



УДК 630.114.6:630.221.04

Биоиндикация лесорастительного состояния почв сосняков Красноярской лесостепи после несплошных рубок разной интенсивности

© Г. И. Антонов, С. Ю. Евграфова, В. В. Иванов

Bioindication of soil forest-vegetation conditions in Krasnoyarsk forest-steppe pinewoods after partial cuttings

G. I. Antonov, S. U. Evgrafova, V. V. Ivanov (V. N. Sukachev Institute of Forest)

Authentic distinctions in a biomass and intensity of soil respiration on logging site block and skidding trails after cuttings of different intensity in pine forests of Krasnoyarsk forest-steppe are experimentally established. Different levels of food activity of soil biota and intensity of cellulose destruction on investigated sites are revealed.

Key words: pine forests, partial cuttings, soil invertebrates, bait-lamina test, soil microflora, forest-vegetation condition, soil respiration

Биоиндикация лесорастительного состояния почв сосняков Красноярской лесостепи после несплошных рубок разной интенсивности

Г. И. Антонов, С. Ю. Евграфова, В. В. Иванов

Экспериментально установлены различия в биомассе и интенсивности дыхания почвенных микроорганизмов на пасаках и волоках после разной степени изреживания древостоя в сосняках Красноярской лесостепи. Выявлены разные уровни пищевой активности почвенной биоты и скорости деструкции клетчатки на исследуемых участках.

Ключевые слова: сосняки, несплошные рубки, почвенные беспозвоночные, байт-ламينا тест, почвенная микрофлора, лесорастительная способность, почвенное дыхание

Антонов Георгий Иванович – мл. науч. сотр., канд. биол. наук
Евграфова Светлана Юрьевна – ст. науч. сотр., канд. биол. наук
Иванов Виктор Васильевич – ст. науч. сотр., канд. с.-х. наук

ФГБУН Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН
Адрес: 660036, Красноярск, Академгородок, 50/28
Телефон: +7(391)211-14-75
E-mail: egoan@yandex.ru

Введение

Эскалация антропогенной нагрузки на лесные экосистемы обусловила научный интерес к биоиндикации почвенных лесорастительных условий на первых этапах сукцессионных изменений. Некоторыми исследователями показано, что в результате проведения рубок меняется тип биологического круговорота (от нормального до замедленного) и происходит трансформация потоков вещества и энергии, что отражается на плодородии лесных почв [4, 10, 19, 20].

Лучшие результаты в диагностике почв антропогенно нарушенных территорий дает комплексная оценка их биологических свойств с использованием методики определения интегральных показателей биологической активности [6, 19, 20, 21, 22, 25, 26].

Данные, полученные в настоящем исследовании, наряду с другими почвенными и лесоводственными показателями могут быть использованы в целях обоснования степени изреживания сосновых древостоев и модернизации мероприятий по содействию естественному возобновлению после несплошных рубок различной интенсивности.

Цель работы – определить функциональную активность комплексов почвенных микроорганизмов и беспозвоночных как показателя лесорастительного состояния почв после рубок разной интенсивности в сосняках Красноярской лесостепи.

Методика исследования

Объекты исследования – сосняки экспериментального хозяйства «Погорельский Бор» Института леса СО РАН. Погорельский Бор – интразональный участок Красноярской лесостепи (N 56°22' E 92°57'). Лесоводственная оценка лесосечных работ выполнялась после первого приема несплошных рубок по общепринятым в лесоводстве методикам [14]. Учет самосева и подроста проводился по породам, высотным группам и категориям жизненного состояния. На каждой пробной площади осуществлялся подсчет подроста способом закладки узких лент с разделением их на площадки размером 2×2 м [13].

В рубку поступали спелые высокополнотные сосняки трех типов леса: 1) разнотравно-вейниково-зеленомошный, 2) разнотравно-вейниковый и 3) бруснично-разнотравный, возрастом 100-120 лет, II класса бонитета. Разработка лесосек осуществлялась с использованием трелевочного трактора ЛХТ-55 [5].

На всех участках заложены три пробные площади – № 1 (площадь 0,7 га, полнота – 0,8; количество стволов – 311 шт./га; запас древесины – 387 м³/га), № 2 (площадь 0,6 га, полнота – 1,0; количество стволов – 397 шт./га; запас древесины – 439 м³/га), № 3 (площадь – 0,8 га, полнота – 0,8; количество стволов – 386 шт./га; запас древесины – 373 м³/га).

В вышеперечисленных древостоях в летнее время в разные годы были проведены разреживания различной интенсивности: в сосняке разнотравно-вейниково-зеленомошном – 20 %, полнота сократилась с 0,8 до 0,6, густота до 218 шт./га, запас до 294 м³/га; в сосняке разнотравно-вейниковом – 30 %, полнота сократилась с 1,0 до 0,6, густота до 294 шт./га, запас до 301 м³/га; в сосняке бруснично-разнотравном – 40 %, полнота сократилась с 0,8 до 0,5, густота до 228 шт./га, запас до 226 м³/га.

Учет живого напочвенного покрова и подстилки проводили с помощью шаблона (кольцо диаметром 20 см) в 10-кратной повторности. Запасы и фракционный состав подстилок измеряли общепринятыми в биогеоценологии методами [11]. Мобилизационная активность почвенной биоты после рубок определялась по таким показателям как дыхательная активность почвенной микробиоты, микробная биомасса, трофическая активность почвенных беспозвоночных, разложение клетчатки.

Учет микробной биомассы проводили в подстилке и в минеральном слое почвы 0-10 см. Биомасса гетеротрофной микрофлоры почв определялась на хроматографе Agilent 6890N с использованием метода субстрат-индуцированного дыхания почвенной микрофлоры с последующим пересчетом на углерод микробной биомассы $C-CO_2$ с помощью уравнения $C_{мик} (мкг\ C\ г\ почвы^{-1}) = 50,4 \times СИД (мкг\ CO_2-C\ г\ почвы^{-1}\cdotч^{-1})$ [22, 27]. Для определения базального дыхания брали 2 грамма почвы. Флакон закрывали и ин-

кубировали 12 часов, после чего отбирали 2 миллилитра газа и измеряли интенсивность дыхания. Для определения субстрат-индуцированного дыхания к навеске почвы 2 грамма добавляли глюкозо-минеральную смесь, инкубировали около 2-х часов, отбирали 2 миллилитра газа и определяли интенсивность дыхания. Учет микробной биомассы проводили в подстилке (в порубочных остатках на волоке) и в слое 0-10 см минерального горизонта почвы.

Трофическая активность почвенных беспозвоночных выявлялась с использованием метода приманочных пластинок (bait-lamina test) [16]. Методика заключается в оценке процента перфорированных отверстий приманочных пластинок почвенной биотой. Пластинки устанавливались в 30-кратной повторности в линии длиной 1,5 метра (по 10 штук через каждые 30 см), и погружались в почву на глубину 10 см. На каждой пробной площади закладывалось три линии с приманочными пластинками: на пасеку, на переходную (приволочную) зону и на волок. Процент перфорации высчитывался на 14-й день экспозиции.

Потенциальную и актуальную целлюлозоразлагающую активность определяли по методике Е.Н. Мишустина и А.Н. Петровой [3, 10].

Результаты и их обсуждение

По мнению ряда исследователей, лесоводственная оценка почв при разработке лесосек должна основываться на интегральных показателях активности почвенной микробиоты, так как именно микроорганизмы играют существенную роль в лесовосстановлении на первых этапах послерубочной сукцессии [5, 12, 17, 19].

В процессе разложения растительных остатков микробиота почвы выделяет углекислоту и почва “дышит”. Поэтому интенсивность дыхания является одним из показателей функциональной активности микробного комплекса почвы [1, 2, 7].

Нами установлено, что подстилки исследованных сосняков характеризуются максимальной активностью дыхания почвенной микрофлоры – 362,6-428,7 мкг С-СО₂/г/сут. С глубиной величина базального дыхания снижается до 9,7–18,5 мкг С-СО₂/г/сут. (табл. 1).

Таблица 1

Показатели биологической активности ненарушенных дерново-подзолистых почв сосняков Красноярской лесостепи

Тип леса	Слой, см	Базальное дыхание, мкг С-СО ₂ /г почвы/сут.	Биомасса микроорганизмов, мг С/г почвы	Целлюлозоразлагающая способность почвы, %
Сосняк разнотравно-вейниково-зелено-мошный	Подстилка	362,6	6,9	88,2±1,9
	0-5	25,3	1,1	79,4±6,8
	5-10	18,5	0,8	81,2±11,8
Сосняк разнотравно-вейниковый	Подстилка	425,3	8,9	60,5±10,3
	0-5	17,5	0,7	77,8±7,8
	5-10	9,7	0,6	41,5±15,5
Сосняк бруснично-разнотравный	Подстилка	428,7	7,8	62,8±5,2
	0-5	20,4	0,8	66,0±9,5
	5-10	15,6	0,7	75,4±8,2

Микробная биомасса органогенных горизонтов всех исследованных местообитаний также превышает таковую в минеральном слое почвы в 6-12 раз. Параметры биомассы и функциональной активности микроорганизмов отражают основные физико-химические характеристики дерново-подзолистой почвы на ис-

следуемых пробных площадях. Содержание гумуса в почвах убывает с глубиной, варьируя в слое 0-5 см под различными сосняками от 9,8 до 15,1 %. В слое 10-30 см происходит резкое сокращение содержания гумуса до 1,64-2,73 % (табл. 2). Гидролитическая кислотность исследуемой почвы изменяется от 11,36-21,39 (для

слоя 0-5 см) до 0,8-3,17 моль-экв/100 г почвы (для слоя 10-30 см). Сумма обменных оснований так же, как содержание гумуса, резко падает на глубине 10 см и уменьшается с 22,5-28,3 до 3,2-8,3 моль-экв/100 г почвы. Реакция почв меняется от кислой до слабокислой – рНвод. в исследуемом слое почвы колеблется от 4,84 до 6,09 (рНсол. соответственно – от 4,00 до 5,31). Содержание минерального азота в разных слоях почвы варьирует от 2,8 до 4 мг/100 г почвы.

Высокое содержание гумуса, накопление обменных оснований в верхней 0-10 см части профиля может свидетельствовать о специфическом проявлении биогенно-аккумулятивных почвенных процессов и интенсификации разложения органического вещества в этом почвенном слое.

Скорость и направленность этих процессов отражаются в функциональной активности почвенных микробных комплексов, которая интегрально выражается через метаболический коэффициент qCO_2 .

Н.Д. Ананьевой [1] было доказано экспериментально, что величина микробного метаболического коэффициента (отношение базального/фонового дыхания микроорганизмов к их биомассе) может характеризовать устойчивость микробного сообщества почвы к различным антропогенным воздействиям и по данному показателю можно оценивать статус почвенного микробного сообщества, который, в свою очередь, зависит от степени антропогенного воздействия, в данном случае – рубок разной интенсивности.

После проведения рубок формируется новый техногенный ландшафт, со специфическими микроэкологическими условиями, характеризующийся различным уровнем нарушенности почвы, изменившимися запасами живого напочвенного покрова и подстилок на пасаках, обилием порубочных остатков на волоках.

Анализ запасов фитомассы травянистого яруса показал их увеличение после рубки в 3-6 раз (с 25-89 до 75-150 г/м²). Запасы подстилки также увеличиваются после проведения рубки с 2,5-3,0 до 3,7-4,5 кг/м². Во фракционном составе подстилок после рубки запасы мягких фрак-

Таблица 2

Основные физико-химические показатели дерново-подзолистых почв Красноярской лесостепи

Тип леса	Глубина, см	Гумус, %	Валовой азот, мг/100 г	рН		Гидролитическая кислотность моль-экв/100 г	Сумма обменных оснований мг/100 г	Минеральный азот, мг/100 г
				водный	солевой			
Сосняк разно-вейниково-зелено-мошный	Подстилка	39,32*	1060,3	4,88	4,00	27,55	-**	-**
	0-5	15,16	252,5	5,20	4,60	20,26	28,30	4,09
	5-10	8,37	201,7	5,64	5,28	8,40	31,80	4,56
Сосняк разно-травно-вейниковый	10-30	1,64	69	5,99	4,94	2,37	10,31	3,70
	Подстилка	42,99*	1014,7	5,61	4,76	33,21	-**	-**
	0-5	9,82	191,3	5,15	4,98	11,36	25,73	4,09
Сосняк бруснично-разнотравный	5-10	7,62	196,7	5,60	4,18	6,97	24,51	4,56
	10-30	2,55	83,2	5,98	4,56	4,04	10,54	3,71
	Подстилка	42,52*	918,2	5,25	4,37	30,00	-**	-**
	0-5	14,34	201	4,84	4,16	21,39	22,53	2,81
	5-10	7,25	185,3	5,67	5,26	7,34	27,64	4,96
	10-30	2,73	73,6	5,89	4,92	3,60	16,49	3,77

Примечания.
* – содержание углерода
** – не определялись

ций увеличиваются (травы – с 0,82 и 1,72 г/м² до 0,92 и 1,96 г/м²; мха – с 13,4 до 21 г/м²) в то время как фракция хвои уменьшается с 7-17,8 до 5-9 г/м².

Полученный для активного слоя дерново-подзолистых почв ненарушенных сосняков микробный метаболический коэффициент составляет в среднем 1,5-1,7 ед. (рис. 1).

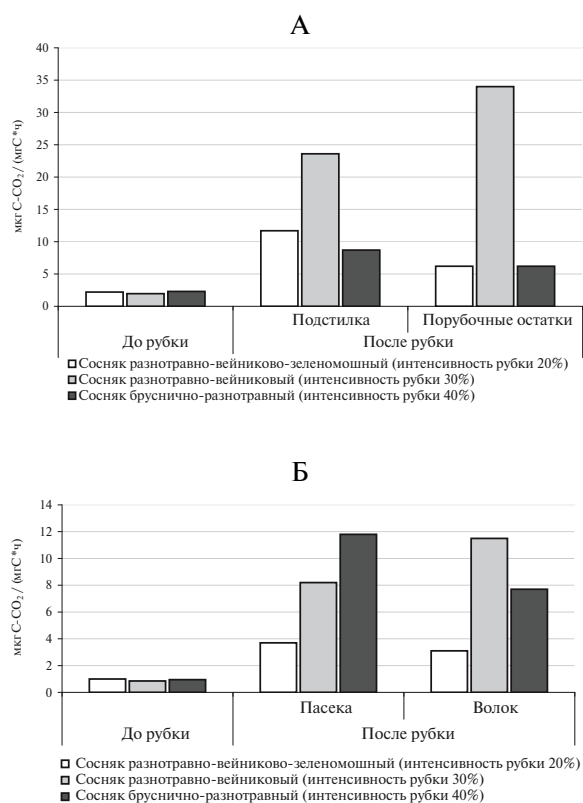


Рис. 1. Влияние рубок разной интенсивности на микробный метаболический коэффициент (qCO_2): А – в подстилке и порубочных остатках, Б – в слое почвы 0-10 см

Различия между органогенным горизонтом и минеральным слоем почвы по данному показателю не существенны. Из литературных материалов очевидно, что микробный метаболический коэффициент дерново-подзолистых почв ненарушенных сосняков Красноярской лесостепи близок к таковому в почвах сосняков Средней Сибири [6, 18].

Деятельность микроорганизмов напрямую и косвенно отражается в интенсивности

деструкционных процессов, что в определенной степени оценивается через активность целлюлозоразложения.

Данные потенциальной активности деструкции клетчатки дерново-подзолистой почвы в ненарушенных рубками сосняках Погорельского бора свидетельствуют, что наибольшей целлюлозоразлагающей способностью характеризуются подстилки сосняка разнотравно-вейниково-зеленомошного. За три недели компостирования в оптимальных для целлюлозоразлагающей микрофлоры условиях (температуры 28 °С и влажности 60 % от ПВ) она достигла 88 % (табл. 1), что по шкале Д.Г. Звягинцева [8] характеризуется как “высокий уровень” биологической активности. Для подстилок сосняков разнотравно-вейникового и бруснично-разнотравного потенциальная целлюлозоразлагающая способность достигает 60 и 63 % соответственно. Высокая активность разрушения клетчатки сохраняется и в минеральных слоях почвы: 66-79 % на глубине 0-5 см и 41-81 % на глубине 5-10 см. В природных условиях под ненарушенным сосняком разнотравно-вейниковым скорость разложения (актуальная) клетчатки составляет не более 5 %.

Анализ целлюлозоразлагающей способности почв в исследуемых сосняках через год после проведения рубок показал, что клетчатка разлагается с разной скоростью. Установлено, что целлюлозоразрушающий потенциал в сосняках разнотравно-вейниково-зеленомошном и бруснично-разнотравном уменьшилась через год после рубки на 12-15 %, в сосняке разнотравно-вейниковом она увеличилась на 14 % (табл. 3). В минеральном слое почвы 0-10 см наблюдается снижение целлюлозоразлагающего потенциала в 2-2,5 раза. В полевых условиях реальная (актуальная) скорость разложения клетчатки через год после рубки не превышала 19 % на волокнах и 1 % на пасеках.

При выполнении лесосечных работ на технологических участках площадь сильно-минерализованной поверхности по шкале Н.Ф. Петрова [14] составила 19-23 % для всех сосняков.

На волоках органогенный горизонт полностью уничтожен и биологически активным слоем здесь является мощный пул порубочных остатков. Запасы порубочных остатков в сосняке разнотравно-вейниково-зеленомошном составили 18 кг/м² на волоке и 9,9 кг/м² на пасеке. В сосняке разнотравно-вейниковом запасы порубочных остатков составили 12,6 кг/м² на волоке и 0,9 кг/м² на пасеке, в сосняке бруснично-разнотравном, с максимальным разреживанием – 9,9 кг/м² и 1,3 кг/м² соответственно. Порубочные остатки вносят определенный вклад в почвенные биологические процессы, а под слоем слаборазложившихся порубочных остатков складывается определенный гидротермический режим [9, 15, 19].

Разные экологические условия технологических участков рубок обуславливают различия в активности почвенной микро-

флоры. Причем они проявились, прежде всего, в подстилках исследованных местообитаний. Существенное влияние на дыхательную активность почвенных микроорганизмов оказывают гидротермические условия. Нами установлено, что температура минерального слоя почвы 0-30 см пасек сосняков с разреживанием умеренной интенсивности составила 11,3-11,8 °С, данный слой на волоках сосняков имеет температуру на 1,5-2 °С выше. Температуры почвы в исследуемом слое пасеки и волока наиболее осветленного участка рубки с разреживанием в 40 % близки между собой и составляют 13,2-13,3 °С. Изменение температурного и светового режимов, наличие порубочных остатков способствует развитию густой травянистой растительности и снижению физического испарения с поверхности почвы [9, 15, 19, 24].

Таблица 3

Мобилизационная активность почвенной биоты после рубок разной интенсивности в сосняках Красноярской лесостепи (n = 3).

Технологический участок	Горизонт	Дыхание, мкг С-СО ₂ /г почвы/сут.	Биомасса, мг С/г почвы	Целлюлозоразлагающая способность почвы, %
Сосняк разнотравно-вейниково-зеленомошный. Интенсивность рубки – 20 %				
Пасека	Подстилка	79,8±1,8*	0,30±0,04	67,3±6,1
	0-10 см	21,4±2,6	0,24±0,03	43,0±6,5
Волок	Порубочные остатки	160,1±23,0	1,07±0,01	-**
	0-10 см	26,4±5,3	0,37±0,05	39,5±9,7
Сосняк разнотравно-вейниковый. Интенсивность рубки – 30 %				
Пасека	Подстилка	303,7±37,8	0,54±0,05	74,1±8,4
	0-10 см	22,1±1,0	0,15±0,05	69,6±11,1
Волок	Порубочные остатки	382,5±34,5	0,48±0,06	-
	0-10 см	31,4±1,2	0,12±0,02	17,7±7,4
Сосняк бруснично-разнотравный. Интенсивность рубки – 40 %				
Пасека	Подстилка	178,5±35,0	0,85±0,17	50,2±2,6
	0-10 см	17,9±3,1	0,06±0,01	36,0±1,0
Волок	Порубочные остатки	106,0±4,3	0,71±0,04	-
	0-10 см	22,7±2,1	0,12±0,02	47,6±5,1

Примечания. * – ошибка среднего
** – не определялась

Влажность подстилок на пасаках за сезон составила 72,4 % в сосняке с максимальным разреживанием, в то время как подстилки сосняков с умеренным разреживанием 20-30 % в состоянии накапливать влагу, поэтому влажность достигает 102,7-147,8 %. В порубочных остатках на волоках она также колеблется от 80 до 144,2 %. В слое почвы 0-30 см в пределах пасаек и волоков разреженные сосняки по влажности отличаются незначительно: в сосняке с умеренной интенсивностью рубки – 13,2-13,4 %, а в сосняке с более интенсивной рубкой – 14,5-15,3 %. В сосняке с максимальной интенсивностью рубки – 11,5-11,8 %.

Сопряженно со значительным изменением гидротермического режима после рубок разной интенсивности на технологических участках меняются физико-химические параметры почв. Содержание гумуса в слое 0-5 см на пасечных участках незначительно изменяется от 9,3 до 9,8 %, а на волоках от 8,4 до 15,5 %, снижаясь с глубиной до 1,5-2,8%. Гидролитическая кислотность почв на разных технологических участках в сосняках варьирует от 1,9 до 22,1 моль-экв/100 г почвы. Сумма обменных оснований уменьшается с глубиной с 25,3-34,9 до 7,0-16,0 моль-экв/100 г почвы на пасаках и от 23,6-25,6 до 11,6-13,4 моль-экв/100 г почвы на волоках. Реакция почв после проведения рубок также незначительно изменилась: $pH_{\text{вод.}}$ увеличивается с глубиной с 5,0 до 5,9 на пасаках и с 4,9 до 6,2 на волоках, $pH_{\text{сол.}}$ – с 4,1 до 5,0 на пасаках, и с 3,9 до 5,4 на волоках. Содержание минерального азота почв в сосняках после проведения рубок также изменилось незначительно и варьирует по слоям от 3 до 3,7 мг/100 г (табл. 2).

Изменение почвенных условий в результате рубок на ранних стадиях нарушения растительного и почвенного покрова диагностируется существенными изменениями в функциональной активности комплексов почвенных микроорганизмов и беспозвоночных.

Наибольшей активностью дыхания микроорганизмов отличаются подстилки пасаек

сосняков разнотравно-вейникового и бруснично-разнотравного – 303,7 и 178,5 мкг $C-CO_2$ /г/сут соответственно (табл. 3). Для сосняка разнотравно-вейниково-зеленомошного данный показатель составляет 79,8 мкг $C-CO_2$ /г/сут. Микробная биомасса в подстилках нарушенных сосняков колеблется от 0,30 до 0,85 мг C /г.

Различия в дыхательной активности микроорганизмов данного слоя между сосняками соответствует таковому для подстилок: максимальная активность дыхания характерна для волока сосняка разнотравно-вейникового – 382,5 мкг $C-CO_2$ /г/сут, для волоков сосняка разнотравно-вейниково-зеленомошного и бруснично-разнотравного она более чем в 2,5 раза ниже, при этом микробная биомасса близка к таковой в подстилках пасечных участков исследованных сосняков и составляет 0,48-1,07 мг C /г.

Микробное сообщество почв разработанных лесосек старается стабилизироваться после стресса за счет увеличения интенсивности дыхания. Это приводит к значительному повышению микробного метаболического коэффициента после проведения сплошных рубок (с 1-2 до 3-11 ед. в минеральном слое и до 6-34 ед. в подстилках и порубочных остатках) (см. рис. 1).

Очевидно, что изменение физико-химических параметров почв и гидротермических условий после рубок разной интенсивности повлекло за собой резкое изменение биологической (микробиологической) активности почв, которая в свою очередь тесно сопряжена с комплексом педобионтов.

Анализ сезонной динамики трофической активности почвенной биоты под нарушенным рубкой сосняком бруснично-разнотравно-зеленомошным с помощью системы “bait-lamina test” показал максимальную функциональную активность в середине вегетационного периода – в июле доля перфорированных отверстий составила 36 % за 14 дней экспозиции; в среднем за вегетационный период она составила 29 % (рис. 2).

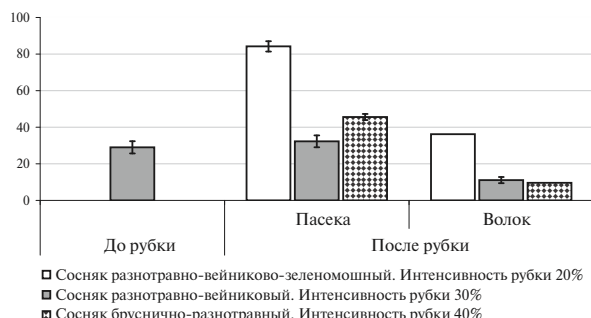


Рис. 2. Влияние рубок разной интенсивности на трофическую активность почвенной биоты в сосняках Красноярской лесостепи (n = 30)

Полученные данные согласуются с литературными: в разных природных зонах этот показатель может варьировать от 14 до 65 % [16, 23].

Пищевая активность почвенных беспозвоночных наряду с микроорганизмами является одним из важнейших индикаторов состояния почвенной биоты при антропогенном воздействии на лесные экосистемы [20].

При анализе трофической активности в нарушенных сосняках выявлена высокая энергия разрушения приманочного субстрата почвенной биотой под разными сосняками через год после проведения рубки – до 84%, что в более чем в 2 раза выше, чем до рубки (см. рис. 2). Пик потребления субстрата приходится также на июль. При переходе к волокам наблюдается снижение трофической активности почвенной биоты до 10–36 %, при этом максимальная активность сохраняется в сосняке разнотравно-вейниково-зеленомошном. На волоках и на наиболее нарушенных и захламленных порубочными остатками участках рубки трофическая активность снижается – в сосняке разнотравно-вейниково-зеленомошном на 50 %, в сосняках разнотравно-вейниковом и бруснично-разнотравном – соответственно на 21 и 36 %.

Заключение

Сопряженный анализ функциональной активности почвенной биоты, физико-химических условий и гидротермического режима почв ненарушенных типов леса свидетельствует о достоверных различиях по этим параметрам сравниваемых объектов.

При проведении рубок разной интенсивности в сосняках трех типов леса на первых этапах послерубочных сукцессий наиболее существенные изменения происходят в функциональной активности комплекса почвенных микроорганизмов и беспозвоночных.

По мере увеличения интенсивности разреживания полога древостоя уменьшается биомасса микроорганизмов, значительно увеличивается дыхательная активность микробных комплексов и снижается целлюлозоразрушающая способность почвенной биоты, что особенно выражено на пасечных участках рубок.

Использование системы “bait-lamina test” по анализу трофической активности почвенной биоты показывает резкое увеличение поглощения целлюлозосодержащего приманочного субстрата на осветленных участках. При переходе от менее нарушенных к более нарушенным технологическим участкам рубки наблюдается депрессия пищевой активности почвенной биоты.

Показатели биологической активности комплекса почвенных микроорганизмов и беспозвоночных отражают изменения запасов подстилки и напочвенного покрова, трансформации гидротермических и трофических условий на разных технологических участках после проведения рубок разной интенсивности и могут использоваться как адекватные индикационные показатели лесорастительного состояния почвенных условий лесовосстановления.

Работа является частью фундаментальных биогеоценотических исследований, проводимых на территории научно-исследовательского стационара «Погорельский Бор» Института леса СО РАН и выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 09-04-98013 и 10-04-00337)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ананьева, Н.Д. Методические аспекты определения скорости субстратиндуцированного дыхания почвенных микроорганизмов / Н.Д. Ананьева, Е.В. Благодатская, Д.Б. Орлинский // Почвоведение. – 1993. – № 11. – С. 72-77.
2. Ананьева, Н.Д. Оценка устойчивости микробных комплексов почв к природным и антропогенным воздействиям / Н.Д. Ананьева, Е.В. Благодатская, Т.С. Демкина // Почвоведение. – 2002. – № 5. – С. 580-587.
3. Аристовская, Т.В. Методы изучения микрофлоры почв и ее жизнедеятельности / Т.В. Аристовская, Ю.А. Худякова // В сб.: Методы стационарного изучения почв. М.: Наука, 1977. – С. 241-286.
4. Бабинцева, Р.М. Экологические аспекты лесовосстановления при современных лесозаготовках / Р.М. Бабинцева, В.Н. Горбачев, Н.Д. Сорокин // Лесоведение. – 1984. – № 5. – С. 19-25.
5. Безкоровайная И.Н. Биологическая активность почв после сплошных рубок в сосняках Красноярской лесостепи / И.Н. Безкоровайная, Г.И. Антонов, В.В. Иванов, Д.А. Семенякин // Хвойные бореальной зоны. – 2010. – XXVII. – № 3. – С. 238-242.
6. 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.
7. Евграфова, С.Ю. Гетеротрофное дыхание и состав микробценозов почв экосистем сосняков Средней Сибири / С.Ю. Евграфова, Ю.О. Криницын // Почвы Сибири. – 2009. – № 3. – С. 116-126.
8. Звягинцев, Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей / Д.Г. Звягинцев // Почвоведение. – 1978. – № 6. – С. 48-54.
9. Ильчуков, С.В. Динамика структуры лесного покрова на сплошных рубках (подзона средней тайги, Республика Коми) / С.В. Ильчуков. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 119 с.
10. 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.
11. Карпачевский, Л.О. Лес и лесные почвы / Л.О. Карпачевский. – М.: Лесная пром-сть, 1981. – 264 с.
12. 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.
13. ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустойчивые. Метод закладки». – М.: 1983. – 23 с.
14. 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.
15. 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.
16. Покаржевский, А.Д. Пространственная экология почвенных животных / А.Д. Покаржевский, К.Б. Гонгальский, А.С. Зайцев, Ф.А. Савин // Отв. ред. Добровольский Г.В. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2007. – 174 с.
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. Степанов, А.М. Биоиндикация на уровне экосистем / А.М. Степанов // В сб.: Биоиндикация и био-мониторинг. М., 1991. – С. 59-64.

21. Хазиев, Ф.Х. Методы почвенной энзимологии / Ф.Х. Хазиев. – Ин-т биологии Уфим. НЦ. – М.: Наука, 2005. – 252 с.
22. Anderson, T.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil / T.H. Anderson, K.H. Domsch // *Soil Biology and Biochemistry*. – 1978. – № 10. – P. 215-221.
23. Gongalsky, K.B. Effects of soil temperature and moisture on the feeding activity of soil animals as determined by the bait-lamina test / K.B. Gongalsky, T. Persson, A.D. Pokarzhevskii // *Applied Soil Ecology*. – 2008. – № 39. – P. 84-90.
24. 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.
25. Hassink, J. Density fractions of soil macroorganic matter and microbial biomass apredictors of Cand mineralization / J. Hassink // *Soil Biology And Biochemistry*. – 1995. – V. 8. – P. 1099-1108.
26. Insam, H. Are the soil microbial biomass and respiration governed by the climatic regime / H. Insam // *Soil Biology And Biochemistry*. – 1990. – V. 22. – P. 525-532.
27. Sparling, G.T. The substrate-induced respiration method / G.T. Sparling, K. Alef, P. Nannipieri. – *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. – Academic Press, 2005. – P. 397-404.