

ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ СУКЦЕССИИ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РУБОК УХОДА В ЕЛЬНИКЕ ЧЕРНИЧНОМ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ

Е.Н. Наквасина¹, А.С. Ильинцев², А.-А.П. Дунаева¹

¹ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), 163002, Россия, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, д. 17

²ФБУ Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, 163062, г. Архангельск, ул. Никитова, д. 13

nakvasina@yandex.ru

Представлены материалы изучения повреждений почвенного покрова при проведении двухприемных (1973 и 2002 гг.) рубок переформирования в ельнике черничном северной тайги (хлыстовая трелевка, трактор ТДТ-55). Установлены типы повреждений, сохраняющиеся при восстановительной сукцессии в течение 50 лет и имеющие признаки, связанные с нарушениями, которые вызваны проведением работ. Выявлено, что мозаичность перемешанных горизонтов сохраняется, придавленная техникой лесная подстилка заменяется новообразованной при сохранении нетипичного для нативной подзолистой почвы органогенного горизонта средней степени разложения. Указано, что наиболее частым нарушением верхних горизонтов почв при проведении рубок ухода, связанных с недостаточным покрытием волоков порубочными остатками, является формирование перемешанного горизонта, формирующегося в связи с перемешиванием почв гусеницами трактора. Определена доля таких повреждений — 77 и 79 % на волоках 1973 и 2002 гг. соответственно, но глубина повреждения невелика: в среднем 10 см, с колебаниями до 22 см. При этом установлены развитие в нано- и микропонижениях процессов оторфянивания и оглеения, постепенное увеличение числа локализаций с проявлением заболачивания почв. Обнаружено, что доля заболоченных почв в 2,5 раза выше на волоках 1973 г., чем на волоках 2002 г. (86,9 и 37,3 % соответственно). Длительное сохранение нарушений почвенного покрова по строению почвенного профиля вызывает необходимость разработки классификационных подходов для совершенствования диагностики антропогенно нарушенных почв на лесосеках. Даны предложения по выделению классификационных единиц.

Ключевые слова: рубки ухода, лесозаготовительная техника, почвенный покров, нарушения, сукцессии, классификация

Ссылка для цитирования: Наквасина Е.Н., Ильинцев А.С., Дунаева А.-А.П. Восстановительные сукцессии повреждений почвенного покрова при проведении рубок ухода в ельнике черничном северной тайги // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 6. С. 11–19. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-6-11-19

Лесозаготовительные работы, связанные с рубкой и трелевкой деревьев, оказывают непосредственное воздействие на почвенный покров при любой технологии — от самой простой до самой сложной — с применением многооперационной техники [1]. Во время проведения технологических операций техника сдирает лесную подстилку, оголяя минеральные горизонты, или перемешивает верхние горизонты почвы, смешивая органогенные слои с минеральными, но при этом почти всегда уплотняет почву, формирует колеи разной глубины и т. п. Это может послужить причиной деградации почв [2], так как при антропогенных нарушениях происходят изменения не только их физических, химических и биологических свойств, но и изменяется структура почвенного покрова [3–5]. Равнинные участки колеи и другие углубления, которые появляются при проходе техники, часто являются сборниками осадков и заполняются водой на длительный период, что приводит к развитию процессов оглеения и локального анаэробно-биологического разложения [6].

Восстановление нарушенных почв происходит на протяжении нескольких десятилетий после проведения рубок, а в некоторых случаях имеют

место и необратимые повреждения [7, 8]. Наблюдения показывают, что в течение 15 лет после рубки глубокие колеи сглаживаются, но полностью не исчезают [9].

Несомненно, восстановление почв после повреждений лесозаготовительной техникой связано с длительностью периода после рубки [7, 10] и при этом зависит от свойств почвы [1], глубины воздействия [11]. Считается, что процесс восстановления почв на вырубках может затянуться на десятилетия. По данным работ [12–14], только на восстановление физических свойств почв может потребоваться 30...40 лет, а, согласно работе [15], в условиях таежной зоны оно может растянуться и на 70 лет. Еще больше времени необходимо для восстановления структуры почвенного профиля. По мнению авторов работы [7], на это может уйти до 140 лет, в зависимости от групп почв, классифицированных по последствиям нарушений почвенного покрова. На значительные сроки восстановления морфологических признаков турбированных горизонтов указано также в работе [16], в которой представлены материалы исследований, проведенных в близких условиях.

Изменения в строении почвенного профиля, вызываемые различными типами воздействия лесозаготовительной техники, обуславливают структурные изменения и диагностические особенности, которые могут сохраняться длительное время, а, следовательно, должны учитываться при оценке лесосек и при их восстановлении. Для восстановления нарушенных почв, подвергшихся различному антропогенному воздействию, необходима разработка новых подходов к их детальным классификациям [17, 18] для включения и совершенствования новой Классификации и диагностики почв России [19], для составления которой впервые была привлечена научная общественность.

Цель работы

Цель работы — рассмотрение изученных сукцессионных изменений в строении почвенного покрова на основном технологическом элементе (волоке) при рубках ухода в черничном типе леса (в пределах северной тайги) для разработки подходов к классификации почв пострубочных экосистем.

Объекты и методы

Исследования проведены в 2019–2020 гг. на участке рубок переформирования в Усть-Двинском участковом лесничестве Архангельского лесничества (северная тайга). Двухприемные рубки проводились в 1973 г. и в 2002 г. в спелом насаждении состава 6ЕЗС1Б+Ос черничного типа леса коридорным способом. Коридоры шириной 4 м закладывали в первый прием через 30 м, во второй — сдвигая на 10 м в сторону пасаки. Рубку проводили бензопилой, трелевку хлыстами — гусеничным трактором ТДТ-55. Несмотря на значительную массу (9,6 т) давление гусениц этой модели на грунт составляет не более 0,45 МПа, что позволяет работать на почвогрунтах с низкой несущей способностью [20]. Трактор ТДТ-55 относится к относительно легкой технике, поскольку масса современных лесозаготовительных машин с грузом достигает 40 т [21].

Выборка по запасу при проведении рубок ухода составила 48 м³/га (21 %). Очистку лесосек проводили укладкой порубочных остатков на волоки. Однако вследствие малой выборки при рубках ухода они покрывали только 31,5 % площади волоков при объеме 38,9 м³/га [22], что, несомненно, сказалось на повреждении почвенного покрова.

Почвенный покров на участке представлен типичной для ельников черничных северной тайги почвой — поверхностно-подзолистой легкосуглинистой иллювиально-железистой на тяжелом моренном суглинке. Для изучения структуры и

типичности повреждения почв при трелевке на волоках (края волока и центр) и пасаках проводили почвенное опробование путем закладки прикопок, вскрывая верхние почвенные горизонты до глубины не более 40 см. Именно до этой глубины диагностируются повреждения почв при лесозаготовках [17]. Общее число точек опробования составило 180 шт.

Для предварительного определения колеяного и межколеяного пространства на волоках провели почвенное опробование на траншеях, заложенных поперек волоков. В настоящее время на обоих волоках колеи затянуты растительностью, заметны только на отдельных участках волоков, как правило в понижениях, а повреждения почв характерны по всей ширине волока. Поэтому дальнейшее точечное почвенное опробование проводили в центре волока (ожидаемое межколеяное пространство) и по краям волока (ожидаемые колеи) с шагом 2 м.

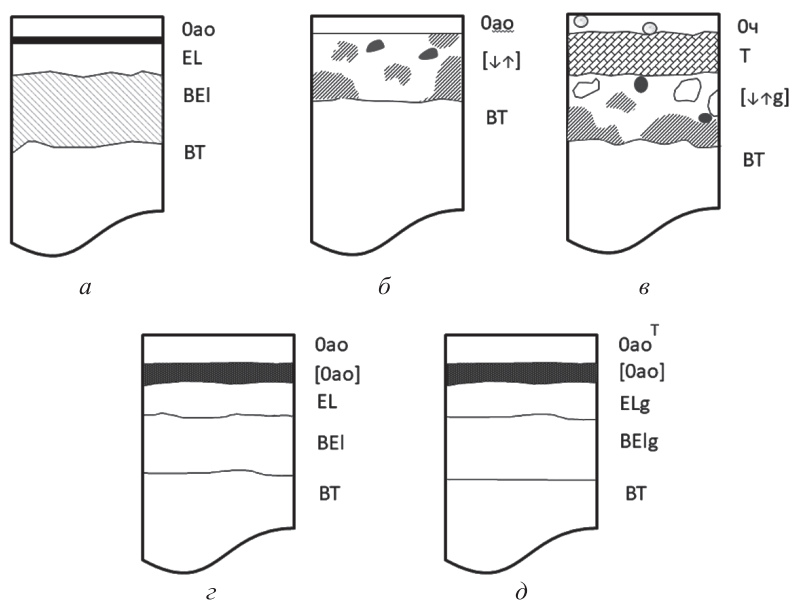
Каждую прикопку и траншею описывали с выделением типичных классификационных горизонтов и перемешанных горизонтов, в которых отмечались мозаичный состав, присутствие детрита различной степени разложения, наличие родовых и видовых признаков (оглеения, оторфывания и разложения органогенных горизонтов), замерялась толщина горизонтов согласно [19]. Одновременно проводили учет естественного возобновления и живого напочвенного покрова по общепринятым методикам.

Результаты и обсуждение

В настоящее время на волоках, по сравнению с пасаками, произошло породное и численное изменение в разрастающемся естественном возобновлении и в представленности видов живого напочвенного покрова. Модификации при восстановительной сукцессии, связанные с растительностью, отражаются в реградации почвенного покрова.

Почвенное опробование (42 точки) на пасаках в год обследования не выявило нарушений поверхностных горизонтов почвы, строение их не было нарушенным, мощность подзолистого горизонта Е1 в среднем составляла 3 см.

На пасаках средний состав подроста — 60Е37Ос3Б, общая численность — 5,5 тыс. шт./га. Представленность подроста на волоках 1973 г. (46 лет после рубки) и волоках 2002 г. (17 лет после рубки) отличается, что может быть связано с совпадением или несовпадением года рубки с семенными годами, прежде всего хвойных пород. В северных районах семенные годы ели и сосны наблюдаются через 3...5 и 15 лет соответственно [23]. На волоке рубки 1973 г. состав подроста — 75Е15Б7Ос3С при средней численности



Строение почвенных профилей нативной подзолистой почвы на пасаках (а), нарушенных почв на волоках с перемешанным горизонтом без заболачивания (б), с заболачиванием (в), с трансформацией лесной подстилки без заболачивания (г) и с заболачиванием (д)

The structure of native podzolic soil profiles on swath (a), damaged soils on skid roads with a mixed bedrock without waterlogging (б), with waterlogging (в), with transformation of forest litter without waterlogging (г) and with waterlogging (д)

18,9 тыс. шт./га. Преобладающий подрост ели представлен различными категориями крупности. Тогда как на волоке рубки 2002 г. возобновление шло преимущественно березой и осинкой, подрост сосны и ели в основном мелкий, ослабленный, поселившийся после пионерных березы и осины. Состав подроста — 36Б26С22Е16Ос при средней численности 11,5 тыс. шт./га. Подлесок на волоках распространен единично или группами и представлен рябиной, можжевельником, шиповником, ивой в общей численности 0,6 тыс. шт./га. Под пологом древостоя два последних вида отсутствуют, численность подлеска не превышает 0,2 тыс. шт./га.

На пасаке напочвенный покров представлен типичными лесными видами (численность травяно-кустарничкового яруса — 28 видов, мохово-лишайникового — 16 видов) с преобладанием *Vaccinium myrtillus* (среднее проективное покрытие 43 %). В моховом покрове преобладает типичный для этого типа леса мох Плеурозиум Шребери (*Pleurozium schreberi*) (30 %), проективное покрытие сопутствующих мхов Политрихума обыкновенного (*Polytrichum commune*), Хилокомиума блестящего (*Hylocomium splendens*), видов рода Сфагнум (*Sphagnum sp.*) составляет 10...15 % каждого вида. На волоках осветление, нарушение почвенного покрова (в том числе колеиность), частичное покрытие детритом и формирование нано- и микровариаций рельефа привело к изменению растительного покрова. Так, спустя 17 лет

после рубки, на волоках резко увеличивается число видов травяно-кустарничкового яруса (36 видов), число видов мохово-лишайникового яруса изменяется незначительно (18 видов). При этом проективное покрытие черники (*Vaccinium myrtillus*) уменьшилось на 22 %, а доля мхов рода сфагнум закономерно увеличилась до 35 % (варьирует в пределах от 10...50 %), при относительно стабильном проективном покрытии типичных зеленых мхов. На волоках спустя 46 лет после рубки число видов в травяно-кустарничковом и мохово-лишайниковом ярусах приблизилось к исходному насаждению (пасаке) и составило 29 и 28 видов соответственно. Проективное покрытие черники (23 %) и типичными зелеными мхами (15 %) остается стабильным, проективное покрытие сфагновых мхов остается достаточно высоким по сравнению с пасакой (в среднем 30 %, варьирует в пределах 5...65 %). Влаголюбивые мхи являются индикаторами процессов поверхностного заболачивания, происходящих в почве.

На волоке шириной 4 м в почвенных разностях не просматривается четкое деление по повреждениям на колеи и межколеинное пространство (центр волока), что может быть обусловлено как техническими характеристиками применяемой техники (при ширине ходовой части 2,35 м, ширине гусениц — 44, дорожного просвета — 55,5 см), так и извилистостью движения трактора между оставленными на волоке пнями, перевалкой

через них. В результате припневая часть почвы остается ненарушенной, а остальная часть волока, свободная от пней и крупных порубочных остатков, повреждена по всей ширине проезжей части трактора однотипно, о чем позволяет судить наличие и толщина перемешанного горизонта. Средняя толщина перемешанного горизонта на волоках 1973 г. составляет 8,9...10,4 см, на волоках 2002 г. — 10,5...10,7 см, при среднем коэффициенте изменчивости (36...39%). Подобный тип повреждения может быть связан также и с недостаточным покрытием волока порубочными остатками при проведении рубок ухода, в отличие от сплошных рубок.

Все это привело к тому, что при проведении почвенного опробования на волоках отмечены различные типы повреждения почв, зафиксированные в строении почвенного профиля (верхних горизонтов) и сохраняющие типичные признаки при восстановительной сукцессии разных сроков проведения лесозаготовительных работ (рисунок).

На волоках часто встречаются повреждения почвенного покрова, связанные с перемешиванием верхних горизонтов почвы (см. рисунок, б). В этом случае в толще почвенного разреза выделяется перемешанный горизонт, состоящий из двух (подзолистого и иллювиального), или трех (лесной подстилки, подзолистого и иллювиального) горизонтов, что идентифицируется по мозаике пятен. В первом случае на фоне белесого цвета подзолистого горизонта видны пятна рыжего цвета иллювиального горизонта, во втором случае к ним примешиваются органогенные пятна черного цвета, представленные хорошо разложившейся лесной подстилкой (торфяно-подстилочный горизонт Оао).

В некоторых случаях при прохождении восстановительной сукцессии в условиях длительного сезонного застоя поверхностной влаги развиваются процессы заболачивания (см. рисунок, в), которые могут проявляться как образованием торфа с формированием толщи сфагнового очеса на его поверхности, так и с появлением признаков оглеения, выражающихся в появлении глинистых веществ в минеральных горизонтах, прежде всего в перемешанном и контактирующим с ним иллювиальным. При сильной степени оглеения прослеживается смена окраски иллювиального горизонта на «стальной». Провокация оглеения и степень развития процесса оглеения может быть связана не только с наличием нано- и микропонижений (в том числе колеи), возникающих от проезда тяжелой техники, но также и с уплотнением почвы, которое может прослеживаться на почвах подзолистого типа на глубину до 30 см и более [9]. Разрастание сфагновых мхов подтверждает и идентифицирует такие микропонижения, которые связаны с застоем влаги.

Кроме почв с наличием перемешанного горизонта на волоках встречаются почвы с измененным строением верхней толщи почвенного профиля (см. рисунок, з), присущего нативным (типичные подзолистые почвы — см. рисунок, а) почвам, за счет появления новообразованной лесной подстилки с типичными признаками (строением по подгорizontам и окраской), но залегающей на органогенном слое толщиной не менее 4 см. Ниже этого слоя лежат типичные минеральные горизонты подзолистой почвы (E1 и BE1) ненарушенного строения. Подобный органогенный горизонт имеет равномерную среднюю до сильной степень разложения и, скорее всего, представляет собой погребенную толщу ранее существующей лесной подстилки (горизонт Оао). В этих местах могло быть уплотнение почвы без ее перемешивания или сдвига за счет локального покрытия поверхности порубочными остатками. Такие почвы, несомненно, нельзя считать турбоземами по определению [19]. В то же время их нельзя считать нативными аналогами и относить к неповрежденным. Воздействие было прежде всего за счет уплотнения, и оно привело к изменениям строения почвенного профиля, характерного для нативных почв. Несомненно, такие почвы быстрее восстановятся при прохождении восстановительной сукцессии, однако даже через 46 лет после проведения лесозаготовительных работ фиксируется сохранение признаков нарушения.

При подобных нарушениях почвенного покрова также сказывается влияние застоя поверхностной влаги в нано- и микропонижениях. Здесь могут развиваться процессы поверхностного заболачивания, связанного с сезонным застоем влаги. В этом случае (см. рисунок, д) на толще погребенной лесной подстилки начинает образовываться слой торфа со сфагновым очесом с включением неразложившихся детритных остатков, особенно хорошо заметных на ранних стадиях восстановительной сукцессии, в рассматриваемом случае через 17 лет после проведения лесозаготовительных работ. Детритные остатки вдавлены техникой в лесную подстилку и консервируются при формировании торфа. В нижележащих минеральных горизонтах появляются типичные признаки оглеения, отражающиеся в появлении скольжения, придаваемого глинистыми минералами, и изменении окраски.

Почвенное опробование, проведенное на волоках различных лет проведения рубок ухода, позволило установить доленое участие типов повреждения почв (табл. 1).

Наиболее частым нарушением верхних горизонтов почв является их перемешивание гусеницами трактора и формирование перемешанного горизонта, который сохраняется в настоящее время.

Доля таких повреждений почв составляет 77 и 79 % на волоках 1973 и 2002 гг. соответственно. Длительность восстановительной сукцессии сказалась на развитии процессов заболачивания. На волоках 1973 г. доля заболоченных почв в 2,5 раза выше, чем на волоках 2002 г. (86,9 и 37,3 % соответственно). Причем к заболачиванию при восстановительной сукцессии чаще склонны почвы с наиболее выраженным нарушением поверхностных горизонтов почв, связанным с перемешиванием. Несмотря на «затягивание» колеи, формирующихся на волоке, хорошо заметно по точечному опробованию почв, что все же наиболее частое и сильное воздействие характерно для краев волока, где и формируются более устойчивые колеи. Вопреки хлыстовой вывозке древесины суглинистые почвы подвержены образованию колеиности [24].

Застой влаги ведет к образованию торфа в пониженных локациях и затягиванию сфагновыми мхами уже через 17 лет после воздействия техники на почву (табл. 2).

По мере восстановительной сукцессии на волоках идет постепенное увеличение доли заторфованных участков, однако толщина торфа увеличивается незначительно и составляет в среднем 8...9 см (изменчивость 48...53 %). Скорее с возрастом сукцессии усиливаются процессы оглеения минеральных горизонтов, лежащих ниже.

Особый интерес представляет вопрос о количестве и сохранности порубочных остатков в толще почвы, что, по мнению А.А. Дымова [17], позволяет идентифицировать нарушенные почвы на лесосеках как турбоземы детритные. При проведении рубок ухода (выборочных рубок) количество детрита значительно меньше, как отмечалось выше. На поверхности волоков спустя 17...46 лет после рубки ухода в ельнике черничном неразложившиеся порубочные остатки встречаются единично, и только в виде оснований крупных сучьев. Повышенная освещенность и инсоляция приводят к быстрому разложению мелкого и среднего по крупности детрита. При проведении исследований детритные остатки различной степени разложения встречались в формирующихся после повреждений слоях торфа и лесной подстилки. Часто детрит включен и в перемешанный горизонт. Торф способствует более длительному сохранению детритных остатков, способствуя их консервации и снижая скорость разложения. Однако наличие порубочных остатков в толще почвы через десятилетия после нарушения почв на объектах выборочных рубок нельзя считать повсеместным и имеющим важное значение для образования восстановленных почв.

В то же время, говоря о совершенствовании классификации почв с подобными антропоген-

Т а б л и ц а 1

Распределение точек опробования с различными признаками нарушения в толще почвенного профиля (%)

Distribution of sampling points with different signs of damage in the soil profile (%)

Местоположение точек опробования	Число точек	С наличием перемешанного горизонта		Без перемешанного горизонта	
		Без признаков оглеения	С признаками оглеения	Без признаков оглеения	С признаками оглеения
Волок 1973 г.					
Центр волока	22	9,1	59,1	9,1	22,7
Края волока	39	0	82,1	10,2	7,7
Итого	61	3,3	73,8	9,8	13,1
Волок 2002 г.					
Центр волока	22	54,5	18,3	22,7	4,5
Края волока	37	40,5	43,2	13,5	2,7
Итого	59	45,8	33,9	16,9	3,4

Т а б л и ц а 2

Наличие торфяной залежи и ее мощность при восстановительной сукцессии поврежденных почв на волоках при проведении рубок ухода 1973 и 2002 гг.

The presence of a peat deposit and its thickness during the progressive succession of damaged soils on the skid roads during thinning in 1973 and 2002

Показатель	1973 г.	2002 г.
Число точек опробования почв	48	18
Количество (%) точек опробования с толщиной торфа, см		
0...10	68,8	77,0
10...20	29,2	23,0
> 20	2,0	0

ными нарушениями, а также имея в виду расширяющиеся исследования по влиянию лесозаготовительной техники на почвенный покров лесных насаждений, этот вопрос следует рассматривать во всех аспектах, и не только как результат сплошных рубок, но акцентируя внимание и на рубках выборочного характера. Это даст возможность разработать превентивные меры по снижению повреждений почв, проследить восстановительные сукцессии, применяя однотипную терминологию для сравнительных исследований. Основой для типологической систематики антропогенно нарушенных почв являются разработки, представленные в работе [19], в которой впервые и начали рассматривать подобные почвы.

Почвы с перемешанными горизонтами, согласно работе [19], относят к отделу турбированных почв. Перемешанный горизонт считается турбированным. Учитывая, что основой типов турбоземов являются особенности турбированного горизонта (с фрагментами горизонтов исходной почвы), в названии турбоземов должен быть включен исходный тип почвы. По мнению, изложенному в работе [25], изменение морфологических и физико-химических автоморфных подзолистых текстурно-дифференцированных почв на вырубках не сопровождается переходом почв, в частности, подзолистых в еловом типе леса, в другой тип.

В качестве дополнительных признаков, по нашему мнению, должны быть отражены сукцессионные изменения, связанные с преобразованиями поврежденных горизонтов и формированием новых поверхностных горизонтов разного генезиса, связанного с изменением водно-воздушного режима на лесосеках и образованием глубоких локальных повреждений почвенного покрова. Можно предложить и видовые признаки по мощности турбированного горизонта: мелкие (мелкотурбированные) — до 15 см; средние (среднетурбированные) — 15...30; глубокие (глубокотурбированные) — более 30 см.

Таким образом, почвы с наличием перемешанного горизонта, встреченные нами на волоках при проведении рубок ухода, можно по аналогии с Классификацией и диагностикой почв России (2004) считать реградированными турбоземами типичными постподзолистыми мелкотурбированными и реградированными турбоземами поверхностно-гидроморфными постподзолистыми мелкотурбированными, выражая их строение соответствующими индексами и символами:

$$\text{Oao} + \text{TUR}[\uparrow\downarrow\text{OAO-EI-BEI}] + \text{BT} + \text{C},$$

$$\text{TO} + \text{T} + \text{TURg}[\uparrow\downarrow\text{OAO-EI-BEI}] + \text{BT}(\text{g}) + \text{C}.$$

Строение почв без наличия в толще профиля перемешанного горизонта, но имеющее в почвенном профиле признаки нарушения и реградации, можно выразить следующей системой таксономических единиц, соблюдая принципы, представленные в работе [19]:

$$\text{Oao} + [\text{Oao}] + [\text{EI}] + [\text{BEI}] + \text{BT} + \text{C},$$

$$\text{TO} + \text{T} + [\text{Oao}] + [\text{EIg}] + [\text{BEIg}] + \text{BT}(\text{g}) + \text{C}.$$

Однако терминология почв с неявными нарушениями строения почвенного профиля пока остается неопределенной. На первых порах в этом направлении предлагаем называть их псевдотурбоземами: псевдотурбозем реградированный постподзолистый и псевдотурбозем реградированный поверхностно-гидроморфный. Такие почвы требуют дополнительного изучения и наблюдения при восстановительной сукцессии.

Различные типы повреждений почвенного покрова будут по-разному влиять на восстановительные процессы на лесосеках [9, 26]. Необходимо в дальнейшем проводить оценку лесосек по представленности типов повреждений на технологических элементах, а для этого важно знать свойства измененных почв, унифицировать термины и определения, проследить их связь с процессами лесовосстановления.

В перспективе продолжающихся исследований морфологического и диагностического строения почв, нарушенных при проведении лесозаготовительных работ при проведении как сплошных, так и выборочных рубок, будут постепенно складываться их терминология и диагностические признаки. Изучение почв на различных этапах восстановительной сукцессии позволит также проследить сроки и пути развития морфолого-генетических изменений в почвенном покрове, разработать систему классификационных единиц для лучшего понимания и систематизации происходящих процессов.

Выводы

Почвенные нарушения, оставленные лесозаготовительной техникой на волоках при пасечном способе проведения рубок ухода в черничном типе леса, даже в случае относительно легкой техники (ТДТ-55), сохраняются до 50 лет. Морфологические изменения, приближающие нарушенное строение почвенного профиля в верхних горизонтах подзолистых почв к нативным, не происходят. Сохраняется мозаичность перемешанных горизонтов. Придавленная техникой лесная подстилка заменяется новообразованной при сохранении нетипичного для нативной подзолистой почвы органогенного горизонта средней степени разложения. В нано- и микропонижениях развиваются процессы оторфянивания, образуется слой торфа, в котором консервируются порубочные остатки, а также происходит оглеение разной степени в нижележащих минеральных горизонтах. По крайней мере, в течение 50 лет после рубки число локализаций с проявлением заболачивания почв постепенно увеличивается. На волоках, возникших на 30 лет позднее при втором проходе рубок ухода, доля таких локаций значительно ниже.

Длительное сохранение нарушений почвенного покрова по строению почвенного профиля вызывает необходимость изучения свойств нарушенных почв по типам нарушений. Это необходимо для планирования лесовосстановительных работ, оценки естественного возобновления, а также для разработки классификационных подходов в целях совершенствования диагностики антропогенно нарушенных почв на лесосеках.

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых — кандидатов наук в рамках проекта МК-2622.2021.5 «Закономерности изменения лесорастительной среды под влиянием антропогенных факторов (рубок леса) в бореальных лесах Севера»

Список литературы

- [1] Cambi M., Certini G., Neri F., Marchi E. Impact of heavy traffic on forest soils: a review // *Forest Ecology and Management*, 2015, v. 338, pp. 124–138. DOI: 10.1016/j.foreco.2014.11.022
- [2] Akay A.E., Yuksel A., Reis M., Tutus A. The impacts of ground-based logging equipment on forest soil // *Polish J. of Environmental Studies*, 2007, v. 16, no. 3, pp. 371–376.
- [3] Worrell R., Hampson A. The influence of some forest operations on the sustainable management of forest soils: a review // *Forestry*, 1997, v. 70, pp. 61–85.
- [4] 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, v. 220, iss. 1–3, pp. 31–50. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.003>
- [5] Zetterberg T., Olsson B.A., Löfgren S., Brömssen C.V., 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, v. 302, pp. 280–294. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.03.030>
- [6] Дымов А.А., Лаптева Е.М. Изменение подзолистых почв на двучленных отложениях при рубках // *Лесоведение*, 2006. № 3. С. 42–49.
- [7] Рожков В.А., Карпачевский Л.О. Лесной покров России и охрана почв // *Почвоведение*, 2006. № 5. С. 1157–1164.
- [8] Klaes B., Struck J., Schneider R., Schu G. Middle-term effects after timber harvesting with heavy machinery on a fine-textured forest soil // *European J. of Forest Research*, 2016, v. 135, pp. 1083–1095. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-0995-2>
- [9] Ilintsev A., Bogdanov A., Nakvasina E., Amosova I., Koptev S., Tretyakov S. The natural recovery of disturbed soil, plant cover and trees after clear-cutting in the Boreal Forests, Russia // *iForest*, 2020, v. 13, pp. 531–540. DOI: 10.3832/ifor3371-013
- [10] Mohieddinna H., Brasseur B., Spichera F., Gallet-Morona E., Buridanta J., Kobaisib A., Horena H. Physical recovery of forest soil after compaction by heavy machines, revealed by penetration resistance over multiple decades // *Forest Ecology and Management*, 2019, v. 449, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117472>
- [11] Goutal N., Boivin P., Ranger J. Assessment of the natural recovery rate of soil specific volume following forest soil compaction // *Soil Science Society of America Journal*, 2012, v. 76, p. 1426. <https://doi.org/10.2136/sssaj2011.0402>
- [12] Буш К.К., Иевинь И.К. Экологические и технологические основы рубок ухода. Рига: Зинатне, 1984. 174 с.
- [13] Рубцов М.В., Дерюгин А.А., Салмина Ю.Н., Гурцев В.И. Водорегулирующая роль таежных лесов. М.: Агропромиздат, 1990. 223 с.
- [14] Чертовской В.Г., Аникеева В.А., Кубрак Н.И. Влияние сплошных рубок на водорегулирующие и почвозащитные функции северотаежных лесов // *Материалы отчетной сессии по итогам НИР в XI пятилетке*. – Архангельск: Изд-во АИЛыЛХ, 1986. С. 48–49.
- [15] Серый В.С., Аникеева В.А., Вялых Н.И., Кубрак Н.И. Изменение лесорастительных условий вырубок при современных лесозаготовках // *Экологические исследования в лесах Европейского Севера*. Архангельск, 1991. С. 3–15.
- [16] Дымов А.А. Почвы механически нарушенных участков лесосек средней тайги Республики Коми // *Лесоведение*, 2018. № 2. С. 130–142.
- [17] Дымов А.А. Сукцессии почв в бореальных лесах Республики Коми / под ред. Е.Ю. Милановского. М.: Изд-во ГЕОС, 2020. 336 с.
- [18] Прокофьева Т.В., Герасимова М.И., Безуглова О.С., Бахматова К.А., Гольева А.А., Горбов С.Н., Жарикова Е.А., Матинян Н.Н., Накvasina E.H., Сивцева Н.Е. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // *Почвоведение*, 2014. № 10. С. 1155–1164.
- [19] Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 343 с.
- [20] О спецтехнике. URL: <http://spez-tech.com/tehnika/lesozagotovitel'naya/trelevochnnye-traktoryi/tdt/55-harakteristiki-ustroystvo-konstruktsii-stoimost.html> (дата обращения 06.03.2021 г.).
- [21] Eliasson L. Effects of forwarder tyre pressure on rut formation and soil compaction // *Silva Fennica*, 2005, v. 39, no. 4, pp. 549–557. DOI: 10.14214/sf.366
- [22] Бурова Н.В., Феклистов П.А. Антропогенная трансформация пригородных лесов. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. 264 с.
- [23] Салаховец П.М. Лесные культуры. Архангельск: ИПЦ САФУ, 2012. 222 с.
- [24] Лаптева Е.М., Втюрин Г.М., Бобкова К.С., Каверин Д.А., Дымов А.А., Симонов Г.А. Изменение почв и почвенного покрова еловых лесов после сплошнолесосечных рубок // *Сибирский лесной журнал*, 2015. № 5. С. 64–76.
- [25] Ilintsev A., Nakvasina E., Aleynikov A., Tretyakov S., Koptev S., Bogdanov A. Middle-term changes in topsoils properties on skidding trails and cutting strips after long-gradual cutting: a case study in the boreal forest of the north-east of Russia // *Croatian J. of Forest Engineering*, 2018, v. 39, no. 1, pp. 71–83. <http://www.crojfe.com/site/assets/files/4189/ilintsev.pdf>
- [26] Катаров В.К., Сюнев В.С., Рагькова Е.И., Герасимов Ю.Ю. Влияние форвардеров на лесные почвогрунты // *Resources and Technology*, 2012. № 9(2). С. 73–81.

Сведения об авторах

Накvasина Елена Николаевна — д-р с.-х. наук, профессор кафедры лесоводства и лесоустройства Высшей школы естественных наук и технологий Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, Почетный работник ВПО РФ, nakvasina@yandex.ru

Ильинцев Алексей Сергеевич — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства», ilintsev666@yandex.ru

Дунаева Алиса-Анастасия Павловна — аспирант кафедры лесоводства и лесоустройства Высшей школы естественных наук и технологий Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, a.apanicina@narfu.ru

Поступила в редакцию 12.03.2021.

Принята к публикации 06.09.2021.

PRODRSSIVE SOIL SUCCESSION AFTER THINNING IN NORTHERN TAIGA BILBERRY SPRUCE FOREST

E.N. Nakvasina¹, A.S. Ilintsev², A.-A.P. Dunaeva¹

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17, Naberezhnaya Severnoy Dviny st., 163002, Arkhangelsk, Russia

²Northern Research Institute of Forestry, 13, Nikitova st., 163062, Arkhangelsk, Russia

nakvasina@yandex.ru

Damage to the top soil layers during logging operations can be of various forms (compaction, mixing, pressing, etc.) and of a long-term character. The recovery of the morphological characters and the structure of the soil profile of the native soil can take decades or have irreversible effect. We have studied the soil damage during two-stage (1973 and 2002) conversion thinning operations in the spruce forest with blueberry cover in the northern taiga (tree-length log skidding, TDT-55 tractor). The types of damage that stay during the progressive succession for 50 years and have signs of disturbances due to the logging operations were identified. The mosaic structure of the mixed bedrocks still continues to exist. The forest litter pressed by the heavy machines is replaced by the newly formed one. And at the same time, the organic bedrock of the medium degree of decomposition, which is untypical for the native podzolic soil, is preserved. Mixing by tractor tracks and the formation of mixed bedrock is the most common disturbance of the upper bedrock during logging operations due to insufficient coverage of the skid roads by felling residues. The amount of such damage to the soil is 77 % and 79 % in the skid roads of 1973 and 2002, respectively. But the depth of damage is small, which is 10 cm on average, with fluctuations up to 22 cm. In nano- and micro-depressions, the processes of peat formation and gleying develop. The number of locations with the genesis of bog soils is gradually increasing. On the skid roads of 1973 the proportion of wetlands is 2,5 times higher than in the skid roads of 2002 (86,9 % and 37,3 %, respectively). The long-term soil disturbance in the structure of the soil profile makes it necessary to develop classification approaches to improve the analysis of anthropogenic disturbed soils in cutting areas. The classification units are suggested.

Keywords: logging, logging equipment, soil cover, violations, successions, classification

Suggested citation: Nakvasina E.N., Ilintsev A.S., Dunaeva A.-A.P. *Vosstanovitel'nye suksessii povrezhdeniy pochvennogo pokrova pri provedenii rubok ukhoda v el'nikе chernichnom severnoy taygi* [Prodrssive soil succession after thinning in northern taiga bilberry spruce forest]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 6, pp. 11–19. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-6-11-19

References

- [1] Cambi M., Certini G., Neri F., Marchi E. Impact of heavy traffic on forest soils: a review. *Forest Ecology and Management*, 2015, v. 338, pp. 124–138. DOI: 10.1016/j.foreco.2014.11.022
- [2] Akay A.E., Yuksel A., Reis M., Tutus A. The impacts of ground-based logging equipment on forest soil. *Polish J. of Environmental Studies*, 2007, v. 16, no. 3, pp. 371–376.
- [3] Worrell R., Hampson A. The influence of some forest operations on the sustainable management of forest soils: a review. *Forestry*, 1997, v. 70, pp. 61–85.
- [4] 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, v. 220, iss. 1–3, pp. 31–50. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.003>
- [5] Zetterberg T., Olsson B.A., Löfgren S., Brömssen C.V., 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, v. 302, pp. 280–294. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.03.030>
- [6] Dymov A.A., Lapteva E.M. *Izmeneniye podzolistykh pochv na dvuchlennykh otlozheniyakh pri rubkakh* [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] Rozhkov V.A., Karpachevskiy L.O. *Lesnoy pokrov Rossii i okhrana pochv* [The Forest Cover of Russia and Soil Conservation] *Pochvovedeniye* [Eurasian Soil Science], 2006, no. 10, pp. 1157–1164.
- [8] Klaes B., Struck J., Schneider R., Schu G. Middle-term effects after timber harvesting with heavy machinery on a fine-textured forest soil. *European J. of Forest Research*, 2016, v. 135, pp. 1083–1095. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-0995-2>
- [9] Ilintsev A., Bogdanov A., Nakvasina E., Amosova I., Koptev S., Tretyakov S. The natural recovery of disturbed soil, plant cover and trees after clear-cutting in the Boreal Forests, Russia. *iForest*, 2020, v. 13, pp. 531–540. DOI: 10.3832/ifer3371-013
- [10] Mohieddinnea H., Brasseur B., Spichera F., Gallet-Morona E., Buridanta J., Kobaisib A., Horena H. Physical recovery of forest soil after compaction by heavy machines, revealed by penetration resistance over multiple decades. *Forest Ecology and Management*, 2019, v. 449, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117472>
- [11] Goutal N., Boivin P., Ranger J. Assessment of the natural recovery rate of soil specific volume following forest soil compaction. *Soil Science Society of America Journal*, 2012, v. 76, p. 1426. <https://doi.org/10.2136/sssaj2011.0402>
- [12] Bush K.K., Iyevin' I.K. *Ekologicheskiye i tekhnologicheskiye osnovy rubok ukhoda* [Ecological and technological bases of thinning]. Riga: Zinatne, 1984, 174 p.
- [13] Rubtsov M.V., Deryugin A.A., Salmina U.N., Gurtsev V.I. *Vodoreguliruyushchaya rol' tayezhnykh lesov* [Water regulating role of taiga forests]. Moscow: Agropromizdat, 1990, 223 p.

- [14] Chertovskoy V.G., Anikeyeva V.A., Kubrak N.I. et al. *Vliyaniye sploshnykh rubok na vodoreguliruyushchiyei pochvozashchitnyye funktsii severotayezhnykh lesov* [Impact of clearcutting on water regulation and soil protection functions of boreal forests] *Materialy otchetnoy sessii po itogam NIR v XI pyatiletke* [Materials of the reporting session on the results of research in the XI five-year period]. Arkhangelsk: AILiLH, 1986, pp. 48–49.
- [15] Seryy V.S., Anikeyeva V.A., Vyalykh N.I., Kubrak N.I. *Izmeneniye lesorastitel'nykh usloviy vyrubok pri sovremennykh lesozagotovkakh* [Changes in the forest growing conditions of the cutting area during modern logging] *Ekologicheskiye issledovaniya v lesakh Yevropeyskogo Severa: Sb. nauch. trudov.* [Proc. Ecological research in the forests of the European North]. Arkhangelsk, 1991, pp. 3–15.
- [16] Dymov A.A. *Pochvy mekhanicheskii narushennykh uchastkov lesosek sredney taygi Respubliki Komi* [Soils of mechanically disturbed sites at cuttings of the middle taiga of the Komi Republic] *Lesovedeniye* [Russian Journal of Forest Science], 2018, no. 2, pp. 130–142. DOI: 10.7868/S0024114818020055
- [17] Dymov A.A. *Suktssessii pochv v boreal'nykh lesakh Respubliki Komi* [Soil succession at boreal forests of the Komi Republic]. Moscow: GEOS, 2020, 336 p. DOI: 10.34756/GEOS.2020.10.37828
- [18] Prokof'yeva T.V., Gerasimova M.I., Bezuglova O.S., Bakhmatova K.A., Gol'yeva A.A., Gorbov S.N., Zharikova E.A., Matinyan N.N., Nakvasina E.N., Sivtseva N.E. *Vvedeniye pochv i pochvopodobnykh obrazovaniy gorodskikh territoriy v klassifikatsiyu pochv Rossii* [Inclusion of soils and soil-like bodies of urban territories into the Russian soil classification system]. *Pochvovedeniye* [Eurasian Soil Science], 2014, no. 10, pp. 1155–1164. DOI: 10.7868/S0032180X14100104
- [19] *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and Diagnosis of Soils in Russia]. Smolensk: Oykumena, 2004, 343 p.
- [20] *O spetsstekhnike* [About special equipment]. Available at: <http://spez-tech.com/tehnika/lesozagotovitel'naya/trelevochnyie-traktoryi/tdt/55-harakteristiki-ustroystvo-konstruktsii-stoimost.html> (accessed 6 March 2021).
- [21] Eliasson L. Effects of forwarder tyre pressure on rut formation and soil compaction. *Silva Fennica*, 2005, v. 39, no. 4, pp. 549–557. DOI: 10.14214/sf.366
- [22] Burova N.V., Feklistov P.A. *Antropogennaya transformatsiya prigorodnykh lesov* [Anthropogenic transformation of suburban forests], Arkhangelsk: ASTU, 2007, 264 p.
- [23] Malakhovets P.M. *Lesnyye kul'tury: ucheb. Posobiye* [Forest cultivation: textbook]. Arkhangelsk: NArFU, 2012, 222 p.
- [24] Lapteva E.M., Vtyurin G.M., Bobkova K.S., Kaverin D.A., Dymov A.A., Simonov G.A. *Izmeneniye pochv i pochvennogo pokrova elovykh lesov posle sploshnolesosechnykh rubok* [Changes in soils and soil cover of spruce forests after clearcutting]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2015, no. 5, pp. 64–76.
- [25] Ilintsev A., Nakvasina E., Aleynikov A., Tretyakov S., Koptev S., Bogdanov A. Middle-term changes in topsoils properties on skidding trails and cutting strips after long-gradual cutting: a case study in the boreal forest of the north-east of Russia. *Croatian J. of Forest Engineering*, 2018, v. 39, no. 1, pp. 71–83. <http://www.crojfe.com/site/assets/files/4189/ilintsev.pdf>
- [26] Katarov V.K., Syunev V.S., Rat'kova E.I., Gerasimov U.U. *Vliyaniye forvarderov na lesnyye pochvo-grunty* [Impact of forwarders on forest soils], *Resources and Technology*, 2012, no. 9 (2), pp. 73–81.

Authors' information

Nakvasina Elena Nikolaevna — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Department of Forestry and Forest Management of the Higher School of Natural Sciences and Technology of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, nakvasina@yandex.ru

Ilintsev Aleksey Sergeevich — Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher at the Northern Research Institute of Forestry, ilintsev666@yandex.ru

Dunaeva Alisa-Anastasiya Pavlovna — Pg. student of the Department of Forestry and Forest Management of the Higher School of Natural Sciences and Technology of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, apanicina@narfu.ru

Received 12.03.2021.

Accepted for publication 06.09.2021.