



ОПЫТ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПОЧВЕННО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СВЕТОВОМ МИКРОСКОПЕ

СООБЩЕНИЕ 1. СООТНОШЕНИЕ ГРИБОВ И БАКТЕРИЙ В МИКРОБНЫХ ПЕЙЗАЖАХ КАК ОТРАЖЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

© 2022 А. А. Данилова 

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, р.п. Краснообск, а/я 356, Новосибирский район, Новосибирская область, 630501, Россия, E-mail: Danilova7alb@yandex.ru

Цель исследования: изучить соотношение грибов и бактерий в микробных пейзажах различных типов почв как критерия состояния почвенного органического вещества (ПОВ).

Место и время проведения. Исследования проведены в 2018–2021 гг. Объекты исследования:

1. Чернозём выщелоченный (Luvic Chernozem, лесостепь Приобья, 54°53'13,5" с.ш. и 82°59'36,7" в.д.). Варианты наблюдений: (1) бессменный пар (300 мг С мортмассы/кг, 50 мг N-NO₃/кг); (2) выращивание пшеницы, ежегодное удаление соломы с поля + чистый пар (440, 10); (3) многолетняя залежь (2500, 0).

2. Комплекс мерзлотных аласных почв (Cryosols) разной степени пастбищной дигрессии (Лено-Амгинское междуречье, 62°33'24,3" с.ш. и 130°54'01,4" в.д.).

Методология. Длительность экспозиции стекол обрастания в полевых условиях составляла от вегетационного периода до года. Для расшифровки пейзажей, полученных в полевых условиях, стекла экспонировали в лабораторных опытах в образцах тех же почв с нарушенной и ненарушенной (монолиты) структурой. Для изучения микробной сукцессии при разложении растительных остатков проводили инкубационные опыты длительностью 30–60 дней. В некоторых случаях для получения микробного отпечатка разложения органического вещества предметные стекла предварительно были завернуты в хлопчатобумажное полотно. 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 Аxiocam 105 color.

Основные результаты. Показана зависимость изменения размеров и локализации клеток бактерий в пейзаже от количества и состояния ПОВ. Предложена схема изменения соотношения грибов и бактерий в пейзажах при поступлении и разложении свежего растительного вещества. Основное различие микробных пейзажей между пахотной и целинной почвами заключалось в наличии в последней бактериальной пленки на поверхности гиф.

Заключение. Представлен визуальный ряд микробной сукцессии при поступлении и разложении растительного вещества в пахотную и целинную почвы. Формирование бактериальной пленки на поверхности гиф может быть одним из критериев устойчивости микробной системы почвы.

Ключевые слова: чернозем выщелоченный; мерзлотные аласные почвы; пахотные и целинные почвы; бактериальная пленка на гифах грибов; бактериальные отпечатки гиф; «горячие точки»

Цитирование: Данилова А.А. Опыт визуализации почвенно-микробиологических процессов в световом микроскопе. Сообщение 1. Соотношение грибов и бактерий в пейзажах как отражение состояния почвенного органического вещества // Почвы и окружающая среда. 2022. Том 5. № 1. e168. DOI: [10.31251/pos.v5i1.168](https://doi.org/10.31251/pos.v5i1.168)

ВВЕДЕНИЕ

Одна из основательниц почвенной микробиологии в СССР – Т.В. Аристовская – отмечала: «Для микробиолога почва – прежде всего среда обитания микроорганизмов, под воздействием которой формируется населяющая ее микрофлора. Для почвоведов почва – особое природное тело, которое образуется и развивается по своим собственным законам, жизнедеятельность же микроорганизмов представляет собой лишь один из факторов почвообразования» (Аристовская, 1980, с. 3). Т.В. Аристовская впервые предприняла попытку рассмотрения микробного пейзажа как отражения процессов почвообразования (Аристовская, 1965). К сожалению, прежде всего, из-за трудоемкости методики получения снимков данное направление в почвенной микробиологии не получило развития. Появление способов быстрого получения большого числа снимков микробных

пейзажей открывает новые возможности применения данного подхода для формирования визуального ряда почвенных процессов, что актуально, прежде всего, для образовательных целей.

Как известно, около 80% устойчивой фракции почвенного органического вещества (ПОВ) составляют компоненты микробиоты (Wiesmeier et al., 2019). Грибы и бактерии являются основной частью биомассы почвенных микроорганизмов. Их соотношение в почве может быть индикатором направленности процессов образования и разложения органического вещества: бактерии являются агентами быстрых процессов, грибы – медленных; при преобладании бактерий в сообществе процессы метаболизма ПОВ направлены преимущественно в сторону разложения, при доминировании грибов – в сторону накопления. Это связано с тем, что в биомассе бактерий соотношение С:N низкое (3–6), то есть для их метаболизма нужно больше азота в сравнении с грибами и они «добывают» его в результате разложения имеющегося ПОВ. В биомассе грибов С:N равно 5–15, то есть на единицу потребленного азота грибы в своей биомассе накапливают существенно больше углерода, чем бактерии (Habtewold et al., 2020). Осознавая значимость проблемы, почвенные микробиологи пытаются количественно оценить соотношение бактерий и грибов. Однако эти расчеты дают широкий разброс цифр, зачастую зависящий от метода определения количества и биомассы грибов и бактерий (Wang et al., 2019).

Существует ли альтернативная возможность наблюдения за соотношением грибов и бактерий? Мы предлагаем исследовать этот вопрос, изучая микробные пейзажи различных типов почв при различных видах антропогенной нагрузки.

Цель сообщения – на основе изучения микробных пейзажей различных типов почв показать информативность соотношения грибов и бактерий как отражения состояния ПОВ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены в 2018–2021 гг. Объекты исследования:

1. Чернозём выщелоченный (Luvic Chernozem, лесостепь Приобья, 54°53'13,5" с.ш. и 82°59'36,7" в.д.). Вследствие различного агроиспользования варианты наблюдений характеризовались следующим содержанием органического вещества и нитратного азота:

- (1) бессменный пар (300 мг С мортмассы/кг, 50 мг N-NO₃/кг);
- (2) выращивание пшеницы, ежегодное удаление соломы с поля + чистый пар (440, 10);
- (3) многолетняя залежь (2500, 0).

2. Комплекс мерзлотных аласных почв (Cryosols) разной степени пастбищной дигрессии (Лено-Амгинское междуречье, 62°33'24,3" с.ш. и 130°54'01,4" в.д.). Объект подробно описан нами ранее (Danilova et al., 2017).

Длительность экспозиции стекол обрастания в полевых условиях составляла от вегетационного периода до года. Для расшифровки пейзажей, полученных в полевых условиях, стекла экспонировали в лабораторных опытах в образцах тех же почв с нарушенной и ненарушенной (монолиты) структурой. Для изучения микробной сукцессии при разложении растительных остатков проводили инкубационные опыты длительностью 30–60 дней. В некоторых случаях для получения микробного отпечатка разложения целлюлозы предметные стекла предварительно были завернуты в хлопчатобумажное полотно. После экспонирования стекла сушили, фиксировали, красили карболовым эритрозинном (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 рисунках 1 и 2 представлены общий вид гиф и спор почвенных грибов при большом увеличении микроскопа. Судя по толщине, строению и наличию пряжек гифы на рис. 1 принадлежат базидиальным грибам. В пейзажах можно наблюдать разнообразие грибных спор и органов спороношения (рис. 2).

На рисунках 3 и 4 представлены общий вид клеток бактерий в пейзажах. Разнообразие морфологических форм бактерий, обнаруженных на стекле, при разложении хлопчатобумажного полотна в почве с внесением азотного удобрения, показано на рисунке 3 А. В условиях обилия пищи клетки крупные и, по характерной форме, можно определить даже их таксономическую принадлежность. Так, например, слегка изогнутые длинные палочки с заостренными концами относятся, скорее всего, к роду *Cytophaga*. При недостатке питательных веществ размеры клеток уменьшаются, колонии концентрируются около органических остатков (рис. 3 Б).

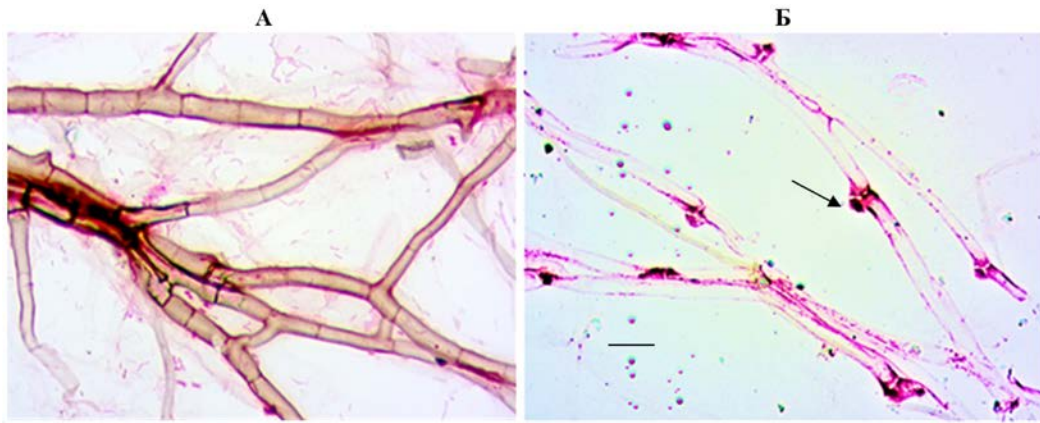


Рисунок 1. Грибной мицелий в световом микроскопе ($\times 1000$): А – септированный мицелий; Б – мицелий с пряжками (стрелкой указана пряжка на клеточной стенке, линейка 10 мкм).

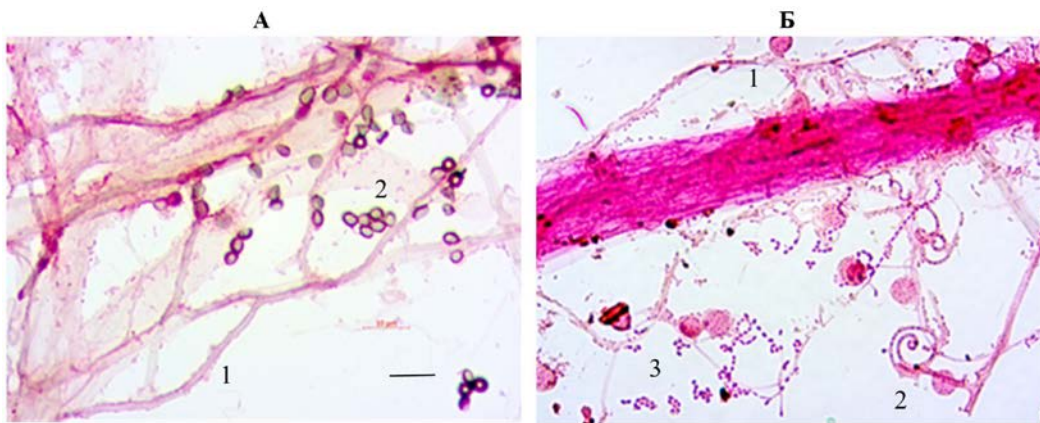


Рисунок 2. Примеры общего вида грибных спор ($\times 1000$): А – мицелий (1) и споры (2); Б – активно размножающаяся гифа на фрагменте корня. Видны различные стадии формирования спор: головка с плотной оболочкой (1), раскрытие головки (2), высвобождение спор (3). Масштабная линейка 10 мкм.

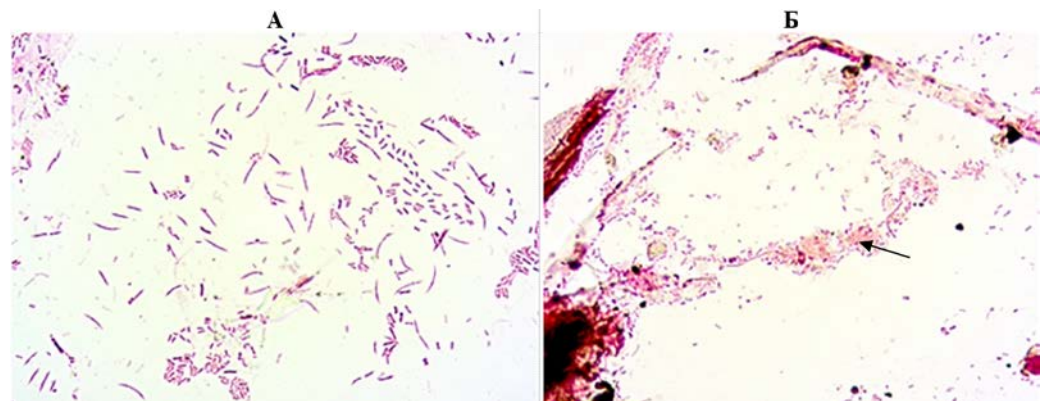


Рисунок 3. Морфология и размеры клеток бактерий при различных условиях роста (чернозем выщелоченный, пашня, экспозиция стекол в лабораторном опыте продолжительностью 30 дней): А – пейзаж получен при внесении в почву соломы с азотным удобрением; Б – пейзаж в том же опыте без дополнительных источников питательных веществ (стрелкой показано скопление мелких клеток бактерий вокруг органического остатка). При увеличении $\times 1000$.

Анализируя расположение колоний бактерий в пейзаже, можно оценить особенности распределения органического вещества в почве. Так, в мерзлотной аласной почве на пастбище ПОВ распределено локусами (рис. 4 А) вследствие поступления навоза при перевыпасе, тогда как характер расположения колоний в мерзлотной аласной засоленной ненарушенной почве обусловлен относительно равномерным распределением ПОВ (рис. 4 Б) при высоких значениях реакции среды ($\text{pH}=9$).

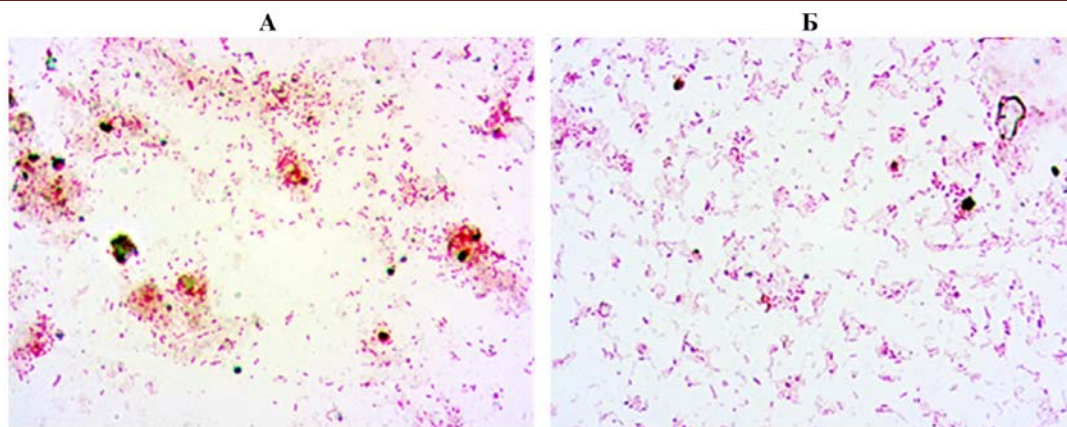


Рисунок 4. Различная локализация колоний бактерий в микробном пейзаже в зависимости от состояния органического вещества в почве (экспозиция стекол в полевых условиях продолжительностью один год): А – мерзлотная аласная почва в условиях пастбища при перевыпасе крупного рогатого скота (колонии бактерий вокруг частичек навоза); Б – мерзлотная аласная засоленная ненарушенная почва с рН=9 (растворенное органическое вещество относительно равномерно покрывает поверхность стекла). При увеличении $\times 1000$.

Как известно, основной метаболизм почвы обычно проходит в, так называемых, «горячих точках» (hotspots) – в местах локализации доступных пищевых источников (Кузьяков, Влагодатская, 2015). Это, прежде всего, пространство около корней. На рисунке 5, на наш взгляд, зафиксировано одно из таких мест, а именно – активный рост клеток бактерий около зоны роста корня. Наш вывод основан на общем виде распределения этих локаций (рис. 5 А, Б), очевидно, соответствующий рисунку распространения корней растений по поверхности стекла.

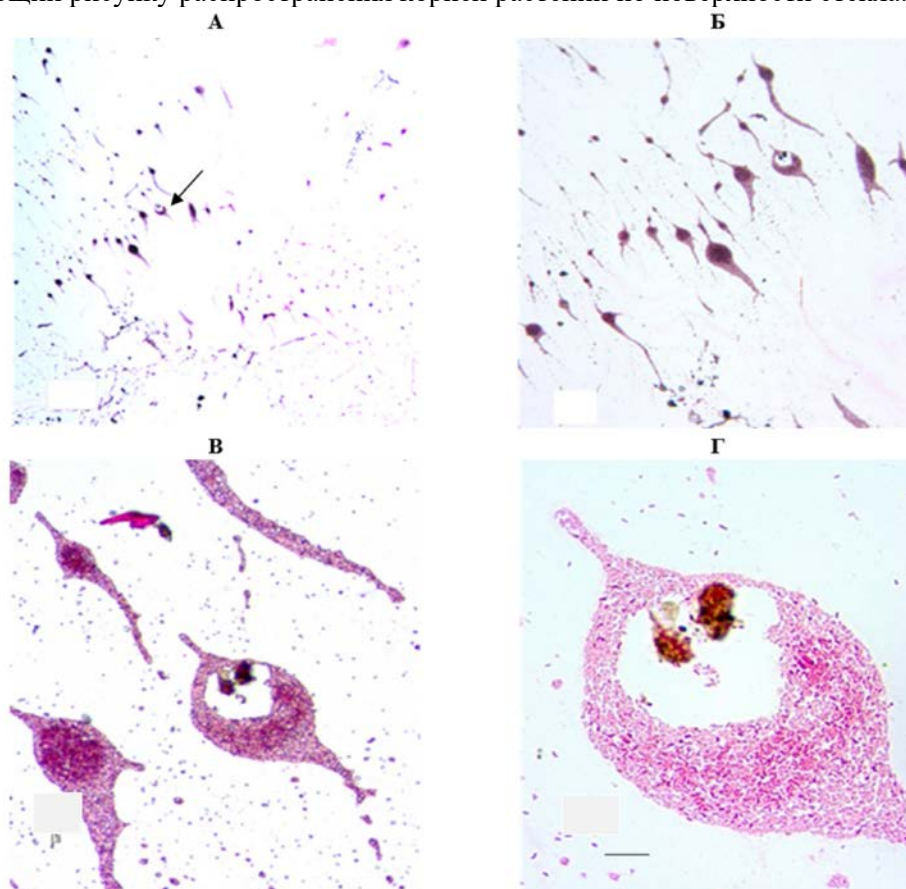


Рисунок 5. Локализация клеток бактерий около точек роста мелких корней растений при различном увеличении микроскопа (чернозем выщелоченный, пашня; экспозиция стекол в полевых условиях с мая по июль 2018 г.): А, Б, В и Г соответствуют увеличению микроскопа $\times 40$, 100, 400 и 1000. Стрелкой на рис. А показана зона дальнейшего увеличения. Масштабная линейка на рис. Г – 10 мкм

Бактерии и грибы как компоненты сообщества находятся в постоянном взаимодействии, и как будет показано ниже, картина результатов последнего на стекле может быть отражением состояния почвы. На рисунке 6 показаны разные стадии этого процесса – от микобактериального сообщества до бактериального лизиса гиф, когда остается только бактериальный отпечаток гифы.

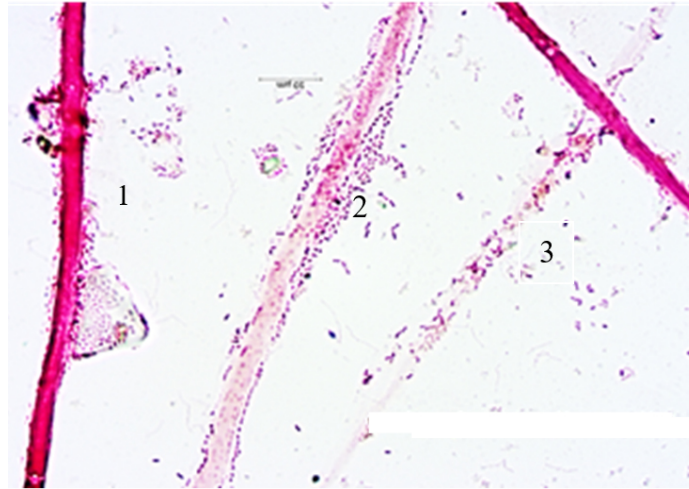


Рисунок 6. Различные виды взаимодействия грибов и бактерий в почве: 1– начальная стадия контактов бактерий с грибной гифой; 2 – микобактериальное сообщество; 3 – бактериальный отпечаток гифы. При увеличении $\times 1000$.

Далее рассмотрим, как это взаимодействие развивается при поступлении свежего растительного вещества в старопахотную и целинную (залежную) почвы (рис. 7). В начальный период при обилии источников пищи колонии бактерий растут по всей поверхности стекла, клетки достаточно крупные.

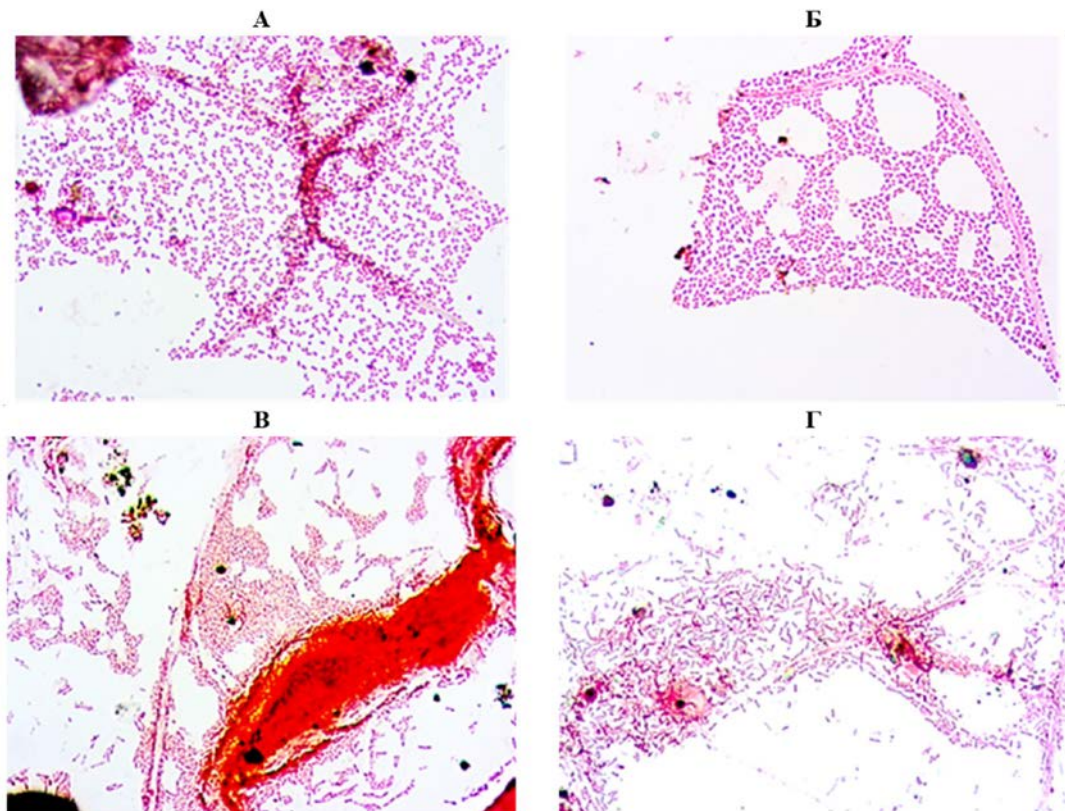


Рисунок 7. Развитие бактериальных колоний в начальный момент после поступления растительных остатков: А – обилие доступных источников пищи способствует распределению бактерий по всему полю зрения; Б – более локализованное расположение источника пищи; В – концентрация клеток около остатка корня; Г – локализация пищи становится все более выраженной, хотя ее еще достаточно. При увеличении $\times 1000$.

Период обилия пищи в почве обычно очень короткий. При истощении ресурсов питания начинается уменьшение площади полей зрения, занятых бактериями. Последние начинают тяготеть к гифам грибов (рис. 8).

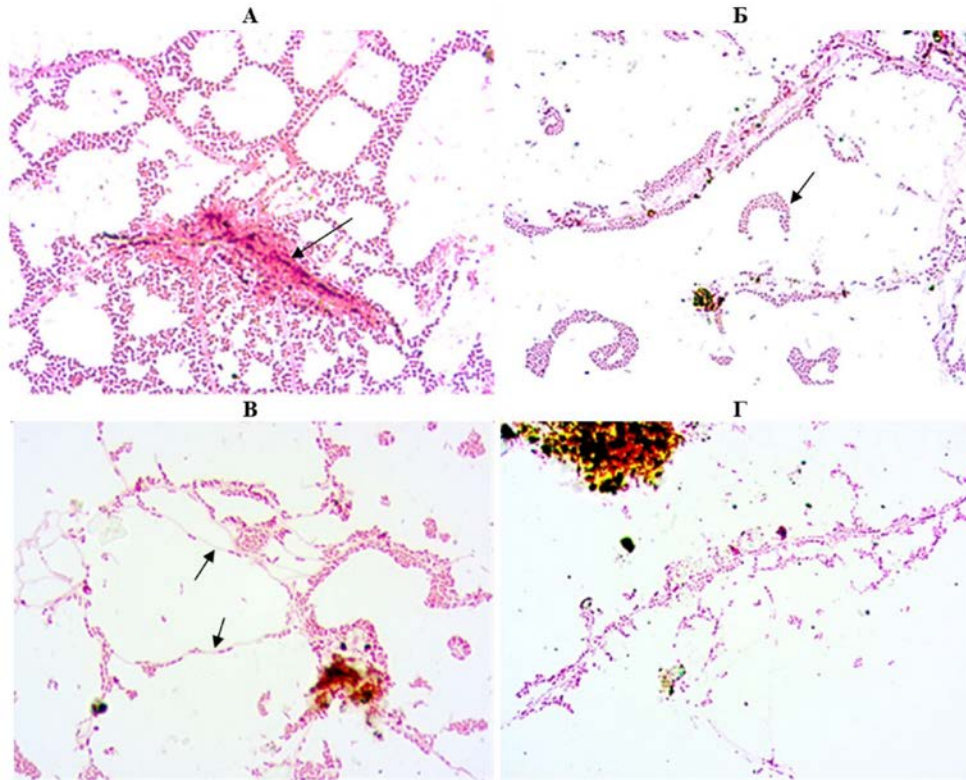


Рисунок 8. Расположение клеток бактерий при постепенном истощении источников пищи: А – клетки около корневого остатка (стрелка), на остальной части поля зрения истощение пищи очень заметно-клетки тяготеют к гифам; Б – в свободном виде пищи практически нет, остались только отдельные локусы (стрелкой показана колония бактерий); В и Г – свободных источников пищи уже нет – бактерии в состоянии активно расти только в зоне выделения продуктов метаболизма грибов, заметное снижение размеров клеток (стрелкой показаны гифы грибов). При увеличении $\times 1000$.

Дальнейшее развитие событий, как установлено нами, зависит от исходного состояния почвы. Различие между пахотной и целинной (залежной) почвами в контексте нашего сообщения заключается, прежде всего, в соотношении C:N. Величина эта в пахотной почве значительно ниже показателей целинных почв. То есть источников азота в пахотной почве существенно выше, чем на целине, что дает преимущество для метаболизма бактерий. В результате чего в старопашотной почве бактерии преимущественно лизируют гифы грибов (рис. 9).

В многолетней залежи и целинной аласной почве этот процесс развивается по направлению формирования микобактериальных сообществ – на гифах образуются разнообразные формы бактериальных пленок (рис. 10).

В результате мы можем представить визуальную схему соотношения грибов и бактерий в пахотной и целинной почвах при поступлении и разложении растительных остатков (РО). В начальный период после поступления РО, когда еще достаточно пищи, пейзаж имел общие черты независимо от исходной истории почвы (рис. 11 А). Последняя определяла дальнейшее развитие событий при истощении пищевых источников. В вспаханной почве сукцессия шла при доминировании бактерий (рис. 11 Б), в целинной – при равновесии грибной и бактериальной составляющих, приводящего к формированию микобактериальных сообществ в виде бактериальной пленки на поверхности гиф (рис. 11 В). Отметим, что такие пленки в лабораторных условиях формируются за достаточно короткий срок (20-30 дней) даже при компостировании образцов почвы, прошедших обычную пробоподготовку (сушка, пропуск через сито). Это означает, что образование микобактериальных сообществ в ненарушенных почвах является процессом закономерным и может служить одним из критериев экологической устойчивости почвы.

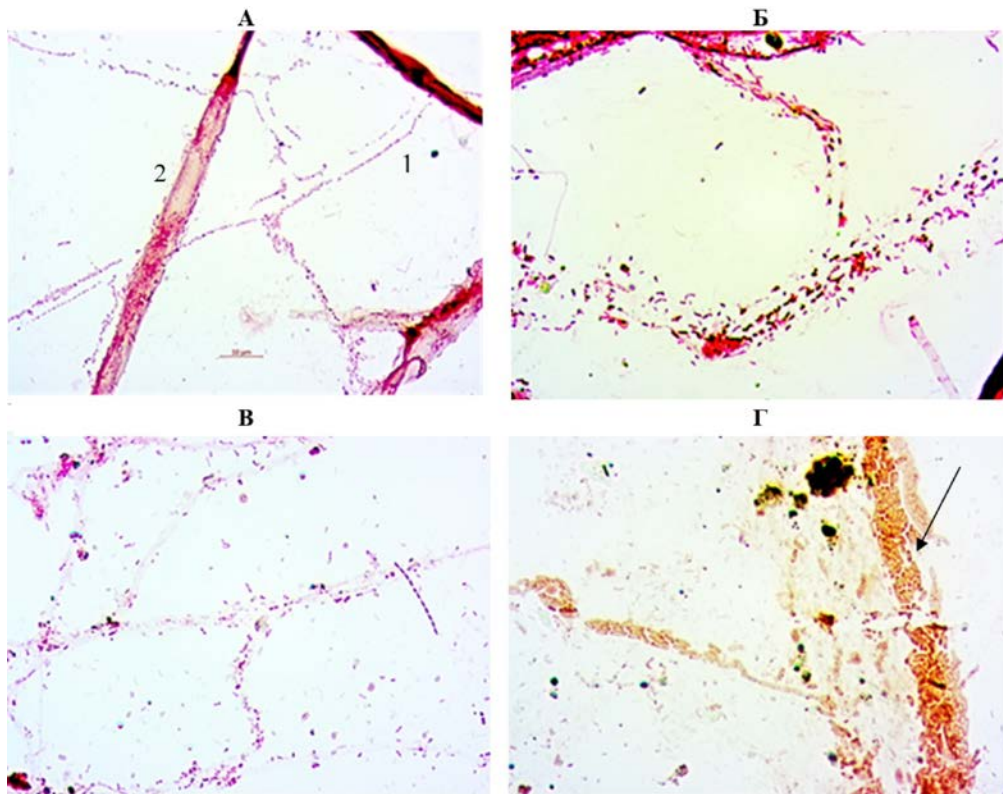


Рисунок 9. Бактериальный лизис грибных гиф в старопахотной почве: А – четко очерченный бактериальный отпечаток лизированной гифы (1) на фоне живой гифы (2); Б и В – отпечаток гифы без четких границ; Г – плотная бактериальная пленка на месте лизированной гифы (стрелка).

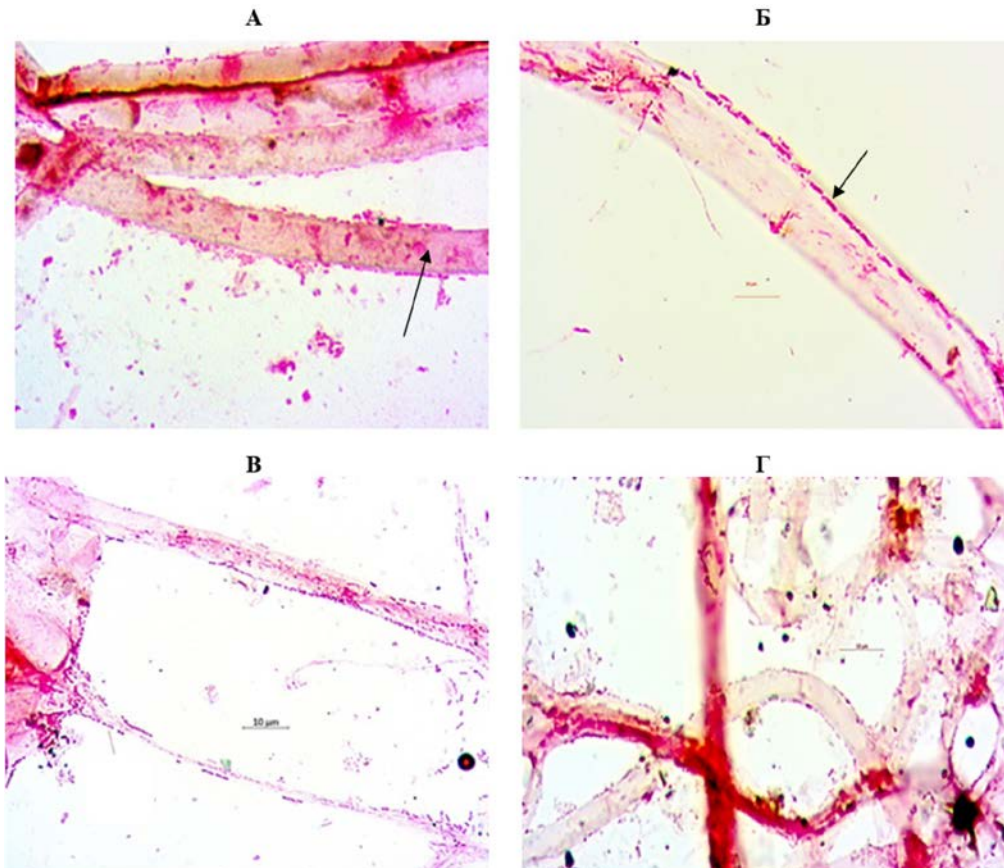


Рисунок 10. Примеры бактериальных пленок на поверхности гиф в целинной аласной почве: А – нестабильная по толщине пленка из мелких клеток (стрелкой показана гифа гриба); Б – одноклеточный слой из крупных палочек (стрелкой показаны клетки бактерий); В и Г – стабильная по толщине бактериальная пленка из очень мелких клеток (при увеличении $\times 1000$, масштабная линейка 10 мкм).

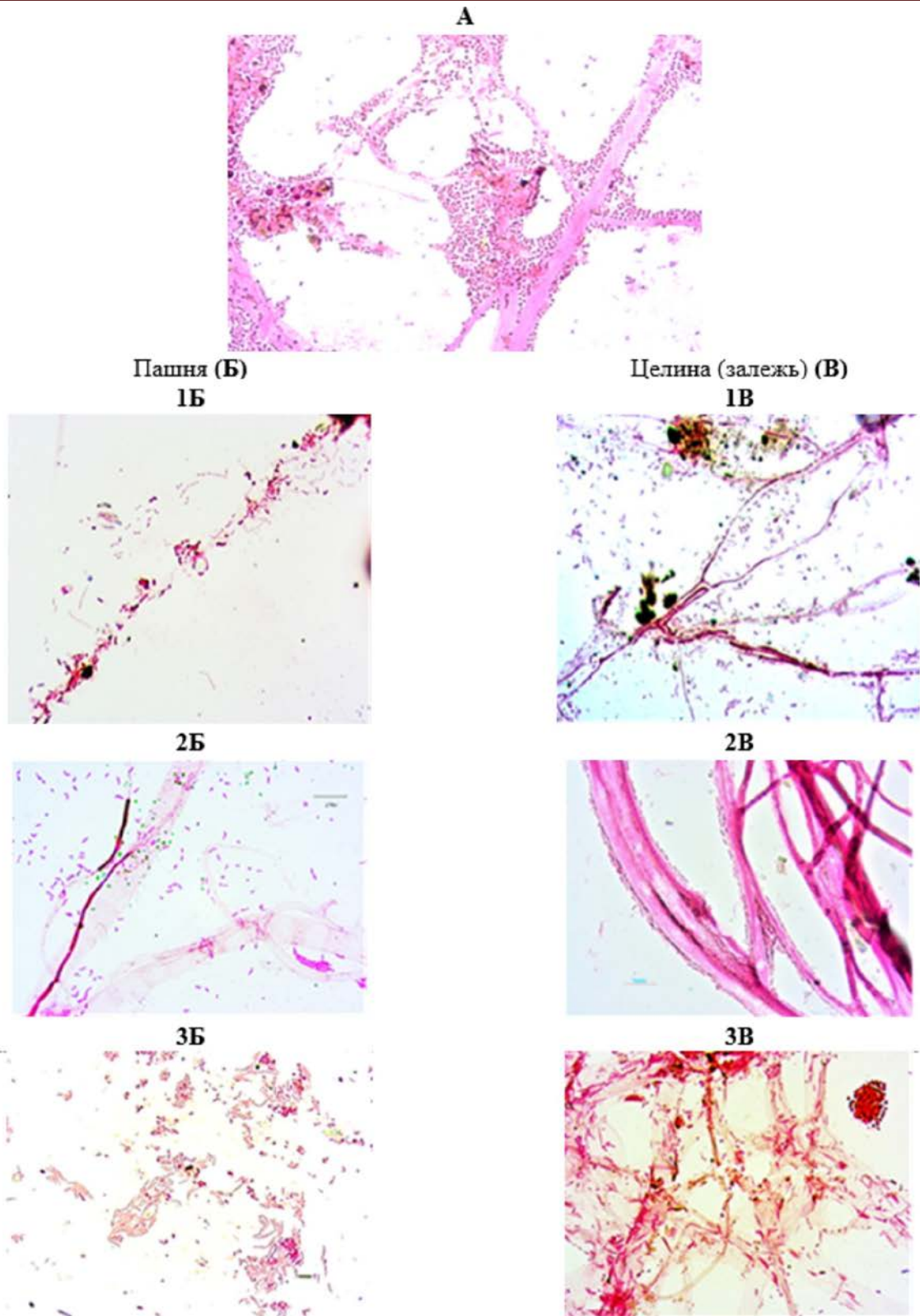


Рисунок 11. Визуализация возможных направлений сукцессии в микробном сообществе почвы при поступлении и разложении растительных остатков (РО) (при увеличении $\times 1000$): А – микробный пейзаж почв (пахотной и целинной) в начальный период после поступления РО; Б – старопахотная почва, где 1Б – бактериальный отпечаток гиф (бактерии лизируют гифы грибов), 2Б – грибы и бактерии не контактируют (выживают грибы, устойчивые к бактериальному лизису), 3Б – сформирован типичный пейзаж пахотной почвы с доминированием бактерий; В – целинная почва, где 1В – начало формирования сообщества (бактерии тяготеют к зонам роста гиф), 2В – образован микобактериальный комплекс (плотная бактериальная пленка на поверхности гиф), 3В – сформирован типичный пейзаж целинной почвы с доминированием грибов и фрагментами бактериальных пленок на поверхности гиф.

На основе описанных выше наблюдений мы можем объяснить различие состояния ПОВ в пахотных и целинных (залежных) почвах. В пахотной почве создаются условия неблагоприятные для развития грибов – основных концентраторов органического вещества в почве. Из-за различий в соотношении C:N в пахотной и целинной почвах разложение в них поступившего органического вещества происходит с разной степенью интенсивности (рис. 12). В пахотной почве, при преобладании бактерий, процесс сдвинут в сторону минерализации органического вещества.

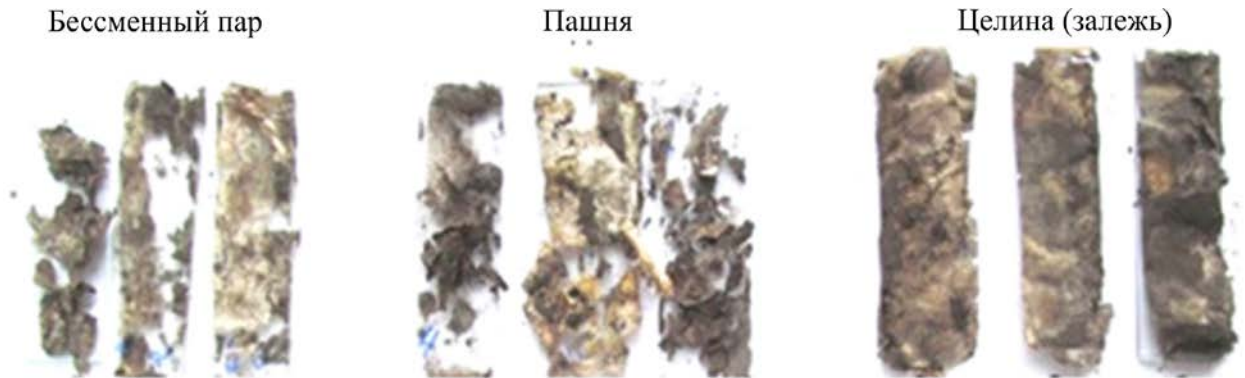


Рисунок 12. Более интенсивное в сравнении с целиной разложение целлюлозосодержащего материала в пахотной почве (чернозем выщелоченный, лабораторный опыт продолжительностью 30 дней).

В результате этих процессов, на фоне более низкого в сравнении с целиной количества поступающих растительных остатков, происходит не только снижение содержания ПОВ, но и изменение его состояния. На микробном пейзаже хорошо заметно различие состояния ПОВ между вариантами опыта (рис. 13).

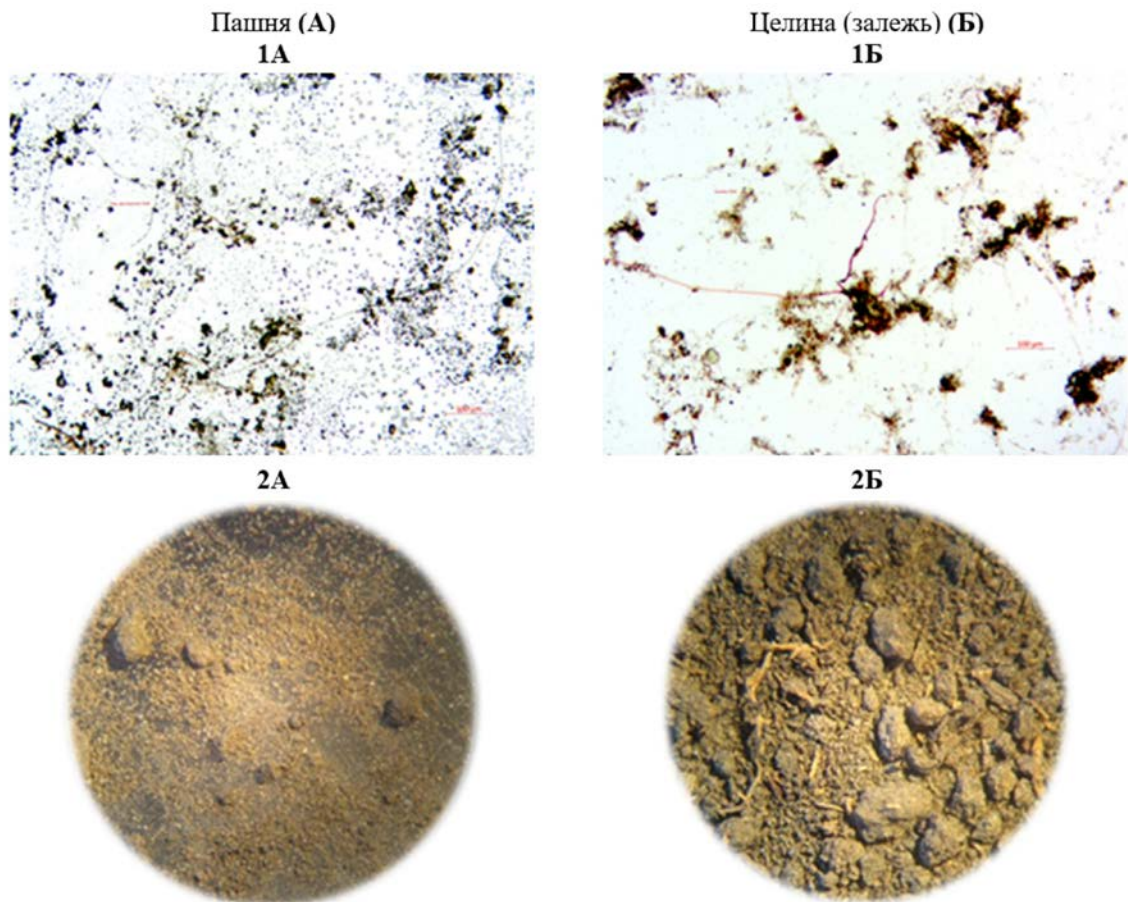


Рисунок 13. Состояние почвенного органического вещества (при увеличении $\times 100$, масштабная линейка 100 мкм) и структура (МБС 10 \times 32) чернозема выщелоченного на пашне (А) и многолетней залежи (Б).

На пашне не обнаруживаются вещества слабой степени гумификации (рис. 13, 1А), которыми насыщено ПОВ на целине (рис. 13, 1Б), следствием чего является распыление структуры пахотной почвы (рис. 13, 2А).

Все описанные моменты имеют прямое отношение к балансу органического вещества в почве. На рисунке 14 представлены результаты лабораторного опыта, где изучали величину потерь углерода после внесения в пахотную и целинную почвы одинаковых доз соломы.

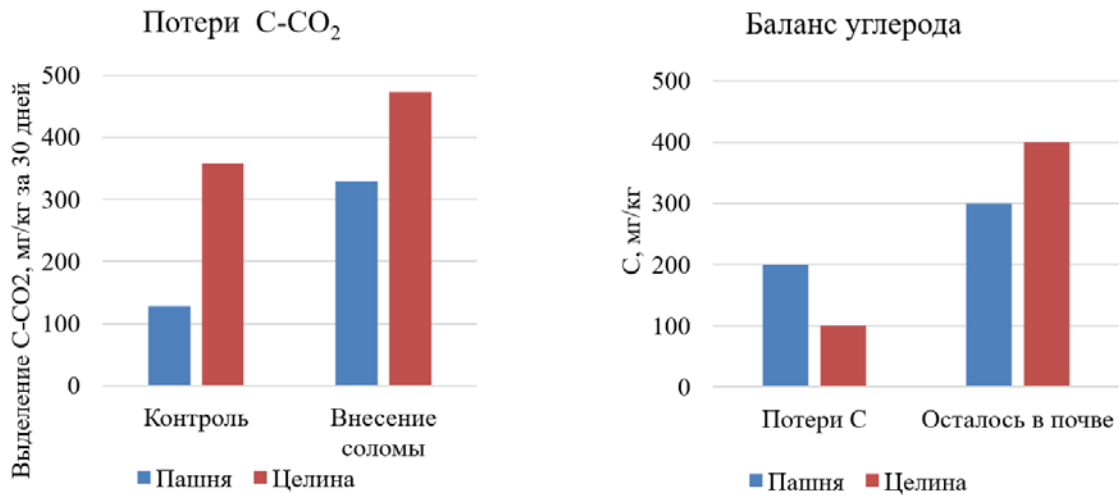


Рисунок 14. Сравнение элементов баланса углерода в пахотной и целинной почвах при поступлении одинаковых доз растительных остатков.

При поступлении соломы относительная активизация дыхательной активности пахотной почвы была выше, чем целиной (бактериальное разложение растительных остатков более интенсивное, чем грибное). В итоге, потери поступившего углерода из пахотной почвы превышали показатели целинной. Что это означает с точки зрения, например, сиквестра углерода в ПОВ? – чем более выпахана почва, тем больше потребуются органического вещества для стабилизации баланса углерода, не говоря о начале закрепления элемента в ПОВ.

ОБСУЖДЕНИЕ

С самого зарождения почвенной микробиологии как науки исследователи искали способы наблюдения ассоциаций почвенных микроорганизмов в условиях, близких к естественным. Методы стекол обрастания и капиллярных педоскопов в свое время позволили составить общее представление о разнообразии микробного населения почв *in situ* (Рыбалкина, Кононенко, 1957; Аристовская, 1980; Паринкина, 1989). В настоящее время изучение взаимоотношений грибов и бактерий в различных средах является одной из актуальных проблем биотехнологии (Deveau et al., 2018). Выяснение фундаментальных вопросов в этой области позволит решить конкретные прикладные задачи. В частности, разработать новые способы борьбы с патогенными грибами. Имеющиеся в настоящее время знания в данной сфере получены преимущественно в лабораторных условиях. Особенности микобактериальных сообществ в естественных или близких к ним условиях остаются слабо изученными. Это особенно касается почв (Hover et al., 2016; Deveau et al., 2018). Представленный в статье материал является некоторым вкладом в этом направлении исследований. Нам удалось несколько углубить наши представления о степени различий между старопашотной и целинной (залежной) почвами. Введение в почвы в сельскохозяйственный оборот приводит к закономерному изменению соотношения грибов и бактерий в ней, что является следствием, прежде всего, снижения количества и качества поступающего растительного вещества. В нашем исследовании анализ пейзажей показал, возможно, один из важных моментов, различающих микробное сообщество пахотной и целинной почв. А именно, в пахотной почве бактериальная часть сообщества отбирается в сторону накопления представителей, агрессивных по отношению к грибам. В литературе известен список бактерий, приспособленных к лизису грибов, так называемых, грибофагов (*mycofagy*). Кроме того, не исключается наличие у других бактерий способности при определенных условиях переходить к лизису гиф (Hover et al., 2016). На основе этих соображений можно предположить, что отмеченный нами момент является одним из механизмов, поддерживающих своеобразное

равновесие содержания углерода в пахотной почве, не позволяющий существенное повышение содержания ПОВ при внесении экономически приемлемых доз органических удобрений.

С методической точки зрения формирование бактериальной пленки на поверхности гиф может быть одним из критериев устойчивости микробной системы почвы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлен визуальный ряд микробной сукцессии при поступлении и разложении растительного вещества в пахотную и целинную почвы. Формирование бактериальной пленки на поверхности гиф может быть одним из критериев устойчивости микробной системы почвы. Полученный материал будет полезен также в целях популяризации знаний о почве.

БЛАГОДАРНОСТИ

Статья посвящается светлой памяти моей первой наставницы по биологии почв – Елизаветы Викторовны Напрасниковой – ученицы Татьяны Вячеславовны Аристовской.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена в рамках государственного задания 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).

ЛИТЕРАТУРА

1. Аристовская Т.В. *Микробиология подзолистых почв*. М.-Л.: Наука, 1965. 190 с.
2. Аристовская Т.В. *Микробиология процессов почвообразования*. М.-Л.: Наука, 1980. 150 с.
3. Паринкина О.М. *Микрофлора тундровых почв*. Л.: Наука, 1989. 160 с.
4. Рыбалкина А.В., Кононенко Е.В. *Активная микрофлора почв* // Микрофлора почв Европейской части СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1957. С. 250–260.
5. 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](https://doi.org/10.1134/S2079096117030039)
6. Deveau A., Bonito G., Uehling J., Paoletti M., Becker M., Bindschedler S., Hacquard S., Herve V., Labbe J., Lastovetsky O.A., Mieszkin S., Millet L.J., Vajna B., Junier P., Bonfante P., Krom B.P., Olsson S., van Elsas J.D., Wick L.Y. Bacterial–fungal interactions: ecology, mechanisms and challenges // *FEMS Microbiology Reviews*, fuy008. 2018. Vol. 42. P. 335–352. DOI: [10.1093/femsre/fuy008](https://doi.org/10.1093/femsre/fuy008)
7. 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)
8. Hover T., Maya T., Ron S., Sandovsky H., Shadkchan Y., Kijner N., Mitiagin Y., Fichtman B., Harel A., Shanks R.M.Q., Bruna R.E., Garcia-Vescovi E., Osherov N. Mechanisms of bacterial (*Serratia marcescens*) attachment to, migration along, and killing of fungal hyphae // *Applied and Environmental Microbiology*. 2016. Vol. 82. № 9. P. 2585–2594. DOI: [10.1128/AEM.04070-15](https://doi.org/10.1128/AEM.04070-15)
9. Kuzuyakov Y., Blagodatskaya E. Microbial hotspots and hot moments in soil: Concept & review // *Soil Biology and Biochemistry*. 2015. Vol. 83. P. 184–199. DOI: [10.1016/j.soilbio.2015.01.025](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.01.025) 0038-0717
10. Wang X., Zhang W., Shao Y., Zhao J., Zhou L., Zou X., Fu S. Fungi to bacteria ratio: Historical misinterpretations and potential implications // *Acta Oecologica*. 2019. Vol. 95. P. 1–11. DOI: [10.1016/j.actao.2018.10.003](https://doi.org/10.1016/j.actao.2018.10.003)
11. 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](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.026)

Поступила в редакцию 07.02.2022

Принята 01.03.2022

Опубликована 02.03.2022

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



VISUALIZATION OF SOIL MICROBIOLOGICAL PROCESSES WITH A LIGHT MICROSCOPE

PART 1. THE RATIO OF FUNGI AND BACTERIA IN MICROBIAL LANDSCAPES AS AN INDICATOR OF THE STATE OF SOIL ORGANIC MATTER

© 2022 A. A. Danilova 

Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the RAS, Krasnoobsk, Novosibirskaya oblast, Russia, E-mail: Danilova7alb@yandex.ru

The aim of the study is to investigate location features of fungi and bacteria on glass slides exposed to arable and virgin soils.

Location and time of the study. The studies were carried out in 2018–2021. 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). Observation options: (1) permanent steam field (300 mg mortmass C/kg, 50 mg N-NO₃/kg); (2) wheat cultivation, annual removal of straw from the field + bare fallow (440, 10); (3) long-term fallow field –virgin soil (2500, 0). 2. A complex of permafrost alas soils (Cryosols) of varying degrees of pasture digression (Lena-Amga interfluve, 62°33'24.3" N and 130°54'01.4" E).

Methodology. The duration of glass slide exposure in field conditions ranged from a growing season to a year. To decipher landscapes obtained in the field, glass slides were exposed in laboratory conditions in samples of the same soils with disturbed and undisturbed (monolith) structure. To study microbial succession during decomposition of plant residues 30-60 days incubation experiments were carried out. In some cases, to obtain a microbial imprint of decomposition of organic matter, glass slides were previously wrapped in cotton cloth. After exposure, the glass slides were dried, fixed, stained with carbolic erythrosine (5%), and examined microscopically at magnification of ×40–×1000. 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 Axiocam 105 color video camera.

Results. The size and localization of bacterial cells on a microbial landscape depend on the amount and state of soil organic matter. We outline a schematic representation of change in the fungi to bacteria ratio in landscapes during decomposition of plant residues. In contrast to arable soil, in virgin soil a bacterial biofilm was formed on the surface of hyphae.

Conclusions. A visual series of microbial succession during the decomposition of plant residues in arable and virgin soils is presented. The bacterial biofilm formation on the surface of hyphae might indicate stability of soil microbial system.

Key words: leached chernozem; alas soils; arable and virgin soils; bacterial biofilm on fungal hyphae; bacterial imprints of hyphae; hotspots

How to cite: Danilova A.A. Visualization of soil microbial processes with a light microscope. Part 1. The ratio of fungi and bacteria in microbial landscapes as an indicator of the state of soil organic matter // *The Journal of Soils and Environment*. 2022. 5(1). e168. DOI: [10.31251/pos.v5i1.168](https://doi.org/10.31251/pos.v5i1.168) (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Aristovskaya T.V. *Microbiology of podzolic soils*. Moscow-Leningrad: Nauka Publ., 1965, 190 p. (in Russian)
2. Aristovskaya T.V. *Microbiology of soil formation processes*. Moscow-Leningrad: Nauka Publ., 1980, 150 p. (in Russian)
3. Parinkina O.M. *Microflora of tundra soils*. Leningrad: Nauka Publ., 1989, 160 p. (in Russian)
4. Rybalkina A.V., Kononenko E.V. *Active soil microflora*. In book: *Soil microflora of the European part of the USSR*. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1957, p. 250–260. (in Russian)
5. 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)
6. Deveau A., Bonito G., Uehling J., Paoletti M., Becker M., Bindschedler S., Hacquard S., Herve V., Labbe J., Lastovetsky O.A., Mieszkin S., Millet L.J., Vajna B., Junier P., Bonfante P., Krom B.P., Olsson S., van Elsas J.D., Wick L.Y. Bacterial–fungal interactions: ecology, mechanisms and challenges, *FEMS Microbiology Reviews*, fuy008, 2018, Vol. 42, p. 335–352. DOI: [10.1093/femsre/fuy008](https://doi.org/10.1093/femsre/fuy008)

7. 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)
8. Hover T., Maya T., Ron S., Sandovsky H., Shadkchan Y., Kijner N., Mitiagin Y., Fichtman B., Harel A., Shanks R.M.Q., Bruna R.E., García-Véscovi E., Osherov N. Mechanisms of bacterial (*Serratia marcescens*) attachment to, migration along, and killing of fungal hyphae, *Applied and Environmental Microbiology*, 2016, Vol. 82, No. 9, p. 2585–2594. DOI: [10.1128/AEM.04070-15](https://doi.org/10.1128/AEM.04070-15)
9. Kuzyakov Y., Blagodatskaya E. Microbial hotspots and hot moments in soil: Concept & review, *Soil Biology and Biochemistry*, 2015, Vol. 83, p. 184–199. DOI: [10.1016/j.soilbio.2015.01.025](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.01.025) 0038-0717
10. Wang X., Zhang W., Shao Y., Zhao J., Zhou L., Zou X., Fu S. Fungi to bacteria ratio: Historical misinterpretations and potential implications, *Acta Oecologica*, 2019, Vol. 95, p. 1–11. DOI: [10.1016/j.actao.2018.10.003](https://doi.org/10.1016/j.actao.2018.10.003)
11. 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](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.026)

Received 07 February 2022

Accepted 01 March 2022

Published 02 March 2022

About the author:

Danilova Albina A. – 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

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/)