

ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

УДК 504.054:630.11

В. С. Столбин, С. А. Голякевич

Белорусский государственный технологический университет

АНАЛИЗ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ МАШИН И ТЕХНОЛОГИЙ НА ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

В статье рассмотрена проблема комплексной оценки антропогенного воздействия лесопромышленных машин и технологий их применения на различные экологические характеристики лесного фонда: загрязнение приземных слоев атмосферы, нарушения биоценозов, повреждение напочвенного покрова. Произведен анализ некоторых независимых исследований в области оценки и снижения антропогенного влияния лесных машин. Выделены основные категории природных компонентов, воздействие машин на которые приводит к уплотнению почвы, нарушению фильтрационных и водных характеристик почвы, увеличению приземных концентраций продуктов сгорания топлива, повреждению и нарушению морфологического состава древостоев, нарушению постоянного равновесия между показателями экосистем леса. Для каждого из этих компонентов приведены организационные и технические мероприятия, которые предположительно могут снизить уровень негативного воздействия при освоении лесосек механизированными средствами. Отмечены пути дальнейших исследований с целью образования единой универсальной методики оценки. Сделано предположение о перспективах поиска единого показателя уровня негативного воздействия, который потенциально может являться целевым фактором при планировании освоения лесосек и проектировании конструкций лесных машин для различных природных и экономических условий.

Ключевые слова: лесозаготовка, антропогенное влияние, лесные машины, характеристики почвы, морфологический состав древостоев.

V. S. Stolbin, S. A. Golyakevich

Belarusian State Technological University

ANALYSIS OF SCIENTIFIC RESEARCH IN THE ASSESSMENT OF ECOLOGICAL INFLUENCE OF FORESTRY MACHINES AND TECHNOLOGIES ON FOREST ECOSYSTEMS

The article considers the problem of a comprehensive assessment of the anthropogenic impact of forestry machines and their use technologies on various characteristics and indicators of the ecological environment of the forest. The analysis of some independent researches in the assessment and reduction of the anthropogenic impact of forest machines. The main categories of natural components are identified, the impact on which allows us to assess the overall level of negative impact: soil compaction, filtration and water characteristics of the soil, surface concentrations of fuel combustion products, damage and disturbance of the morphological composition of forests, violation of the constant equilibrium between indicators of forest ecosystems. For each of these components, organizational and technical measures are presented that can presumably reduce the level of negative impact during the development of cutting areas by mechanized means. Ways of further research with the aim of forming a unified universal assessment methodology are noted. An assumption is made about the prospects of finding a single indicator of the level of negative impact, which is a regulatory factor in planning the development of a cutting area and designing forest machine designs for various natural and economic conditions.

Key words: logging, anthropogenic impact, forest machines, soil characteristics, morphological composition of forest stands.

Введение. В современном понятии машина – это технический объект, состоящий из взаимосвязанных функциональных узлов и механизмов, в котором происходят процессы преобразования различных видов энергии [1].

Лесопромышленные машины (далее – лесные машины) представляют собой сложные системы по преобразованию энергии, оборудованные специализированными устройствами для выполнения определенных видов работ. Различные технические и операционные особенности использования лесных машин и сопутствующие им физические и химические процессы обеспечивают обширный ряд изменений в природных компонентах лесной экосистемы, которые без антропогенного вмешательства находятся в состоянии гомеостаза, т. е. в постоянном процессе саморегуляции, направленном на сохранение динамического равновесия показателей среды.

Комплексный подход к изучению факторов негативного влияния лесных машин на лесные экосистемы позволяет выделить основные группы природных компонентов, претерпевающих такие воздействия. Приведем схему таких факторов (рис. 1) [2].

Как видно из рис. 1, лесозаготовка на всех этапах своего проведения оказывает широкий спектр воздействия на различные компоненты экосистемы леса, к которым относятся: почва, атмосфера, водные ресурсы, биоценозы.

Цель работы – провести анализ известных исследований в области оценки экологического воздействия лесопромышленных машин и технологий на лесные экосистемы, обобщить их и определить актуальные направления дальнейших исследований в данной области.

Основная часть. Проанализируем современные методы оценки антропогенного воздействия от применения лесохозяйственной техники. Для этого воспользуемся независимыми научными исследованиями в различных областях природопользования, лесного хозяйства и машиностроения, проведем их категорирование по признаку влияния на определенную группу природных компонентов, сравним используемые методы и выделим основные результаты, полученные в процессе их проведения.

Первую группу формируют факторы, затрагивающие показатели качества атмосферы при эксплуатации лесной техники. Применение машин, оснащенных двигателями внутреннего сгорания, приводит к образованию побочных химических продуктов неполного сгорания топлива и розливов горюче-смазочных веществ. Их воздействие на приземные слои атмосферы и на процентное соотношение компонентов воздушной среды отражены в научных работах [2–4].

Расчеты, приведенные в исследовании [2], показали различную антропогенную нагрузку на атмосферный воздух лесных экосистем Хабаровского края, связанную с выбросами продуктов горения топлива лесозаготовительных машин. Однако во всех измерениях были зафиксированы превышения экологических нормативов по сернистому ангидриду (SO_2) и диоксиду азота (NO_2), что негативно сказывается на всех видах растительности, произрастающих на территориях лесосеки и территориях, прилегающих к ним.

Различность антропогенной нагрузки, выявленная в данном исследовании [2], обусловлена разными технологиями заготовки древесины и соответственно различным перемещением лесозаготовительных машин по территории лесосеки.

По результатам исследования [3] удалось установить различные уровни приземных концентраций диоксида азота (NO_2) в зависимости от применяемой технологии лесозаготовки. С точки зрения наиболее рационального использования природных ресурсов и сохраненияостояния экологических систем наиболее приемлемой технологией лесозаготовок, в условиях исследования, является хлыстовая лесозаготовка второго типа, где значения диоксида азота (NO_2) лежат в диапазоне от 0,76 долей ПДК (по гигиеническим нормативам) до 76 долей ПДК (по экологическим нормативам). Наиболее отрицательно влияющей на атмосферный воздух технологией лесозаготовок оказалась хлыстовая технология первого типа, при выполнении которой были зафиксированы превышения ПДК приземных концентраций по диоксиду азота (NO_2), принимающие диапазон значений от 2,08 долей ПДК (по гигиеническим нормативам) до 20,8 долей ПДК (по экологическим нормативам).

Исследование, проводимое П. Б. Рябухиным [4], помогло доработать методику определения количественной характеристики выбросов продуктов сгорания топлива во время лесозаготовки. Для этого при расчетах учитывалась не только специфика разнообразных технологий лесозаготовки, но также и различные системы машин:

1) валочно-пакетирующая машина (ВПМ) DD-850 + трелевочная машина (ТМ) DD-460 + сучкорезная машина (СМ) ЛП-33А;

2) (ВПМ) DD-850 с формировочно-транспортным модулем (ФТМ) + (ТМ) ТТ-4М + МСГ-3 + погрузчик ЛТ-188;

3) харвестер DD-1270D + (ТМ) форвадер (Ф) DD-1010D + погрузчик «Варата»;

4) (ВПМ) DD-850 + процессор РС-200 + погрузчик «Варата» + (ТМ) Ф DD-1010D.



Рис. 1. Пути воздействия лесных машин на окружающую среду [2]

Такой подход к оценке позволил сделать вывод о том, что учет технических особенностей систем машин при количественной оценке загрязнения атмосферного воздуха играет ключевую роль для комплексной оценки эффективности использования различной лесозаготовительной техники. Так, в рамках измерений было выявлено, что минимальный ущерб от загрязнения атмосферного воздуха приносит хлыстовая технология «2», реализуемая системой машин (ВМ) DD-850 с ФТМ + (ТМ) ТТ-4М [4].

Объем подобных исследований для лесных экосистем в настоящее время незначителен и не может сформировать целостное представление о степени экологической нагрузки. Считаем, что дальнейшие исследования в этой области смогли бы обеспечить надежную теоретическую, расчетно-математическую и экспериментальную базу для планирования освоения лесосек с наименьшим ущербом в виде загрязнения лесной экосистемы.

Вторая группа формируется факторами, которые затрагивают изменения в водных показателях экосистем при эксплуатации лесной техники. Антропогенная нагрузка при изъятии древесных ресурсов из лесной экосистемы влияет на различные гидрологические характеристики водоемов, находящихся в непосред-

ственной близости к местам освоения лесосеки. К ним можно отнести водопроницаемость почвы и различные микробиологические показатели: EPT Index, Trent Biotic Index, олигохетный индекс Пареле D_1 . Эти характеристики являются одними из важнейших и дают возможность качественно оценить уровень воздействия лесозаготовительных машин на водную экосистему, так как их изменение несет в себе комплексный характер и воздействует на подавляющее большинство представителей флоры и фауны леса.

В рамках исследования [5] была предпринята попытка оценить воздействие сплошных концентрированных вырубок бассейна реки Мезень в период с 1970 по 2000 гг. на состояние водных экосистем и их гидрологические характеристики. Натурные исследования включали визуальную оценку состояния рек Кужим и Нижняя Пузла с процентным соотношением вырубок в бассейне 53 и 10% соответственно. Для количественной оценки загрязненности водоемов в зависимости от численности донных сообществ (бентоса и олигохет) был выбран индекс Пареле D_1 .

По результатам комплекса исследований удалось установить, что показатели индексов, оценивающих качество воды в бассейнах с меньшей площадью сплошных вырубок (не более 10%),

распределяются в пределах водоема равномерно и указывают на общее благополучное состояние воды в них. На площадях с увеличивающимися процентными показателями вырубок эти же характеристики также свидетельствуют о благополучном состоянии водоемов, но имеют характер нестабильного распределения [5].

Исследование [6] посвящено оценке комплексного влияния движителей лесозаготовительных машин на водно-фильтрационные характеристики лесной почвы в зависимости от ее уплотнения. Для проведения такого исследования были взяты 6 образцов почв с лесосеки, расположенной в квартале № 95 Морозовского лесничества (Всевожский район Ленинградской области). Для определения коэффициента фильтрации почвы использовали прибор СоюзДорНИИ. Математические расчеты коэффициента фильтрации (K_f , м/сут) производились с учетом поправки на температуру с приведением ее к 10°C по формуле Хазена [6].

Результаты исследований позволили сделать следующие выводы. Во-первых, степень уплотнения почвы напрямую влияет на ее фильтрационные характеристики. Во-вторых, при увеличении плотности почвы коэффициент фильтрации уменьшается в десятки и сотни раз. В-третьих, применяя методику получения результатов, описанную в исследовании [6], возможно прогнозировать несущую способность

почвогрунтов на определенной территории лесосеки и выбирать наиболее рациональный план освоения лесосеки с точки зрения природопользования и экономических затрат.

Третья группа факторов влияет на непосредственное состояние почв. Лесная почва представляет собой сложную многоуровневую систему, которая состоит из органических и минеральных слоев. Конечная характеристика лесных почвогрунтов, представляющая интерес для планирования применения лесозаготовительных машин, – это несущая способность. Предельная несущая способность почвогрунта определяется допустимым удельным давлением движителей лесных машин, при котором пластичные деформации почвогрунта сменяются его разрушением [7]. При воздействии лесозаготовительных машин почва значительно уплотняется, что приводит к изменениям объема пор и воздушно-водного режима, что значительно ухудшает физиологическое функционирование корневой системы растений [8].

Исследование [9] проводилось с целью предложить технические и организационные меры, направленные на уменьшение вредного воздействия лесных тракторов и лесосечных машин на почву и насаждения. В рамках данной работы были выделены основные последствия воздействия машин на почвогрунты (рис. 2) [9].



Рис. 2. Последствия воздействий машинно-тракторных агрегатов на лесную среду [9]

Для уменьшения воздействия движителей лесных машин с целью предотвратить полностью или уменьшить вероятность генерации представленных выше последствий в данной работе были предложены технические и организационные мероприятия. Снижение уплотняющего воздействия движителей достигается за счет уменьшения удельного давления в зоне контакта колес и траков с почвой. К таким мероприятиям можно отнести [10]:

1) применение широкопрофильных шин (600–700 мм) сверхнизкого давления (15–20 кПа);

2) установку колес одинакового размера попарно по схеме «Тандем» с приводом на каждое из них;

3) применение быстросъемных эластичных гусеничных лент на колесных машинах;

4) применение активного привода всех колес по схемам 4к4, 6к6 и 8к8;

5) обеспечение оптимального отношения расстояния между осями вращения соседних катков к шагу гусеницы $l_k/t \leq 1,7$;

6) установку опорных катков в большем количестве в два ряда в шахматном порядке;

7) применение пневмометаллических гусениц;

8) разработку новых моделей комбинированных агрегатов машин и рабочих органов.

Метод «4» позволяет увеличить силу тяги трактора до 40%, что даст возможность конструировать тракторы меньшей массы [9].

Применяя метод «3», можно добиться снижения удельного давления в кратное число раз. Например, удельное давление колесного харвестера «Локомо-999» и форвадера «Вальмет-866К» составляет 149 и 118 кПа соответственно. Установка гусеничных лент на каждую пару колес тандемной тележки позволяет снизить удельное давление в 4,1 и 3,8 раза соответственно, т. е. до 36 и 31 кПа [9].

Метод «8» позволяет значительно снизить значение уплотнения почвы путем сокращения количества необходимых для выполнения технологического процесса машин и соответственно количества проходов, совершенных ими [9].

Обратимся также к результатам исследований, которые были приведены в работе [10], с целью оценить изменения целостности почвенно-растительного покрова.

Основные нарушения целостности почвенно-растительного покрова происходят в результате транспортной трелевки. Для количественной оценки такого нарушения в рамках научного исследования [10] принимаются различия в показателях уплотнения верхних горизонтов почв в зависимости от количества проходов лесной транспортной техники.

Для отображения результатов исследования приведем таблицу, в которой отражены изменения плотности почвы для различного количества

проходов трактора с возом и указаны различные категории поранения почвы (табл. 1) [10].

Таблица 1

Изменение плотности почвы в зависимости от количества проходов [10]

Категория поранения почвы при трелевке	Глубина, см	Изменение плотности почвы (г/см^3) в зависимости от количества проходов трактора с возом		
		5	10	15
I – неповрежденная почва	0–5	0,56	0,55	0,64
	5–10	0,84	0,92	0,84
	10–20	0,96	1,02	0,86
II – волок, закрытый порубочными остатками	0–5	0,64	0,62	0,9
	5–10	0,98	1,06	1,06
	10–20	1,15	1,15	1,2
III – минерализованный волок	0–5	0,88	0,7	1,06
	5–10	1,15	1,07	1,23
	10–20	1,21	1,15	1,24
IV – колея волока	0–5	0,82	0,62	1,1
	5–10	1,28	1,05	1,37

Анализ этих данных и других статистических показателей лесосек, располагающихся на территории Российской Федерации, позволил сформировать следующие результаты воздействия комплекса лесосечных и лесотранспортных машин на почвенные показатели [10]:

1) особо сильные изменения плотности почвы были отмечены в колее волока. Такие изменения влекут за собой значительное снижение водопроницаемости почвы и развитие горизонтально-линейной эрозии почвенно-растительного покрова;

2) бесчокерная трелевка деревьев за комли вызывает сильные изменения микрорельефа поверхности почвенно-растительного покрова на территории лесосеки. Также в месте выполнения лесной машиной комплекса движений «разворот» образуются микроповышения, которые в результате окончания лесосечных работ занимают в среднем 25% площади лесосеки;

3) трелевка деревьев приводит к увеличению минерализации почвы, сдирая лесную подстилку и перемешивая ее с минеральными горизонтами почвенно-растительного покрова. По итогу площадь сильноминерализованной поверхности лесосеки может достигать около 60%;

4) увеличение плотности почвы приводит к изменению и снижению пористости, что отрицательно влияет на развитие мелких корней деревьев (10 мм и меньше), количество которых составляет 93% от всей корневой системы;

5) увеличение объемов лесозаготовки приводит к переуплотнению почв не только в верхних слоях, но и на глубине 40–50 см.

Результатом выявленных последствий является снижение продуктивности растений и деревьев, корневая система которых вынуждена формироваться на глубине почвообрабатывающего слоя (25–30 см) с нестабильными показателями содержания влаги.

В рамках исследования [10] установлено, что плотность почвы может быть использована как наиболее общий показатель физического состояния почвы и ее плодородия. Для оценки последствий уплотнения почвы главным образом следует учитывать максимальное контактное давление движителей лесных машин, высокие показатели которого деформируют структуру почвы и ее показатели пористости, которая не восстанавливается различными методами рыхления и обработки.

Одновременно с изменением почвенных показателей (величина уплотнения, интенсивность колееобразования и уровень механических повреждений поверхностных корневых систем) происходят изменения биотических показателей леса, выраженных в приживаемости и продуктивности растений.

Изучение зависимостей этих показателей отражено в статье [11]. В рамках этой работы представлены показатели плотности различных типов почв, при которых достигаются наилучшие эффекты приживаемости и продуктивности растений (табл. 2) [11].

Таблица 2

Оптимальные показатели плотности почвы для наилучшего эффекта приживаемости [11]

Почва	Плотность, г/см ³	
	естественного заложения	оптимальная для растений
1. Дерново-подзолистая: песчаная	1,5–1,6	1,4–1,5
супесчаная	1,3–1,4	1,10–1,45
суглинистая	1,35–1,50	1,0–1,2
2. Дерново-карбонатная суглинистая	1,4–1,5	1,0–1,2
3. Серая лесная тяжелосуглинистая	1,4	1,0–1,2
4. Болотная (степень разложения торфа 35–40%)	0,17–0,18	0,23–0,35

Анализируя методы взаимодействия движителей лесных машин (как гусеничных, так и колесных)

с почвой лесосеки, можно выделить следующие последствия от применения лесной техники [11]:

1) давление лесной машины на почву сверх установленных значений в 80 кПа уплотняет ее верхние слои, что приводит к структурным изменениям почвенно-растительного покрова, влекущим за собой нарушение функционирования работы корневых систем растений и изменение воздушно-водного режима почвы [10, 11];

2) пространственная конфигурация (пористость) лесной почвы при давлении выше 80 кПа изменяется в очень сильной степени и зависит от деформаций уплотнения, деформаций сдвигов и количества проходов лесной машины, образующей колею;

3) количество погибших деревьев и растений зависит от глубины колеи, которая изменяется при различных показателях влажности и пористости почвы.

Выделив некоторые методы воздействия лесных машин на почву как на основной компонент экосистемы леса, далее перейдем к освещению методов их оценки и прогнозированию уровня этих воздействий.

В работе [12] приводится математическая модель для оценки влияния параметров движителей гусеничных лесных машин на величину деформации почвогрунтов.

Использование предложенной в рамках работы [12] модели позволяет:

- оценить последствия антропогенного воздействия на почву при освоении лесосеки с учетом различных характеристик: свойств почвогрунтов, условий эксплуатации лесных машин, рельефа лесосеки, различных технологий работ и режимов движения машин;

- выбрать геометрические параметры гусеничных движителей лесных машин, которые обеспечат оптимальные значения предельно допустимых нагрузок на почву, с целью сохранения целостности почвенно-растительного покрова;

- повысить экономическую выгоду освоения лесосеки в долгосрочной перспективе, сохраняя биоэкологические и физические характеристики почв, оптимальные для дальнейшего роста и развития деревьев и растений.

Совместно с технологическими особенностями устройства и эксплуатации лесных машин степень негативного воздействия движителей на почвогрунт может изменяться как от конструктивных решений, так и от организационных. Связанно это в первую очередь с так называемым «человеческим фактором». Выбор технологий и методик освоения лесосеки с использованием определенных моделей лесной техники может различаться в зависимости от разнообразия их показателей и показателей почвы.

Создание технологий лесозаготовки, которые бы учитывали различные особенности использования каждой модели лесной машины в цепочке заготовки лесных ресурсов, и применение определенных схем работ машин позволит удерживать негативное воздействие на экосистемы леса в допустимых пределах, обеспечивая возможность дальнейшего возобновления ресурсов.

В качестве примера влияния организационных решений приведем результаты исследования [13]. В рамках этой работы изучалась зависимость между уровнем деформации грунта и количеством проходов лесной машины, число которых может меняться из-за ошибочных действий оператора. Для определения глубины колеи, как глубины остаточной деформации грунта, использовалась формула расчета определения полной остаточной деформации, к которой добавляют значение истирания материала [13–15].

Для определения влияния ошибочных действий оператора лесной машины на увеличение уровня глубины остаточных деформаций рассматривали два типа грунтов: супесь (количество глинистых частиц 11,5%) и глину (количество глинистых частиц 56%). Для определения количества циклов разгрузок и нагрузок приняли схему движения харвестера в двух режимах: безошибочная траектория (6 нагрузений на почву), ошибочная траектория, при которой количество нагрузений увеличивается до 10. На основе коэффициентов a , b , c были произведены расчеты, результаты которых приведены в табл. 3 [12, 14].

Таблица 3

Показатели глубины остаточной деформации для различного количества проходов

Грунт	Влажность	a	b	c	d
Супесь	Сухая	1,36	66,4	86,8	0,0008
	Влажная	3,6	61,9	221,9	0,007
Глина	Сухая	7	30,5	191,7	0,037
	Влажная	4,5	4,8	21,1	0,31

Окончание табл. 3

Грунт	Влажность	δ_6	δ_{10}	δ_6/δ_{10}
Супесь	Сухая	0,166	0,232	1,4
	Влажная	0,374	0,584	1,56
Глина	Сухая	1,97	2,637	1,34
	Влажная	4,406	6,174	1,4

Анализируя результаты проделанной работы, можно отметить, что даже одно ошибочное движение оператора может привести к различиям между уровнями остаточных деформаций почвы от 34 до 56%.

На основании данных исследований сделаны следующие выводы: во-первых, изучение уровня негативного воздействия лесных машин на экосистемы лесов должно охватывать вопросы, связанные не только с конструктивными особенностями их эксплуатации. Во-вторых, формирование профессионального опыта и надежности работы персонала операторов лесных машин позволяет снизить уровень воздействия только по одному показателю почвенной характеристики на целых 56%.

Очевидно, что оценивать величину антропогенного воздействия на лесные экосистемы следует исходя из принципа создания комплексных методик оценки и прогнозирования различных методов взаимодействия каждой технической, технологической, а также организационной особенности применения человеком лесной техники в условиях лесозаготовки в рамках их взаимодействия в комплексе сложных процессов саморегуляции леса.

Создание таких методик является приоритетным направлением в сфере обеспечения возобновляемости экономического и природно-экологического потенциала лесных ресурсов развитых стран, также в интересы государства должны входить вопросы законодательного регулирования и обеспечение строгого контроля выполнения требований, предусмотренных созданными методиками.

Биотические изменения экосистемы леса, связанные с применением лесных машин при лесозаготовке. В целом повреждение лесных сообществ связано с проникновением повреждений во все ярусы лесного фитоценоза и нарушает устоявшиеся межвидовые взаимодействия [16].

Также существенным фактором изменения межвидовых взаимодействий является проникновение в замкнутую экосистему отдельно взятого леса новых видов, которое оказывается возможным после значительного изменения структуры почвы при воздействии на нее различной техники. Это одновременно может приводить к изменению естественного гидрологического режима, что в результате влечет к морфологическому изменению древостоев, их ослаблению или даже распаду [16].

Самым рациональным способом анализа изменений лесных экосистем следует считать натурные наблюдения [16]. В данной работе приведен сравнительный анализ морфологического состава, подверженного влиянию лесных дорог, в период с 2000 по 2009 гг.

Геоботанические исследования проводились на контрольном трансекте, заложенном на удалении 250 м от лесной дороги. Местом проведения исследования был выбран Задонский лесхоз Липецкой области, таксационные характеристики рассматриваемого участка леса таковы: 5С5Б, средняя высота (20 м), средний диаметр сосны (22 см), возраст сосны (2000 г.) около 49 лет, березы около 32 лет, число стволов 521 экз./га⁻¹. Подлесок выражен в большей степени рябиной, высота которой достигает 450 см (500 экз./га⁻¹) [16].

Для проведения работы в 2000 г. были описаны 4 ряда (параллельных дорожному полотну) по 5 квадратов на расстоянии до контрольной трансекты 250 м в глубину лесного массива. Позже полученные данные сравнили с контрольными данными для 2009 г.

На основе проведенных исследований и сравнительных таблиц были установлены изменения большого количества почвенных показателей в придорожных зонах в сравнении с контролем в глубине леса (250 м лесной дороги) [16]:

1) под влиянием лесной дороги значительно понижалась кислотность верхних почвенных горизонтов, увеличилось содержание общих кальция и магния, некоторое повышение валового содержания хлора, кальция и калия отмечали и в сосновой хвое. Общее количество тяжелых металлов в почве, таких как свинец и цинк, в придорожной зоне было заметно выше и достигало превышений ПДК в 2–3 раза (при ПДК цинка с учетом фона 100 мг/кг и при ПДК свинца 20 мг/кг); эти отличия прослеживались на дистанции до 40 м и более от лесной дороги и расчетной лесосеки;

2) общая глубина техногенного воздействия на лес увеличилась на расстояние 50 м и более;

3) опушка, разрушенная вследствие разработки лесосеки, усилила проникновение под полог леса загрязняющих веществ, оказывая все большее влияние на фитоценоз и экотоп;

4) проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса от лесной дороги (95% в среднем) до контрольных областей (79% в среднем) увеличилось в некоторых участках до 100%, что связано с повышением освещенности после вырубki подлеска;

5) изменился видовой состав травяно-кустарничкового яруса, в котором к 2009 г. не обнаружилось 15 видов, зарегистрированных в 2000 г., но также были зарегистрированы 22 «новых» вида;

б) общее число отмеченных видов увеличилось с 66 до 73. Большинство «новых» видов относятся к сорно-луговой растительности, которые более устойчивы к загрязненности почвы продуктами сгорания топлива;

7) отметили проникновение в глубину леса светолюбивых видов напочвенного покрова, что, вероятно, можно соотнести с изменением структуры опушки, выполняющей сдерживающую роль в проникновении различных факторов воздействия антропогенного влияния дорог и магистралей;

8) наблюдается ослабление и частичная гибель древостоя в результате воздействия на него лесной дороги.

Основной метод достижения сохранности биотических взаимодействий между различными представителями флоры и фауны леса, которые обеспечивают биологически благоприятные условия для возобновления экономического и рекреационного потенциала лесных массивов, заключается в специфическом выборе технологий заготовки, транспортировки и хранения древесины.

Выбор наиболее уместной технологии лесозаготовки может обеспечить удовлетворительный уровень естественного восстановления лесных ресурсов. Таким образом, определение особенностей и нахождение закономерностей в процессах естественного возобновления на вырубках представляет огромный практический потенциал, способный удовлетворить как экономические, так и природоохранные требования.

Для подтверждения этого приведем результаты сравнения влияния различных технологий лесозаготовки на динамику естественного лесовозобновления в условиях Манского лесхоза на вырубках горно-таежных лесов [17].

Методика данного исследования подразумевала следующие аспекты [17]:

1) объект исследования – вырубки смешанных сосновых насаждений 18-летней давности;

2) лесоразработка осуществлялась двумя технологиями: первая технология с использованием на трелевке полуподвесной канатной установки (бензопила «Урал» + СКУ МЛ-43 на базе трактора ТТ-4), вторая технология – традиционная (бензопила «Урал» + ТТ-4);

3) для изучения вопросов возобновления и динамики высоты в пределах одной вырубки в верхних, средних и нижних слоях были заложены пробные площади (2×100 м);

4) на каждой площади был произведен полный перечень древесных пород (живых, сомнительных и усохших);

5) также был произведен перечень подраста с замерами его высоты и определением его возраста, с разделением в дальнейшем на группы по возрасту, высоте, жизнеспособности и поколению (последующее (до 17 лет) и предварительное (после 18 лет)).

Качественное состояние подраста на объекте представлено высокой степенью жизнеспособности

собности. Все усохшие экземпляры относятся к последующему поколению. Всего учтено сомнительных: 620 и 134 шт. на 1 га (2,7 и 0,6% от общего возобновления) [17].

На основе натуральных исследований и полученных результатов были сформулированы следующие выводы [17, 16]:

1) рассматривая динамику годичного прироста в высоту для одинаковых пород на различных объектах исследования, нужно отметить, что этот показатель подроста выше на вырубке с использованием технологии «бензопила – СКУ МЛ-43», чем на вырубке с технологией «бензопила + ТТ-4». Это можно объяснить различным уровнем уплотнения почвы от применения трелевочной техники;

2) было выявлено успешное, но различное возобновление подроста: под пологом насаждений (15,3 тыс. шт/га), на рубках «бензопила + СКУ МЛ-43» (23,4 тыс. шт/га) и на рубках «бензопила + ТТ-4» (17,9 тыс. шт/га);

3) также средний показатель высоты сохраненных во время рубки пород выше у технологии «бензопила + СКУ МЛ-43» (4,09 м) против 2,64 м у технологии «бензопила + ТТ-4»;

4) использование технологии «бензопила + СКУ МЛ-43» конкретно в данных условиях исследования позволит, с экономической точки зрения, обеспечить выращивание спелой древесины в самом быстром темпе, обеспечивая наиболее качественный оставленный подрост.

Заключение. Таким образом, в рамках данной статьи проведен анализ существующих научных исследований в области оценки антропогенного воздействия на экосистемы леса. Необходимо заметить, что приведенные в рамках данной работы исследования не являются полностью исчерпывающими. Разумеется, не представляется возможным осветить полный перечень работ, произведенных в области оценки антропогенного воздействия от применения лесных машин на различные экосистемы леса. Эта невозможность заключается в нескольких причинах:

1) развитие научно-технического прогресса, который привносит в конструкцию лесных машин принципиально новые механизмы, технические агрегаты, а также способы преобразования энергии;

2) техническая сложность устройства лесных машин, которая генерирует большое количество факторов антропогенного воздействия на окружающую среду лесосеки;

3) плотная взаимосвязь представителей различных экосистем леса, которая находится в процессе постоянного саморегулирования, поэтому воздействие даже на один такой фактор незамедлительно сказывается на других.

Для обеспечения надлежащего уровня экономической стабильности, конкурентоспособности, а также экономического роста лесной промышленности, обеспечивающей сохранение, а при возможности, приумножение биологического потенциала лесных ресурсов, необходима разработка новых методов оценки антропогенного воздействия. Эти методы должны отвечать следующим требованиям:

1) оперативное и своевременное создание планов освоения лесосеки с учетом требований сохранения биологического потенциала леса и извлечением максимально возможной экономической выгоды;

2) снижение экономических потерь от переизбытка автопарка лесных машин путем предварительного создания наиболее выгодных и безопасных технологий освоения лесосеки с применением конкретных марок и моделей лесных машин;

3) снижение долгосрочных экономических потерь в результате ненадлежащей работы лесовосстановительных и лесоохранных мероприятий.

Для обеспечения соответствия методов оценки антропогенного воздействия машин и технологий на лесные экосистемы перечисленным требованиям возможно создание единой методики оценки лесных машин, которая объединит большее количество факторов их воздействия на природный баланс лесосеки путем введения регулирующего показателя, характерного для всех этих факторов.

Обобщая факторы экологического воздействия лесопромышленных машин и технологий на лесные экосистемы, можно сформировать следующие их группы по типу влияния:

1) изъятие из лесных экосистем вещества (вырубка и вывоз леса, ликвидация на ряде участков лесной подстилки и части почвы, в том числе за счет последующего смыва);

2) внесение в природу чужеродных веществ и энергии (ядохимикаты при борьбе с болезнями и вредителями, топливо и продукты его сгорания при проведении лесосечных, лесотранспортных работ и т. д.);

3) преобразование и перераспределение вещества в природе (изменение лесных ландшафтов в результате рубок, расчистка захламленных насаждений и т. д.).

Продолжение исследований в данной области потенциально может привести к созданию единой системы проектирования, создания, а также регулирования использования лесных машин для обеспечения их наибольшей пригодности с точки зрения сохранения лесных ресурсов.

Список литературы

1. Машина // Большая советская энциклопедия: в 66 т. Т. 38. М.: Советская энциклопедия, 1938. 416 с.
2. Майорова Л. П., Рябухин П. Б. Воздействие лесозаготовок на окружающую среду // Вестник КрасГАУ. 2012. № 8. С. 73–77.
3. Майорова Л. П., Рябухин П. Б., Мелешко М. А. Оценка загрязнения атмосферного воздуха в процессе лесозаготовок // Вестник КрасГАУ. 2007. № 4. С. 86–91.
4. Рябухин П. Б. Экологические аспекты при эксплуатации лесозаготовительных машин // Леса России и хозяйство в них. 2016. № 3 (58). С. 68–71.
5. Боровлев А. Ю. Методика оценки долговременного воздействия лесозаготовок на водные ресурсы // Экология родного края: проблемы и пути решения: материалы Всеросс. науч.-практ. конф., г. Киров, 28–29 апр. 2016 г. Киров: Вятский государственный университет, 2016. С. 311–314.
6. Лисов В. Ю., Язов В. Н. Экспериментальное определение водопроницаемости лесной почвы в зависимости от ее плотности // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2014. № 5 (341). С. 89–96.
7. Невзоров А. Л. Инженерная геология и механика грунтов: учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. Архангельск: ЛГТУ, 1998. 116 с.
8. Беккер М. Г. Введение в теорию систем «местность – машина». М.: Машиностроение, 1973. 520 с.
9. Бартнев И. М., Драпалюк М. В. Снижение вредного воздействия лесных тракторов и лесосечных машин на почву и насаждения // Лесотехнический журнал. 2012. № 1 (5). С. 61–66.
10. Влияние воздействия лесных машин на лесорастительные свойства почв / В. А. Ермичев [и др.] // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2005. № 12. С. 130–132.
11. Анализ взаимодействия гусеничных лесных машин с почвой / В. Н. Лобанов [и др.] // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2009. № 24. С. 37–39.
12. Прогнозирование последствий воздействия гусеничных лесных машин на почву / В. А. Ермичев [и др.] // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2004. № 8. С. 183–185.
13. Чекотин Р. С., Вербицкая Н. О. Воздействие лесозаготовительных машин на почвенный покров при ошибочных движениях // Вестник современных исследований. 2018. № 6.1 (21). С. 291–293
14. Иванов Н. Н., Охотин В. В. Дорожное почвоведение и механика грунтов. Л.: Огиз: Гострансиздат, Ленингр. отд., 1934. 387 с.
15. Бартнев И. М., Драпалюк М. В. Снижение вредного воздействия лесных тракторов и лесосечных машин на почву и насаждения // Лесотехнический журнал. 2012. № 1 (5). С. 61–66.
16. Кондрашова Е. В., Скрыпников А. В., Скворцова Т. В. Повреждение лесных экосистем в процессе лесозаготовки // География: история, современность, перспективы: сб. тр. 2012. С. 179–186.
17. Мельниченко В. М. Влияние технологий лесозаготовок на естественное возобновление на вырубках горно-таежных лесов в условиях Манского лесхоза // Вестник КрасГАУ. 2008. № 3. С. 154–158.

References

1. Machine. *Bol'shaya sovetskaya entsiklopediya* [Great Soviet encyclopedia]. Vol. 38. Moscow, Sovetskaya entsiklopediya Publ., 416 p. (In Russian).
2. Mayorova L. P., Ryabukhin P. B. Environmental impact of logging. *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of KrasGAU], 2012, no. 8, pp. 73–77 (In Russian).
3. Mayorova L. P., Ryabukhin P. B., Meleshko M. A. Assessment of air pollution during harvesting. *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of KrasGAU], 2007, no. 4, pp. 86–91 (In Russian).
4. Ryabukhin P. B. Environmental aspects in the operation of forestry machines. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and the economy in them], 2016, no. 3 (58), pp. 68–71 (In Russian).
5. Borovlyov A. Yu. Methodology for assessing the long-term impact of logging on water resources. *Ekologiya rodnogo kraja: problemy i puti resheniya: materialy Vseross. nauch.-prakt. konf.* [Ecology of the native land: problems and solutions: materials of All-Russian scientific-practical conference]. Kirov, 2016, pp. 311–314 (In Russian)
6. Lisov V. Yu., Yazov V. N. Experimental determination of water permeability of forest soil depending on its density. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [News of higher educational institutions. Forest magazine], 2014, no. 5 (341), pp. 89–96 (In Russian).
7. Nevzorov A. L. *Inzhenernaya geologiya i mekhanika gruntov* [Engineering geology and soil mechanics]. Arhangel'sk, LGTU Publ., 1998. 116 p. (In Russian).
8. Bekker M. G. *Vvedenie v teoriyu sistem "mestnost" – "maschina"* [Introduction in the theory of systems "landscape – machine"]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1973. 520 p.

9. Bartnev I. M., Drapalyuk M. V. Reducing the harmful effects of forest tractors and felling machines on soil and plantations. *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forestry magazine], 2012, no. 1 (5), pp. 61–66 (In Russian).

10. Yermichev V. A., Lobanov V. N., Krivchenkova G. N., Artemov A. V. Influence of the impact of forest machines on the forest-growing properties of soils. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2005, no. 12, pp. 130–132 (In Russian).

11. Lobanov V. N., Krivchenkova G. N., Nesterov D. Yu., Chesnov M. A. Analysis of the interaction of tracked forest machines with soil. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2009, no. 24, pp. 37–39 (In Russian).

12. Yermichev V. A., Lobanov V. N., Goremykin A. S., Krivchenkova G. N. Predicting the effects of tracked forest machines on soil. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2004, no. 8, pp. 183–185 (In Russian).

13. Chekotin R. S., Verbitskaya N. O. Impact of forestry machines on soil cover during erroneous movements. *Vestnik sovremennykh issledovaniy* [Bulletin of modern research], 2018, no. 6.1 (21), pp. 291–293 (In Russian).

14. Ivanov N. N., Okhotin V. V. *Dorozhnoe pochvovedenie i mekhanika gruntov* [Road soil science and soil mechanics]. Leningrad, Ogiz, Gostransizdat Publ., 1934. 387 p.

15. Bartenev I. M., Drapalyuk M. V. Reducing the harmful effects of forest tractors and felling machines on soil and plantations. *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forestry magazine], 2012, no. 1 (5), pp. 61–66 (In Russian).

16. Kondrashova E. V., Skrypnikov A. V., Skvortsova T. V. Damage to forest ecosystems during harvesting. *Geografiya: istoriya, sovremennost', perspektivy* [Geography: history, modernity, prospects], 2012, pp. 179–186 (In Russian).

17. Mel'nichenko V. M. The influence of logging technologies on natural regeneration at deforestation of mountain taiga forests under the conditions of Mansky forestry. *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of KrasGAU], 2008, no. 3, pp. 154–158 (In Russian).

Информация об авторах

Столбин Виталий Сергеевич – магистрант кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: karas-logos@mail.ru

Голякевич Сергей Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gsa@belstu.by

Information about the authors

Stolbin Vitaly Sergeevich – Master's degree student, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: karas-logos@mail.ru

Golyakevich Sergey Aleksandrovich – PhD (Engineering), Associated Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gsa@belstu.by

Поступила 10.03.2020