

Эко-региональные закономерности формирования сообществ почвенных протистов: Функциональное и таксономическое разнообразие раковинных амеб в Северной Евразии

А.Н. Цыганов¹, Ц. Су¹, Н.Г. Мазей¹, А.А. Комаров², В.А. Чернышов²,
В.Н. Якимов³, Ю.А. Мазей¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва;

²Пензенский государственный университет, г. Пенза;

³Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского, г. Нижний Новгород

OPEN

DATA DESCRIPTOR

Functional traits data for testate amoebae of Northern Holarctic realm

Jiahui Su^{1,2}, Yuri A. Mazei^{1,2,3}, Andrey N. Tsyganov², Viktor A. Chernyshov⁴, Alexander A. Komarov⁴, Elena A. Malysheva⁴, Kirill V. Babeshko^{1,2}, Natalia G. Mazei², Damir A. Saldaev^{1,2}, Boris Levin^{3,5} & Basil N. Yakimov^{1,6}✉



Soil Biology and Biochemistry 208 (2025) 109841



Contents lists available at ScienceDirect

Soil Biology and Biochemistry

journal homepage: www.elsevier.com/locate/soilbio


Ecoregional patterns of protist communities in mineral and organic soils: assembly processes, functional traits and diversity of testate amoebae in Northern Eurasia

Jiahui Su^{a,b}, Yuri A. Mazei^{a,b,c}, Andrey N. Tsyganov^b, Natalia G. Mazei^b, Viktor A. Chernyshov^d, Alexander A. Komarov^d, Kirill V. Babeshko^{a,b}, Edward A.D. Mitchell^e, Satoshi Shimano^f, Pavel Krasilnikov^b, Damir A. Saldaev^{a,b}, Basil N. Yakimov^{a,g,*}

^a Shenzhen MSU-BIT University, Shenzhen, 518172, China

^b Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory 1, Moscow, 119991, Russia

^c A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Leninsky Ave. 33, Moscow, 117071, Russia

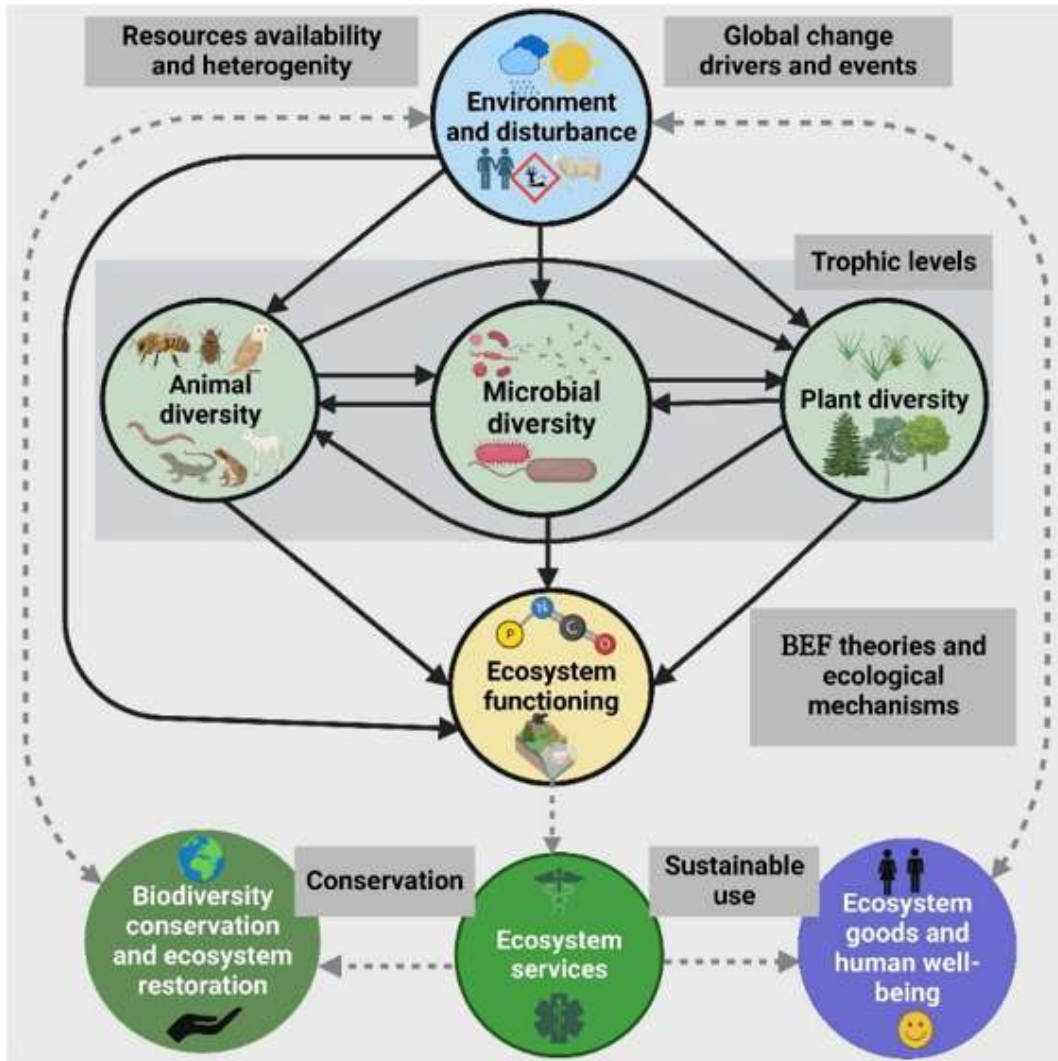
^d Penza State University, Krasnaya str., 40, Penza, 440026, Russia

^e University of Neuchâtel, Rue Emile Argand 11, 2000, Neuchâtel, Switzerland

^f Hosei University, Fujinri, Chiyoda, Tokyo, 102-8160, Japan

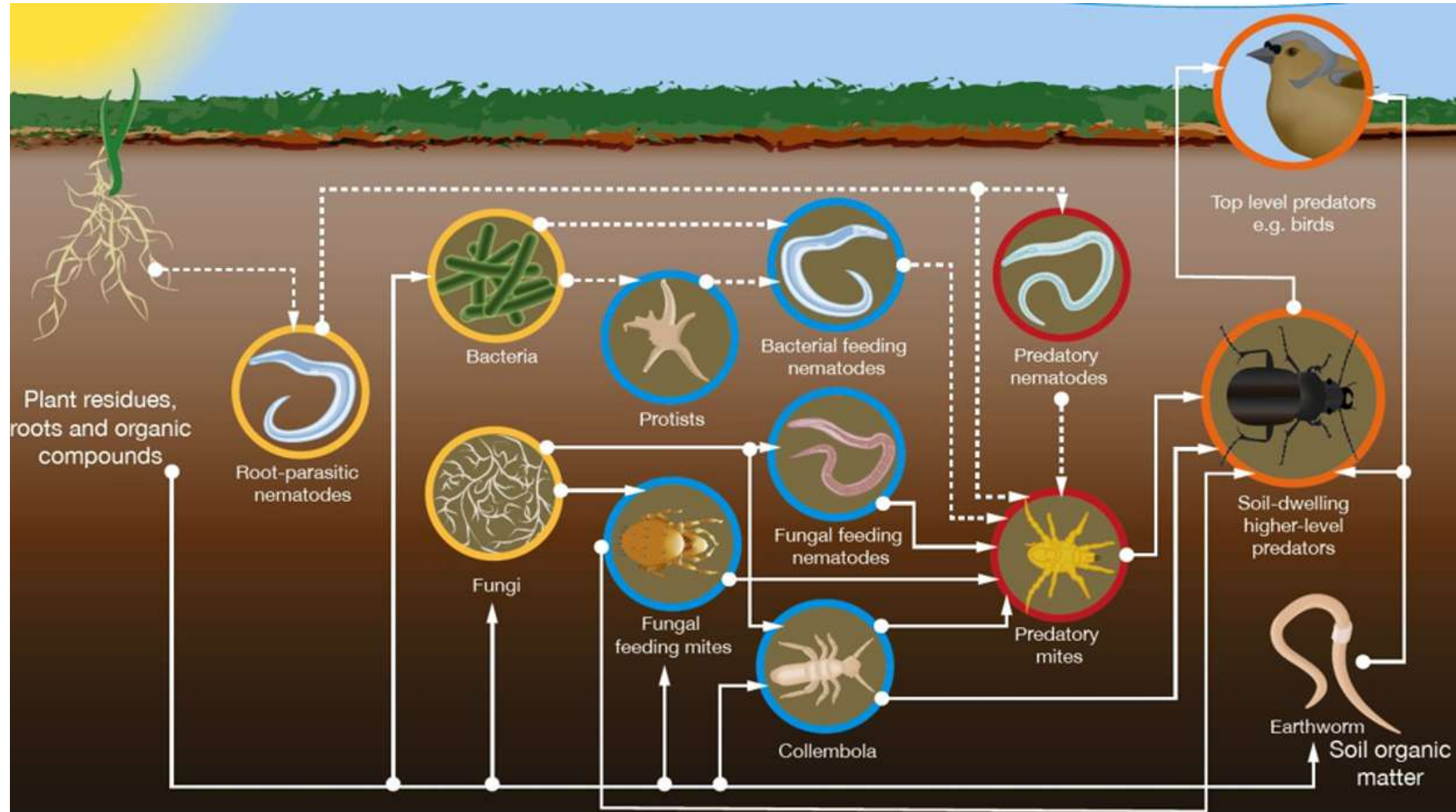
^g Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, pr. Gagarina 23, Nizhny Novgorod, 603950, Russia

Актуальность: Разнообразие микроорганизмов



- биогеохимические циклы
- почвообразование и поддержание плодородия
- биологический контроль вредителей и патогенов
- формирование и стабилизация почвенной структуры
- поддержание биоразнообразия

Протисты – ключевая группа микроорганизмов



<https://ahdb.org.uk/knowledge-library/the-soil-food-web-and-nutrient-cycling>

Пробелы в современном знании

Имеющиеся данные

- Фокус только на таксономическом или функциональном разнообразии

Отсутствующие данные

- Необходимо понимание совместных закономерностей таксономического и функционального разнообразия

Пробелы в современном знании

Имеющиеся данные

- Один регион или биотоп

Отсутствующие данные

- Сравнительный анализ нескольких регионов и биотопов

Пробелы в современном знании

Имеющиеся данные

- Фокус на локальных факторах в микро- и мезо-пространственных масштабах

Отсутствующие данные

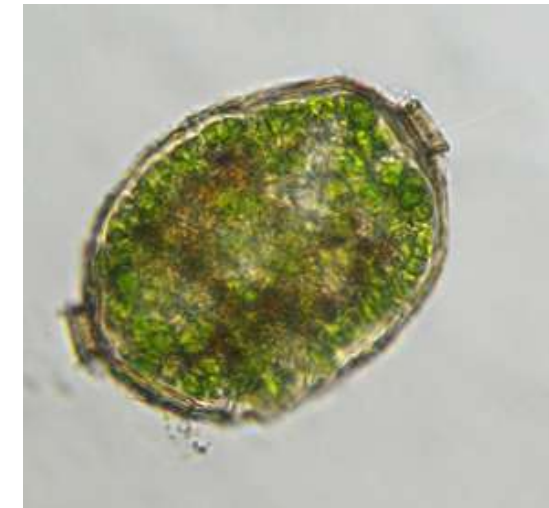
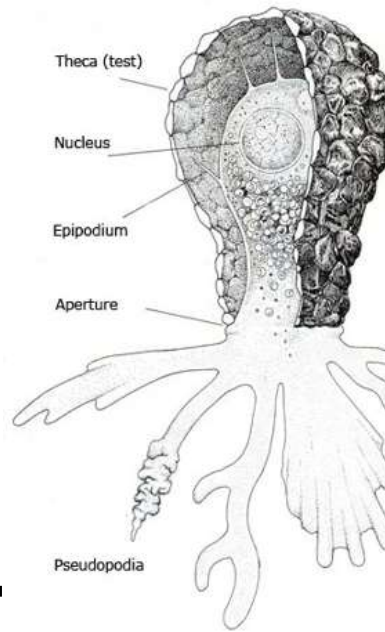
- Понимание макромасштабных закономерностей формирования разнообразия микроорганизмов

Причины и пути решения

- Технологические ограничения (микроскопия и культивирование)
- Исторический фокус (от простого к сложному)
- Сложность получения и интеграции крупномасштабных данных
- Молекулярные и «омические» методы, модельные группы организмов
- Стандартизация и формирование баз данных
- Интеграция данных с помощью современных вычислительных методов

Раковинные амебы как представители протистов

- Амёбоидный тип строения с внешней оболочной – раковинкой
- Населяют разнообразные биотопы, играя важную роль в сообществах в качестве миксотрофов и консументов
- Раковинка устойчива к разложению, отвечает за ряд адаптаций
- Таксономия основана на морфологических признаках раковин



Composition of Soil Testate Amoebae Communities: Their Structure and Modifications in the Temperate Rain Forests of New Zealand and Tasmania

Stuart S. Bamforth 

Testate amoebae taxonomy and trait diversity are coupled along an openness and wetness gradient in pine-dominated Baltic bogs

Mariusz Lamentowicz ^a  , Katarzyna Kajukato-Drygalska ^a, Piotr Kołaczek ^a, Vincent E.J. Jassey ^b, Maciej Gąbka ^c, Monika Karpińska-Kołaczek ^{a d}

Diversity, distribution and biogeography of testate amoebae in China: Implications for ecological studies in Asia

Yangmin Qin ^a, Shucheng Xie ^a  , Humphrey G. Smith ^b, Graeme T. Swindles ^c, Yansheng Gu ^a

Testate Amoeba Functional Traits and Their Use in Paleoecology

Katarzyna Marcisz^{1*}, Vincent E. J. Jassey², Anush Kosakyan³, Valentyna Krashevskaya⁴, Daniel J. G. Lahr⁵, Enrique Lara⁶, Łukasz Lamentowicz⁷, Mariusz Lamentowicz¹, Andrew Macumber^{8,9}, Yuri Mazei^{10,11}, Edward A. D. Mitchell^{12,13}, Nawaf A. Nasser⁹, R. Timothy Patterson⁹, Helen M. Roe⁸, David Singer⁵, Andrey N. Tsyganov^{10,11} and Bertrand Fournier¹⁴

Taxonomic and functional traits responses of *Sphagnum* peatland testate amoebae to experimentally manipulated water table

Isabelle Koenig^{a,*,1}, Matthieu Mulot^{a,c,1}, Edward A.D. Mitchell^{a,b}

^a Laboratory of Soil Biodiversity, University of Neuchâtel, Rue Emile-Argand 11, CH-2000, Neuchâtel, Switzerland

^b Jardin Botanique de Neuchâtel, Chemin du Perthuis-du-Sault 58, CH-2000, Neuchâtel, Switzerland

^c Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, CNRS UMR 7144, Adaptation et Diversité en Milieu Marin, Équipe EPEP, Station Biologique de Roscoff, F-29680, Roscoff, France

Soil microorganisms behave like macroscopic organisms: patterns in the global distribution of soil euglyphid testate amoebae

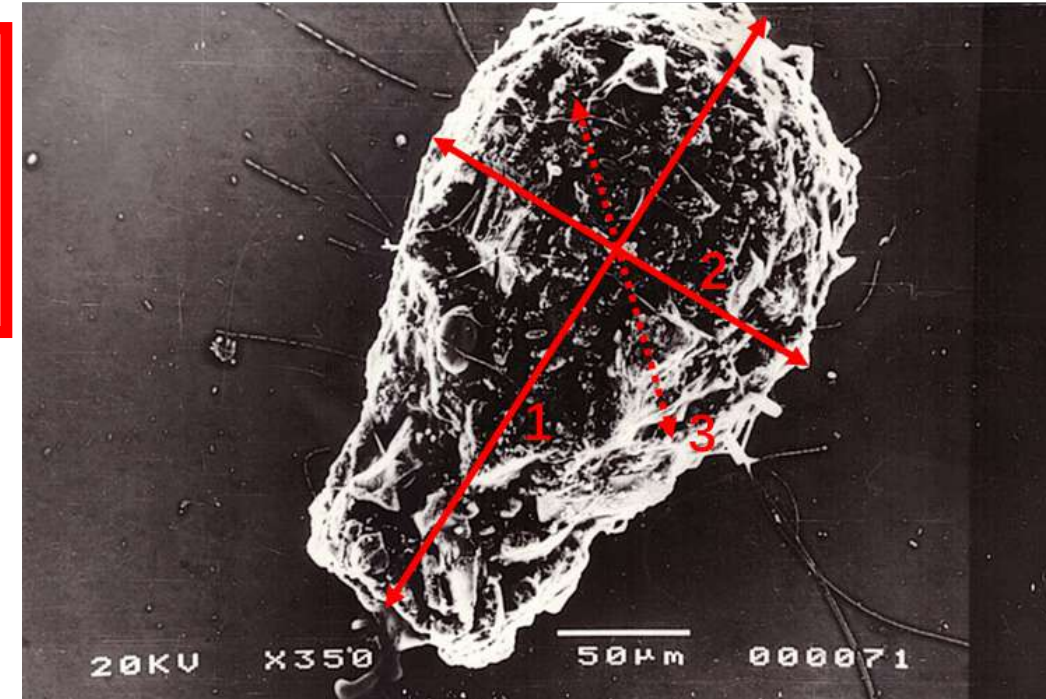
Enrique Lara , Ludovic Roussel-Delif, Bertrand Fournier, David M. Wilkinson, Edward A. D. Mitchell

База данных функциональных признаков

Функциональные признаки: линейные размеры

12

Block	Name	Description	Data Type	Range
Shell (test) dimensions	Shell length	First axis from the aperture of the shell to opposite side (unit: μm).	Numerical	5.50-410.50
	Shell width	Second axis is perpendicular to it and the maximum value in size (unit: μm).	Numerical	4.12-309.50
	Shell depth	Third axis is perpendicular to it and the second in size (unit: μm).	Numerical	3.88-309.50
	R1	The ratio between shell width and shell length (shell width / shell length).	Numerical	0.25-13.64
	R2	The ratio between shell depth and shell width (shell depth / shell width).	Numerical	0.20-1.00
Outline	Shell (test) shape	1-sphere, 2-hemisphere, 3-cylinder, 4-patelliform, 5-rectangular cuboid, 6-ovoid, 7-pyriform, 8-spiral.	Categorical	1-8
Aperture (Pseudostome)	Aperture length	The longest dimension of the opening of the shell (unit: μm).	Numerical	2.62-142.50
	Aperture width	The shorter dimension perpendicular to the aperture length (unit: μm).	Numerical	2.50-142.50
	R3	The ratio between aperture length and shell width (aperture length / shell width).	Numerical	0.10-1.09
	R4	The ratio between aperture width and aperture length (aperture width / aperture length).	Numerical	0.11-1.00
	Position of the aperture	1-straight terminal, 2-sub terminal, 3-central ventral, 4-shifted ventral, 5-amphistomic.	Categorical	1-5
	Degree of invagination of aperture	0-absent, 1-slightly, 2-strongly.	Categorical	0-2
	Aperture rim	1-straight, 2-curved, 3-lobbed, 4-denticular.	Categorical	1-4
Structural features	Presence/absence of collar	0-absence, 1-presence.	Binary	0-1
	Shell covering	1-organic, 2-xenosomes, 3-idiosomes, 4-cleptosomes.	Categorical	1-4
	Presence/absence of internal partitions	0-absence, 1-presence.	Binary	0-1
Trophic features	Presence/absence of spines or horns	0-absence, 1-presence.	Binary	0-1
	Feeding type	1-mixotrophy, 2-bacterivory, 3-predatory	Categorical	1-3

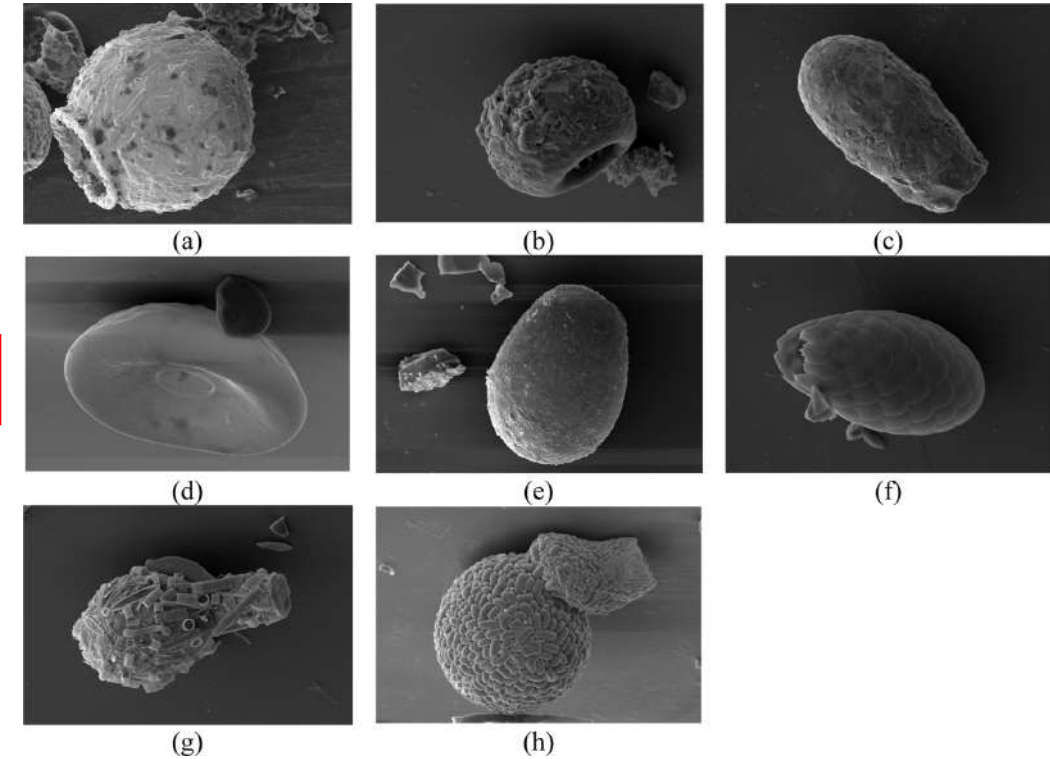


- 1 – длина раковины
 2 – ширина раковины
 3 – толщина/диаметр раковины

Функциональные признаки: форма раковины

13

Block	Name	Description	Data Type	Range
Shell (test) dimensions	Shell length	First axis from the aperture of the shell to opposite side (unit: μm).	Numerical	5.50-410.50
	Shell width	Second axis is perpendicular to it and the maximum value in size (unit: μm).	Numerical	4.12-309.50
	Shell depth	Third axis is perpendicular to it and the second in size (unit: μm).	Numerical	3.88-309.50
	R1	The ratio between shell width and shell length (shell width / shell length).	Numerical	0.25-13.64
	R2	The ratio between shell depth and shell width (shell depth / shell width).	Numerical	0.20-1.00
Outline	Shell (test) shape	1-sphere, 2-hemisphere, 3-cylinder, 4-patelliform, 5- rectangular cuboid, 6-ovoid, 7-pyriform, 8-spiral.	Categorical	1-8
Aperture (Pseudostome)	Aperture length	The longest dimension of the opening of the shell (unit: μm).	Numerical	2.62-142.50
	Aperture width	The shorter dimension perpendicular to the aperture length (unit: μm).	Numerical	2.50-142.50
	R3	The ratio between aperture length and shell width (aperture length / shell width).	Numerical	0.10-1.09
	R4	The ratio between aperture width and aperture length (aperture width / aperture length).	Numerical	0.11-1.00
	Position of the aperture	1-straight terminal, 2-sub terminal, 3- central ventral, 4-shifted ventral, 5-amphistomic.	Categorical	1-5
	Degree of invagination of aperture	0-absent, 1-slightly, 2-strongly.	Categorical	0-2
	Aperture rim	1-straight, 2-curved, 3-lobbed, 4-denticular.	Categorical	1-4
	Presence/absence of collar	0-absence, 1- presence.	Binary	0-1
Structural features	Shell covering	1-organic, 2-xenosomes, 3-idiosomes, 4-cleptosomes.	Categorical	1-4
	Presence/absence of internal partitions	0-absence, 1- presence.	Binary	0-1
	Presence/absence of spines or horns	0-absence, 1- presence.	Binary	0-1
Trophic features	Feeding type	1-mixotrophy, 2-bacterivory, 3-predatory	Categorical	1-3

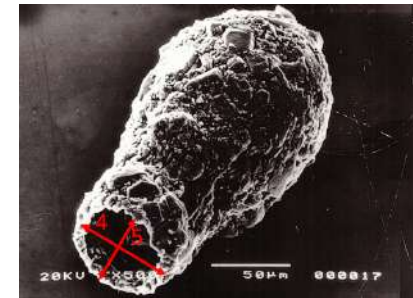


- (a) сферическая;
(b) полусферическая;
(c) цилиндрическая;
(d) уплощенная;
(e) клиновидная;
(f) овальная;
(g) грушевидная;
(h) изогнутая.

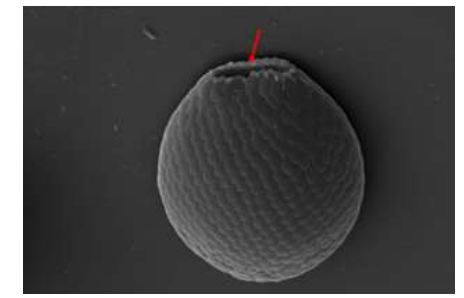
На основании линейных размеров и формы раковины
рассчитывали
Биологический объем раковины

Функциональные признаки: устье

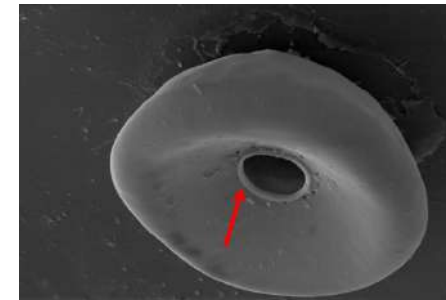
Block	Name	Description	Data Type	Range
Shell (test) dimensions	Shell length	First axis from the aperture of the shell to opposite side (unit: μm).	Numerical	5.50-410.50
	Shell width	Second axis is perpendicular to it and the maximum value in size (unit: μm).	Numerical	4.12-309.50
	Shell depth	Third axis is perpendicular to it and the second in size (unit: μm).	Numerical	3.88-309.50
	R1	The ratio between shell width and shell length (shell width / shell length).	Numerical	0.25-13.64
	R2	The ratio between shell depth and shell width (shell depth / shell width).	Numerical	0.20-1.00
Outline	Shell (test) shape	1-sphere, 2-hemisphere, 3-cylinder, 4-patelliform, 5-rectangular cuboid, 6-ovoid, 7-	Categorical	1-8
Aperture (Pseudostome)	Aperture length	The longest dimension of the opening of the shell (unit: μm).	Numerical	2.62-142.50
	Aperture width	The shorter dimension perpendicular to the aperture length (unit: μm).	Numerical	2.50-142.50
	R3	The ratio between aperture length and shell width (aperture length / shell width).	Numerical	0.10-1.09
	R4	The ratio between aperture width and aperture length (aperture width / aperture length).	Numerical	0.11-1.00
	Position of the aperture	1-straight terminal, 2-sub terminal, 3-central ventral, 4-shifted ventral, 5-amphistomic.	Categorical	1-5
	Degree of invagination of aperture	0-absent, 1-slightly, 2-strongly.	Categorical	0-2
	Aperture rim	1-straight, 2-curved, 3-lobbed, 4-denticular.	Categorical	1-4
Structural features	Presence/absence of collar	0-absence, 1- presence.	Binary	0-1
	Shell covering	1-organic, 2-xenosomes, 3-idiosomes, 4-cleptosomes.	Categorical	1-4
	Presence/absence of internal partitions	0-absence, 1- presence.	Binary	0-1
Trophic features	Presence/absence of spines or horns	0-absence, 1- presence.	Binary	0-1
	Feeding type	1-mixotrophy, 2-bacterivory, 3-predatory	Categorical	1-3



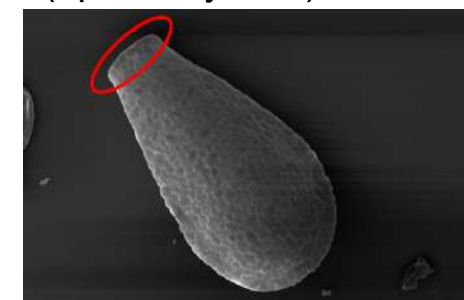
Линейные размеры



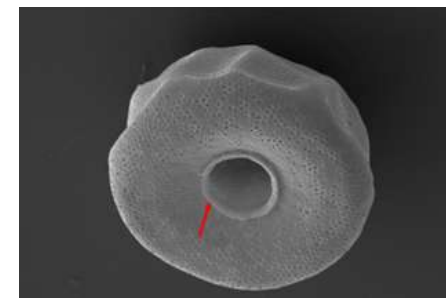
Положение и форма (прямое устье)



Степень изолированности



Наличие приустевых структур (утолщение)

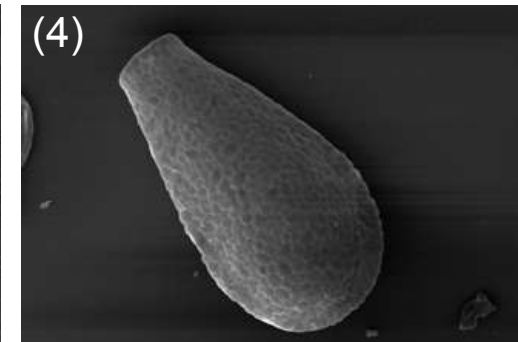
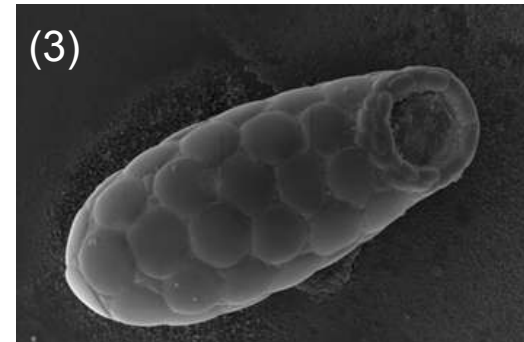
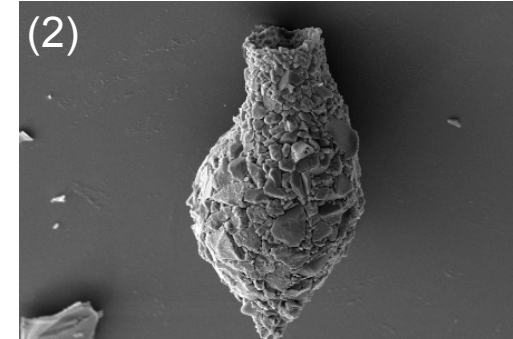
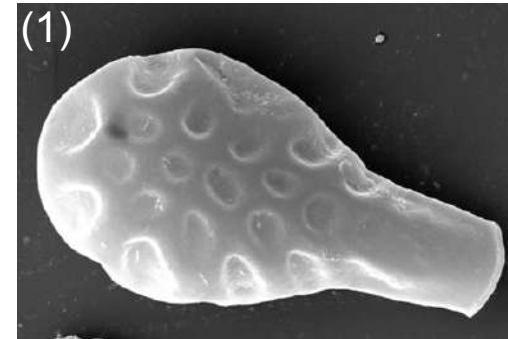


Наличие приустевых структур (воротничок)

Функциональные признаки: покров раковин

15

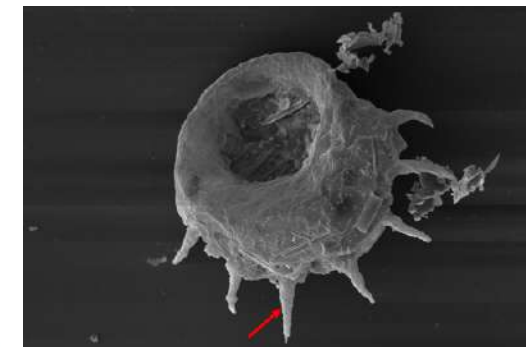
Block	Name	Description	Data Type	Range
Shell (test) dimensions	Shell length	First axis from the aperture of the shell to opposite side (unit: μm).	Numerical	5.50-410.50
	Shell width	Second axis is perpendicular to it and the maximum value in size (unit: μm).	Numerical	4.12-309.50
	Shell depth	Third axis is perpendicular to it and the second in size (unit: μm).	Numerical	3.88-309.50
	R1	The ratio between shell width and shell length (shell width / shell length).	Numerical	0.25-13.64
	R2	The ratio between shell depth and shell width (shell depth / shell width).	Numerical	0.20-1.00
Outline	Shell (test) shape	1-sphere, 2-hemisphere, 3-cylinder, 4-patelliform, 5- rectangular cuboid, 6-ovoid, 7-pyriform, 8-spiral.	Categorical	1-8
Aperture (Pseudostome)	Aperture length	The longest dimension of the opening of the shell (unit: μm).	Numerical	2.62-142.50
	Aperture width	The shorter dimension perpendicular to the aperture length (unit: μm).	Numerical	2.50-142.50
	R3	The ratio between aperture length and shell width (aperture length / shell width).	Numerical	0.10-1.09
	R4	The ratio between aperture width and aperture length (aperture width / aperture length).	Numerical	0.11-1.00
	Position of the aperture	1-straight terminal, 2-sub terminal, 3- central ventral, 4-shifted ventral, 5-amphistomic.	Categorical	1-5
	Degree of invagination of aperture	0-absent, 1-slightly, 2-strongly.	Categorical	0-2
	Aperture rim	1-straight, 2-curved, 3-lobbed, 4-denticular.	Categorical	1-4
Structural features	Shell covering	1-organic, 2-xenosomes, 3-idiosomes, 4-cleptosomes.	Categorical	1-4
	Presence/absence of internal partitions	0-absence, 1- presence.	Binary	0-1
	Presence/absence of spines or horns	0-absence, 1- presence.	Binary	0-1
Trophic features	Feeding type	1-mixotrophy, 2-bacterivory, 3-predatory	Categorical	1-3



(1) органические; (2) ксеноксомные;
(3) идиосомные; (4) клептосомные.



С перегородками



С шипами

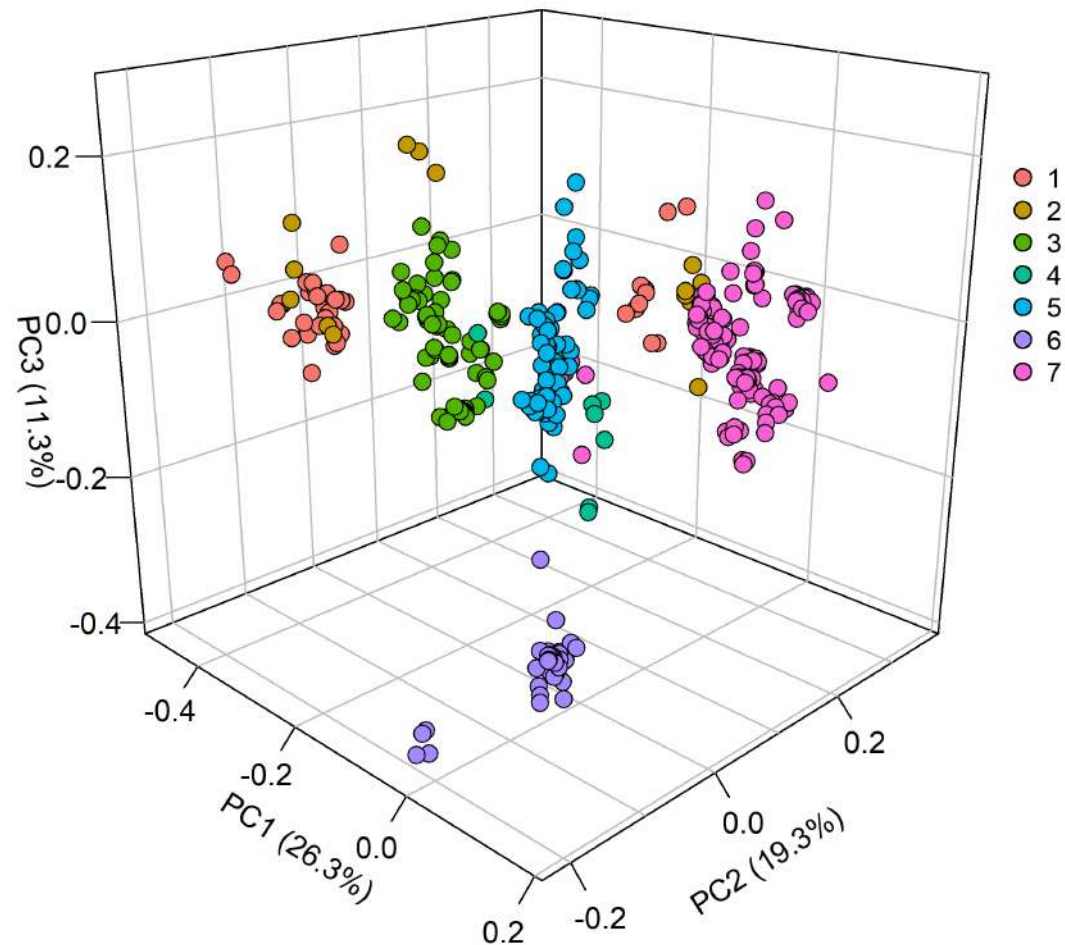
Функциональные признаки: трофическое положение

Block	Name	Description	Data Type	Range
Shell (test) dimensions	Shell length	First axis from the aperture of the shell to opposite side (unit: μm).	Numerical	5.50-410.50
	Shell width	Second axis is perpendicular to it and the maximum value in size (unit: μm).	Numerical	4.12-309.50
	Shell depth	Third axis is perpendicular to it and the second in size (unit: μm).	Numerical	3.88-309.50
	R1	The ratio between shell width and shell length (shell width / shell length).	Numerical	0.25-13.64
	R2	The ratio between shell depth and shell width (shell depth / shell width).	Numerical	0.20-1.00
Outline	Shell (test) shape	1-sphere, 2-hemisphere, 3-cylinder, 4-patelliform, 5-rectangular cuboid, 6-ovoid, 7-pyriform, 8-spiral.	Categorical	1-8
Aperture (Pseudostome)	Aperture length	The longest dimension of the opening of the shell (unit: μm).	Numerical	2.62-142.50
	Aperture width	The shorter dimension perpendicular to the aperture length (unit: μm).	Numerical	2.50-142.50
	R3	The ratio between aperture length and shell width (aperture length / shell width).	Numerical	0.10-1.09
	R4	The ratio between aperture width and aperture length (aperture width / aperture length).	Numerical	0.11-1.00
	Position of the aperture	1-straight terminal, 2-sub terminal, 3-central ventral, 4-shifted ventral, 5-amphistomic.	Categorical	1-5
	Degree of invagination of aperture	0-absent, 1-slightly, 2-strongly.	Categorical	0-2
	Aperture rim	1-straight, 2-curved, 3-lobbed, 4-denticular.	Categorical	1-4
Structural features	Presence/absence of collar	0-absence, 1-presence.	Binary	0-1
	Shell covering	1-organic, 2-xenosomes, 3-idiosomes, 4-cleptosomes.	Categorical	1-4
	Presence/absence of internal partitions	0-absence, 1-presence.	Binary	0-1
	Presence/absence of spines or horns	0-absence, 1-presence.	Binary	0-1
Trophic features	Feeding type	1-mixotrophy, 2-bacterivory, 3-predatory	Categorical	1-3

1. Миксотрофия (за счет симбионтных зоохлорелл)
2. Бактериофагия.
3. Каннибализм (поедание других раковинных амёб).

Результат: Функциональные группы на уровне виды

17



Значения функциональных признаков для 7 выделенных групп.

FG	1	2	3	4	5	6	7
n	42	14	65	12	62	39	138
Shell length, μm	145	172	127	134	67	40	77
Shell width, μm	91	131	72	70	97	96	51
Shell depth, μm	59	110	62	51	88	96	41
R1 (shell width / shell length)	0.64	0.80	0.58	0.57	1.74	2.87	0.70
R2 (shell depth / shell width)	0.66	0.83	0.89	0.76	0.92	1.00	0.81
Shell (test) shape	pyriform	NA	pyriform	cylinder	hemisphere	patelliform	ovoid
Aperture length, μm	34	51	29	26	41	28	23
Aperture width, μm	23	44	26	23	35	28	18
R3 (aperture length / shell width)	0.38	0.40	0.43	0.39	0.46	0.29	0.46
R4 (aperture width / aperture length)	0.66	0.83	0.89	0.79	0.86	1.00	0.81
Position of the aperture	straight terminal	straight terminal	straight terminal	NA	shifted ventral	central ventral	straight terminal
Degree of invagination of aperture	absent	absent	absent	absent	slightly	slightly	absent
Aperture rim	curved	NA	NA	curved	NA	straight	NA
Presence/absence of collar	absence	presence	absence	absence	absence	absence	absence
Shell covering	cleptostomes	xenosomes	xenosomes	NA	xenosomes	organic	NA
Presence/absence of internal partitions	absence	absence	absence	absence	absence	absence	absence
Presence/absence of spines or horns	absence	absence	absence	absence	absence	absence	absence
Feeding type	predatory	mixotrophy	bacterivory	bacterivory	bacterivory	bacterivory	bacterivory

Группы 1–2 – крупные каннибалы

Группы 3–5 – среднеразмерные бактериофаги

Группа 6 – эврибионтные таксоны с уплощенной раковиной

Группа 7 – мелкие эврибионтные таксоны

База данных обилий раковинных амеб

Материал исследования

Три биома (тундра, тайга, лесостепь)

Шесть регионов

Два типа субстрата
(минеральные и болотные
почвы)

Образцы собраны в период
2004 по 2024 гг

Всего 320 образцов



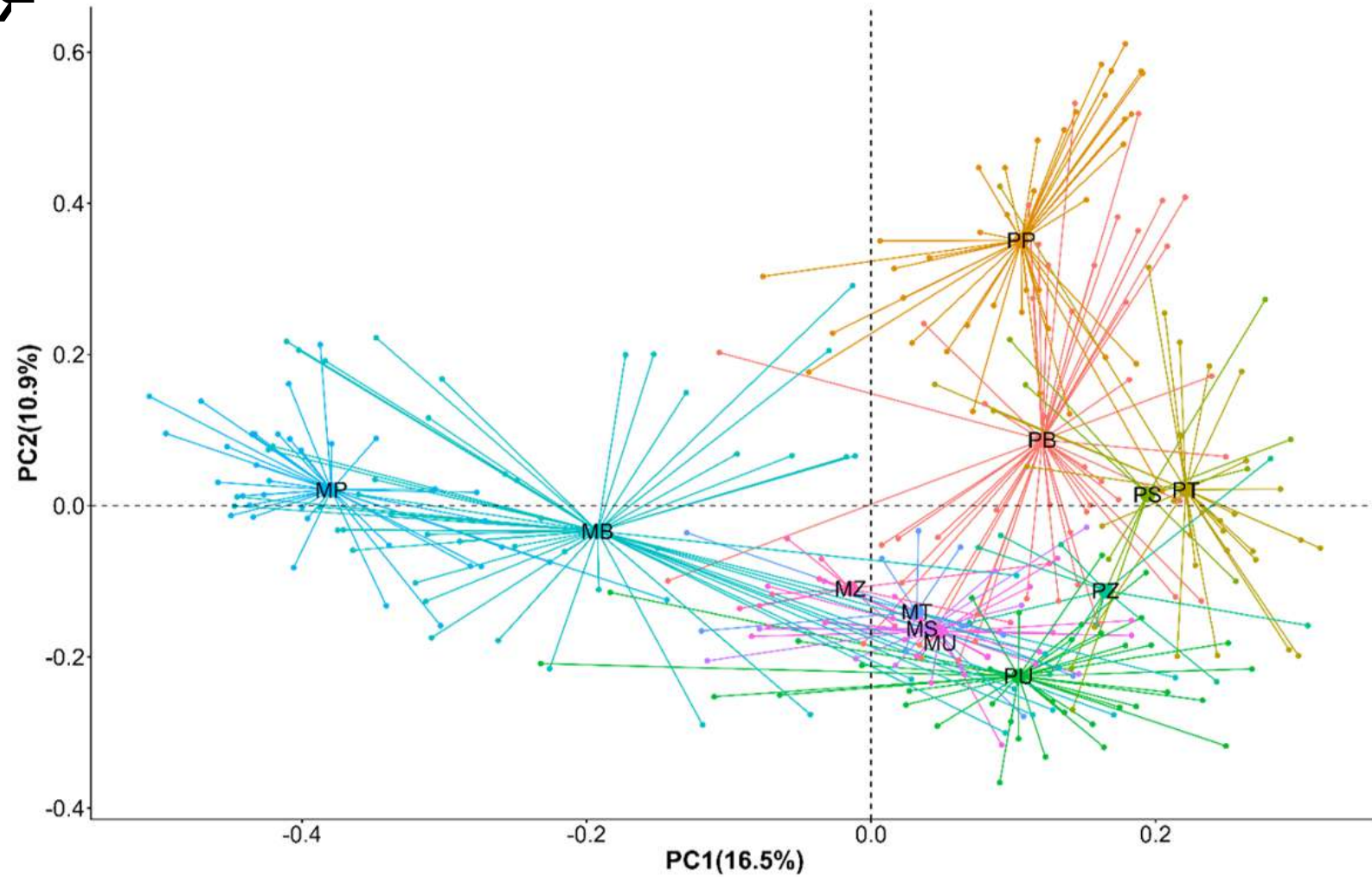
Анализ данных

- Анализ главных компонент (PCA) + перестановочный дисперсионный анализ (PERMANOVA) для анализа видовой структуры.
- **Таксономическое разнообразие:** видовое богатство S , индекса Шеннона $D_1 = \exp(-\sum p_i \cdot \log p_i)$, обратный индекс Симпсона ($D_2 = 1/\sum p_i^2$), индекс выравненности Пиелу ($E = -\sum p_i \cdot \log p_i / \ln(S)$), p_i — относительное обилие i -го вида.
- **Функциональное разнообразие:** индексы функционального богатства (FRic), функциональной выравненности (FEve) и функциональной дивергенции (FDiv).
- **Нуль модели для определения вклада стохастических и детерминистических процессов в формирование функциональной структуры:**
 1. для всех видов в сообществе рассчитывали среднее попарное расстояние (MPD - mean pairwise distances) на основании их функциональных признаков,
 2. затем вычисляли стандартизированный размер эффекта (SES - standardized effect size), который показывает, насколько наблюдаемое значение MPD отклоняется от ожидаемого при случайном формировании сообщества (SES.MPD).

Тестирование эффектов типа почвы, регионов и их взаимодействия на все метрики разнообразия сообщества проводили с использованием непараметрического рангового критерия Шейнера–Рэя–Хэйра. Попарные сравнения проводили с помощью простого рангового критерия Уилкоксона.

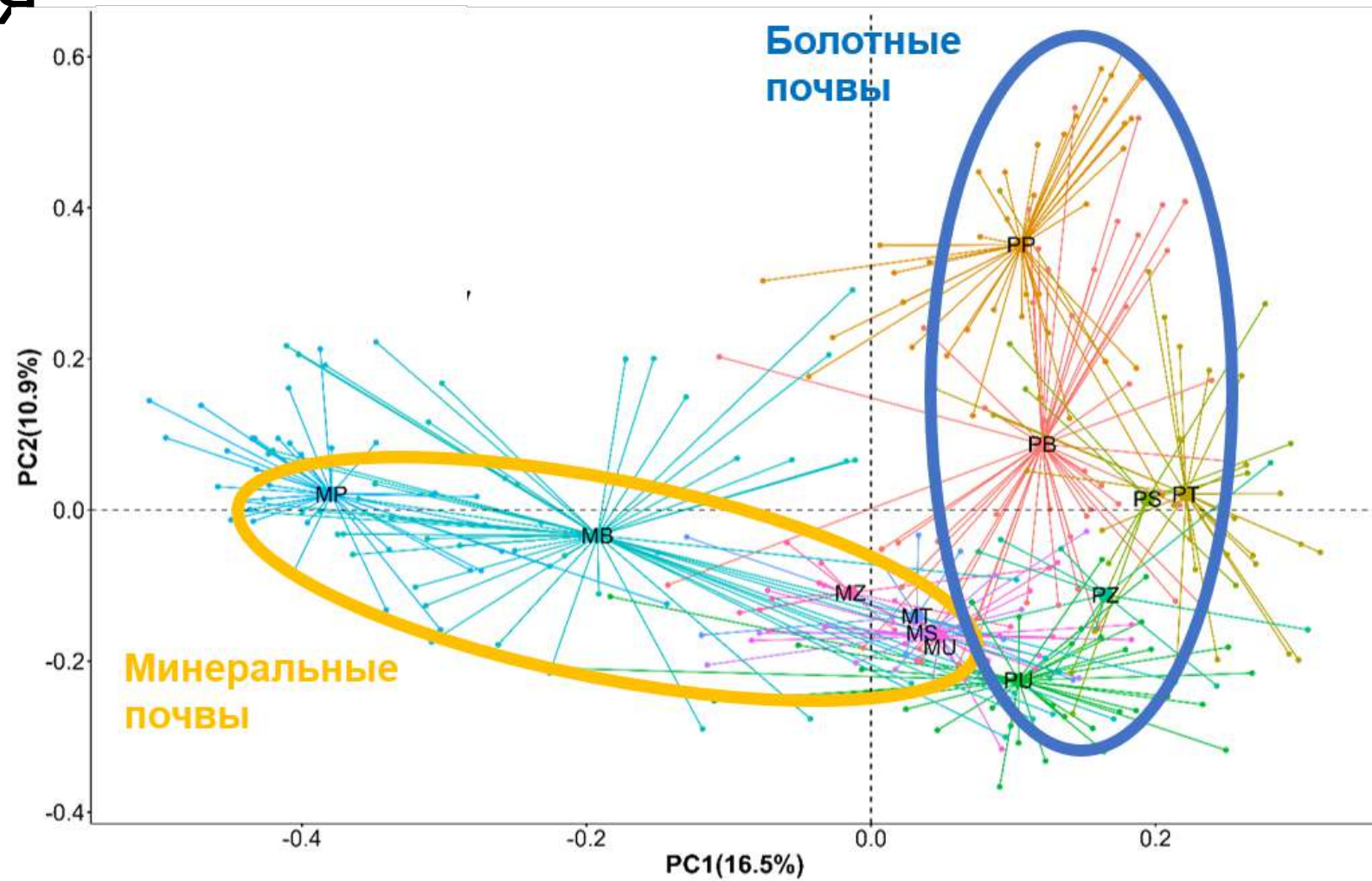
Результаты: таксономическая структура

1. Первые две главные компоненты объясняют более 25% общей дисперсии обилий таксонов в сообществах.



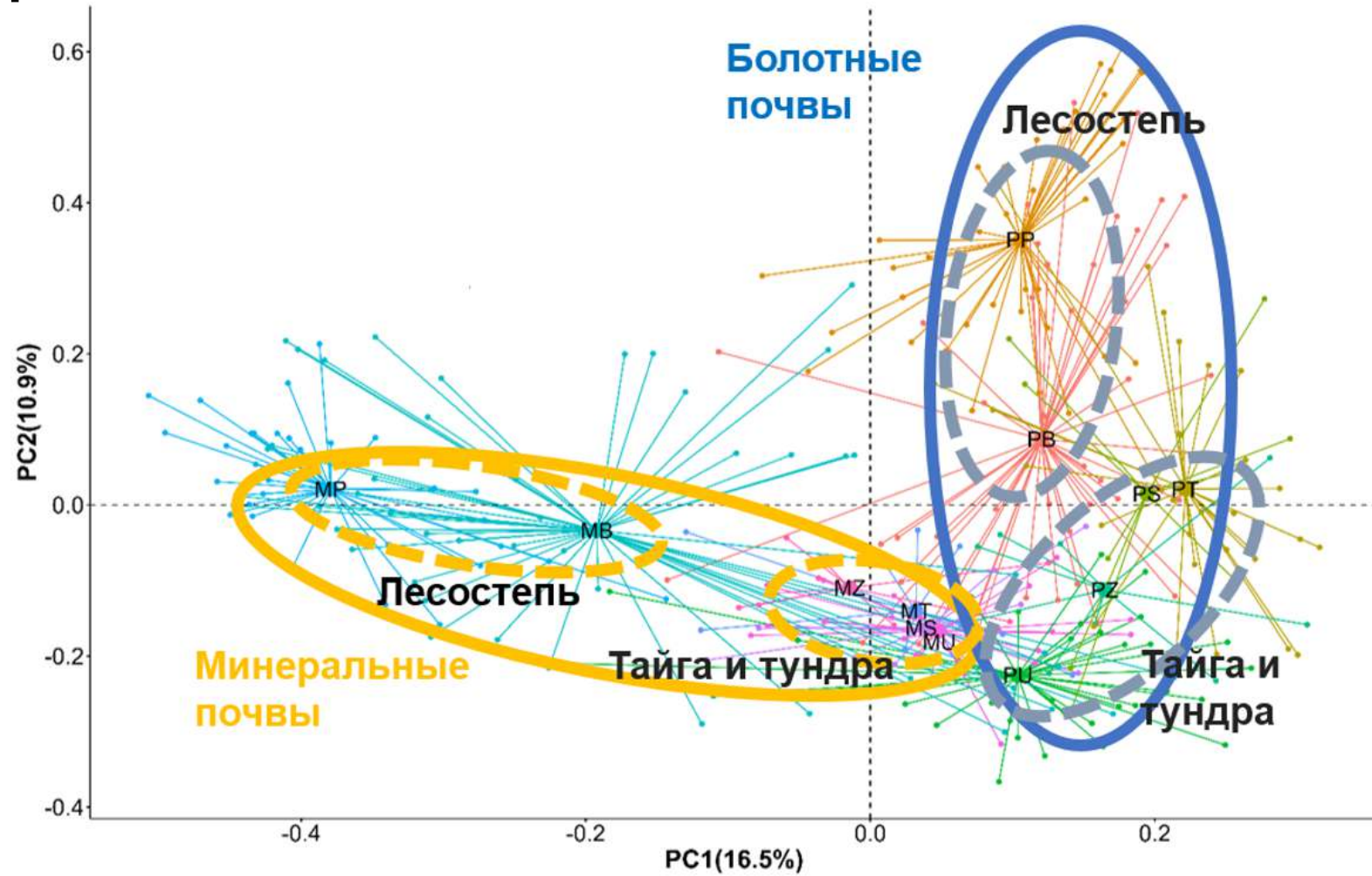
Результаты: таксономическая структура

1. Первые две главные компоненты объясняют более 25% общей дисперсии обилий таксонов в сообществах.
2. Основные отличия связаны с типом почв.



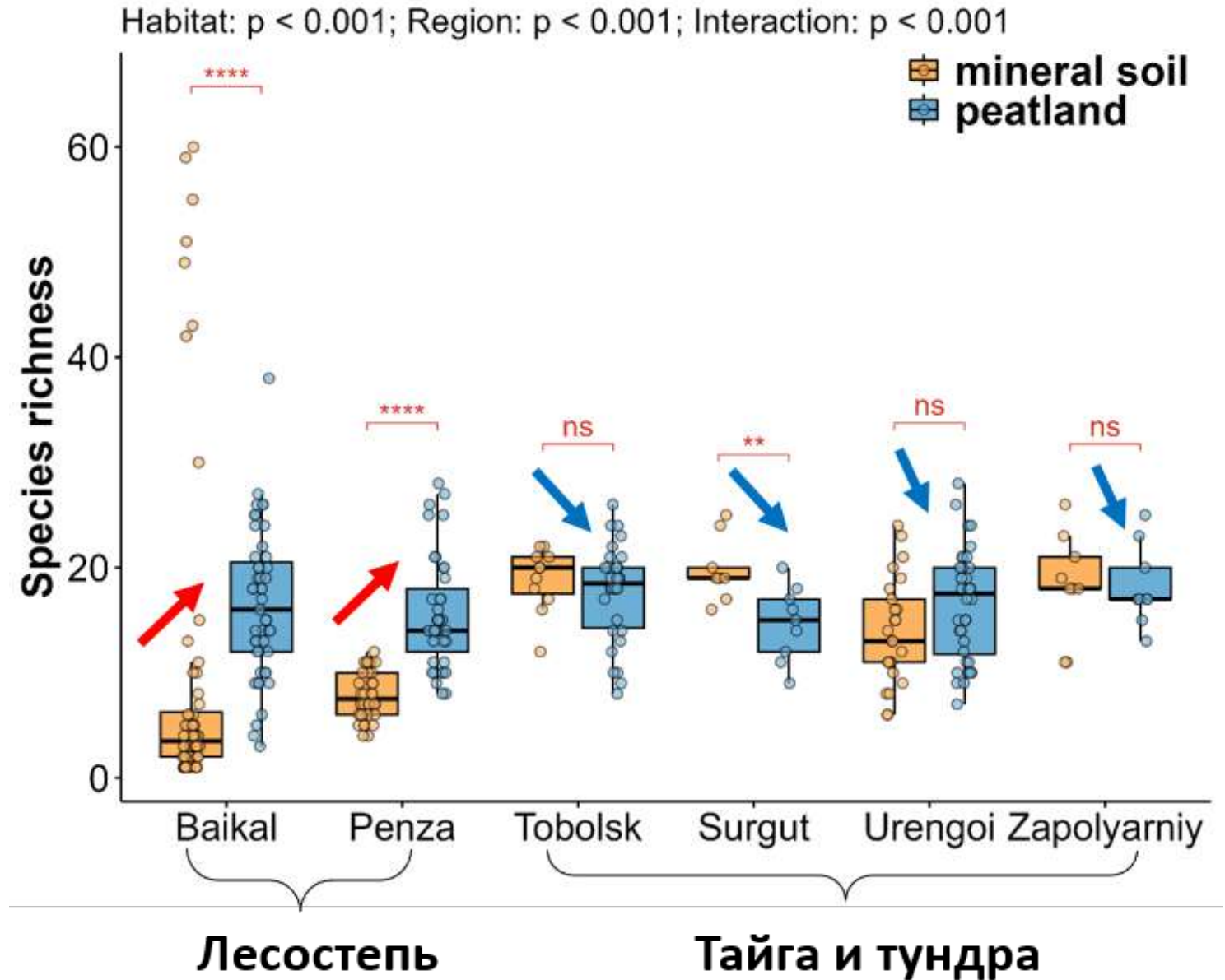
Результаты: таксономическая структура

1. Первые две главные компоненты объясняют более 25% общей дисперсии обилий таксонов в сообществах.
2. Основные отличия связаны с типом почв
3. При этом, региональные отличия для каждого типа почв были специфическими (взаимодействие: $p < 0.001$, $R^2 = 10\%$)



Результаты: таксономическое разнообразие

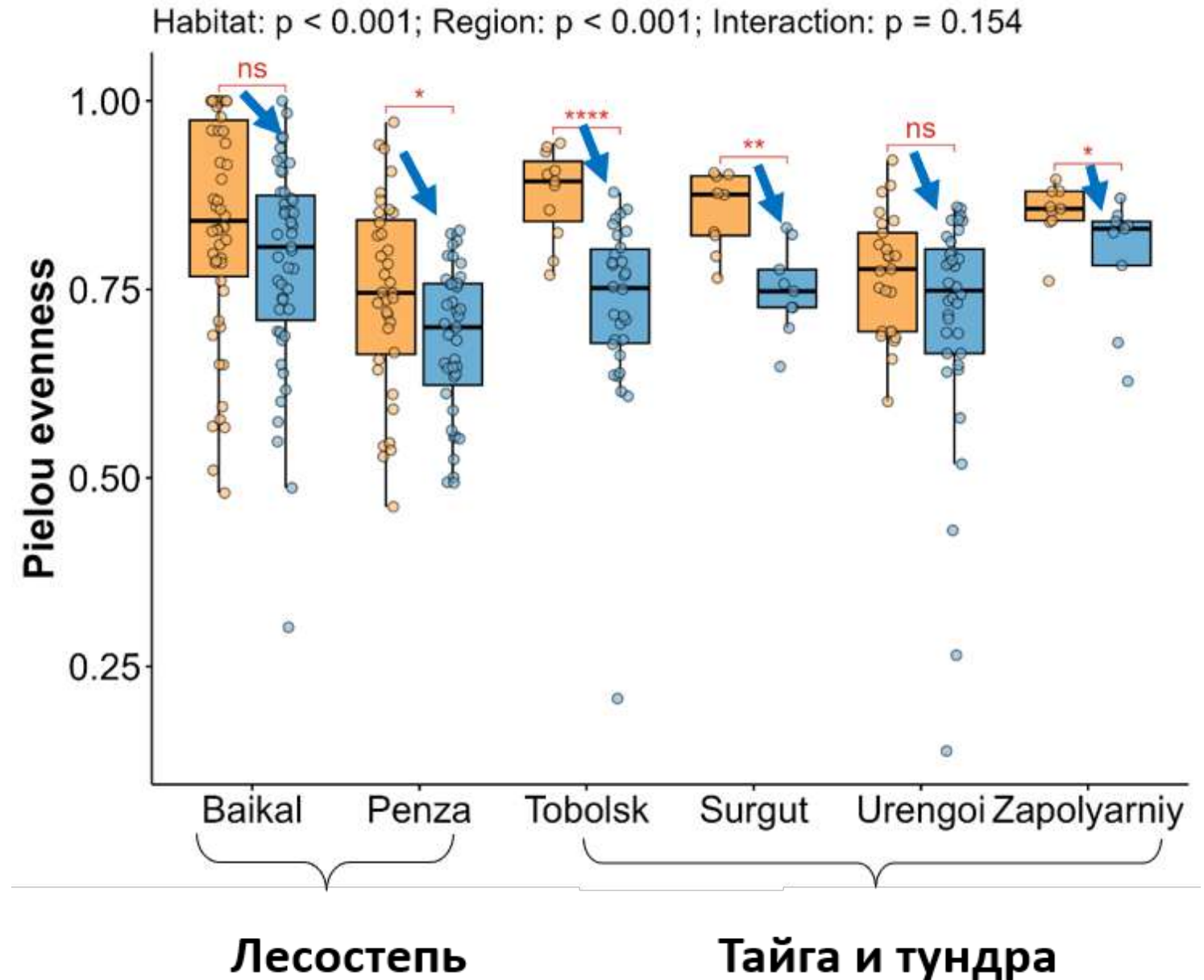
- В лесостепи число таксонов выше в болотных почвах, по сравнению с минеральными, тогда как тайге и тундре ниже или не отличается.



(****) - $p < 0.0001$, (***) - $0.0001 < p < 0.001$, (**) - $0.001 < p < 0.01$, (*) - $0.01 < p < 0.05$, (ns) - $p > 0.05$.

Результаты: таксономическое разнообразие

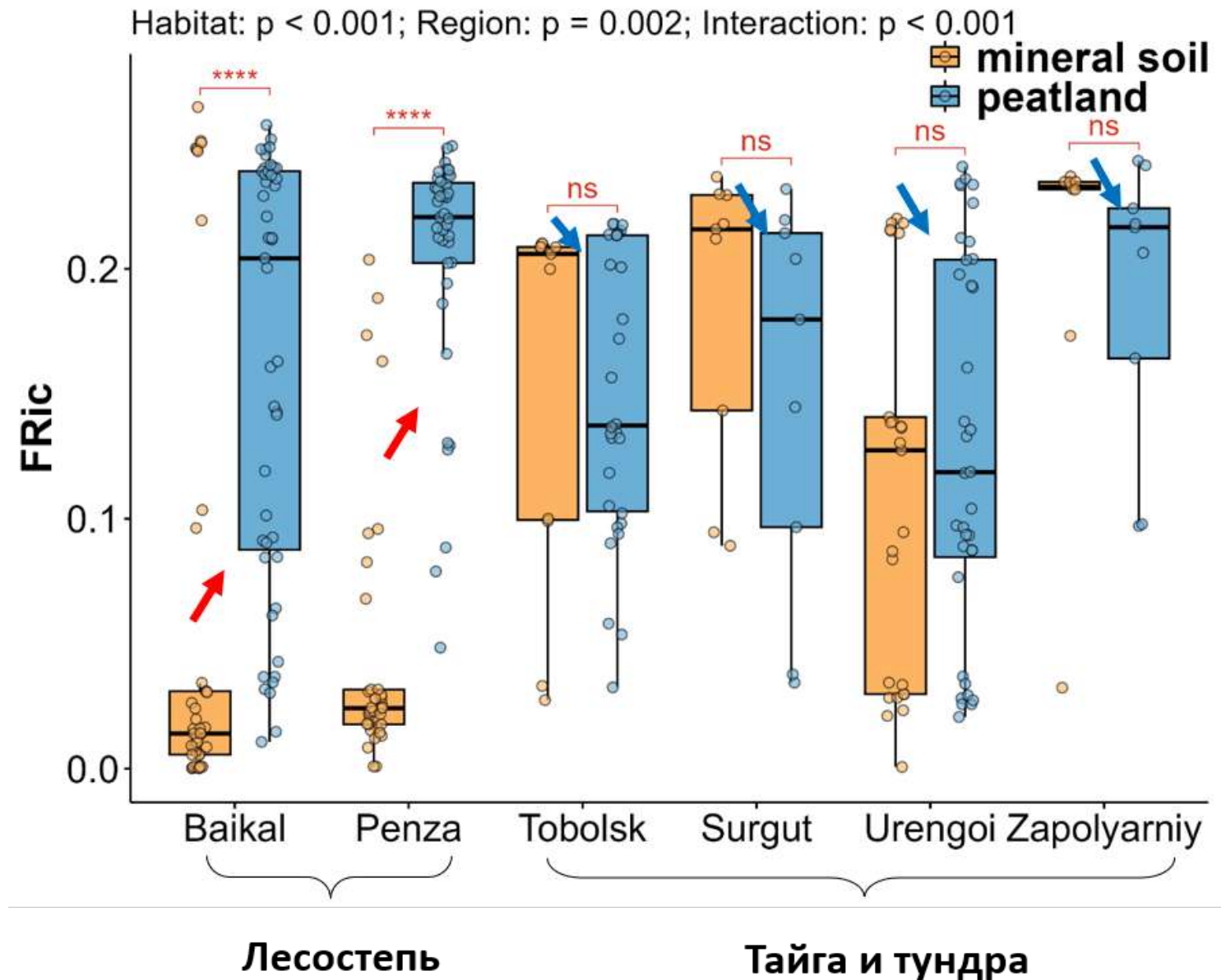
- Во всех регионах выравненность таксономических обилий ниже в болотных почвах по сравнению с минеральными.



(****) - $p < 0.0001$, (***) - $0.0001 < p < 0.001$, (**) - $0.001 < p < 0.01$, (*) - $0.01 < p < 0.05$, (ns) - $p > 0.05$.

Результаты: функционально е разнообразие

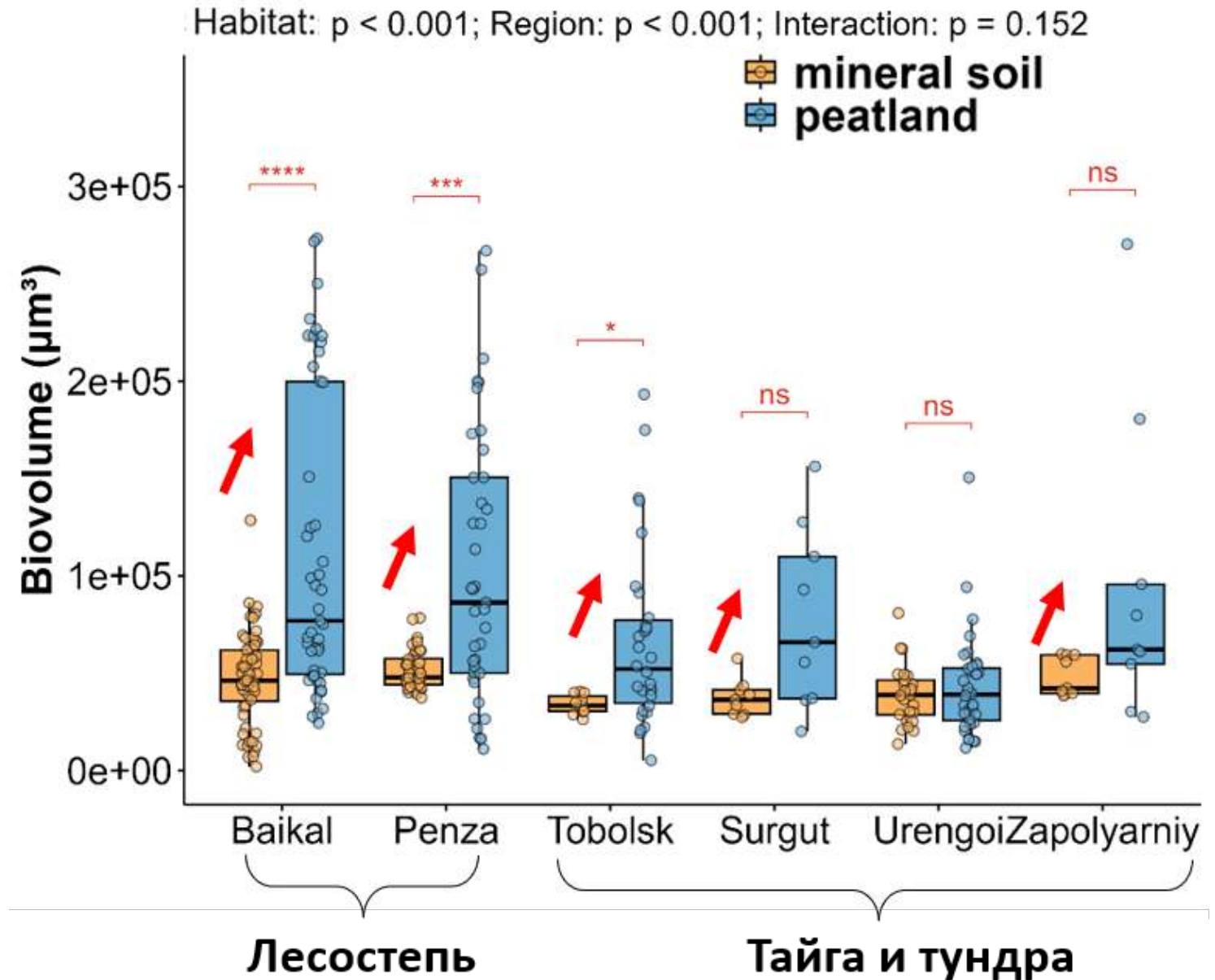
- В лесостепи более высокое функциональное разнообразие сообществ раковинных амеб отмечается в болотах.
- В тайге и тундре функциональное разнообразие в целом выше в минеральных почвах.



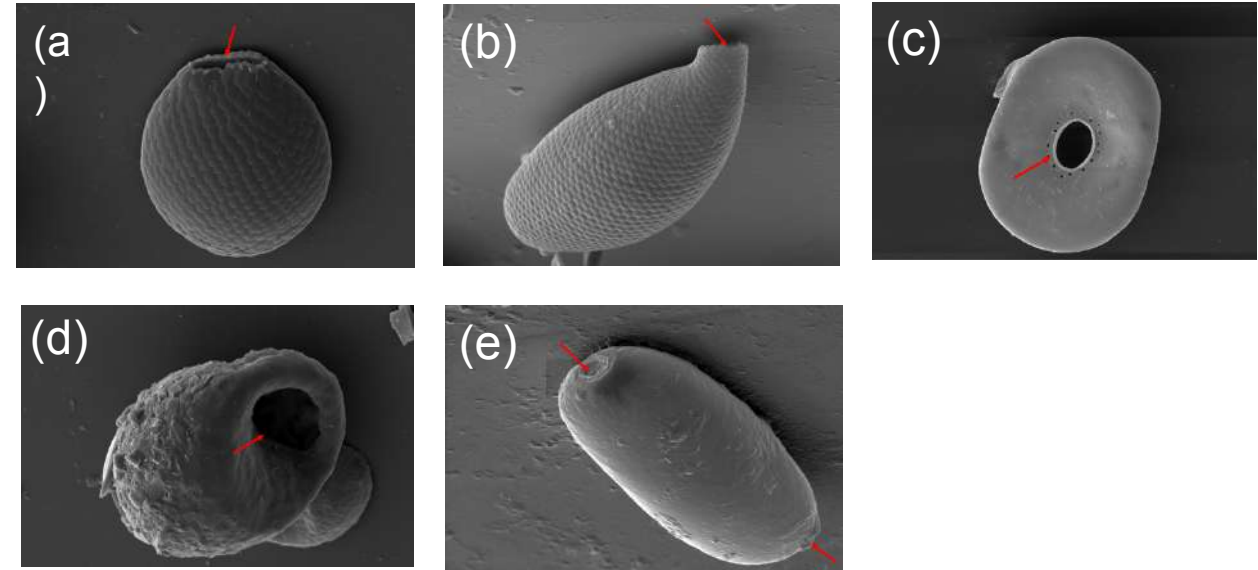
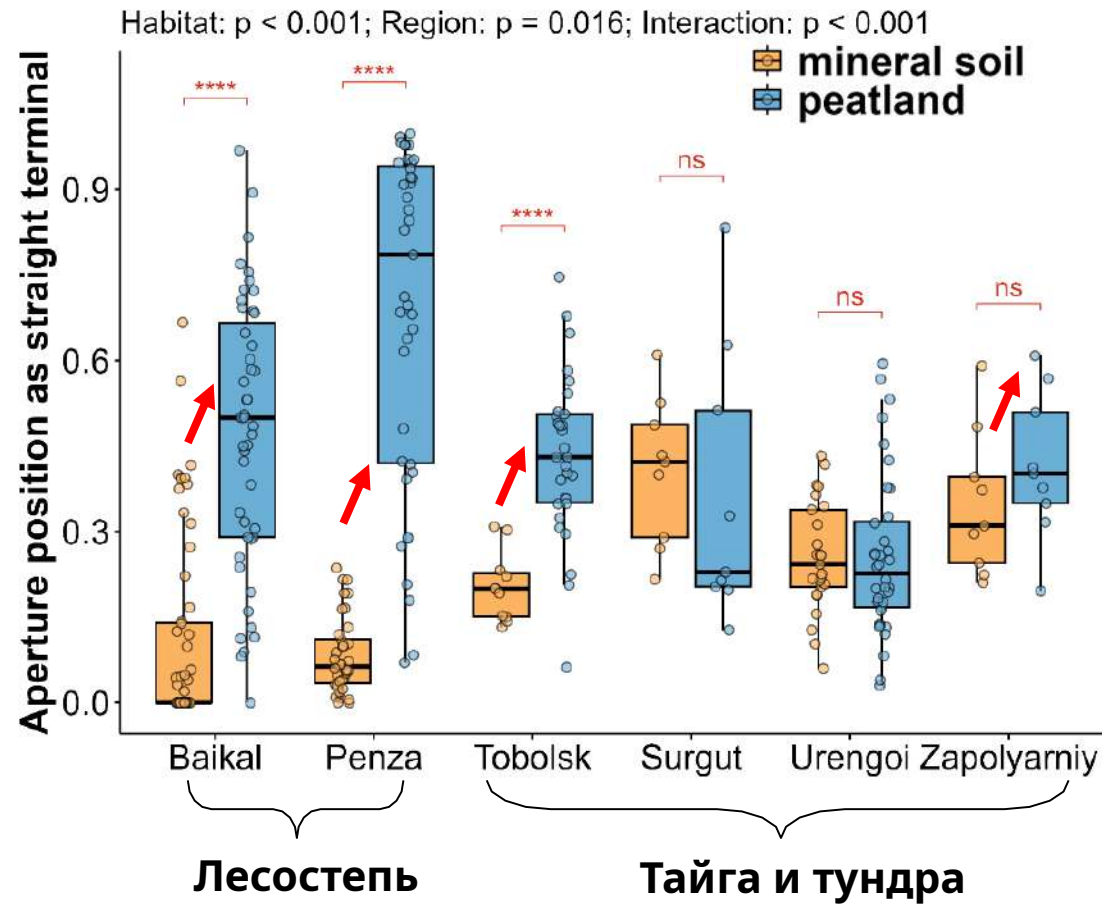
(****) - $p < 0.0001$, (***) - $0.0001 < p < 0.001$, (**) - $0.001 < p < 0.01$, (*) - $0.01 < p < 0.05$, (ns) - $p > 0.05$.

Результаты: объем раковин

- Во всех регионах сообщества раковинных амёб, обитающих в сфагнуме, как правило, имеют больший биологический объём.



Результаты: функциональное разнообразие

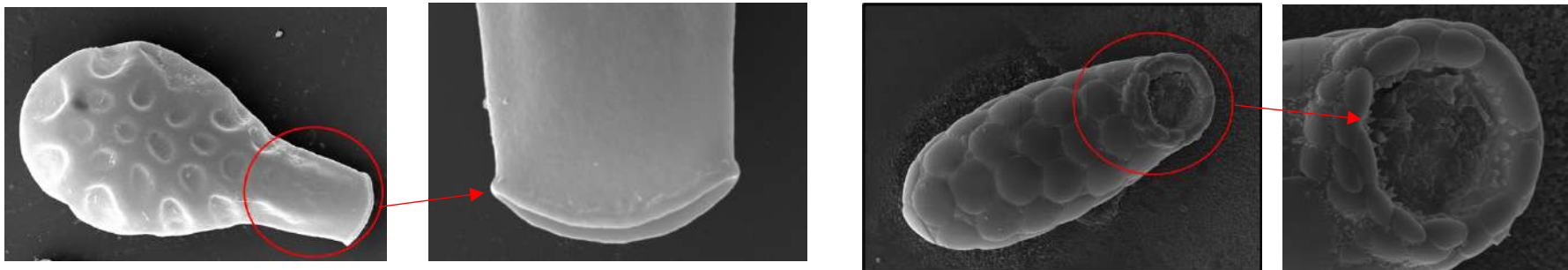


Положение устья:

- (a) терминальное;
- (b) субтерминальное;
- (c) вентральное центральное;
- (d) вентральное эксцентричное;
- (e) амфистом.

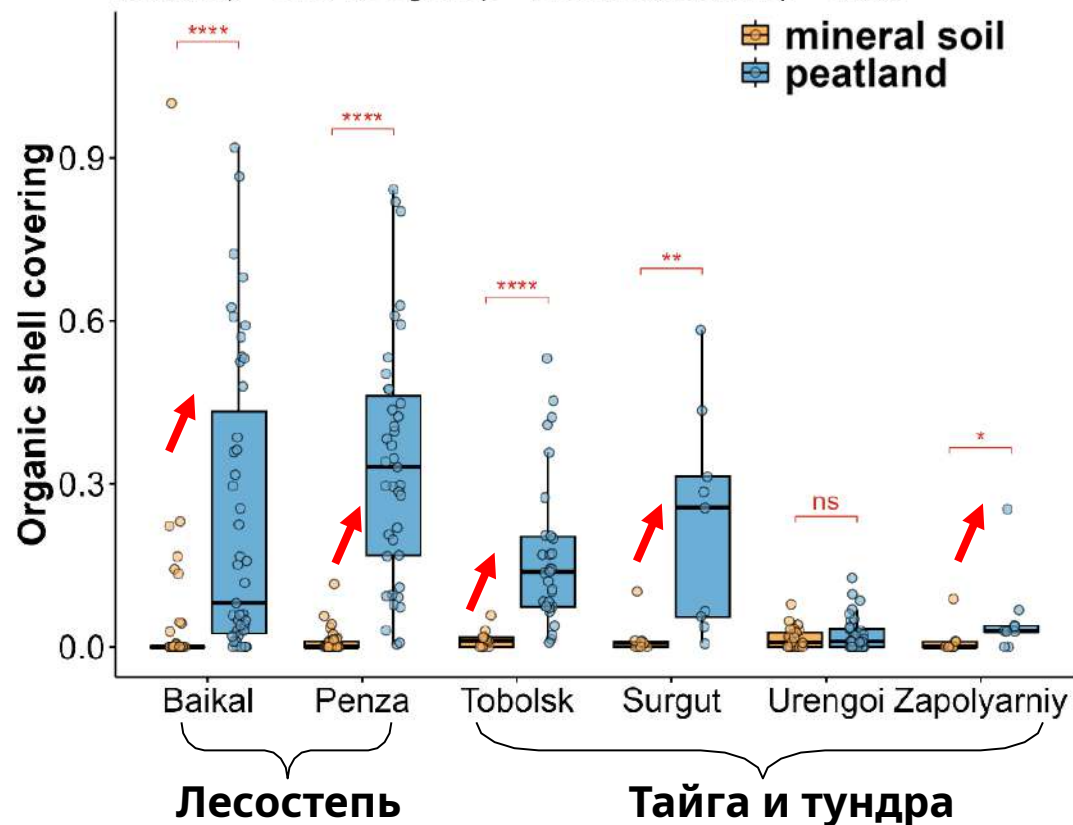
■ Во всех регионах раковины с терминальным устьем, как правило, преобладают в болотных почвах.

Результаты: функциональное разнообразие

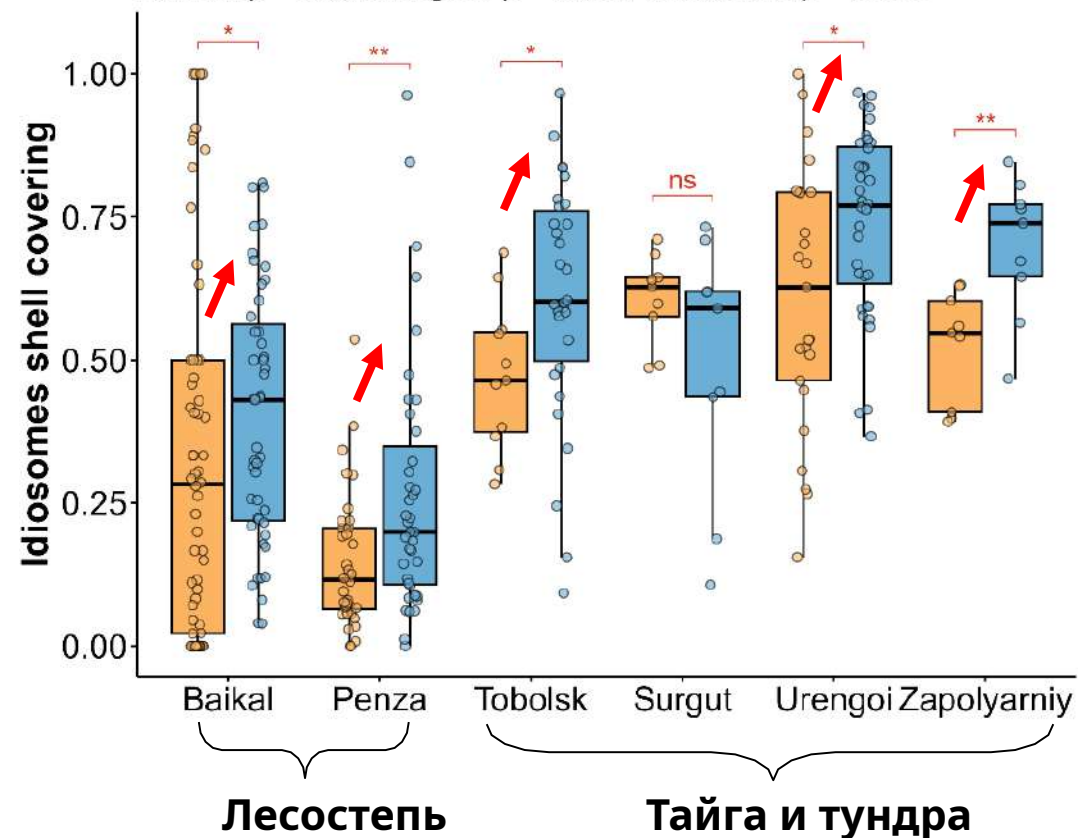


- Органические и идиосомные раковины, как правило, преобладают в болотных биотопах.

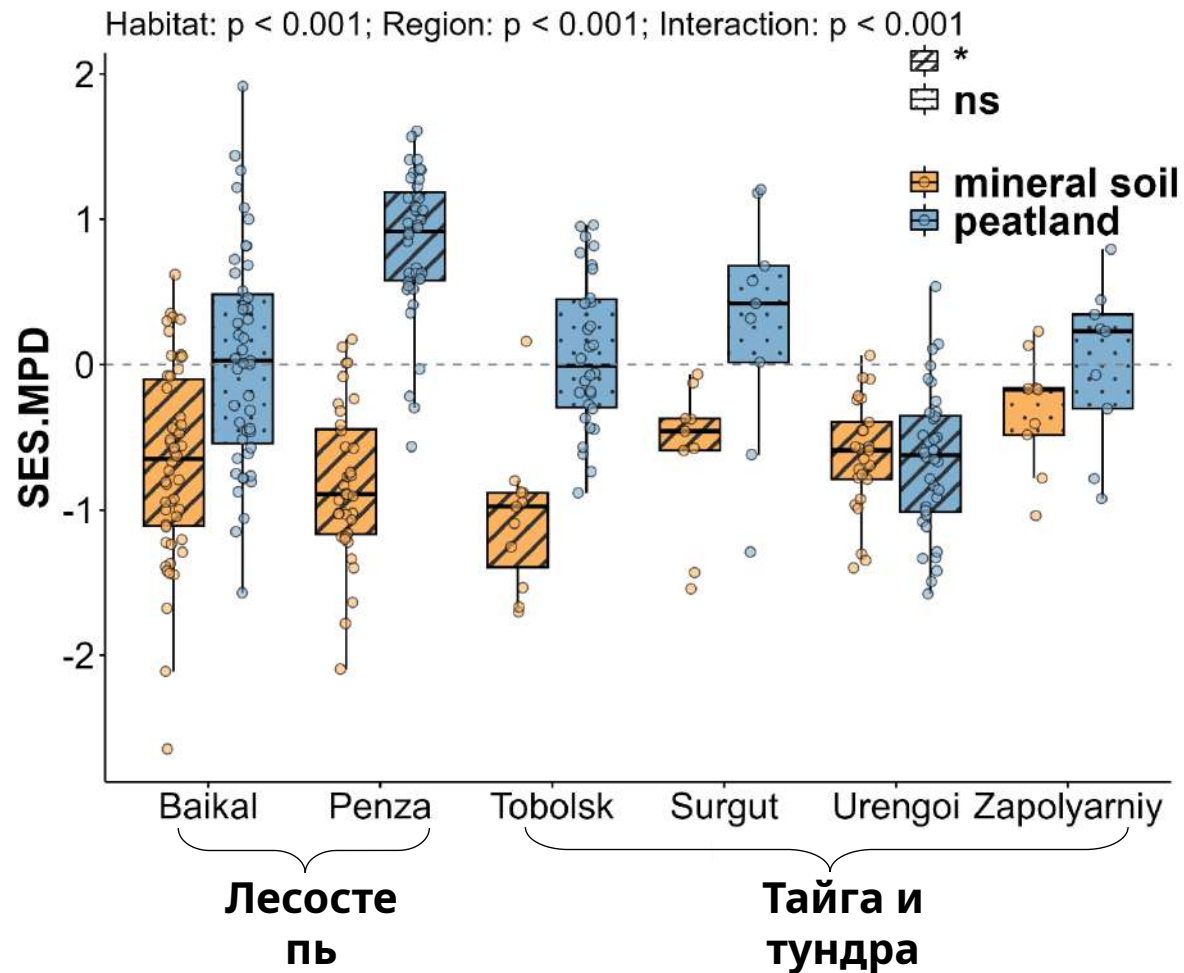
Habitat: $p < 0.001$; Region: $p < 0.001$; Interaction: $p < 0.001$



Habitat: $p = 0.001$; Region: $p < 0.001$; Interaction: $p = 0.639$



Результаты: нуль модельный анализ



SES.MPD > 0

- В болотных почвах наблюдается функциональное рассеивание, т.е. совместная встречаемость функционально далеких видов (детерминистический процесс – избегание конкуренции).

SES.MPD = 0

Случайный набор функциональных признаков в сообществе.

SES.MPD < 0

- В минеральных почвах отмечается функциональная кластеризацию: в сообществе преобладают функционально близки виды (детерминистический процесс - отбор средой видов с определёнными набором признаков).

Штриховка прямоугольника показывает значимость отклонения от нуля.

Заключение

- Основным фактором, определяющим структурно-функциональные отличия сообществ раковинных амеб в болотных и минеральных почвах, являются региональные особенности режима увлажнения минеральных почв.
- Для болотных почв характерны более крупные таксоны с органическими или идиосомными раковинками удлиненной формы. В минеральных почвах преобладают более мелкие таксоны, покрытые экзогенными кроющими элементами (ксеносомами) с устьем, расположенным в центре вентральной поверхности.
- Ведущим механизмом формирования функциональной структуры сообществ раковинных амеб в минеральных почвах является абиотический фильтр (отбор среды), тогда как в болотных почвах большую роль играют межвидовых взаимодействий (избегание конкуренции) и стохастические процессы.

Благодарности



**Су
Цзяхуэй**



**Н.Г.
Мазей**



**А.А.
Комаров**



**В.А.
Чернышов**



В.Н. ЯКИМОВ



Ю.А. Мазей



Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 24-14-00065