

ДЕГРАДАЦИЯ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ
И ОХРАНА ПОЧВ

УДК 631.4

ИЗМЕНЕНИЯ ПОЧВ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПРИ РАЗНОМ ЧИСЛЕ
ПРОЕЗДОВ КОЛЕСНОЙ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
(СРЕДНЯЯ ТАЙГА, РЕСПУБЛИКА КОМИ)

© 2022 г. А. А. Дымов^{а, *, **}, В. В. Старцев^а, Н. М. Горбач^{а, b}, Д. А. Севергина^а, И. Н. Кутявин^а,
А. Ф. Осипов^а, Ю. А. Дубровский^а

^аИнститут биологии ФИЦ Коми научного центра УрО РАН,
ул. Коммунистическая, 28, Сыктывкар, 167982 Россия

^bСыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорочкина,
ул. Октябрьский проспект, 55, Сыктывкар, 167001 Россия

*e-mail: aadymov@gmail.com

**e-mail: dymov@ib.komisc.ru

Поступила в редакцию 15.04.2022 г.

После доработки 06.05.2022 г.

Принята к публикации 25.05.2022 г.

Представлены изменения подзолистых почв (Albic Retisols) и растительности после рубки ельника черничного на территории средней тайги Республики Коми. Описаны изменения морфологических и физико-химических свойств почв при трех- и десятикратном проходах форвардера, а также при десятикратных проездах с последующим выравниванием волоков для сглаживания колеи. Показано, что число проездов форвардера является определяющим фактором изменения почв. Выявлено, что на волоках с тремя проездами наблюдается формирование колеи глубиной 11 ± 3 см, в то время как при десятикратном глубина колеи может доходить до 66 см со средними значениями 27 ± 4 см. Выравнивание территорий волоков приводит к наибольшей трансформации естественного сложения верхних горизонтов почв на большей площади. Выявлено статистически значимое увеличение плотности верхнего минерального горизонта в почве волока с тремя проходами техники. Для почвы волока с десятью проходами показано уменьшение плотности сложения в верхнем минеральном турбированном горизонте из-за его перемешивания и разрыхления колесной техникой, но при этом наблюдается увеличение плотности в нижележащем срединном минеральном горизонте, сохранившем естественное сложение. Верхние горизонты почвы волока, на котором провели выравнивание с использованием экскаватора, характеризуются статистически значимым возрастанием плотности по сравнению с исходной почвой. Выявлено, что возобновление основных древесных пород в первый год после рубки происходит крайне неравномерно. При сильной захламленности на волоках возобновление отсутствует, что требует дополнительных мероприятий для улучшения возобновления на этих технологических элементах рубки. На выровненных участках волоков выявлено отсутствие возобновления в первый год после рубки, однако можно предположить, что в дальнейшем эти участки будут достаточно быстро заселены подростом древесных пород.

Ключевые слова: уплотнение почвы, выравнивание колеи, рубка леса, подзолистые почвы, натурный эксперимент

DOI: 10.31857/S0032180X22110028

ВВЕДЕНИЕ

Ведущим фактором изменения бореальных лесов выступает хозяйственная деятельность человека. Лесные экосистемы Республики Коми (РК), как и другие таежные экосистемы России, подвергаются возрастающему антропогенному воздействию с XVII–XVIII вв. [24]. Но при этом до середины XX в. шадящие подходы к лесозаготовительной деятельности, в том числе ручная лесозаготовка и конная трелевка древесины, не приводили к существенным изменениям породного

состава лесов. На значительных территориях, пройденных такими типами лесозаготовок, хвойные фитоценозы функционировали по близким к естественным закономерностям [23]. Существенно ситуация стала меняться с середины XX в. Только на территории РК за 60 лет промышленными рубками затронута 112 тыс. км² и заготовлено 1 млрд м³ древесины [4].

Увеличение объемов заготавливаемой древесины, механизация процесса лесозаготовок, преобладающие сплошных концентрированных и сплошно-

лесосечных рубок способствовали усилению антропогенного воздействия на таежные экосистемы. На территориях, пройденных рубками, изменяется структура лесного покрова [31], круговорот биофильных элементов [5, 14, 32], микроклиматические параметры почв [16]. На значительной площади европейского северо-востока России наблюдается смена хвойных пород лиственными [8, 23, 26]. Индикаторную роль изменения окружающей среды на вырубках выполняют растения напочвенного покрова [11, 22, 44]. Технологии лесозаготовки в значительной степени определяют состав и структуру производных растительных сообществ [27, 43]. В таежной зоне трансформация микро- и мезорельефа, вызываемая работой тяжелой лесозаготовительной техники, приводит к возникновению комплексной растительности вырубок с высокой степенью гетерогенности [29].

На европейском Севере наиболее распространены сплошнолесосечные рубки [25, 26, 39]. Технологически при таких типах рубок (вне зависимости от типа трелевки древесины), обособляются участки, различающиеся характером воздействия на экосистемы. Наименее нарушенные участки принято называть пасечными. Участки с нарушениями почвенного покрова, возникающими при трелевке и складировании древесины, выделяют в трелевочные волокна (или технологические коридоры) и лесопогрузочные площадки. При этом площадь пасечных участков составляет от 59 до 71%, трелевочных волокон – от 18 до 29%, погрузочных площадок – от 6 до 15% общей площади лесосек [33]. В некоторых случаях нарушение поверхности почв происходит на 40–60% площади лесосек [17]. На участках, где планируется искусственное лесовозобновление, площади почв с механической трансформацией, связанной с подготовкой почв под посадки, может быть еще больше [42].

В настоящее время хлыстовая трелевка древесины постепенно замещается скандинавской технологией, включающей использование многооперационных машин (форвардер и харвестер¹). Значительное число лесозаготовительных предприятий ведут заготовку древесины многофункциональными комплексами. В РК, где проводили данные исследования, соотношение заготовки по скандинавской и традиционной (трелевочный трактор и бензопила) технологиям составило 90 и 10% соответственно. Согласно существующим требованиям к организации и проведению работ по заготовке древесины [37], доля волокон и лесопогрузочных площадок при использовании многооперационной техники может составлять до 30% общей площади лесосеки. При этом глубина

колея в данном документе не регламентируется. По нашим предварительным оценкам площади механически нарушенных почв редко превышают 20% площади лесосеки [14]. В настоящее время существуют единичные работы по оценке влияния харвестеров и форвардеров на почвы России [15, 18, 21, 30]. Но, в отличие от скандинавских стран и регионов Российской Федерации с близкими к ним лесорастительными условиями [12, 28, 46], влияние использования сортиментной технологии трелевки древесины на почвы практически не изучено. Вероятно, значительные различия по сравнению с европейскими странами [45, 47] и Карелией [12, 28] при лесозаготовках в близких типах леса будут определяться особенностями несущей способности почв, а именно гранулометрическим составом и большим увлажнением.

Цель работы – оценить изменения почв и растительности при использовании тяжелой агрегатной колесной лесозаготовительной техники.

Задачи исследования: оценить изменения морфологических и физико-химических свойств почв при различном числе проходов форвардера, а также с выравниваем глубоких колея; выявить изменения в составе растительных сообществ разных технологических элементов вырубки; охарактеризовать особенности лесовозобновления на изучаемых участках.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Описание полевого эксперимента. Для проведения эксперимента, весной 2020 года был подобран участок ельника чернично-зеленомошного на территории Сыктывдинского района Республики Коми (рис. 1). Исследование исходного участка леса (ИЛ) начали с весны 2020 г. Климат района исследований умеренно-континентальный, умеренно холодный [2]. Среднемесячная температура воздуха в июле составляет +16.6°C. Среднегодовая температура +0.4°C, годовое количество осадков 514 мм [2].

Согласно почвенно-географическому районированию РК [3], исследуемая территория расположена в южной части Вымь-Вычегодского округа типичных подзолистых почв, иллювиально-железистых подзолов, торфянисто-подзолисто-глееватых иллювиально-гумусовых почв. Объекты были расположены на вершине мореного увала. Съёмку рельефа проводили с использованием нивелира Vega L32C. Схему рельефа строили с использованием программного обеспечения Surfer (Golden Software Inc.). Особенности рельефа представлены на рис. 1.

Рубка леса на исследуемых участках была проведена 7–8 декабря 2020 г. В качестве экспериментальной машины использовали четырехос-

¹ Форвардер – машина, трелеющая древесину; харвестер – машина, спиливающая и укладывающая древесину на поверхность почвы.

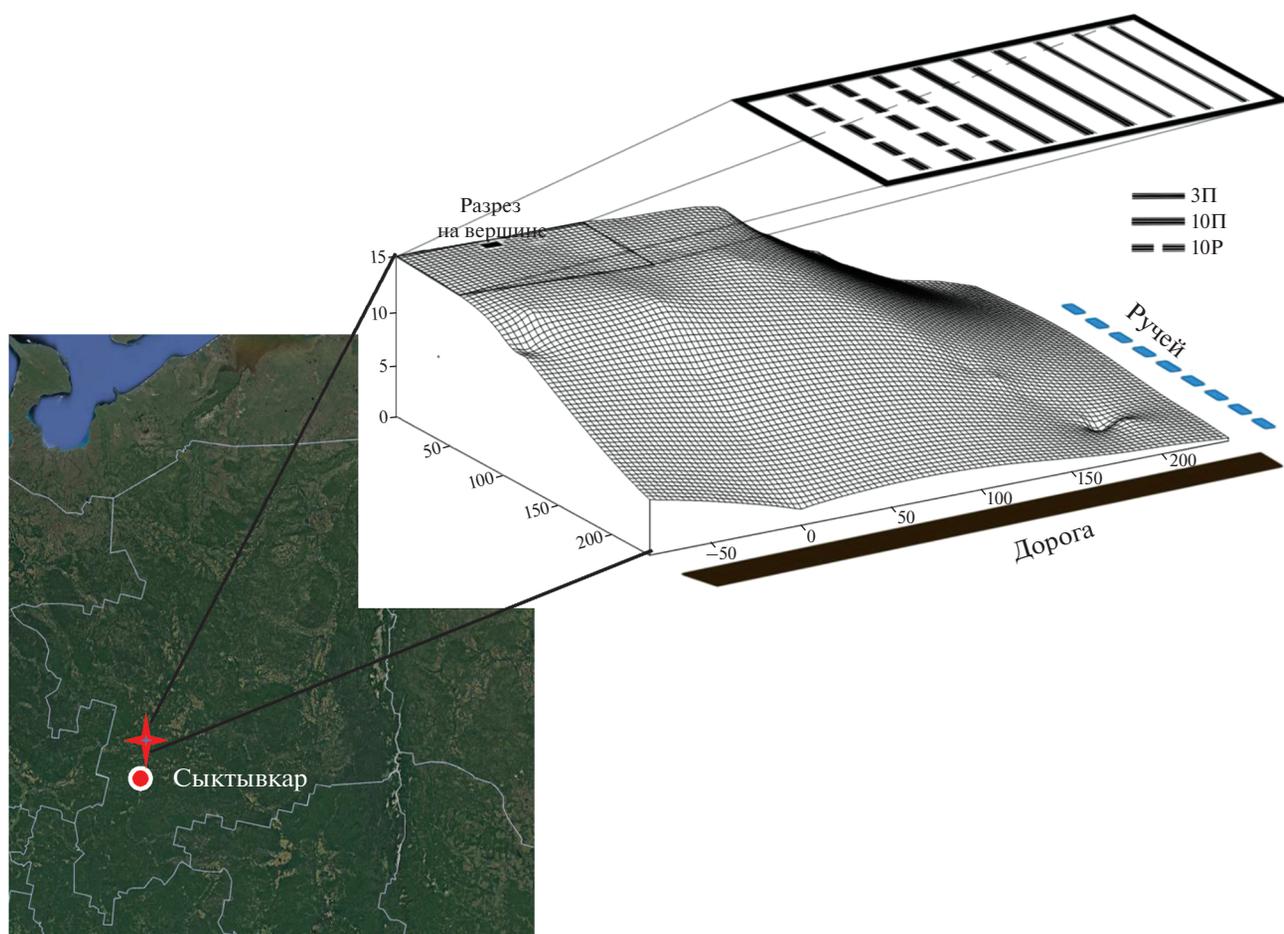


Рис. 1. Расположение участка исследований и схема расположения волоков.

ный форвардер PONSSE ELEPHANT ERG08W A090626, обладающий стандартным весом 22.8 т. Давление в колесах составляло: 3.5 (передние колеса), 5.5 (задние колеса) бар. Стандартные съемные металлические гусеницы использовали только для задних колес. Перед проездом форвардер загружали балансом осины, у каждого бревна измеряли диаметр, с помощью которого вычисляли объем древесины (рис. 2). Общая масса форвардера с древесиной составляла 36.3 т.

К моменту рубки на исследуемом участке леса были практически идеальные условия: отсутствие длительных снегопадов перед рубкой, устойчивые отрицательные температуры воздуха, которые позволили почвам промерзнуть до глубины около 15 см, что в свою очередь обеспечило высокую несущую способность почв. На момент проведения эксперимента температура воздуха составляла -3.2°C , температура подстилки -0.5°C .

В ходе эксперимента было заложено 9 волоков, каждый протяженностью около 50 м. Волока были расположены на вершине увала. На трех волоках число проходов форвардера составило 3

(3П), на других трех волоках – 10 (10П). Разрезы закладывали в колеях, межколейное пространство механически не было нарушено. На трех волоках с десятью проходами форвардера было проведено выравнивание колеи (10Р), удаление (сдвигание на бровку) подстилки, пней и порубочных остатков. Подстилки и порубочные остатки передвигали на территорию, прилегающую к волокам. Разравнивание производили экскаватором Komatsu PC-8 на следующий день после проведения рубки. Серию волоков с выравниванием (10Р) проводили для оценки возможности применения данных мероприятий для успешности последующего лесовозобновления. Укрепление волоков порубочными остатками не проводили. Непосредственно после рубки (декабрь 2020 г.) были выполнены замеры глубин колеи, формирующихся от тяжелой колесной техники. Измерения проводили через каждые 2.5 м. Для волоков с тремя проходами (3 волока по 2 колеи) было выполнено 162 измерения, 392 замера было проведено на волоках с десятью проходами (6 волоков по 2 колеи).



Рис. 2. Загрузка форвардера перед проведением эксперимента.

Оценку морфологических изменений почв и отбор почвенных образцов производили в июле 2021 г. Было заложено по одному опорному разрезу на каждом объекте. Классификационная диагностика выполнена согласно [36], с рекомендациями по оценке свойств турбированных почв [13, 14]. Для определения цвета генетических горизонтов использовали шкалу Манселла. Плотность сложения в органогенных и минеральных горизонтах определяли в опорных разрезах согласно [7].

Химический анализ почв проводили в аккредитованной экоаналитической лаборатории и отделе почвоведения Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Общее содержание углерода и азота определяли на анализаторе EA-1100 (Carlo Erba). pH водных вытяжек оценивали с помощью Edge HI2002-02 pH-метра (Hanna Instruments, Румыния) при соотношении почва : раствор для подстилок 1 : 25, для минеральных горизонтов —

1 : 2.5. Обменные катионы извлекали ацетатно-аммонийной вытяжкой (pH 7) с последующим определением на атомно-эмиссионном спектрофотометре ICP Spectro Ciros. Гранулометрический состав оценивали по методу Качинского. Содержание железа и алюминия, растворимых в кислом растворе оксалата аммония, измеряли методом атомно-эмиссионной спектрометрии. Для извлечения из почвы несиликатных соединений железа вне зависимости от степени окристаллизованности использовали метод Мера—Джексона [41]. Коэффициент Швертмана рассчитывали по уравнению: $K_{ш} = Fe_{ox}/Fe_{dith}$ [10]. Определение фосфора осуществляли согласно ПНД Ф 16.1:2.3.11-98 [38]. Методика включает обработку почвы 5M HNO₃ (2 г почвы/10 см³ кислоты) с последующим нагреванием на водяной бане в течение трех часов и определением на ICP Spectro Ciros.

При выполнении описаний растительных сообществ использованы методики, которые являются общепринятыми в геоботанике и лесной типологии [19]. На каждой пробной площади учитывали состав и сомкнутость (в долях единицы) древостоя и подлеска. Для травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов определяли общее проективное покрытие в процентах, оценивали степень доминирования видов с использованием шкалы господства Ипатова [19]. В целях выявления биоразнообразия растений рассчитывали показатель α -разнообразия и видовую насыщенность.

На контрольном участке ельника чернично-зеленомошного было выполнено одно описание исходного лесного сообщества (размер 20×20 м). На вырубке учет растительного покрова делали на каждом технологическом элементе. Размер пробных площадок (ПП) на пасечных участках составлял 5×5 м, на выровненных волоках и в колеях растительность учитывали методом прохода одного технологического элемента. Латинские названия таксонов сосудистых растений и мхов даны по источнику www.worldfloraonline.com, лишайников по Santesson et al. [48].

Оценка возобновления проводилась по методике, разработанной Побединским [34]. На вырубке была проведена закладка учетных пробных площадок (УПП) размером 1×1 м с чередованием пасека-волока в количестве 56 штук. На УПП проводилось детальное описание последующего возобновления по породам [40]. На УПП, заложённых на волоках, дополнительно измеряли ширину и глубину колеи, отмечали наличие или отсутствие воды в колеях, количество порубочных остатков.

Индекс встречаемости подроста (t) определен по соотношению количества учетных площадок с подростом ($n_{\text{пдр}}$) к общему количеству заложённых учетных площадок ($n_{\text{общ}}$):

$$t = n_{\text{пдр}} / n_{\text{общ}}$$

При $t > 0.65$ размещение считается равномерным и дополнительных мероприятий, направленных на улучшение процесса лесовозобновления, не требуется. При $t \leq 0.65$ размещение подроста неравномерное и требуются мероприятия в виде дополнения, мер содействия или, в крайнем случае, при оценке возобновления на "отсутствует", создание лесных культур.

Проведен расчет средней высоты хвойного и лиственного подроста и всходов последующего возобновления отдельно на волоках, пасеках и в целом на вырубке. Оценка степени доверительности и углубленного анализа материалов обследования по сохранению подроста или мер по содействию естественному возобновлению прове-

дена с использованием методов математической статистики.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изменения растительного покрова на основных технологических элементах вырубки. Исходное сообщество было представлено разновозрастным хвойно-лиственным насаждением, пройденным низовыми пожарами и выборочной рубкой крупных хвойных деревьев около 60 лет назад. Древесный ярус образован сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), елью сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), березой пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) и березой повислой (*B. pendula* Roth.). В качестве небольшой примеси присутствуют пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.) и осина (*Populus tremula* L.). Формула древостоя – 4С3Е2Б1Ос ед.Пх. Ярусность в древостое не выражена. Сухостой и валеж образуют преимущественно хвойные деревья со ствольным запасом древесины $30 \text{ м}^3/\text{га}$. В подросте доминирует ель, с небольшой примесью березы и осины. Общее проективное покрытие (ОПП) травяно-кустарничкового яруса составляет 80%, доминирует черника (*Vaccinium myrtillus* L.). ОПП мохово-лишайникового яруса 80%, доминирует *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp., заметную роль играют *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt., *Sphagnum angustifolium* (Warnst.) C.E.O. Jensen, *Polytrichum commune* Hedw.

По сравнению с исходными сообществами, на участках вырубки произошло обеднение кустарничкового яруса (табл. 1). Его сомкнутость уменьшилась, из состава выпал можжевельник (*Juniperus communis* L.). Крупные кустарники были уничтожены в процессе рубки, поэтому высота растений на послерубочных участках пасек уменьшилась до 30–40 см. Общее видовое разнообразие сосудистых растений сократилось незначительно (с 18 видов на контрольном участке до 16 видов на вырубке). Черника сохранила ведущие ценоотические позиции. Изменения светового режима привели к увеличению обилия светолюбивых видов (брусника – *Vaccinium vitis-idaea* L., луговик – *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin.). Майник (*Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt), один из видов-наполнителей травяно-кустарничкового яруса (ТКЯ) контрольных участков, будучи более теневыносливым видом, на вырубках сокращает свое обилие.

Общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса на пасечных участках уменьшилось до 15–30% по сравнению с 80% на контрольном участке. ОПП мохово-лишайникового яруса на пасечных участках снизилось незначительно (до 40–60% по сравнению с 80% на контрольной ПП). Основные изменения произошли в его составе, где на ведущие позиции вышли виды увлажнённых местообитаний (*Sphagnum an-*

Таблица 1. Характеристика нижних ярусов растительности исследованных участков

Показатель	Контроль	Пасека	3П	10П
Общая сомкнутость подлеска, в долях от 1	0.2	0.1	<0.1	<0.1
Общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса, %	80	20	1–3	0–1
Общее проективное покрытие мохово-лишайникового яруса, %	80	60	1–5	0
Подлесок				
<i>Rosa acicularis</i>	2	9	8	10
<i>Salix caprea</i>	+	1	–	–
<i>Sorbus aucuparia</i>	8	+	2	–
Травяно-кустарничковый ярус				
<i>Chamaenerion angustifolium</i>	1	1	–	–
<i>Equisetum sylvaticum</i>	2	1	–	–
<i>Gymnocarpium dryopteris</i>	2	1	–	–
<i>Vaccinium myrtillus</i>	8	5	–	–
<i>Calamagrostis obtusata</i>	1	1	3	–
<i>Carex globularis</i>	2	4	5	–
<i>Deschampsia flexuosa</i>	3	3	2	–
<i>Maianthemum bifolium</i>	4	1	2	–
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	2	5	1	–
<i>Melampyrum sylvaticum</i>	1	2	5	3
<i>Solidago virgaurea</i>	1	2	4	4
<i>Trientalis europaea</i>	3	1	6	7
<i>Luzula pilosa</i>	1	2	–	3
<i>Rubus saxatilis</i>	3	2	–	4
Мохово-лишайниковый ярус				
<i>Polytrichum commune</i>	4	5	–	–
<i>Aulacomnium palustre</i>	1	3	–	–
<i>Pleurozium schreberi</i>	4	4	5	–
<i>Hylocomium splendens</i>	7	5	5	–
<i>Sphagnum angustifolium</i>	4	5	6	–

Примечание. ИЛ – исходный лес, П – пасечный участок, 3П – 3 прохода, 10П – 10 проходов. Для подлеска приведен состав (от 10 единиц). Ранги обилия видов травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов приведены по шкале Ипатова [19]. Виды, отмеченные только на контрольном участке: *Carex cespitosa*, *Dicranum majus*, *Geranium sylvaticum*, *Hieracium laevigatum*, *Juniperus communis*, *Platanthera bifolia*. Виды, отмеченные только на пасеке: *Leontodon autumnalis*, *Linnaea borealis*, *Oxalis acetosella*, *Rhytidadelphus subpinatus*. Прочерк – вид отсутствует, + – вид отмечен единично.

gustifolium и *Polytrichum commune*). Ранг обилия мезофитного вида *Hylocomium splendens* сократился с 8 до 4–6. Эффект увеличения увлажнения местообитаний вырубок хорошо известен из литературы [22, 27, 43]. В результате уничтожения деревьев, которые являются мощными насосами, откачивающими из почвы воду, на начальных этапах восстановления экосистем меняется гидрологический режим, и происходит временное заболачивание.

После проведения рубки леса, на исследуемых ПП зафиксировано 6 видов мхов, средний пока-

затель α -разнообразия мхов – 2 вида. Таким образом, общее число видов мхов в результате трансформации растительных сообществ уменьшилось более чем в 2 раза. А видовая насыщенность конкретных ПП – в 3 раза. Виды мхов, которые исчезли из видового состава исследуемых сообществ (*Climacium dendroides* (Hedw.) F. Weber & D. Mohr, *Dicranum majus* Turner et др.), являются более требовательными к условиям микроместообитаний. В частности, им необходимо затенение, которое отсутствует в сообществах начальных этапов послерубочной сукцессии. На вырубке с небольшим обилием был отме-

Таблица 2. Характеристика последующего естественного возобновления и индекс встречаемости подроста на вырубке первого года

Порода	Густота возобновления на вырубке, шт./га	Индекс встречаемости (t)			
		ЗП	10П	10Р	П*
Б	10714	—	0.22	—	0.15
Ос	13214	0.71	0.22	—	0.45
Е	179	—	—	—	—
С	179	—	—	0.08	—
Всего	24286	0.71	0.33	—	0.50

Примечание. Ос — осина, Б — береза, Е — ель, С — сосна. Прочерк — не обнаружено. * На пасеке.

чен один вид мхов (*Ptilium crista-castrensis*), который отсутствовал на контрольных участках.

В колеях наблюдали сильную степень нарушения исходного растительного покрова, большая часть которого была механически уничтожена. Кустарниковый ярус представлен единичными растениями шиповника (*Rosa acicularis* Lindl.) и рябины (*Sorbus aucuparia* L.). ОПП травяно-кустарничкового яруса лишь в некоторых случаях достигает 3%, ОПП мхов и лишайников — до 5%. Средний показатель α -разнообразия сосудистых растений снижается до двух видов. Виды-доминанты исходных сообществ, которые сохраняют свое обилие на пасеках, в колеях отсутствуют. В таких условиях, в первый год сукцессии, на лидирующие позиции выходят седмичник (*Lysimachia europaea* (L.) U. Manns & Anderb.), золотарник (*Solidago virgaurea virgaurea* L.), осока шаровидная (*Carex globularis* L.), из мхов — *Sphagnum angustifolium*.

Колеи с разной степенью нарушения (3 и 10 проездов форвардера) достоверно различаются основными параметрами нижних ярусов растительности. Среднее число видов сосудистых растений (α -разнообразие) в колее после трех проездов составляет 3 вида (1–5 видов на конкретных площадках), после десяти проездов — 2 вида (0–2 вида на конкретных площадках). Мохово-лишайниковый ярус в колеях после 10 проездов полностью отсутствует, а после трех проездов его ОПП варьирует от 1 до 5%. На участках серии 10Р в первый год восстановления какие-либо растения отсутствуют.

В целом по итогам исследований растительного покрова можно отметить, что на разных технологических элементах вырубки (пасечные участки, колеи на волоках) наблюдается разная степень нарушения растительного покрова, которая определяется уровнем технологической нагрузки в процессе рубки леса.

Возобновление основных древесных пород на разных элементах вырубки в первый год. Формула состава подроста на вырубке — 54Ос44Б1Е1С. Наибольший индекс встречаемости подроста отмечается у осины, как на пасеках и волоках ($t =$

$= 0.45–0.65$), так и вырубке в целом, а наименьший — у хвойных видов ($t = 0–0.05$). После трех проездов форвардера по неукрепленному волоку отмечается более высокие значения индекса в колеях для порослевой осины ($t = 0.71$). На волоке с десятью проездами береза и осина наблюдались в равных долях ($t = 0.22$) (табл. 2), но в большей степени семенного происхождения. Такая тенденция связана с продавливанием лесной подстилки и ее перемешиванием с верхними элювиальными горизонтами, следствием чего является лучшее закрепление и прорастание семян деревьев на минеральной части. Однако при увеличении глубины колеи и задержке в ней воды, возобновление отсутствует.

Проведенные исследования густоты возобновления на вырубке хвойно-лиственного насаждения показали обильное предварительное возобновление лиственными видами березы и осины. Их количество составляет 11 и 13 тыс. шт./га, соответственно. Численность предварительно возобновляющихся ели и сосны на вырубке единична. Такое слабое возобновление ели и сосны связано с низким баллом плодоношения хвойных деревьев на вырубке в предыдущий год. Индекс встречаемости подроста (t) носит неоднородный характер независимо от технологического элемента вырубки (ЗП, 10П, 10Р). Так, на всей вырубке наибольший индекс отмечается на волоках $t = 0.7$, тогда как на участках с выравниванием колеи его значение равняется нулю. Заложенные учетные площадки показали полное отсутствие возобновления на 10Р участках в результате выравнивания и удаления верхних горизонтов, а также исходного подроста.

Изменение морфологического строения почв. В центральной части участка заложен опорный разрез (рис. 3). Дорубочный микрорельеф участка вершины увала — естественный для лесных экосистем, выраженный приствольными повышениями, обилием пней и валежа разной стадии разложения. Для почв исходного леса (ИЛ) характерна типичная лесная подстилка, состоящая из трех подгоризонтов различной степени разложения

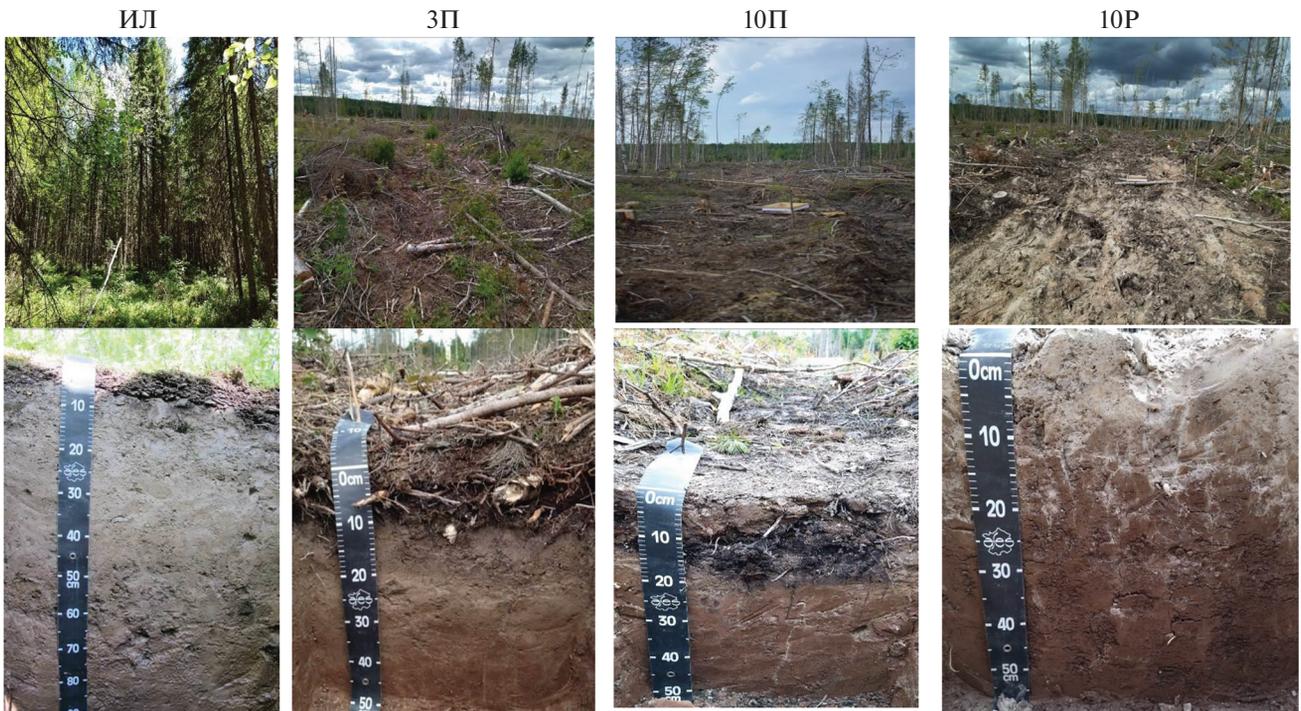


Рис. 3. Общий вид и профильное строение исследованных почв: ИЛ – исходный лес; ЗП – волок с тремя проходами, 10П – волок с десятью проходами, 10Р – волок с десятью проходами и последующим выравниванием.

растительных остатков (O(L), O(F), O(H)) [6]. Под подстилкой формируется белесый (2.5Y5/3–10YR6/3) элювиальный горизонт EL, представленный бесструктурным или слабоструктурным плитчатым суглинистым материалом. В горизонте обильно встречается окатанная порода, щебень и галька. Переход к субэлювиальному горизонту BEL постепенный, по утяжелению гранулометрического состава. Горизонт – от темно-коричневого до светло-серого цвета (7.5 YR 4/4), хорошо оструктурен и пронизан вертикальными языками элювиального горизонта с более легким супесчаным материалом. Под элювиальной толщей формируется коричневато-бурый (7.5Y4/4) среднесуглинистый хорошо выраженный текстурный горизонт BT с типичной для почв данного отдела многопорядковой структурой, с обилием кутан и скелетан. *Исходная почва – подзолистая.*

Разрез ЗП заложен в центральной части волока с тремя проходами форвардера. Напочвенного покрова нет, в верхней части подстилки много ветвей и хвои, однако перемешивания верхних горизонтов не наблюдается. Отмечено визуальное переуплотнение и дополнительное поступление органического вещества в верхние минеральные горизонты. Схема почвенного профиля: O(L) (0–2 см) – O(F + H) (2–5 см) – EL1 (5–15 см) – EL2 (15–25 см) – BEL (25–35 см) – BT1 (35–50 см). Органогенный горизонт исследованной почвы разделен на два подгоризонта по степени разло-

жения растительных остатков, представленных сухой хвоей, ветвями, остатками мхов и кустарничков и хорошо разложившимся опадом в нижней части горизонта. Верхний минеральный горизонт EL1 бесструктурный, белесый (2.5Y5/2), супесчаный, с обилием окатанных камней. Горизонт EL2 более светлый (2.5Y6/2) и более плотный, легкосуглинистый, но в целом совпадает с вышележащим горизонтом. Нижние минеральные горизонты BEL и BT не подверглись механическим нарушениям и аналогичны горизонтам фонового участка. *Почва – подзолистая.*

Разрез 10П заложен на волоке с 10 проходами тяжелой техники в месте глубокой колеи. Подстилка отсутствует, но на поверхности много ветвей, хвои и порубочных остатков. Строение почвенного профиля: TURcwd² (0–15 см) – EL (15–20 см) – BEL (20–30 см) – BT (30–50 см). Верхний турбированный горизонт TURcwd представляет собой минеральный горизонт серого цвета с примесью ветвей, хвои, шишек, единично встречаются камни. Формирующийся глубже элювиальный горизонт соответствует фону, но более уплотнен, проявляется плитчато-ореховатая структура. Субэлювиальный горизонт BEL и

² Индекс cwd обозначает присутствие крупных древесных остатков (с английского coarse wood debris). Подробно использование данного индекса в турбированных горизонтах описано нами ранее [14].

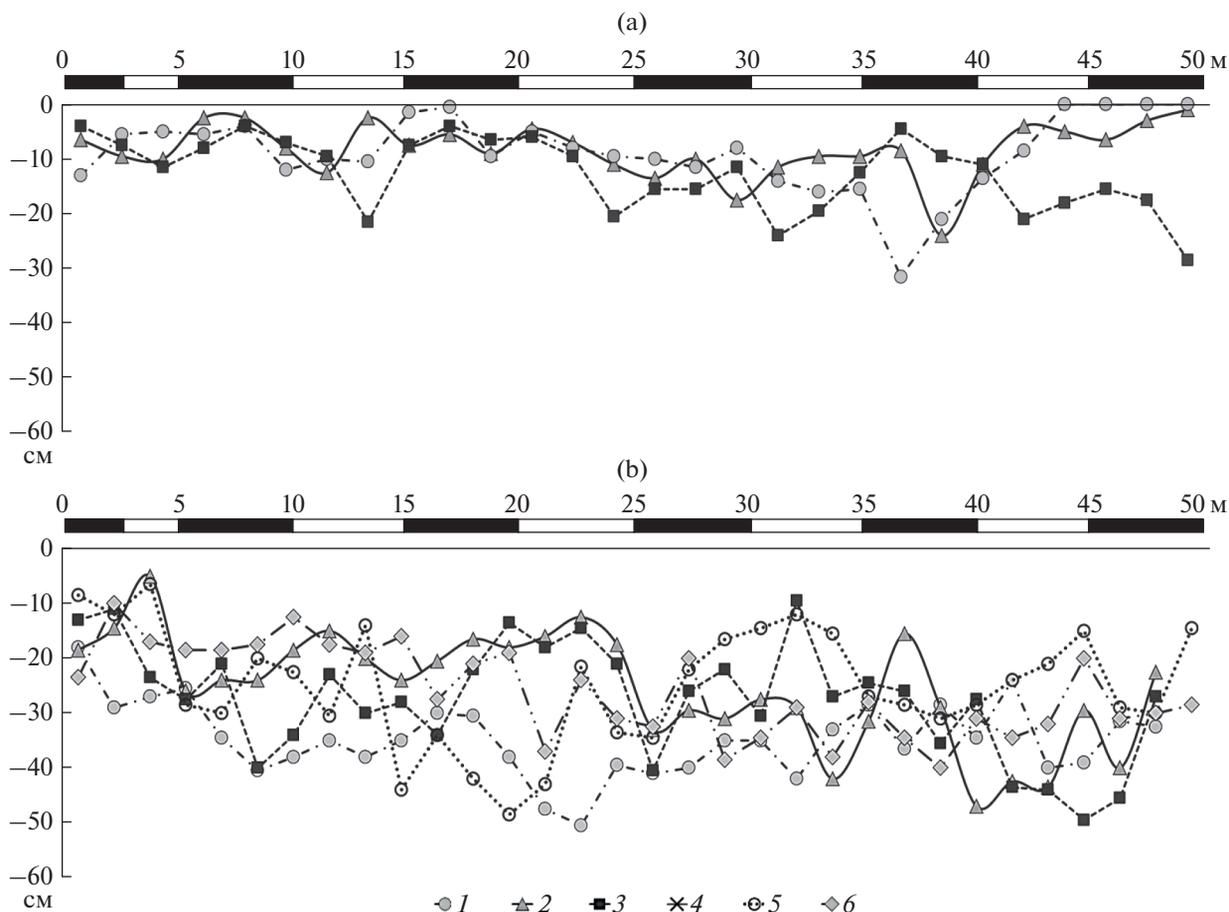


Рис. 4. Глубины колеи на волоках с тремя (а) и десятью (б) проходами. 1–6 – волока. Каждая линия – среднее значение из двух измерений (колеи).

текстурный ВТ также почти не претерпели морфологических изменений и аналогичны идентичным горизонтам исходной почвы. Однако наблюдается некоторое переуплотнение в срединных минеральных горизонтах. Почва диагностирована как *турбозем детритный*.

Разрез 10Р был заложен на участке с десятью проходами тяжелой техники и последующим выравниванием. Микрорельеф с западинами, в которых значительную часть летнего периода стоит вода. Верхние горизонты турбированы, восстановление растительности замедленно, на поверхности единичные ветви и остатки органогенного горизонта. Схема почвенного профиля: TUR (0–10 см) – BEL (10–20 см) – ВТ (20–50 см). Органогенный горизонт отсутствует, в результате выравнивания формируется турбированный горизонт TUR с частично сохранившимся строением горизонтов EL и BEL. В отличие от разреза 10П в нем существенно меньше порубочных остатков и растительного опада. Формирующийся ниже горизонт BEL коричневый (7.5YR4/3) с белыми языками, плотный. Текстурный горизонт представлен

коричневым (7.5YR4/3) тяжелым суглинком. Весь почвенный профиль сцементирован, вероятно, из-за циклов иссушения/увлажнения. Почва охарактеризована как *турбозем*.

Глубина колеи. В результате исследований выявлено, что колесная техника проминает почву на волоках с тремя проходами на 0–41 см (рис. 4). На волоках с тремя проходами средние значения глубины колеи варьировали от 8 до 13 см. Визуально более интенсивное проминание происходит на наиболее влажных участках. Установлено, что для участков с десятью проходами продавливание колесной техникой выражено значительно сильнее и составляет от 0 до 66 см. Средние значения для изученных волоков составляют от 23 до 35 см. Глубина колеи волоков с десятью проходами значительно (в 2–4 раза) превышает глубину на волоках с тремя проходами, даже при условиях высокой устойчивости почв.

Анализ показателей вариации позволил установить, что в среднем глубина продавливания на волоках с тремя проходами составляет 11 ± 8 см. Коэффициент вариации при этом 79% указывает

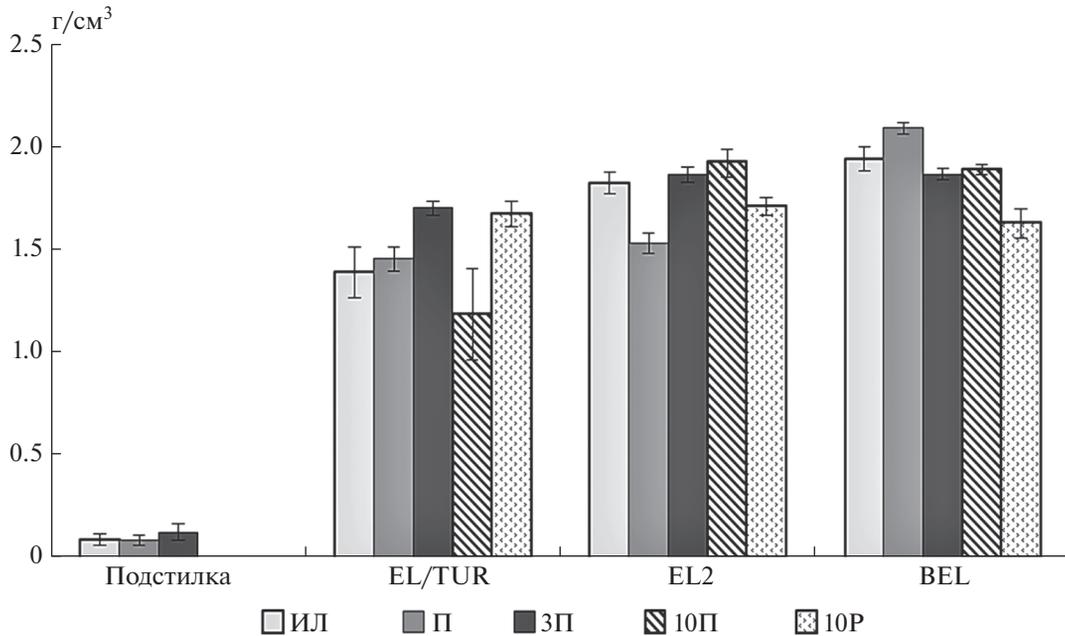


Рис. 5. Плотность сложения генетических горизонтов исследованных почв в опорных разрезах. ИЛ – исходная почва, П – разрез на пасечном участке после рубки, ЗП – разрез на волоке с тремя проходами, 10П – разрез на волоке с десятью проходами, 10Р – разрез на волоке с десятью проходами с выравниванием. Среднее значение ± среднее квадратичное отклонение ($n = 5$).

на неоднородность полученных показателей при соответствии нормальному распределению (критерий Колмогорова–Смирнова (D) составляет 0.149, при $p < 0.01$; W – критерий Шапиро–Уилка = 0.8654 при $p = 0.0000$). Для волоков с десятью проходами глубина колеи была в среднем 27 ± 12 см, при коэффициенте вариации 45%, обусловленном более однородной совокупностью значений глубин продавливания. При соответствии наблюдаемой выборки нормальному закону распределения (критерий $D = 0.05711$ при $p < 0.02$, критерий $W = 0.98633$ при $p = 0.0009$).

Плотность сложения исследуемых почв. Проведены исследования плотности сложения верхних генетических горизонтов после реализации эксперимента по разному количеству проходов на выделенных волоках. Плотность почвы пасечного участка после рубки близка к значениям плотности фонового участка. Плотность органогенного горизонта составляет 0.09 г/см^3 , минеральные горизонты характеризуются плотностью от 1.46 до 2.09 г/см^3 (рис. 5).

Для почв волоков выявлены некоторые изменения плотности генетических горизонтов. Показано увеличение плотности подстилки до 0.13 г/см^3 и верхнего элювиального горизонта до 1.70 г/см^3 в почве волока ЗП. Нижние минеральные горизонты имеют близкие к исходным (ИЛ) значения. Для почвы волока с десятью проходами показано уменьшение плотности сложения в верхнем минеральном горизонте (1.18 г/см^3) из-за его пере-

мешивания и разрыхления колесной техникой. Однако наблюдается увеличение плотности в срединном горизонте EL2 до 1.92 г/см^3 , вероятно, обусловленное продавливанием. Для почвы участка 10Р установлено увеличение плотности в турбированном горизонте (1.67 г/см^3), что близко к значениям верхнего элювиального горизонта почвы волока с тремя проходами. Нижние минеральные горизонты характеризуются менее плотным сложением ($1.63\text{--}1.71 \text{ г/см}^3$).

Достоверно значимых отличий по плотности сложения верхних горизонтов почв волоков в зависимости от числа проходов колесной техники выявлено не было. Однако следует отметить тенденцию к уменьшению плотности на волоках с десятью проходами, что, вероятно, связано с разрыхлением и перемешиванием генетических горизонтов.

Изменение физико-химических свойств. Исходная почва (ИЛ) развивалась на легких/средних суглинках. Сумма частиц физической глины варьирует от 19 до 31%. Выявлено утяжеление гранулометрического состава в нижних минеральных горизонтах, что отчетливо проявляется по содержанию илистой фракции. Доля фракции ила в верхних горизонтах незначительна (8–9%), но нижние горизонты характеризуются значительным увеличением ее содержания до 23%, коэффициент дифференциации по илу составляет 2.7.

Почва ИЛ слабокислая, значения pH_{H_2O} варьируют от 4.3 до 6.1. Наиболее кислой является подстилка, в минеральных горизонтах показатели pH приближаются к нейтральным значениям. Распределение углерода и азота по профилю регрессивно аккумулятивное с наибольшим содержанием в подстилках (34.4–44.5%) и минимальным – в минеральных горизонтах (0.1–0.45%). Органическое вещество подстилок характеризуется широким отношением C/N – от 29 до 37. Содержание фосфора в почве исходного участка варьирует от 100 до 1500 мг/кг. Максимальная концентрация выявлена в верхних подгоризонтах подстилки O(F) и O(F + H). Минеральные горизонты содержат фосфора в 6–18 раз меньше. Минимальное содержание фосфора выявлено в элювиальных горизонтах, что характерно для подзолистых почв.

Распределение дитионито- и оксалаторастворимых форм железа и алюминия в минеральных горизонтах имеет элювиально-иллювиальный тип распределения по профилю. Наблюдается вынос различных форм железа и алюминия из верхних минеральных горизонтов и аккумуляция в середине почвенного профиля с последующим уменьшением их содержания в нижних минеральных горизонтах. Физико-химические свойства соответствуют типичным почвам региона [35].

Характер накопления оксалаторастворимых форм железа в некоторой степени отражает степень гидроморфизма почвы. Считается, что значения коэффициента Швертамана (Кш) позволяют получить количественное выражение степени гидроморфизма почв [1, 9, 20]. Значения Кш варьировали от 0.4 до 0.6. Высокие показатели коэффициента Швертамана выявлены в срединных горизонтах (EL, BEL), где происходит застой влаги (Кш = 0.6). Затруднение фильтрации атмосферных осадков и повышенная гидроморфность в почвах на плоских поверхностях объясняется отсутствием латерального стока.

Для почвы пасечного участка (П) выявлено уменьшение содержания в элювиальных горизонтах, как дитионито- так и оксалаторастворимых форм железа по сравнению с исходной почвой. Вероятно возрастание подвижности рассматриваемых форм железа связано с увеличением влажности верхних генетических горизонтов почвы пасечного участка после рубки. Содержание алюминия в верхней части иллювиального горизонта уменьшается в 3 раза при двукратном возрастании на глубине 20–45 см. Содержание углерода и азота в характеризуется типичными закономерностями с максимальными значениями в органогенных (34.5–44.8% углерода, 1.11–1.90% азота) и уменьшением в минеральных (0.112–0.82% углерода, 0.018–0.033% азота) горизонтах. В почве пасечного участка по содержанию угле-

рода и азота не выявлено изменений с исходным состоянием. Наблюдались изменения по содержанию фосфора в почве пасечного участка после вырубki. Выявлено увеличение содержания в органогенных горизонтах (1700–1900 мг/кг) по сравнению с исходными значениями (1400–1500 мг/кг), минеральные горизонты характеризовались близкими значениями (46–150 мг/кг).

По химическим показателям для исследованных почв волоков выявлены как близкие показатели, так и заметные отличия с исходной почвой. Показатели кислотности в почвах волоков оставались аналогичными к таковым в исходной почве (табл. 3), $pH(H_2O)$ в почве волока с тремя проходами варьировал от 4.4 до 5.8 ед. pH , в почве на волоке с десятью проходами – от 4.7 до 5.9 ед. pH , в почве с выравниванием волока – 5.1–5.5 ед. pH . Наиболее кислыми являются органогенный подгоризонт O(F + H) (4.4 ед. pH) и верхний элювиальный горизонт (4.7) в почве волока 3П. Наблюдается увеличение кислотности верхнего турбированного горизонта TUR в почве волока с десятью проходами 10П до 4.7 ед. pH , что, вероятно, связано с увеличением на поверхности почвы количества ветвей, хвои и порубочных остатков.

Анализ гранулометрического состава (табл. 4) позволил выявить некоторое увеличение содержания фракций крупной и средней пыли в минеральных горизонтах почв волоков по сравнению с исходной почвой. Содержание крупной пыли составляет от 17 до 30%, содержание средней – от 2 до 10%, что в 1.1–1.6 раз больше, чем на фоновом участке. Кроме этого, выявлено увеличение илистой фракции в срединных и нижних минеральных горизонтах почв волоков в 1.2–5.0 раз. Содержание илистой фракции в почве 3П варьирует от 13 до 44%, в почве 10П – от 19 до 46%. Максимальное содержание и увеличение илистой фракции по сравнению с фоновой почвой выявлено для участка 10Р – от 27 до 60%. Распределение фракции физической глины (<0.01 мм) носит равномерно-элювиальное распределение с увеличением в нижних минеральных горизонтах. Удаление подстилки и в некоторых случаях элювиальных и субэлювиальных горизонтов, вскрывает более тяжелые нижележащие горизонты. Можно констатировать, что современные верхние горизонты почв волоков являются несколько более тяжелыми по гранулометрическому составу по сравнению с исходной почвой. Это может быть связано с пространственной неоднородностью почвообразующих пород. С другой стороны, смещение верхних минеральных горизонтов может способствовать выходу на дневную поверхность более тяжелых отложений.

Содержание углерода и азота в почвах волоков также характеризуется изменениями, проявляющимися в увеличении элементов в верхних мине-

Таблица 3. Физико-химические свойства почв

Разрез	Горизонт	Глубина, см	pH		C	N	C/N	Fe ₂ O _{3dith}	Fe ₂ O _{3ox}	Al ₂ O _{3ox}	Кш	P (вал), мг/кг	
			H ₂ O	KCl									%
ИЛ	O(L)	0–1	5.3	5.0	42.9 ± 1.5	1.73 ± 0.19	29	Не опр.					1400 ± 400
	O(F)	1–4	4.5	3.6	44.5 ± 1.6	1.72 ± 0.19	30	Не опр.					1500 ± 500
	O(H)	4–5	4.3	3.5	34.4 ± 1.2	1.10 ± 0.12	36	Не опр.					1400 ± 400
	EL1	5–20	5.0	3.9	0.45 ± 0.10	0.037 ± 0.011	14	0.54	0.23 ± 0.01	0.15 ± 0.04	0.4	100 ± 30	
	EL2	20–45	5.7	4.0	0.16 ± 0.04	0.021 ± 0.006	9	0.72	0.42 ± 0.01	0.13 ± 0.03	0.6	160 ± 50	
	BEL	45–65	5.8	4.1	0.21 ± 0.05	0.023 ± 0.007	11	0.82	0.51 ± 0.01	0.15 ± 0.04	0.6	180 ± 50	
	BT1	65–85	6.0	4.0	0.12 ± 0.03	0.024 ± 0.007	6	0.72	0.28 ± 0.01	0.13 ± 0.03	0.4	200 ± 60	
	BT2	85–110	6.1	3.9	0.12 ± 0.03	0.025 ± 0.007	6	0.80	0.29 ± 0.01	0.15 ± 0.04	0.4	220 ± 70	
П	O(L)	0–1	5.4	4.4	44.8 ± 1.6	1.90 ± 0.21	28	Не опр.					1900 ± 600
	O(F)	1–4	4.6	3.6	44.4 ± 1.6	1.60 ± 0.18	32	Не опр.					1800 ± 500
	O(H)	4–5	4.2	3.2	40.0 ± 1.4	1.22 ± 0.13	38	Не опр.					1700 ± 500
	EL1	5–20	4.6	3.8	0.31 ± 0.07	0.025 ± 0.007	14	0.05	0.0032 ± 0.08	0.054 ± 0.013	0.6	46 ± 14	
	EL2	20–40	5.0	4.2	0.54 ± 0.12	0.033 ± 0.010	19	0.12	0.066 ± 0.016	0.272 ± 0.06	0.5	130 ± 40	
	BEL	40–60	5.5	3.7	0.112 ± 0.026	0.019 ± 0.006	7	0.72	0.45 ± 0.108	0.133 ± 0.03	0.6	150 ± 40	
	O(L)	0–2	5.1	4.5	47.0 ± 1.6	1.24 ± 0.14	44	Не опр.					1200 ± 400
	O(F+H)	2–5	4.4	3.4	42.5 ± 1.5	1.25 ± 0.14	40	Не опр.					1500 ± 400
3П	EL1	5–15	4.7	3.8	0.65 ± 0.15	0.049 ± 0.010	15	0.33	0.28 ± 0.07	0.15 ± 0.03	0.8	160 ± 50	
	EL2	15–25	5.4	3.9	0.15 ± 0.03	0.017 ± 0.005	10	0.38	0.28 ± 0.04	0.112 ± 0.027	0.7	180 ± 50	
	BEL	25–35	5.7	3.6	0.14 ± 0.03	0.019 ± 0.006	9	0.80	0.37 ± 0.09	0.14 ± 0.03	0.5	190 ± 60	
	BT	35–50	5.8	3.7	0.16 ± 0.04	0.023 ± 0.007	8	1.01	0.35 ± 0.08	0.16 ± 0.04	0.3	240 ± 70	
	TUR _{cwd}	0–15	4.7	3.6	2.2 ± 0.3	0.112 ± 0.022	23	0.25	0.16 ± 0.04	0.18 ± 0.04	0.6	220 ± 70	
10П	EL	15–20	5.3	3.9	0.27 ± 0.06	0.026 ± 0.008	12	0.31	0.18 ± 0.04	0.115 ± 0.028	0.6	150 ± 40	
	BEL	20–30	5.7	3.5	0.18 ± 0.04	0.026 ± 0.008	8	1.02	0.46 ± 0.07	0.193 ± 0.046	0.5	240 ± 70	
	BT	30–50	5.9	3.6	0.15 ± 0.03	0.026 ± 0.008	7	1.15	0.34 ± 0.06	0.15 ± 0.036	0.3	320 ± 100	
10Р	TUR	0–10	5.1	3.8	0.32 ± 0.07	0.031 ± 0.009	12	0.59	0.35 ± 0.08	0.141 ± 0.034	0.6	160 ± 50	
	BEL	10–20	5.5	3.4	0.25 ± 0.06	0.038 ± 0.011	8	1.21	0.42 ± 0.06	0.28 ± 0.07	0.3	250 ± 70	
	BT	20–50	5.7	3.4	0.17 ± 0.04	0.035 ± 0.010	6	1.15	0.31 ± 0.07	0.212 ± 0.05	0.3	330 ± 100	

Примечание. Не опр. — не определяли. Кш — коэффициент Швермана — отношение оксалагорастворимых форм железа к дигионгорастворимым.

Таблица 4. Гранулометрический состав почв

Разрез	Горизонт	Глубина, см	Размер гранулометрических элементов (мм) и их содержание, %							
			песок		пыль			ил	сумма частиц	
			крупный + средний	мелкий	крупная	средняя	мелкая		>0.01 мм	<0.01 мм
			1–0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	0.01–0.005	0.005–0.001	<0.001		
ИЛ	EL1	5–20	35	30	16	5	5	9	81	19
	EL2	20–45	19	31	22	7	12	9	72	28
	BEL	45–65	31	35	14	1	11	8	80	20
	BT1	65–85	20	38	15	0	5	22	73	27
	BT2	85–110	16	38	15	1	7	23	69	31
3П	EL1	15–15	49	19	18	5	2	7	86	14
	EL2	15–25	20	29	23	6	13	9	72	28
	BEL	25–35	14	32	21	5	13	15	67	33
	BT	35–50	10	30	16	6	11	27	56	44
10П	TURcwd	0–15	31	29	18	6	7	9	78	22
	EL	15–20	32	26	23	6	6	7	81	19
	BEL	20–30	13	25	18	6	15	23	56	44
	BT	30–50	13	23	19	8	11	28	54	46
10Р	TUR	0–10	18	29	25	9	13	5	73	27
	BEL	10–20	8	13	19	5	14	41	40	60
	BT	20–50	8	17	18	6	13	40	42	58

ральных горизонтах. В почве 3П содержание углерода и азота было максимально близко к исходным значениям благодаря меньшей техногенной нагрузке. В органогенном горизонте почвы 3П накапливается 42.5–47.0% углерода и 1.24–1.25% азота, в минеральных горизонтах содержание углерода варьировало от 0.14 до 0.65%, азота – 0.017–0.049%, что соответствует исходным значениям. Содержание углерода в турбированных горизонтах почв 10П и 10Р составляло от 0.32 до 2.2%, азота 0.031–0.112%. В нижних минеральных горизонтах значения были близки к исходным концентрациям. Максимальное содержание углерода (2.2%) и азота (0.112) в минеральных горизонтах было выявлено для почвы с десятью проходами 10П, что обусловлено перемешиванием подстилок с верхними минеральными горизонтами, тем самым увеличивается количество органики в минеральных горизонтах.

Распределение железа и алюминия в основном носит элювиально-иллювиальный характер с выносом из элювиальных горизонтов и аккумуляцией в середине почвенного профиля. Содержание дитиониторастворимого железа в почвах волоков несколько больше, чем в почве ИЛ и варьирует от 0.25 до 1.21%. Содержание оксалаторастворимых форм железа характеризуется близкими значениями с исходной почвой (0.16–0.46%). Вероятно, увеличение содержания связано с изменениями в водном режиме исследованных почв. Установлено, что почвы волоков более влажные по сравне-

нию с исходной почвой до рубки леса (Кш = 0.3–0.6). Кш на волокнах варьирует от 0.3 до 0.8. Максимальные значения характерны для верхних элювиальных и турбированных горизонтов (Кш = 0.6–0.8). Содержание оксалаторастворимого алюминия слабо дифференцировано по профилю почв волоков.

Распределение валового фосфора в профиле физически нарушенных почв имеет аккумулятивный характер с увеличением содержания в нижних минеральных горизонтах, что соотносится с результатами для исходных почв. Содержание фосфора в подстилке почвы 3П аналогичны значениям для исходной почвы до рубки (1000–1200 мг/кг). Основные отличия касаются минеральных горизонтов. Для всех почв волоков характерно общее возрастание фосфора в минеральных горизонтах по сравнению с исходной почвой. Для почвы волокна с тремя проходами содержание варьировало от 160 до 220 мг/кг, для почвы 10П – от 150–320 и 160–330 мг/кг для 10Р. Важной особенностью почв волоков является увеличение содержания фосфора в верхних элювиальных и турбированных горизонтах от 100 мг/кг в фоновой почве до 160–220 мг/кг в почвах волоков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе полевого эксперимента смоделированы условия с различным числом проходов форвардера, а также мероприятия, связанные с выравнива-

нием волоков. Выявлено, что число проходов тяжелой лесозаготовительной техники является определяющим фактором трансформации почв и растительного покрова. При одинаковых условиях и нагрузке форвардера, колеи с разной степенью нарушения (3 и 10 проездов) существенно отличаются между собой по степени трансформации почв.

На волоках с тремя проездами форвардера наблюдается формирование колеи глубиной 11 ± 3 см. Глубина колеи при десяти проездах трактора может достигать 66 см со средними значениями, равняющимися 27 ± 4 см. Здесь фиксировали большее число видов мхов и сосудистых растений, более быстрое восстановление проективного покрытия нижних ярусов. Выравнивание территорий волоков приводит к полному уничтожению растительного покрова и наибольшей трансформации естественного сложения верхних горизонтов почв на большей площади. Выявлено статистически значимое увеличение плотности верхнего минерального горизонта в почве волока с тремя проездами.

Для почвы волока с десятью проездами показано уменьшение плотности сложения в верхнем минеральном турбированном горизонте из-за его перемешивания и разрыхления колесной техникой. Но при этом, наблюдается увеличение плотности в нижележащем срединном минеральном горизонте, сохранившем естественное морфологическое сложение. Верхние горизонты почвы волока, на котором провели выравнивание с использованием экскаватора, характеризуются статистически значимым возрастанием плотности по сравнению с исходной почвой в связи с выходом на поверхность более тяжелых нижележащих горизонтов.

Оценено изменение почв и растительности в первый год после воздействия техники с разной интенсивностью. Можно предположить, что дальнейшее восстановление и изменение рассматриваемых компонентов экосистем будет происходить с разной скоростью. Данные объекты могут быть использованы для дальнейшего мониторинга успешности лесовозобновления в зависимости от проводимых лесохозяйственных мероприятий.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работы выполнены в рамках ГБ тем “Криогенез как фактор формирования и эволюции почв арктических и бореальных экосистем европейского Северо-Востока в условиях современных антропогенных воздействий, глобальных и региональных климатических трендов” (№ 122040600023-8) и “Зональные закономерности динамики структуры и продуктивности первичных и антропогенно измененных фитоценозов лесных и болотных экосистем европейского северо-востока России” (№ 122040100031-8).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аветов Н.А., Сопова Е.О., Головлева Ю.А. и др.* Диагностика гидроморфизма в почвах автономных позиций Северо-Сосьвинской возвышенности (Западная Сибирь) // Почвоведение. 2014. № 11. С. 1283–1292. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14110021>
2. Атлас почв Республики Коми / Под ред. Г.В. Добровольского, А.И. Таскаева, И.В. Забоевой. Сыктывкар, 2010. 356 с.
3. Атлас Республики Коми по климату и гидрологии / Под ред. А.И. Таскаева. М.: Наука, 1997. 116 с.
4. Атлас Республики Коми. М., 2011. 448 с.
5. *Бобкова К.С., Лиханова Н.В.* Потоки азота и зольных элементов в системе почва–фитоценоз на вырубках среднетаежных ельников Республики Коми // Лесоведение. 2019. № 6. С. 512–523. <https://doi.org/10.1134/S0024114819060020>
6. *Богатырев Л.Г., Демин В.В., Матышак Г.В., Сапожникова В.А.* О некоторых теоретических аспектах исследования лесных подстилок // Лесоведение. 2004. № 4. С. 17–29.
7. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
8. *Варфоломеев Л.А.* О почвообразовании на вырубках еловых лесов в северной части среднетаежной подзоны // Почвоведение. 1964. № 8. С. 15–24.
9. *Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Гилев В.Ю.* Минералы железа в красноцветных почвах Предуралья // Почвоведение. 2007. № 4. С. 475–486.
10. *Водяницкий Ю.Н., Шоба С.А.* Дискуссионные вопросы интерпретации результатов химической экстракции соединений железа из почв // Почвоведение. 2014. № 6. С. 697–704. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14060112>
11. *Дегтева С.В.* Параметры экологического пространства и флористическое разнообразие лесных формаций европейского северо-востока России // Экология. 2005. № 3. С. 180–185.
12. *Долгая В.А., Бахмет О.Н.* Свойства лесных подстилок на ранних этапах естественного лесовозобновления после сплошных рубок в средней тайге Карелии // Лесоведение. 2021. № 1. 65–77. <https://doi.org/10.31857/S0024114821010022>
13. *Дымов А.А.* Влияние сплошных рубок в бореальных лесах России на почвы (обзор литературы) // Почвоведение. 2017. № 7. С. 787–798. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17070024>
14. *Дымов А.А.* Почвенные сукцессии в бореальных лесах Республики Коми. М.: ГЕОС, 2020. 336 с. <https://doi.org/10.34756/GEOS.2020.10.37828>
15. *Дымов А.А.* Почвы механически нарушенных участков лесосек средней тайги Республики Коми // Лесоведение. 2018. № 2. С. 130–142. <https://doi.org/10.7868/S0024114818020055>

16. Дымов А.А., Старцев В.В. Изменение температурного режима подзолистых почв в процессе естественного лесовозобновления после сплошных рубок // Почвоведение. 2016. № 5. С. 599–608. <https://doi.org/10.7868/S0032180X16050038>
17. Иванов В.В. Экологические последствия механизированных лесозаготовок в южной тайге Красноярского края // Лесоведение. 2005. № 2. С. 3–8.
18. Ильинцев А.С., Наквасина Е.Н. Образование коллейности при проходе лесозаготовительной техники в ельниках на двучленных породах // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. № 237. С. 168–182. <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2021.237.168-182>
19. Ипатов В.С., Мирин Д.М. Описание фитоценоза. Методические рекомендации. Учебно-методическое пособие. СПб., 2008. 71 с.
20. Караваева Н.А. Заболачивание и эволюция почв. М.: Наука, 1982. 296 с.
21. Катаров В.К., Сюнев В.С., Ратькова Е.И., Герасимов Ю.Ю. Влияние форвардеров на лесные почвогрунты // Resources and Technology. 2012. № 9(2). С. 73–81.
22. Крышень А.М. Растительные сообщества вырубок Карелии. М.: Наука, 2006. 262 с.
23. Ларин Б.В. Смена древесных пород на севере // Научн. докл Коми НЦ УрО АН СССР. Сыктывкар: УрО АН СССР, 1987. Вып. 174. 17 с.
24. Ларин В.Б., Паутов Ю.А. Формирование хвойных молодняков на вырубках северо-востока европейской части СССР. Л.: Наука, 1989. 144 с.
25. Леса Республики Коми / Под ред. Г.М. Козубова, А.И. Таскаева. М., 1999. 332 с.
26. Лесное хозяйство Республики Коми. Статистический сборник. Сыктывкар: Комистат, 2012. 114 с.
27. Лиханова И.А., Перминова Е.М., Шушпанникова Г.С., Железнова Г.В., Пыстина Т.Н., Холопов Ю.В. Динамика растительности после сплошнолесосечных рубок ельников черничных (среднетаежная подзона европейского северо-востока России) // Растительность России. 2021. № 40. С. 108–136. <https://doi.org/10.31111/vegus/2021.40.108>
28. Медведева М.В., Ананьев В.А., Яковлев А.С. Влияние лесозаготовительной техники на биологическую активность почв Карелии // Экология и промышленность России. 2015. Т. 19. № 9. С. 42–48. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2015-9-42-48>
29. Мелехов И.С., Корконосова Л.И., Чертовский В.Г. Руководство по изучению типов концентрированных вырубок. М., 1965. 68 с.
30. Наквасина Е.Н., Ильинцев А.С., Дунаева А.-А.П. Восстановительные сукцессии поврежденных почвенного покрова при проведении рубок ухода в ельнике черничном северной тайги // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2021. Т. 25. № 6. С. 11–19. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2021-6-11-19>
31. Осипов А.Ф., Тужилкина В.В., Дымов А.А., Бобкова К.С. Запасы фитомассы и органического углерода среднетаежных ельников при восстановлении после сплошнолесосечной рубки // Известия РАН. Сер. биологическая. 2019. № 2. С. 215–224. <https://doi.org/10.1134/S0002332919020103>
32. Панов А.В., Онуцин А.А., Зражевская Г.К., Шибистова О.Б. Структура и динамика пулов органического вещества на вырубках в сосняках лишайниковых среднетаежной подзоны Приенисейской Сибири // Изв. РАН. Сер. биологическая. 2012. № 6. С. 658–666.
33. Паутов Ю.А., Ильчуков С.В. Пространственная структура производных насаждений на сплошных концентрированных вырубках в Республике Коми // Лесоведение. 2001. № 2. С. 27–32.
34. ПНД Ф 16.1:2.3.11-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой.
35. Побединский А.В. Изучение лесовосстановительных процессов. М., 1966. 65 с.
36. Подзолистые почвы центральной и восточной частей европейской территории СССР. Л.: Наука, 1981. С. 118–152.
37. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
38. Приказ Федерального агентства лесного хозяйства (Рослесхоз) “Об утверждении Правил заготовки древесины” № 337 от 1 августа 2011 г. М., 2011.
39. Соколов А.И. Лесовосстановление на вырубках северо-запада России. Петрозаводск, 2006. 215 с.
40. Стороженко В.Г. Устойчивые лесные сообщества. Теория и эксперимент. Тула: Гриф и К., 2007. 192 с.
41. Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Л.А. Воробьевой. М., 2006. 400 с.
42. Тощева Г.П. Изменение почвенного покрова на вырубках ельников южной тайги. Автореф. дис. ... канд. биол. н. М., 1988. 24 с.
43. Уланова Н.Г. Восстановительная динамика растительности сплошных вырубок и массовых ветровалов в ельниках южной тайги (на примере европейской части России). Автореф. дис. ... докт. биол. н. М., 2006. 48 с.
44. Уланова Н.Г. Основные тренды динамики биоразнообразия после природных и антропогенных “катастроф” в ельниках европейской части России // Вестник Тверского гос. ун-та. Сер. Биология и экология. 2018. № 3. С. 317–335. <https://doi.org/10.26456/vtbio20>
45. Cambi M., Certini G., Neri F., Marchi E. The impact of heavy traffic on forest soils: A review // Forest Ecology and Management. 2015. V. 338. P. 124–138. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.11.022>
46. Eliasson L. Effects of forwarder type pressure on rut formation and soil compaction // Silva Fennica. 2005. № 39(4). P. 549–557.
47. Goutal N., Renault P., Ranger J. Forwarder traffic impacted over at least four year a soil air composition of two forest soils in northeast France // Geoderma. 2013. V. 193–194. P. 29–40. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.10.012>
48. Santesson R., Moberg R., Nordin A., Tønnsberg T., Vitikainen O. Lichenforming and lichenicolous fungi of Fennoscandia. Museum of Evolution. Uppsala. 2004. 359 p.

Changes in Soil and Vegetation with Different Number of Passes of Wheeled Forestry Equipment (Middle Taiga, Komi Republic)

A. A. Dymov^{1, *, **}, V. V. Startsev¹, N. M. Gorbach^{1, 2}, D. A. Severgina¹, I. N. Kutyaev¹,
A. F. Osipov¹, and Yu. A. Dubrovsky¹

¹*Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, 167982 Russia*

²*Pitirim Sorokin Syktyvkar state University, 55, Oktyabrsky Prospekt, Syktyvkar, 167001 Russia*

**e-mail: aadymov@gmail.com*

***e-mail: dymov@ib.komisc.ru*

Changes in podzolic soils (Albic Retisols) and vegetation after felling blueberry spruce forest in the territory of the middle taiga of the Komi Republic are presented. Changes in the morphological and physico-chemical properties of soils are given with three and ten passes of the forwarder, as well as with a ten pass with subsequent alignment of the drags to remove the ruts. It is shown that the number of forwarder passes is the determining factor in soil changes. It was found that on the site with three passes, the formation of ruts with a depth of 11 ± 3 cm is observed, while with ten passes, the depth of the ruts can reach up to 66 cm, with an average value of 27 ± 4 cm. Alignment of the territories of the portages leads to the greatest transformation of the natural composition of the upper soil horizons, over a larger area. As significant increase in the bulk density of the upper mineral horizon in the soil of the trail with three passes. For the soil of with ten passes, a decrease in the bulk density in the upper mineral mixture horizon is shown due to its mixing and loosening by wheeled vehicles. But at the same time, an increase in density is observed in the underlying median mineral horizon, which has retained its natural composition. The upper horizons of the soil of the portage, on which alignment was carried out using an excavator, are characterized by a significant increase in bulk density compared to the original soil. It was revealed that the renewal of the main tree species in the first year after felling is extremely uneven. It is noted that with a strong clutter on the portages, there is no renewal, which requires additional measures to improve the renewal on these technological elements of cutting area. In the leveled areas of the portages, the absence of renewal in the first year after felling was revealed, however, it can be assumed that in the future these areas will be fairly quickly populated with undergrowth of tree species.

Keywords: soil compaction, track leveling, felling, Retisols, field experiment