

**Эколого-функциональная организация микробоценозов почв техногенно
нарушенных лесных экосистем Средней Сибири**
**Ecological and functional organization of microbial complexes of soil technogenic
disturbed forest ecosystems of Central Siberia**

А.В. Богородская

A.V. Bogorodskaya

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск, anbog@ksc.krasn.ru

Показана возможность использования эколого-функциональных параметров микробоценозов для оценки состояния почв лесных экосистем Средней Сибири, нарушенных техногенным и антропогенным влиянием. Микробные комплексы почв являются наиболее перспективным инструментом биоиндикации, ранней диагностики состояния и мониторинга наземных экосистем.

Ключевые слова: техногенные экосистемы, микробные комплексы почв, эколого-трофические группы микроорганизмов, микробная биомасса, базальное дыхание.

Разработка угольных месторождений, сооружение и эксплуатация линейно-протяженных инженерных объектов (ЛЭП), аэротехногенные выбросы предприятий цветной металлургии приводят к значительной и длительной трансформации коренных биогеоценозов с заменой формаций, изменению гидрологического режима, деградации почв и другим негативным последствиям, формируя техногенные комплексы, занимающие значительное место в общей цепи природных экосистем Средней Сибири. Почва, как основное звено биогеохимического цикла элементов, служит стоком или источником парниковых газов и принимает участие в очищении биосферы от загрязнения. В связи с тем, что процессы минерализации и круговорота биогенных элементов осуществляются почвенными микроорганизмами, микробный компонент является ключевым фактором, определяющим и отражающим состояние почвы. Цель исследований заключалась в оценке функциональных откликов почвенной микрофлоры на разные виды техногенных (антропогенных) нарушений лесных экосистем Средней Сибири.

Исследования микробоценозов проводили в экосистемах, подобранных по степени нарушенности компонентов лесных экосистем: растительность (рубки главного пользования темнохвойных лесов Енисейского края, просеки ЛЭП), растительность+почва

(аэротехногенное воздействие выбросов предприятий Норильского промрайона (НПР), растительность+почвогрунты+рельеф (отвалы Бородинского угольного разреза).

Показано, что вырубки главного пользования в темнохвойных лесах только в первые два года сукцессии растительности приводят к трансформации структуры и снижению численности эколого-трофических групп микроорганизмов (ЭКТГМ), снижению иммобилизации углерода почв в микробной биомассе и потере почвенного органического вещества в виде эмиссии CO_2 (рис.). На травянистой стадии и в несомкнувшихся молодняках (4–10-летние вырубки) значительно повышается функциональная активность микробиоценоза, отмечается высокая численность гетеротрофной микрофлоры почв и развитость органотрофного комплекса. После смыкания крон на стадии молодняков и жердняков отмечена высокая численность ЭКТГМ и наибольшая сбалансированность и устойчивость микробиологических процессов.

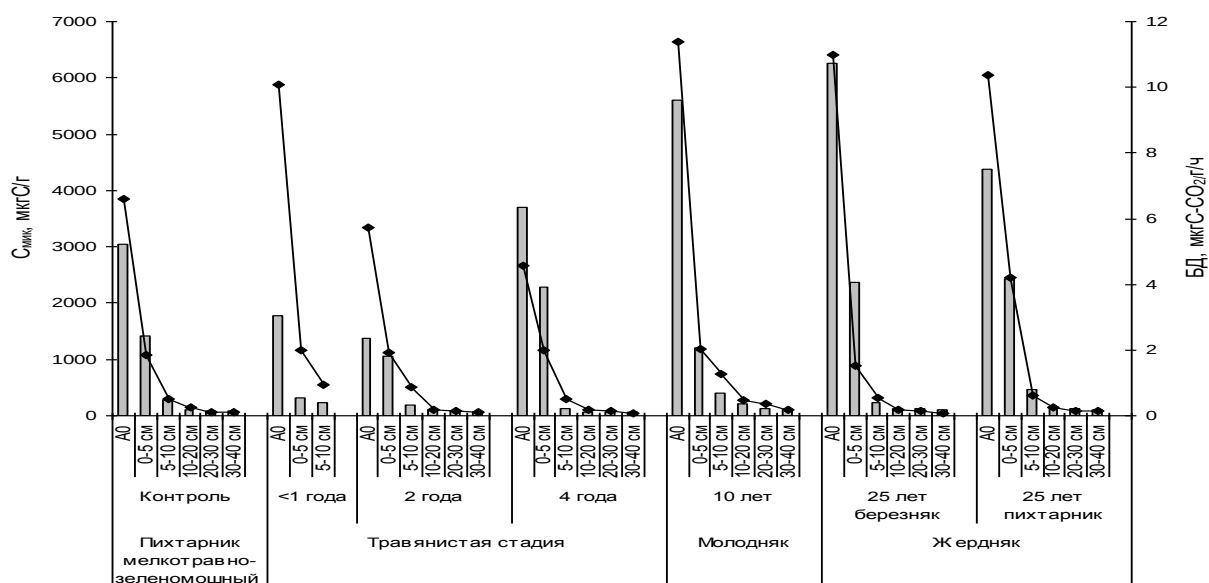


Рис. Содержание углерода микробной биомассы и интенсивность базального дыхания в почвах темнохвойных вырубок разного возраста.

На просеках ЛЭП, пересекающих сосновые и лиственные (со вторым ярусом темнохвойных) формации, отмечается трансформация структуры ЭКТГМ и показателей функциональной активности микробиоценозов почв по сравнению с фоновыми лесными ценозами. В результате смены гидротермических и трофических условий при переходе от лесного сообщества к открытому луговому типу растительности отмечено накопление органического вещества в гумусово-аккумулятивном горизонте почв и увеличение запасов микробной биомассы и интенсивности гетеротрофного дыхания в 2-3 раза.

Наибольшие структурно-функциональные нарушения в почвенном микробном блоке отмечены при устойчивом воздействии агрессивных поллютантов предприятий НПП. Выявлено, что активность микробоценозов почв зависит от фактического состояния растительности выделенных зон нарушенности. Наибольшей сбалансированностью микробиологических процессов деструкции органических веществ характеризуются почвы при слабой и умеренной нарушенности растительности. Отмечается высокая интенсивность базального дыхания в верхних органогенных слоях почв лесотундры и не уступающие более южным регионам величины содержания микробной биомассы и численности гетеротрофной микрофлоры. Максимальные нарушения в почвенном микробном комплексе отмечены при полном нарушении растительного покрова: показатели функциональной активности микробоценозов снижаются в 2-6 раз, в гетеротрофном комплексе микроорганизмов происходят структурно-таксономические перестройки, что связано как с разной чувствительностью микрофлоры различных эколого-трофических групп к воздействию поллютантов, так и трансформацией условий существования микрофлоры в техногенных почвах. Степень техногенной трансформации органогенных горизонтов почв лесотундровой зоны НПП и содержание техногенных элементов (Ni, Cu, Co, Pb, S) являются значимыми факторами, которые оказывают достоверное влияние на развитие и функционирование микробоценозов.

На отвалах различной давности и технологии рекультивации Бородинского бурогоугольного месторождения выделено три варианта техногенных сукцессий: 1. эрозионная – на нерекультивированных и склонах отвалов; 2. лесная – на выровненных отвалах без нанесения плодородного слоя почвы (ПСП); 3. луговая – на спланированных отвалах с нанесением ПСП. Сравнение проводили с зональными почвами Канской лесостепи: серыми лесными (березняк разнотравный) и агрочерноземами (залежный луг). Для микробоценозов 20-летних литострат эрозионной сукцессионной серии характерно отсутствие четкой стратификации микроорганизмов по глубине, типичной для фоновых ценозов сезонной динамики структуры и численности ЭКТГМ, доминирование олиготрофных и использующих минеральные формы азота групп микроорганизмов, также отмечены наиболее низкие значения микробной биомассы и базального дыхания, их высокая сезонная вариабельность и несбалансированность микробиологических процессов. Развитие эрозионных процессов и постоянный смыв органического вещества с наклонной поверхности отвалов не способствуют как накоплению почвенного органического вещества, так и сбалансированности микробиологических процессов, что свидетельствует о постоянной «пионерной» стадии развития микробоценоза и невозможности достижения им гомеостатического состояния. Восстановление растительного и почвенного покровов, а

также естественное лесовосстановление на выровненных отвалах происходит быстрее, поскольку образующееся органическое вещество не смывается с поверхности. На выровненном 30-летнем отвале, представленном мертвопокровным осиново-березовым насаждением, сформировался грубогумусный горизонт мощностью 2 см с высокой численностью ЭКТГМ и близкой к естественным ценозам их сезонной динамикой, а также максимальными значениями микробной биомассы и базального дыхания и сбалансированностью микробиологических процессов деструкции органического вещества. Микробценоз «молодой почвы» 30-летнего лесного отвала отличается от зональной серой лесной почвы резкая дифференциация профиля по степени трофности: с глубиной отмечено резкое снижение численности и функциональной активности микроорганизмов, но при этом микробиологические процессы достаточно сбалансированы. Нанесение ПСП на выровненную поверхность отвалов ускоряет сукцессию луговой растительности и развитие микробных комплексов. Освоенные корнями растений верхние слои реплантозема 30-летнего отвала характеризовались высокими, превышающими в 1.5-3 раза зональные почвы показателями функциональной активности микробценоза и сбалансированностью микробиологических процессов. В реплантоземах 20-летних отвалов содержание микробной биомассы и интенсивность базального дыхания не уступали аналогичным показателям зональных почв, микробиологические процессы достаточно сбалансированы. На молодом отвале с ПСП, наблюдаемом со второго года отсыпки, за шесть лет отмечены сукцессионные перестройки микробценоза, связанные как со стадиями развития растительности, так и с физическими процессами, происходящими после отсыпки. К семи годам на отвале с ПСП отмечено динамическое равновесие процессов минерализации-иммобилизации органического вещества, что соответствовало смене стадии доминирования сорно-рудеральной растительности на злаковые и корневищные.

Таким образом, эколого-функциональные параметры микробценозов почв отражают состояние почв лесных экосистем Средней Сибири, нарушенных рубками и техногенным влиянием. Микробные комплексы почв являются наиболее перспективным инструментом биоиндикации, ранней диагностики состояния и мониторинга наземных экосистем.

Summary

The possibility of using eco-functional parameters of microbial complexes for soil assessment of forest ecosystems of Central Siberia, broken technogenic and human impact was shown. Soil microbial complexes are the most promising tool for bio-indication, early diagnosis and monitoring of the state of terrestrial ecosystems.