

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОБНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПОЧВАХ, ПОДВЕРГНУТЫХ ВЛИЯНИЮ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Медведева М.В.¹, Зачиняева А.В.², Грабовик С.И.³, Ананьев В.А.¹

¹ *Институт леса Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия (Пушкинская, д.11), e-mail: mariamed@mail.ru*

² *Военно-медицинская академия имени С.М.Кирова, Санкт – Петербург, Россия, 194044, г. Санкт - Петербург, ул. Академика Лебедева, 6, e-mail: anvzanna@yahoo.com*

³ *Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия (Пушкинская, д.11), e-mail: grabovic@krc.karelia.ru*

Изучение влияния лесохозяйственной нагрузки на свойства почв выполняли на пробных площадях (ПП) спустя 14 лет после проведения рубок ухода древостоя с применением лесохозяйственной техники (бензопила, трелевочный трактор ТДТ-55). Объекты исследования расположены в Пряжинском районе, в среднетаежной подзоне Карелии. С использованием комплекса полевых (морфологических, описательных) и лабораторных (химических, микробиологических) методов, а также опытов *in situ* проведены исследования почв, подвергнутых влиянию лесохозяйственной деятельности. На основании полученных данных выявлено изменение растений напочвенного покрова, произрастающих на данных участках. Установлено, что почвы имеют как общие, так и специфические свойства, что может оказывать влияние на их восстановление при снятии негативного воздействия. Полученные данные показали, что наиболее перспективными для индикации состояния почв являются микроорганизмы, осуществляющие круговорот азота и углерода. Изменение скорости разложения растительного материала может быть использовано при комплексной оценке состояния почв антропогенно нарушенных лесных экосистем Восточной Фенноскандии

Ключевые слова: Карелия, лесозаготовительная техника, растения напочвенного покрова, почва, микроорганизмы.

A STUDY OF THE MICROBIAL TRANSFORMATION OF ORGANIC MATTER IN SOILS UPON FORESTRY IMPACT

Medvedeva M.V.¹, Zachinyaeva A.V.², Grabovik S.I.³

¹ *Forest Research Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, 11 Pushkinskaya St., Petrozavodsk, Russia, e-mail: mariamed@mail.ru*

² *Military Medical Academy (MMedA), 6 Akademika Lebedeva St., 194044 St. Petersburg, Russia, e-mail: anvzanna@yahoo.com*

³ *Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, 11 Pushkinskaya St., Petrozavodsk, Russia, e-mail: grabovic@krc.karelia.ru*

The effects of forestry on soil properties were studied in sample plots 14 years after the stands had been thinned using petrol chainsaw and skidding tractor TDT-55. The study objects are situated in Pryazhinsky District of the Republic of Karelia, in the mid-taiga subzone. A combination of field (morphological, descriptive) and laboratory (chemical, microbiological) methods, as well as *in situ* experiments was used to study the soils affected by forestry activities. The resultant data revealed changes in the ground cover of the sites. The soils were found to have both common and specific properties, which may influence their recovery after the negative impacts has stopped. Our data show that the most promising as indicators of the soil condition are nitrogen and carbon cycling microorganisms. Changes in the rate of plant material decomposition can be used in the integral assessment of the condition of soils in disturbed forest ecosystems of Eastern Fennoscandia.

Keywords: Karelia, forestry impact, ground cover, soil, microorganisms

Как известно, одним из значимых по масштабам и силе антропогенного воздействия на лесные почвы является применение тяжелых агрегатных машин при заготовке древесины. В настоящее время накоплено достаточно много материала о негативных последствиях воздействия рубок на лесные почвы [1, 3]. На фоне рубок древостоя различного вида и

интенсивности происходит изменение морфологических и физических свойств почв, нарушение круговорота всех химических элементов, формирование новых потоков вещества и энергии, а также изменение разнообразия биотической компоненты [8, 9]. Как известно, одним из показателей напряженности трансформации органического вещества в почвах является скорость деструкции растительного опада [3, 4, 10]. При проведении рубок различной интенсивности происходит сопряженное изменение свойств почв, проективного покрытия растений напочвенного покрова. Последнее приводит к изменению качественного состава растительных остатков, поступающих на почву, что является основой сукцессии микробного сообщества в процессе деструкции органического вещества [3, 10]. В биогеоценозах, подвергнутых влиянию лесохозяйственной техники, свойства почв зависят от расположения в технологических площадях (волок, пасаека). В этой связи, цель исследования: изучить свойства почв, сформировавшихся в различных категориях технологических площадей (пасаека, волок).

Объекты и методы

Работа была начата по проекту «Тайга-модельный лес» в 1997 и продолжается по настоящее время [1]. Объекты исследования расположены в 40 км западнее Петрозаводска, вблизи п. Матросы, в Пряжинском районе Карелии. Изучение влияния лесохозяйственной нагрузки на свойства почв выполняли на пробных площадях (ПП) спустя 14 лет после проведения рубок ухода древостоя с применением лесохозяйственной техники (бензопила, трелевочный трактор ТДТ-55). Оценка состояния почв при традиционной (русской) механизированной хлыстовой технологии лесосечных работ проводили в пасаеках и на волоках. До проведения рубки исследуемое насаждение характеризовалось составом 7Е₇₀;3Б₆₀ (табл.1).

Таблица 1

Таксационные показатели древостоев на разреженных и контрольных участках

Состав древостоя, %	Запас, м ³ /га	Общее число стволов, шт/га	Полнота (относит.)
2013 г., через 14 лет после рубки			
9Е ₈₅ ;1Б ₇₅	159,0	960	0,72
Контроль			
9Е ₈₅ ;1Б ₇₅	287,3	1900	1,20

Тип леса — ельник черничный, высокополнотный древостой, IV класса бонитета. На опытном участке в 1999 году была проведена проходная рубка интенсивностью 48% по запасу и 51% по числу стволов. Объем вырубленной древесины составил 106 м³/га. Контролем был ельник черничный не затронутый рубкой.

На пробных площадях по общепринятой методике [6] выполнялись геоботанические описания напочвенного покрова. Как известно, они являются не только достоверным источником флористической информации, а также позволяют получить дополнительные сведения о ценотической роли отдельных видов. В пределах каждого выделенного лесного фитоценоза закладывались метровые площадки, на которых где для цветковых растений отмечалось обилие (по Друде) и проективное покрытие (%), для сфагновых мхов — только проективное покрытие (%). Листостебельные мхи были определены к.б.н. М.А. Бойчук (Институт биологии Карельског НЦ РАН).

Для исследования почв в каждом варианте опыта были заложены основные почвенные разрезы, проведено их морфологическое описание. Образцы почв для микробиологических анализов были составлены как смешанные из 9 индивидуальных проб. Биоразнообразие и структуру микробного комплекса генетических горизонтов исследовали по традиционной в почвенной микробиологии методике посева разведений почвенной суспензии на твердые питательные среды [4]. Скорость минерализации опада растений устанавливали методом механической изоляции капроновых пакетов в полевых опытах (*in situ*)[3]. Об интенсивности процесса разрушения растительного материала судили по убыли их массы (срок экспозиции в почве 12 месяцев). По истечении срока экспозиции растительного материала была определена зольность согласно традиционным методам [2]. Данные были получены с использованием оборудования ЦКП "Аналитическая лаборатория" ИЛ КарНЦ РАН.

Результаты и обсуждение

Напочвенный покров. Как известно, травяно-кустарничковый и моховой покровы в лесу служат важной составляющей частью фитоценоза, оказывающей влияние на древостой на всех этапах его развития: в одних случаях они благоприятствуют росту древесных пород, в других сдерживают его или препятствуют естественному возобновлению древесных растений. Поэтому необходимо давать оценку динамики видов растений на разных этапах развития древостоя, что особенно интересно в условиях модельного эксперимента, где возможно сравнение эдафической обстановки за длительный период наблюдений по растениям-индикаторам с общим состоянием древесного яруса (табл.2). В таблице представлены усредненные данные учетов в год наблюдений.

Таблица 2

Видовой состав и проективное покрытие (%) растений на исследуемых пробных площадях

Жизненные формы и виды растений	Контроль		После рубки	
	1999 г.	2013 г.	1999 г.	2013 г.
Деревья и кустарники:				
<i>Betula pubescens</i>	+	+	+	+

<i>Picea abies</i>	+	+	+	+
<i>Populus tremula</i>	+	+	+	+
<i>Alnus incana</i>	+	+	+	+
<i>Sorbus aucuparia</i>	+	+	+	+
<i>Juniperus communis</i>	-	-	+	+
Кустарнички:				
<i>Vaccinium myrtillus</i>	20	30	20	60
<i>V. vitis-idaea</i>	10	3	3	10
Травы:				
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	3	1	-	5
<i>Avenella flexuosa</i>	3	+	3	15
<i>Carex globularis</i>	1	+	5	-
<i>Gymnocarpium dryopteris</i>	-	-	-	1
<i>Oxalis acetosella</i>	1	3	-	-
<i>Majanthemum bifolium</i>	5	3	5	15
<i>Orthilia secunda</i>	3	7	1	7
<i>Equisetum sylvaticum</i>	+	+	-	1
<i>Trientalis europaea</i>	+	1	+	7
<i>Lathyrus vernus</i>	-	-	-	+
<i>Linnaea borealis</i>	+	1	+	3
<i>Luzula pilosa</i>	-	-	1	+
<i>Chamaenerion angustifolium</i>	-	-	-	+
<i>Solidago virgaurea</i>	-	+	-	1
<i>Stellaria holostea</i>	-	-	-	+
<i>Melampyrum pratense</i>	-	+	-	5
<i>Lycopodium annotinum</i>	-	-	-	+
Мхи и лишайники				
<i>Brachiothecium starkei</i>	-	1	-	-
<i>Dicranum fuscescens</i>	+	1	5	5
<i>D. majus</i>	-	1	10	5
<i>D. scoparium</i>	-	1	-	+
<i>Hylocomium splendens</i>	25	5	25	10
<i>Plagiothecium laetum</i>	-	+	-	+
<i>Pleurozium schreberi</i>	20	30	20	30
<i>Polytrichum commune</i>	-	1	-	10
<i>Ptilium crista castrensis</i>	-	-	+	+
<i>Sphagnum girgensohnii</i>	30	30	15	3
<i>Sph. quinquefarium</i>	+	1	+	+
<i>Sph. wulfianum</i>	+	1	+	+
<i>Polytrichum swartzii</i>	+	-	+	-
<i>Pohlia nutans</i>	-	-	-	+
<i>Amblystegia serpens</i>	-	-	-	+
<i>Cladonia sylvatica</i>	-	-	+	-

При геоботаническом описании на момент исследования (1999г) в ельнике черничнике во флористическом составе отмечено деревьев — 4 видов, кустарников — 1, кустарничков — 2, трав — 9, мхов — 7. Растительный покров неоднородный, большая часть площади (70%) представлена кустарничково-травяно-сфагновыми сообществами. Меньшую часть участка (30%) занимают кустарничково-зеленомошные сообщества. На контрольном

участке существенных изменений за 14 лет не произошло. В составе травяно-кустарничкового яруса выявлено 13 видов. Общее проективное покрытие яруса составляет 47%, преобладает *Vaccinium myrtillus*, из остальных видов *Orthilia secunda*. В составе мохово-лишайникового яруса выявлено 13 видов, преобладают *Pleurozium schreberi* и *Hylocomium splendens*, в таких типах леса *Sphagnum girgensohnii* является обычным видом и занимает микропонижения. В травяно-кустарничковых сообществах выявлены небольшие дернинки *Dicranum fuscescens*, *D. scoparium*, *D. majus*, *Brachiothecium starkei*.

В разреженной части участка на рубке можно отметить, что за счет улучшения режима теплообеспеченности и освещенности под пологом произошли изменения состава и доли участия видов растений в напочвенном покрове. Так, за 14 лет незначительно возросло участие светолюбивых видов (*Calamagrostis arundinacea*, *Avenella flexuosa*), увеличилась доля мезотрофных видов (*Majanthemum bifolium*, *Linnaea borealis* и др.), в моховом ярусе существенно снизилась доля участия *Sph. girgensohnii*.

На волоках наблюдается обильное появление всходов ели. Отдельными микрогруппами произрастает *Rosa acicularis*, проективное покрытие *Vaccinium myrtillus* составляет 10%, *Vac. vitis-idaea* колеблется от 3 до 25%. Небольшими куртинками на данном участке произрастает *Calamagrostis arundinacea* (1%), проективное покрытие *Avenella flexuosa* невысокое (15%). Из разнотравья встречаются *Gymnocarpium dryopteris*, *Equisetum sylvaticum*, *Stellaria holostea*, *Lathyrus vernus*. Моховой покров несплошной (60%) и в основном представлен *Pleurozium schreberi*.

Изменение обилия некоторых видов в годы исследований имело характер флуктуации и может быть объяснено отклонением от нормы погодных условий: в вегетационный период 2013 году выпало осадков значительно меньше нормы.

Морфологические и химические свойства почв. По почвенно-географическому районированию территория принадлежит к Кольско-Карельской провинции подзолистых иллювиально-гумусовых почв. Почвообразующие породы представлены флювиогляциальными и моренными отложениям [5]. Исследуемые почвы — подзолы иллювиально-гумусово-железистые, сформировавшиеся на суглинистой морене. Они имеют следующее морфологическое строение: A₀ -A₂ -V_{hf} -V_f -V₃ -С. При этом, несмотря на то, что на фоне антропогенного воздействия морфологический профиль почв претерпевал изменения, процесс его восстановления был отмечен. Исследованные почвы имеют довольно низкие значения рН_{Н2О} в верхней части профиля почв. По мере продвижения в глубь почвенной толщи, кислотность снижается. Распределение С, N, P, K в основном характеризуется чертами, которые являются свойственными для почв данного ряда. В связи с тем, что на фоне рубки состав растительного опада, поступающего на почву, стал иным,

прослеживается тенденция изменения содержания данных элементов в минеральной толще. Это более выражено в минеральном подподстилочном горизонте почв варианта «волок».

Микробиологические свойства почв. Микробиологический профиль изучаемых почв хорошо отражает распределение органического вещества: максимальная численность в верхнем органогенном горизонте, в глубь почвенной толщи она снижается (Табл.3).

Таблица 3

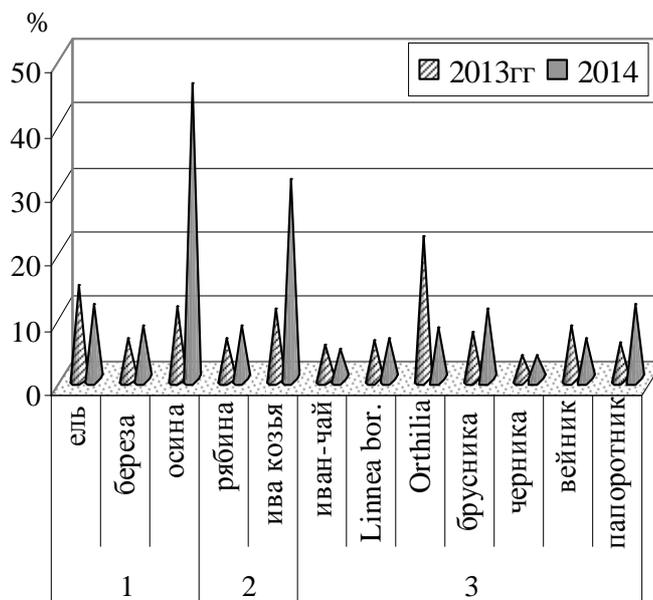
Численность микроорганизмов основных эколого-трофических групп в изучаемых почвах технологических площадей, тыс. КОЕ/г почвы

Горизонт почв	Бактерии, утилизирующие N-NH ₂		Бактерии, утилизирующие N-NH ₄		Олиготрофы	Олигонитрофилы	Микромицеты	Целлюлозоразрушители
	общее число	споровые	общее число	актиномицеты				
Контроль								
A0	4600	1225	11020	1120	16050	1800	308	28
A2	288	77	501	18	521	450	16	4
Пасека								
A0	5200	1410	10100	1430	17050	1620	356	32
A2	301	99	702	26	562	400	12	3
Волок								
A0	3300	1400	10100	1510	14030	1400	425	16
A2	250	98	601	33	540	750	38	6

При этом необходимо отметить, что отношение C/N в подстилке обоих вариантов опыта > 28, что может объяснить преобладание олиготрофной группы микроорганизмов и недостаточное содержание питательных веществ для гетеротрофов, численность которых уступала. Более благоприятные трофические условия формируются в подподстилочном горизонте варианта волок (A₂ горизонт), где данное отношение составляет 14. При этом выявили более высокую численность бактерий-олигонитрофилов, мицелиальных прокариот, микроорганизмов комплекса целлюлолитиков, а также микроскопических грибов.

Особенность данной работы заключается в том, что была проведена комплексная оценка в системе «растения напочвенного покрова—почва—микроорганизмы», в которой, как известно, отдельные звенья взаимосвязаны между собой. Изменение качественного состава растений напочвенного покрова на фоне рубки обуславливает иное соотношение участников превращения органического вещества в микробном сообществе изучаемых почв, а значит и динамику трансформации растительного опада. Согласно геоботаническим

описаниям состав растений напочвенного покрова варианта «волок» несколько выше, то есть выше и разнообразие слагающих данный биотоп компонентов. Это нашло отражение в изменении скорости деструкционных процессов (рисунок). Однако надо отметить, что в связи с тем, что изменился не только качественный состав фитомассы, а также и количественный состав необходимо дальнейшее исследование кинетических основ минерализационных процессов в почвах антропогенно трансформированных экосистем.



Изменение зольности опада растений в процессе его минерализации в почве (средние данные): 1 — древесный ярус, 2 — подлесок, 3 — травяно-кустарничковый

В исследованных почвах вследствие их высокой кислотности и низкого содержания элементов - биофилов, широкого отношения C/N складывается оптимальный режим для развития ацидофильной группы микроорганизмов и, наоборот, неблагоприятный для микроорганизмов, которые предпочитают нейтральные эдафические условия: мицелиальные прокариоты, нитрифицирующие и спорообразующие бактерии (табл.2, рисунок). Комплекс целлюлозоразрушающих микроорганизмов (КЦМ) достаточно однородный и представлен представителями родов *Trichoderma*, *Chaetomium*, *Aspergillus*, *Penicillium*. Как показали исследования, их целлюлолитическая активность возростала при появлении бактерий, например, рода *Cytophaga*. Возможно, что микобиота КЦМ использует для своих конструктивных целей бактериальные метаболиты, в свою очередь, поставляя в среду энергетические эквиваленты, активно утилизируемые прокариотами.

Таким образом, на фоне применения лесозаготовительной техники наиболее выраженные изменения выявили в составе растений напочвенного покрова, химических и морфологических свойств почв. Это стало решающим фактором при формировании иного

пула микроорганизмов, который определил темп и направленность трансформации органического вещества, способствующее восстановлению дорубочного состояния почв.

Данная работа выполнена в рамках государственного задания ИЛ КарНЦ РАН (0220-2014-0003).

Список литературы

1. Ананьев В.В., Лейнонен Т., Грабовик С.И. Результаты обследования средневозрастных еловых древостоев после рубок ухода / Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. —2005.—Вып.6. —С.5-7.
2. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Наука.— 1970. — 487 с.
3. Германова Н.И., Медведева М.В. Учебно-методическое пособие по исследованию микробоценозов естественных и антропогенно нарушенных почв. Петрозаводск: КарНЦ РАН. —2010.—60с.
4. Методы почвенной микробиологии и биохимии (под ред. Д.Г. Звягинцева) М.: МГУ.— 1991. —304с.
5. Морозова Р.М. Лесные почвы Карелии. Л. : Наука.— 1991. —172с.
6. Программа и методика биогеоценологических исследований. М.— 1966. —331с.
7. Beyer L. Cellulolytic activity of Luvisols and Podzols under forest and arable land using the “Cellulose-Test” according to Unger// Pedobiologia. —1992. —V .3. —P. 137–145.
8. Formanek P., Vranova V. The effect of spruce stand thinning on biological activity in soil // Journal of forest science. —2003(11).—49.— P.523-530.
9. Remes J., Sisa R. Biological activity of antropogenic soils after spoil-bank forest reclamation // Journal of forest science. —2007 (7).—V.53.— P. 299-307.
10. Tareno M. Limitations of available substrates for the expression of cellulose and protease activities in soil // Soil Biol. Biochem. —1988. —Vol. 20. —N. 1. —P.117-118.

Рецензенты:

Москалев А.В., д.м.н., профессор кафедры микробиологии, Военная медицинская академия, г.Санкт-Петербург;

Сбойчаков В.Б., д.м.н., заведующий кафедрой микробиологии, Военная медицинская академия, г.Санкт-Петербург.