


Обзор

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/1>

УДК 630.389



## Анализ факторов негативного воздействия лесозаготовительного производства на природную среду Северо-Западного региона РФ

Елена О. Графова ✉, [grafova.elena.karelia@gmail.com](mailto:grafova.elena.karelia@gmail.com)  <https://orcid.org/0000-0003-0263-9345>

Владимир С. Сюнёв, [siounev@petrsu.ru](mailto:siounev@petrsu.ru)  <https://orcid.org/0000-0002-2558-2671>

Вячеслав В. Горбач, [gorbach@psu.karelia.ru](mailto:gorbach@psu.karelia.ru)  <https://orcid.org/0000-0003-2326-8539>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», пр. Ленина, 33, г. Петрозаводск, 185035, Российская Федерация

Лесосечные работы и транспортировка древесины оказывают негативное воздействие на природные и природно-антропогенные объекты окружающей среды. Учет, оценка и прогнозирование видов негативного воздействия позволит рационально планировать технологические операции лесозаготовки. Данные о степени негативного воздействия позволят оценить суммарный урон объектам окружающей среды и с учетом нагрузок конкретного вида работ предусмотреть комплекс защитных мер, адекватный соответствующей степени воздействия. Степень воздействия на окружающую среду видов лесозаготовительной деятельности определяли с помощью метода экспертных оценок. Изменчивость характера и значимости техногенного воздействия от рубок и вывозки древесины исследовали методом главных компонент. Обобщенный перечень видов негативного воздействия ранжируется в сторону снижения степени следующим образом: загрязнение водного стока и почв утечками ГСМ, изменение биоразнообразия, повреждение древостоев, уничтожение и загрязнение почв, загрязнение воздуха химическими примесями, сбросы сточных вод в водные объекты, свалка бытовых отходов и сброс стоков в почву. Повышенное внимание при оценке биоразнообразия следует уделить организации бытовых и вспомогательных технологических процессов. Они характеризуются средними нагрузками, вызывая загрязнение воды и почвы бытовыми и промышленными стоками, образование свалок бытовых и производственных отходов. Строительство лесных дорог и работы по заправке, ремонту и обслуживанию лесозаготовительной техники в мастерских участках и пунктах заправки ГСМ способствуют проявлению нетипичных воздействий в виде загрязнения воды и почвы нефтепродуктами. Полученное теоретическое обоснование необходимо дополнять актуальными данными натурных исследований по выявленным видам негативных воздействий. На основании прогнозных значений степени негативного воздействия на окружающую среду авторами разрабатывается комплекс научно-обоснованных технических и технологических решений, повышающих экологическую безопасность при выполнении лесозаготовительных работ.

**Ключевые слова:** лесозаготовка, негативное воздействие, окружающая среда, загрязнение, воздействие горюче-смазочных материалов, бытовые стоки, свалки, древесные отходы, экологическая безопасность

**Финансирование:** данное исследование не получало внешнего финансирования.

**Благодарности:** авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.


**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Графова Е. О. Анализ факторов негативного воздействия лесозаготовительного производства на природную среду Северо-Западного региона РФ / Е. О. Графова, В. С. Сюнёв, В. В. Горбач // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13. – № 2 (50). – С. 5–24. – Библиогр.: с. 16–23 (48 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/1>.


*Поступила 26.04.2023. Пересмотрена 16.05.2023. Принята 17.05.2023. Опубликована онлайн 18.09.2023.*

*Review*

### The negative impact factor analysis to the environment from logging production on the North-West region of Russian Federation

**Elena O. Grafova** ✉, [grafova.elena.karelia@gmail.com](mailto:grafova.elena.karelia@gmail.com)  <https://orcid.org/0000-0003-0263-9345>

**Vladimir S. Syunev**, [siounev@petsu.ru](mailto:siounev@petsu.ru)  <https://orcid.org/0000-0002-2558-2671>

**Viacheslav V. Gorbach**, [gorbach@psu.karelia.ru](mailto:gorbach@psu.karelia.ru)  <https://orcid.org/0000-0003-2326-8539>

<sup>1</sup> *Petrozavodsk State University, Lenin Ave., 33, Petrozavodsk, 185035, Russian Federation*

#### Abstract

Logging operations and timber transportation have a negative impact to natural and natural-anthropogenic environmental objects. Accounting, evaluation and forecasting of negative impact types will allow rational planning of technological logging operations. The negative impact degree data will allow assessing the total damage to environmental objects and, taking into account the loads of a particular work types provide for a set of protective measures adequate to the corresponding impact degree. The impact degree of types of logging activities to the environment was determined using the method of expert assessments. The variability of the nature and significance of the technogenic impact from logging and removal of wood was studied by the method of principal components. The generalized list of types of negative impact is ranked in the direction of decreasing degree as follows: pollution of water runoff and soils by leaks of fuels and lubricants, changes in biodiversity, damage to forest stands, destruction and pollution of soils, air pollution with chemical impurities, wastewater discharges into water bodies, landfill of domestic waste and discharge of effluents into the soil. When assessing biodiversity, increased attention should be paid to the organization of household and auxiliary technological processes. They are characterized by medium loads, causing pollution of water and soil by domestic and industrial effluents, and the formation of landfills for domestic and industrial waste. The construction of forest roads and work on refueling, repair and maintenance of logging equipment in workshops and fuel filling stations contribute to the manifestation of atypical impacts in the form of water and soil pollution with oil products. The obtained theoretical substantiation must be supplemented with relevant data from field studies on the identified types of negative impacts. Based on the predicted values of the degree of negative impact on the environment, the authors develop a set of scientifically substantiated technical and technological solutions that increase environmental safety during logging operations.

**Keywords:** *logging, negative impact, pollution, environment, exposure to fuels and lubricants, household wastewater, landfills, wood waste, environmental safety.*

**Funding:** this research received no external funding.

**Acknowledgments:** The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of the article.

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Grafova E. O., Syuneev V. S., Gorbach V. V. (2023) The negative impact factor analysis to the environment from logging production in the North-West region of the Russian Federation. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 13, No. 2 (50), pp. 5–24 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/1>.

*Received* 26.04.2023. *Revised* 16.05.2023. *Accepted* 17.05.2023. *Published online* 18.09.2023.

### Введение

Лесозаготовительное производство по своему назначению оказывает негативное воздействие на целостность и состояние лесных экосистем. Каждый технологический этап лесозаготовок приносит негативное воздействие на объекты окружающей среды, ухудшая их исходное состояние. Особенно чувствительно такое воздействие для северных и арктических территорий, отличающихся ранимостью и медленным восстановлением растительности [11]. В отечественной и зарубежной научной литературе учеными наиболее часто исследуются некоторые аспекты негативного воздействия процесса лесозаготовки на лесную среду, а именно: в результате движения лесозаготовительной техники довольно часто возникают повреждения древостоев, под тяжестью колесных и гусеничных машин возникает деформация и нарушение почвы и почвенного покрова, происходят повреждения корневых систем деревьев и кустарников, образуются неиспользуемые древесные отходы и т.д. Тем не менее, мониторинг экологических нарушений, возникающих при реализации лесозаготовительной деятельности, позволил выявить дополнительные виды не учитываемых ранее воздействий, отрицательно сказывающихся на состоянии лесной природной среды, а именно: загрязнение лесных площадок хранения и обслуживания техники, придорожных лесных территорий остатками топлива, масел и прочих нефтесодержащих веществ; многолетние накопления отходов переработки древесины вблизи лесных предприятий; несанкционированные свалки у территорий лесных поселков и пр. Таким образом, целью настоящей работы является составление наиболее полного перечня видов негативных воздействий на объекты окружающей среды, возникающих в результате выполнения различных видов лесозаготовительных

работ, и оценка степени и значимости этих воздействий.

Негативное воздействие на окружающую среду начинается с подготовительных работ и продолжается при выполнении основных лесосечных работ. При этом вспомогательные работы, необходимые для содержания транспортного парка и рабочего персонала, также вносят свой вклад в техногенную нагрузку на лесную среду [9, 40, 44, 48]. Общая оценка складывается из подробного описания всех негативных воздействий, возникающих при выполнении каждого вида работ:

#### 1. Строительство лесных дорог.

Данный этап подготовительных работ реализуется при всех видах лесопользования. Строительство лесных дорог осуществляется непосредственно лесозаготовительными или субподрядными организациями дорожного строительства. Наибольшее влияние на окружающую среду оказывают технологические процессы строительства [21]. При строительстве лесных дорог проводится первичная подготовка – расчистка полосы отвода. Необходимым организационным мероприятием является организация отвода воды с участка: строительство придорожных канав и дренажных систем. Наиболее часто в литературе упоминаются следующие виды негативного воздействия: механические воздействия в виде шума и вибрации, загрязнение воздуха выхлопными газами, серьезные нарушения целостности почв, накопление древесных отходов и образование свалок, повреждение древостоев и подраста, гидрологические изменения, приводящие к осушению или заболачиванию территорий [42]. Так, А.Ю. Мануковским и коллегами проводилась оценка временных и периодических воздействий лесозаготовительных процессов на окружающую среду и здоровье человека [22]. Выделена группа негативных воздействий, которая включает шум, пыль, транспортные выбросы. Отработавшие газы

ДВС и топливные испарения отмечены авторами как наиболее распространенные источники газопылевого загрязнения. Эффективным способом снижения данных видов воздействий является использование гибридных двигателей, оснащение выхлопных систем воздушными фильтрами, а также значительный эффект окажет применение экологически чистого топлива, защитной шумоизоляции экранами. Отмечаются научные работы по влиянию механического повреждения корней деревьев и почв [12, 15, 46]. Анализ нормативных документов показывает, что на сегодняшний день в лесном законодательстве России до сих пор не отрегулированы вопросы строительства, содержания дорог: лесные дороги не всегда отражены на планах, отсутствует четкий регламент соблюдения экологических мероприятий при строительстве и эксплуатации лесных дорог. Основные принципы экологической безопасности лесных дорог должны закладываться уже на стадии проектирования, реализовываться при эксплуатации с учетом выявленных негативных аспектов. Выявляемые в процессе эксплуатации нарушения должны устраняться сразу или на стадии рекультивации. Таким образом, негативное влияние на окружающую среду возникает как при строительстве, так и при эксплуатации лесных дорог.

2. Лесосечные работы и транспортировка древесины.

Выполнение основных работ, таких как лесозаготовка и транспортирование древесины, наносит наибольший ущерб лесным экосистемам [24, 44, 45]. Заготовка древесины является самым распространенным видом использования лесов. Лесопользование должно осуществляться в строгом соответствии с принципами, изложенными в Лесном кодексе [19], а именно: 1) обеспечивать сохранение биологического разнообразия, средообразующих, водоохраных, защитных и иных полезных функций лесов; 2) учитывать длительность выращивания лесов, возможность их воспроизводства, улучшение их качества и продуктивности; 3) использовать леса способами, не наносящими вреда лесной среде и здоровью человека. Лесозаготовки, как

правило, проводятся на основании аренды лесов сроком до 49 лет. Около 85 % леса заготавливается методом сплошных механизированных рубок. Механизированная база постоянно совершенствуется новыми моделями лесозаготовительной техники [2, 4, 33]. Экологическим последствиям применения лесной техники посвящено множество работ [11, 10]. Также необходимо учитывать проблемы, связанные с образованием лесосечных отходов [20, 26]. Как правило, в состав образующихся отходов входит: гнилая, низкокачественная, горелая древесина, древесная зелень, корни, пни, ветви, общий объем которых может достигать 37 %. Необходимость утилизации лесосечных отходов способствовала разработке соответствующих технологических решений и конструкций [1]. Функционирование транспорта леса, его влияние на окружающую среду рассмотрено во многих работах [3, 7, 8, 16, 35] и также оценивается как негативное. Стоит отметить случаи, когда в результате ошибок операторов нарушается герметичность системы высокого давления лесозаготовительной техники и происходит разлив технологических жидкостей. При этом ориентировочные объемы потерь могут составлять от 10 до 300 литров, в зависимости от типа используемой техники. И такие утечки оказываются значительными. Решая проблему воздействия лесной техники на почвы и древостой, российские ученые разработали рекомендации по усовершенствованию конструкций лесных машин, ограничению веса трелевочных машин, рассчитали допустимые глубины колеи [13, 48]. Многие авторы отмечают в своих работах необходимость комплексной оценки воздействий, которые оказывает на экологическое состояние придорожной полосы дорожно-транспортной комплекс, для возможности дальнейшего управления качеством окружающей среды [34]. Таким образом, очевидно, что значительное воздействие на лесные экосистемы оказывают лесосечные работы и транспортировка древесины, которые составляют большую часть основных лесозаготовительных работ.

3. Деревообработка и глубокая переработка древесины.

Деревообработка осуществляется на верхних складах или обрабатывающих предприятиях. Выполнение данного вида работ связано с проблемой образования и накопления древесных отходов. В случае глубокой переработки древесины – с образованием сопутствующих химических выбросов и сбросов загрязняющих веществ. Довольно часто лесозаготовка и деревообработка реализуются на одном предприятии [41]. Одним из направлений минимизации образования отходов является повышение эффективности освоения биомассы древесины и применение малоотходных технологических процессов [29]. Другим направлением повышения эффективности лесопользования является использование отходов в технологических процессах лесозаготовок [36, 28]. Первичная обработка древесины закачается в лесопилении и механической обработке и предполагает образование таких видов отходов: горбыль, рейки, кора, опилки, стружка, а также щепы, кусковые отходы [5, 27]. Применение отходов в качестве вторичных ресурсов рассматривается в работе [39] и внедряется повсеместно на большинстве лесопромышленных предприятий, но процент невостребованных отходов все еще достаточно высок. Часто не используемые повторно отходы складываются рядом с лесопромышленными предприятиями. В результате повсеместно по России, и Северо-Западу в частности, увеличиваются площади, занятые свалками древесных отходов. Количество таких несанкционированных свалок также растет, они попадают в списки приоритетных экологических проблем некоторых регионов, а их ликвидация требует значительных средств. Длительное пребывание древесных отходов на одной территории способствует изменению физического и химического состояния накопленной массы, ухудшению качества окружающей среды, санитарной и пожароопасной обстановки [25]. Таким образом, при выполнении работ по деревообработке и глубокой переработке древесины возникают такие негативные явления, как образование древесных отходов, химических загрязнений воздуха, почвы, воды.

Установлено, что ряд важных вопросов, связанных с влиянием на лесную среду вспомогательных работ, сопутствующих лесозаготовительному производству, реализуемых на инфраструктурных объектах, таких как мастерские и ремонтно-заправочные участки, пункты хранения и заправки топливом, содержание рабочих, задействованных в лесозаготовительных работах, изучены незначительно, редко оцениваются.

4. Вспомогательные работы, связанные с заправкой техники и хранением топлива и технологических жидкостей.

Мастерские, ремонтные участки являются неотъемлемой частью обеспечения функционирования лесозаготовительного процесса. Эксплуатация лесной техники в тяжелых природно-производственных условиях часто связана с поломками и авариями. Их своевременное устранение проводится в ремонтно-механических мастерских, что позволяет повысить эффективность лесозаготовок, обеспечить содержание парка лесозаготовительной техники в рабочем состоянии и технической готовности, своевременно снабжать технику топливом и технологическими жидкостями. Мастерские участки и пункты ремонтного обслуживания с оборудованием для устранения отказов первой и второй групп сложности размещаются рядом с участком лесозаготовок, чтобы не нарушать план заготовок за счет сокращения времени на ремонт техники. Во время проведения ремонтно-эксплуатационных работ, при нахождении техники на открытых площадках, возможно смывание остатков горюче-смазочных материалов в грунт. Остатки нефтепродуктов могут смываться, аккумулироваться в снегу в холодное время года и после таяния выноситься тальными водами. Возможными пунктами возникновения загрязнений также являются стоянки и заправки, не оборудованные крышей, и склады ГСМ. После прекращения использования складов горюче-смазочных материалов и заправочных пунктов в большинстве случаев на их месте обнаруживается значительное загрязнение почв и гибель растительности, соизмеримое или превышающее механическое воздействие самих

машин. Исследовано, что единичные случайные случаи разливов нефтесодержащих жидкостей в почву образуют пятно неглубокого проникновения до уровня подземных вод, которые могут оказаться легко переработанными в естественных условиях, но при систематическом поступлении загрязнений в одно и то же место область загрязнения расширяется в разные стороны, достигая подземных вод, и способна мигрировать на большие расстояния [31]. Нефтепродукты способны ухудшить агрофизические и агрохимические свойства почв. Нефтепродукты становятся ингибиторами почвенной биологической активности. При этом меняется численность и состав групп микроорганизмов, окислительно-восстановительная активность. Также меняется число пребывающих в почвах патогенных и токсичных видов микроскопических грибов [43, 47]. В результате образования устойчивого загрязнения нефтепродуктами почва становится субстратом для углеводородокисляющих микроорганизмов. Активно развиваясь, они угнетают другие микроорганизмы, а также растения и животных. Существует мнение, что пятна нефтепродуктов в жаркое время года становятся причиной возникновения лесных пожаров [30]. Таким образом, меняя свойства почвы и почвенной биоты, нефтепродукты представляют опасность для лесных территорий, а их поступление должно быть прекращено посредством своевременного удаления разливов или локализации источников загрязнения.

Помимо почв, происходит загрязнение лесных ручьев, протоков, канав, рек, озер и болот. Большинство авторов подтверждают, что особую опасность для экосистем представляет длительное воздействие нефтемаслопродуктов [18]. Поступление их в воду приводит к их частичному разбавлению и растворению с образованием эмульсионной пленки на поверхности, которую можно удалить. В случае сброса тяжелых фракций они оседают на дно, и их удаление становится проблематичным. Нефтяные загрязнения способны рассеваться, расширяться нефтяными пятнами, проникать в подземные воды и мигрировать на значительные расстояния, зависящие от типа водного объекта.

В подземных водах процессы разложения затормаживаются, снижая возможность самоочищения [17]. Таким образом, очевидно, что воздействие нефтепродуктов вызывает множество негативных изменений в природной среде. Снизить негативные явления необходимо внедрением новых технологических решений по локализации и очистке участков, подверженных наиболее частому загрязнению.

5. Функционирование лесных поселков связано с проживанием рабочих в период лесозаготовки. Строительство лесных поселков сопутствует лесозаготовительным работам и организуется в непосредственной близости от места заготовки. Рабочие, задействованные в лесозаготовительном процессе, должны обеспечиваться необходимыми условиями для проживания и питания. Эксплуатируются лесные поселки обычно несколько десятилетий, поэтому они должны быть снабжены инженерными коммуникациями, эксплуатироваться в соответствии с новыми изменениями в законодательстве Российской Федерации. В настоящее время стационарные лесные поселки возводятся редко. Предпочтение отдается мобильным формам проживания и питания. Чаще всего используются передвижные некапитальные разборные жилищные комплексы и столовые, которые должны обеспечиваться соответствующими инженерными коммуникациями [32]. Многолетняя недобросовестная эксплуатация таких объектов приводит к негативным последствиям: образованию свалок бытовых отходов вблизи мест проживания или непосредственно на лесных участках, сбросам хозяйственно-бытовых стоков от жилых и административных зданий и пр. Длительное пребывание отходов в свалочных массивах способствует разложению органической составляющей и выделению токсичных жидкостей – фильтратов, а также испарению биогазов и продуктов разложения и гниения. Химический состав образующихся растворов содержит высокие концентрации загрязняющих веществ, таких как аммиак, азотная и фосфорная группы, хром, никель, медь, цинк, ртуть и другие токсиканты, превышающие нормативное содержание в почвах и водах природных объектов. Также разложение органики до воды и углекислого газа способствует выщелачиванию металлов из соединений

свалочной массы, что приводит к их последующей миграции в почвы, грунтовые, поверхностные, дождевые и талые воды. Чаще всего в местах локализации свалок резко ухудшается санитарно-биологическая обстановка: интенсивно развиваются патогенные микроорганизмы и вирусы, образуется специфическая гельминтофауна. Все это приводит к развитию разнообразных древесных болезней, распространяющихся на значительные территории, уменьшая полезные лесные площади. Образованные свалки становятся объектами накопленного экологического ущерба и нуждаются в ликвидации источников загрязнения путем рекультивации. В настоящее время существует острая необходимость в разработке щадящих методов восстановления нарушенных территорий [23]. Незавершенной задачей остаются многолетние неконтролируемые сбросы бытовых стоков и выгребов рабочих поселков. Накапливаясь, стоки проникают в почвы, поверхностные и грунтовые воды, ухудшая их состояние, вызывая нарушение почвенно-растительного покрова, заражение патогенными микроорганизмами, эвтрофикацию водоемов.

Многие авторы работали над созданием классификации антропогенных факторов влияния на объекты окружающей среды [37]. Классический перечень, предложенный И.П. Лаптевым, включает механические, физические, химические, биологические и ландшафтные объекты и используется многими учеными [14]. Довольно широкий спектр экологических проблем представлен в работе [20], в которой рассматриваются негативные воздействия на 9 объектов окружающей среды: атмосферные, биотические, водные, геолого-морфологические, ландшафтные, микроклиматические, криогенные, пирогенные, почвенные. Анализ литературных источников и законодательной базы в области лесопользования и охраны окружающей среды позволяет сформировать наиболее полный перечень видов негативного воздействия на объекты окружающей среды, возникающие в результате выполнения различных видов лесозаготовительных работ, и оценить степень и значимости этого воздействия.

### Материалы и методы

*Предмет и объект исследований* – негативное воздействие на объекты окружающей среды, возникающее в результате выполнения лесозаготовительных работ. Рассмотрены следующие виды лесозаготовительных работ и их сокращенные обозначения: СтрДор – строительство лесных дорог; ЛесРаб – лесосечные работы; Трансп – транспортировка древесины; ДерОбр – обработка и глубокая переработка древесины; ГСМ – ремонт лесной техники в мастерских участках, заправка автотехники, организация пунктов заправки и снабжения ГСМ; Быт – содержание рабочих в вахтовых и лесных посёлках. Перечень выявленных видов негативного воздействия объединен в систему классификации (табл. 1).

#### *Сбор данных*

Для обзора отечественной литературы формировался запрос в системе Elibrary по ключевым фразам, обозначенным в 1 и 2 графах (табл. 1) применительно к рассматриваемым видам лесозаготовительных работ. Для обзора зарубежной литературы формировался запрос в поисковой системе Scopus в соответствии с переведенными на английский язык ключевыми фразами, обозначенными в 1 и 2 графах (табл. 1). Отбирались наиболее релевантные публикации, в которых были упомянуты виды негативного воздействия, относящиеся к рассматриваемым лесозаготовительным работам.

Критерием оценки степени негативного воздействия выбрана шкала желательности Харрингтона [38]. При оценке степени воздействия приняты обратные значения шкалы Харрингтона: с увеличением негативного воздействия увеличивается значение показателя (табл. 2). Показатели степени воздействия оценены экспертным путем.

#### *Анализ данных*

Данные обрабатывались в среде MS Excel и R 4.1.0 [R Core Team. R: a language and environment for statistical computing. R version 4.0.1. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020. URL: <http://www.r-project.org/> (дата обращения: 06.03.2023)] с использованием базовых функций. Направления изменчивости характера и силы воздействия на среду рассматриваемых видов деятельности исследовались методом главных компонент [6].

Таблица 1

Классификация видов негативного воздействия

Table 1

Classification of negative impact types

Объекты среды   Environmental objects	Виды негативных воздействий   Types of negative impacts	Обозначение вида воздействия   Designation of the impact types
Атмосферные   Atmospheric	Загрязнение выбросами транспорта /ЛМЗ   Transport Emission Pollution /LMZ	A1   A1
	Загрязнение механическими примесями   Pollution with mechanical impurities	A2   A2
	Загрязнение химическими примесями   Pollution by chemical impurities	A3   A3
Механические   Mechanical	Шум, вибрация   Noise, vibration	M   M
Почвенные   Soil	Уничтожение покрова   Destruction of the cover	П1   P1
	Уничтожение почв   Soil destruction	П2   P2
	Свалка древесных отходов   Wood waste dump	П3   P3
	Загрязнение ГСМ   Fuel pollution	П4   P4
	Свалка бытовых отходов   Domestic waste dump	П5   P5
	Загрязнение бытовыми стоками   Pollution from domestic sewage	П6   P6
Биотические   Biotic	Механические повреждения древостоев   Mechanical damage to forest stands	Б1   B1
	Повреждение подроста   Undergrowth damage	Б2   B2
	Изменение биоразнообразия   Biodiversity change	Б3   B3
Водные   Aquatic	Изменение гидрологического режима   Changing hydrological regime	В1   W1
	Загрязнение водных объектов утечками ГСМ   Pollution of water bodies with fuel leaks	В2   W2
	Загрязнение бытовыми стоками   Pollution from domestic sewage	В3   W3

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Таблица 2

Шкала оценки степени негативного воздействия на окружающую среду

Table 2

The negative impact assessing scale to the environment

№ пп	Характеристика безразмерной шкалы желательности   Characterization of the dimensionless desirability scale	Отметки на шкале желательности Харрингтона   Marks on the Harrington Desirability Scale	Принятая характеристика степени негативного воздействия на окружающую среду   Accepted characteristic of the degree of negative impact on the environment
1	Очень хорошо   Very good	1,00 – 0,80	Очень сильное влияние   Very strong influence
2	Хорошо   Fine	0,80 – 0,63	Сильное влияние   Strong influence
3	Удовлетворительно   Satisfactorily	0,63 – 0,37	Среднее влияние   Medium impact
4	Плохо   Badly	0,37 – 0,20	Слабое влияние   Weak influence
5	Очень плохо   Very bad	0,20 – 0,00	Очень слабое или отсутствие влияния   Very weak or no impact

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations



Assessment of the degree of negative impact of logging activities

Вид воздействия   Type of impact	Виды работ   Types of work					
	СтрДор   StrDor	ЛесРаб   LesRab	Трансп   Transp	ДерОбр   DerObr	ГСМ   GSM	Быт   Byt
A1   A1	0,5	0,55	0,5	0,63	0,59	0,61
A2   A2	0,4	0,6	0,63	0,51	0,61	0,45
A3   A3	0,6	0,6	0,55	0,25	0,25	0,41
M   M	0,63	0,62	0,62	0,55	0,61	0,53
П1   P1	0,32	0,25	0,4	0,63	0,35	0,5
П2   P2	0,27	0,21	0,35	0,63	0,27	0,56
П3   P3	0,66	0,5	0,63	0,23	0	0,61
П4   P4	0,22	0,3	0,53	0,17	0,12	0,6
П5   P5	0,6	0,6	0,62	0,34	0,33	0,35
П6   P6	0,6	0,57	0	0,33	0,45	0,33
Б1   B1	0,4	0,3	0,5	0	0,59	0,58
Б2   B2	0,6	0,28	0,58	0	0,63	0,52
Б3   B3	0,25	0,55	0,8	0,25	0,23	0,53
В1   W1	0,3	0,3	0,63	0,63	0,61	0,6
В2   W2	0,3	0,33	0,57	0,42	0,15	0,28
В3   W3	0,63	0,63	0	0,3	0,42	0,32

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Массив исходных данных представляет собой матрицу из n объектов – видов воздействия на среду, каждый из которых охарактеризован m признаками – видами деятельности (табл. 3). На ее основе рассчитана матрица корреляций признаков, которая послужила основой для итерационных процедур.

Используемый алгоритм позволяет вместо многочисленных исходных признаков рассчитать несколько линейных индексов – главных компонент, в которых «концентрируется» основная доля информации о различиях объектов. Главные компоненты отображают общие причины, в силу которых группы признаков изменяются согласованно, а группы объектов оказываются сходными. Информативность компонент выражают долями общей дисперсии. Сопряженную изменчивость признаков оценивают по факторным нагрузкам. Чем больше абсолютное значение факторной нагрузки у признака, значит, тем больше его влияние, знаки «+» или «-» указывают на прямую или обратную связь между признаками. Используя факторные нагрузки

в качестве коэффициентов пропорциональности, вычисляют значения главных компонент – координаты объектов в многомерном пространстве. Характер отличия объектов раскрывает их взаимное расположение на плоскости главных компонент.

### Результаты и обсуждение

Результаты компонентного анализа указывают основные направления изменчивости воздействия на среду различных видов деятельности (табл. 4).

Три первые компоненты, учитывающие 86 % общей дисперсии, отражают самые существенные отличия по видам воздействия.

Ординация видов воздействий и направления изменчивости, определяемые рассматриваемыми видами работ, проведена в осях трех главных компонент (рис. 1). Первая, наиболее информативная компонента, оценивает вклад в общую изменчивость лесосечных работ и транспортировки древесины. Основные виды воздействия – уничтожение почв (П2), механические повреждения древостоев (Б2), уничтожение покрова (П1), изменение гидро-

логического режима (В1) и повреждение подроста (Б2) – получили здесь максимальные значения. Вместе с тем, еще три вида деятельности имеют относительно высокие факторные нагрузки. Это строительство лесных дорог, по воздействию на среду тяготеющее к обозначенной плеяде лесосечных работ и транспортировки древесины, и противостоящие им по характеру воздействия – деревообработка и функционирование вахтовых поселков. В последнем случае наиболее сильно проявляется загрязнение воды и почвы бытовыми стоками (В3 и П6).

Вторая главная компонента обозначила виды деятельности, связанные с загрязнением воды и почвы горюче-смазочными материалами (В2 и П4) и, как следствие, весомым изменением биоразнообразия (Б3), возникающим при вспомогательных работах в мастерских участках, хранении и заправке топливом, которые вместе со строительством лесных дорог составляют одну плеяду признаков.

Вместе с тем, строительство лесных дорог, судя по близким величинам факторных нагрузок в первой и второй компонентах, по характеру воздействия на среду занимает промежуточное положение между лесосечными работами и транспортировкой древесины, с одной стороны, и мастерскими участками, хранением топлива и пунктами заправки, с другой.

Таблица 4  
Сопряженная изменчивость воздействия на среду различных видов деятельности (результаты компонентного анализа)

Table 4  
Associated variability of environmental impact of various activities (results of component analysis)

Факторные нагрузки   Factor loads	Главные компоненты   Main components		
	ГК-1 GK-1	ГК-2 GK-2	ГК-3 GK-3
СтрДор   StrDor	0,405	<b>0,466</b>	-0,234
ЛесРаб   LesRab	<b>0,534</b>	0,119	0,237
Трансп   Transp	<b>0,502</b>	-0,014	-0,036
ДерОбр   DerObr	-0,370	0,365	<b>-0,662</b>
ГСМ   GSM	0,033	<b>0,723</b>	0,140
Быт   Vut	-0,401	0,335	<b>0,656</b>
Дисперсия	2,710	1,719	0,747
Дисперсия, %	45,2	28,7	12,4
Кумулята, %	45,2	73,8	86,3

Примечание: полужирным шрифтом указаны плеяды факторных нагрузок

Note: bold font indicates the pleiades of factor loadings

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

И наконец, третья компонента учитывает частные различия между рабочими вахтовыми поселками и деревообработкой. Наиболее существенными видами воздействий в первом случае являются механические повреждения подроста и древостоев (Б2 и Б1), в дополнение к загрязнению воды и почвы бытовыми стоками (В3 и П6), а также свалке бытовых отходов (П5), во втором наиболее весомы свалка древесных отходов (П3) и загрязнение почв горюче-смазочными материалами (П4).

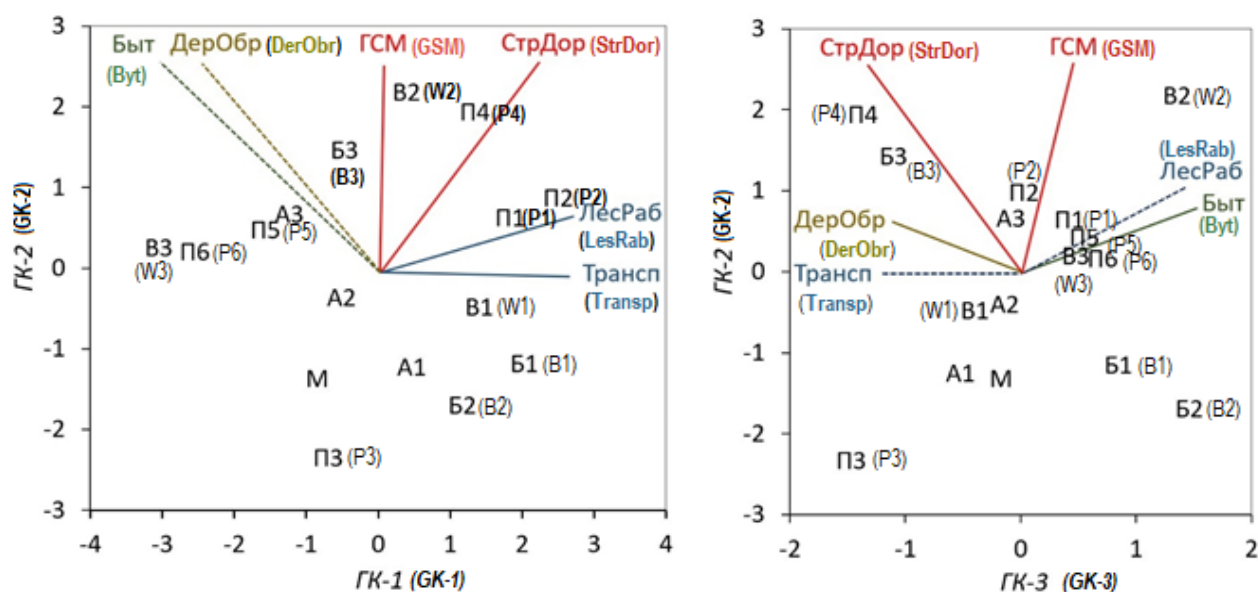


Рисунок 1. Ординация видов воздействий и направления изменчивости: цветом обозначена принадлежность работ к плеядам факторных нагрузок; сплошные линии – направления изменчивости видов воздействий при выполнении видов работ; пунктирные линии – виды работ, не принадлежащие к плеядам факторных нагрузок по соответствующим главным компонентам

Figure 1. Ordination of types of impacts and directions of variability: the color indicates that the work belongs to the pleiades of factor loads, the solid lines indicate the directions of variability of the types of impacts when performing the specified types of work, the dotted lines are the types of work that do not belong to the pleiades of factor loads for the corresponding main components

Источник: собственная композиция автор(ов)

Source: author's composition

### Закключение

Разработанный перечень включает наиболее полное описание видов негативного воздействия на природные и природно-антропогенные объекты окружающей среды, включает оценку степени негативного воздействия и позволяет учесть техногенные нагрузки при планировании лесозаготовительной деятельности. Рассматриваемые виды работ по наиболее сильным факторным нагрузкам группируются в три направления деятельности:

1. Первое направление – лесосечные работы и транспортировка древесины, при выполнении которых возникают наиболее значимые виды негативного воздействия, такие как уничтожение почв, повреждение древостоев, покрова, подроста.

2. Второе направление – деревообработка и глубокая переработка древесины, а также мероприятия по содержанию рабочего персонала на время выполнения лесозаготовительных работ, характер-

ризуются средними нагрузками на окружающую среду, в частности вызывая загрязнения воды и почвы бытовыми и промышленными стоками, образованием свалок бытовых и производственных отходов.

3. Третье направление – строительство лесных дорог и вспомогательные работы по ремонту и обслуживанию лесозаготовительной техники в мастерских участках и пунктах заправки ГСМ, которые способствуют наиболее сильному проявлению загрязнения почвы и воды нефтепродуктами и, как следствие, изменению биоразнообразия в зоне воздействия.

Таким образом, имея прогнозные значения степени негативного воздействия на объекты окружающей среды, авторами разрабатывается комплекс научно-обоснованных мероприятий, повышающих экологическую безопасность выполнения лесозаготовительных работ, которые могут быть учтены при планировании будущих работ.

### Список литературы

1. Андреев, А. А. Ресурсосбережение и использование отходов заготовки и переработки древесного сырья / А. А. Андреев // *Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты*. – 2014. – № 10. – С. 148–155. – EDN RWTMHN. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21237911>.
2. Бартенев, И. М. Снижение вредного воздействия лесных тракторов и лесосечных машин на почву и насаждения / И. М. Бартенев, М. В. Драпалюк // *Лесотехнический журнал*. – 2012. – № 1 (5). – С. 61–66. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=oxdpch&ysclid=lgw611th44619076442>.
3. Бурмистрова, О. Н. Оптимизация параметров транспортных процессов на предприятиях лесопромышленного комплекса / О. Н. Бурмистрова, С. И. Сушков, Ю. Н. Пильник // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 11. – С. 237–241. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24840083&ysclid=lgw6vj7tqu623568860>.
4. Воскобойников, И. В. Обоснование выбора системы гусеничных лесозаготовительных машин для совершенствования технологических процессов лесосечных работ / И. В. Воскобойников, Д. В. Кондратюк // *Технология колесных и гусеничных машин*. – 2015. – № 5. – С. 55–64. – EDN UUXFGF. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=uuxfgf>.
5. Рециклинг отходов: актуальность возрастает / И. Р. Шегельман, А. С. Васильев, П. О. Щукин, О. Н. Галактионов, Ю. В. Суханов // *Инженерный вестник Дона*. – 2014. – № 3 (30). – С. 28. – EDN TFXFDT. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22843875>.
6. Горбач, В. В. Практическое введение в среду R / В. В. Горбач // *Принципы экологии*. – 2021. – № 2 (40). – С. 120–122. – EDN GENAUQ. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50083854>.
7. Григорьев, И. В. Современный программный комплекс для повышения безопасности, надёжности и энергоэффективности автолесовозов / И. В. Григорьев, М. В. Зорин // *Вестник АГАТУ*. – 2021. – № 4 (4). – С. 65–72. – EDN IXJGVL. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47403282&ysclid=lhdkwg0utz816575962>.
8. Расчет показателей процесса уплотнения почвогрунта при трелевке пачки хлыстов / И. В. Григорьев, В. А. Макуев, В. Я. Шапиро [и др.] // *Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник*. – 2013. – № 2. – С. 112–118. – EDN PXQDRP. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18901479>.
9. Оценка природных условий и хозяйственной деятельности человека в районе предполагаемого строительства лесовозной автомобильной дороги / В. А. Зеликов, П. В. Тихомиров, В. В. Никитин [и др.] // *Лесотехнический журнал*. – 2020. – Т. 10. – № 1 (37). – С. 193–202. – EDN YVQEUZ. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2020.1/24>.
10. Казаков, И. В. Становление и развитие механизации лесохозяйственных работ / И. В. Казаков, С. А. Родин, В. И. Казаков // *Лесохозяйственная информация*. – 2019. – № 3. – С. 109–115. – DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2019.3.09. – EDN ICZXQU. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39263398>.
11. Математическое моделирование процесса динамического взаимодействия лесных машин и трелевочных систем с почвогрунтом при работе на склонах / В. А. Каляшов, В. Я. Шапиро, И. В. Григорьев [и др.] // *Лесотехнический журнал*. – 2022. – Т. 12. – № 1 (45). – С. 82–95. – EDN IZAYPW. – DOI <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.1/7>.
12. Карпечко, А. Ю. Влияние разных технологий лесосечных работ на плотность почвы и массу корней / А. Ю. Карпечко // *Сибирский лесной журнал*. – 2019. – № 5. – С. 37–42. – EDN MQRXCF. – DOI: <https://doi.org/10.15372/SJFS20190505>.
13. Влияние форвардеров на лесные почво-грунты / В. К. Катаров, В. С. Сюнев, Е. И. Ратькова, Ю. Ю. Герасимов // *Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ*. – 2012. – Т. 9, № 2. – С. 73–81. – EDN QIZMFN. – URL: <https://elibrary.ru/qizmf>.
14. Карташев, А. Г. Биоиндикация экологического состояния среды / А. Г. Карташев. – Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2013. – 58 с. – EDN XVBZPV. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35362879>.

15. Метод оценки эффективности лесовосстановительных мероприятий с учетом параметров лесотранспортной сети / Р. Н. Ковалев, И. М. Еналеева-Бандура, А. Н. Баранов [и др.] // Системы. Методы. Технологии. – 2022. – № 4 (56). – С. 64–71. – EDN ALCFHH. – DOI: <https://doi.org/10.18324/2077-5415-2022-4-64-71>.
16. Методы, модели и алгоритмы проектирования лесовозных автомобильных дорог с учетом влияния климата и погоды на условия движения / В. Г. Козлов [и др.]. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2019. – 336 с. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37351322&ysclid=lhdafokgeg882408902>.
17. Кочетова, Ж. Ю. Экомониторинг нефти и нефтепродуктов в объектах окружающей среды / Ж. Ю. Кочетова. – Воронеж, 2016. – 204 с. – ISBN 978-5-91972-180-2. – EDN VVFLOQ. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37028727>.
18. Литвинова, Т. А. Современные способы обезвреживания и утилизации нефтесодержащих отходов для ликвидации загрязнения окружающей среды / Т. А. Литвинова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 123. – С. 902–916. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27509803&ysclid=lgw9fjfh 8833669654>.
19. Мартынюк, А. А. О концептуальных подходах к новой редакции Лесного кодекса Российской Федерации / А. А. Мартынюк // Лесохозяйственная информация. – 2020. – № 2. – С. 5–24. – DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2020.2.01. – EDN XMECZB. – URL: <https://elibrary.ru/xmeczb>.
20. Майорова, Л. П. Воздействие лесозаготовок на окружающую среду / Л. П. Майорова, П. Б. Рябухин // Вестник Красноярского государственного аграрного университета – 2012. – №. 8. – С. 73–77. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18201095&ysclid=lgw9g8me19539452471>.
21. Макарова, Ю. А. Рациональное использование природных ресурсов при реконструкции и строительстве лесовозных автомобильных дорог / Ю. А. Макарова, А. Ю. Мануковский // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2017. – Т. 5. – № 5 (31). – С. 454–458. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32614795&ysclid=lgw9iwh1rf603741565>.
22. Мануковский, А. Ю. Воздействие лесовозных автомобильных дорог на экологию / А. Ю. Мануковский, Е. А. Кожанова, Д. А. Востриков // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2018. – Т. 6. – № 7 (43). – С. 305–309. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36745495&ysclid=lgw9k4ra79239889996>.
23. Оценка уровня негативного воздействия на компоненты природной среды несанкционированной свалки у п. Самофаловка Волгоградской области / О. А. Мишустин, С. Б. Хантимирова, В. Ф. Желтобрюхов [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 9. – С. 50. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=gdpxqx&ysclid=lgwacf38qq463716777>.
24. Морозова, Е. В. Учет затрат и обязательств по охране, защите и воспроизводству лесов в лесозаготовках / Е. В. Морозова // Международный бухгалтерский учет. – 2014. – № 8 (302). – С. 8–20. – EDN RUXPMH. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21153762>.
25. Мохирев, А. П. Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса, как фактор устойчивого природопользования / А. П. Мохирев, Ю. А. Безруких, С. О. Медведев // Инженерный вестник Дона – Северо-Кавказский научный центр высшей школы Южного федерального университета. – № 2 (часть 2). – 2015. – 13 с. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24132495&ysclid=lgwa9k1x8n199517546>.
26. Мохирев, А. П. Технология лесосечных работ с сортировкой порубочных остатков древесины / А. П. Мохирев, М. А. Зырянов // Системы. Методы. Технологии. – 2015. – № 3 (27). – С. 118–122. – EDN UKWGNN. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24258836>.

27. Перспективы комплексного использования отходов лесозаготовительного производства / О. В. Мурашова, Н. С. Главатских, П. Н. Перфильев, Н. О. Задраускайте // Лесной вестник. – 2022. – Т. 26, № 4. – С. 119–127. – EDN MBJQDK. – DOI: <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-4-119-127>.
28. Пискунов, М. А. Моделирование расположения лесосечных отходов при использовании технологий заготовки древесины с обрезкой сучьев у пня / М. А. Пискунов, Л. В. Щеголева, И. П. Матвеев // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2018. – № 2 (38). – С. 61–73. – EDN UUTVXU. – DOI: <https://doi.org/10.15350/2306-2827.2018.2.61>.
29. Полянин, И. А. Технология сортировки щепы по смолистости, полученной из пней и некондиционной древесины / И. А. Полянин [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6. – С. 937–941. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21611517&ysclid=lgwae0ke3p137282748>.
30. Аспекты возникновения и технологии тушения широкомасштабных лесных пожаров / В. В. Протасов, В. М. Попов, В. В. Юшин, М. А. Рыжова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2013. – № 1. – С. 199–201. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21030452&ysclid=lgwahi014o691815670>.
31. Путилина, В. С. Трансформация нефти и нефтепродуктов в почвах, горных породах, подземных водах. Загрязнение, инфильтрация, миграция, деградация. Метаболиты / В. С. Путилина, И. В. Галицкая, Т. И. Юганова // Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы. – 2019. – № 108. – С. 1–112. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39278738&ysclid=lgwaii56x3625079857>.
32. Ранникко, П. Койвусельга. Социальная трансформация лесозаготовительного поселка в российской Карелии (перевод с фин. яз. Ю. М. Килин) / П. Ранникко, Э. Варис, М. Пииппонен // *Studia Humanitatis Borealis*. – 2016. – № 2 (7). – С. 32–47. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30739861&ysclid=lhdbdp3lfv631942743>.
33. Модернизация валочно-сучкорезно-раскряжевочного механизма лесного харвестера / К. П. Рукомойников, Е. М. Царев, С. Е. Анисимов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2022. – № 3 (387). – С. 130–138. – EDN DOQYXO. – DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-3-130-138>.
34. Рыбакова, Н. А. Влияние автотранспортного загрязнения на рост лесных культур лиственницы европейской / Н. А. Рыбакова, Ю. Б. Глазунов // Лесотехнический журнал. – 2020. – Т. 10. – № 2 (38). – С. 70–80. – EDN PLEKMX. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2020.2/7>.
35. Рябухин, П. Б. Экологические аспекты при эксплуатации лесозаготовительных машин / П. Б. Рябухин // Леса России и хозяйство в них. – 2016. – № 3 (58). – С. 68–71. – EDN XQURDP. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28094637&ysclid=lhdf4c34mh515887215>.
36. Сергиенко, А. В. Необходимость рационального использования отходов деревообработки / А. В. Сергиенко, И. В. Яцун // Наука и образование сегодня. – 2017. – № 1 (12). – С. 12–13. – EDN XHQESB. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27675487>.
37. Сюнёв, В. С. Новые технические решения по снижению негативного воздействия лесопромышленных производств на лесную среду / Е. О. Графова, В. С. Сюнёв // *Resources and Technology*. – Петрозаводск, 2022. – Вып. 19. – № 2. – С. 48–71. – DOI: <http://doi.org/10.15393/j2.art.2022.6543>.
38. Федорченко, С. Г. Интегральная мера оценки состояния энергетической безопасности / С. Г. Федорченко, Г. С. Федорченко // *Problemele Energeticii Regionale*. – 2014. – Т. 24. – № 1. – С. 1–16. – URL: <https://elibrary.ru/sgynxf>.
39. Особенности опилок как наполнителя при производстве материалов из древесных отходов / М. В. Филичкина, В. В. Абрамов, Д. С. Самошин, Г. А. Фролов // Лесотехнический журнал. – 2013. – № 2 (10). – С. 26–30. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20788305>.

40. Цыпук, А. М. Перспективная технология лесовосстановления в условиях интенсивного лесопользования / А. М. Цыпук, А. В. Родионов // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2020. – № 58. – С. 128–131. – EDN FPDDOY. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44172915>.
41. Шадрин, А. А. Система машин для переработки низкокачественной и тонкомерной древесины в условиях лесозаготовительных предприятий / А. А. Шадрин, А. С. Гурба, Э. Ю. Семенкина // Современные проблемы теории машин. – 2019. – № 7. – С. 15–18. – DOI: <https://doi.org/10.26160/2307-342X-2019-7-15-18>.
42. Häggström C., Lindroos O. Human, technology, organization and environment – a human factors perspective on performance in forest harvesting // *International Journal of Forest Engineering*. – 2016. – № 2 (27). – P. 67–78. – DOI: <http://doi.org/10.1080/14942119.2016.1170495>.
43. Goma-Tchimbakala, E. J. C. D.; Pietrini, I.; Goma-Tchimbakala, J.; Corgnati, S. P. Use of Shotgun Metagenomics to Assess the Microbial Diversity and Hydrocarbons Degrading Functions of Auto-Mechanic Workshops Soils Polluted with Gasoline and Diesel Fuel. *Microorganisms*. – 2023; 11(3): 722. – DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11030722>.
44. Kelly M. C., Germain R. H., Bick S. Impacts of Forestry Best Management Practices on Logging Costs and Productivity in the Northeastern USA // *Journal of Forestry*. – 2017. – № 6 (115). – P. 503–512. – DOI: <http://doi.org/10.5849/JOF.2016-031R1>.
45. Klaes B. [et al.]. Middle-term effects after timber harvesting with heavy machinery on a fine-textured forest soil // *European Journal of Forest Research*. – 2016. – № 6 (135). – P. 1083–1095. – DOI: <http://doi.org/10.1007/s10342-016-0995-2>.
46. Sustainable forest management a global review / Dh. Kumar, C. L. Thakur, D. R. Bhardwaj, N. Sharma, H. Sharma, P. Sharma // *Int. J. Curr. Microbiol.* – 2021. – App. Sci. – V. 10. – DOI: <http://doi.org/10.20546/ijcmas.2021.1001.292>.
47. Ning, Z.; Zhang, M.; He, Z.; Cai, P.; Guo, C.; Wang, P. Spatial Pattern of Bacterial Community Diversity Formed in Different Groundwater Field Corresponding to Electron Donors and Acceptors Distributions at a Petroleum-Contaminated Site. *Water*. – 2018; 10(7): 842. – P. 15. – DOI: <https://doi.org/10.3390/w10070842>.
48. Rozītis G., Zimelis A., Lazdiņš A. Evaluation of productivity and impact on soil of tracked ProSilva F2/2 forwarder in forest thinning // *Forestry and wood processing*. – 2017. – № 1. – P. 94–100. – DOI: <http://doi.org/10.22616/rrd.23.2017.014>.

### References

1. Andreev A. A. Resursosberezhenie i ispol'zovanie othodov zagotovki i pererabotki drevesnogo syr'ya [Resource saving and use of waste materials for harvesting and processing of wood raw materials] *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya: problemy i rezul'taty = Fundamental and applied research: problems and results*. 2014; 10: 148–155. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21237911> (in Russ.).
2. Bertenev I.M., Drapalyuk M.V. Snizhenie vrednogo vozdejstviya lesnyh traktorov i lesosechnyh mashin na pochvu i nasazhdeniya [Reducing the harmful effects of forest tractors and logging machines on the soil and plantings] *Lesotekhnicheskij zhurnal = Lesotechnical journal*. 2012; 1(5): 61–66. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=oxdpch&ysclid=lgw611th44619076442> (in Russ.).
3. Burmistrova O. N., Sushkov S. I., Pil'nik YU. N. Optimizaciya parametrov transportnyh processov na predpriyatiyah lesopromyshlennogo kompleksa [Optimization of the parameters of transport processes at the enterprises of the timber industry complex], *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental research*. 2015; 11: 237–241. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24840083&ysclid=lgw6vj7tqu623568860> (in Russ.).
4. Voskoboinikov I.V. Obosnovanie vybora sistemy gusenichnyh lesozagotovitel'nyh mashin dlya sovershenstvovaniya tekhnologicheskikh processov lesosechnyh rabot [Justification of the choice of a system of tracked logging machines for improving the technological processes of logging operations] *Tekhnologiya kolesnyh i*

gusenichnyh mashin = Technology of wheeled and tracked machines. 2015; 5: 55-64. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=uuxfgf> (in Russ.).

5. Shegelman I. R., Vasilyev A. S., Shchukin P. O., Galaktionov O. N., Sukhanov Yu. V. Recikling othodov: aktual'nost' vozrastaet [Waste recycling: the relevance is increasing]. Inzhenernyj vestnik Dona = Engineering Bulletin of the Don. 2014; 3(30): 28. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22843875> (in Russ.).

6. Gorbach V. V. Prakticheskoe vvedenie v sredu R [Practical introduction to the R environment] Principy ekologii = Principles of ecology. 2021; 2 (40): 120–122. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50083854> (in Russ.).

7. Grigoriev I. V. Sovremennyj programmnyj kompleks dlya povysheniya bezopasnosti, nadyozhnosti i energoeffektivnosti avto-lesovozov [Modern software package for improving the safety, reliability and energy efficiency of timber trucks] Vestnik AGATU = Vestnik AGATU. 2021; 4(4): 65–72. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47403282&ysclid=lhdkwg0utz816575962> (in Russ.).

8. Grigoriev V. I., Grigoryev I. V., Makuev V. A., Shapiro V. Ya. [et al.] Raschet pokazatelej processa uplotneniya pochvogrunta pri trelevke pachki hlystov [Calculation of indicators of the process of soil compaction during skidding of a bundle of whips] Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa = Bulletin of the Moscow State University of Forests - Forest Bulletin. 2013; 2: 112–118. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18901479> (in Russ.).

9. Zelikov V. A., Tikhomirov P. V., Nikitin V. V. [et al.] Ocenka prirodnyh uslovij i hozyajstvennoj deyatel'nosti cheloveka v rajone predpolagaemogo stroitel'stva lesovoznoj avtomobil'noj dorogi [Assessment of natural conditions and human economic activity in the area of the proposed construction of a logging road] Lesotekhnicheskij zhurnal = Forestry magazine. 2020; 10, No. 1 (37): 193–202. URL: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2020.1/24> (in Russ.).

10. Kazakov I. V., Rodin S. A., Kazakov V. I. Stanovlenie i razvitie mekhanizacii lesohozyajstvennyh rabot [Formation and development of mechanization of forestry operations] Lesohozyajstvennaya informaciya = Forestry information. 2019; 3: 109 – 115. URL: <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.3.09> (in Russ.).

11. Kalyashov V. A., Shapiro V. Ya., Grigoriev I. V. [et al.] Matematicheskoe modelirovanie processa dinamicheskogo vzaimodejstviya lesnyh mashin i trelevochnykh sistem s pochvogruntom pri rabote na sklonah [Mathematical modeling of the process of dynamic interaction of forest machines and skidding systems with soil when working on slopes] Lesotekhnicheskij zhurnal = Lesotechnical journal. 2022; 12, 1 (45): 82–95. URL: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.1/7> (in Russ.).

12. Karpechko A. Yu. Vliyanie raznykh tekhnologij lesosechnykh rabot na plotnost' pochvy i massu kornej [Influence of different logging technologies on soil density and root mass] Sibirskij lesnoj zhurnal = Siberian Forest Journal. 2019; 5: 37–42. URL: <https://doi.org/10.15372/SJFS20190505> (in Russ.).

13. Katarov V. K. Vliyanie forvarderov na lesnye pochvo-grunty [Influence of forwarders on forest soils] Resources and Technology, Petrozavodsk, 2012; 2 (9): 73–81. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19420548&ysclid=lgw7trsq14585208743> (in Russ.).

14. Kartashev, A. G. Bioindikaciya ekologicheskogo sostoyaniya sredy [Bioindication of the ecological state of the environment] Tomskij gosudarstvennyj universitet sistem upravleniya i radioelektroniki Bioindikaciya ekologicheskogo sostoyaniya sredy = Tomsk: Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. 2012; 58 p. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35362879> (in Russ.).

15. Kovalev I. M., Enaleeva-Bandura I. M., Baranov A. N. [et al.] Metod ocenki effektivnosti lesovosstanovitel'nyh meropriyatij s uchetom parametrov lesotransportnoj seti [Method for evaluating the effectiveness of reforestation measures taking into account the parameters of the forest transport network] Sistemy. Metody. Tekhnologii = Systems. Methods. Technologies. 2022; 4 (56): 64–71. URL: <https://doi.org/10.18324/2077-5415-2022-4-64-71> (in Russ.).

16. Kozlov V. G. [et al.] Metody, modeli i algoritmy proektirovaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog s uchetom vliyaniya klimata i pogody na usloviya dvizheniya [Methods, models and algorithms for designing logging



roads, taking into account the influence of climate and weather on traffic conditions]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 2019; 336 p. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37351322&ysclid=lhdafokgeg882408902> (in Russ.).

17. Kochetova, Zh. Yu. Ekomonitring nefiti i nefteproduktov v ob"ektah okruzhayushchej sredy [Ecomonitoring of oil and oil products in environmental objects]. Voronezh: Federal State State Military Educational Institution of Higher Professional Education «Military Educational and Scientific Center of the Air Force» Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin" (Voronezh) of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 2016; 204 p. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37028727> (in Russ.).

18. Litvinova, T. A. Sovremennye sposoby obezvrezhivaniya i utilizacii neftesoderzhashchih othodov dlya likvidacii zagryazneniya okruzhayushchej sredy [Modern methods of neutralization and disposal of oil-containing waste to eliminate environmental pollution] Politematicheskij setevoj elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2016; 123: 902–916. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27509803&ysclid=lgw9fjfh8833669654> (in Russ.).

19. Martynyuk, A. A. On conceptual approaches to the new edition of the Forest Code of the Russian Federation. Forestry information. – 2020; 2: 5-24. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2020.2.01. EDN XMECZB. URL: <https://elibrary.ru/xmeczb>.

20. Majorova L. P., Ryabuhin P. B. Vozdejstvie lesozagotovok na okruzhayushchuyu sredu [The impact of logging on the environment] Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University. 2012; 8: 73–77. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18201095&ysclid=lgw9g8mel9539452471> (in Russ.).

21. Makarova, YU. A., Manukovskij A. YU. Racional'noe ispol'zovanie prirodnyh resursov pri rekonstrukcii i stroitel'stve lesovoznyh avtomobil'nyh dorog [Rational use of natural resources in the reconstruction and construction of logging roads] Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovanij XXI veka: teoriya i praktika = Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. 2017; 5 (31): 454–458. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32614795&ysclid=lgw9iwh1rf603741565> (in Russ.).

22. Manukovskij A. YU., Kozhanova E. A., Vostrikov D. A. Vozdejstvie lesovoznyh avtomobil'nyh dorog na ekologiyu [Impact of logging roads on the environment] Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovanij XXI veka: teoriya i praktika = Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. 2018; 6, 7 (43): 305–309. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36745495&ysclid=lgw9k4ra79239889996> (in Russ.).

23. Mishustin, O. A., Hantimirova S. B., ZHeltobryuhov V. F. Ocenka urovnya negativnogo vozdejstviya na komponenty prirodnoj sredy nesankcionirovannoj svalki u p. Samofalovka Volgogradskoj oblasti [Evaluation of the level of negative impact on the components of the natural environment of an unauthorized dump near the village of Samofalovka, Volgograd Region] Inzhenernyj vestnik Dona = Engineering Bulletin of the Don. 2019, No. 9, 50 p. <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=gdpqxq&ysclid=lgwacf38qq463716777> (in Russ.).

24. Morozova, E. V. Uchet zatrat i obyazatel'stv po ohrane, zashchite i vosproizvodstvu lesov v lesozagotovkah [Accounting for costs and obligations for the protection, protection and reproduction of forests in logging] / E. V. Morozova // Mezhdunarodnyj buhgalterskij uchet = International Accounting. 2014; 8(302): 8–20. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21153762> (in Russ.).

25. Mohirev A. P., Bezrukih YU. A., Medvedev S. O. Pererabotka drevesnyh othodov predpriyatij lesopromyshennogo kompleksa, kak faktor ustojchivogo prirodoopol'zovaniya [Processing of wood waste from timber industry enterprises as a factor in sustainable nature management] Inzhenernyj vestnik Dona- Severo-Kavkazskij nauchnyj centr vysshej shkoly Yuzhnogo federal'nogo universiteta № 2 (chast' 2) = Engineering Bulletin of the Don - North Caucasian Scientific Center of the Higher School of the Southern Federal University. 2015; 2 (part 2): 13 p. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24132495&ysclid=lgwa9k1x8n199517546> (in Russ.).

26. Mokhirev, A. P., Zyryanov M. A. Tekhnologiya lesosechnyh rabot s sortirovkoj porubochnyh ostatkov drevesiny [Technology of logging operations with sorting of logging residues of wood] Sistemy. Metody. Tekhnologii [Systems. Methods. Technologies], 2015, No. 3 (27), P. 118–122. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24258836> (in Russ.).
27. Murashova O. V., Glavatskikh N. S., Perfilyev P. N., Zadrauskaite N. O. Perspektivy kompleksnogo ispol'zovaniya othodov lesozagotovitel'nogo proizvodstva [Prospects for the integrated use of logging waste] Lesnoj vestnik = Forest Bulletin. 2022; V. 26, No. 4: 119–127. URL: <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-4-119-127> (in Russ.).
28. Piskunov M. A., Shchegoleva L. V., Matveev I. P. Modelirovanie raspolozheniya lesosechnyh othodov pri ispol'zovanii tekhnologij zagotovki drevesiny s obrezkoj such'ev u pnya [Modeling the location of logging waste when using technologies for harvesting wood with pruning of branches at the stump] Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie = Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature management. 2018; 2 (38): 61–73. URL: <https://doi.org/10.15350/2306-2827.2018.2.61> (in Russ.).
29. Polyaniin I. A. Tekhnologiya sortirovki shchepy po smolistosti, poluchennoj iz pnevoj i nekondicionnoj drevesiny [Technology for sorting chips according to resin content obtained from stump and substandard wood] Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental research. 2014; 6: 937–941. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21611517&ysclid=lgwae0ke3p137282748> (in Russ.).
30. Protasov V. V., Popov V. M., YUshin V. V., Ryzhova M. A. Aspekty vozniknoveniya i tekhnologii tusheniya shirokomasshtabnyh lesnyh pozharov [Aspects of emergence and extinguishing technology of large-scale forest fires] Izvestiya YUgo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the South-Western State University. Series: Technics and technologies. 2013; 1: 199–201, URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21030452&ysclid=lgwahi014o691815670> (in Russ.).
31. Putilina, V. S., Galickaya I. V., YUGanova T. I. Transformaciya nefi i nefteproduktov v pochvah, gornyh porodah, podzemnyh vodah. Zagryaznenie, infil'traciya, migraciya, degradaciya. Metabolity [Transformation of oil and oil products in soils, rocks, underground waters. Pollution, infiltration, migration, degradation. Metabolites] Ekologiya. Seriya analiticheskikh obzorov mirovoj literatury = Ecology. A series of analytical reviews of world literature. 2019; 108: 1–112. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39278738&ysclid=lgwaii56x3625079857> (in Russ.).
32. Rannikko P., Varis E., Piipponen M. Social'naya transformaciya lesozagotovitel'nogo poselka v rossijskoj Karelii [Social transformation of a logging village in Russian Karelia] Studia Humanitatis Borealis, 2016; 2(7): 32–47. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30739861&ysclid=lhdbdp31fv631942743> (in Russ.).
33. Rumoynikov K.P., Tsarev E. M., Anisimov S. E. [et al.] Modernizaciya valочно-suchkorezno-raskryazhevochnogo mekhanizma lesnogo harvestera [Modernization of the felling-lopping-bucking mechanism of a forest harvester] Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal [News of higher educational institutions. Forest magazine]. 2022; 3 (387): 130 – 138. DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-3-130-138> (in Russ.).
34. Rybakova N. A., Glazunov Yu. B. Vliyanie avtotransportnogo zagryazneniya na rost lesnyh kul'tur listvennicy evropejskoj [Influence of road pollution on the growth of European larch forest cultures]. Lesotekhnicheskij zhurnal = [Forest engineering journal]. 2020; 10, 2 (38): 70–80. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2020.2/7> (in Russ.).
35. Ryabukhin P. B. Ekologicheskie aspekty pri ekspluatcii lesozagotovitel'nyh mashin [Ecological aspects in the operation of logging machines] Lesa Rossii i hozyajstvo v nih = Forests of Russia and the economy in them. 2016; 3 (58): 68–71. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28094637&ysclid=lhdf4c34mh515887215> (in Russ.).
36. Sergienko A. V., Yatsun I. V. Neobhodimost' racional'nogo ispol'zovaniya othodov derevoobrabotki [The need for rational use of woodworking waste] Nauka i obrazovanie segodnya = Science and education today. 2017; 1(12): 12–13. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27675487> (in Russ.).

37. Syunyov V. S., Grafova E. O. *Novye tekhnicheskie resheniya po snizheniyu negativnogo vozdeystviya lesopromyshlennykh proizvodstv na lesnuyu sredu* [New technical solutions to reduce the negative impact of timber industry on the forest environment], *Resources and Technology*, Petrozavodsk, 2022; 19, 2: 48-71. DOI: <http://doi.org/10.15393/j2.art.2022.6543> (in Russ.).
38. Fedorchenko S. G., Fedorchenko G. S. *Integral'naya mera ocenki sostoyaniya energeticheskoy bezopasnosti* [Integral measure for assessing the state of energy security] *Problemele Energeticii Regionale*. 2014;24,1: 1–16. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21703784&ysclid=lgwaqzd2yz202553801> (in Russ.).
39. Filichkina M. V., Abramov V. V., Samoshin D. S., Frolov G. A. *Osobennosti opilok kak napolnitelya pri proizvodstve materialov iz drevesnyh othodov* [Features of sawdust as a filler in the production of materials from wood waste] *Lesotekhnicheskij zhurnal*. 2013; 2(10): 26–30. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20788305> (in Russ.).
40. Tsypuk A. M., Rodionov A. V. *Promising technology of reforestation under conditions of intensive forest management Actual problems of the forest complex*. 2020; 58: 128–131. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44172915> (in Russ.).
41. Shadrin A. A., Gurba A. S., Semenkina E. Yu. *Sistema mashin dlya pererabotki nizkokachestvennoj i tonkomernoj drevesiny v usloviyah lesozagotovitel'-nyh predpriyatij* [A system of machines for processing low-quality and small-sized wood in the conditions of logging enterprises] *Sovremennye problemy teorii mashin = Modern problems of machine theory*. 2019; 7: 15–18. DOI: <https://doi.org/10.26160/2307-342X-2019-7-15-18> (in Russ.).
42. Häggström C., Lindroos O. *Human, technology, organization and environment – a human factors perspective on performance in forest harvesting* // *International Journal of Forest Engineering*. 2016. – № 2 (27). – P. 67–78. – URL: <http://doi.org/10.1080/14942119.2016.1170495>.
43. Goma-Tchimbakala, E.J.C.D.; Pietrini, I.; Goma-Tchimbakala, J.; Corgnati, S.P. *Use of Shotgun Metagenomics to Assess the Microbial Diversity and Hydrocarbons Degrading Functions of Auto-Mechanic Workshops Soils Polluted with Gasoline and Diesel Fuel*. *Microorganisms*. – 2023, – №11(3): 722. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11030722>.
44. Kelly M. C., Germain R. H., Bick S. *Impacts of Forestry Best Management Practices on Logging Costs and Productivity in the Northeastern USA* // *Journal of Forestry*. –2017.– № 6 (115). –P. 503–512. DOI: <http://doi.org/10.5849/JOF.2016-031R1>.
45. Klaes B. [et al.]. *Middle-term effects after timber harvesting with heavy machinery on a fine-textured forest soil* // *European Journal of Forest Research*. –2016.–№ 6 (135). –P. 1083–1095. – URL: <http://doi.org/10.1007/s10342-016-0995-2>.
46. Kumar Dh., *Sustainable forest management a global review* / Dh. Kumar, C. L. Thakur, D. R. Bhardwaj, N. Sharma, H. Sharma, P. Sharma // *Int. J. Curr. Microbiol.* 2021; App. Sci. 10. DOI: <http://doi.org/10.20546/ijcmas.2021.1001.292>.
47. Ning, Z.; Zhang, M.; He, Z.; Cai, P.; Guo, C.; Wang, P. *Spatial Pattern of Bacterial Community Diversity Formed in Different Groundwater Field Corresponding to Electron Donors and Acceptors Distributions at a Petroleum-Contaminated Site*. *Water*. 2018; 10 (7): 842, – P. 15. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10070842>.
48. Rozītis G., Zimelis A., Lazdiņš A. *Evaluation of productivity and impact on soil of tracked ProSilva F2/2 forwarder in forest thinning* // *Forestry and wood processing*. –2017. – № 1. –P. 94–100. – DOI: <http://doi.org/10.22616/rtd.23.2017.014>.

### Сведения об авторах

✉ *Графова Елена Олеговна* – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации лесного комплекса, ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», пр. Ленина, 33, г. Петрозаводск, 185035, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0263-9345>, e-mail: [grafova.elena.karelia@gmail.com](mailto:grafova.elena.karelia@gmail.com).

*Сюнёв Владимир Сергеевич* – доктор технических наук, профессор кафедры транспортных и технологических машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», пр. Ленина, 33, г. Петрозаводск, 185035, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2558-2671>, e-mail: [siounev@petsu.ru](mailto:siounev@petsu.ru).

*Горбач Вячеслав Васильевич* – доктор биологических наук, доцент кафедры зоологии и экологии, ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», пр. Ленина, 33, г. Петрозаводск, 185035, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2326-8539>, e-mail: [gorbach@petsu.ru](mailto:gorbach@petsu.ru).

### Information about the authors

✉ *Elena O. Grafova* – Cand. Sci. (Technology), associate professor, Petrozavodsk State University, Lenin Ave., 33, Petrozavodsk city, 185035, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0263-9345>, e-mail: [grafova.elena.karelia@gmail.com](mailto:grafova.elena.karelia@gmail.com).

*Vladimir S. Syunev* – Dr. Sci. (Technology), professor, Department of Transport and Technological Machines and Equipment, Petrozavodsk State University, Lenin Ave., 33, Petrozavodsk city, 185035, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2558-2671>, e-mail: [siounev@petsu.ru](mailto:siounev@petsu.ru).

*Viacheslav V. Gorbach* – Dr. Sci. (Biology), associate professor, Department of zoology and ecology, Petrozavodsk State University, Lenin Ave., 33, Petrozavodsk city, 185035, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2326-8539>, e-mail: [gorbach@petsu.ru](mailto:gorbach@petsu.ru).

✉ – Для контактов | Corresponding author