



Сукцессия сообществ почвообитающих раковинных амёб в прогляциальных зонах Центрального Кавказа

А.Д. Чулей¹, Н. Г. Мазей¹, О.Л. Макарова², И.С. Бушуева³, А.Н. Цыганов¹, Ю.А. Мазей¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва 1199912

²Институту проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова, Старомонетный переулок, 29, Москва 119071

³ Институт географии РАН, Старомонетный пер., 29, стр. 4, Москва, 119017

Artem957148@yandex.

Москва, 2024

- В период с 2000 по 2020 год общая площадь ледников на Кавказе сократилась на 23% (Tielidze et al., 2022).
- Степень трансформации биологического разнообразия в ходе климатических изменений существенно зависит от возможности распространения организмов. При этом информации о пространственном расселении микроорганизмов недостаточно для построения релевантных прогностических моделей динамики горных экосистем.

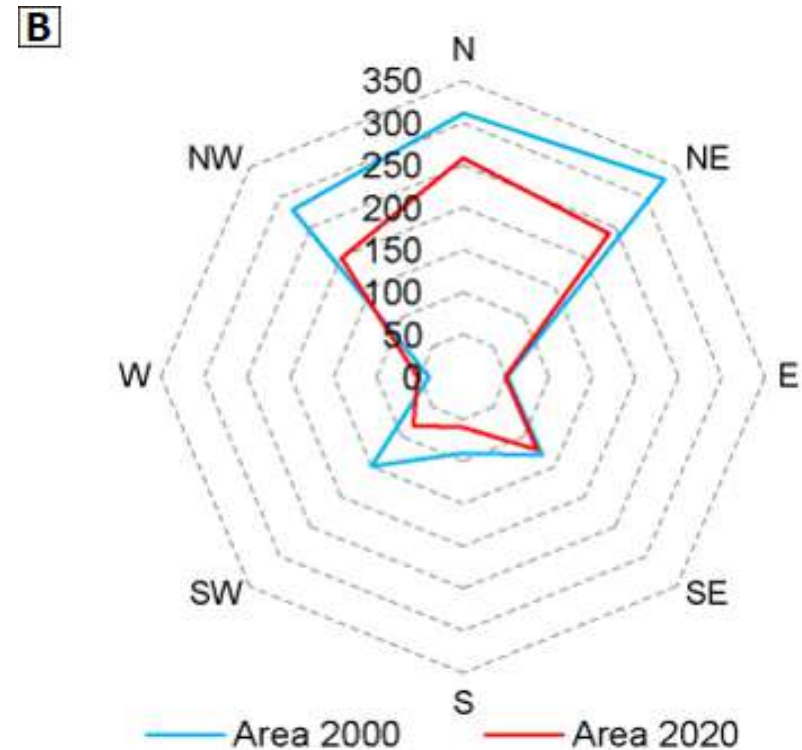
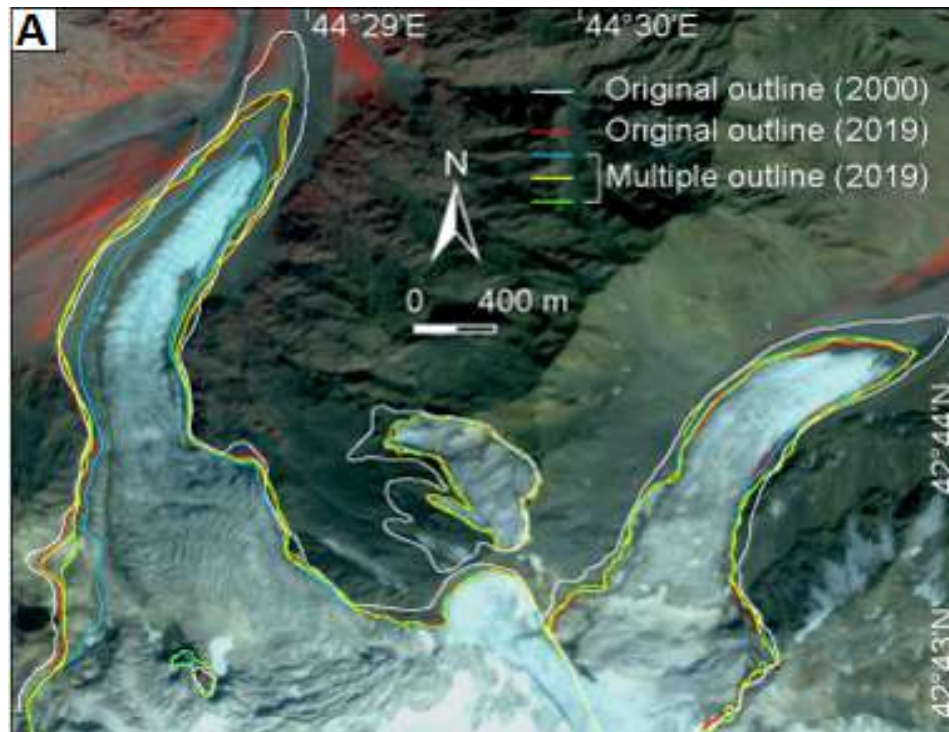


Рис. 1. Спутниковый снимок (а) и карта (б) динамики изменения ледового покрова на Кавказе (Tielidze et al., 2022)

Раковинные амёбы

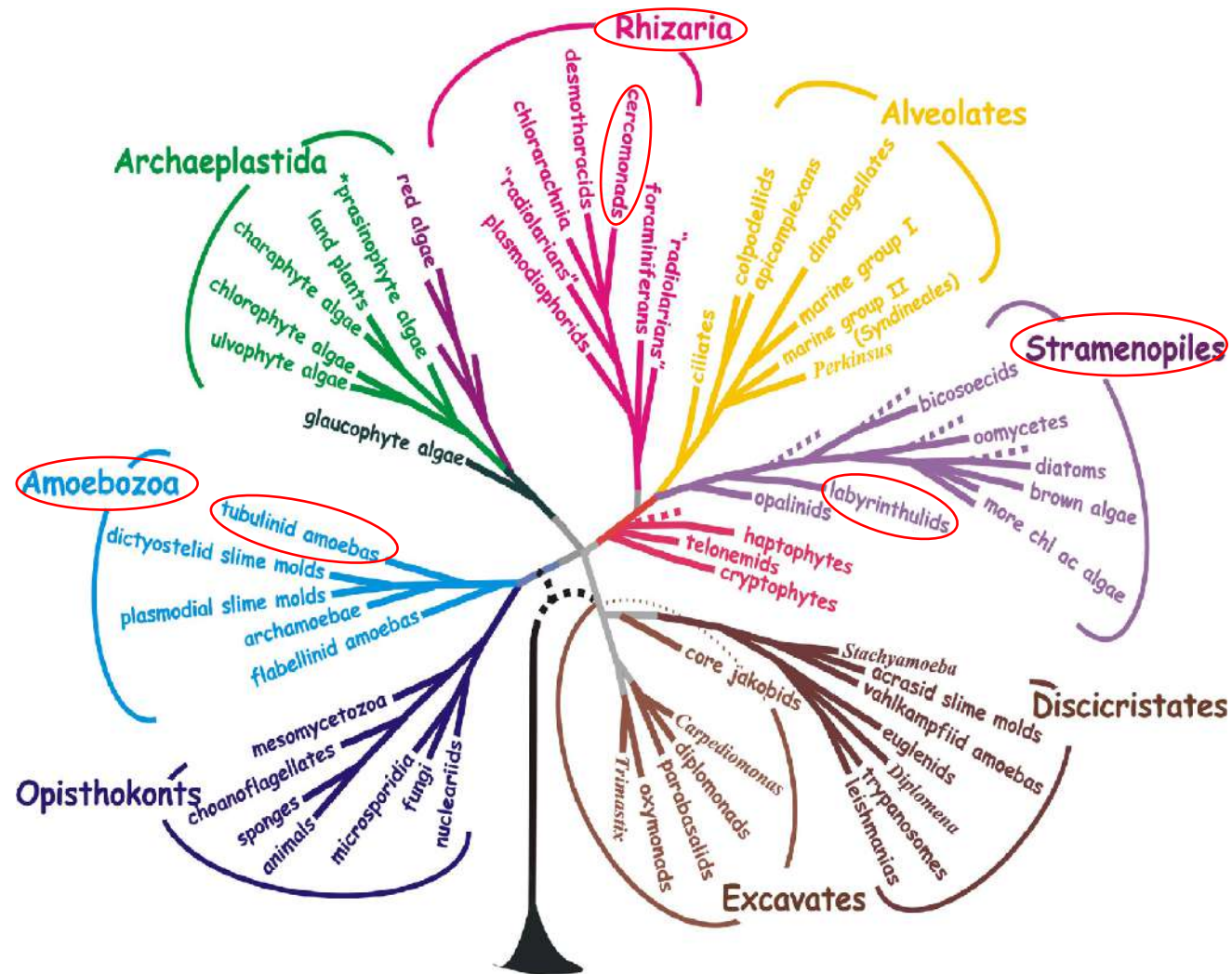


Рис. 2. Филогенетическое дерево эукариот

Раковинные амёбы

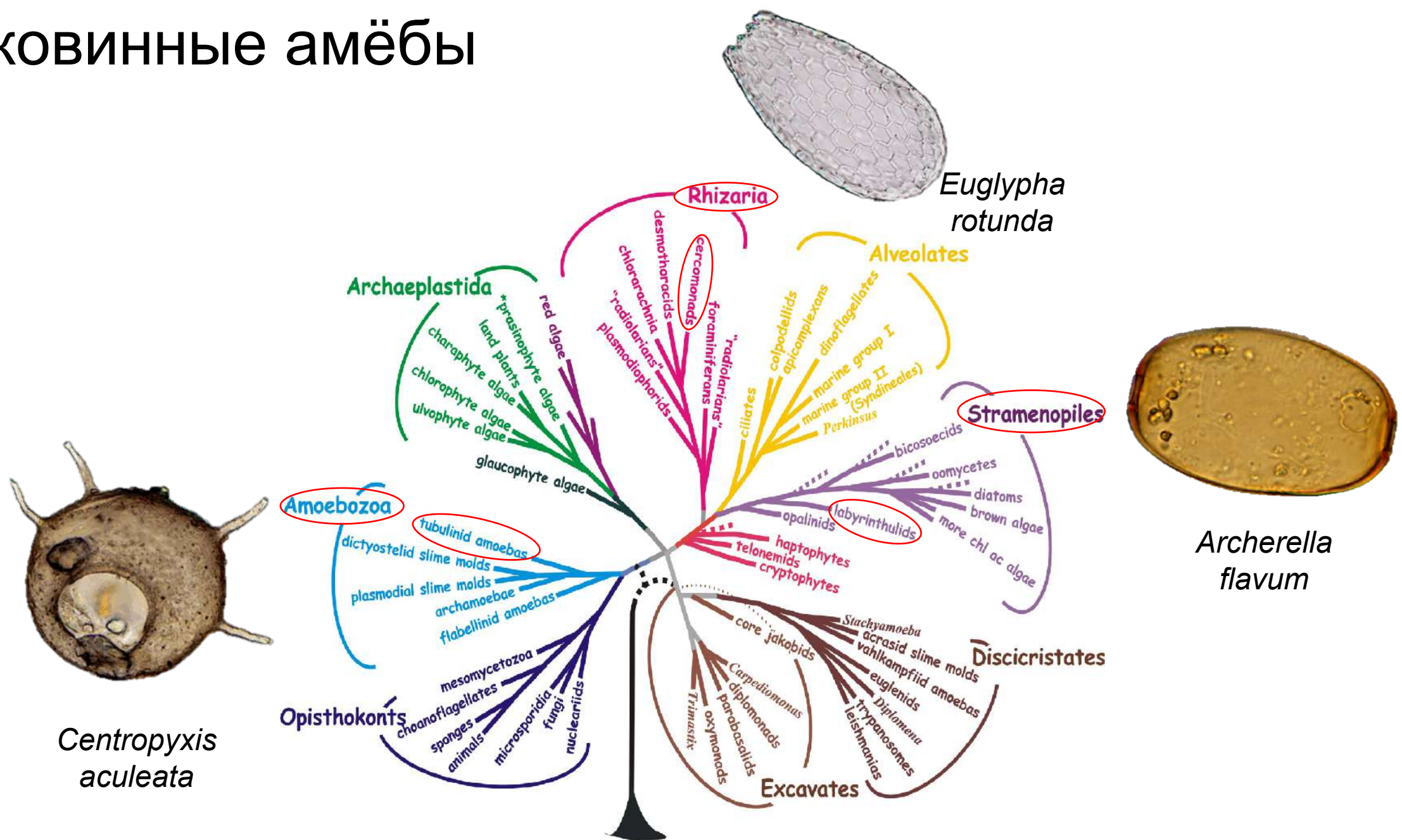


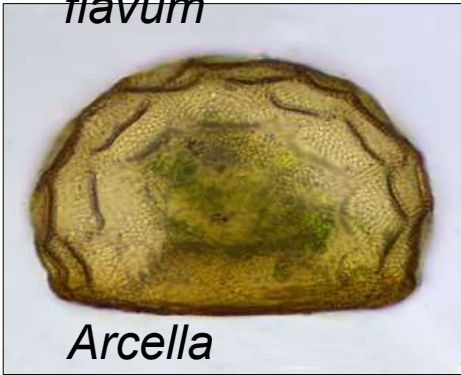
Рис. 2. Филогенетическое дерево эукариот

Разнообразие раковинок

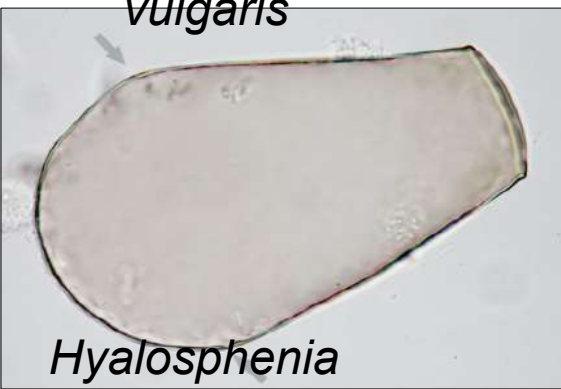
- Органическая



*Archerella
flavum*

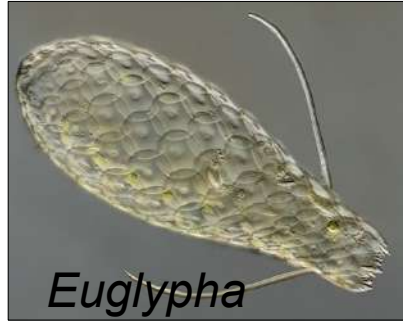


*Arcella
vulgaris*



Hyalosphenia

- Минеральная с
идиосомами



*Euglypha
filifera*



*Nebela
tinctoria*

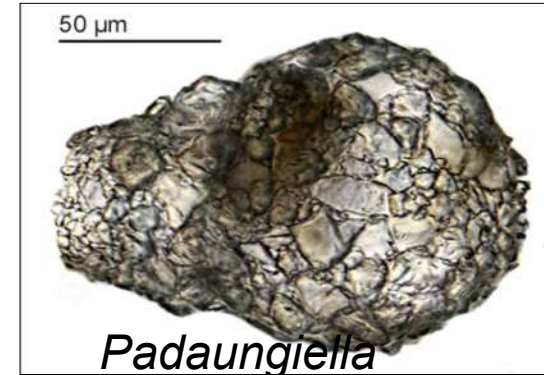


Quadrullela

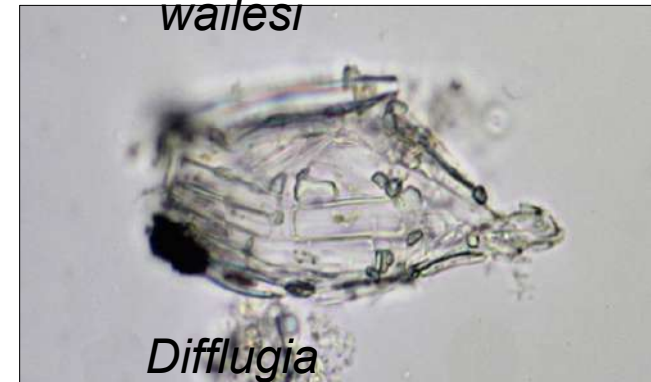
- Минеральная с
ксеносомами



Centropyxis eurystoma



*Padaungiella
wailesi*



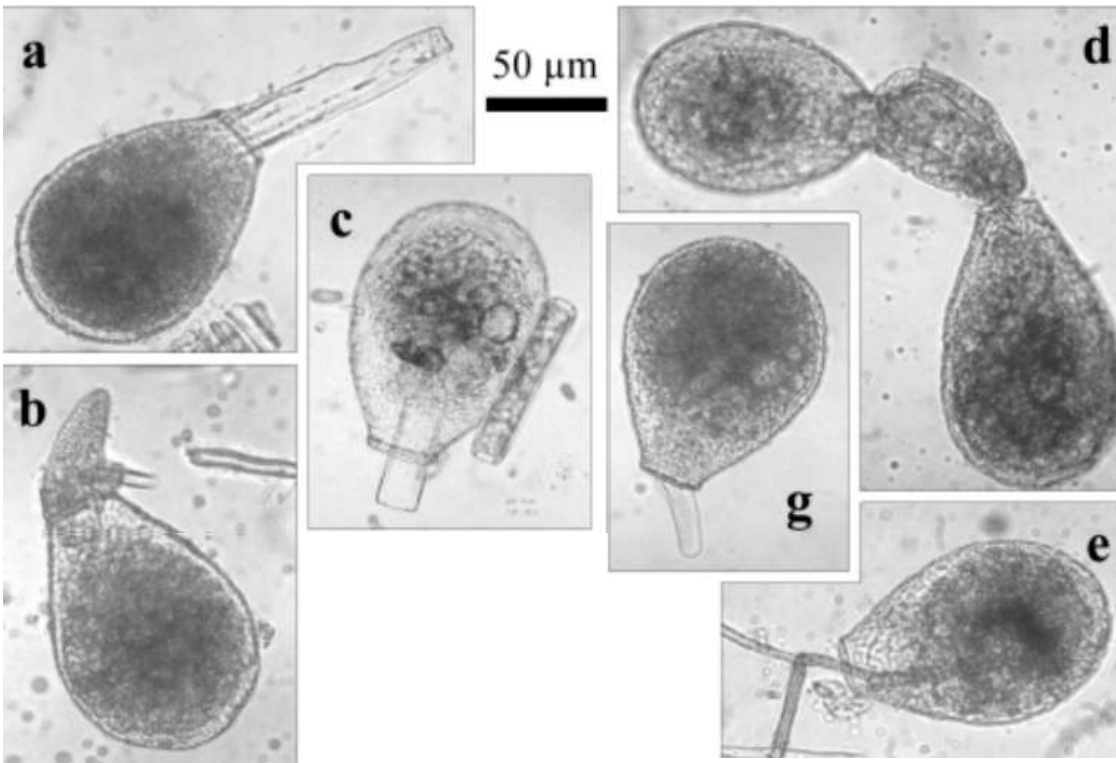
Diffugia

Раковинные амёбы в природных экосистемах



Рис. 3. Распределение раковинных амёб в рельефе в зависимости от микроусловий среды болотной экосистемы (Marcisz et al., 2020)

Питание



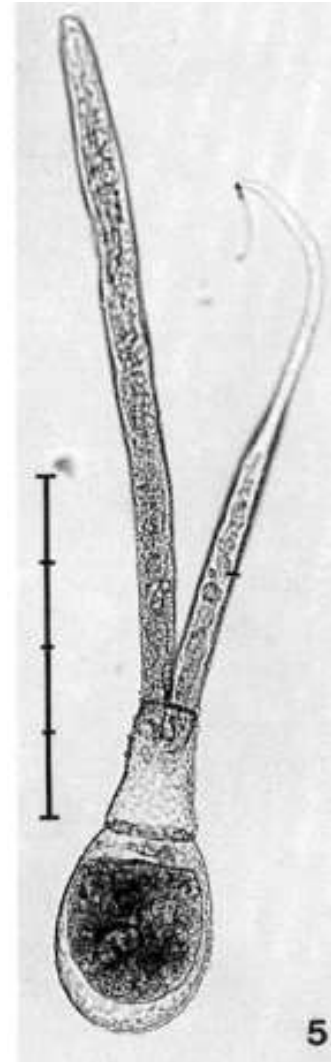
Nebelida поедает: а – растительные остатки, б – коловраток, с – диатомовых, д – инфузорий, е – грибной мицелий. (Gilbert and Mitchell, 2003)



Archerella flavum с эндосимбионтами



Difflugia с встроенными раковинками *Euglypha* sp.



Hyalosphenida поедает нематоду (Yeates and Foissner, 1995)

Цель: выявить закономерности сукцессионной динамики видового богатства, разнообразия и структуры сообществ раковинных амёб в прогляциальных зонах ледников Цей и Кашкаташ.

Задачи:

- Определить время заселения и формирования устойчивых сообществ раковинными амёбами освобождающихся от ледника территорий;
- Выявить видовую структуру и разнообразие сообществ раковинных амёб в приледниковых зонах;
- Выявить механизмы сукцессии сообществ раковинных амёб, определить роль стохастических и детерминированных факторов.



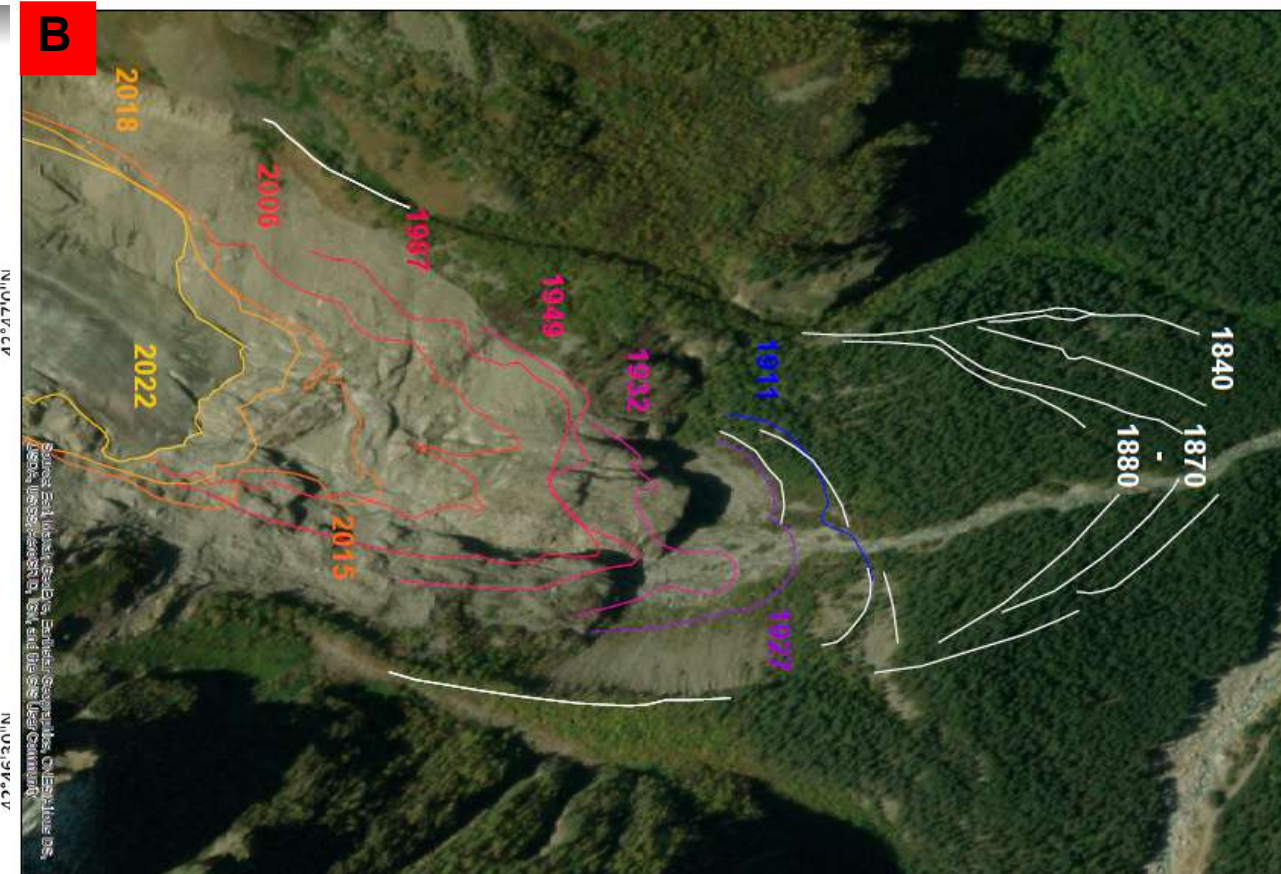
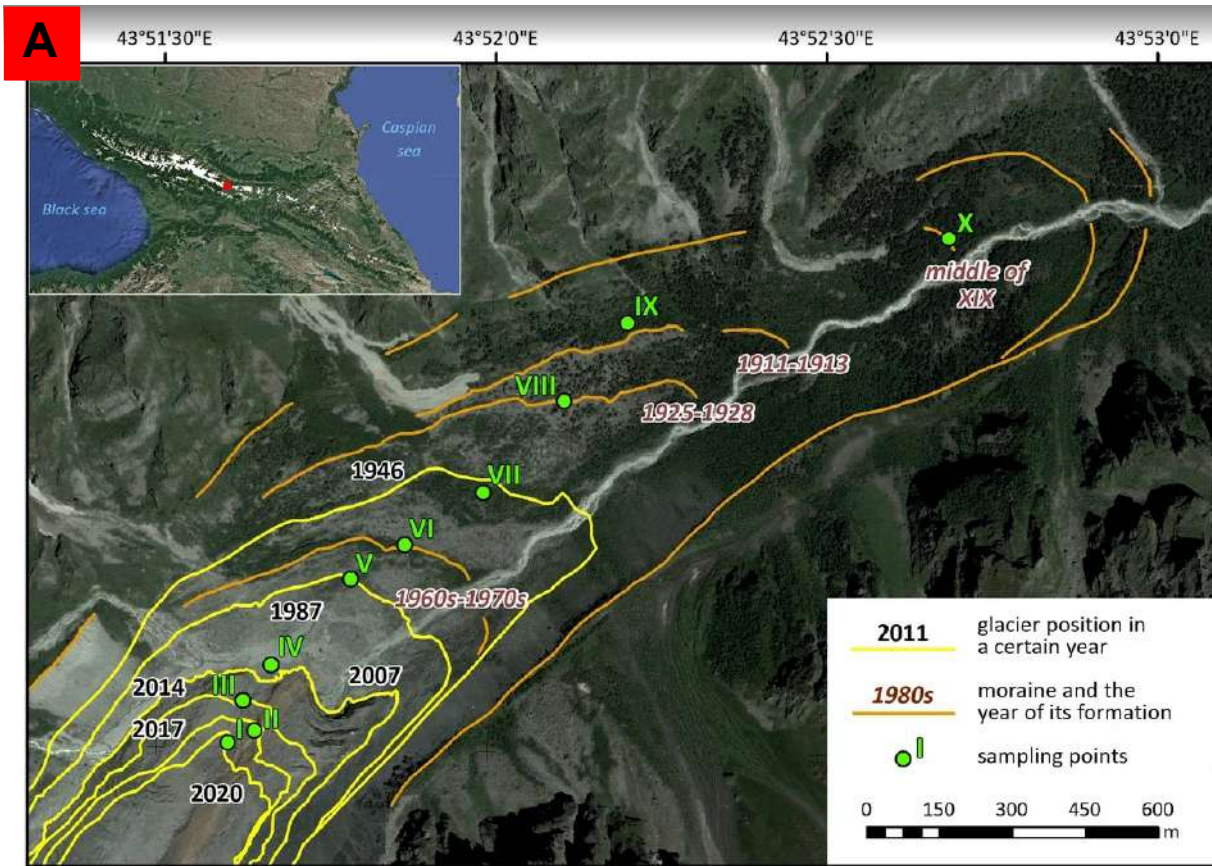


Рис. 4. Точки отбора образцов – Цейский ледник (А), Кашкаташский ледник (В)

Регион исследования

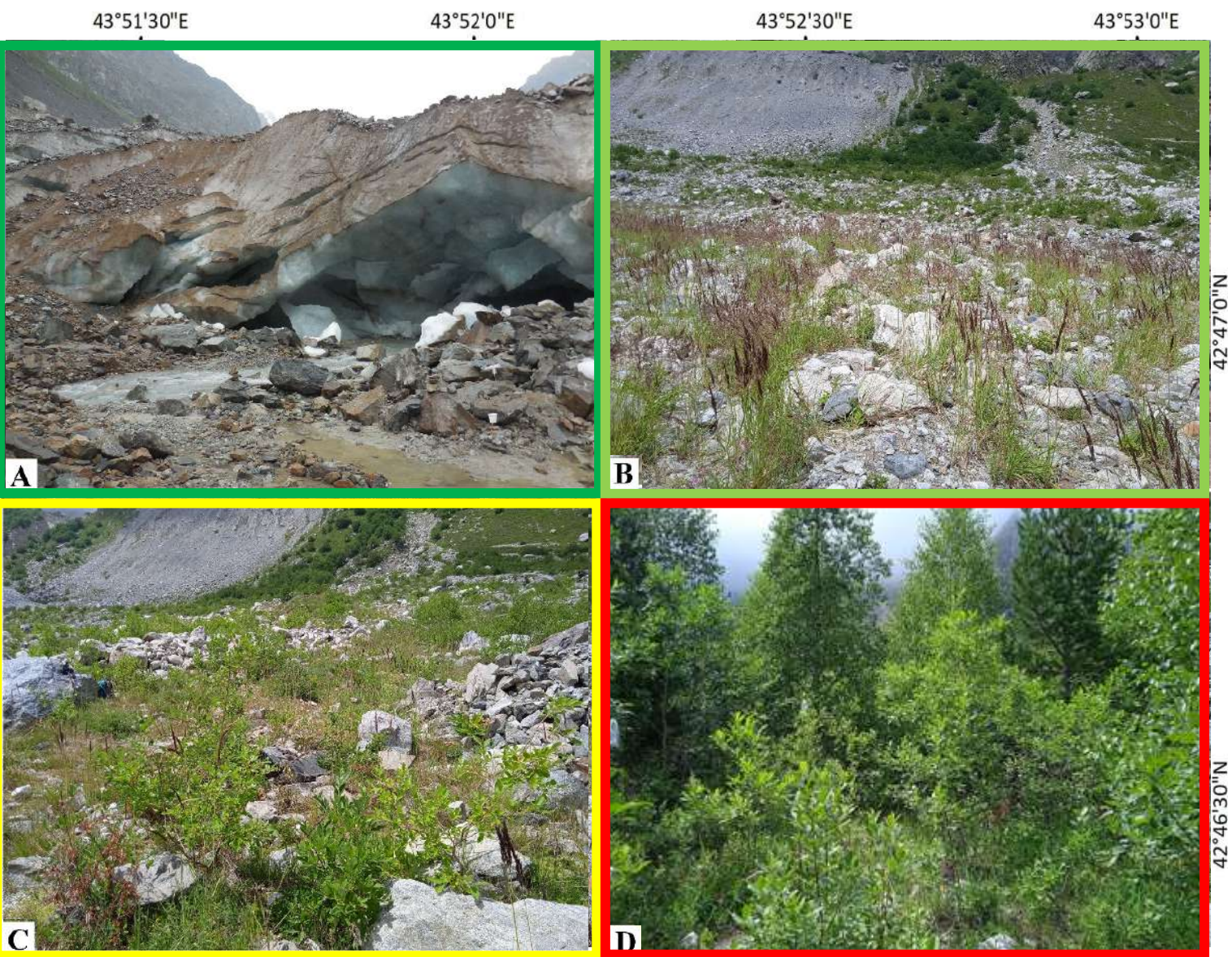


Рис. 5. Участки отбора образцов

Участок №	Год отступления ледника	Краткое описание	координаты	Высота м
1	2020	Песок, галька и камни. Отдельные проростки кипрея.	42.775098°N 43.860182°E	2336
2	2017	Песок, галька и камни + первые цветковые и мох на камнях и песке.	42.775335°N 43.860852°E	2320
3	2014	Каменистая гряда с <u>вейником</u> и мелкими кустиками ив. Покрытие мхами не более 3%.	42.775882°N 43.860545°E	2318
4	2007	Кустарниковая ассоциация, ивы, береза и молодые сосны. Мхи собраны с почвы, где были обильны (покрытие около 30%), но доминировал только " <u>Racomitrium ericoides</u> ", дернины среди ветоши трав.	42.776554°N 43.861253°E	2295
5	1987	Молодой смешанный лес с богатым разнотравьем, рядом с ручьем. Много различных мхов (покрытие мхов около 20%) среди травяно-лиственного <u>опада</u> .	42.778163° N 43.863217°E	2249
6	1950-60	«Парковый» развитый березняк на морене между ручьев. Отдельные плотные моховые дернины (покрытие 3%), только на поверхности почвы.	42.778815°N 43.864567°E	2244
7	1946	Березово-ивовый молодой лес с кипреем. Мхи, если заложены, могут быть только с поверхности почвы, были малочисленны.	42.779795°N 43.866527°E	2233
8	1921-25	Сосняк с березой и рододендромом, много крупных камней. Развитая моховая дернина пятнами (около 5%) среди хвойно-лиственного <u>опада</u> .	42.781522°N 43.868547°E	2205
9	1911-13	Смешанный лес с сосной, березой и ивой. Впервые – появляется валежник. Мхи на почве однообразны (" <u>Pleurozium</u> ", покрытие 10-15%); мхи на крупных ватунах обильны (" <u>Schistidium</u> " – 10-60%; " <u>Drepanocladus</u> " – 5-10%; " <u>Hylacomium</u> " – 5-10%; " <u>Racomitrium</u> темный" – 5-10%; " <u>Racomitrium</u> светлый" – 5-1%); на корягах обычны – " <u>Warnsdorfia</u> ", " <u>Schistidium</u> ", " <u>Drepanocladus</u> ".	42.782985°N 43.870103°E	2193
10	сер. XIX	Сосняк с черникой, земляникой и рододендромом. Мощные разнообразные моховые дернины на почве, покрытие 30-40%.	42.784627°N 43.878177°E	2071

Рис. 6. Описание участков отбора образцов



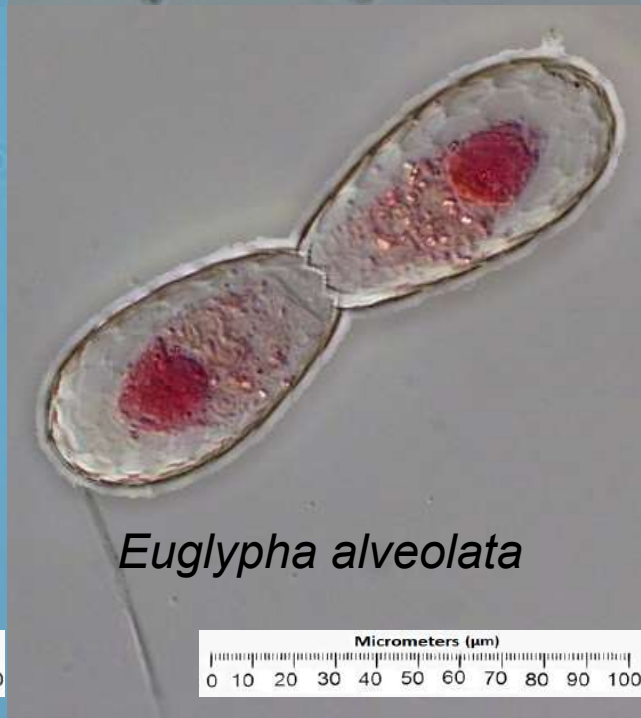
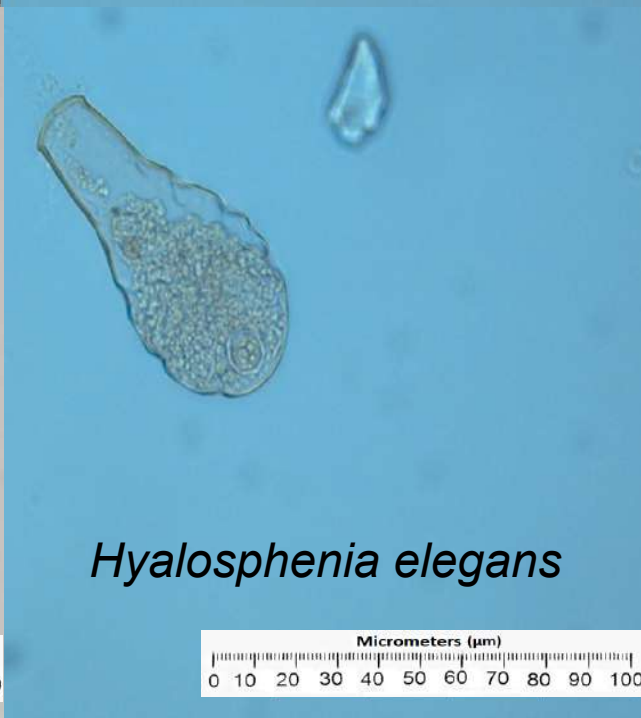
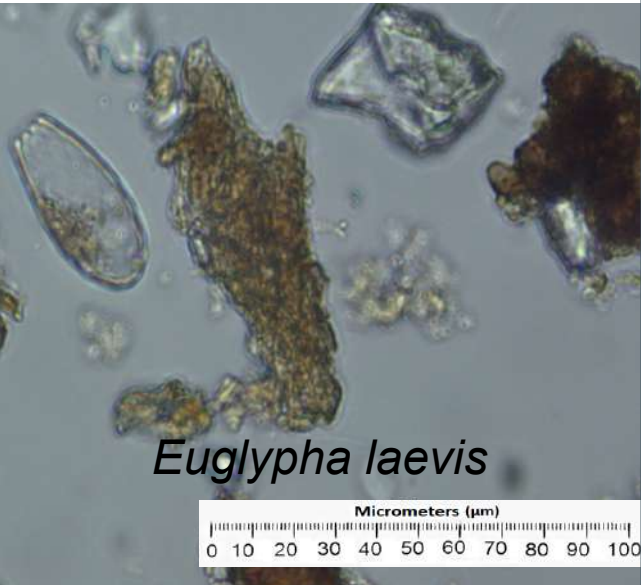
Образцы на универсальном шейкере



Euglypha alveolata



Световой микроскоп



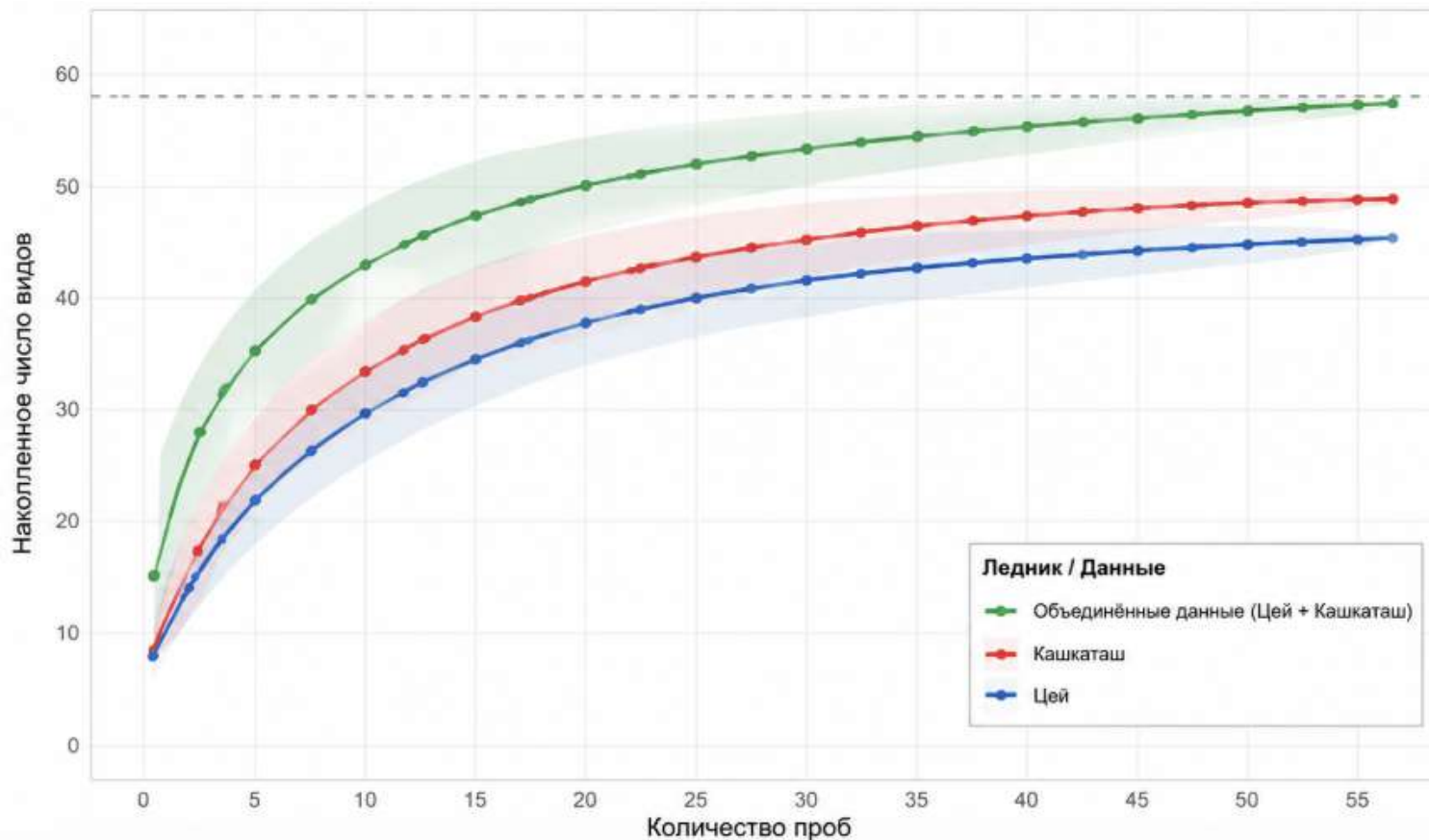


Рис.7. Кривые накопления видов раковинных амёб

59

видов суммарно

45

на Цей

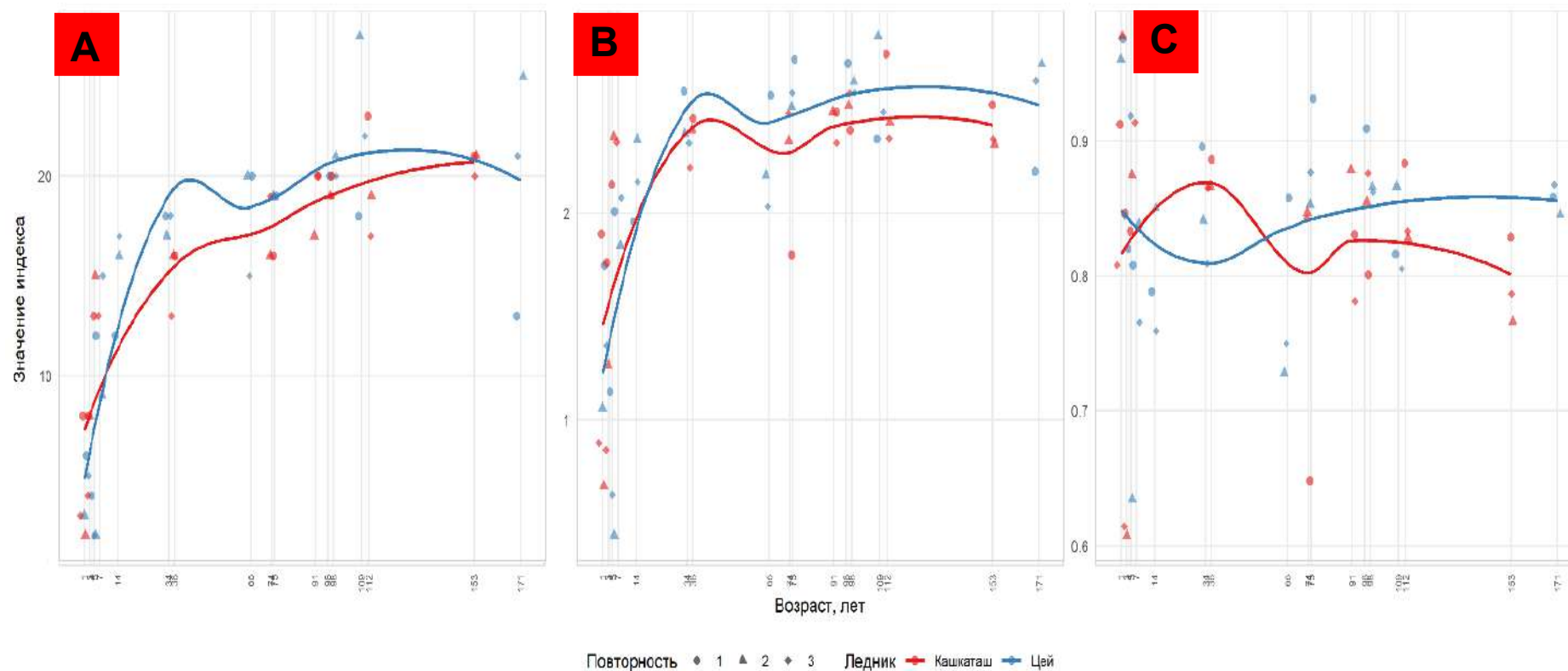
50

на Кашкаташе

37

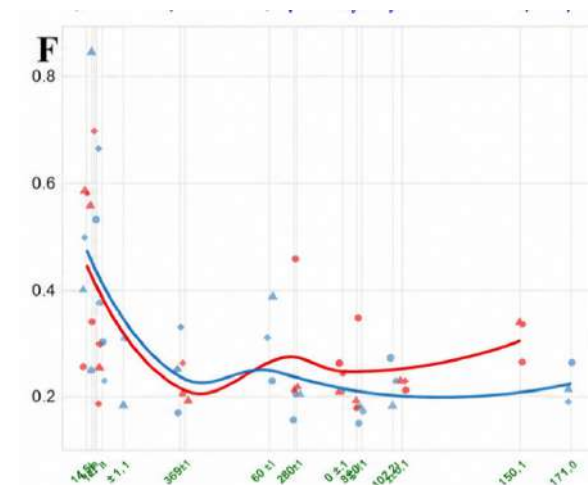
общих видов

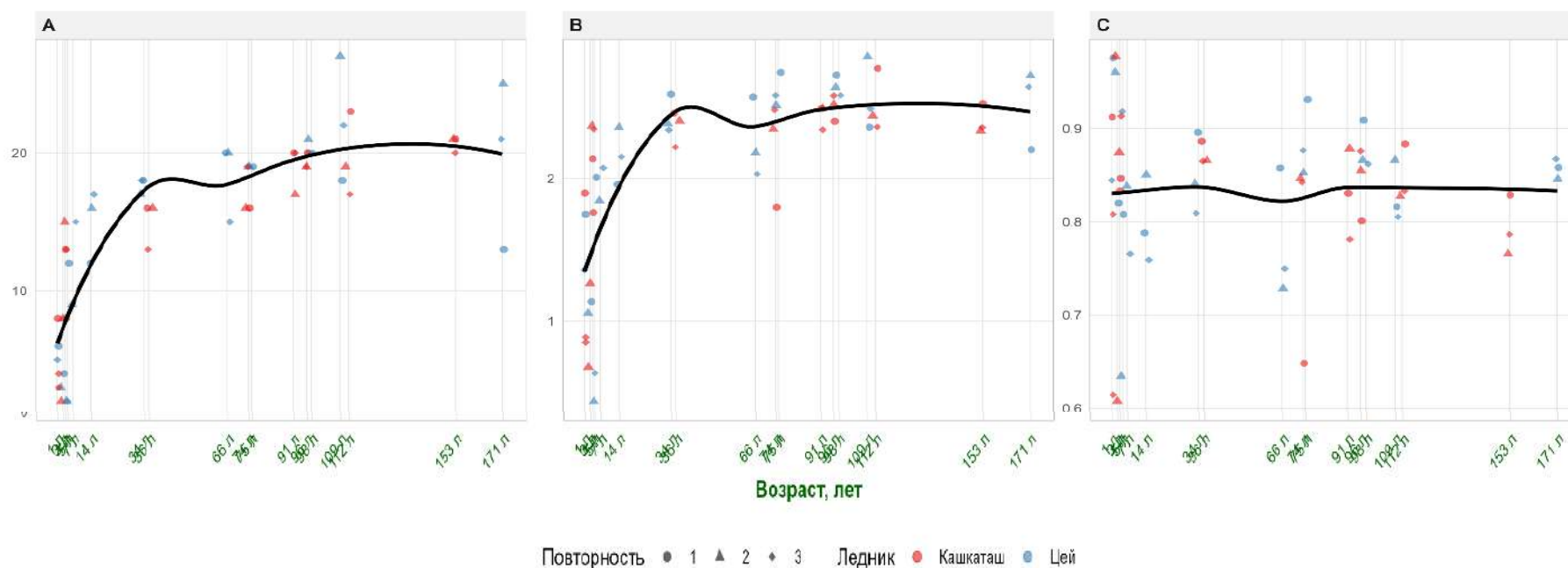
- Первые виды обнаруживаются уже на самых молодых участках;
- Кашкаташ немного богаче за счёт большей микросредовой гетерогенности;
- Общий региональный пул сочетается с локальными особенностями ледников.



- Локальное богатство резко увеличивается, а после стабилизируется;
- Шеннон быстро возрастает, снижается дисперсия Пieloу;
- Плато по индексам — не конец сукцессии, а переход к перестройке состава.

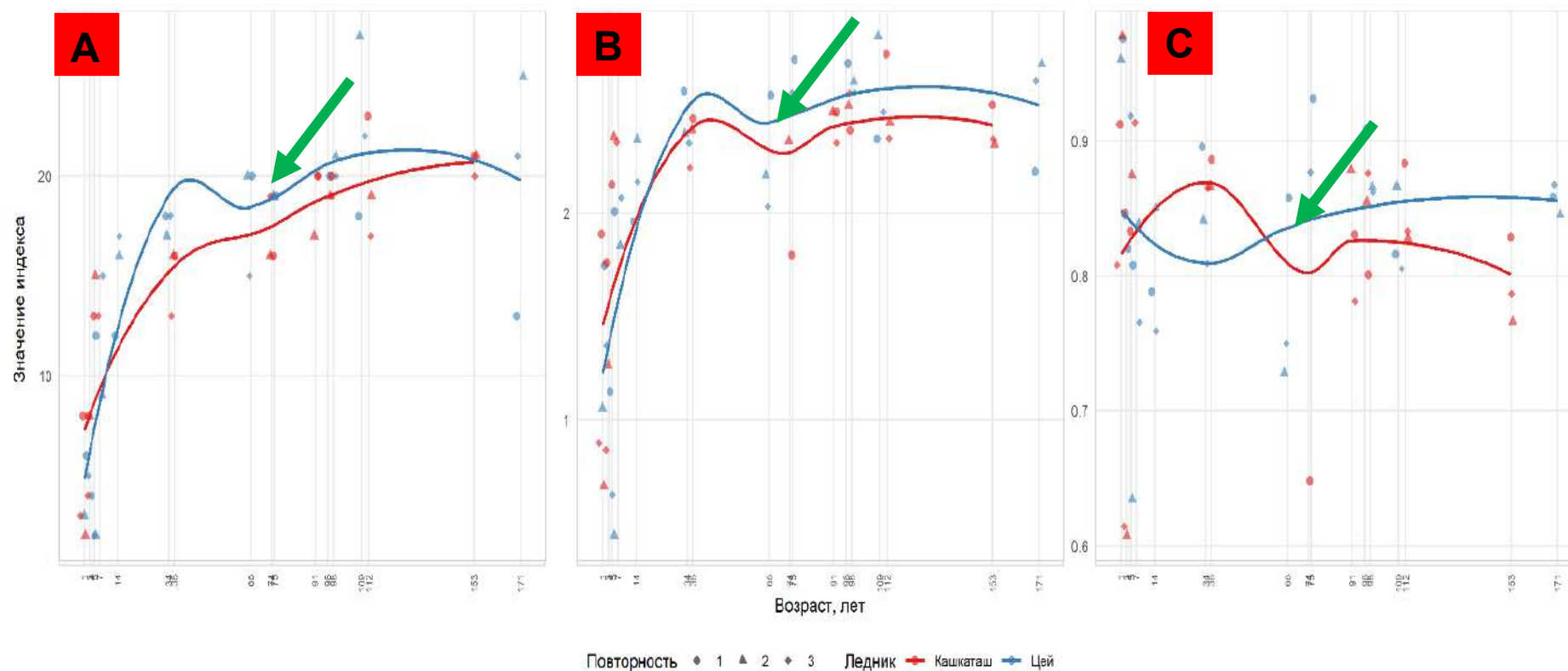
Рис.8. Динамика индексов разнообразия от возраста сообщества по объединённым данным: (А) – видовое богатство, (В) – Шеннон, (С) – Пieloу





- Локальное богатство резко увеличивается, а после стабилизируется;
- Шеннон быстро возрастает, снижается дисперсия Пieloу;
- Плато по индексам — не конец сукцессии, а переход к перестройке состава.

Рис.8. Динамика индексов разнообразия по объединённым данным: (А) — видовое богатство, (В) — Шеннон, (С) — Пieloу



- Локальное богатство растёт примерно с 2–5 до 20–27 видов в пробе.
- Шеннон быстро возрастает, снижается дисперсия Пieloу; .
- Плато по индексам — не конец сукцессии, а переход к перестройке состава.

Рис.8. Динамика индексов разнообразия на ледниках Цей (синий) и Кашкаташ (красный) от возраста сообщества

Доминанты на разных стадиях

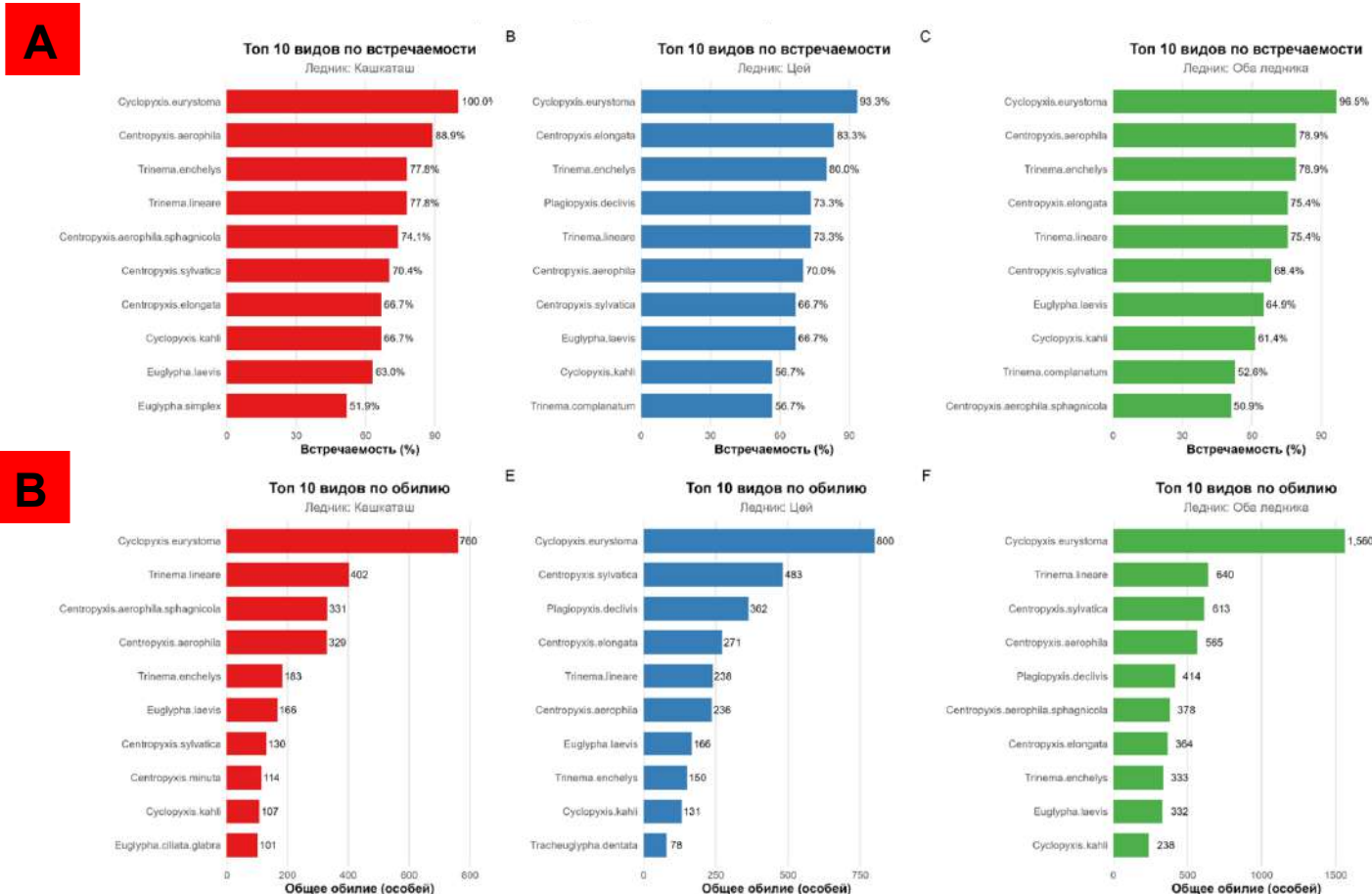


Рис.9. Доминирующие виды на Кашкаташе (А) и Цее (В)

- Ранние стадии: *Centropyxis aerophila*, *Cyclopyxis* на Цее — *Centropyxis cassis*.
- Средние и поздние стадии: *Trinema*, *Euglypha*, затем *Nebela* и *Hyalosphenia*.
- Стабилизация богатства маскирует продолжающуюся смену доминантов.

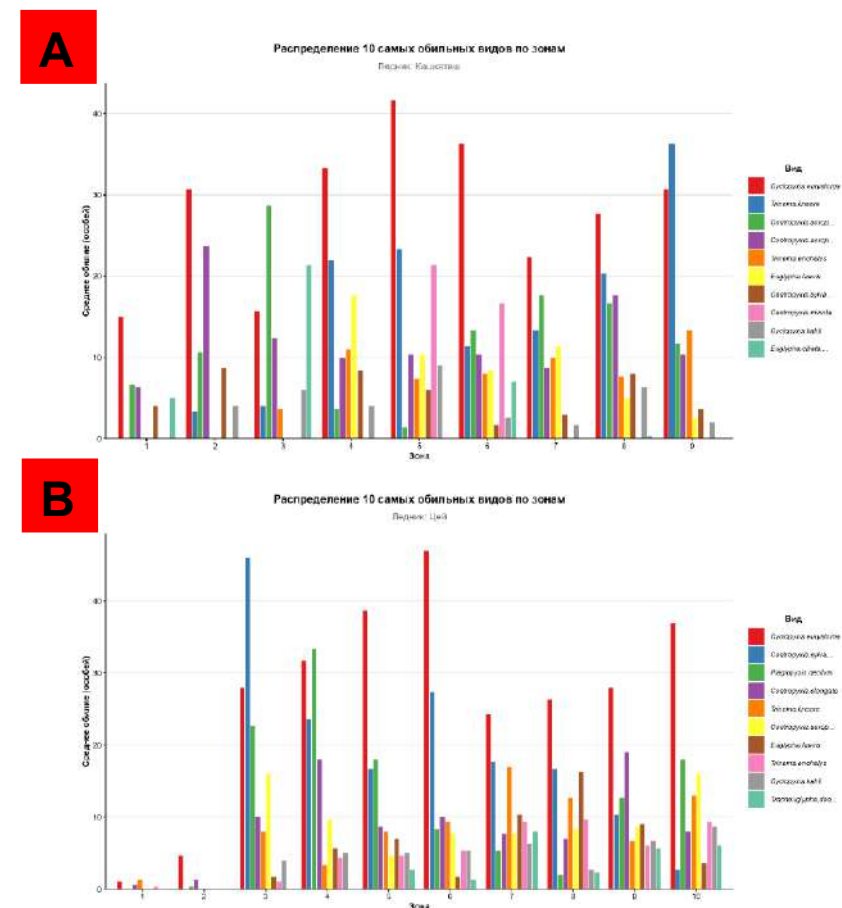


Рис.10. Распределение видов по зонам

Ординация: возраст важнее ледника

- PC1 отражает основной сукцессионный градиент: пионерные сообщества отделены от зрелых.
- Луговые стадии занимают промежуточное положение.
- Кустарниковые, молодолесные и зрелолесные участки частично перекрываются — поздняя смена становится плавной.
- Фактор ледника вторичен по сравнению со стадией/возрастом.

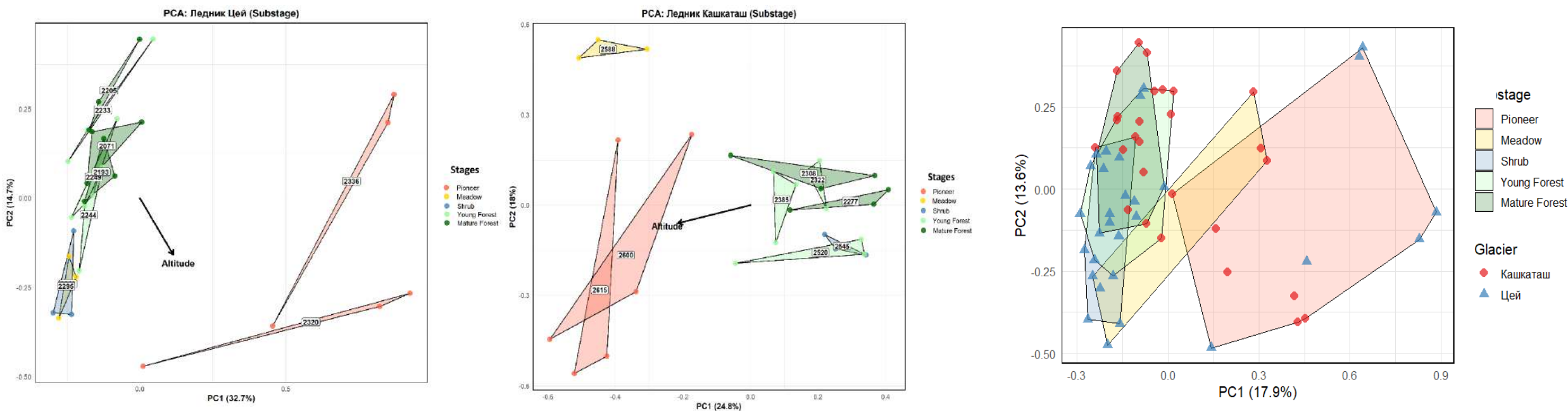
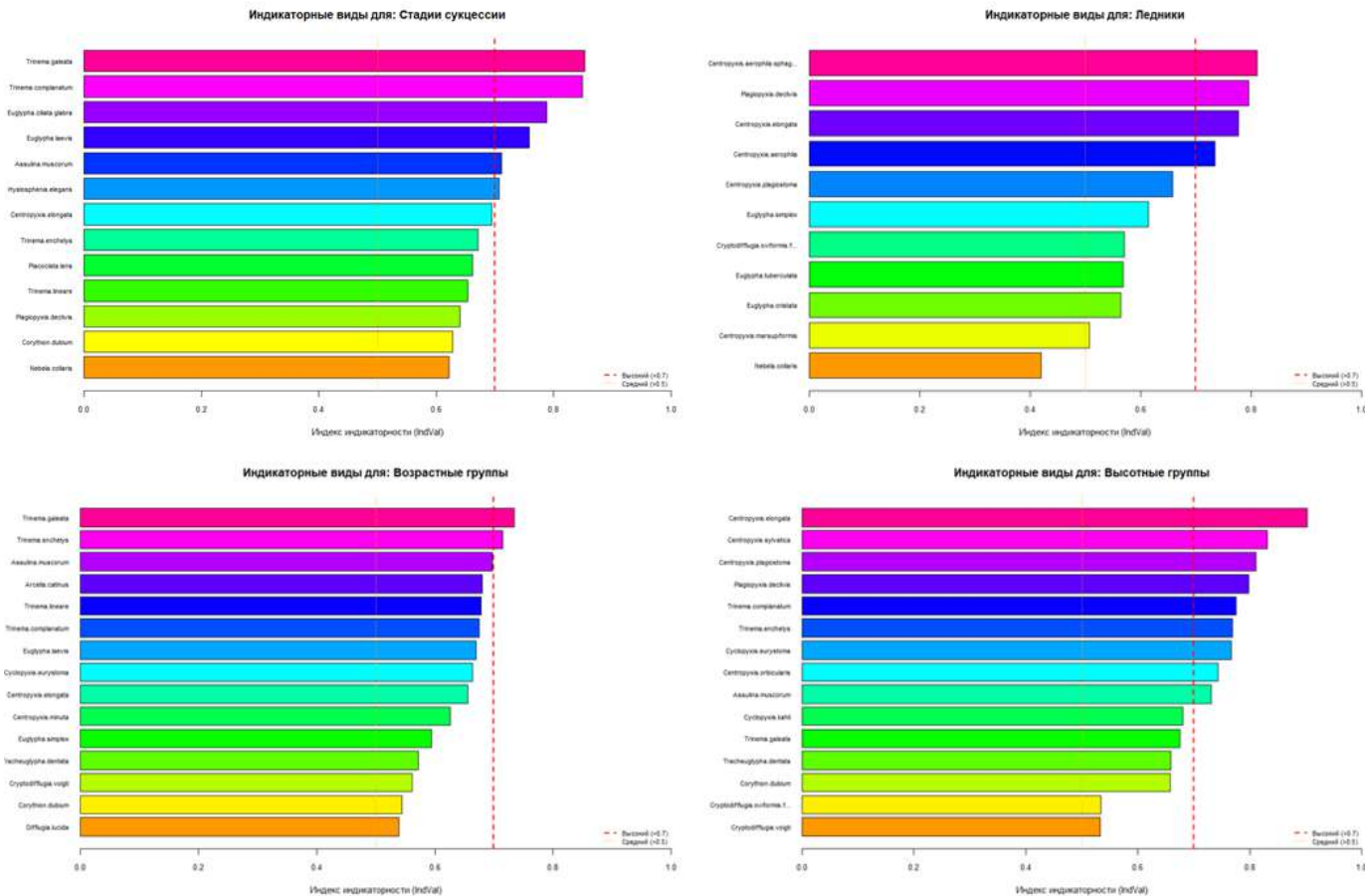


Рис.11. Видовая структура сообществ на Цее, Кашкаташе и объединённая

Индикаторные виды подтверждают стадийность 17



- Пионерные индикаторы: *Centropyxis aerophila* и *C. cassis*, *Cyclopyxis*.
- Луговые и переходные стадии: *Plagiopyxis declivis*, *Trinema lineare*.
- Поздние стадии: комплекс *Trinema*, *Euglypha*, *Assulina*, *Nebela* и *Hyalosphenia*.
- Есть и ледниково-специфичные таксоны: локальные условия полностью не исчезают.

Рис.12. Видовая структура сообществ на Цее, Кашкаташе и объединённая

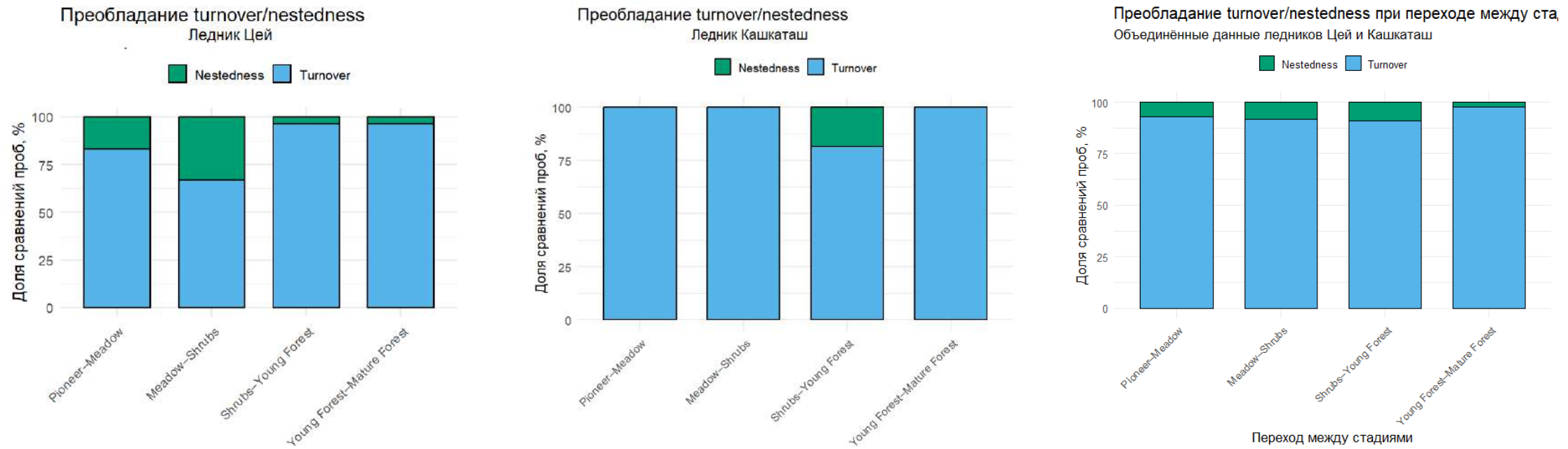


Рис.13. Соотношение turnover/nestedness на Цее, Кашкаташе и объединённая

- На всех переходах преобладает замещение видов.
- Вложенность возрастает там, где прежние микробиотопы частично сохраняются под новым растительным покровом.
- Итоговая модель: не простое накопление, а смешанная сукцессия с доминированием turnover.

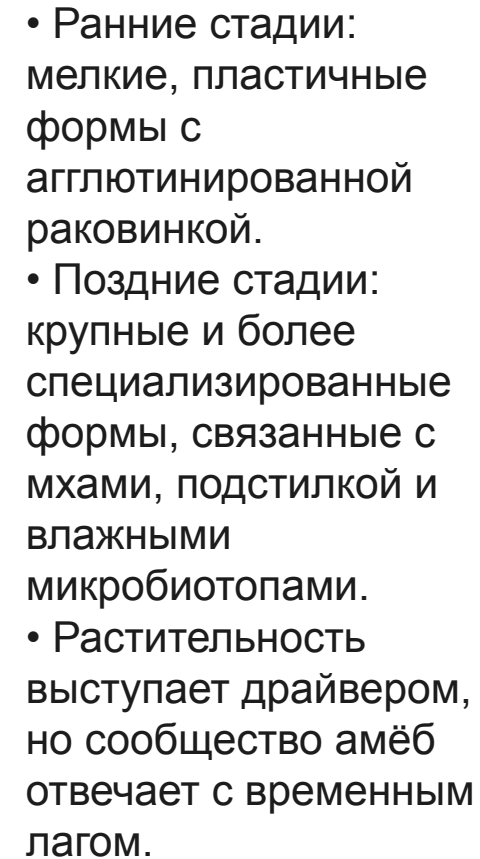
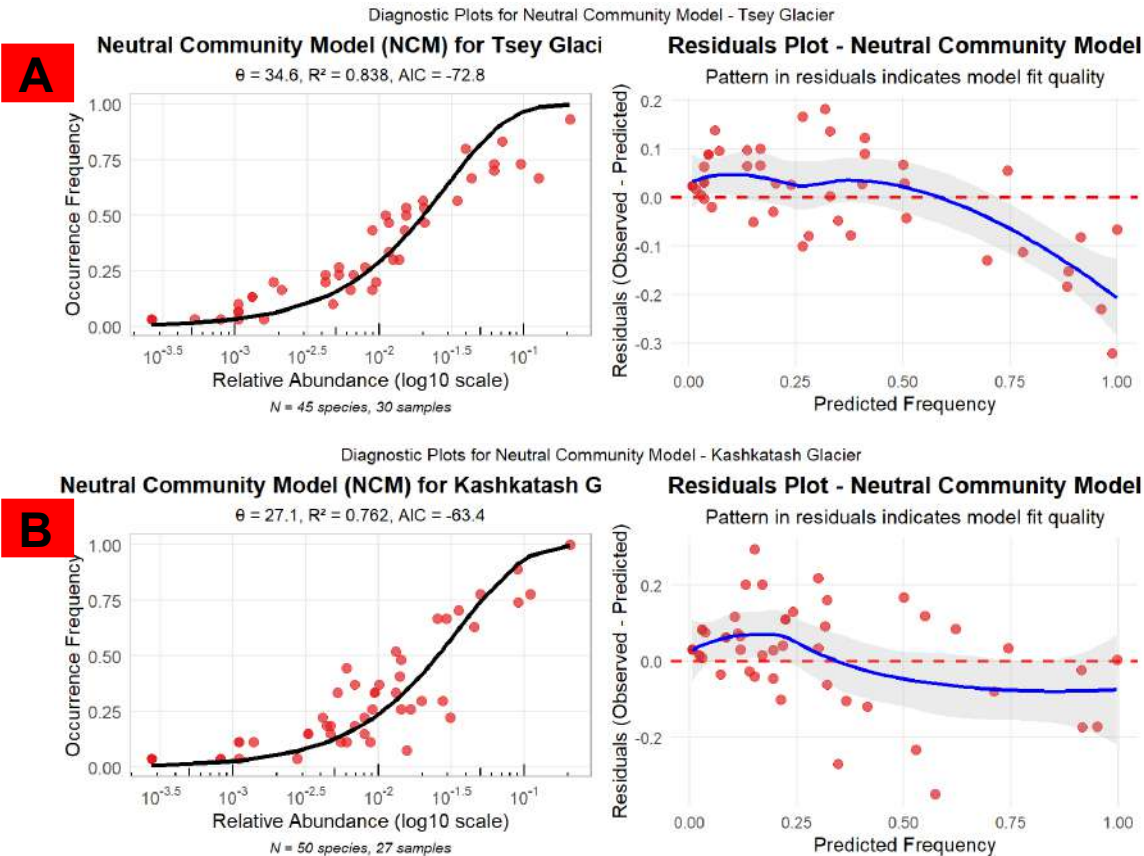


Рис.14. RLQ анализ на Цее (А), Кашкаташе (В) и объединённые данные (В)

Нейтральная модель: случайность или детерминизм? 20



- $R^2 \approx 0.84$ для Цея и ≈ 0.76 для Кашкаташа.
- Модель указывает на роль случайного заноса цист, иммиграции и дрейфа.
- Систематические остатки и стадийные индикаторы показывают влияние экологической фильтрации.

Рис.15. Нейтральная модель для Цея (A) и Кашкаташа (B)

Итоговая схема сукцессии



1–5 лет
пионерные
сообщества

30–50 лет
быстрый рост
богатства

75–100+ лет
стабилизация
и фильтрация



- Колонизация начинается уже на самых молодых субстратах.
- Первые десятилетия дают основной прирост богатства и обилия.
- Позднее продолжается скрытое замещение видов и функциональная перестройка.
- На двух ледниках траектория сходна, но локальные условия задают отдельные отличия.

Выводы

- Раковинные амёбы быстро колонизируют прогляциальные субстраты и уже на ранних стадиях входят в формирующиеся почвенные сообщества.
- Видовое богатство и обилие быстро растут, но дальнейшее развитие продолжается через смену доминантов.
- Возраст и стадия сукцессии важнее, чем принадлежность к конкретному леднику, что указывает на конвергентное развитие сообществ.
- Сукцессия имеет смешанный характер — начальное накопление видов сочетается с последующим замещением.
- Сборка сообществ определяется совместным действием стохастической колонизации и экологической фильтрации.



Макарова Ольга Львовна



Бушуева Ирина Сергеевна



Мазей Наталья Григорьевна



Цыганов Андрей Николаевич



Мазей Юрий Александрович

Спасибо за внимание!

