

ОРИГИНАЛЬНЫЕ
СТАТЬИ

УДК 630*35+630*114.6+630*232(470.22)

**ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ПОЧВ КАРЕЛИИ
В ПРОЦЕССЕ ИСКУССТВЕННОГО ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ**

© 2013 г. О. Н. Бахмет, М. В. Медведева

*Институт леса Карельского научного центра РАН,
185910 Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11,
E-mail: obahmet@mail.ru*

Поступила в редакцию 01.03.2012 г.

В статье рассмотрены результаты анализа состояния почв Карелии, находящихся на различных стадиях искусственного лесовосстановления (свежая вырубка, культуры сосны 7-, 20- и 40-летнего возраста). Исследованы химические (рН, степень насыщенности основаниями, содержание $C_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$), биохимические (состав углеводов), микробиологические (численность микроорганизмов важнейших эколого-трофических групп) свойства почв. Установлено, что после полного удаления древостоя наиболее сильные изменения претерпевает лесная подстилка. В почвах, сформировавшихся под молодыми 7-летними культурами сосны, интенсивность процессов деструкции органического вещества возрастает, отмечается более глубокая трансформация мортмассы. По мере роста и развития древостоя изменяется характер и интенсивность поступления на поверхность почвы растительного материала, в соответствии с этим меняется темп и направленность трансформации органического вещества. Выявлено, что восстановление рассматриваемых свойств почв происходит спустя 40 лет после полного удаления древостоя.

Рубки, лесовосстановление, лесные почвы, биохимические и микробиологические свойства, органическое вещество почв.

Леса имеют доминирующее значение в динамике наземного углеродного баланса. Они содержат 86% углерода Земли, а лесные почвы включают в себя 73% углерода, имеющегося во всех почвах планеты [29]. По данным Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН из 34 млрд. т углерода наземной биомассы российских лесов 25 млрд. т приходится на хвойные леса [10], почвы которых содержат в 5 раз больше углерода по сравнению с наземной биомассой [30]. Поэтому бореальные экосистемы России, занимающей значительную часть территории Северной Евразии, играют ключевую роль в глобальном цикле углерода [8, 12]. В связи с этим даже относительно небольшие изменения в почвенном покрове данного региона на фоне антропогенного воздействия могут оказаться достаточно значимыми в глобальном масштабе.

Одной из наиболее радикальных форм эксплуатации лесных ресурсов является заготовка древесины, т.е. рубки главного пользования. Масштабы

лесозаготовок, в частности в Карелии, достаточно впечатляющие – площадь вырубок второй половины XX в. оценивается в 0.7 от всей лесной территории региона [6]. Преобладающие в таежных лесах сплошные концентрированные рубки оказывают большое влияние на физико-химические и биологические свойства почв [17, 20, 25, 28]. Несмотря на имеющиеся отдельные публикации [22, 26], недостаточно исследованным остается вопрос качественного состава органического вещества почв вырубок, участия микроорганизмов в процессах его трансформации антропогенно преобразованных лесных экосистем. В связи с этим целью работы являлось исследование трансформации органического вещества почв, находящихся на различных стадиях искусственного лесовозобновления. Данная цель предусматривала решение следующих основных задач: 1) исследовать химические свойства почв в сукцессионном ряду лесовосстановления; 2) изучить состав углеводов органического вещества почв транс-

формированных экосистем; 3) исследовать эколого-трофическую структуру микробсообщества почв вырубок разного возраста.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в среднетаежной подзоне Карелии ($62^{\circ}16'$ с.ш. и $33^{\circ}59'$ в.д.). Район исследований входит в состав Балтийской природной страны и является репрезентативным в целом для таежной территории Северо-Запада России. Этот регион, находящийся в юго-восточной краевой части Балтийского (Фенноскандинавского) кристаллического щита [5], отличается от равнинной части России отсутствием мощных толщ осадочных пород. Среди почвообразующих пород преобладают ледниковые и водно-ледниковые отложения последнего поздневалдайского скандинавского покровного оледенения, иногда они перекрываются более молодыми озерными, морскими, аллювиальными и эоловыми песчано-глинистыми отложениями и биогенным торфом [7].

Климат региона умеренно-континентальный с чертами морского. Преобладание на протяжении всего года воздушных масс атлантического и арктического происхождения, близость к Балтийскому, Белому и Баренцеву морям, а также своеобразие местных природных условий (обилие озер и болот, рельеф и др.) обусловили следующие климатические особенности: невысокую среднегодовую температуру воздуха (3°C), продолжительную, но мягкую зиму (число дней со снежным покровом 145–155), короткое прохладное лето (продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха выше 15°C 40–45 дней), высокую относительную влажность воздуха (60–90%), значительное количество осадков (550–600 мм) [15].

Преобладающим типом растительности являются хвойные леса: сосновые леса занимают 63.8% лесопокрытой площади, еловые – 25.2, березовые – 10.1, осиновые – 0.7 и сероольшаники – 0.2% [18].

Почвенный покров Карелии образован макро- и мезосочетаниями почв, принадлежащих к подзолисто-буроземному, болотно-подзолисто-болотному типам [14]. Разнообразие форм рельефа и почвообразующих пород обуславливает высокую пестроту почвенного покрова и сложные сочетания почв.

Исследования состояния почв после антропогенного воздействия выполнены на пяти пробных площадях (пр. пл.), представляющих собой

хронологический ряд вырубок. При закладке пробных площадей соблюдался принцип единообразия, предполагающий их однородность по климатическим условиям, позиции в ландшафте, почвообразующей породе, типу почв. Пр.пл. 1 представляла собой свежую вырубку после проведения сплошной рубки сосновых древостоев, пр. пл. 2–4 – это участки с культурами сосны 7-, 15- и 40-летнего возраста соответственно. В качестве контрольной была выбрана пр. пл. 5, заложенная в спелом сосняке брусничном (170 лет) в буферной зоне заповедника “Кивач”.

На всех пробных площадях закладывались полнопрофильные почвенные разрезы, проводилось их детальное морфологическое описание, отбирались образцы почв из каждого генетического горизонта. Анализ почвенных образцов включал определение кислотности ($\text{pH}_{\text{КС}}$), степени насыщенности основаниями общепринятыми методами [1], общего углерода и валового азота с помощью СН-анализатора. Для биохимического анализа образцы лесных подстилок отбирались во второй половине сентября (в конце периода вегетации растений). Определение биохимического состава органического вещества проводили по методике Н.И. Ястрембовича и Ф.Л. Калинина [21] в модификации Г.И. Софроновой с соавт. [19]. Содержание углеводов пересчитывалось в абсолютно сухое беззольное вещество.

В отобранных свежих образцах почвы определяли содержание основных эколого-трофических групп микроорганизмов по традиционной в почвенной микробиологии методике посева почвенной суспензии на твердые питательные среды [13]. Учитывали следующие группы микроорганизмов: бактерии, утилизирующие органические соединения азота (на мясопептонном агаре), минеральные соединения азота (на крахмало-аммиачном агаре), олигонитрофилы (на среде Эшби), олиготрофы (на почвенном агаре), целлюлозоразрушающие микроорганизмы (на среде Гетчинсона). Все расчеты численности микроорганизмов выполнены для абсолютно сухой почвы. Полученные данные по численности микроорганизмов основных эколого-трофических групп методом посева пересчитаны в тыс. г^{-1} почвы. Определение актуальной целлюлозолитической активности почв проводили методом аппликации по разности масс исходного и экспонированного в почве (в течение вегетационного периода – с конца мая до конца октября) материала.

Статистический анализ полученных данных выполняли с использованием стандартного пакета программ Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Морфологические свойства почв. Для исследуемых участков характерными являлись маломощные подзолы иллювиально-железистые, сформировавшиеся на песчаных флювиогляциальных отложениях, со следующим морфологическим строением: O–E–Bf–B2–BC–C. Органогенный горизонт (лесная подстилка) включал два подгоризонта: OL и OF+OH.

После проведения сплошной вырубki древостоя (пр. пл. 1) выявлены изменения морфологического строения верхней части профиля почв: лесная подстилка была практически полностью содрана, минеральная толща обнажена. При сжигании порубочных остатков она превращалась в плотную темную корочку с углями, фрагментарно представленную на пробной площади. Таким образом, антропогенно нарушенный органогенный горизонт ($O_{антр}$) имел прерывистый характер и не образовывал сомкнутого покрова. Мощность данного горизонта составляла в среднем 0.5 см, т.е. много ниже, чем на контрольном участке (среднее значение 5.5 см) (рис. 1). Кроме того, на пр. пл. 1 отмечалась высокая зольность органогенного горизонта, что связано как с значительным антропогенным воздействием при проведении рубки древостоя, так и с небольшой мощностью оставшейся лесной подстилки.

Процессы почвообразования генетически связаны с сукцессией растений напочвенного покрова. Так, при появлении в напочвенном покрове травянистых растений в культурах сосны 7-летнего возраста (пр. пл. 2) в верхней части профиля почвы образовалась дернина. Это свидетельствует об изменении направленности почвообразования: дерновый процесс становится ведущим на данном этапе развития лесного сообщества. Зольность органогенного горизонта на этой пробной площади также была высокой, что связано с проведением посадок культур сосны.

По мере роста и развития соснового древостоя кроны деревьев смыкались, возрастало количество хвойного опада, менялся и состав напочвенного покрова – травянистые растения вытеснялись вечнозелеными кустарничками и зелеными мхами, что привело к изменению морфологического строения лесной подстилки. На пробной площади в культурах сосны 20-летнего возраста мощность верхнего органогенного горизонта была еще сравнительно невелика (около 3 см), зольность его также оставалась высокой. В почвах, сформировавшихся под 40-летними культурами сосны, мощность лесной подстилки практически достигала уровня ненарушенного биогеоценоза (5 см),

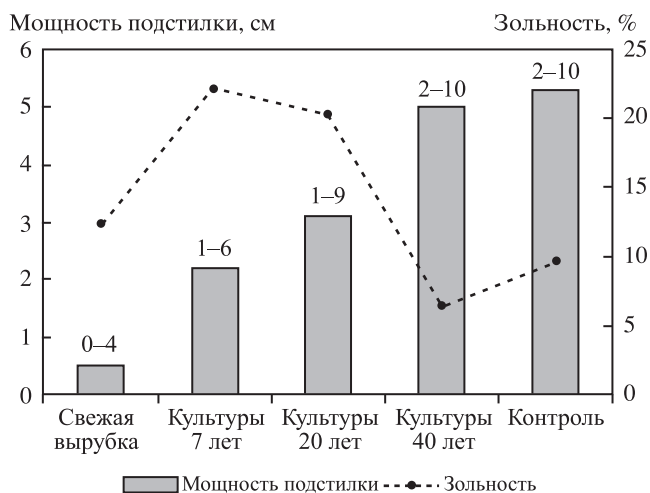


Рис. 1. Свойства лесных подстилок почв, сформировавшихся в различных экологических условиях ($n = 100$).

при этом она ясно дифференцировалась на отдельные подгоризонты (OL и OF+OH). Последнее свидетельствует об ее полном восстановлении после проведения лесохозяйственных мероприятий на данном участке.

Химические свойства почв. Анализ данных химического состава почв показал, что исследуемые маломощные иллювиально-железистые подзолы всех пробных площадей (за исключением пр. пл. 2) характеризуются низким содержанием органического вещества (в лесных подстилках более 40%, в элювиальном горизонте – 0.6–1.4%, в иллювиальном – 0.5–1.2%), высоким значением отношения C : N (43–59, 15–35 и 17–35, соответственно), что в целом типично для зональных автоморфных почв (табл. 1).

В верхних почвенных горизонтах данных пробных площадей отмечали высокую кислотность (рН в органогенном горизонте 3.4–4.1, в элювиальном – 3.2–3.8), обусловленную во многом поступлением кислотообразующих соединений в процессе разложения органического вещества, а также активной миграцией гумусовых кислот по профилю почв. В иллювиальных горизонтах почв кислотность снижалась, что связано с процессами нейтрализации кислотных агентов и осаждением значительной части органо-минеральных комплексов. На пр. пл. 2, как отмечено выше, на поверхность почвы поступает опад травянистых растений, который имеет нейтральную реакцию среды, содержит больше щелочных и щелочноземельных металлов, поэтому в верхних горизонтах почвы отмечается более высокое значение рН.

Почвы этой пробной площади отличаются от других и степенью насыщенности основаниями

Таблица 1. Химические свойства почв на различных стадиях искусственного лесовосстановления

Объекты – исследования	Горизонт почв	Глубина, см	pH _{сол}	V, %	Содержание, %		C : N
					C	N	
Контрольный участок. Сосняк брусничный, пр. пл. 5	O	0–5	3.4	36.4	43.5	0.76	57
	E	5–8	3.3	16.8	1.2	0.05	24
	Bf	8–29	4.8	61.2	0.5	0.03	17
	B2	29–52	5.0	86.7	0.2	0.01	20
	BC	52–100	4.8	92.4	0.1	0.01	10
Свежая вырубка, пр. пл. 1	O _{antr}	0–1	3.5	33.5	40.3	0.68	59
	E _{antr}	1–4	3.2	18.4	1.4	0.04	35
	Bf	4–20	4.5	58.6	0.7	0.02	35
	B2	20–57	4.7	79.2	0.3	0.01	30
	BC	57–92	4.9	89.9	0.1	0.01	10
Культуры сосны 7 лет, пр. пл. 2	O	0–2	5.6	16.4	24.5	1.41	17
	E	2–4	4.9	3.7	1.0	0.06	17
	Bf	4–14	5.1	22.7	3.5	0.09	39
	B2	14–22	5.0	75.6	0.5	0.04	13
	BC	22–85	5.0	88.9	0.2	0.01	20
Культуры сосны 20 лет, пр. пл. 3	O	1–3	4.1	29.2	47.4	1.09	43
	E	3–5	3.8	16.5	0.9	0.05	18
	Bf	5–18	4.8	38.8	1.2	0.04	30
	B2	18–60	4.8	77.4	0.4	0.02	20
	BC	60–90	4.9	90.7	0.2	0.01	20
Культуры сосны 40 лет, пр. пл. 4	O	1–4	3.7	34.3	44.0	0.81	54
	E	4–7	3.4	16.9	0.6	0.04	15
	Bf	7–23	4.7	58.6	0.8	0.03	27
	B2	23–57	4.8	80.7	0.4	0.02	20
	BC	57–88	5.0	94.0	0.1	0.01	10

Примечание. V – степень насыщенности основаниями.

верхней части профиля почвы. Значения этой почвенной характеристики в органогенном, элювиальном и иллювиальном горизонтах ниже, чем в аналогичных горизонтах почв других пробных площадей.

Биохимические свойства почв. Среди неспецифических органических веществ почвы углеводы являются наиболее лабильными соединениями, имеющими высокую реакционную способность. Они служат источником питания микроорганизмов и высших растений, материалом, из которого синтезируются гумусовые кислоты [13, 16]. Подзолистые почвы Карелии характеризуются крайне неравномерным распределением общего содержания углеводов по профилю. Основная их часть сосредоточена в верхнем органогенном горизонте, ниже по профилю содержание крайне мало [9]. В этой связи в данной работе содержание и состав углеводов определялись только в лесных подстилках исследуемых биогеоценозов.

Результаты исследований показали, что различные по морфологическим особенностям подгоризонты лесных подстилок отличаются и по содержанию растворимых углеводов и крахмала (табл. 2). В нижележащих, более трансформиро-

ванных подгоризонтах уменьшается количество этих соединений в результате потребления их почвенной биотой.

В изучаемых почвах водорастворимые моно-, ди- и олигосахариды составляли незначительную часть от суммы углеводов (5–17%). Моносахариды были представлены исключительно глюкозой, фруктоза в их составе отсутствовала. Это свидетельствует о значении глюкозы как ключевого звена в метаболических цепях.

В лесной подстилке свежей вырубке количество одной из наиболее важных фракций органического вещества – дисахаридов возрастало (7.91 мг г⁻¹), что косвенно свидетельствует об изменении направленности трансформации органического вещества. Минимальное содержание водорастворимых сахаров в целом (7.03 мг г⁻¹) отмечено в органогенном горизонте почв, сформировавшихся под культурами сосны 7-летнего возраста, и связано это с активной утилизацией их микроорганизмами, а также корневыми системами самих травянистых растений. Наименее устойчивым к микробной трансформации из полисахаридов является крахмал. Низкое содержание этого

Таблица 2. Содержание углеводов (мг г^{-1}) и целлюлозы (%) в почвах, сформировавшихся под культурами сосны разного возраста

Горизонт почв	Растворимые углеводы				Крахмал	Гемицеллюлозы		Сумма углеводов	Целлюлоза
	моносахариды	дисахариды	олигосахариды	сумма		лабильные	стабильные		
Контрольный участок. Сосняк брусничный, пр. пл. 5									
OL	7.77	0.21	не обн.	7.98	5.34	19.0	79.31	111.63	5.05
OF+OH	4.44	0.64	2.10	7.18	5.56	14.50	68.60	95.84	5.95
Свежая вырубка, пр. пл. 1									
O _{antr}	4.5	7.91	0.32	12.82	9.62	45.41	108.53	176.29	10.39
Посадки сосны 7 лет, пр. пл. 2									
Ad	2.97	3.20	0.86	7.03	5.91	8.29	19.90	41.13	2.15
Посадки сосны 20 лет, пр. пл. 3									
OL	7.31	3.79	7.97	19.07	9.59	51.83	130.36	210.85	9.55
OF+OH	5.84	0.10	6.33	12.27	9.76	44.40	34.53	101.06	7.19
Посадки сосны 40 лет, пр. пл. 4									
OL	8.27	0.08	6.87	15.22	8.70	50.11	37.71	111.74	7.87
OF+OH	7.09	0.43	7.57	15.09	7.90	45.40	46.90	115.29	11.05

соединения в почвах пр. пл. 2 свидетельствует об активном его потреблении почвенной биотой.

Важным для питания растений и микроорганизмов компонентом органического вещества почвы являются также медленно минерализуемые нерастворимые полимеризованные углеводы (целлюлоза и стабильные гемицеллюлозы). Целлюлоза и гемицеллюлозы способны образовывать сложные высокомолекулярные комплексы с лигнином, который, несомненно, можно отнести к стабильной части органического вещества. В этой связи ряд исследователей рассматривает эти соединения в почве как единый лигноцеллюлозный комплекс [2, 23]. Гемицеллюлозы относятся к сравнительно плохо изученным гетерополисахаридам. Большое разнообразие состава нецеллюлозных гетерополисахаридов и строение их молекул обуславливает и неодинаковую скорость разложения в почве. В лесных подстилках исследованных почв содержание стабильных гемицеллюлоз изменялось от 19.90 мг г^{-1} (под 7-летними культурами сосны) до 108 и 130 мг г^{-1} (в горизонте O_{antr} на свежей вырубке и подгоризонте OL под 20-летними культурами, соответственно).

Одними из наиболее масштабных и значимых в лесных экосистемах являются целлюлозолитические процессы превращения органического вещества. Как показали проведенные исследования, содержание целлюлозы в лесной подстилке свежей вырубке было ниже контрольных величин и достигало минимума под 7-летними культурами

сосны, где складывались наиболее благоприятные условия для минерализации. С увеличением возраста лесных насаждений масса хвойного опада, поступающего в экосистему, увеличивалась, что привело к повышению в верхней части профиля почв содержания целлюлозы.

В целом, содержание целлюлозы и стабильных гемицеллюлоз в лесных подстилках возрастало с возрастом посадок на вырубках, что связано с увеличением поступления хвойного опада. В результате органогенный горизонт на вырубке с 20- и 40-летними посадками по степени разложённости органического материала подразделялся, как и на контрольной пробной площади, на подгоризонты.

Микробиологические свойства почв. В органогенном горизонте изучаемых почв естественных и антропогенно нарушенных экосистем наблюдалась низкая численность микроорганизмов основных эколого-трофических групп, что в целом характерно для почв Финноскандии [9, 27].

На свежей вырубке в отсутствии конкуренции со стороны корневых систем древесных растений за органический субстрат происходило увеличение численности микроорганизмов исследуемых групп по сравнению с контрольной пробной площадью (рис. 2).

В почвах, сформировавшихся под культурами сосны 7-летнего возраста, наблюдали максимальную численность микроорганизмов. Как отмечено

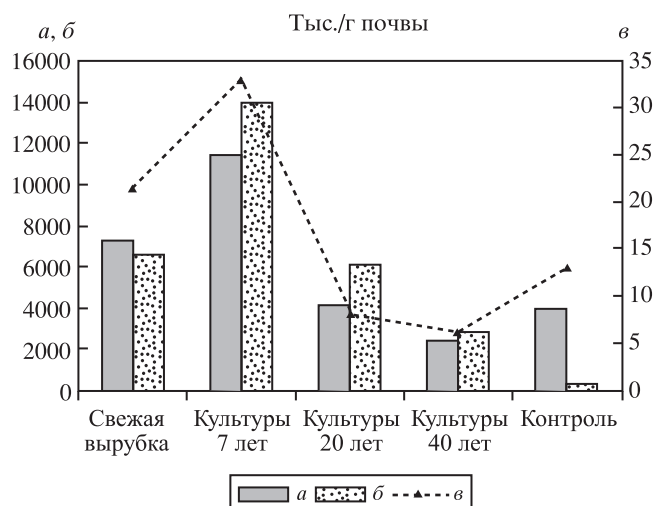


Рис. 2. Эколого-трофическая структура микробиоценоза почв хронологического ряда лесовосстановления: *a* – численность бактерий, использующих органические и минеральные соединения азота; *b* – численность бактерий-олиготрофов; *c* – комплекс целлюлозоразрушающих микроорганизмов.

выше, формирование новой лесной подстилки происходит интенсивно при заселении почв травянистыми растениями: в процессе почвообразования в верхней части профиля появляется дернина. На вырубках с хорошо развитым живым напочвенным покровом возрастает активность ферментов, что свидетельствует о глубине минерализационных процессов [24]. Интенсивное прогревание участка, специфический состав растительного опада, поступающего на поверхность почвы, обуславливают работу микроорганизмов гидролитического комплекса, активную минерализацию полимеров почвенной микробиотой.

По прошествии 40 лет после проведения выруб-ки древостоя и посадки культур сосны микробное сообщество приобретает черты, характерные для почв зонального ряда: невысокая численность микроорганизмов в целом, активность целлюлозоразрушителей, преобладание микроскопических грибов в разложении трудногидролизуемых субстратов. Подобная картина сукцессии микробного сообщества в почвах, подвергавшихся антропогенному воздействию наблюдалась и в других регионах [11].

Как известно, актуальная целлюлозолитическая активность почв является отражением процессов микробной трансформации органического вещества. Исследования показали, что целлюлозолитическая активность почв, сформировавшихся под культурами сосны 40-летнего возраста и на контрольном участке, имела резко выраженную

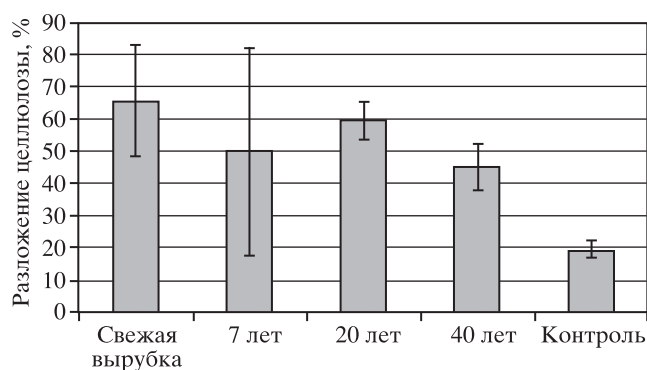


Рис. 3. Динамика разложения целлюлозы в почвах, сформировавшихся под культурами сосны.

дифференциацию: наиболее высокая активность была в верхнем горизонте почв (O), в подзолистом горизонте (E) она резко снижалась (рис. 3). Коэффициент вариации скорости деструкции целлюлозы в данных почвах был невысокий.

Наиболее высокая скорость деструкции целлюлозы выявлена в почвах свежей выруб-ки и под культурами сосны 7-летнего возраста. Это связано, с одной стороны, с изменением физико-химических свойств самих почв (лучшей прогреваемости верхнего горизонта, достаточным количеством органического вещества и пр.). С другой стороны, она определяется перегруппировкой микробного сообщества в сторону развития микроорганизмов гидролитического комплекса, которые сохраняют свою функциональную активность в данных условиях. Высокая целлюлозолитическая активность почв молодых выруб-ок отмечена также в работах И.Н. Бескорвайной с соавт. [3], Л.Б. Исаченковой [11]. При этом необходимо подчеркнуть, что коэффициент вариации скорости деструкции целлюлозы на данных участках был более высоким по сравнению с контрольными величинами, что свидетельствует о контрастности экологических ниш для развития микробиоты [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что после выруб-ки соснового древостоя особенно сильные изменения претерпевает верхний органо-генный горизонт почв – лесная подстилка (O). Распространение органо-генного горизонта на поверхности почвы в этом случае носит прерывистый характер, а биохимические процессы в нем заторможены. Блок стабильных органических соединений (гемицеллюлоза, целлюлоза) в почве абсолютно превалирует над легкоразла-гаемыми.

Спустя семь лет трудноразлагаемые компоненты опада (ветошь, сучья, отпад), которые остались на поверхности почвы после сплошного удаления древостоя, в основном утрачивают свое анатомическое строение, поэтому могут более активно использоваться микробиотой, вовлекаться в круговорот веществ. В верхних горизонтах почв, сформировавшихся под хвойными насаждениями, более интенсивно, чем в нижележащей минеральной толще, происходит минерализация органического опада и активное потребление моно- и дисахаридов микробиотой в качестве энергетического материала, о чем свидетельствует уменьшение содержания этих соединений. Количество лабильных органических соединений ниже по сравнению с содержанием стабильных органических соединений, при этом отсутствует абсолютное доминирование последних. На данном участке наблюдается также невысокое содержание таких трудноразлагаемых веществ, как целлюлоза.

С увеличением возраста древостоев происходит смыкание кронового пространства, изменяется состав напочвенного покрова, и, соответственно, изменяется характер и интенсивность поступления на поверхность почвы органического материала. Морфологическое строение лесной подстилки, ее биохимические и микробиологические свойства (особенно в 40-летних насаждениях) соответствуют организации этого горизонта в ненарушенных сосновых насаждениях таежной зоны.

В ряду пробных площадей “свежая вырубка → 7-летний древостой → 20-летний древостой → 40-летний древостой” выявлены пространственно-временные закономерности, согласно которым определенному этапу развития древостоя соответствует определенный состав органического вещества почв, формирующийся в процессе его микробной трансформации. Это дает возможность дальнейшей разработки мероприятий по восстановлению антропогенно нарушенных почв, позволяет регулировать рост и развитие древостоев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 491 с.
2. *Аристовская Т.В.* Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980. 184 с.
3. *Безкоровайная И.Н., Антонов Г.И., Иванов В.В., Семенякин Д.А.* Биологическая активность почв после несплошных рубок в сосняках Красноярской лесостепи // Хвойные бореальной зоны. 2010. № 3. С. 238–243.
4. *Воробейчик Е.Л.* Изменение интенсивности деградации целлюлозы под воздействием техногенной нагрузки // Экология. 1991. № 6. С. 73–76.
5. Геология Карелии. Л.: Наука, 1987. 231 с.
6. *Громцев А.Н.* Основы ландшафтной экологии европейских таежных лесов России. Петрозаводск: Изд-во Карельского НЦ РАН, 2008. 238 с.
7. *Демидов И.Н.* Четвертичные отложения // Разнообразие биоты Карелии: условия формирования, сообщества, виды. Петрозаводск: Изд-во Карельского НЦ РАН, 2003. С. 19–27.
8. *Добровольский Г.В., Трофимов С.Я., Седов С.Н.* Углерод в почвах и ландшафтах Северной Евразии // Круговорот углерода на территории России. Под ред. Н.П. Лаверова, Г.А. Заварзина. М.: Наука, 1999. С. 233–270.
9. *Загуральская Л.М.* Микробная трансформация органического вещества в лесных почвах Карелии. СПб.: Наука, 1993. 144 с.
10. *Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Уткин А.И., Честных О.В., Сонген Б.* Углерод в лесном фонде и сельскохозяйственных угодьях России. М.: Товарищество науч. изданий, 2005. 200 с.
11. *Исаченкова Л.Б.* Изменение свойств дерново-подзолистых почв в сукцессионных рядах восстановления широколиственно-хвойных лесов (на примере Юго-Западного Подмосковья): Автореф. дис. канд. геогр. наук.: 25.00.23. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2007. 24 с.
12. *Кудеяров В.Н., Заварзин Г.А., Благодатский С.А., Борисов А.В., Воронин П.Ю., Демкин В.А., Демкина Т.С., Евдокимов И.В., Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В., Комаров А.С., Курганова И.Н., Ларионова А.А., Лопес де Гереню В.О., Уткин А.И., Чертов О.Г.* Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России. Под ред. Г.А. Заварзина. М.: Наука, 2007. 315 с.
13. Методы почвенной микробиологии и биохимии. Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. 267 с.
14. *Морозова Р.М.* Лесные почвы Карелии. Л.: Наука, 1991. 184 с.
15. *Назарова Л.Е.* Климат // Разнообразие биоты Карелии: условия формирования, сообщества, виды. Петрозаводск: Изд-во Карельского НЦ РАН, 2003. С. 6–8.
16. *Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Суханова Н.И.* Химия почв. М.: Высшая школа, 2005. 558 с.
17. *Рыбальченко Н.Г., Цареградский П.В.* Сплошные рубки и лесовосстановительный процесс на вырубках // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2011. № 3. С. 4–6.
18. *Саковец В.И., Иванчиков А.А.* Современное состояние лесного покрова // Разнообразие биоты Карелии: условия формирования, сообщества, виды.

- Петрозаводск: Изд-во Карельского НЦ РАН, 2003. С. 43–48.
19. Софронова Г.И., Трубино Г.И., Шредерс С.М., Макаревский М.Ф. К методике количественного определения углеводов в вегетативных органах сосны обыкновенной // Физиолого-биохимические исследования сосны на Севере. Петрозаводск: Изд-во Карельского НЦ РАН, 1978. С. 119–133.
 20. Шанин В.Н., Михайлов А.В., Быховец С.С., Комаров А.С. Глобальные изменения климата и баланс углерода в лесных экосистемах бореальной зоны: имитационное моделирование как инструмент прогноза // Известия РАН. Сер. биол. 2010. № 6. С. 719–730.
 21. Ястрембович Н.И., Калинин Ф.Л. Определение углеводов и растворимых соединений азота в одной навеске растительного материала // Науч. труды Украинской акад. с.-х. наук. 1962. Вып. 23. С. 119–126.
 22. Baath E., Frostegard A., Pennanen T., Fritze H. Microbial community structure and pH response in relation to soil organic matter quality in wood-ash fertilized, clear-cut or burned coniferous forest soils // Soil Biology & Biochemistry, 1995. V. 27. N 2. P. 229–240.
 23. Berg B., Agren G.I. Decomposition of needle litter and its organic chemical components: theory and field experiments. Long-term decomposition in a Scots pine forests. III. // Canadian Journal of Botany. 1984. V. 62. P. 2880–2888.
 24. Formanek P., Vranova V. The effect of spruce stand thinning on biological activity in soil // Journal of Forest Science, 2003. V. 49. P. 523–530.
 25. Piirainen S., Finer L., Mannerkoski H., Starr M. Effects of forest clear-cutting on the carbon and nitrogen fluxes through podzolic soil horizons // Plant & Soil. 2002. V. 239. N 2. P. 301–311.
 26. Potthast K., Hamer U., Makeschin F. Impact of litter quality on mineralization processes in managed and abandoned pasture soils in southern Ecuador // Soil Biology & Biochemistry. 2010. V. 42. N 1. P. 56–64.
 27. Priha O. Microbial activity in soils under Scots pine, Norway spruce and silver birch, Hakapaino OY. Helsinki: Finnish Forest Research Institute, 1999. 50 p.
 28. Rubio A., Escudero A. Clear-cut effects on chestnut forest soils under stressful conditions: lengthening of time-totation // Forest Ecology & Management, 2003. V. 183. N 1–3. P. 195–204.
 29. Sedjo R.A. Forest ecosystems in the global carbon cycle // Ambio. 1992. V. 21. N 4. P. 274–277.
 30. Shvidenko A., Nilsson S. A synthesis of the impact of Russian forests on the global carbon budget for 1961–1998 // Tellus. 2003. V. 55B. P. 391–415.

Changes in Soil Properties at Different Stages of Artificial Reforestation in Karelia

O. N. Bakhmet, M. V. Medvedeva

The paper presents the analysis of the status of Karelian soils at different stages of artificial reforestation (fresh felled area, 7-, 20-, and 40-year-old pine plantations). The chemical (pH, base saturation, C_{tot} and N_{tot} contents), biochemical (carbohydrate composition), and microbiological (abundance of microorganisms of major ecological-trophic groups) properties of the soils were investigated. The most considerable changes were revealed in the forest litter after the removal of the whole tree stand. In the soils under the young 7-year-old pine plantations, the intensity of the organic matter decomposition increased, and dead organic matter was transformed more deeply. As the tree stand grew and developed, the character and rate of the plant material entered the soil surface, as well as the rate and trends of the organic matter transformation, changed. The restoration of the soil properties studied was found to be restored in 40 years after the total removal of the whole tree stand.

Logging, reforestation, forest soils, biochemical and microbiological properties, soil organic matter.