтных инфузорий млекопитающих. СПб., ТЕССА, 352 с. [Kornilova O.A. 2004a. History of study of endobiotic ciliates of mammalia. Saint Petersburg, TESSA, 352 pp. (in Russian)].

- Корнилова О.А. 2004б. Метод комплексного обследования фауны эндобионтных инфузорий. В сб.: Функциональная морфология, экология и жизненные циклы животных. Научные труды кафедры зоологии РГПУ им. А.И. Герцена, СПб., ТЕССА, 4: 75–77. [Kornilova O.A. 2004b. The method of combined investigations of endobiotic ciliates. 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, 4: 75–77. (in Russian)].
- Корнилова О.А. 2010. Определитель инфузорий, обитающих в пищеварительном тракте млекопитающих. В сб.: Функциональная морфология, экология и жизненные циклы животных. Научные труды кафедры зоологии РГПУ им. А.И. Герцена, СПб., ТЕССА, 10: 59–94. [Kornilova O.A. 2010. The key of 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, 10: 59–94. (in Russian)].
- Корнилова О.А., Чистякова Л.В., Серёдкин И.В., Грабарник И.П. 2021. Эндобионтные инфузории из рубца козули сибирской *Capreolus pygargus*. Паразитология 55 (6): 466–476. [Kornilova O.A., Chistyakova L.V., Seryodkin I.V., Grabarnik I.P. 2021. Endobiotic ciliates from the rumen of the roe deer *Capreolus pygargus*. Parazitologia 55 (6): 466–476. (in Russian)].
- Мысленков А.И., Миквел Д.Г. 2003. Использование пространства изюбрем на Сихотэ-Алине. В кн.: Териофауна России и сопредельных территорий. VII съезд Териологического общества, 6–7 февраля 2003 г., Москва. Материалы Международного совещания. М., 230–231. [Myslenkov A.I., Mikvel D.G. 2003. Ispolzovanie prostranstva isyubrem na Sichote-Aline. In: Teriofauna Rossiyi i sopredelnyh territoriy. VII s'ezd teriologicheskogo obshchestva, 6–7 February 2003. Materialy Mezhdunarodnogo soveshanyia. M., 230–231. (in Russian)].
- Серёдкин И.В., Паничев А.М. 2022. Посещение природных зверовых солонцов копытными на Среднем Сихотэ-Алине. Млекопитающие в меняющемся мире: актуальные проблемы териологии. XI Съезд Териологического общества при РАН. Материалы конференции с международным участием. М., Товаришество научных изданий КМК, с. 312. [Seryodkin I.V., Panichev A.M. 2022. Poseshenie prirodnyh zverovyh solontsov kopytnymi na srednem Sihote-Aline. In: Mlekopitaushie v menyaushemysya mire: aktualnye problem teriologii. XI sized Teriologicheskogo obshchestva pri RAN. Materialy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. M., Tovarishestvo nauchnyh izdaniy KMK, p. 312. (in Russian)].
- Собанский Г.Г. 2008. Звери Алтая. Часть 1. Крупные хищники и копытные. Новосибирск – М., Tovarishestvo nauchnyh izdaniy KMK, 414 с. [Sobansky G.G. 2008. Zveri Altaya. Chast 1. Krupnye hishniki i kopytnye. Novosibirsk – Moskva, Tovarishestvo nauchnyh izdaniy KMK, 414 pp. (in Russian)].
- Шереметьев И.С., Прокопенко С.В. 2005. Экология питания парнокопытных юга Дальнего Востока. Владивосток, Дальнаука, 167 с. [Sheremetyev I.S., Prokopenko S.V. 2005. Ekologiya pitaniya parnokopytnih yuga Dalnego Vostoka. Vladivostok, Dalnauka, 167 pp. (in Russian)].
- Clauss M., Müller K., Fickel J., Streich W. J., Hatt J.-M., Südekum K.-H. 2011. Macroecology of the host determines microecology of endobionts: protozoal faunas vary with wild ruminant feeding type and body mass. Journal of Zoology 283: 169–185. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2010.00759>
- Dehority B.A. 1993. Laboratory Manual for Classification and Morphology of Rumen Ciliate Protozoa. Boca Raton, FL, CRC Press Inc., 128 pp.
- Dehority B.A. 1995. Rumen Ciliates of the Pronghorn Antelope (*Antilocapra americana*), Mule Deer (*Odocoileus hemionus*), White-tailed Deer (*Odocoileus virginianus*) and Elk (*Cervus canadensis*) in the Northwestern United States. Archiv für Protistenkunde 146 (1): 29–36.
- Dehority B.A. 1997. Rumen ciliate protozoa in Australian red deer (*Cervus elaphus* L.). Archiv für Protistenkunde 148: 157–165. [https://doi.org/10.1016/S0003-9365\(11\)80252-6](https://doi.org/10.1016/S0003-9365(11)80252-6)
- Denton B., Diese I.E., Firkins J.L., Hackmann T.J. 2015. Accumulation of reserve carbohydrate by rumen protozoa and bacteria in competition for glucose. Applied and Environmental Microbiology 81: 1832–1838. <https://doi.org/10.1128/AEM.03736-14>
- Hall M.B. 2011. Isotrichid protozoa influence conversion of glucose to glycogen and other microbial products. Journal of Dairy Science 94: 4589–4602. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3878>

- Hungate R.E. 1942. The Culture of *Eudiplodinium Neglectum*, with Experiments on the Digestion of Cellulose. *Biology Bulletin* 83 (3): 303–319.
- Kofoid C.A., MacLennan R.F. 1932. Ciliates from *Bos indicus*. II. The genus *Diplodinium* Schuberg. University of California Publications in Zoology 37: 53–152.
- Ludt C.J., Schroeder W., Rottmann O., Kuehna R. 2004. Mitochondrial DNA phylogeography of red deer (*Cervus elaphus*). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 3: 1064–1083. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2003.10.003>
- Mizzi J.E., Lounsbury Z.T., Brown C.T., Sacks B.N. 2017. Draft genome of tule elk *Cervus canadensis nannodes*. *F1000Research* 6: 1691. <https://doi.org/10.12688/f1000research.12636.2>
- Mackiewicz P., Matosiuk M., Świsłocka M., Zachos F.E., Hajji G.M., Saveljev A.P., Seryodkin I.V., Farahvash T., Rezaei H.R., Torshizi R.V., Mattioli S., Ratkiewicz M. 2022. Phylogeny and evolution of the genus *Cervus* (Cervidae, Mammalia) as revealed by complete mitochondrial genomes. *Scientific Reports* 12(1): 16381. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20763-x>
- 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>
- Panichev A.M., Baranovskaya N.V., Seryodkin I.V., Chekryzhov I.Yu., Vakh E.A., Soktoev B.R., Belyanovskaya A.I., Makarevich R.A., Lutsenko T.N., Popov N.Yu., Ruslan A.V., Ostapenko D.S., Vetoshkina A.V., Aramilev V.V., Kholodov A.S., Golokhvast K.S. 2022. Landscape REE anomalies and the cause of geophagy in wild animals at kudurs (mineral salt licks) in the Sikhote-Alin (Primorsky Krai, Russia). *Environmental Geochemistry and Health* 44(3): 1137–1160. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-01014-w>
- Panichev A.M., Seryodkin I.V., Kalinkin Y.N., Makarevich R.A., Stolyarova T.A., Sergievich A.A., Khoroshikh P.P. 2018. Development of the “rare-earth” hypothesis to explain the reasons of geophagy in Teletskoye Lake are kudurs (Gorny Altai, Russia). *Environmental Geochemistry and Health* 40: 1299–1316. <https://doi.org/10.1007/s10653-017-0056-x>
- Park T., Yu Z. 2018. Do ruminal ciliates select their preys and prokaryotic symbionts? *Frontiers in Microbiology* 9: 1710. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01710>
- Tapio I., Snelling T.J., Strozzi F., Wallace R.J. 2017. The ruminal microbiome associated with methane emissions from ruminant livestock. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 8: 7. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0141-0>
- Williams A.G., Coleman G.S. 1992. The Rumen Protozoa. *Brock/Springer Series in Contemporary Bioscience*, 371 pp. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2776-2>

FAUNA OF THE ENDOBIOTIC CILIATES FROM THE RUMEN OF THE RED DEER *CERVUS ELAPHUS* LINNAEUS, 1758

O. A. Kornilova, A. V. Radaev, I. V. Seryodkin, L. V. Chistyakova

Keywords: endobiotic ciliates, *Cervus elaphus*, Ophryoscolecidae, Isotrichidae

SUMMARY

Fauna of endobiotic ciliates of the red deer *Cervus elaphus xanthopygus* and of the Altai wapiti *Cervus elaphus sibiricus* in Asia was studied for the first time. In total, 14 species and 5 forms of ciliates belonging to 5 genera of Ophryoscolecidae and Isotrichidae were found. The species composition of endobiotic ciliates in all studied individuals of deer appeared to be rather similar. Most of the samples contained *Entodinium wapiti*, previously considered specific to the North American wapiti *Cervus canadensis*. The influence of different factors on the formation of a certain structure of communities of ciliates, endobionts of the rumen of the red deer *Cervus elaphus*, is discussed.