

УДК 630*221.04 : 630*114.68

Влияние несплошных рубок на почвенный микробный комплекс сосняков Красноярской лесостепи

Антонов Г. И., Кондакова О. Э., Семенякин Д. А.

Анализ структурно-функционального состояния почвенной микробиоты показал, что удовлетворительными почвенными лесорастительными условиями отличаются сосняки полнотой 0,6–0,7, пройденные первым приемом несплошной рубки. Интенсивность разреживания полога древостоя, сезон лесозаготовок и способ очистки лесосек от порубочных остатков способствуют перераспределению в составе эколого-трофических групп микроорганизмов и установлению оптимального уровня ферментативной активности почвы.

Ключевые слова: сосна обыкновенная (*Pinus silvestris*), несплошные рубки, порубочные остатки, почвенные микроорганизмы, ферментативная активность почвы

Effects of partial cutting on soil microbial complex in pinewoods of Krasnoyarsk forest-steppe region

Antonov G. I., Kondakova O. E., Semenyakin D. A.

Sukachev Institute of Forest SB RAS

The analysis of a structural-functional condition of soil microbota has shown, that satisfactory soil forest-vegetation conditions the pinewoods density of 0,6–0,7 which have been passed by the first cutting. Intensity of felling a forest stand, the season of lumbering and a way of brush disposal the promote redistribution in structure of eco-trophic groups of microorganisms and formation of an optimum level of enzymes activity in soil.

Key words: *Pinus silvestris* L., partial cutting, logging residue, soil microbial community, soil enzymes activity

Введение

Проблема рационального лесопользования в условиях высокой антропогенной нарушенности лесного покрова Красноярской лесостепи была и остается весьма актуальной. Лесозэксплуатация с использованием сплошнорубочных рубок привела к истощению эксплуатационного фонда и нарушению естественного плодородия почв, поэтому главное пользование в Красноярском крае совершенствуется за счет внедрения несплошных рубок, позволяющих сохранять устойчивость и продуктивность сосновых боров (Бабинцева и др., 1998).

Несплошные выборочные рубки – это рубки главного пользования, при которых за один прием вырубается часть деревьев спелого поколения с равномерным распределением по площади, а также другие деревья по лесоводственным соображениям (селекционный отбор) с расчетом на постоянное повторение приема рубки через равные промежутки времени (периода повторяемости), в течение которых восстанавливается ранее вырубленный лес (Гильц, 1986; Белов, 1993).

Почвенная биота является наиболее многочисленным и реактивным компонентом лесных экосистем, поэтому диагностика различных антропогенных нарушений (в том числе рубок) чаще всего проводится с использованием интегральных биологических показателей почвы (Казеев и др., 2004; Горбачев и др., 2008; Медведева, Германова, 2008; Сорокин, 2009; Поляков, 2010).

Под влиянием разреживания полога древостоя и поступления дополнительных растительных остатков на поверхность почвы неизбежно трансформируется структурное и физиологическое состояние почвенной микробиоты, а, следовательно, изменяются скорость минерализации органического вещества и запас доступного минерального питания для будущих всходов. Ферменты, продуцентами которых являются по большей части почвенные микроорганизмы, определяют в целом биогеоценологические функции почвы и играют далеко не последнюю роль в процессах трансформации органического вещества после проведения рубок.

Цель исследований – оценить структурно-функциональное состояние почвенной микробиоты через четыре-пять лет после первого приема несплошных рубок в сосняках Красноярской лесостепи.

Материалы и методы

Комплексные экологические исследования проводятся в сосняках (*Pinus silvestris* L.) экспериментального хозяйства «Погорельский Бор» Института леса СО РАН. Погорельский бор – интразональный участок островной Красноярской лесостепи (N 56°22' E 92°57').

В рубку поступали спелые сосняки бруснично-разнотравные и разнотравно-зеленомошные возрастом 100–120 лет II бонитета, с количеством стволов 256–474 шт./га и запасом древесины 368–439 м³/га (таблица 1).

Разработка лесосек осуществлялась с использованием трелевочного трактора ЛХТ-55 и бензомоторных пил при валке деревьев. Лесоводственная оценка лесосечных работ, проводилась по общепринятым в лесоводстве методикам (Петров, 1969).

В результате разреживания полнота древостоев сократилась с 0,46–1,0 до 0,36–0,8, густота до 218–311 шт./га, запас древесины до 186–301 м³/га, интенсивность рубки при этом составила 21–39 %. Контролем служит сосняк *вейниково-разнотравно-зеленомошный* полнотой 1,2, количеством стволов – 863 шт./га; запасом древесины 548 м³/га.

Образцы почвы под разными технологическими участками сосняков (пасека и волок) отбирались в середине вегетационного периода (17–20 июля) через пять лет после проведения первого приема несплошной рубки. Для анализа почв использовали объединенные пробы. На каждом экспериментальном участке из 5 прикопок отбирали точечные пробы из слоя 0–10 см. Точечные пробы, отобранные на одном участке, смешивали и получали объединенную почвенную пробу для каждого исследуемого слоя. Измерения температуры и влажности воздуха на технологических элементах рубки производились в полевых условиях влагомером TESTO 605-H1. Измерения температуры подстилки, порубочных остатков и почвы производилось игольчатым термометром Checktemp.

Влажность и температура измерялась на высоте двух метров, на высоте 10 см., в подстилках на пасеках (в слое порубочных остатков на волоках), и в слое 0–10 см почвы. Определение влажности подстилки, порубочных остатков и почвы производилось общепринятыми для подобных исследований методом.

Общую освещённость под пологом древостоев определяли электронным люксметром ТКА-ПКМ по методике В.А. Алексеева (1975). Замеры освещённости производились над вершинками подроста, обычно на высоте

1,3–1,5 м через 1–2 м в безоблачное время с 12:00 до 14:00. Общая длина ходовых линий составляла, в зависимости от высоты солнца и погодных условий, от 50 до 100 м.

Показатель освещенности выражался в процентах от открытого места и вычислялся по формуле:

$$T_Q = \frac{(i_1 + i_2 + \dots + i_n) \cdot 100/n}{\frac{I_{O1} + I_{O2}}{2}}$$

где I_{O1} – интенсивность света на открытом месте до начала измерений в лесу, I_{O2} – интенсивность света на открытом месте в конце измерений, i_1, i_2, \dots, i_n – интенсивность света в разных точках сообщества.

Для определения эколого-трофических групп почвенных микроорганизмов делали посеvy почвенной суспензии (разведение 10^3) на диагностические питательные среды: МПА (мясопептонный агар), КАА (крахмало-аммиачный агар), СА (сусло-агар), ПА (почвенный агар). Посевы выполняли на чашки Петри в трехкратной повторности, затем ставили в термостат при 25–27°C на 3–7 дней. Учет бактериальных колоний проводили на третьи сутки, а грибных на 5–7.

Таблица 1–Некоторые таксационные характеристики сосновых древостоев Красноярской лесостепи.

Пробная площадь. Тип леса.	До рубки			После рубки			Интенсивность рубки (по запасу), %
	Полнота	Количество стволов, шт./га	Запас древесины, м ³ /га	Полнота	Количество стволов, шт./га	Запас древесины, м ³ /га	
ПП 9. Сосняк вейниково-разнотравно-зеленомошный. Контроль	1,2	863	548	-	-	-	-
ПП 1. Сосняк разнотравно-вейниковый	1,0	397	439	0,6	294	301	31
ПП 2. Разнотравно-вейниково-зеленомошный	0,8	311	387	0,6	218	294	24
ПП 3. Бруснично-разнотравный	0,8	386	373	0,5	228	226	39
ПП 4. Бруснично-разнотравно-вейниковый	0,8	426	368	0,6	301	281	24
ПП 5. Вейниково-разнотравно-зеленомошные	1,0	426	368	0,7	311	393	28
ПП 6. Вейниково-разнотравно-зеленомошный	0,46	256	236	0,36	218	186	21
ПП 10. Разнотравно-зеленомошный	0,8	474	392	0,6	303	280	29

Вероятное количество клеток, находящихся в 1 г субстрата при уровне достоверности 95 % рассчитывали по формуле:

$X = (x \pm 2\sigma_x) K * I / V$, где X – численность КОЕ (колониеобразующие единицы) / г почвы; x – среднее число колоний, выросших при высеве данного разведения; σ_x – среднее квадратичное отклонение; 2 – t-критерий при $P = 0,95$; K - разведение, из которого произведен посев; V – объем суспензии, взятой для посева в миллилитрах.

На МПА производили подсчет бактерий и грибов, на КАА - актиномицетов, бактерий и грибов, на СА – грибов, на ПА - бактерий. По эколого-трофической классификации микроорганизмы, растущие на МПА - гидролитики / аммонификаторы, на КАА – копиотрофы / аминотрофы (используют минеральные формы азота), на ПА – олиготрофы (Звягинцев, 1991).

Ферментативную активность почвы определяли методами А.Ш. Галстяна и Т.А. Щербаковой (Хазиев, 2005). С использованием фотоэлектроколориметра КФК-3 определяли активность гидролитических ферментов (протеазу, уреазу, фосфатазу) при компостировании в термостате с температурой 30–38⁰С и экспозицией 24 часа. Активность ферментов окислительно-восстановительной группы (каталаза, пероксидаза - ПО, полифенолоксидаза - ПФО) определяли газометрическим (каталазу) и колориметрическим (ПО и ПФО) методами с предварительным получасовым компостированием. Активность протеазы выражали в мг глицина / 1 г почвы, уреазы – в мг N-NH₄ / 1 г почвы, фосфатазы – в мг P₂O₅ / 1 г почвы, пероксидазы и полифенолоксидазы выражали в мг бензохинона / 1 г почвы. Далее в тексте для характеристики ферментативной активности используется выражение – “ферментативная единица” (ф.е.). По соотношению активности полифенолоксидазы и пероксидазы высчитывался коэффициент гумификации, позволяющий судить об интенсивности процесса минерализации гумуса (Хазиев, 2005; Schinner, 1995). Целлюлозоразлагающую способность почвы определяли аппликационным методом Е.Н. Мишустина и А.Н. Петровой (1976). Анализ физико-химических свойств почвы проводился с использованием сканера NIR 4250 методом ближней инфракрасной спектроскопии (Борцов, 2002).

Сосновые древостои сформированы в основном на серых, темно-серых и дерново-подзолистых почвах (Бугаков и др., 1981; Бугаков, Чупрова, 1995). Содержание гумуса под ненарушенными рубками сосняками в слое почвы 0–10 см составляет 8,7–10,8 %, содержание валового азота 194–227

мг/100 г почвы, сумма обменных оснований 25–30 моль*эquiv/100г. Почвы характеризуются кислой реакцией среды ($pH_{\text{водн.}}=5,6$ и $pH_{\text{сол.}}=4,9$). Содержание подвижных форм азота ($N-NO_3+N-NH_4$) в слое 0–10 см варьирует в разных сосняках от 3,8 до 4,3 мг/100 г почвы, фосфора (P_2O_5) – от 6 до 17 мг/100 г почвы. После проведения рубок физико-химические свойства почв претерпели некоторые изменения. Выявлено, что под наиболее осветленными рубками древостоями содержание гумуса в слое 0–10 см выше. Причем, на волоке сосняка *бруснично-разнотравного* с максимальным разреживанием полога древостоя содержание гумуса достигает 9,5 %, что свидетельствует об интенсификации процессов разложения опада и порубочных остатков в результате изменения светового режима. Под сосняком *разнотравно-вейниково-зеленомошным*, пройденным несплошной рубкой в зимнее время также отмечено различие в содержании гумуса на разных технологических участках: на пасеке – 5 %, и на волоке - до 9 %. Содержание азота под слоем размолотых порубочных остатков на волоке данного сосняка увеличилось до 328 мг/100 г почвы. Высоким содержанием общего азота отличаются волока сосняков с умеренно-интенсивным (28–31 %) разреживанием полога – 235 мг/100 г почвы. На этих участках отмечено большее содержание минерального азота (7,4 мг/100 г почвы), и подвижных форм фосфора и калия (15,4 и 18,7 мг/100 г почвы), что в 1,5–2 раза превышает содержание данных соединений на пасеках сосняков и под древостоями с умеренной (21–24%) и интенсивной (39 %) рубкой. В целом на разработанных лесосеках сумма обменных оснований составила 25,3–34,9 моль-эquiv/100 г почвы на пасеках и 23,6–25,6 моль-эquiv/100 г почвы на волоках. Реакция почв после проведения рубок изменилась также незначительно: $pH_{\text{вод}}$ увеличивается с глубиной с 5,0 до 5,9 на пасеках и с 4,9 до 6,2 на волоках, $pH_{\text{сол.}}$ - с 4,1 до 5,0 на пасеках, и с 3,9 до 5,4 на волоках. Обогащенность гумусом почвы контрольного сосняка *вейниково-разнотравно-зеленомошного* находится на уровне 7 %, а по содержанию азота данный сосняк несколько беднее – 86,5 мг/100 г почвы.

Результаты и их обсуждение

Как известно большинство микроорганизмов размножаются при температуре от 10⁰С до 40⁰С, а выработка гидролитических ферментов микробными клетками наблюдается в интервале влажности от 12 до 25% (Петров, 1978; Hashimoto, Suzuki, 2004). Рост побегов у сосны в исследуемом регионе начинается после того, как температура почвы и воздуха повышается до 6–8⁰С. Оптимальными для роста сосны значения температуры являются 10–12⁰С (почвы) и 15–20⁰С (воздуха). От температурных усло-

вий и влагообеспеченности почвы зависят, как длина побегов (их годичного прироста) сосны, так и длина ее хвои (Елагин, 1976).

В наших исследованиях отмечено, что гидротермические условия технологических участков рубки трансформировались, но ни в одном из сосняков показатели температуры и влажности не выходили за рамки существующих экологических оптимумов для развития всходов сосны и активности почвенных микроорганизмов. Наиболее прогреваемыми участками были пасека и оба волока сосняка *вейниково-разнотравно-зеленомошного* (ПП 6), где средняя температура июля составляла 27–28,4⁰С, что в среднем на 2–3⁰С выше чем в соседних сосняках ПП 1 и ПП 5. Влажность на поверхности волоков ПП 6 была на 9% выше, чем влажность воздуха и составляла 96 %. На мульчированном волоке температура была на 2,5–4⁰С, а влажность на 6–7 % выше, чем на соседних пасеке и волоке. Следует отметить что волока ПП 1 и ПП 5 к середине вегетационного периода лучше прогрелись (до 18,4–19,6⁰С в слое порубочных остатков и 12,4–13,8⁰С в слое почвы 0–10 см) и абсорбировали влагу (38–40 % в порубочных остатках, 14–25 % в почве) чем пасеки, где температура подстилок была 17–18⁰С, почвы 11–12⁰С, а влажность подстилок была 24,6–35,4 %. Подобного тренда не отмечаем на участках ПП 2 и ПП 3, где волока лучше обеспечиваются влагой (влажность слоя почвы 0-10 см – 18,3–20,5 %), но прогреваются хуже, чем пасеки (14–16⁰С). Это может быть связано с освещением, которое на волоках на 4 % меньше чем на пасеках и составляет 41,7–52,4 % от открытого места. На ПП 4 волок несколько лучше прогревается (23,3⁰С на поверхности, 21,8⁰С в порубочных остатках) и обеспечивается влагой (72 % на поверхности, 50 % в порубочных остатках). Температура воздуха и поверхности пасеки ПП 10 составляла выше 26⁰С, на поверхности волока – 23–24⁰С; влажность воздуха и поверхности пасеки достигала 90–93 %, волока – 88–96 %. Подобные условия могут сравниться только с наиболее разреженным сосняком ПП 6 полнотой 0,4. На волоке ПП 10, россыпь измельченных порубочных остатков имеет большую влажность (47 %), чем подобный слой на пасеке (29 %). Температура равномерно распределенного слоя щепы на волоке несколько ниже (19,8⁰С), чем на пасеке.

В результате выполнения лесосечных работ на технологических участках накапливаются порубочные остатки, что приводит к захламленности пройденной рубкой площади. После проведения лесосечных работ запасы порубочных остатков в *сосняках-зеленомошниках* составили 18 кг/м² на волоках и 9,9 кг/м² на пасеках. В сосняках *бруснично-разнотравных* и *разнотравно-вейниковых* запасы порубочных остатков составили 9,9–12,6 кг/м² на волоках и 0,9–1,3 кг/м² на пасеках.

Известно, что разные уровни антропогенных нагрузок на микробную систему почвы вызывают разные типы её изменчивости (Гузев, Левин, 1991). Это связано с различной степенью динамичности происходящих почвенно-биологических процессов, стихийным действием гидротермических факторов, разнокачественностью поступающих в почву растительных остатков, органического и минерального питания, а в случае рубок также и с переуплотнением почвы на магистральных и пасечных волоках в результате прохождения там лесозаготовительной техники (Горбачев, 2008).

Структурно-динамическое состояние почвенной микробиоты на разных технологических участках несплошных рубок имеет характерные различия, зависящие от особенностей сочетаний температуры и влажности, а также физико-химических и физико-механических условий на лесосеках.

На контрольном участке (ПП 9) общая численность микроорганизмов (в КОЕ) составляет 0,27 млн. на 1 г почвы (таблица 2); грибов – 6,47 %; коэффициенты минерализации и олиготрофности составляют 0,70 и 0,32; целлюлозоралагающий потенциал микрофлоры – 18,5 %. Активность каталазы контрольного участка (ПП 9) находится на уровне 3,8 ф.е. (таблица 3), пероксидазы (ПО) 0,438 ф.е., полифенолксидазы (ПФО) 0,325 ф.е.. Коэффициент гумификации при этом составляет 0,74. Активность протеазы составляет 1,08 ф.е., уреазы – 4,06 ф.е., фосфатазы – 0,47 ф.е..

На ПП 1 (рубка 31 %, полнота 0,6) и ПП 5 (рубка 28 %, полнота 0,7) общая численность микроорганизмов составила 0,52–0,64 млн. на 1 г почвы на пасеках и 0,19–0,43 млн. на 1 г почвы на волоках. При этом отмечается близкий к ненарушенной системе коэффициент минерализации на пасеке ПП 1 – 0,39.

Эти участки характеризуются повышенным разложением поступающих древесных остатков, на что указывает уровень активности фермента полифенолксидазы (ПФО): на ПП 1 – 0,597–0,589 ф.е., и на ПП 5 - 0,586–0,518 ф.е.

На ПП2, ПП3 и ПП4 значения данного показателя варьируют от 0,33 до 0,39 ф.е., в то время как на ПП6 и ПП10 этот показатели достигают 0,45–0,46 ф.е.. На волоке ПП2 отмечен наибольший коэффициент минерализации (22,9), на волоках ПП6 и ПП10 таковой коэффициент не превышает 0,87–2,67.

Коэффициент гумификации на ПП5 примерно равен единице, так как активность пероксидазы находится на уровне 0,690–0,698 ф.е. Протеолитическая активность на участках ПП 1 и ПП 5 варьирует от 0,65 до 0,90 ф.е., что свидетельствует об интенсивном гидролизе белков до аминокислот в верхнем слое почвы. Активность фосфатазы на пасеке ПП 5 достигает 1,21 ф.е., что указывает на удовлетворительные условия для гидролиза фосфорных соединений почвы, составляющих основу нуклеиновых кислот.

После беглого майского пожара на пасеке ПП 6 (рубка 21 %, полнота 0,4) повысилась численность микроорганизмов до 2,28 млн., при этом большинство их составляют олиготрофы (1,98 млн. на 1 г почвы), характеризующие нарушение экологического равновесия в почве и низкую ее обогащенность питательными веществами (рисунок 1). Здесь также отмечены самый высокий коэффициент олиготрофности (16,41) на фоне низкого коэффициента минерализации (1,54). Своеобразие температурного режима и условий увлажнения на осветленных несплошными рубками участках обуславливает и некоторые изменения в состоянии ферментативного пула почвы лесосек. На волоке ПП 6 активность каталазы достигла 5,0 ф.е., что свидетельствует об удовлетворительных окислительно-восстановительных условиях здесь. Высокая активность протеазы (1,14 ф.е.), на фоне небольшого числа гидролитических микроорганизмов указывает на усиленное разложение белков гидролитиками, что свидетельствует о стрессовом характере биокруговорота на данном участке. Ранее, в южнотаежных сосняках Средней Сибири, А.В. Богородская (2007) отмечала положительное действие низкоинтенсивных пожаров на биогенность почвы.

Таблица 2 - Микробиологическая активность почвы на участках несплошных рубок Погорельского бора

Пробная площадь, интенсивность рубки	Технологический участок	Общая численность микроорганизмов, млн КОЕ*г почвы	% грибов от общей численности микроорганизмов	Коэффициент минерализации	Коэффициент олиготрофности	Целлюлозоразлагающий потенциал микрофлоры, %
ПП9	Контроль	0,27	6,47	0,70	0,32	18,5
ПП1 Рубка 31% Полнота 0,6	Пасека	0,52	0,61	0,39	6,23	31,1
	Волок	0,19	14,88	0,61	0,71	17,5
ПП5 Рубка 28% Полнота 0,7	Пасека	0,64	0,49	1,38	0,51	22,6
	Волок	0,43	0,73	1,00	0,21	11,8
ПП6 Рубка 21% Полнота 0,4	Пасека (Гарь)	2,28	0,42	1,54	16,41	12,4
	Волок (Гарь)	0,36	1,76	2,67	0,45	22,2
	Волок (Мульчер)	0,54	2,06	1,28	0,45	19,8
ПП2 Рубка 24% Полнота 0,6	Пасека	0,32	15,20	0,36	0,44	13,2
	Волок	1,25	1,40	22,9	0,65	12,0
ПП3 Рубка 39% Полнота 0,5	Пасека	0,45	57,04	2,21	1,77	15,2
	Волок	0,99	0	1,13	0,47	21,7
ПП4 Рубка 24% Полнота 0,6	Пасека	0,11	10,96	0,77	0,10	2,6
	Волок	1,80	1,76	0,20	0,03	11,6
ПП10 Зимняя рубка Полнота 0,6	Пасека (Щепа)	0,62	2,03	1,42	0,50	54,8
	Волок (Щепа)	0,32	4,43	0,87	0,14	86,6

Таблица 3–Ферментативная активность почвы на участках несплошных рубок Погорельского бора

Пробная площадь, интенсивность рубки	Технологический участок	Каталаза, мл O ₂ / 1 г почвы	ПО, мг бензохинона/1 г почвы*	ПФО, мг бензохинона/1 г почвы*	Коэффициент гумификации	Протеаза, мг глицина / 1 г почвы	Уреаза, мг N-NH ₄ / 1 г почвы	Фосфатаза, мг P ₂ O ₅ / 1г почвы
ПП9. Контроль	Контроль	3,8	0,438	0,325	0,74	1,08	4,06	0,47
ПП1 Рубка 31% Полнота 0,6	Пасека	1,8	0,608	0,597	0,98	0,90	1,68	0,71
	Волок	0,7	0,592	0,589	0,99	0,65	1,37	0,59
ПП5 Рубка 28% Полнота 0,7	Пасека	0,8	0,690	0,586	0,84	0,95	1,48	1,21
	Волок	1,8	0,698	0,518	0,74	0,85	1,24	1,07
ПП6 Рубка 21% Полнота 0,4	Пасека (Гарь)	3,3	0,514	0,386	0,75	1,14	1,45	1,11
	Волок (Гарь)	5,0	0,587	0,451	0,77	0,59	2,22	1,21
	Волок (Мульчер)	4,8	0,502	0,452	0,90	1,34	3,51	0,98
ПП2 Рубка 24% Полнота 0,6	Пасека	0,8	0,507	0,330	0,65	0,16	1,56	0,56
	Волок	0,9	0,612	0,343	0,56	0,12	0,99	0,40
ПП3 Рубка 39% Полнота 0,5	Пасека	1,5	0,695	0,356	0,51	0,16	1,43	0,62
	Волок	1,2	0,341	0,327	0,96	0,78	1,20	0,59
ПП4 Рубка 24% Полнота 0,6	Пасека	1,1	0,473	0,391	0,83	0,55	1,64	0,69
	Волок	1,0	0,630	0,357	0,57	0,58	1,04	1,84
ПП10 Зимняя рубка Полнота 0,6	Пасека (Щепа)	6,2	0,524	0,462	0,88	0,67	5,03	1,19
	Волок (Щепа)	2,4	0,477	0,427	0,89	1,04	4,18	0,66

*ПО и ПФО – пероксидаза и полифенолоксидаза

Мульчирование почвы с измельченными порубочными остатками на одном из волоков привело к еще большему ускорению разложения белков до аминокислот (активность протеазы – 1,34 ф.е.), незначительному накоплению азотсодержащей органики (активность уреазы достигла 3,5 ф.е.), трансформации окислительно-восстановительных условий, о чем сигнализируют показатели активности фермента каталазы (4,8 ф.е.), а также коэффициент минерализации (2,2), который по литературным данным (Сорокин и др., 2005; Гродницкая, 2013) часто коррелирует с содержанием обменного аммония в почве, как наиболее доступного источника минерального азота для растений и почвенных микроорганизмов.

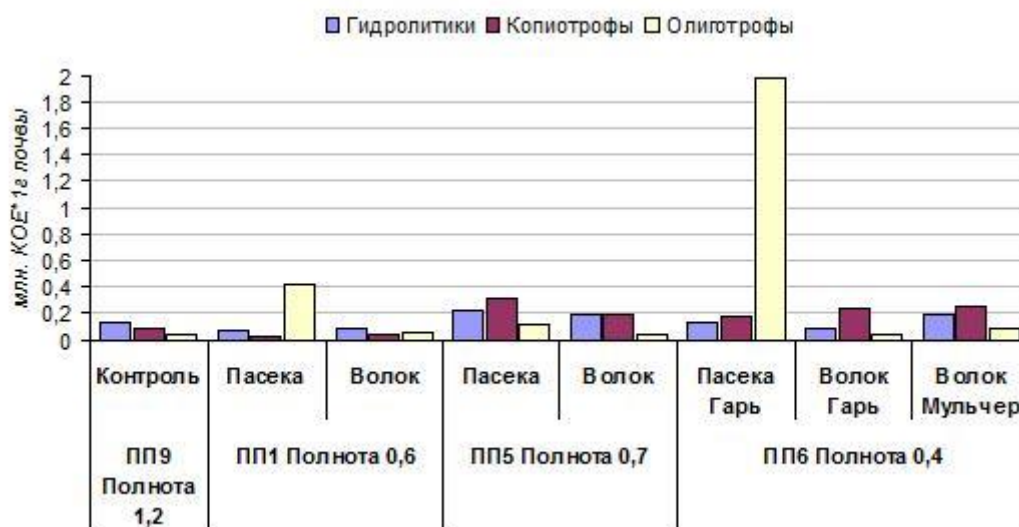


Рисунок 1—Количественная характеристика микробного комплекса в зависимости от сомкнутости древостоя, пройденного первым приемом несплошной рубки

На волоке ПП 4 (летняя рубка 24 %, полнота 0,6) численность микроорганизмов несколько ниже (1,80 млн. на 1 г. почвы), но большую часть из них (1,47 млн. на 1 г почвы или 81,4 %) составляют гидролитики, выделяющие в почву собственные ферменты, разлагающие сложные полимеры (рисунок 2). Также на волоке этого участка отмечена и наибольшая активность фосфатазы – 1,84 ф.е., что свидетельствует об участии в разложении растительного материала фосфатмобилизующих микроорганизмов.

Наибольшее содержание грибов (57,04 %) от общей численности микроорганизмов выявлено на пасеке ПП 3 (летняя рубка 30 %, полнота 0,5). На волоке этой пробной площади грибов не выявлено. Следует учесть, что основными поставщиками ферментов в почву являются именно грибы, так как обладают более мощным ферментативным аппаратом. На пасеке ПП 3 наиболее выражена активность пероксидазы (ПО) – 0,695 ф.е., при этом

коэффициент гумификации составляет 0,51. Это может свидетельствовать о том, что поступившие во время рубки лесосечные отходы и то количество опада, которое накопилось за четыре года после разработки лесосек микроорганизмам не удастся переработать в присутствии кислорода воздуха и с использованием фермента полифенолоксидазы. Следовательно, переработка древесины возможна только в присутствии перекиси водорода и других органических перекисей, образующихся в почве в результате жизнедеятельности соответствующих групп микроорганизмов.

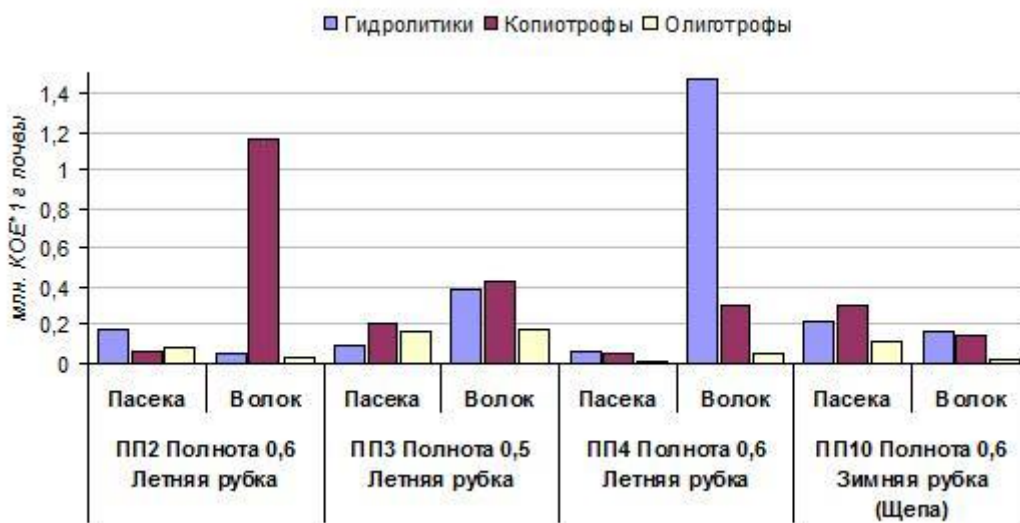


Рисунок 2—Количественная характеристика микробного комплекса в зависимости от сезона лесозаготовок

Порубочные остатки на волоках привносят некоторый вклад в перераспределение эколого-трофических групп микроорганизмов. Под слоем слаборазложившихся порубочных остатков могут развиваться неудовлетворительные для большинства почвенной микробиоты гидротермические условия. Однако проведенный корреляционно-регрессионный анализ показывает, что зависимость количества грибов от влажности почвы выше на волоках ($r^2=0,33$), чем на пасеках ($r^2=0,13$).

Согласно Правилам заготовки древесины от 16 июля 2007 №184 существует ряд способов очистки лесосек от порубочных остатков. На ПП 10 (зимняя рубка, полнота 0,6) была применена технология очистки лесосек с разбрасыванием измельченных мульчерной техникой порубочных остатков.

На технологических элементах с измельченной щепой выявлен наиболее высокий целлюлозоразлагающий потенциал микрофлоры: на пасеке он

достигает 55 %, на волоке – 86 %, что при относительно небольшом общем содержании микроорганизмов (0,62 млн. на 1 г почвы на пасеке, и 0,32 млн. на 1 г почвы на волоке), что характеризует мобилизацию микрофлоры. Это проявляется также и в выделении гидролитических ферментов микроорганизмами. В результате действия фермента протеазы на волоке под слоем щепы накапливается более 1 мг глицина на 1 г почвы, что практически совпадает с данными на контроле (1,04–1,08). Уреазы также наиболее активно проявляет себя после зимней рубки на участках с размолотыми порубочными остатками – 4,18–5,03 ф.е., что свидетельствует о повышенной продукции минеральных форм азота. На остальных участках активность уреазы варьирует от 0,99 до 3,55 ф.е. Наибольшую активность под размолотыми порубочными остатками зимней лесосеки проявляет каталаза, диагностирующая окислительные условия на пасеке сосняка – 6,2 ф.е. Метаболизм фосфорорганических соединений под слоем щепы также идет достаточно активно (активность фосфатазы – 1,19 ф.е.).

В этом случае необходимо отметить, что зимняя древесина оказывает значительно большее фитосанитарное воздействие на почвы, так как содержит меньше питательных веществ, но больше соединений фенольного ряда, смолистых веществ, окисляющих почву и оказывающих фитонцидное воздействие на почвенную микрофлору. Повышению целлюлозоразлагающего потенциала почвы, возможно, способствовали специфические гидротермические условия, сложившиеся под слоем щепы на данном участке.

Выводы

Варьирование эколого-трофических групп микроорганизмов на участках рубок с разным режимом осветления обусловлены сочетанием температуры и влажности на пасеках и волоках. Также на перераспределение в составе микробного комплекса оказывает воздействие запас порубочных остатков и способ их утилизации, выбранная интенсивность разреживания полога древостоя и сезон лесозаготовки.

По совокупности физико-химических, гидротермических и микробиологических показателей наиболее удовлетворительные почвенные лесорастительные условия через пять лет после несплошной рубки сложились в сосняках *разнотравно-вейниковом* (ПП 1) и *вейниково-разнотравно-зеленомошном* (ПП 5) полнотой 0,6 и 0,7. На волоках сосняков *разнотравно-вейниково-зеленомошного* (ПП 2) и *бруснично-разнотравно-вейникового* (ПП 4) с полнотой древостоев 0,6 наблюдается частичное разложение фер-

ментативными аппаратами микроорганизмов огромных объемов растительной массы лесосечных отходов, поступивших при разреживании полога. Также стоит отметить положительное действие переработки порубочных остатков в щепу под сосняком *разнотравно-зеленомошным (ПП 10)* при зимней лесозаготовке.

Во время лесосечных работ рекомендуется дальнейшее использование удобрительных композиций на основе измельченных порубочных остатков и опилок, а также сжигание порубочных остатков и мульчирование почвы на технологических участках. Назначать в рубку древостои в регионе Красноярской лесостепи необходимо с учетом особенностей микроклиматических условий, минерального питания всходов сосны и в целом лесорастительного потенциала почвы отведенной под лесозаготовки территории.

Литература

1. Бабинцева, Р.М. Экологические аспекты лесовосстановления при современных лесозаготовках / Р.М. Бабинцева, В.Н. Горбачев, Н.Д. Сорокин // Лесоведение. – 1984. – №5. – С. 19–25.
2. Белов С.В. Лесоводство. Учебное пособие для вузов / С.В. Белов. – М.: Лесная промышленность. – 1993. – 352 с.
3. Богородская А.В. Влияние пожаров на микробные комплексы почв сосновых лесов Средней Сибири: автореф. дис... канд. биол. наук: 03.00.16; 03.00.07 / Богородская Анна Викторовна. – Красноярск, 2006. – 21 с.
4. Борцов, В.С. Использование автоматизированной аналитической системы на основе отражательной спектроскопии в исследовании агроценозов: автореф. дис... канд. биол. наук: 03.00.16 / Борцов Владимир Степанович. – Красноярск 2002. – 26 с.
5. Бугаков, П.С. Почвы Красноярского края / П.С. Бугаков, С.М. Горбачева, В.В. Чупрова // Красноярск: Кн. изд-во, 1981. – 128 с.
6. Бугаков, П.С. Агрономическая характеристика почв земледельческой зоны Красноярского края / П.С. Бугаков, В.В. Чупрова; Краснояр. гос. аграр. ун-т. - Красноярск, 1995. – 176 с.
7. Гильц, Н.Р. Несплошные рубки леса / Н.Р.Гильц, В.В.Федоров, В.А.Васюков, К.К. Демин // М.: Лесн. пром-сть, 1986. – 192 с.
8. Горбачёв В.Н. Современные проблемы экологии (патология почв) / В.Н.Горбачёв, Р.М. Бабинцева, В.Д. Карпенко и др.. Ульяновск, 2008. – 140 с.

9. Гродницкая, И.Д. Эколого-микробиологическая индикация и биоремедиация почв естественных и нарушенных лесных экосистем Сибири: автореф. дис... д-ра. биол. наук: 03.02.08 / Гродницкая Ирина Дмитриевна. – Красноярск, 2013. – 35 с.

10. Гузев, В.С. Перспективы эколого-микробиологической экспертизы состояния почв при антропогенных воздействиях / В.С. Гузев, С.В. Левин // Почвоведение. – 1991. – №9. – С. 50–62.

11. Елагин, И.Н. Сезонное развитие сосновых лесов / И.Н. Елагин. – Новосибирск, Изд-во «Наука», 1976. – 232 с.

12. Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Д.Г. Звягинцев. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 304 с.

13. Казеев К.Ш. Биология почв Юга России / К.Ш. Казеев, С.И. Колесников, В.Ф. Вальков // Ростов-на-Дону: Изд-во ЦВВР, 2004. – 350 с.

14. Медведева, М.В. Биологическая активность подзолистых почв сосняков-черничников Среднетаежной Карелии после рубок / В.М. Медведева, Н.И. Германова // Лесное хозяйство. – 2008. – № 6. – С. 16–17.

15. Петров, Н.Ф. Учёт сохранившегося подроста и лесоводственная оценка технологии лесосечных работ / Н.Ф. Петров // Возобновление и формирование лесов Сибири. – Красноярск, 1969. – С. 169–172

16. Петров, Н.Ф. Термический режим приземного воздуха и почвы после механизированных рубок главного пользования / Н.Ф. Петров // Стационарные лесоводственные исследования в Сибири. – Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1978. – С. 121–136.

17. Поляков, А.И. Влияние вырубки леса на биологические свойства горных почв Западного Кавказа: автореф. дис... канд. биол. наук: 03.02.08 / Поляков Артем Игоревич. – Ростов-на-Дону, 2011. – 24 с.

18. Сорокин Н.Д. Микробиологическая индикация и мониторинг нарушенных лесных экосистем Сибири / Н.Д. Сорокин, С.Ю. Евграфова, И.Д. Гродницкая и др. // Сибирский экологический журнал. – 2005. - №4. – С.687–692

19. Сорокин Н.Д. Микробиологическая диагностика лесорастительного состояния почв Средней Сибири / Н.Д. Сорокин; отв. ред. С.Г. Прокушкин. – Рос. акад. наук, Ин-т леса им.В.Н.Сукачева СО РАН, Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2009. – 222 с.

20. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии / Ф.Х. Хазиев. – Ин-т биологии Уфим. НЦ. - М.: Наука, 2005. – 252с.

21. Hashimoto, S. The impact of forest clear-cutting on soil temperature: a comparison between before and after cutting, and between clear-cut and control sites / S.Hashimoto, M.Suzuki // Journal For. Res. – 2004. – Vol.9. – P. 125–132.

22. Schinner, F. Methods in soil biology. / F. Schinner, R. Ohlinger, E. Kandeler, R. Margesin // 2 ed. Berlin: Springer. 1995. 426 p.