



## ОПЫТ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПОЧВЕННО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СВЕТОВОМ МИКРОСКОПЕ. СООБЩЕНИЕ 2. НАБЛЮДЕНИЕ ЗА УЧАСТИЕМ ГРИБОВ В ОБРАЗОВАНИИ НОВОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВЫ

© 2022 А. А. Данилова <sup>1</sup>, А. А. Петров <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, р.п. Краснообск, а/я 356, Новосибирский район, Новосибирская область, 630501, Россия. E-mail: [Danilova7alb@yandex.ru](mailto:Danilova7alb@yandex.ru)

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт прикладной экологии Севера им. профессора Д.Д. Саввинова СВФУ, пр. Ленина, д. 43, г. Якутск, 677000, Россия. E-mail: [Petrov\\_Alexey@mail.ru](mailto:Petrov_Alexey@mail.ru)

**Цель исследования:** показать, как в микробных пейзажах выглядит начальный этап образования органического вещества почвы при участии грибов.

**Место и время проведения.** Исследования проведены в 2018-2021 гг. Объекты исследования: 1. Чернозём выщелоченный (Luvic Chernozem) в лесостепи Приобья; 2. Агросерая почва (Luvic Greyzemic Phaeozem) под многолетними посадками мискантуса (*Miscanthus sacchariflorus*) в лесостепи Приобья; 3. Комплекс мерзлотных аласных почв (Cryosols) разной степени пастбищной дигрессии в Лено-Амгинском междуречье; 4. Мерзлотные лугово-черноземные почвы (Cryosols) на высокой террасе р. Лена около г. Якутск; 5. Молодые почвы на отвалах после добычи золота и олова в полярной Якутии.

**Методология.** Длительность экспозиции стекол обрастания в полевых условиях составляла от вегетационного периода до года. Для наблюдения за образованием нового ПОВ стекла экспонировали в течение года во влажных образцах почв при постоянной температуре +2 °С. После экспонирования стекла сушили, фиксировали, красили карболовым эритрозином (5%) и просматривали под микроскопом при возрастающем увеличении от ×40 до ×1000. Изучали по 50 полей зрения на одном стекле (на каждом варианте по 3 стекла). Фотографии получены при помощи микроскопа Primo Star Zeiss с видеокамерой AxioCam 105 color.

**Основные результаты.** Визуально формирование нового органического вещества состоит из следующих этапов: развитие гифы гриба, формирование скоплений минеральных частиц в пространстве около гиф, оплетание минеральных частиц гифами, формирование на гифах плодовых тел грибов, образование глобул, представляющих собой скопление минеральных частиц, растительных остатков, плодовых тел разной степени переработки, оплетенных гифами грибов.

**Заключение.** На примере почв техногенных ландшафтов полярной Якутии рассмотрен один из возможных вариантов процесса образования нового органического вещества. Показано, что новое органическое вещество в данных почвах представляет собой скопление плодовых тел грибов с разной степенью бактериальной переработки.

**Ключевые слова:** грибной мицелий; органическое вещество почвы; чернозем выщелоченный; мерзлотные почвы; молодые почвы техногенных ландшафтов; полярная Якутия

**Цитирование:** Данилова А.А., Петров А.А. Опыт визуализации почвенно-микробиологических процессов в световом микроскопе. Сообщение 2. Наблюдение за участием грибов в образовании нового органического вещества почвы // Почвы и окружающая среда. 2022. Том 5. № 3. с185. DOI: [10.31251/pos.v5i3.185](https://doi.org/10.31251/pos.v5i3.185)

### ВВЕДЕНИЕ

Длительное время роль микроорганизмов в образовании почвенного органического вещества (ПОВ) ограничивали участием в разложении поступающей растительной биомассы, основываясь на том факте, что углерод микробной биомассы в почве не превышает 1-2% от органического углерода (C<sub>org</sub>) (Dalal, 1998). В последние два десятилетия при помощи тонких биохимических исследований показано, что не менее 50% углерода ПОВ состоит из компонентов микробной некромассы, основная часть которой принадлежит грибам (Liang et al., 2016; Wiesmeier et al., 2019). Вопрос, как потенциально доступные к минерализации остатки микроорганизмов становятся частью устойчивой фракции ПОВ, признан одной из актуальных проблем почвенной биологии на современном этапе (Liang et al., 2020).

Установлено, что наиболее интенсивно новое органическое вещество (ОВ) образуется в почвах с высоким содержанием грибов (Habtewold et al., 2020). При первом приближении можно представить этот процесс в следующей последовательности – грибы в процессе разложения растительного опада формируют свое тело и потом из остатков этих тел образуется ПОВ. В

образовательном процессе для составления более полного представления механизмов образования ПОВ необходимо составление своеобразного видеоряда протекания его в масштабах реального времени. Подобный материал, полученный при помощи достаточно простых методов исследования, позволяет понять непрерывность процесса почвообразования, основным итогом (смыслом) которого является образование нового органического вещества (Wiesmeier et al., 2019).

Цель сообщения – показать, как в микробных пейзажах выглядит начальный этап образования ПОВ при участии почвенных грибов.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены в 2018-2021 гг. Объекты исследования:

1. Чернозём выщелоченный (Luvic Chernozem) в лесостепи Приобья (54°53'13,5" с.ш., 82°59'36,7" в.д.). Объект описан ранее (Данилова, 2018).
2. Агросерая почва (Luvic Greyzemic Phaeozem) под многолетними посадками мискантуса (*Miscantus sacchariflorus*) в лесостепи Приобья (54°53'13,5" с.ш., 82°59'36,7" в.д.) (Капустянчик и др., 2021).
3. Комплекс мерзлотных аласных почв (Cryosols) разной степени пастбищной дигрессии в Лено-Амгинском междуречье (62°33'24,3" с.ш., 130°54'01,4" в.д.). Объект описан ранее (Danilova et al., 2017).
4. Мерзлотные лугово-черноземные (Cryosols) почвы на высокой террасе р. Лена около г. Якутск (62°08'51" с.ш., 129°45'45" в.д.) (Барашкова и др., 2020).
5. Молодые посттехногенные почвы на территории отвалов Куларского золотоносного района в полярной Якутии. Возраст отвалов около 50 лет. Ниже приводим описание разрезов с этого объект (табл. 1). Классификация молодых посттехногенных почв проведена по Курачеву, Андроханову (2002).

**Таблица 1**

Описание разрезов молодых посттехногенных почв Куларского золотоносного района

Параметры	Описание
<b>Разрез «Р-6-20»</b>	
Дата описания	25.08.2020 г.
Местоположение	Левый берег ручья без названия. Ниже рудника Западный
Координаты	69°18'02,61" с.ш., 139°55'35,89" в.д.
Рельеф	Нижняя часть склона горы южной экспозиции, уклон 30-40°
Микрорельеф	Западно-бугорковатый
Растительность	Зеленомошный лиственничник
А <sub>мох</sub> , 0-11(12) см	Влажный моховой покров
А <sub>перг</sub> , 11(12)-18(20) см	Влажный, перегнойный горизонт черного цвета, степень разложения слабая
АВ, 18(20)-37 см	Мокрый, рыхлый, темно-бурый, мелкокомковатой структуры, пронизанный мелкими корнями растений суглинистый горизонт
10% НС1	Не реагирует
Тип почвы	Подбур
<b>Разрез «Р-16-20»</b>	
Дата описания	28.08.2020 г.
Местоположение	Левый берег ручья без названия. Ниже рудника «Западный»
Координаты	69°17'59,38" с.ш., 139°56'24,38" в.д.
Рельеф	Вершина отвала вскрышных пород
Микрорельеф	Техногенный, сглаженный
Растительность	Лиственнично-ивовый лишайниково-моховый, шикша, брусника
С <sub>1</sub> , 0-9(10) см	Темно-бурый, неуплотненный, влажный, суглинистый, мелкокомковатой структуры, пронизанный мелкими корнями растений слой. Каменность 20-30%
С <sub>2</sub> , 9(10)-19 см	Темно-бурый, уплотненный, влажный, суглинистый, мелкокомковатой структуры, щебнистый слой. Каменность 40-50%
10% НС1	Не реагирует
Тип почвы	Эмбриозем инициальный
<b>Разрез «Р-4-20»</b>	
Дата описания	25.08.2020 г.
Местоположение	Левый берег ручья без названия. Ниже ШСУ. Рудник «Западный»
Координаты	69°17'30,70" с.ш. 139°54'37,10" в.д.

Рельеф	Вершина отвала вскрышных пород
Микрорельеф	Неровный, бугорковатый
Растительность	Осока, вейник, мох, единичные экземпляры листовенницы
A <sub>0</sub> , 0(1)-4(5) см	Моховой покров, опад трав
C, 4(5)-28 см	Темно-бурый, влажный, рыхлый, мелкокомковатой структуры, пронизанный мелкими корнями растений суглинистый слой. Каменистость 50-60%
10% HCl	Не реагирует
Тип почвы	Эмбриозем органо-аккумулятивный

Посттехногенные почвы кислые, содержание гумуса достаточно высокое (табл. 2)

**Таблица 2**

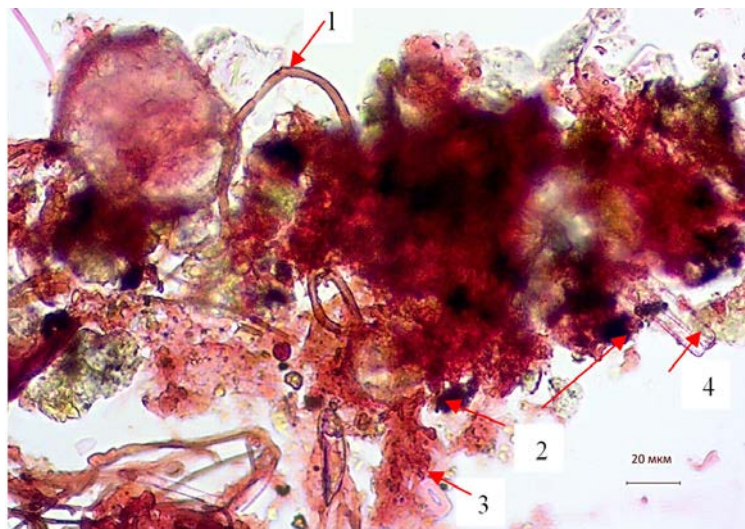
Физико-химические свойства посттехногенных почв Куларского золотоносного района

Разрез	Глубина, см	pH	Гумус, %	Физ. глина, %	Гранулометрический состав
Эмбриозем органо-аккумулятивный					
P-4-20	4(5)-28	5,1	3,1	7,5	Связаннопесчаный
Эмбриозем инициальный					
P-16-20	0-9(10)	5,3	3,4	13,8	Супесчаный
	9(10)-19	5,4	3,1	13,0	Супесчаный

Длительность экспозиции стекол обрастания в полевых условиях составляла от вегетационного периода до года. Для наблюдения за образованием нового ПОВ стекла экспонировали в течение года во влажных образцах почв при постоянной температуре +2 °С. После экспонирования стекла сушили, фиксировали, красили карболовым эритрозином (5%) и просматривали под микроскопом при возрастающем увеличении от ×40 до ×1000. Изучали по 50 полей зрения на одном стекле (на каждом варианте по 3 стекла). Фотографии получены при помощи микроскопа Primo Star Zeiss с видеокамерой AxioCam 105 color.

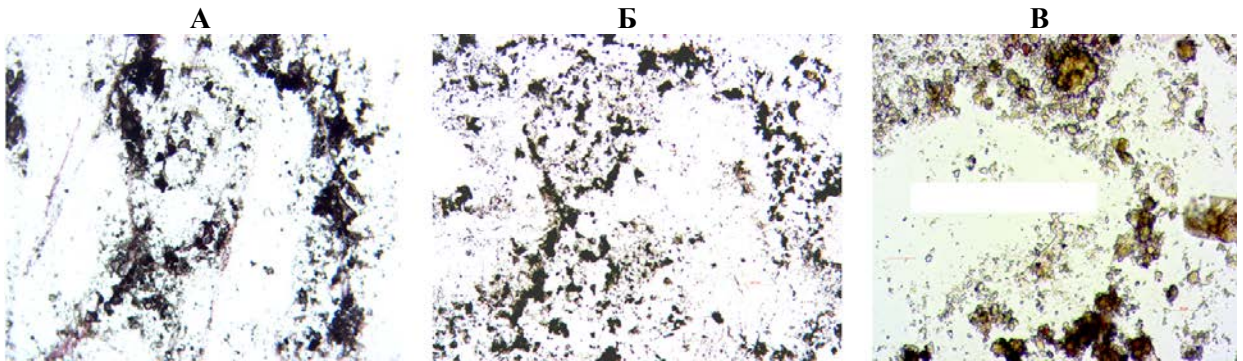
### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рисунке 1 показан фрагмент ПОВ, представляющего собой совокупность органического вещества разной степени переработки, живого вещества (корни растений, гифы, споры, плодовые тела грибов, клетки бактерий, водорослей и др.), мертвого вещества (некробиомасса) и минеральных частиц. При этом данное образование не случайно собранный конгломерат, а достаточно стабилизированная система. Как отмечено выше, расшифровка механизмов этой стабилизации признана одной из актуальных проблем биологии почв (Liang et al., 2020).



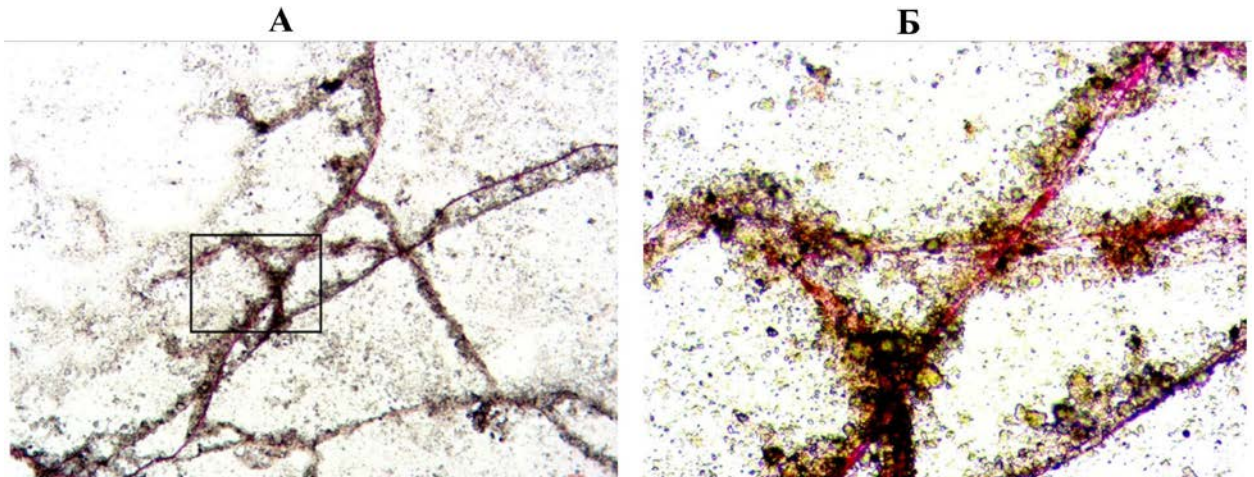
**Рисунок 1.** Микроскопический пейзаж фрагмента молодого органического вещества почвы в эмбриоземе органоаккумулятивном: 1 – гифы грибов; 2 – плодовые тела грибов; 3 – минеральные частицы покрытые органическим веществом; 4 – диатомовые водоросли. Увеличение ×400, масштабная линейка 20 мкм.

При помощи обычного светового микроскопа можно заметить неслучайность «сборки» таких образований. Так, наши многолетние наблюдения показывают, что процесс обрастания стекла во время экспозиции независимо от типа почвы протекает вполне закономерно в виде своеобразных «венков» (рис. 2). При более подробном наблюдении выяснено, что они образованы минеральными частицами, прилипшими к гифам грибов (рис. 2В).



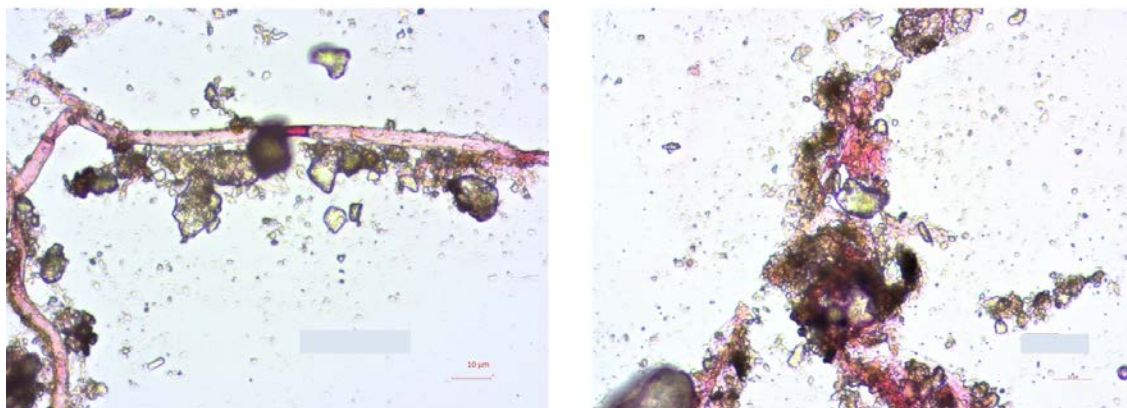
**Рисунок 2.** Закономерный характер обрастания стекла в почве. А – чернозем выщелоченный, пашня. Экспозиция стекла 2 месяца; Б, В – мерзлотная лугово-черноземная почва. Экспозиция стекла 1 год. Увеличение: А, Б –  $\times 100$ , В –  $\times 400$ .

При короткой экспозиции (вегетационный период) можно наблюдать начальный момент образования нового ОВ – концентрацию минеральных частиц около гиф (рис. 3).



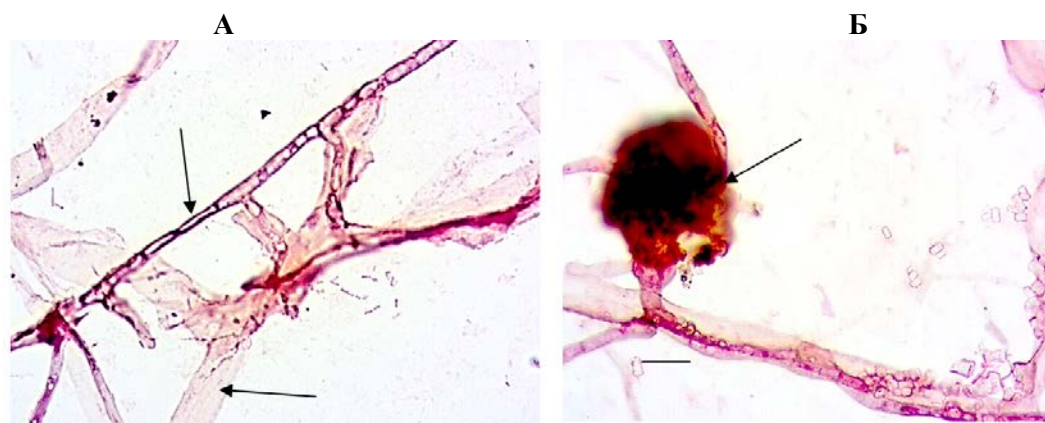
**Рисунок 3.** Концентрация минеральных частиц почвы в пространстве около гиф. Агросерая почва под многолетними посадками мискантуса (*Miscantus sacchariflorus*) в лесостепи Приобья. Экспозиция стекла: май – сентябрь 2019 г. Увеличение: А –  $\times 100$ , Б –  $\times 400$ .

На примере чернозема выщелоченного удалось рассмотреть механизм этого «прилипания». Так, на рис. 4 хорошо видно, как минеральные частицы оплетаются компонентами гиф и как бы «утопают» в облаке рыхлого органического вещества.



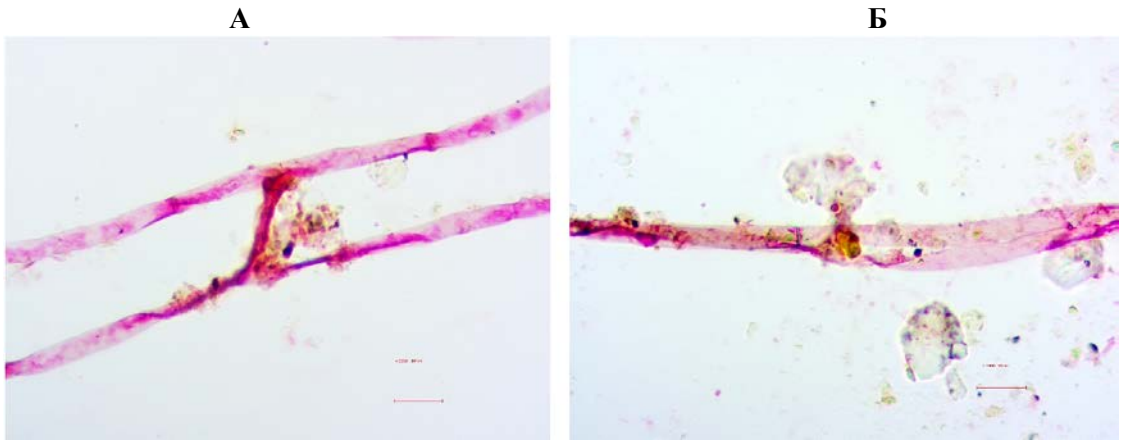
**Рисунок 4.** Начальный процесс образования скоплений минеральных частиц в пространстве около гиф. Чернозем выщелоченный, пашня, Приобье. Экспозиция стекла июнь-август 2018 г. Увеличение  $\times 1000$ .

На следующем этапе работы проследили строение этого «облака» молодого ОВ. Нам это удалось благодаря наблюдениям в почвах с относительно низким уровнем биологической активности (молодые посттехногенные почвы в криолитозоне), когда возникает возможность наблюдений как бы в условиях замедленной съемки, чего невозможно было сделать, например, в черноземе. Как известно, важнейшим компонентом грибного сообщества почвы являются представители высших грибов, в частности, базидиомицеты (Отдел Базидиомикота, объединяющий около 30 тыс. видов) (Гарибова, Лекомцева, 2005). По географии распространения они обнаружены от южных широт до полярных пустынь (Ширяев и др., 2018; Бондарцева, Змитрович, 2020). Представители этих грибов обнаружены во всех наших объектах исследования. В мерзлотной аласной остепненной почве мы смогли зафиксировать характерный для высших грибов половой процесс. Так, на рис. 5А показан процесс слияния двух типов гиф – соматогамия. В результате слияния двух гаплоидных гиф формируется диплоидное плодовое тело (у базидиомицетов – базидиома) (рис. 5Б). Отметим, что такую четкую картину соматогамии мы получили в естественных условиях обитания грибов. В доступной нам литературе обычно процесс представляют только в виде схем.

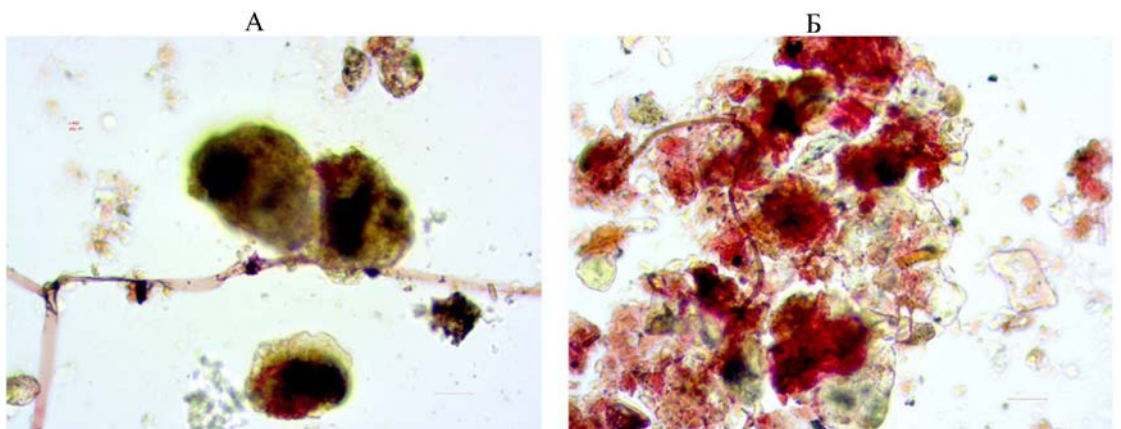


**Рисунок 5** Соматогамия (слияние двух типов гиф, показаны стрелками) у высшего гриба (А), в результате которого образовалось плодовое тело (у базидиомицетов – базидиома) (Б). Почва мерзлотная аласная остепненная. Лено-Амгинское междуречье, Центральная Якутия. Экспозиция стекла: 1 год. Увеличение  $\times 1000$ . Масштабная линейка 10 мкм.

Сходный процесс мы наблюдали в молодой посттехногенной почве в полярной Якутии. Напомним, что стекла были выдержаны в образцах почв в течение года в холодильнике при постоянной температуре  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . На рисунке б заметна соматогамия и образование плодового тела. Последнее оказалось не таким плотным, как в предыдущей почве. В других случаях и в эмбриоземах встречаются достаточно плотные и крупные плодовые тела грибов (рис. 7А). Скопления их в фрагменте ОВ хорошо заметны (рис. 7Б).

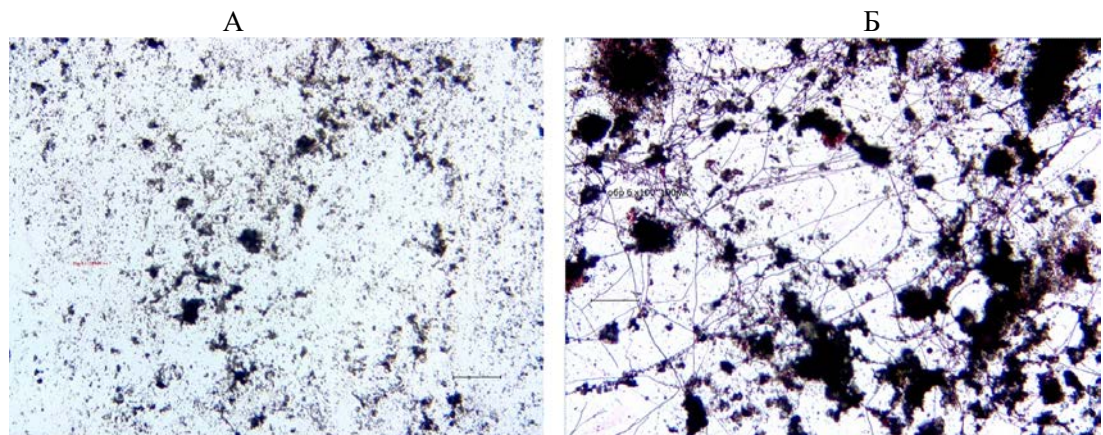


**Рисунок 6.** Соматогамия и образование плодового тела у гриба в эмбриоземе инициальном (полярная Якутия).  
Образование анастомоза (А), слияние разных типов гиф (Б). Увеличение  $\times 1000$ . Масштабная линейка 10 мкм.



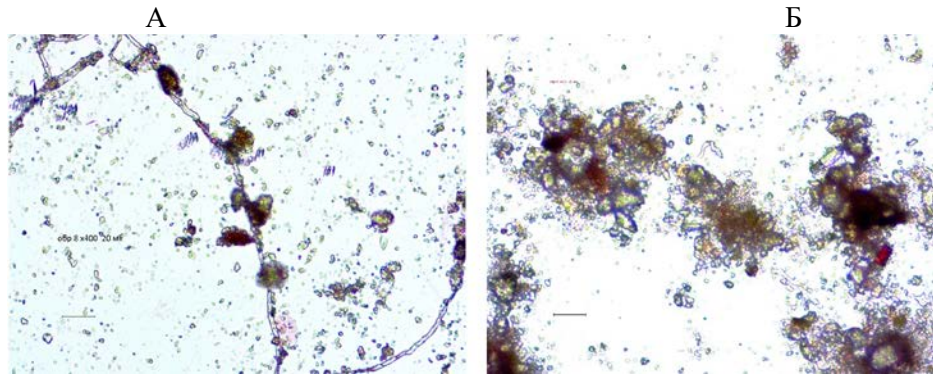
**Рисунок 7.** Вид плодовых тел на гифах (А) и в скоплении органического вещества (Б). Эмбриозем инициальный. Полярная Якутия. Увеличение  $\times 400$ .

Обзорный вид стеклов на этом опыте представлен на рисунке 8. Снова мы видим «венки» с той лишь разницей, что в эмбриоземе инициальном (ЭИ) процесс новообразования ПОВ был существенно слабее в сравнении с эмбриоземом органоаккумулятивным (ЭОА).



**Рисунок 8.** Общий вид состояния органического вещества в эмбриоземе инициальном (А) и эмбриоземе органо-аккумулятивном (Б).  
А – грибных гиф не видно, органическое вещество «рассыпано» по полю зрения; Б – поле зрения насыщено гифами грибов, ОВ расположено скоплениями на разрастаниях гиф. Увеличение  $\times 100$ . Масштабная линейка 100 мкм.

На рисунке 9 показан более подробный вид этих «венков». В ЭИ видны гифы грибов с плодовыми телами (рис. 9А). Тогда как в ЭОА наблюдали уже сформированные стустки органического вещества, ассоциированные с минеральными частицами (рис. 9Б).

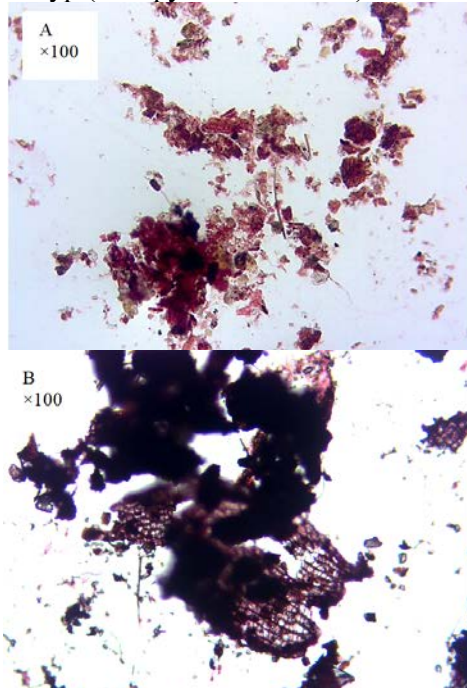


**Рисунок 9.** Состояние органического вещества в эмбриоземе инициальном (А) и эмбриоземе органо-аккумулятивном (Б).

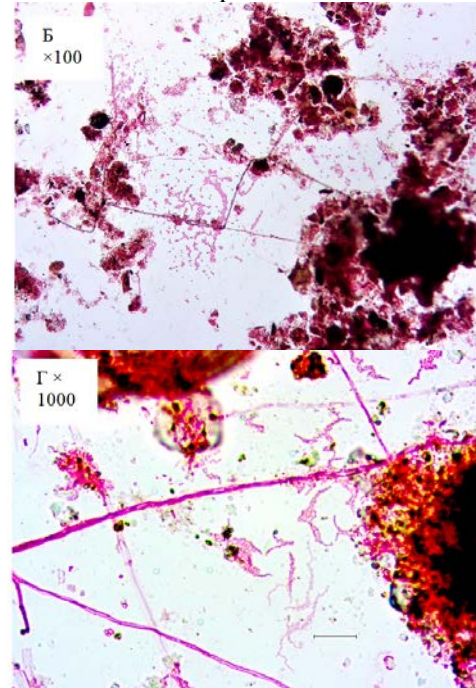
А – на поле зрения редкие гифы грибов с хорошо заметными плодовыми телами; Б – ОВ ассоциировано с минеральными частицами, явная связь его с гифами не заметна. Увеличение  $\times 400$ . Масштабная линейка 20 мкм.

На рисунке 10 представлены обзорные фото для наблюдения за степенью переработки органического вещества. Так, в ЭИ первичное ОВ, представляющее собой скопление плодовых тел, уже перетерпел переработку – структура его достаточно однородна. В целом микробный пейзаж ЭИ оказался более разнообразным в сравнении с целинной почвой: наблюдали массовые разрастания дрожжеподобных клеток (рис. 10Б), бактерий (рис. 10Г). В ненарушенной почве в фрагментах ОВ хорошо видны остатки растительной ткани с ненарушенной анатомической структурой, пронизанные гифами грибов (рис. 10А, В). Соответственно ОВ на этом варианте более грубое в сравнении с ЭИ.

Подбур (ненарушенная почва)

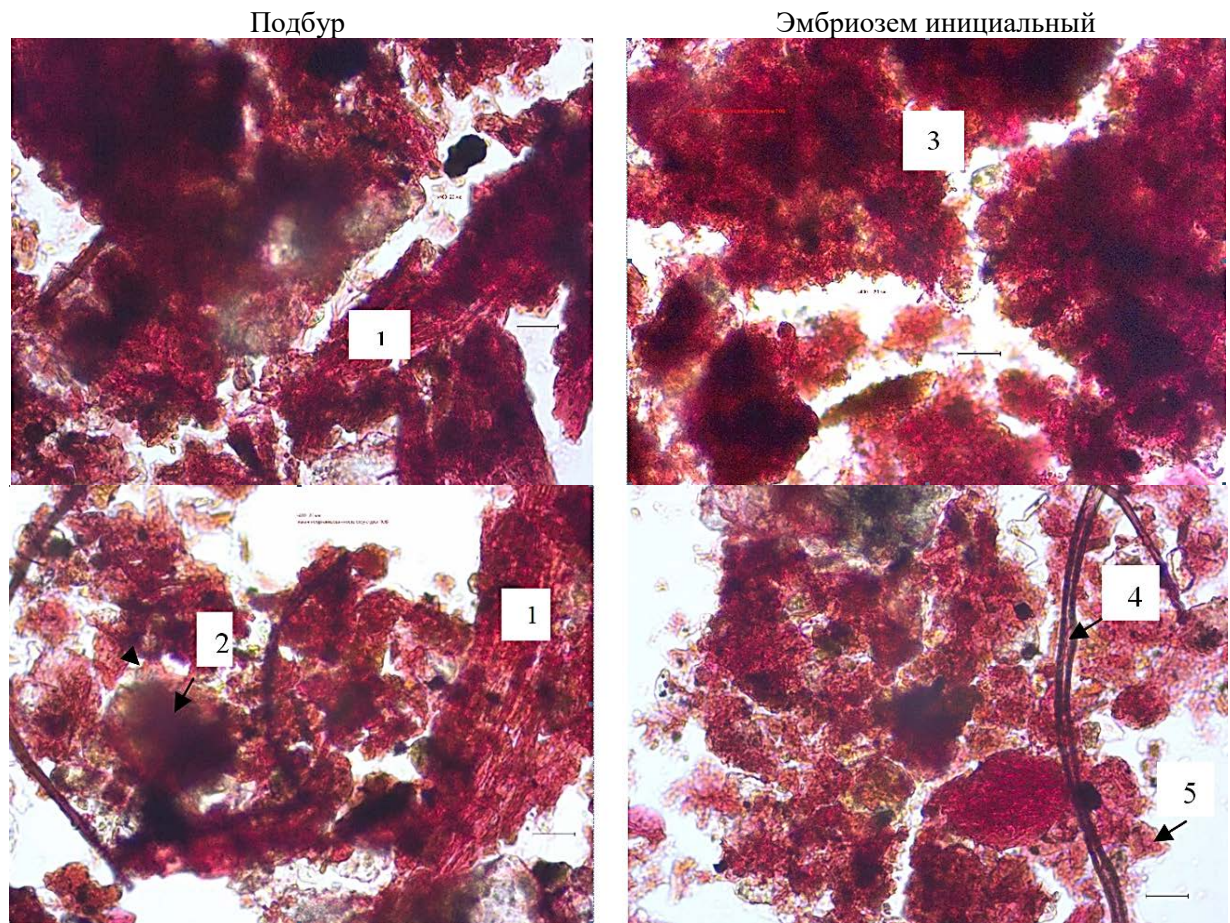


Эмбриозем инициальный



**Рисунок 10.** Различная степень переработки органического вещества (ОВ): А,В – включения растительных остатков с сохранившейся анатомической структурой; Б – достаточно однородная структура ОВ, в пейзаже много дрожжеподобных клеток; Г – при большом увеличении в пейзаже заметны колонии бактерий.

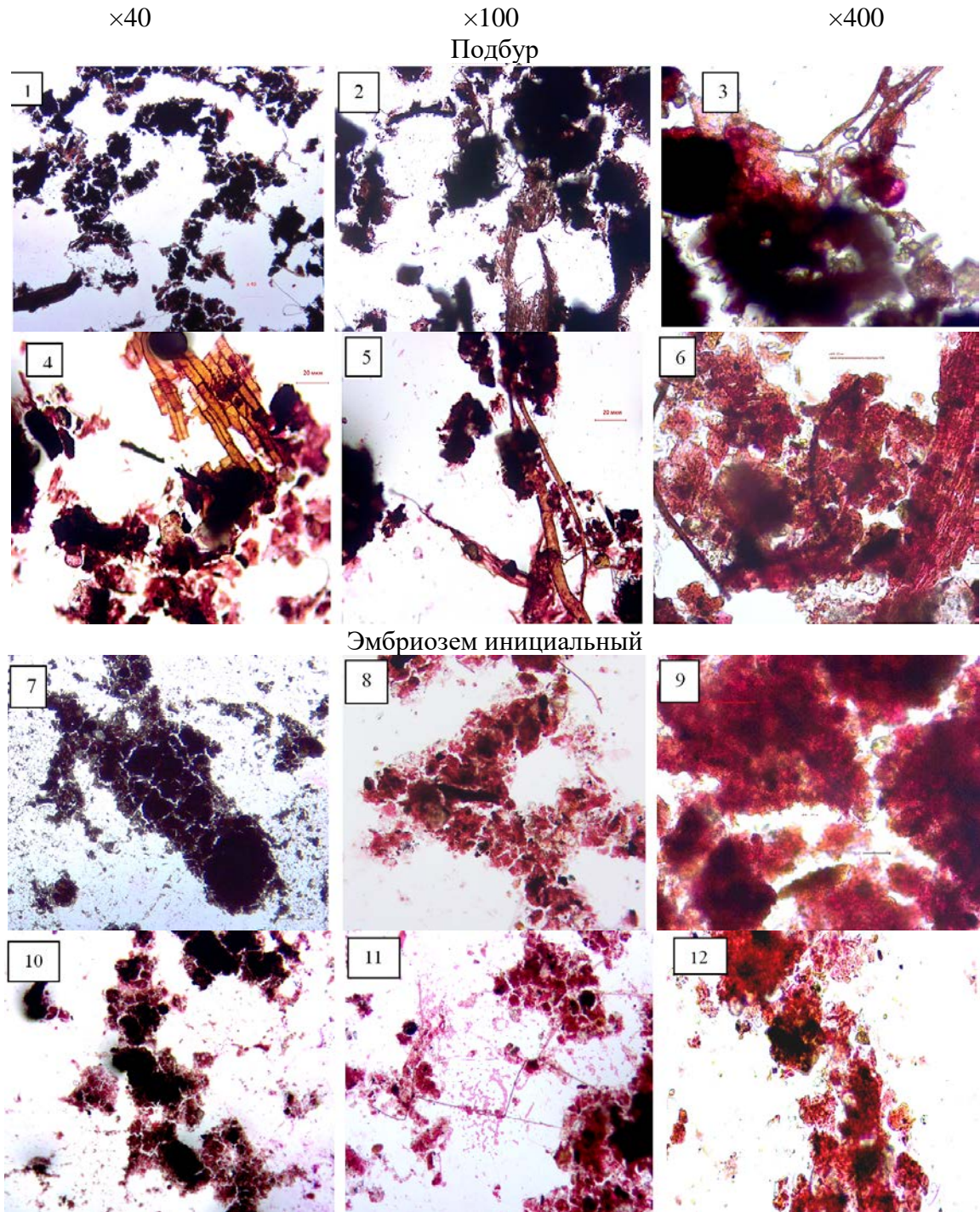
После масляного осветления более подробно рассмотрели состав фрагментов ОВ. Оказывается, что они в обоих случаях состоят в основном из скоплений плодовых тел (рис. 11).



**Рисунок 11.** Микроскопическая картина состояния органического вещества (ОВ) с разной степенью переработки: 1 – остатки растений с сохранившейся анатомической структурой; 2 – плодовое тело гриба; 3 – фрагменты достаточно переработанного вещества, где клеточная структура растительных остатков не обнаруживается; 4 – живая гифа; 5 – минеральные частицы покрытые ОВ. Увеличение  $\times 400$ . Масштабная линейка 20 мкм.

В качестве итогов приводим сводный рисунок 12, где можно наблюдать этапы участия грибов в образовании нового ОВ почвы. На рис. 12: 1 – 6 представлена микроскопическая картина грубого органического вещества, образовавшегося под естественной растительностью в условиях кислой реакции среды, при ограниченных ресурсах тепла под преобладающим влиянием грибов. На рис. 12: 7 – 12 представлен вид ПОВ в молодой посттехногенной почве, где при тех же условиях среды интенсивность обрастания стекла была значительно слабее в сравнении с естественной почвой и ЭОА. При этом фрагменты ПОВ оказались более переработанными видимо вследствие того, что в микробном сообществе наряду с грибами встречались бактерии и дрожжи.





**Рисунок 12.** Участие грибов в образовании почвенного органического вещества (ПОВ), наблюдаемый в микробных пейзажах после экспонирования стекол в образцах полярных почв в течение года: 1 – 5 грибы только заселяют растительные остатки (РО), плодовые тела находятся над поверхностью стекла; 6 – вид ПОВ, включающий кроме грибных компонентов РО с сохранившимся анатомическим строением; 7, 8, 10, 11 – переработанная биомасса прилипла к стеклу, РО с сохранившейся клеточной структурой отсутствуют; 9 – при большом увеличении заметно, что ОВ состоит в основном из остатков плодовых тел; 12 – минеральные частицы, покрытые слоем ПОВ.

#### ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, исследование, проведенное на разных типах почв, еще раз подтвердило универсальность начальных процессов образования нового органического вещества почвы независимо от особенностей условий почвообразования.

На первый взгляд может показаться, что, информация, изложенная в данном сообщении, давно известна почвоведом. Ни у кого не вызывает сомнения утверждение о том, что основным источником ПОВ являются растительные остатки, переработанные микроорганизмами. Однако, несмотря на достаточно продвинутое методики исследований, до полной расшифровки этого положения все еще очень далеко (Kästner et al., 2020). В контексте нашего сообщения было важно визуально представить этот процесс в масштабах реального времени и пространства. Значение подобного материала в образовательном процессе не вызывает сомнений.

В методическом плане считаем удачным подбор типов почв для визуализации процесса. В почвах с высокой биологической активностью сложно «поймать» начальный процесс формирования органического вещества, так как в преобладающем числе случаев высокая активность переработки материала не позволяет визуально зафиксировать начало процесса. Кроме того, оказалось информативным масляное осветление мазка в течение, как минимум, суток, что в ряде случаев позволяет рассмотреть внутреннюю структуру скоплений ПОВ.

В данной работе нам удалось показать, что при помощи очень доступной и понятной методики можно заглянуть в достаточно скрытый процесс образования молодого органического вещества почвы.

Наряду с образовательным и методическим значением представленный материал дает визуальное дополнение к информации по биологии посттехногенных почв. Известно, что микробная заселенность последних часто бывает выше в сравнении с аналогичными ненарушенными почвами (Клевенская и др., 1985). При этом поступление свежего растительного материала вызывает в них более выраженный функциональный отклик микробного сообщества в сравнении с ненарушенной почвой (Данилова и др., 2019). Отсюда нам кажется вполне понятным факт более глубокой переработанности ОВ в эмбриоземе инициальном в сравнении с подбуром. Как показывают наши многолетние наблюдения, подобный феномен типичен для антропогенно нарушенных почв.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На примере почв, сформировавшихся в различных климатических условиях, рассмотрен один из возможных вариантов процесса образования органического вещества в почве. Показано, что новое органическое вещество в молодых почвах техногенных ландшафтов полярной Якутии представляет собой скопление плодовых тел грибов с разной степенью бактериальной переработки.

#### ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена в рамках выполнения государственных заданий ГЗ 0778-2019-0024 «Разработать перспективные системы земледелия на основе изучения, моделирования и прогноза количественных изменений свойств почв и продуктивности культур под влиянием длительного антропогенного воздействия в основных природно-сельскохозяйственных зонах Западной Сибири (СФНЦА РАН) и НМНиВО (проект FSRG-2020-0018) «Изучение особенностей функционирования Арктических и Субарктических экосистем Якутии в условиях усиления техногенного воздействия и глобального изменения климата» (НИИПЭС СВФУ).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Барашкова Н.В., Данилова А.А., Аржакова А.П., Мартынова Л.В., Устинова В.В., Иванова Л.С. *Продуктивность и средообразующий потенциал луговых фитоценозов в условиях среднетаежной подзоны Якутии*. Новосибирск: Наука, СО РАН, 2020. 218 с.
2. Бондарцева М.А., Змитрович И.В. Род *SISTOTREMA (CANTHARELLALES, HYDNACEAE)* в России // *Микология и фитопатология*. 2020. Т. 54. № 1. С. 3–15. DOI: 10.31857/S0026364820010043
3. Гарибова Л.В., Лекомцева С.Н. *Основы микологии*. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005. 220 с.
4. Данилова А.А. *Биодинамика пахотной почвы при различном содержании органического вещества*. Новосибирск: Изд-во СФНЦА РАН, 2018. 156 с.
5. Данилова А.А., Легостаева Я.Б., Сивцева Н.Е., Петров А.А. *Способ оценки устойчивости сапротрофного микробного сообщества почвы методом мультисубстратного теста* // Патент № 2678876. 2019. Бюл. № 3.
6. Капустянчик С.Ю., Данилова А.А., Лихенко И.Е. *MISCANTHUS SACCHARIFLORUS* в Сибири: параметры продукционного процесса, динамика биофильных элементов // *Сельскохозяйственная биология*. 2021. Т. 56. № 1. С. 121–134. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.1.121rus
7. Клевенская И.Л., Трофимов С.С., Таранов С.А., Кандрашин Е.Р. Сукцессии и функционирование микробоценозов в молодых почвах техногенных экосистем Кузбасса // *Микробоценозы почв при антропогенном воздействии*. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. С. 3–20.

8. Курачев В.М., Андроханов В.А. Классификация почв техногенных ландшафтов // *Сибирский экологический журнал*. 2002. № 3. С. 255–261.
9. Ширяев А.Г., Змитрович И.В., Ежов О.Н. Таксономическая и экологическая структура биоты базидиальных макромицетов полярных пустынь Северного полушария // *Сибирский экологический журнал*. 2018. № 5. С. 526–544. DOI: 10.15372/SEJ20180503
10. Dalal R.C. Soil microbial biomass: what do the numbers really mean? // *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 1998. Vol. 38. P. 649–665. DOI:10.1071/EA97142
11. Danilova A.A., Savvinov G.N., Gavril'eva L.D., Danilov P.P., Ksenofontova M.I., Petrov A.A. Short-term exclusion of degraded pasture in the permafrost zone: aspects of soil microbial community // *Arid Ecosystems*. 2017. Vol. 7. № 3. P. 184–190. DOI: 10.1134/S2079096117030039
12. Habtewold J.Z., Helgason B.L., Yanni S.F., Janzen H.H., Ellert B.H., Gregorich E.G. Litter composition has stronger influence on the structure of soil fungal than bacterial communities // *European Journal of Soil Biology*. 2020. Vol. 98. P. 103190. DOI: 10.1016/j.ejsobi. 2020.103190
13. Kästner M., Miltner A. SOM and Microbes – What Is Left From Microbial Life // *The Future of Soil Carbon*. Chapter 5. Academic Press. 2018. P. 125–163. DOI:10.1016/B978-0-12-811687-6.00005-5
14. Liang C., Kao-Kniffin J., Sanford G.R., Wickings K., C.Balser T., Jackson R.D. Microorganisms and their residues under restored perennial grassland communities of varying diversity // *Soil Biology and Biochemistry*. 2016. Vol.103. P.192–200. DOI: 10.1016/j.soilbio.2016.08.002
15. Liang C., Kästner M., Joergensen R.G. Microbial necromass on the rise: The growing focus on its role in soil organic matter development // *Soil Biology and Biochemistry*. 2020. Vol. 150. DOI: 10.1016/j.soilbio.2020.108000
16. Wiesmeier M., Livia Urbanski L., Hobley E., Lang B., Lützw M. von, Marin-Spiotta E., Wesemael B. van, Rabot E., Ließ M., Garcia-Franco N., Wollschläger U., Vogel H.-J., Kögel-Knabner I. Soil organic carbon storage as a key function of soils – A review of drivers and indicators at various scales // *Geoderma*. 2019. Vol. 333. P. 149–162. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.07.026

Поступила в редакцию 05.07.2022

Принята 17.08.2022

Опубликована 29.08.2022

#### Сведения об авторах:

**Данилова Альбина Афанасьевна** – доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН (р.п. Краснообск, Новосибирская область, Россия); [Danilova7alb@yandex.ru](mailto:Danilova7alb@yandex.ru)

**Петров Алексей Анатольевич** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт прикладной экологии Севера им. профессора Д.Д. Саввинова СВФУ (Якутск, Россия); [Petrov\\_Alexey@mail.ru](mailto:Petrov_Alexey@mail.ru)

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## VISUALIZATION OF SOIL MICROBIOLOGICAL PROCESSES USING A LIGHT MICROSCOPE

### PART 2. OBSERVING FUNGI PARTICIPATION OF IN THE FORMATION OF NEW SOIL ORGANIC MATTER

© 2022 A. A. Danilova <sup>1</sup>, A. A. Petrov <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the RAS, Krasnoobsk, Russia.

[Danilova7alb@yandex.ru](mailto:Danilova7alb@yandex.ru)

<sup>2</sup>North-Eastern Federal University, Institute of Applied Ecology of the North, Yakutsk, Russia,

[Petrov\\_Alexey@mail.ru](mailto:Petrov_Alexey@mail.ru)

*The aim of the study* was to describe how the initial stage of soil organic matter formation with the participation of fungi looks like in microbial landscapes.

*Location and time of the study.* The studies were carried out in 2018-2021. The objects of study: 1) leached chernozem (Luvic Chernozem), the forest-steppe of the Ob region (54°53'13.5" N and 82°59'36.7" E); 2) agro gray soil (Luvic Greyzemic Phaeozem) under perennial culture of *Miscanthus sacchariflorus*, the forest-steppe of the Ob region (54°53'13.5" N and 82°59'36.7" E); 3) a complex of permafrost alas soils (Cryosols) of varying degrees of pasture digression, Lena-Amga interfluvium (62°33'24.3" N and 130°54'01.4"

E); 4) cryogenic meadow-chnozem (Cryosol) soils on the high terrace of the Lena River near the city of Yakutsk (62°08'51" N, 129°45'45" E); and 5) Young soils on dumps after gold and tin mining in polar Yakutia (69°18'02,61" N, 139°55'35,89" E).

**Methodology.** The duration of glass slide exposure in field conditions ranged from a growing season to a year. To monitor the formation of new soil organic matter, glass slides were exposed for a year in moist soil samples at a constant temperature of +2°C. After exposure, the glass slides were dried, fixed, stained with carbolic erythrosine (5%), and examined microscopically at magnification of x40-x1000. We studied 50 fields of vision on one glass slide (3 slides on each variant). The snapshots were taken using Primo Star Zeiss microscope with an Axiocam105 color video camera.

**Results.** Visually, the formation of a new soil organic matter consists of the following stages: development of a fungal hyphae, accumulation of mineral particles in the space around hyphae, braiding of mineral particles with hyphae, formation of fungal fruiting bodies (basidiomata) and formation of globules, consisting of mineral particles, plant residues and fungal fruiting bodies of varying degrees of bacterial processing braided with hyphae of fungi.

**Conclusions.** The study presents one of the possible ways of new organic matter formation in the soils of technogenic landscapes of polar Yakutia. It was shown that young organic matter in these soils consists of the aggregation of fungal fruiting bodies at different stages of bacterial processing.

**Key words:** fungal hyphae; soil organic matter; leached chernozem; alas soils; young soils of technogenic landscapes; polar Yakutia

**How to cite:** Danilova A.A., Petrov A.A. Visualization of soil microbiological processes using a light microscope. Part 2. Observing the fungi participation in the formation of new soil organic matter // *The Journal of Soils and Environment*. 2022. 5(3). e185. DOI: [10.31251/pos.v5i3.185](https://doi.org/10.31251/pos.v5i3.185) (in Russian with English abstract)

## REFERENCES

1. Barashkova N.V., Danilova A.A., Arzhakova A.P., Martynova L.V., Ustinova V.V., Ivanova L.S. *Productivity and environment-forming potential of meadow phytocenoses in the conditions of the middle taiga subzone of Yakutia*. Novosibirsk: Nauka Publ., 2020, 218 p. (in Russian)
2. Bondartseva M.A., Zmitrovich I.V. The Genus *Sistotrema* (Cantharellales, Hydnaceae) in Russia, *Mycology and Phytopathology*, 2020, Vol. 54, No. 1, p. 3–15. DOI: 10.31857/S0026364820010043. (in Russian)
3. Garibova L.V., Lekomtseva S.N. *Fundamentals of mycology*. M.: Association of Scientific Publications KMK, 2005, 220 p. (in Russian)
4. Danilova A.A. *Biodynamics of agricultural soil at various content of organic substance*. Novosibirsk: SFNTsA RAN Publ., 2018, 156 p. (in Russian)
5. Danilova A.A., Legostaeva YA.B., Sivceva N.E., Petrov A.A. *A method for assessing the stability of the soil saprotrophic microbial community by the multisubstrate test method*. Patent No. 2678876. 2019. Byul. No. 3. (in Russian)
6. Kapustyanchik S.Yu., Danilova A.A., Likhnenko I.E. MISCANTHUS SACCHARIFLORUS in Siberia: parameters of the production process, dynamics of biophilic elements, *Agricultural biology*, 2021, Vol.56, No. 1, p. 121–134. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.1.121rus. (in Russian)
7. Klevenskaya I.L., Trofimov S.S., Taranov S.A., Kandrashin E.R. *Succession and functioning of microbocenoses in young soils of technogenic ecosystems of Kuzbass*, Microbocenoses of soils under anthropogenic disturbance. Novosibirsk: Nauka Publ., 1985, p. 3–20. (in Russian)
8. Kurachev V.M., Androhanov V.A. Classification of soils of technogenic landscapes, *Contemporary Problems of Ecology*, 2002, No. 3, p. 255–261. (in Russian)
9. Shiryaev A.G., Zmirtrovich I.V., Ezhov O.N. Taxonomic and Ecological Structure of Biota of Basidial Macromycetes in the Polar Deserts of the Northern Hemisphere, *Contemporary Problems of Ecology*, 2018, No. 5, p. 526–544. DOI: 10.15372/SEJ20180503. (in Russian)
10. Dalal R.C. Soil microbial biomass: what do the numbers really mean? *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 1998, Vol. 38, p. 649–665. DOI: 10.1071/EA97142
11. Danilova A.A., Savvinov G.N., Gavril'eva L.D., Danilov P.P., Ksenofontova M.I., Petrov A.A. Short-term exclusion of degraded pasture in the permafrost zone: aspects of soil microbial community, *Arid Ecosystems*, 2017, Vol. 7, No. 3, p. 184–190. DOI: [10.1134/S2079096117030039](https://doi.org/10.1134/S2079096117030039)
12. Habtewold J.Z., Helgason B.L., Yanni S.F., Janzen H.H., Ellert B.H., Gregorich E.G. Litter composition has stronger influence on the structure of soil fungal than bacterial communities, *European Journal of Soil Biology*, 2020, Vol. 98, p. 103190. DOI: [10.1016/j.ejsobi.2020.103190](https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103190)
13. Kästner M., Miltner A. *SOM and Microbes – What Is Left From Microbial Life*, The Future of Soil Carbon. Chapter 5. Academic Press, 2018, p. 125–163. DOI: 10.1016/B978-0-12-811687-6.00005-5

14. Liang C., Kao-Kniffin J., Sanford G.R., Wickings K., C.Balser T., Jackson R.D. Microorganisms and their residues under restored perennial grassland communities of varying diversity, *Soil Biology and Biochemistry*, 2016, Vol. 103, p. 192–200. DOI: 10.1016/j.soilbio.2016.08.002
15. Liang C., Kästner M., Joergensen R.G. Microbial necromass on the rise: The growing focus on its role in soil organic matter development, *Soil Biology and Biochemistry*, 2020, Vol. 150. DOI:10.1016/j.soilbio.2020.108000
16. Wiesmeier M., Livia Urbanski L., Hobley E., Lang B., Lützow M. von, Marin-Spiotta E., Wesemael B. van, Rabot E., Ließ M., Garcia-Franco N., Wollschläger U., Vogel H.-J., Kögel-Knabner I. Soil organic carbon storage as a key function of soils - A review of drivers and indicators at various scales, *Geoderma*, 2019, Vol. 333, p. 149–162. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.07.026

*Received 05 July 2022*

*Accepted 17 August 2022*

*Published 29 August 2022*

**About the authors:**

**Danilova Albina Afanasyevna** – Doctor of Biological Sciences, Principal Researcher in the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences (Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russia); [Danilova7alb@yandex.ru](mailto:Danilova7alb@yandex.ru)

**Petrov Alexey Anatolyevich** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the North-Eastern Federal University, Institute of Applied Ecology of the North (Yakutsk, Russia); [Petrov\\_Alexey@mail.ru](mailto:Petrov_Alexey@mail.ru)

*The author read and approved the final manuscript*



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)