

УДК 630*114.11+630*231

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.70

ДИНАМИКА ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ НА ВЫРУБКАХ ПРИ ЕСТЕСТВЕННОМ ЗАРАСТАНИИ*

А.С. Ильинцев, канд. с.-х. наук, науч. сотр.; ResearcherID: [N-6286-2019](#),

ORCID: [0000-0003-3524-4665](#)

А.П. Богданов, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр.; ResearcherID: [A-8611-2019](#),

ORCID: [0000-0002-1655-7212](#)

Ю.С. Быков, мл. науч. сотр.

Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, ул. Никитова, д. 13, г. Архангельск, Россия, 163062; e-mail: a.ilintsev@narfu.ru, aleksandr_bogd@mail.ru, y.bykov@inbox.ru

Актуальность исследования обусловлена необходимостью изучения закономерностей изменения физических свойств почвы для прогнозирования периода восстановления после антропогенного воздействия. Цель исследования заключалась в установлении пространственно-временных закономерностей изменения и восстановления физических свойств подзолистой почвы при естественном зарастании вырубок. Объекты исследования расположены в таежной лесорастительной зоне на мелкоконтурных сплошных вырубках с давностью рубки 5, 18 и 28 лет. Исходные участки представлены спелыми насаждениями черничного типа леса с преобладанием в составе сосны. Рубки проводились с использованием на валке деревьев бензомоторных пил, на трелевке – трелевочного трактора. Очистка лесосек осуществлялась одновременно с заготовкой древесины путем укладки порубочных остатков на волокни. Для установления современной характеристики исследуемых участков проведена оценка естественного лесовозобновления путем закладки 215 пробных площадок (5×5 м) по трансектам. Для определения физических свойств почвы на технологических элементах вырубков (пасека, волок) и контроле отобрано 288 образцов: по 96 шт. лесной подстилки (О), подзолистого (Е) и иллювиального (BF) горизонтов почвы. Полученные на разновременных вырубках результаты показали, что физические свойства песчаной почвы динамичны во времени. Через 5 лет после рубки диагностируется уплотнение почвы, особенно на волокнах, которое сказывается на повышении плотности сложения (на 15...59 %) со снижением общей пористости (8...11 %) и пористости аэрации верхних горизонтов (8...23 %). Достоверное уплотнение наблюдается в лесной подстилке и подзолистом горизонте, в то время как в иллювиальном горизонте такое различие не доказано. Спустя 18 лет уплотнение почв диагностируется, но происходят процессы ее разуплотнения, которые связаны с активным естественным возобновлением древесных пород и периодом, прошедшим после рубки. Спустя 28 лет физические свойства почв восстановились до исходных показателей. Установлена умеренная корреляционная связь между плотностью сложения почвы и возрастом рубки ($r = -(0,44 \pm 0,11)$), а также между плотностью сложения и количеством экземпляров естественного лесовозобновления ($r = -(0,31 \pm 0,10)$), которые способствуют разуплотнению почвы после проведения рубки.

Для цитирования: Ильинцев А.С., Богданов А.П., Быков Ю.С. Динамика физических свойств подзолистой почвы на вырубках при естественном зарастании // Лесн. журн. 2019. № 5. С. 70–82. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.70

* Авторы выражают искреннюю благодарность проф. Е.Н. Наквасиной и проф. С.В. Третьякову за обсуждение проблемы антропогенного воздействия на почвы и методическую помощь.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-34-0031) и РФФИ совместно с Архангельской областью (проект № 17-44-290127).

Ключевые слова: сплошные рубки, подзолистые почвы, песчаный гранулометрический состав, уплотнение почвы, естественное лесовозобновление.

Введение

В последние годы усиливается внимание научной общественности и экологических организаций к вопросам устойчивого лесопользования, а также к щадящим методам заготовки древесины [14, 32]. Основной причиной является то, что после антропогенного воздействия (вырубки леса) происходят существенные изменения в структурной организации и функционировании лесных экосистем. Одной из фундаментальных составляющих лесных экосистем, которая испытывает антропогенную нагрузку, является почва, играющая ключевую роль в биогеохимических циклах и формировании микробных, растительных и животных сообществ [5, 23, 27].

Особый интерес к вопросам экологизации лесозаготовок был вызван в 1980-х гг. с приходом валочно-пакетирующей техники (типа ЛП-49; МЛ-119; Timberjack 850) в связи с ее значительным негативным воздействием на почвы и естественное возобновление хвойных пород [15, 18]. Внедрение новой системы машин (харвестеров и форвардеров) в практику лесозаготовительной деятельности также не обеспечивает сохранение лесной среды [19].

В настоящее время лесозаготовительные работы в основном осуществляются по двум технологиям: скандинавской – сортиментная с использованием комплекса машин харвестер–форвардер; канадской – хлыстовая заготовка. Доля сортиментной заготовки увеличивается с каждым годом в связи с тем, что она более эффективна [29]. В Архангельской области остается популярным хлыстовой способ заготовки древесины – традиционный для региона.

Изменения условий почвообразования при лесозаготовительной деятельности в той или иной степени отражаются на физических, химических и биологических свойствах почв [25, 35, 36, 38, 41, 43]. Свойства почвы во многом зависят от технологии лесозаготовок и используемых лесозаготовительных операций. Рубка леса может привести к уплотнению почвы и, как следствие, ограничить рост деревьев и их естественное возобновление [7, 31, 33, 37, 40, 42]. Одной из причин плохого роста растений является нехватка питательных веществ и доступной влаги, вызванная увеличением плотности сложения почвы [39]. Все это угнетает рост корневых систем древесных растений [26].

В условиях таежной зоны заметные изменения физических свойств почв вырубок наблюдаются до глубины 50...60 см, на лесопогрузочных площадках – до 90 см [6]. Наибольшее уплотнение почвенного слоя отмечается на глубине до 30 см [21].

Многие авторы [21, 22, 24] утверждают, что уплотнение, вызванное лесозаготовительной техникой, служит одной из основных причин деградации почв.

Последствия нарушений почвенного слоя и лесного покрова носят долговременный характер, что проявляется на протяжении нескольких десятилетий после проведения рубок [16, 34]. В некоторых случаях имеют место

необратимые повреждения, когда восстановление свойств почвы не происходит [30]. Установлено [17], что на вырубках может наблюдаться три основных вида уплотнения: физическое (первичное), вторичное и экологическое. Причинами последнего, например, являются экологические факторы, а не прямое воздействие техники или технологии заготовки. Поэтому восстановление первоначальных свойств почв на вырубках происходит с неодинаковой скоростью. Для прогнозирования периода восстановления физических свойств в почвенном профиле после антропогенного воздействия необходимо изучать долгосрочную реакцию экосистем на усиливающиеся естественное и антропогенное нарушения.

Цель исследования – установить пространственно-временные закономерности изменения физических свойств подзолистой почвы в динамике естественного зарастивания вырубков и проследить процесс их восстановления.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили на сплошных вырубках в Низовском участковом лесничестве Вельского лесничества Архангельской области. Территория района входит в таежную лесорастительную зону и относится к Двинско-Вычегодскому таежному району европейской части Российской Федерации [12]. На этой территории преобладают хвойные древесные породы (58 %) [1]. Она характеризуется умеренно-континентальным климатом с продолжительной холодной многоснежной зимой, короткой весной с неустойчивыми температурами, относительно коротким умеренно теплым летом, продолжительной и ненастной осенью, относится к Бореальному географическому поясу, Европейско-Западно-Сибирской таежно-лесной почвенно-климатической области, подзоне подзолистых почв, глееземов и подзолов средней тайги, фации холодно промерзающих почв, Онежско-Двинской (Г2) провинции, округу (30) с песчаными почвами [4].

В качестве экспериментальных участков были выбраны 3 мелкоконтурные рубки с различной давностью проведения сплошных рубок (1990, 2000 и 2013 гг.). Рубки проводились в летне-весенний период по традиционной технологии заготовки древесины с использованием на валке деревьев бензомоторных пил, на трелевке – трелевочного трактора ТДТ-55. Очистку лесосек осуществляли одновременно с заготовкой древесины путем укладки порубочных остатков на волокни. Исходные участки представлены насаждениями с преобладанием в составе сосны. Первое насаждение было вырублено в 1990 г., второе – в 2000 г. (8 га) и 2013 г. (9 га) (табл. 1).

Таблица 1

Краткая таксационная характеристика насаждений до проведения сплошных рубок

Состав древостоя, ед.	Площадь, га	Средние по главной породе			Относительная полнота, ед.	Запас древостоя, м ³ /га
		возраст, лет	высота, м	диаметр, см		
5С3Е2Б	11	90	22	24	0,7	240
8С2Б+Е	17	110	19	24	0,7	220

Исходный тип леса – сосняк черничный, местами черничный влажный. Класс бонитета – III-IV. Почва – подзол поверхностно-осветленный иллювиально-железистый песчаный на легком и среднем моренном суглинке (O-E-BF-C), относится к отделу альфегумусовых почв [8]. Контролем служила площадь, не пройденная сплошными рубками, но расположенная в непосредственной близости к вырубкам.

Для установления современной характеристики исследуемых участков оценено естественное лесовозобновление в соответствии с рекомендациями [13, 28]. Учет проведен путем закладки пробных площадок (5×5 м) по ходовым линиям через 20 м. К подросту относили все древесные растения с диаметром меньше 6 см и при учете классифицировали по породам, онтогенетическому состоянию и категориям крупности (мелкий, средний, крупный). По материалам учета фиксировали количество подроста на 1 га, состав по породам, размещение по площади. Всего было учтено 215 площадок: по 35 шт. в пасаках и на контроле и по 25 шт. на волоках.

Для определения физических свойств почвы на технологических элементах вырубок (пасака, волок) и контроле отбирали образцы лесной подстилки (O), подзолистого (E) и иллювиального (BF) горизонтов почвы из 96 прикопок. Всего собрано 288 образцов. Для нахождения плотности сложения образцы лесной подстилки отбирали с помощью деревянной рамки-шаблона (площадью 144 см²), образцы минеральных горизонтов – с помощью почвенного бура (объемом 47,50 см³) после удаления лесной подстилки. Учитывая малую мощность подстильно-торфяного горизонта, его рассматривали вместе с лесной подстилкой (O) в соответствии с [8].

В лаборатории полевые образцы сушили при температуре 105 °С до абсолютно сухого состояния. Физические свойства исследуемых образцов определяли по общепринятым в лесном почвоведении методикам [10, 11]. Полевую влажность почвы вычисляли как отношение массы воды к массе абсолютно сухой почвы [9]. Плотность сложения почвы рассчитывали как массу абсолютно сухой почвы в единице объема почвы в ее естественном, ненарушенном состоянии [2]. Плотность твердой фазы устанавливали как отношение массы твердой фазы почвы к ее объему пикнометрическим методом в двух повторностях [3]. Общую пористость вычисляли по плотности сложения и плотности твердой фазы. Пористость аэрации (доля крупных пор, занятых воздухом) определяли через объемную влажность почвы [20].

Класс гранулометрического состава у верхнего минерального горизонта почвы (E), определенный в полевых условиях [11], был подтвержден в лабораторных условиях методом лазерной дифрактометрии на приборе Lasentec D600L («Mettler Toledo», Германия). Классификацию почвы по гранулометрическому составу диагностировали по Н.А. Качинскому [20]. В результате лабораторного определения гранулометрического состава почвы (E) установлено, что среднее содержание физической глины в полевых образцах изменяется от 8,13 до 9,85 % (табл. 2).

Схожие гранулометрический состав, тип почвы и условия произрастания древостоя на исследуемых вырубках позволяют сопоставить исследуемые физические свойства после проведения сплошных рубок.

Таблица 2

**Гранулометрический состав почв на контроле
и после проведения сплошных рубок**

Участок	Год рубки	Содержание фракции, %	
		Физическая глина	Физический песок
Контроль	–	9,75	90,25
Волоки	2013	9,44	90,56
Пасеки		8,65	81,35
Волоки	2000	9,08	90,92
Пасеки		9,85	90,15
Волоки	1990	9,20	90,80
Пасеки		8,13	91,87

Примечание. Почвы по гранулометрическому составу на всех участках – песок связный [20].

Для анализа данных рассчитали основные статистические показатели и проводили множественные сравнения, которые являются частью апостериорного анализа (Tukey's HSD test). Тест заключался в проведении попарных сравнений средних значений всех групп, включенных в дисперсионный анализ. Дополнительно рассчитали коэффициент корреляции (Pearson correlation coefficient) для установления тесноты связи между изучаемыми признаками. Для расчетов использовали статистические программы Minitab 17 и Statistica 12 (StatSoft).

Результаты исследования и их обсуждение

Спустя 5, 18 и 28 лет после сплошных рубок на вырубках наблюдаются активные процессы естественного возобновления хвойных и лиственных древесных пород. Характеристика подроста на сплошных мелкоконтурных вырубках и контроле представлена в табл. 3.

Таблица 3

Характеристика подроста на контроле и после проведения сплошных рубок

Участок	Год рубки	Видовой состав подроста, %	Количество подроста, шт./га			Коэффициент изменчивости, %
			M±m	M _{min}	M _{max}	
Контроль	–	83E11B6C	2 731±266 ^E	0	6 400	57,65
Волоки	2013	41C21E38B	3 040±304 ^{D,E}	0	6 000	50,10
Пасеки		43E32C25B	4 560±318 ^D	800	8 000	41,31
Волоки	2000	53C10E37B	10 448±601 ^B	5 600	17 200	28,78
Пасеки		38C30E32B	8 091±424 ^C	4 400	14 000	31,03
Волоки	1990	50C7E43B	14 848±824 ^A	4 800	24 400	27,76
Пасеки		40C24E36B	9 669±471 ^{B,C}	5 200	15 600	28,86

Примечание. Здесь и далее, в табл. 4, M±m – среднее значение показателя с основной ошибкой; M_{min(max)} – минимальное (максимальное) значение показателя; заглавные буквы в верхних индексах показывают статистически значимые различия между средними значениями после однофакторного дисперсионного анализа (Tukey's HSD test). Значения в одном столбце с последующей такой же буквой не различаются на 0,05 %-м уровне вероятности.

Под пологом материнского соснового древостоя отмечено самое низкое количество подроста с большой изменчивостью, при этом количество подроста сосны не превышает 6 %. По набору онтогенетических состояний в естественном сообществе преобладают имматурные особи второго порядка (im2) и виргильные особи (v1, v2) ели.

На вырубке 2013 г. отмечено увеличение подроста за счет возобновления сосны (32...41 %) и березы (25...38 %). Преобладают ювинильные особи (j) и имматурные особи первого порядка (im1). На технологических элементах количество подроста между собой значительно отличается, так как во время рубки большая часть подроста предварительной генерации на волоках повреждается и уничтожается, но за 5-летний период происходит заселение и возобновление нового поколения древесных пород последующей генерации.

На вырубке 2000 г. количество подроста на волоках значительно увеличивается по сравнению с пасаками. На этом этапе доминирующее положение занимали виргильные (v1) особи всех древесных пород.

На вырубке 1990 г. количество подроста на технологических элементах значительно выше по сравнению с предыдущими объектами, при этом участие подроста березы увеличилось до 36...43 %.

Активное естественное возобновление на мелкоконтурных вырубках свидетельствует о том, что после рубки складываются благоприятные условия (почвенные и световые) для возобновления светолюбивых древесных пород, при этом однофакторный дисперсионный анализ показал, что при 5 %-м уровне значимости влияние технологического элемента на естественное возобновление леса доказано ($P < 0,05$).

Сплошная рубка леса оказывает влияние на физические свойства почвы в зависимости от технологических элементов рубки (волоки и пасаки), которое, прежде всего, связано с непосредственным проездом техники при трелевке леса по волокам во время выполнения лесозаготовительных операций (табл. 4).

Особенности восстановления физических свойств почвы на технологических элементах рубок зависят от давности проведения рубки. На свежих рубках четко идентифицируются технологические элементы (волок и пасака), что позволяет сравнивать физические свойства почв на них. На волоках местами видны следы проезда техники, при неоднократном проезде образованы колеи.

В первую очередь на волоках после проезда техники повреждается лесная подстилка, которая подвергается прямому воздействию движителей машин и несет основную нагрузку при изменении факторов среды в лесном насаждении.

Однофакторный дисперсионный анализ показал, что при 5 %-м уровне значимости на волоках рубки 2013 г. выявлено достоверное изменение плотности сложения, общей пористости и пористости аэрации лесной подстилки (горизонт O), т. е. спустя 5 лет после рубки прослеживается разница с контролем. По сравнению с контролем плотность сложения лесной подстилки выше на 59 %, общая пористость ниже на 11 %, пористость аэрации ниже на 23 %. В пасаках не выявлено достоверного изменения показателей плотности сложения, общей пористости и пористости аэрации лесной подстилки по сравнению с контролем, хотя плотность сложения выше на 5 %, общая пористость ниже на 1 %, пористость аэрации ниже на 4 %.

Таблица 4

Динамика физических свойств горизонтов почвы на контроле и после проведения сплошных рубок

Участок	Год рубки	Плотность сложения, г/см ³		Общая пористость, %		Пористость аэрации, %			
		M±m	M _{max}	M±m	M _{max}	M±m	M _{max}		
<i>Лесная подстилка (O)</i>									
Контроль	–	0,095±0,03 ^{в,с}	0,129	92,15±0,48 ^а	84,01	93,70	76,80±0,91 ^а	60,10	81,84
Волоки	2013	0,151±0,17 ^а	0,250	80,99±1,74 ^в	70,07	88,51	53,04±4,19 ^с	21,20	73,99
Пасеки		0,100±0,08 ^{в,с}	0,072	90,95±0,99 ^а	84,51	94,44	72,65±2,75 ^{а,в}	50,65	87,05
Волоки	2000	0,125±0,09 ^{в,с}	0,082	88,22±1,53 ^а	73,92	92,59	66,82±2,55 ^в	49,60	77,67
Пасеки		0,089±0,07 ^с	0,057	90,88±1,08 ^а	84,07	94,40	72,80±1,63 ^{а,в}	61,24	84,42
Волоки	1990	0,111±0,01 ^{в,с}	0,078	89,29±1,02 ^а	83,18	92,81	74,95±1,53 ^{а,в}	64,58	80,82
Пасеки		0,093±0,01 ^{в,с}	0,058	90,61±1,06 ^а	83,85	93,70	74,11±1,74 ^{а,в}	60,65	79,91
<i>Подзолистый горизонт (E)</i>									
Контроль	–	1,31±0,02 ^{в,с}	1,13	48,10±0,69 ^{а,в}	41,64	55,29	23,94±0,94 ^а	15,35	32,60
Волоки	2013	1,51±0,05 ^а	1,16	40,40±1,79 ^с	32,08	54,33	15,82±1,55 ^в	9,44	25,86
Пасеки		1,37±0,03 ^{а,в,с}	1,14	45,78±1,23 ^{а,в,с}	40,98	54,87	20,72±1,80 ^{а,в}	11,26	31,76
Волоки	2000	1,41±0,05 ^{а,в}	1,07	44,42±1,78 ^{в,с}	33,62	57,86	19,25±1,70 ^{а,в}	10,50	31,25
Пасеки		1,33±0,03 ^{в,с}	1,14	47,52±1,38 ^{а,в}	39,00	54,87	20,47±1,65 ^{а,в}	11,91	30,50
Волоки	1990	1,21±0,07 ^с	0,81	52,28±2,71 ^а	35,72	68,04	21,21±2,51 ^{а,в}	10,46	35,30
Пасеки		1,28±0,03 ^{в,с}	1,10	49,29±1,28 ^{а,в}	43,66	56,13	22,23±1,51 ^{а,в}	15,48	30,65
<i>Иллювиальный горизонт (BF)</i>									
Контроль	–	1,25±0,03 ^а	1,02	53,80±1,08 ^а	42,78	62,08	21,95±1,17 ^а	13,33	30,92
Волоки	2013	1,32±0,06 ^а	1,04	50,96±2,20 ^а	32,57	61,37	19,39±1,38 ^а	12,19	31,11
Пасеки		1,27±0,04 ^а	1,02	52,98±1,58 ^а	43,20	62,36	22,34±1,71 ^а	12,75	32,80
Волоки	2000	1,24±0,04 ^а	0,95	54,17±1,49 ^а	48,64	64,95	20,43±1,62 ^а	12,85	30,50
Пасеки		1,22±0,05 ^а	0,98	54,67±1,76 ^а	46,78	63,79	22,03±1,78 ^а	12,55	30,51
Волоки	1990	1,28±0,03 ^а	1,11	52,47±1,06 ^а	47,18	59,05	22,35±1,39 ^а	13,12	31,15
Пасеки		1,26±0,04 ^а	1,08	53,30±1,40 ^а	44,33	60,31	23,25±1,77 ^а	13,58	31,23

Влияние сплошных рубок на физические свойства минеральных горизонтов почвы проявляется менее заметно, что связано с буферной ролью лесной подстилки, принимающей на себя основную нагрузку при изменении факторов среды в лесном насаждении. Для подзолистого горизонта (E) выявлено достоверное изменение показателей плотности сложения, общей пористости и пористости аэрации по сравнению с контролем: плотность сложения подзолистого горизонта выше на 15,0 %, общая пористость ниже на 7,7 %, пористость аэрации ниже на 8,1 %. В пасаках не установлено достоверного изменения этих показателей для подзолистого горизонта (E) по сравнению контролем, хотя плотность сложения выше на 5,0 %, общая пористость ниже на 2,3 %, пористость аэрации ниже на 3,2 %.

В пасаках и на волоках вырубке 2013 г. не выявлено достоверного изменения плотности сложения, общей пористости и пористости аэрации иллювиального горизонта (BF) по сравнению контролем.

На 18-летней вырубке, несмотря на активное естественное возобновление, можно определить, где размещались волока и пасаки. На волоках еще можно установить следы проезда техники, но только в тех местах, где были образованы колеи.

Спустя 18 лет после проведения сплошной рубки на волоках и в пасаках плотность сложения, общая пористость и пористость аэрации лесной подстилки (O) достоверно не отличаются от контроля, кроме пористости аэрации на волоках. При этом на волоках прослеживается повышение плотности сложения по сравнению с контролем, который больше на 31 %, и понижение общей пористости на 4 %, но критерии различия не достигают доверительных интервалов. Пористость аэрации ниже на 10 %.

В пасаках и на волоках вырубке 2000 г. не выявлено достоверного изменения плотности сложения, общей пористости и пористости аэрации подзолистого горизонта (E). При этом на волоках плотность сложения выше на 7,6 %, общая пористость ниже на 3,7 %, пористость аэрации ниже на 4,7 %.

В иллювиальном горизонте (BF) в пасаках и на волоках вырубке 2000 г. не установлено достоверного изменения плотности сложения, общей пористости и пористости аэрации по сравнению контролем.

Спустя 28 лет после проведения сплошной рубки вырубке хорошо возобновилась древесными породами. Развитие живого напочвенного покрова сглаживает следы, оставленные техникой, но еще можно заметить места, где была колеиность.

На волоках вырубке 1990 г. не выявлено достоверного изменения показателей плотности сложения, общей пористости и пористости аэрации лесной подстилки (O) по сравнению с контролем. При этом на волоках плотность сложения выше на 16,0 %, общая пористость ниже на 2,9 %, пористость аэрации ниже 1,9 %. В пасаках разница в этих показателях для лесной подстилки (O) не существенна.

В подзолистом и иллювиальном горизонтах (E и BF) в пасаках и на волоках вырубке 1990 г. также не отмечено достоверного изменения плотности сложения, общей пористости и пористости аэрации по сравнению контролем.

Для установления тесноты связи между плотностью сложения верхних горизонтов почвы, взятых на технологических элементах, возрастом вырубке и количеством экземпляров естественного лесовозобновления проведен корреляционный анализ. В первом случае коэффициент корреляции Пирсона

равен $-0,44 \pm 0,11$, что соответствует умеренной тесноте связи, а отрицательная корреляция свидетельствует о разуплотнении почвы с увеличением времени, прошедшего после рубки. Во втором случае коэффициент корреляции Пирсона равен $-0,31 \pm 0,10$, что также соответствует умеренной тесноте связи. Отрицательная корреляционная связь между исследуемыми признаками является статистически значимой ($P < 0,05$), т. е. можно утверждать, что естественное лесовозобновление способствует разуплотнению почв на технологических элементах вырубок, образовавшихся после проезда лесозаготовительной техники в процессе вырубki древесного яруса.

Заключение

На легких по гранулометрическому составу почвах изменение физических свойств после прохода лесозаготовительной техники не препятствует возобновлению древесных пород, что подтверждают результаты исследования процесса лесовосстановления на разновременных вырубках.

Установлено, что на вырубках физические свойства песчаной почвы динамичны во времени и зависят от технологического элемента (пасаека, волок). После рубки возникает уплотнение почвы, особенно на волоках, которое сказывается на повышении плотности сложения со снижением общей пористости и пористости аэрации верхних горизонтов. Достоверное уплотнение наблюдается в лесной подстилке и подзолистом горизонте, в то время как в иллювиальном горизонте различие не доказано.

Спустя 18 лет уплотнение почв диагностируется, но отмечается процесс разуплотнения почвы, который связан с активным естественным возобновлением древесных пород и временем, прошедшим после рубки.

Спустя 28 лет физические свойства почвы восстановились до исходных показателей. На процесс восстановления физических свойств почвы влияет возраст вырубki и количество экземпляров естественного лесовозобновления, что подтверждается установлением умеренной отрицательной корреляционной связи между изучаемыми признаками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Аналитический обзор о состоянии лесов, их количественных и качественных характеристиках по Двинско-Вычегодскому таежному району. М.: Рослесинфорг, 2018. 61 с. [*Analytical Review on the State of Forests, Their Quantitative and Qualitative Characteristics in Dvinsko-Vychegodskiy Taiga Region*. Moscow, Roslesinform Publ., 2018. 61 p.].
2. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв: учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с. [Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. *Methods of Studying the Physical Properties of Soils: Educational Textbook*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986. 416 p.].
3. ГОСТ 5180–2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М.: Стандартинформ, 2016. 19 с. [*GOST 5180–2015. Soils. Laboratory Methods for Determination of Physical Characteristics*. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 19 p.].
4. Добровольский Г.В., Урусевская И.С., Алябина И.О. Карта почвенно-географического районирования России масштаба 1:15 000 000 // Электрон. науч. журн. «Доклады по экологическому почвоведению». 2008. Вып. 8, № 2. С. 1–18. [Dobrovolsky G.V., Urusevskaya I.S., Alyabina I.O. The Soil-Geographical Zoning Map of Russia at a Scale 1:15 000 000. *Doklady po ekologicheskomu pochvovedeniyu* [Interactive Journal of Ecological Soil Science], 2008, iss. 8, no. 2, pp. 1–18].

5. Дымов А.А. Влияние сплошных рубок в бореальных лесах России на почвы (обзор) // Почвоведение. 2017. № 7. С. 787–798. [Dymov A.A. The Impact of Clearcutting in Boreal Forests of Russia on Soils: A Review. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 2017, no. 7, pp. 787–798]. DOI: [10.7868/S0032180X17070024](https://doi.org/10.7868/S0032180X17070024)

6. Дымов А.А., Лантева Е.М. Изменение подзолистых почв на двучленных отложениях при рубках // Лесоведение. 2006. № 3. С. 42–49. [Dymov A.A., Lapteva E.M. Changes in Podzolic Soils on Bilayered Deposits under the Influence of Felling. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2006, no. 3, pp. 42–49].

7. Засухин, Д.П., Серый В.С., Минин Н.С. Рекомендации по защите лесных почв от повреждения при проведении лесозаготовительных работ в Республике Коми / под общ. ред. Ю.А. Паутова. Сыктывкар, 2004. 17 с. [Zasukhin D.P., Seryu V.S., Minin N.S. *Recommendations on Protection of Forest Soils from Damage during Logging Operations in the Komi Republic*. Ed. by Yu.A. Pautov. Syktyvkar, 2004. 17 p.]

8. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 343 с. [Classification and Diagnosis of Soils in Russia. Smolensk, Oykumena Publ., 2004. 343 p.]

9. Козлова А.А. Учебная практика по физике почв: учеб.-метод. пособие. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2009. 81 с. [Kozlova A.A. *Academic Training in Soil Physics: Study Guide*. Irkutsk, ISU Publ., 2009. 81 p.]

10. Наквасина Е.Н., Любова С.В. Почвоведение: учеб. пособие. Архангельск: САФУ, 2016. 146 с. [Nakvasina E.N., Lyubova S.V. *Soil Science: Educational Textbook*. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2016. 146 p.]

11. Наквасина Е.Н., Серый В.С., Семенов Б.А. Полевой практикум по почвоведению. Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2007. 127 с. [Nakvasina E.N., Seryu V.S., Semenov B.A. *Field Workshop on Soil Science*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2007. 127 p.]

12. Об утверждении Перечня лесорастительных зон и Перечня лесных районов Российской Федерации: приказ Минприроды России от 18.08.2014 г. № 367. Режим доступа: <http://rosleshoz.gov.ru/rosleshoz.gov.ru> (дата обращения: 15.12.2018). [On Approval of the List of Forest Plant Zones and the List of Forest Regions of the Russian Federation: Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation on August 18, 2014, no. 367].

13. Об утверждении Правил лесовосстановления: приказ Минприроды России от 29.06.2016 г. № 375. Режим доступа: <http://rosleshoz.gov.ru/rosleshoz.gov.ru> (дата обращения: 15.12.2018). [On Approval of the Reforestation Rules: Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation on June 29, 2016, no. 373].

14. Основы устойчивого лесопользования: учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / под общ. ред. А.В. Беляковой, Н.М. Шматкова. М.: WWF России, 2014. 266 с. [Framework of Sustainable Forest Management: Educational Textbook for Universities. Ed. by A.V. Belyakova, N.M. Shmatkov. Moscow, WWF Russia Publ., 2014. 266 p.]

15. Побединский А.В. Влияние механизированных лесозаготовок на лесную среду и возобновление леса // Лесн. хоз-во. 1982. № 11. С. 14–18. [Pobedinskiy A.V. The Impact of Mechanized Logging Operations on the Forest Environment and Reforestation. *Lesnoye khozyaystvo*, 1982, no. 11, pp. 14–18].

16. Рожков, В.А., Карпачевский Л.О. Лесной покров России и охрана почв // Почвоведение. 2006. № 10. С. 1157–1164. [Rozhkov V.A., Karpachevskii L.O. The Forest Cover of Russia and Soil Conservation. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 2006, no. 10, pp. 1157–1164].

17. Сабо Е.Д., Кормилицына О.В., Бондаренко В.В. Виды и динамика уплотнения и разуплотнения почв на вырубках // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2012. № 3. С. 42–46. [Sabo E.D., Kormilitsina O.V., Bondarenko V.V. Types and Dynamics of Increase and Decrease of Soils Density on Felling. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2012, no. 3(86), pp. 42–46].

18. Серый В.С., Аникеева В.А., Вялых Н.И., Кубрак Н.И. Изменение лесорастительных условий рубок при современных лесозаготовках // Экологические исследования в лесах Европейского Севера: сб. науч. тр. Архангельск: АИЛиЛХ, 1991.

C. 3–15. [Seryy V.S., Anikayeva V.A., Vyalykh N.I., Kubrak N.I. Changing Forest Site of Cuttings in Modern Logging. *Environmental Studies in the Forests of the European North*: Collection of Academic Papers. Arkhangelsk, AILiLKh Publ., 1991, pp. 3–15].

19. Теринов Н.Н., Герц Э.Ф., Безгина Ю.Н. Развитие техники и технологий лесозаготовок на Урале // Лесн. журн. 2016. № 2. С. 81–90. (Изв. высш. учеб. заведений). [Terinov N.N., Gerts E.F., Bezgina Yu.N. Development of Logging Technology in the Urals. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2016, no. 2, pp. 81–90]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2016.2.81](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2016.2.81); URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/f46/terinov.pdf>

20. Шейн Е.В. Курс физики почв: учеб. М.: Изд-во МГУ, 2005. 432 с. [Shein E.V. *Soil Physics Course*: Textbook. Moscow, MSU Publ., 2005. 432 p.]

21. Akay A.E., Yuksel A., Reis M., Tutus A. The Impacts of Ground-Based Logging Equipment on Forest Soil. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2007, vol. 16, no. 3, pp. 371–376.

22. Bagheri I., Kalhori S.B., Akef M., Khormali F. Effect of Compaction on Physical and Micromorphological Properties of Forest Soils. *American Journal of Plant Science*, 2012, vol. 3, no. 1, pp. 159–163. DOI: [10.4236/ajps.2012.31018](https://doi.org/10.4236/ajps.2012.31018)

23. Bowd E.J., Banks S.C., Strong C.L., Lindenmayer D.B. Long-Term Impacts of Wildfire and Logging on Forest Soils. *Nature Geoscience*, 2019, vol. 12, iss. 2, pp. 113–118. DOI: [10.1038/s41561-018-0294-2](https://doi.org/10.1038/s41561-018-0294-2)

24. Brais S. Persistence of Soil Compaction and Effects on Seedling Growth in Northwestern Quebec. *Soil Science Society of America Journal*, 2001, vol. 65, no. 4, pp. 1263–1271. DOI: [10.2136/sssaj2001.6541263x](https://doi.org/10.2136/sssaj2001.6541263x)

25. Cambi M., Certini G., Neri F., Marchi E. The Impact of Heavy Traffic on Forest Soils: A Review. *Forest Ecology and Management*, 2015, vol. 338, pp. 124–138. DOI: [10.1016/j.foreco.2014.11.022](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.11.022)

26. Cambi M., Hoshika Y., Mariotti B., Paoletti E., Picchio R., Venanzi R., Marchi E. Compaction by a Forest Machine Affects Soil Quality and *Quercus robur* L. Seedling Performance in an Experimental Field. *Forest Ecology and Management*, 2017, vol. 384, pp. 406–414. DOI: [10.1016/j.foreco.2016.10.045](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.045)

27. Cambi M., Paffetti D., Vettori C., Picchio R., Venanzi R., Marchi E. Assessment of the Impact of Forest Harvesting Operations on the Physical Parameters and Microbiological Components on a Mediterranean Sandy Soil in an Italian Stone Pine Stand. *European Journal of Forest Research*, 2017, vol. 136, iss. 2, pp. 205–215. DOI: [10.1007/s10342-016-1020-5](https://doi.org/10.1007/s10342-016-1020-5)

28. Evstigneev O.I., Korotkov V.N. Ontogenetic Stages of Trees: An Overview. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 2016, vol. 1(2), pp. 1–31. DOI: [10.21685/2500-0578-2016-2-1](https://doi.org/10.21685/2500-0578-2016-2-1)

29. Goltsev V., Tolonen T., Syunev V., Dahlin B., Gerasimov Yu. Wood Harvesting and Logistics in Russia – Focus on Research and Business Opportunities. *Metlan työraportteja* [Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 2010]. 2011. 157 p. Available at: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp210.htm> (accessed 04.02.19).

30. Klaes B., Struck J., Schneider R., Schüler G. Middle-Term Effects after Timber Harvesting with Heavy Machinery on a Fine-Textured Forest Soil. *European Journal of Forest Research*, 2016, vol. 135, iss. 6, pp. 1083–1095. DOI: [10.1007/s10342-016-0995-2](https://doi.org/10.1007/s10342-016-0995-2)

31. Kozłowski T.T. Soil Compaction and Growth of Woody Plants. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1999, vol. 14, iss. 6, pp. 596–619. DOI: [10.1080/02827589908540825](https://doi.org/10.1080/02827589908540825)

32. Marchi E., Chung W., Visser R., Abbas D., Nordfjell T., Mederski P.S., McEwan A., Brink M., Laschi A. Sustainable Forest Operations (SFO): A New Paradigm in a Changing World and Climate. *Science of the Total Environment*, 2018, vol. 634, pp. 1385–1397. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.04.084](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.084)

33. Marchi E., Picchio R., Mederski P.S., Vusić D., Perugini M., Venanzi R. Impact of Silvicultural Treatment and Forest Operation on Soil and Regeneration in Mediterranean Turkey Oak (*Quercus cerris* L.) Coppice with Standards. *Ecological Engineering*, 2016, vol. 95, pp. 475–484. DOI: [10.1016/j.ecoleng.2016.06.084](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.084)

34. Modrý M., Hubený D. Impact of Skidder and High-Lead System Logging on Forest Soils and Advanced Regeneration. *Journal of Forest Science*, 2003, vol. 49, no. 6, pp. 273–280. DOI: [10.17221/4701-JFS](https://doi.org/10.17221/4701-JFS)
35. Osman K.T. *Forest Soils: Properties and Management*. Switzerland, Springer, 2013. 217 p. DOI: [10.1007/978-3-319-02541-4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-02541-4)
36. Powers R.F., Scott D.A., Sanchez F.G., Voldseth R.A., Page-Dumroese D., Elioff J.D., Stone D.M. The North American Long-Term Soil Productivity Experiment: Findings from the First Decade of Research. *Forest Ecology and Management*, 2005, vol. 220, iss. 1-3, pp. 31–50. DOI: [10.1016/j.foreco.2005.08.003](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.003)
37. Rab M.A. Recovery of Soil Physical Properties from Compaction and Soil Profile Disturbance Caused by Logging of Native Forest in Victorian Central Highlands, Australia. *Forest Ecology and Management*, 2004, vol. 191, iss. 1-3, pp. 329–340. DOI: [10.1016/j.foreco.2003.12.010](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.12.010)
38. Standish J.T., Commandeur P.R., Smith R.B. *Impacts of Forest Harvesting on Physical Properties of Soils with Reference to Increased Biomass Recovery: A Review*. Information Report BC-X-301. Victoria, BC, Canadian Forestry Centre, 1988. 24 p.
39. Šušnjar M., Horvat D., Šešelj J. Soil Compaction in Timber Skidding in Winter Conditions. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2006, vol. 27, no. 1, pp. 3–15.
40. Venanzi R., Picchio R., Piovesan G. Silvicultural and Logging Impact on Soil Characteristics in Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) Mediterranean Coppice. *Ecological Engineering*, 2016, vol. 92, pp. 82–89. DOI: [10.1016/j.ecoleng.2016.03.034](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.03.034)
41. Worrell R., Hampson A. The Influence of Some Forest Operations on the Sustainable Management of Forest Soils – A Review. *Forestry*, 1997, vol. 70, iss. 1, pp. 61–85. DOI: [10.1093/forestry/70.1.61](https://doi.org/10.1093/forestry/70.1.61)
42. Zenner E.K., Fauskee J.T., Berger A.L., Puettmann K.J. Impacts of Skidding Traffic Intensity on Soil Disturbance, Soil Recovery, and Aspen Regeneration in North-Central Minnesota. *Northern Journal of Applied Forestry*, 2007, vol. 24, iss. 3, pp. 177–183. DOI: [10.1093/njaf/24.3.177](https://doi.org/10.1093/njaf/24.3.177)
43. Zetterberg T., Olsson B.A., Löfgren S., von Brömssen C., Brandtberg P.-O. The Effect of Harvest Intensity on Long-Term Calcium Dynamics in Soil and Soil Solution at Three Coniferous Sites in Sweden. *Forest Ecology and Management*, 2013, vol. 302, pp. 280–294. DOI: [10.1016/j.foreco.2013.03.030](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.03.030)

PHYSICAL PROPERTIES DYNAMICS OF PODZOLIC SOIL IN THE NATURALLY REGENERATED CUTOVER AREAS*

A.S. Ilintsev, Candidate of Agriculture, Research Scientist; ResearcherID: [N-6286-2019](https://orcid.org/0000-0003-3524-4665),
ORCID: [0000-0003-3524-4665](https://orcid.org/0000-0003-3524-4665)

A.P. Bogdanov, Candidate of Agriculture, Senior Research Scientist;
ResearcherID: [A-8611-2019](https://orcid.org/0000-0002-1655-7212), ORCID: [0000-0002-1655-7212](https://orcid.org/0000-0002-1655-7212)

Yu.S. Bykov, Junior Research Scientist

Northern Research Institute of Forestry, ul. Nikitova, 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; e-mail: a.ilintsev@narfu.ru, aleksandr_bogd@mail.ru, y.bykov@inbox.ru

The research relevance is driven by the need to study the patterns of changes in the physical properties of soil for prediction the recovery period after anthropogenic impact. The aim of the research was to establish the space-time patterns of changes and restoration of the podzolic soil physical properties during natural regrowth after cuttings. The study objects are located in the taiga forest zone on small-scale clear cuttings with fellings of 5, 18 and 28 years

*The authors gratefully acknowledge prof. E.N. Nakvasina and prof. S.V. Tretyakov for discussing the issues of anthropogenic influence on soils, and methodological assistance.

old. The initial plots are represented by the mature stands of blueberry forest with pine domination. Cuttings were carried out with the use of gasoline chainsaws for trees felling, and a skidding tractor for skidding. Clearing of cutting areas was realized simultaneously with timber harvesting by laying slashes on the skidding trails. In order to establish current characteristics of the studied areas, the evaluation of natural reforestation was carried out by laying out 215 test sites (5×5 m) along the transects. In order to determine the soil physical properties on technological elements of cuttings (cutting strip, skidding trails) and control 288 samples were selected: 96 of forest litter (O), podzolic (E), illuvial (BF) soil horizons each. The results obtained at different times of cuttings have shown that the physical properties of sandy soils are dynamic over time. In 5 years after cutting soil compaction is detected, especially on the skidding trails, which affects the increase in bulk density (by 15–59 %) with a decrease in total porosity (8–11 %) and porosity of aeration of the upper horizons (8–23 %). Reliable compaction is observed in the forest litter and podzolic horizon, while in the illuvial horizon such difference is not proven. In 18 years soil compaction is detected. However, there are processes of soil decompression which are related to active reforestation of tree species and period passed after cutting. In 28 years the physical properties of soil were restored to their original values. We have established a moderate correlation between the bulk density of soil and cutting age ($r = -(0.44 \pm 0.11)$), as well as between the bulk density and the number of natural reforestation samples ($r = -(0.31 \pm 0.10)$), which contribute to soil decompression after cutting.

For citation: Ilintsev A.S., Bogdanov A.P., Bykov Yu.S. Physical Properties Dynamics of Podzolic Soil in the Naturally Regenerated Cutover Areas. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 5, pp. 70–82. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.70

Funding: The research was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (Project No. 18-34-0031) and the RFBR together with Arkhangelsk Region (Project No. 17-44-290127).

Keywords: clear-cuttings, podzolic soils, sand texture, soil compaction, natural reforestation.

Поступила 04.02.19 / Received on February 04, 2019
