

СУКЦЕССИОННЫЕ ПЕРЕСТРОЙКИ АЛЬГО- И МИКРОБОСООБЩЕСТВ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ ТАЁЖНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Малахова Н.А., Наплёкова Н.Н.

ФГОБУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет», Новосибирск, Россия (630039, Россия, Новосибирск-39, ул. Добролюбова, 160), e-mail: shymen@inbox.ru

Проведён анализ сукцессионных перестроек альго- и микробосообществ в дерново-подзолистой почве разновозрастных типов лесов Западной Сибири. По ходу возрастных изменений лесов в структуре альгогруппировок происходит автохтонное увеличение видового, биологического спектра, а также доминантного комплекса. В круговороте азота сукцессия микробиоценозов в дерново-подзолистой почве разновозрастных лесов направлена к снижению содержания аэробного фиксатора азота – азотобактера и к увеличению численности анаэробного фиксатора азота рода *Clostridium* и группы олигонитрофильных микроорганизмов. Процесс нитрификации с возрастом таёжной экосистемы угнетается, а денитрификации – усиливается. Одновременно от ранневозрастного к зрелому типу леса увеличивается доля бактерий-антагонистов, подавляющие сапротрофные и патогенные грибы.

Ключевые слова: сукцессионные изменения, альгогруппировка, доминантный комплекс видов, спектр жизненных форм, вертикальная структура, микробосообщества, антагонистическая активность.

SUCCESSIONAL REALIGNMENT OF ALGO AND MICROSOMES IN SOD-PODZOLIC SOILS OF TAIGA ECOSYSTEMS WESTERN SIBERIA

Naplekova N.N., Malakhova N.A.

DEPARTMENT of higher professional education "Novosibirsk state agrarian University", Novosibirsk, Russia (630039, Russia, Novosibirsk-39, Dobrolyubova street, 160), e-mail: shymen@inbox.ru

The analysis of successional reconstructions of algo- and microbiologist in sod-podzolic soil uneven-aged forest types of Western Siberia. In the course of age-related changes in forest structure allographic is autochthonous increased species, biological spectrum and dominant complex. In the nitrogen cycle succession of microbiocenosis in sod-podzolic soil of uneven-aged forests is directed to reducing the concentration of aerobic release of nitrogen – azotobacter and to increase the number of anaerobic release of nitrogen of the genus *Clostridium* and groups oligonitrophiling microorganisms. The nitrification process with age taiga ecosystems oppressed, and denitrification increases. At the same time from renewsblog to mature forest type increased the proportion of bacteria-antagonists that suppress saprophytic and pathogenic fungi.

Keywords: successional changes, algogroups, the dominant complex species, the spectrum of life forms, the vertical structure, microbogroups, antagonistic activity.

Считается, что биосфера, которой миллионы лет, достигла состояния зрелости (климакса), с очень закрытым циклом азота и весьма константной скоростью процессов его круговорота [13].

Основная масса ежегодного потока азота (95 %) ограничена потоком почва – микроорганизмы – растительность и только 5 % связана с атмосферой и гидросферой. Изучение качественных и количественных характеристик всех процессов круговорота азота позволит установить сукцессии биоты и связанные с ними скорости накопления и потерь азота в виде газообразных продуктов в почвах разных экосистем и, в частности, таёжных – Западной Сибири, под лесами разного возраста, которые практически не изучены.

Отрывочные сведения без описания растительности таёжной экосистемы по общей численности микроорганизмов и численности азотфиксаторов и денитрификаторов представлены в некоторых работах [2; 6].

Симбиотическая активность клубеньковых образований древесных и кустарниковых пород, не относящихся к семейству Бобовых (не включая таёжные зоны), приведена в работе [9]. Относительно водорослей, то их видовой состав изучен в дерново-глубокоподзоленных почвах черневой тайги Салаира [1] под осиново-пихтовыми высокотравными (черневыми) лесами с возрастом древостоя 67–72 года, то есть в лесах среднего возраста. Имеются данные по альгофлоре дерново-подзолистой почвы под разнотравными хвойными лесами [11; 10].

Целью работы является выявление структурно-функциональных изменений альгогруппировок и микробоценозов в ходе сукцессии лесных экосистем с учётом продукционно-деструкционных процессов круговорота азота.

Материал и методы исследования

Почвенные образцы отбирались в разновозрастных лесах дерново-подзолистой почвы Томской области: сосновый лес (18–20 лет); тёмнохвойный лес (50–70 лет); елово-пихтовый лес (170–180).

Лабораторные исследования проводили на кафедре агроэкологии и микробиологии Новосибирского государственного аграрного университета.

Для выявления видового состава водорослей использовали метод водных и чашечных культур со стёклами обрастания. Для выявления видовой принадлежности водорослей использовали серию определителей.

Фитоценотический анализ альгогруппировок основывался на выявлении комплекса доминантных видов [4], характере пространственного распределения водорослей. Доминантные виды выделяли на основе определения балла обилия по 15-балльной шкале.

Микробиологические анализы проводили по методикам, рекомендованным ВНИИСХМ [8]. Общее количество бактерий, использующих органический азот, учитывали на МПА (мясо-пептонном агаре); бактерий и актиномицетов, усваивающих минеральный азот на КАА (крахмало-аммиачном агаре); нитрифицирующих бактерий – на жидкой среде Виноградского для нитрификаторов; денитрифицирующих микроорганизмов – на среде Берёзовой; аэробных азотфиксирующих микроорганизмов и олигонитрофилов на плотной безазотистой среде Эшби методом комочков и разведения.

Результаты исследований

Упорядоченные направленные изменения в структуре альгогруппировки, как и в сообществах других организмов, последовательная смена одного состава организмов другими в результате взаимодействия его живых компонентов между собой и окружающей

средой, сопровождающаяся изменением интенсивности и направленности процессов превращения веществ и энергии, называют сукцессией (от латинского *succesio* – преемственность). На альгологические сукцессии могут влиять различные абиотические и биотические факторы: изменение температуры, влажности, внесение удобрений, естественный приток органических веществ (при опадении и отпадении растений), прижизненный экзосмос корневых выделений.

При выявлении сукцессионных перестроек водорослевых группировок учитывают видовой состав, доминантный комплекс видов, спектр жизненных форм и вертикальную структуру альгогруппировок.

Общее число видов и их распределение по отделам для изученных лесов имеют некоторые различия (табл. 1).

Таблица 1

Число видов и внутривидовых таксонов альгогруппировок разновозрастных лесов дерново-подзолистой почвы

Тип	Возраст, лет	Отдел				Всего
		Суано-phyta	Ханто-phyta	Bacillario-phyta	Chloro-phyta	
Сосновый лес (молодой ранневозрастной)	18-20	5(9) *	10(14)	2(6)	12(17)	29(46)
Тёмно-хвойный лес (средневозрастной)	50-70	9(12)	17(19)	2(9)	14(16)	42(56)
Елово-пихтовый лес (сформированный зрелый)	170-180	9(12)	21(21)	1(1)	44(47)	75(81)

* – первая цифра – число видов, цифра в скобках – число видов и внутривидовых таксонов.

Прежде всего, ведущие позиции, как по абсолютному числу видов, так и по долевному участию сохраняются за зелёными водорослями в вариантах молодого и зрелого сформированного зрелого леса. В фитоценозе среднего возрастного леса за лидерство наряду с зелёными вступают жёлто-зелёные водоросли, которые в других исследованных вариантах лесов занимают второе место. Это свидетельствует о типичном лесном характере альгогруппировок. В тройку разнообразных по числу видов и внутривидовых таксонов отделов входят сине-зелёные водоросли.

Достаточно яркое отображение любой флоры дают сведения о составе семейств, занимающих по числу видов господствующее положение в сообществе. Первые три места в головном спектре семейств в исследованных разновозрастных лесах занимают сем. *Pleurochloridaceae*, *Neochloridaceae* и *Chlamydomonadaceae*, что еще раз свидетельствует о зональном (бореальном) характере альгофлоры. Первое место в родовом спектре всех этапов сукцессии лесов удерживает р. *Chlamydomonas*, что подтверждает сохранение зональных

признаков. На всех этапах сукцессии лесов альгогруппировки характеризуются небольшим числом ведущих родов, за которыми следует список мало- и одновидовых родов.

Фитоценотический анализ альгогруппировок основывался на анализе биологической структуры, выявлении комплекса доминантных видов и внутривидовых таксонов, характере вертикальной структуры распределения водорослей.

Биологическая структура водорослей имеет следующее соотношение ведущих групп (табл. 2). В тройке лидеров жизненного спектра водорослей находятся С-, Х-, Ch – формы, положение которых на разных этапах сукцессии может меняться. В целом, представители этих форм одноклеточные зелёные и жёлто-зелёные водоросли, способные к активному или пассивному перемещению, их долевое участие возрастает от 72 до 78 %.

Таблица 2

Биологическая структура водорослей разновозрастных лесов

Тип	Возраст, лет	Спектр жизненных форм
Сосновый лес (молодой ранневозрастной)	18-20	C ₁₄ X ₁₀ Ch ₉ H ₂ P ₄ Cf ₁ B ₂ amph ₄ (46)
Тёмнохвойный лес (средневозрастной)	50-70	X ₁₆ C ₁₅ Ch ₁₀ H ₄ P ₄ Cf ₁ B ₂ amph ₄ (56)
Елово-пихтовый лес (сформированный зрелый)	170-180	X ₂₄ C ₂₂ Ch ₁₇ H ₁₀ P ₂ amph ₅ Cf ₁ (81)

Выделяется одновидовое присутствие азотфиксатора *Nostoc punctiforme f. populorum* (Geitl.) Hollerb., для которого доказано участие в биологической фиксации азота.

Доминантный комплекс на всех этапах сукцессии лесных фитоценозов представлен видами, типичными для лесных экосистем (pp. *Chlorhormidium*, *Chlamydomonas*, *Chlorococum*, *Pleurochloris*, *Stichococcus*). Состав доминантных видов включает от 3 до 5 видов, которые таксономически относятся к родам, указанным выше.

В вертикальной структуре видов водорослей отмечается тенденция снижения числа видов и внутривидовых таксонов вниз по профилю, вплоть до исчезновения в горизонте – ВС.

Известно, что в зональных почвах наибольшее число видов водорослей обнаруживается в самых верхних горизонтах, что связано с плодородием почвы, активностью ферментов, наличием доступной влаги [12]. Этот факт подтверждается и нашими исследованиями. Максимальное видовое разнообразие фиксируется в горизонтах – А₀, А₁ и А₂.

Исследование микробных сукцессий включает изучение численности и таксономического состава микробоценоза, продуктов метаболизма разных физиологических

групп. На сукцессии в дерново-подзолистых почвах таёжных экосистем разного возраста влияют условия изменения окислительно-восстановительного потенциала среды.

Прохождение той или иной стадии микробной сукцессии обусловлено спецификой функциональной структуры микробоценоза. Так, численность аммонификаторов – сапротрофов, имеющих внеклеточные гидролазы и разрушающих белковые соединения, увеличивается от почв молодой таёжной экосистемы к почвам – среднего и зрелого возраста. Накопление олигомеров, в частности аминокислот, тормозит развитие этих групп микроорганизмов – гидролитиков, но стимулирует развитие сахаролитических грибов, дрожжей и бактерий, относящихся к группе копиотрофов, лишённых гидролаз, но активно усваивающих олигомеры. Численность сахаролитических грибов была максимальной в почвах молодой таёжной экосистемы (табл. 3).

Таблица 3

Эколого-трофические группы микроорганизмов в дерново-подзолистых почвах лесов разного возраста (слой 0–20 см)

Группы микроорганизмов	Тип		
	молодой ранневозрастной сосновый лес	средневозрастной тёмно-хвойный лес	сформированный зрелый елово-пихтовый лес
Усваивающие белковый азот (аммонификаторы), млн/г почвы	13,6	81,8	279,0
Усваивающие минеральный азот, млн/г почвы:			
- бактерии	18,3	180,9	453,0
- актиномицеты	1,3	1,86	7,0
Микромицеты, тыс /г почвы:			
- сахаролитические	15,2	12,1	7,4
- усваивающие крахмал	6,2	19,4	25,8
Азотобактер, % обрастания комочков почвы	40,0	0	0
<i>Clostridium pasteurianum</i> , тыс/г почвы	5,7	12,4	60,0
Олигонитрофилы, тыс/г почвы	100,0	153,0	3920,0
Нитрификаторы, тыс/г почвы	5,3	0,3	1,5
Денитрификаторы, тыс/г почвы	28,5	155,3	193,0

Снижение концентрации доступных углерод- и азотсодержащих соединений замедляет рост копиотрофов и на смену им приходят олиготрофы – олигонитрофилы и олигокарбофилы, то есть микроорганизмы, усваивающие низкие концентрации питательных

веществ. Численность олигонитрофилов закономерно увеличилась от почв молодых таёжных экосистем к зрелым (со 100 тыс./г до 3920 тыс./г почвы) (табл. 3).

Перестройка структуры сообщества растений, животных и микроорганизмов в ходе сукцессии имеет общие закономерности. В молодой экосистеме преобладают *r* – стратеги (микроорганизмы копиотрофы с высокой скоростью размножения и пониженной конкурентностью).

Из дерново-подзолистой почвы молодой таёжной экосистемы выделено 60 культур микроорганизмов, из которых 12 (20 %) обладали антагонистической активностью к двум видам грибов: *Stachybotrys atra Corda* и *Aspergillus flavus Link.* с зонами угнетения от 1 до 9 мм. Из почв средневозрастной таёжной экосистемы выделено 65 культур микроорганизмов, из которых 19 (29 %) обладали антагонистической активностью к пяти видам грибов: *Bipolaris sorociniana Sacc.*, *Alternaria tenuis Nees*, *Aspergillus flavus Link.*, *Fusarium oxysporum Schlechtendaht*, *Stachybotrys atra Corda*. Зоны угнетения этих грибов колебались от 1 до 14 мм. Из почв зрелой сформированной таёжной экосистемы выделено 100 культур микроорганизмов, из которых 20 (20 %) проявляли антагонизм к тем же фитопатогенным грибам. Это показывает, что почвы таёжной экосистемы среднего возраста имели наибольшее число бактерий-антагонистов, подавлявших большее число грибов, то есть являющиеся более конкурентоспособными. Следует отметить большую устойчивость к бактериям антагонистам тёмно-цветных грибов, чем бесцветных.

В зрелой сформированной экосистеме, то есть на более поздних стадиях сукцессии *r*-стратегов стало меньше, увеличилось с 1,3 до 7 тыс./г почвы количество актиномицетов, относящихся к *K*-стратегам, то есть к популяциям медленно растущим, но более конкурентоспособным.

Исследования Г.Д. Звягинцева и Г.М. Зеновой [3] доказали смену одних таксономических групп актиномицетов – другими в ходе сукцессии в разных экологических условиях наземных экосистем. Что касается таёжных экосистем Западной Сибири, то на всех стадиях сукцессии от пионерной (молодой) до зрелой – преобладали актиномицеты с белой окраской воздушного мицелия – *Actinomyces albus*.

Видовое разнообразие микроорганизмов всех таксономических групп невысокое на ранней стадии сукцессии – доминируют 8 видов. Увеличение видового разнообразия до 18 доминантов отмечается в дерново-подзолистых почвах средневозрастной экосистемы. Число доминантов сохраняется таковым и в почве на зрелой сформированной стадии сукцессии таёжных экосистем. Здесь обнаружено 32 вида, из них 20 – доминантов. Доминировали на всех стадиях сукцессии примерно одни и те же виды микроорганизмов.

В круговороте азота сукцессия в дерново-подзолистых почвах таёжных экосистем разного возраста направлена к снижению содержания аэробного фиксатора азота – азотобактера и к увеличению численности анаэробного фиксатора азота и олигонитрофильных микроорганизмов от почв молодой к зрелой сформированной таёжной экосистемы.

Большую работу по изучению микробных сукцессий в почве провели сотрудники кафедры биологии почв МГУ [5]. Они ввели понятие «коэффициент сукцессии» и доказали, что на стадии молодого возраста доминируют представители родов *Azotobacter*, *Bacillus* и быстрорастущие сахаролитические грибы *Mucor*, *Rhizopus*, *Penicillium*, что отмечалось и в наших исследованиях.

По данным Н.Н. Лашинского [7], корневая система молодого древостоя имеет много функционирующих боковых корешков, которые распространяются в пределах 10–12 м от ствола. Их корневые выделения и обеспечивают активное развитие *r*-стратегов микроорганизмов в почве на ранней стадии развития таёжной экосистемы. Групповое соотношение микроорганизмов заметно меняется с возрастом древостоя, так как увеличивается число скелетных корней и уменьшается поступление корневых выделений в почву. Это приводит к увеличению числа бацилл и актиномицетов в почвах зрелой сформированной таёжной экосистемы, способных к разложению труднодоступных органических соединений.

Список литературы

1. Артамонова В.С. Почвенные водоросли осиново-пихтового леса стационара «Котрово» // Микробиологические процессы в почвах Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1982. – С. 159-173.
2. Гантимурова Н.И. Дентрификация в некоторых почвах Барабинской низменности // Всесоюзное научное методическое совещание по применению стабильного изотопа азота в исследованиях по агрохимии почв, сельскохозяйственной микробиологии. – Ташкент, 1974. – С. 92-95.
3. Звягинцев Д.Г. и др. Экология актиномицетов. – М.: ГБОС, 2001. – 256с.
4. Кабиров Р.Р., Шилова И.И. Почвенные водоросли свалок и полигонов твёрдых бытовых отходов и промышленных отходов в условиях крупного промышленного города // Экология. – 1990. – № 5. – С. 10-18.
5. Кожевин Н.А. и др. Микробные популяции в природе. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 175с.

6. Клевенская И.Л. Олигонитрофильные микроорганизмы почв Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1974. – 220с.
7. Лашинский Н.Н. Структура и динамика сосновых лесов Нижнего Приангарья. – Новосибирск: Наука, 2001. – 272с.
8. Методы изучения почвенных микроорганизмов и их метаболитов. – М.: Изд-во МГУ, 1966. – 216с.
9. Родынюк И.Л., Клевенская И.С. Клубеньковые образования травянистых растений Сибири. – Новосибирск: Наука, 1977. – 174с.
10. Судакова Е. А. Альгофлора дерново-подзолистых почв Усть-Илима // Биологические проблемы Севера (IX симпозиум). – Сыктывкар, 1981. – С. 73.
11. Чаплыгина О.Я. Закономерности развития почвенных водорослей в хвойных и лиственных лесах Подмосковья: автореф. дисс. ... канд. биолог. наук. – Л., 1977. – 18с.
12. Штина Э.А., Голлербах, М.М. Экология почвенных водорослей. – М.: Наука, 1976. – 142 с.
13. Roswall T. The internal nitrogen cycle between microorganisms, vegetation and soil / Ecol. bul. – 1976. – № 22. – pp. 157-167.

Рецензенты:

Чемерис М.С., д.б.н., профессор, кафедра химии ФГБОУ ВПО «НГАУ», г. Новосибирск;
Семендяева Н.В., д.с.-х.н., профессор, кафедра почвоведения и агрохимии, ФГБОУ ВПО «НГАУ», г. Новосибирск.