

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6103

УДК 630\*181.351

## **Новые технические решения по снижению негативного воздействия лесопромышленных производств на лесную среду**

**Сюнёв Владимир Сергеевич**

*доктор технических наук, профессор, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), [siounev@petrsu.ru](mailto:siounev@petrsu.ru)*

**Графова Елена Олеговна**

*кандидат технических наук, доцент, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), [grafova.elena.karelia@gmail.com](mailto:grafova.elena.karelia@gmail.com)*

*Получена: 11 января 2022 / Принята: 28 февраля 2022 / Опубликовано: 11 марта 2022*

---

**Аннотация:** Помимо наиболее часто рассматриваемых негативных факторов воздействия на природную среду при проведении лесозаготовок, рассматриваются новые аспекты, возникшие с усовершенствованием законодательства. Неполное использование древесных отходов приводит к появлению складов и свалок неиспользованных древесных отходов, в процессе лесозаготовок и в лесных посёлках образуются сопутствующие бытовые отходы, которые также накапливаются в виде свалок, выделяя токсичный фильтрат, газы, продукты распада отходов. Отсутствие контроля на лесных площадках приводит к авариям, утечкам нефтепродуктов при заправках и эксплуатации лесной техники, провоцируя многолетнее точечное воздействие на почву и воду в местах концентрации техники и складов ГСМ. Согласно природоохранному законодательству, лесопользователи несут ответственность за негативное воздействие на окружающую среду перед государством и должны устранять последствия своей деятельности или предотвращать потенциальные экологические риски. Многолетнее использование участка лесосеки приводит к интенсивной эксплуатации лесных дорог, способствуя загрязнению нефтепродуктами водоёмов, через водоохранные зоны. Соответствующие технологические регламенты по снижению выявленных негативных факторов воздействия на окружающую среду в процессе лесозаготовки не установлены. Предлагается использовать все образующиеся на лесозаготовительной площадке отходы для производства почвенного субстрата методом компостирования путём добавления в него органической составляющей, компенсирующей недостаток азота, — органические отходы, осадки сточных вод, азотсодержащие отходы сельского хозяйства. Согласно отчётности в Республике Карелия (2ТП-Отход) за

три года, 92 % отходов составляет кора древесная, щепа — 4 %, горбыль — 2 %, остальные отходы — менее 1 %. В целом установлено, что 32 % древесных отходов лесных предприятий не используется. При эффективном межведомственном взаимодействии данные виды отходов могут быть переработаны в полезный продукт, что снизит объёмы захораниваемых отходов на уровне региона. В местах утечек нефтепродуктов предлагается организовать сбор поверхностного стока, смывающего загрязнения с поверхности площадок, и его последующую очистку на локальных системах очистки, в которых в качестве очистного агента выступают комбинированные природные сорбционные материалы, сформированные из продуктов лесозаготовок. Основными факторами, влияющими на устройства систем очистки на лесных площадках и дорогах в условиях Северо-Запада РФ являются: наличие заболоченных и водонасыщенных лесных территорий, отсутствие электроснабжения, невозможность заглублять сооружения, необходимость установки пескоулавливающего устройства. Установлено, что в условиях Северо-Запада РФ производительность сооружений должна обеспечивать приём стоков с расходом 0,3—3,0 л/с.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, отходы лесозаготовок, компостирование, загрязнение нефтепродуктами, ликвидация накопленного вреда

---

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6103

Article

## New technical solutions for reducing the negative impact of forest industries on the forest environment

**Vladimir Syunev**

*D. Sc. in engineering, professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation),  
e-mail: [siounev@petrus.ru](mailto:siounev@petrus.ru)*

**Elena Grafova**

*PhD in engineering, associate professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation),  
e-mail: [grafova.elena.karelia@gmail.com](mailto:grafova.elena.karelia@gmail.com)*

*Received: 11 January 2022 / Accepted: 28 February 2022 / Published: 11 March 2022*

---

**Abstract:** In addition to the most frequently considered negative factors of logging impact on the natural environment, new aspects that have arisen with the improvement of legislation are considered. Incomplete use of wood waste leads to the formation of warehouses and dumps of unused wood waste. Also in forest settlements household waste is generated, which is accumulated on landfills, emitting toxic filtrate, gases, waste decay products. Lack of control on forest sites leads to accidents and leaks of oil products during refueling and operation of forestry equipment. This results in a long-term polluting effect on the soil and water in places where equipment, fuel and lubricants are concentrated. According to environmental legislation, forest users are responsible for the negative impact on the environment and must eliminate the consequences of their activities or prevent potential environmental risks. Long-term use of the harvesting area leads to intensive exploitation of forest roads, contributing to the pollution of water bodies with oil products. The corresponding technological regulations to reduce the negative environmental impact factors in the process of logging have not been established. The author proposes to use all waste generated at the logging site to produce soil substrate by the process of composting. During the process an organic component such as organic waste, sewage sludge, nitrogen-containing agricultural waste should be added to compensate for the lack of nitrogen. According to reports, wood bark amounted to 92% of waste, wood chips comprised 4%, slab wood - 2% in the Republic of Karelia during last three years. In general, it was found that 32% of wood waste from forest enterprises is not used. With effective interdepartmental interaction, these types of waste can be processed into a useful product, reducing the volume of landfill waste at the regional level. The author suggests collecting oil products spillage

by washing away the pollution substances. These substances will be processed on local treatment systems by using combined natural sorption materials formed from logging products as cleaning agents. The following features of the cleaning systems design on forest sites and roads have been identified: swampy and water-saturated forest areas as the most typical ones in the North-West of the Russian Federation, the lack of power supply, the inability to deepen structures due to a small difference in elevations between the roadbed and the adjacent terrain or water level. It is required to install a sand trap with a power reserve because of ground cover and sand removal necessity. The capacity of structures should be selected according to the amount of wastewater flow, designed for shorter drainage areas, providing wastewater intake with a flow rate of 0.3—3.0 l/s.

**Keywords:** environmental safety, logging waste, composting, oil pollution, elimination of accumulated harm

---

## 1. Постановка проблемы

Снижение негативного влияния техники и технологий лесозаготовительного и лесоперерабатывающего производств на лесную среду является одной из важнейших задач рационального неистощимого природопользования. В последние годы экологическому состоянию эксплуатируемых лесных территорий уделяется повышенное внимание. Очевидно, что сами процессы лесозаготовки, транспортировки древесины, первичной деревообработки изначально являются не дружественными к окружающей природной среде. Но при их правильной реализации все технологические процессы должны обеспечить минимальное отрицательное воздействие на лесные экосистемы: минимизировать повреждаемость почв, оставляемых древостоев, исключать загрязнение территории отходами производств, избегать проникновения горюче-смазочных материалов в воду и почву, способствовать сохранению чистоты воздуха. Особенно остро эти проблемы обозначены при освоении северных и арктических лесных территорий, поскольку они наиболее чувствительны к нарушениям и медленно восстанавливаются после негативных воздействий. Очевидно, что лесопользование на этих территориях должно вестись в строгом соответствии с принципами, изложенными в Лесном кодексе [28], 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) использование лесов должно осуществляться способами, не наносящими вреда окружающей среде и здоровью человека.

Основными негативными факторами воздействия на природную среду при проведении лесозаготовок, по мнению большинства авторов, являются повреждения древостоев лесозаготовительной техникой, нарушение естественных функций лесных почв и разрывы корневых систем растущих деревьев под воздействием колёсных и гусеничных лесных машин [15], [9], [37], загрязнение воздуха в процессе работы лесозаготовительной техники [27], образование складов неиспользованных древесных отходов [31]. Особенно негативное воздействие на лесную среду оказывает техника при проведении рубок ухода за лесом [14]. Виды воздействий на окружающую среду при выполнении лесных работ, последствия, технические и технологические решения по их минимизации проработаны многими авторами [16], [23], также разработаны практические рекомендации по проведению рубок промежуточного пользования на Северо-Западе России [39]. Весьма тщательно данные вопросы освещены с практической точки зрения при ведении лесного хозяйства Скандинавии [33] и не нуждаются в дальнейшем изучении.

Загрязнение воздуха при лесосечных работах происходит в результате выбросов продуктов сгорания топлива лесосечной техники; выхлопных газов автомобильного транспорта; испарений из ёмкости хранения горюче-смазочных материалов (ГСМ); выбросов продуктов сгорания через дымовые трубы при отоплении бытовок и пр. В начале 2000-х гг.

рядом зарубежных исследователей был поднят вопрос о необходимости изучения воздействия выброса выхлопных газов тракторов и автомобилей на лесную среду. Впервые проработка данной темы начата финским исследователем Тимо Карьялайненом. Однако она не получила дальнейшего развития в силу недостаточной актуальности. Анализ загрязнения атмосферного воздуха отечественными исследователями [29] показал, что вследствие рассеивания загрязняющие вещества формируются в приземных слоях атмосферы. В зависимости от применяемой технологии лесозаготовки и размещения техники уровень загрязнения разнится: максимальные приземные концентрации происходят при хлыстовой технологии заготовок, возникает выброс диоксида азота — краткосрочно его концентрация превышает в 10 раз. Воздействие остальных газов в лесной зоне незначительно: сажа, диоксид серы и угарный газ не представляют интереса для глубоких исследований.

Воздействие на окружающую среду начинается с организации лесосечных работ, включая подготовительные, основные и вспомогательные работы [40]. Особую нагрузку на лесные экосистемы оказывают лесные дороги и лесовозные автопоезда. При строительстве лесных дорог проводится первичная расчистка полосы отвода, организуется защита водоёмов путём создания устройств для гашения энергии водных потоков, устраиваются придорожные канавы с организацией стока воды, а также дренажные ямы [13]. Комплекс этих мер позволяет сохранить работоспособность дорог в течение их эксплуатации, но не позволяет полностью исключить загрязнение придорожной территории остатками топлива, масел и прочих нефтесодержащих веществ. Нефтепродукты могут попадать в почву и воду при техническом обслуживании машин, при проливах и утечках нефтесодержащих горючих и смазочных материалов при хранении на участках, заправке техники, утечке жидкости из гидросистем, в результате аварий и низкой культуры эксплуатации лесных машин. Нередко при работе с лесной техникой из-за ошибок операторов происходит разрыв рукавов высокого давления и, как следствие, утечка гидравлической жидкости. Объём пролитого гидравлического масла при такой поломке зависит от вида машины. Так, объём масел на лесных машинах манипуляторного типа составляет 10—50 л, на харвестере, форвардере, трелёвочном тракторе и валочно-пакетирующей машине — 100—300 л [9]. Также нередко происходит смыв остатков горюче-смазочных материалов в случаях, если производится мойка лесной техники на рабочих площадках в необорудованных местах. Нередко остатки нефтепродуктов и горюче-смазочных материалов смываются дождями в тёплое время года (или аккумулируются в снегу и после таяния выносятся талыми водами) с лесной техники во время работы или стоянок на необорудованных крышей площадках и складах горюче-смазочных материалов. Сведения по техническим и технологическим решениям по этому вопросу в литературе крайне ограничены.

Значительным фактором, оказывающим негативное воздействие на лесную среду, является образование и накопление неиспользованных отходов первичной переработки древесины. При лесозаготовках и в лесном хозяйстве образуется 20—37 % отходов, таких как пни, корни, ветви, древесная зелень (хвоя, листва), низкокачественная, гнилая и горелая древесина. При первичной обработке в процессе лесопиления и при механической обработке

древесины образуется до 38—48 % отходов, таких как кора, опилки, рейка, горбыль, трещиноватая древесина, стружка, щепа, кусковые отходы, и около 7 % потерь. При достаточно высоком проценте образования отходов использование их в качестве сырья остаётся всё ещё на низком уровне. К перспективным направлениям использования отходов лесозаготовки относятся следующие:

1) выпуск различных видов биотоплива: древесные топливные гранулы (пеллеты), древесные топливные брикеты [1—10], биомазут, биодизель, биоуголь, древесноугольные топливные брикеты, активный древесный уголь, древесные активные угли, биогаз [26];

2) выпуск древесных композиционных плитных материалов: древесностружечные плиты (ДСП), ламинированная древесностружечная плита (ЛДСП), древесноволокнистая плита (ДВП), древесностружечная плита из плоской ориентированной стружки (ОСП или OSB), облегчённая ячеистая плита;

3) выпуск продукции на основе измельчённой древесины: древесная мука;

4) выпуск плитных материалов на основе неорганических связующих: арболит, гипсостружечная плита (ГСП), цементно-стружечная плита;

5) выпуск лесохимической продукции: биологически активные вещества [19].

В качестве альтернативного метода разработана методика учёта древесных отходов для применения в строительстве трелёвочных волоков [12]. В связи с тем, что деревообрабатывающие производства используют недостаточное количество отходов, чаще всего вблизи лесных предприятий возникают огромные территории, занятые складами этого опасного для природной среды сырья. В ряде лесных предприятий образовались несанкционированные многолетние свалки коры, опилок и прочих древесных отходов, загрязняющие леса вблизи посёлков, в связи с чем в последнее десятилетие значительно обострилась проблема ликвидации свалок накопленных отходов лесозаготовок. Длительное хранение необработанной коры в отвалах приводит к загрязнению территорий в местах расположения, нарушению санитарного состояния и биологического равновесия между отдельными звеньями биоценозов [48]. В состав коры входит 3—5,5 % минеральных веществ от общей массы, что выше их содержания в опилках. Содержание азота в коре увеличивается при его хранении (за 5 лет — почти в 2 раза), понижается кислотность, количество других полезных компонентов остаётся прежним [31]. Поэтому применение коры для получения почвогрунта и удобрений является более эффективным, чем применение опилок.

Также следует отметить ещё одну проблему, не связанную с выполнением технологических операций лесными предприятиями, но представляющую серьёзную опасность для окружающей среды — накопление бытовых отходов лесных посёлков с образованием значительного числа несанкционированных свалок. Многолетнее пребывание свалок на природных территориях оказывает на них негативное воздействие: происходит механическое нарушение почвенно-растительного покрова, вплоть до полного уничтожения, происходит загрязнение образующимися при разложении отходов фильтрационными водами («фильтрат») и биогазом («свалочный газ»), растительный покров деградирует, и аборигенные виды растительности замещаются синантропными видами,

большинство из которых — адвентивные. Состав фильтрационных вод насыщен химическими веществами, такими как  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{P}_{\text{общ}}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}_{\text{общ}}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cr}_{\text{общ}}$ , часто значительно превышающими нормативные концентрации содержания в почвах и водных объектах. При разложении органических веществ до низкомолекулярных кислот, углекислого газа и воды происходят процессы выщелачивания и вымывания соединений металлов из массы отходов. Возникает миграция органических токсичных веществ и тяжёлых металлов в почвы, грунтовые воды, происходит их впитывание растениями. По санитарно-микробиологическим показателям почвы в районах размещения свалок могут быть отнесены к категории «опасных» и «чрезвычайно опасных» из-за присутствия в них патогенных микроорганизмов, вирусов и гельминтофауны [22]. Образованные свалки стали «горячими» экологическими точками накопленного экологического ущерба и требуют создания новых методов и технологий для их ликвидации с рекультивацией повреждённых территорий.

Анализ научной литературы по воздействию всего комплекса работ по лесозаготовке, первичной переработке древесины и лесовосстановлению показывает, что практически, несмотря на детальное изучение и проработку многих вопросов по снижению негативного воздействия техники и технологий на лесную среду, ряд важных моментов остаются не исследованными или рассмотренными только фрагментарно. К таким вопросам относятся: исследование технологии загрязнения и очистки почв и водных объектов в зоне лесозаготовки нефтепродуктами, неполное использование отходов деревообработки и поиск новых продуктов из них, разработка способов снижения негативного воздействия на окружающую среду от накопленных свалок лесопромышленных и бытовых отходов, образующихся в процессе лесозаготовок.

## 2. Нормативное регулирование

Предприятия лесопромышленного комплекса, являющиеся юридическими лицами, осуществляющими свою производственную деятельность на определённой территории, оказывая негативное воздействие на компоненты лесной среды, несут за это ответственность перед государством. Основные положения о недопущении негативного воздействия в процессе лесозаготовок и иных производственных работ представлены в ст. 40, п. 3; ст. 49; п. 1, ст. 51, п. 2 Федерального закона № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [35], в ст. 60\_12, п. 2; 60\_14 Лесного кодекса Российской Федерации [28], ст. 50\_7 СП 155.13130.2014 Склады нефти и нефтепродуктов. Участок для лесозаготовок может быть получен на аукционе по продаже права на заключение договора аренды на срок от 10 до 49 лет, что определяет время негативного воздействия на лесные участки [45]. Основными природоохранными нормативными актами [42] предусмотрен ряд мероприятий, закладываемых на стадии проектирования объектов лесозаготовки. В процессе лесозаготовки рабочий персонал базируется на мастерском участке, где для ремонта и обслуживания лесозаготовительных машин могут содержаться передвижные ремонтные мастерские, оборудование для заправки машин топливно-смазочными материалами, бытовки.



При размещении мастерского участка, как и при строительстве лесных дорог, руководствуясь законодательством [46], предусматривается следующее:

1) предотвращение загрязнения бассейнов поверхностных водных объектов и подземных вод жидкими и твёрдыми отходами, а также попадания в поверхностные и подземные воды загрязнённых стоков;

2) условия безопасного обращения с отходами по нормативам [42];

3) максимальную экономию земельных ресурсов, отводимых для размещения лесных дорог;

4) защиту атмосферного воздуха от выбросов загрязняющих веществ;

5) сохранение природных ландшафтов, территорий, для которых установлен режим особой охраны (особо охраняемые природные территории, заповедники, национальные парки и т. д.);

б) защиту растительного и животного мира [45].

На земельных участках, предоставленных во временное пользование, по окончании работ должны быть проведены мероприятия по рекультивации нарушенных земель. Если место стоянки и ремонта техники или лесная дорога находятся вблизи водного объекта и он имеет рыбопромысловое значение, то уже в проекте следует предусматривать мероприятия по защите водной фауны. Очевидно, что бремя обеспечения сохранности лесной среды должно лежать, в первую очередь, на лесных предприятиях. Для этого должны быть разработаны определённые технические и технологические решения, осуществление которых позволило бы предприятиям снизить негативное воздействие процессов лесозаготовки на окружающую среду, в т. ч. за счёт более полного использования отходов производства и минимизации образующихся загрязнений и их утечек в окружающую среду.

### **3. Загрязнение нефтепродуктами почвы и воды при лесозаготовках**

Одним из видов негативного влияния лесозаготовок являются утечки нефтепродуктов от технологических процессов, приводящие к загрязнению почв и водных объектов. В то же время бывшие временные склады горюче-смазочных материалов на лесных участках после окончания работ вызывают загрязнение почв, имеющее негативное воздействие, соизмеримое или превышающее воздействие самих машин на почвенный покров и растительность. Загрязнение нефтепродуктами оказывает отрицательное воздействие на химические, физические и биологические свойства почв. Под влиянием нефтепродуктов изменяется численность микроорганизмов основных физиологических групп, ухудшаются агрофизические, агрохимические свойства почвы, снижаются активность окислительно-восстановительных и гидролитических ферментов, обеспеченность почвы подвижными формами азота и фосфора. Ароматические углеводороды токсичны для ферментативной активности микроорганизмов почвы. Наиболее чувствительными к загрязнению ароматическими углеводородами являются нитрифицирующие и целлюлозоразрушающие микроорганизмы, которые могут служить индикаторами загрязнения почв. Загрязнение компонентами нефтепродуктов существенно изменяет комплекс почвенных актиномицетов,

снижая их численность и обедняя видовой состав. Кроме того, в загрязнённой нефтью почве возрастает число фитопатогенных и фитотоксичных видов микроскопических грибов. Развитие фитотоксичных форм грибов может усилить отрицательное воздействие на почву нефтяного загрязнения [25]. Попадание нефтепродуктов в почву в интервале концентраций до 1 мл/кг не оказывает существенного влияния на почвенную микробиоту, а выступает как биологический стимулятор [2], [3], [6]. Более высокие дозы (зона стресса: 1—30 мл/кг) приводят к необратимым изменениям микробиологических свойств почвы, а в дальнейшем — к нарушению её водно-воздушного режима. Загрязнённые нефтепродуктами почвы становятся основным трофическим субстратом для углеродородокисляющих микроорганизмов, одновременно угнетая жизнедеятельность других гетеротрофных микроорганизмов, растений и животных. При ещё больших дозах нефтепродукты выступают как ингибиторы биологической активности почвы. Следует отметить, что в жаркое время года разливы нефтепродуктов могут быть причиной лесных пожаров. Изменяя почвенную среду, нефтепродукты способны проникать в грунтовые воды, смываться дождями или талыми водами и мигрировать в водные объекты.

Чаще всего в процессе лесозаготовок нефтепродукты попадают в водные объекты через почву. При единичных разливах нефтепродуктов на поверхности почвы образуется небольшой слой загрязнения значительной площади и далее происходит частичная инфильтрация через зону аэрации, при этом загрязнение не всегда достигает уровня грунтовых вод. Однако при систематическом длительном загрязнении зоны аэрации они достигают уровня грунтовых вод [38]. В случае попадания в поверхностные водные объекты лёгкие нефтепродукты частично растворяются в воде и образуют с водой эмульсии, а тяжёлые, такие как минеральные масла и смазки, попадают на дно водоёмов и накапливаются в донных осадках. Попадающие в природные воды из различных источников нефтяные загрязнения имеют тенденцию к рассеиванию и миграции на расстояния, зависящие от типа водного объекта. При этом в поверхностных водах состав нефтепродуктов под влиянием испарения и интенсивного протекания химического и биологического разложения претерпевает за короткий срок быстрые изменения, а в подземных водах, наоборот, процессы разрушения заторможены [20]. Выявляемые, губительные для окружающей среды эффекты подтверждают необходимость минимизации негативного воздействия утечек нефтепродуктов путём разработки технических и технологических решений, препятствующих проникновению загрязнений в природную среду, а также создания локальных устройств, удерживающих разливы нефтепродуктов, такие как локальные системы очистки.

#### **4. Особенности устройства локальных систем очистки**

Согласно российскому законодательству [45], [28], [35], [44], при проведении лесозаготовительной деятельности экологическую опасность могут представлять: часть дождевого и талого стока, выпадающего на участок склада ГСМ и заправочного пункта, часть дождевого и талого стока, поступающего с лесных дорог в водные объекты в пределах

их водоохранных зон, сток от мойки техники. Для этой цели предлагается организовывать создание и размещение локальных очистных сооружений (ЛОС) в местах предполагаемых сбросов загрязнений. В настоящее время на рынке природоохранного оборудования существует огромный спектр предложений: наземные системы очистки, заглубленные сооружения, комбинированные [18]. При разработке ЛОС следует учесть ряд особенностей лесозаготовительных площадок и лесных дорог:

1) на территориях отсутствует электроснабжение, в связи с этим исключены электрообогрев сооружений, их заглубление и необходимость использования насосной перекачки стока, механизированная откачка осадка, напорная промывка загрузки и необходимость применения сорбентов, возможно только самотечное движение стоков;

2) перепад отметок между полотном дороги и прилегающей местностью или уровнем воды в водоприёмнике дождевого стока колеблется от 0,5 до 1,0 м, тогда как выпуск очищенных стоков при подземном размещении (из условия не промерзания) ЛОС проходит ниже поверхности земли или воды в водоёме на 2,0—3,0 м;

3) условия заболоченных, водонасыщенных или скальных придорожных территорий, типичных на Северо-Западе РФ; необходимость проработки дополнительных мероприятий, препятствующих всплытию герметичных ёмкостей в водонасыщенных грунтах;

4) с учётом грунтового покрытия и выноса песка — необходимости пескоулавливающего устройства с запасом мощности;

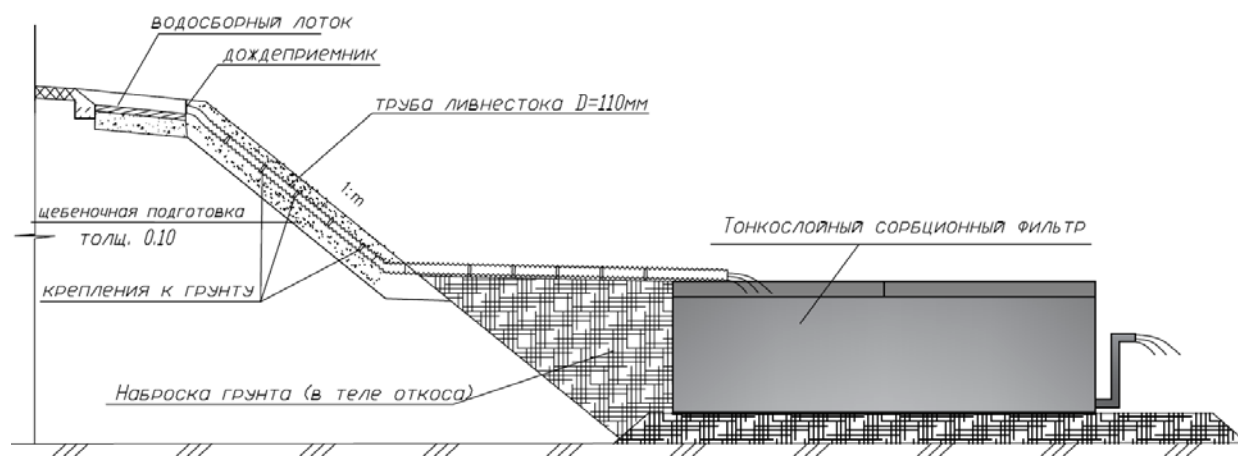
5) производительность сооружений подбирается по величине расходов сточных вод, рассчитанных на более короткие водосборные участки, обеспечивающие приём стоков с расходом 0,3—3,0 л/с [8], [32], [11].

Существующие типовые решения не являются эффективными и применимыми для удалённых лесных территорий. Наиболее близким к описываемым условиям является сооружение, проверенное в работе на дорогах Карелии — локальное сооружение с многослойной сорбционной загрузкой [10]. Это локальное очистное сооружение, разработанное авторами, представлено на фото 1, а схема его действия на рисунке 1.



**Фото 1.** Локальное сооружение у лесной дороги (фото Елены Графовой)

**Photo 1.** Local structure near a forest road (photo of Elena Grafova)



**Рисунок 1.** Схема размещения локального сооружения у лесной дороги перед сбросом [10]

**Figure 1.** Layout of a local structure near a forest road before discharge [10]

Очистка загрязнённого стока происходит следующим образом: сооружение устанавливается в пониженной точке водосборной площадки или дорожного откоса, организуется поступление загрязнённого нефтепродуктами и песком стока, который отводится на крышку сооружения, оснащённого бортами, образуя резервуар-пескоулавливатель; далее сток, загрязнённый нефтепродуктами, попадает внутрь сооружения через приёмное отверстие, далее происходит проникновение стока через слои сорбционного материала, при этом загрязнённые частицы задерживаются в нём; затем очищенный сток проникает в дренажное водосборное устройство и выводится из сооружения [10]. В условиях удалённого размещения и отсутствия электроэнергии эффективным является применение однопоточных сооружений, не требующих частого обслуживания. В качестве очищающего агента локального сооружения выступают сорбенты из различных материалов. В условиях необходимости минимизации загрязнений и поиска способов расширения применения отходов лесозаготовок необходимо разработать адаптированное эффективное сооружение локальной очистки, удовлетворяющее технологическим требованиям лесозаготовок, в качестве сорбционной загрузки которого будут применяться древесные отходы лесозаготовок.

В качестве сорбентов следует использовать материалы с развитой поверхностью, высокой сорбционной ёмкостью. Для удалённых лесных территорий целесообразнее применять в качестве очищающего агента природные сорбенты, например от торфа [10]. Опыт применения природных сорбентов, в т.ч. древесных материалов для сорбции нефтепродуктов, показан в работе [21] Кинетика сорбции для торфа имеет схожие показатели с эффективностью сорбции древесных опилок. Сорбция на различных типах древесных отходов исследована [47], при этом отмечается, что фильтрованные на древесно-

торфяной загрузке нефтепродукты повышают теплотворную способность отработанного сорбента при утилизации сжиганием. Сорбент торфоплита обладает меньшей ёмкостью, чем опилки, но в 1,3 раза лучшей кинетикой сорбции. На участке загрязнения — лесопромышленной площадке целесообразно применение комбинированных загрузок из продуктов лесопиления и известных нефтесорбентов, таких как торф. При этом материалы с отличающимися сорбционными характеристиками способствуют более эффективной очистке стоков от нефтепродуктов. Применение нескольких типов сорбентов из возобновляемых природных источников в лесопромышленном комплексе даст возможность снизить затраты предприятий на природоохранные мероприятия.

## 5. Оптимизация методов обработки отходов лесозаготовок

За годы интенсивной производственной деятельности большинства лесопромышленных предприятий имеющиеся «белые пятна» в природоохранном законодательстве и отсутствие контроля за передачей отходов на объекты размещения привели к тому, что на сегодняшний день существует большое количество объектов накопленного экологического вреда окружающей среде, а именно: несанкционированные свалки коммунальных отходов, свалки коро-древесных отходов, выгребные ёмкости и ямы с жидкими отходами и осадками сточных вод у населённых пунктов. Подобных объектов на лесных территориях насчитывается сотни и даже тысячи. В основном образуются отходы III и IV классов опасности, которые в обязательном порядке должны быть вывезены с территории лесозаготовок [34], [36]. Основные негативные эффекты от образования и накопления отходов рассмотрены ранее. Предприятия несут затраты на вывоз, переработку и утилизацию отходов, которые впоследствии включаются в стоимость конечной продукции [30]. Наиболее типичные, согласно бухгалтерской отчётности, отходы и методы их списания представлены в таблице 1. На практике лесосечные отходы не учитываются и редко используются.

По нашему мнению, неотъемлемой частью ресурсосберегающих лесозаготовок является конвергенция существующих методов обработки разных типов отходов. Одним из эффективных вариантов решения этой проблемы является применение метода компостирования древесных отходов лесозаготовок с внесением дефицитных добавок, компенсирующих недостаток азота. Известен способ переработки, при котором происходит биоконверсия древесных отходов при помощи микробных заквасок, включающих микроорганизмы-деструкторы [1], [4], [5], [43].

Одним из основополагающих ориентиров для формирования процесса компостирования является отношение C:N. Дефицит органики может быть компенсирован внесением удобрений, таких как суперфосфат, аммиачная селитра, фосфатная мука, хлористый калий [24]. С учётом того, что огромной проблемой в других областях производств, в особенности сельскохозяйственном, коммунальном, является утилизация органических отходов, в качестве источника азота могут выступать органические нечистоты, костная мука, навоз, жидкие коммунальные отходы, сырой активный ил, пищевые отходы, трава, сорняки, листья и прочие органические отходы.

**Таблица 1.** Перечень типичных отходов и мероприятия по обращению с ними

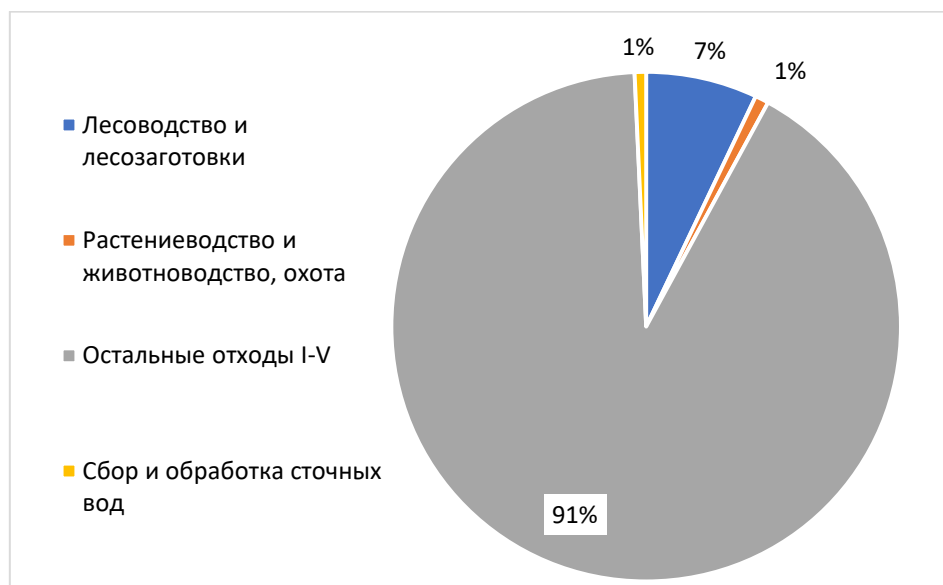
**Table 1.** List of typical waste and measures for their management

Вид отходов	Код по федеральному классификатору отходов	Вид мероприятий	Периодичность образования
Остатки дизельного топлива, утратившего потребительские свойства	4 06 910 0110 3	Передача на утилизацию в специализированные лицензированные организации	По мере накопления
Отходы коммунальные твёрдые	7 31 000 00 00 0	Передача по договору с региональным оператором региона	Постоянно в течение года
Отходы коммунальные жидкие неканализованных объектов водопотребления	7 32 101 01 30 4	Передача по договору в специализированные лицензированные организации	Постоянно в течение года
Отходы при лесозаготовках	1 52 000 00 00 0	Утилизация путём сжигания или захоронения в полосе отвода	Периодично в течение года
Отходы продукции из резины незагрязнённые	4 31 000 00 00 0	Передача на утилизацию в специализированные лицензированные организации	По мере накопления

Значения C : N для ряда субстратов, таких как навоз и сточные воды и их осадки, ниже рекомендованных, из-за этого могут происходить существенные потери аммонийного азота в процессе компостирования. Поэтому такие субстраты перед переработкой нуждаются в перемешивании с субстратами, для которых характерно высокое значение C : N, например, с древесными отходами. Таким образом, древесные отходы — наиболее эффективный и доступный для Северо-Запада углеродный компонент компостируемой массы. Так, на очистных сооружениях Петрозаводского городского округа в качестве наполнителя используется древесная кора [17]. Древесная кора является наиболее невостребованным во вторичном использовании сырьём, что приводит к её стремительному накоплению в виде неиспользуемых навалов. Применение коры для компостирования определяется наличием лигнина, извести и других веществ. Лубяной и прикамбиальный слой богаты питательными веществами, благоприятно влияют на активное развитие жизнедеятельности микроорганизмов. В процессе компостирования происходит биоразложение органических

веществ термофильными бактериями, в результате чего происходит изменение физико-химических показателей обрабатываемой смеси. Влажность просеянного компоста составляет 40—50 %, он содержит соединения азота, фосфора и калия. Получаемый компост проверяется на соответствие требованиям санитарно-гигиенических показателей, в т. ч. по содержанию предельно допустимых концентраций солей тяжёлых металлов. Полученный почвогрунт полезен для внесения в почву в качестве удобрения, может быть использован при производстве питательных брикетов для посадки лесных семян [43].

Оценка соотношения количества образующихся в Карелии отходов демонстрирует превалирование отходов лесозаготовки — 7 % от общего весового количества отходов по сравнению с органическими отходами растениеводства, животноводства и охоты — 1 % и осадков сточных вод — 1 % (рисунок 2). Согласно отчётности Росприроднадзора по Республике Карелия (2ТП-Отход) за три года, 92 % отходов составляет кора древесная, щепа — 4 %, горбыль — 2 %, остальные отходы — менее 1 % (рисунок 3). В целом установлено (рисунок 4), что 32 % древесных отходов лесных предприятий не используется. При эффективном межведомственном взаимодействии данные виды отходов могут быть переработаны в полезный продукт, при этом снизятся объёмы захораниваемых отходов на уровне региона. Комплексный подход при накоплении и обработке отходов в период лесозаготовки позволит снизить объёмы накапливаемых отходов, что приведёт к уменьшению нагрузки на окружающую среду, снижению затрат на вывоз отходов, экологические платежи и минимизации или исключению возможных экологических штрафов.



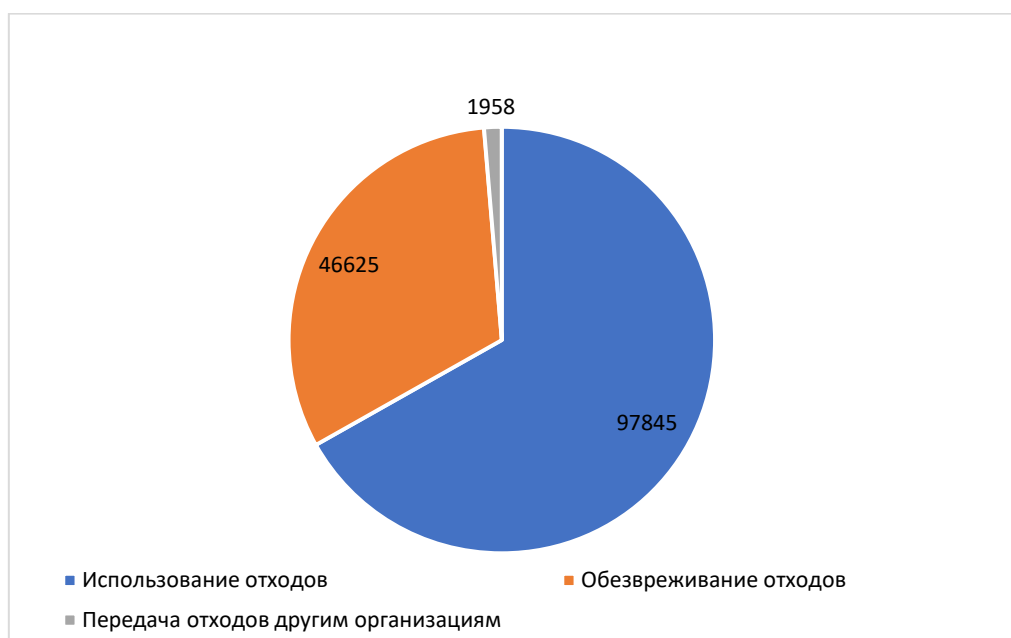
**Рисунок 2.** Соотношение количества образующихся отходов для комбинированного использования в лесопромышленном комплексе

**Figure 2.** The ratio of waste amount generated per year for combined use in the timber industry (developed by the author)



**Рисунок 3.** Распределение древесных отходов по фракциям

**Figure 3.** Annual distribution of wood waste by fractions (developed by the author)



**Рисунок 4.** Распределение образующихся отходов

**Figure 4.** Annual distribution of generated waste by mass (developed by the author)



Таким образом, лесозаготовки представляют собой комплекс производственных процессов, на каждой стадии которых возникают угрозы негативного воздействия на окружающую среду. Предложенные новые технические решения позволят снизить нагрузку на окружающую среду, а именно: оптимизировать процессы обращения с отходами лесопиления и прочими сопутствующими отходами, образующимися в процессе лесозаготовок для снижения объёмов вывозимых и накапливаемых неучтённых отходов, получения почвогрунта для лесовосстановления с использованием метода компостирования; оборудовать дополнительно участки потенциального загрязнения нефтепродуктами, системами локальной очистки с использованием адаптированных загрузок из местного материала лесопиления, для получения экологических и экономических эффектов в лесозаготовительном производстве.

## **6. Обсуждение и заключение**

Изучение наиболее часто рассматриваемых негативных факторов воздействия на природную среду при проведении лесозаготовок выявило область новых, редко рассматриваемых, но не менее значимых аспектов, возникших в результате усовершенствования законодательства. Неполное использование древесных отходов приводит к образованию складов и свалок неиспользованных древесных отходов. В процессе лесозаготовок и в лесных посёлках образуются бытовые отходы, сопутствующие основному технологическому процессу, которые также накапливаются в виде свалок, выделяя токсичный фильтрат, газы, продукты распада отходов. Отсутствие контроля на лесных площадках приводит к авариям, утечкам нефтепродуктов при заправках и эксплуатации лесной техники, провоцируя многолетнее точечное воздействие на почву и воду в местах концентрации техники и складов ГСМ. Согласно природоохранному законодательству, лесопользователи несут ответственность за негативное воздействие на окружающую среду перед государством и должны устранять последствия своей деятельности или предотвращать потенциальные экологические риски. Многолетнее использование участка лесосеки приводит к интенсивной эксплуатации лесных дорог, способствуя загрязнению нефтепродуктами водоёмов, через водоохранные зоны которых они проходят. Соответствующие технологические регламенты по снижению выявленных негативных факторов воздействия на окружающую среду в процессе лесозаготовки не установлены. Предлагается использовать все образующиеся на лесозаготовительной площадке отходы для производства почвенного субстрата методом компостирования путём добавления в него органической составляющей, компенсирующей недостаток азота — органические отходы, осадки сточных вод, азотсодержащие отходы сельского хозяйства. В целом установлено, что 32 % древесных отходов лесных предприятий не используется. При эффективном межведомственном взаимодействии такие виды отходов, как кора древесная, щепка, горбыль и др., могут быть переработаны в полезный продукт, снизив объёмы захораниваемых отходов на уровне региона. В местах утечек нефтепродуктов предлагается организовать сбор поверхностного стока, смывающего загрязнения с поверхности площадок, и его

последующую очистку на локальных системах очистки, в которых в качестве очистного агента выступают комбинированные природные сорбционные материалы, сформированные из продуктов лесозаготовок. Выявлены особенности устройства систем очистки на лесных площадках и дорогах: условия заболоченных и водонасыщенных лесных территорий, наиболее типичных на Северо-Западе РФ, отсутствие электроснабжения, невозможность заглублять сооружения из-за небольшого перепада отметок между полотном дороги и прилегающей местностью или уровнем воды с учётом грунтового покрытия и выноса песка — необходимости установки пескоулавливающего устройства с запасом мощности, производительность сооружений подбирается по величине расходов сточных вод, рассчитанных на более короткие водосборные участки, обеспечивающие приём стоков с расходом 0,3—3,0 л/с.

### Список литературы

1. *Bialobrzewski I., Miks-Krajnik M., Dach J., Markowski M., Czekala W., Gluchowska K.* Model of the sewage sludge-straw composting process integrating different heat generation capacities of mesophilic and thermophilic microorganisms // *Waste Manage.* 2015. No 43. P. 72—83.
2. *Chaillan F., Chaineau C. H., Point V., Saliot A., Outdot J.* Factors inhibiting bioremediation of soil contaminated with weathered oils and drill cuttings // *Environmental Pollution.* 2006. Vol. 144, no 1. P. 255—265.
3. *Fan W., Yang Y. S., Du X. Q., Lu Y., Yang M. X.* Finger-printing biodegradation of petroleum contamination in shallow groundwater and soil system using hydrobiogeochemical markers and modeling support // *Water, Air & Soil Pollution.* 2011. Vol. 220, no 1—4. P. 253—263.
4. *Kulikowska D.* Kinetics of organic matter removal and humification progress during sewage sludge composting // *Waste Manage.* 2016. No 49. P. 196—203.
5. *Xiu-lan Z., Bi-qiong L., Jiu-pai N. I., De-ti X. I. E.* Effect of four crop straws on transformation of organic matter during sewage sludge composting // *Integr. Agric.* 2016. No 15. P. 232—240.
6. *Watson J. S., Jones D. M., Swannell R. P. J., Duin A. C. T., van.* Formation of carboxylic acids during aerobic biodegradation of crude oil and evidence of microbial oxidation of hopanes // *Organic Geochemistry.* 2002. Vol. 33, no 10. P. 1153—1169.
7. *Zhang H., Li C., Li G., Zang B., Yang Q.* Effect of spent air reusing (SAR) on maturity and greenhouse gas emissions during municipal solid waste MSW composting with different pile height // *Procedia Environ. Sci.* 2012. No 16. P. 59—69.
8. *Аюкаев Р. И., Графова Е. О.* Инженерные решения экологической безопасности при реконструкции автодорог Северо-Запада в границах водоохранных зон // *Учёные записки Петрозаводского государственного университета.* 2010. № 6 (111). С. 49—54.
9. *Бертенев И. М., Драналюк М. В.* Снижение вредного воздействия лесных тракторов и лесосечных машин на почву и насаждения // *Лесотехнический журнал.* 2012. № 1 (5). С. 61—66.
10. *Веницианов Е. В., Графова Е. О., Аюкаев Р. И., Чуднова Т. А.* Многослойные сорбционные фильтры на защите водоохранных зон автотрасс от загрязнения // *Вода: химия и экология.* 2012. № 12 (54). С. 32—41.
11. *Винокуров К. И., Крестьянинова А. Ю.* Локальные очистные сооружения поверхностного стока на автомобильных дорогах и мостовых переходах // *Экология и строительство.* 2019. № 4. С. 42—52. DOI: 10.35688/2413-8452-2019-04-005.

12. *Галактионов О. Н., Пискунов М. А., Безлатный П. В.* Оценка эффективности использования лесосечных отходов для строительства трелёвочных волоков // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2008. № 185. С. 86—93.
13. *Герасимов Ю. Ю., Катаров В. К.* Лесные дороги. Йёнсуу: Изд-во НИИ леса Финляндии, 2009. 70 с.
14. *Герасимов Ю. Ю., Сюнёв В. С.* Лесосечные машины для рубок ухода: Компьютерная система принятия решений. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1998. 236 с.
15. *Герасимов Ю. Ю., Сюнёв В. С.* Экологическая оптимизация технологических процессов и машин для лесозаготовок. Йёнсуу: Изд-во Университета Йёнсуу, 1998. 178 с.
16. *Герц Э. Ф.* Оценка технологии лесопользования на лесосечных работах. Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. лесотехнич. ун-та, 2003. 219 с.
17. *Графова Е. О., Паршин Н. В.* Исследование методов обработки осадков сточных вод Петрозаводских очистных сооружений // Resources and Technology. 2019. Т. 16, № 4. С. 94—118. DOI: 10.15393/j2.art.2019.5042.
18. *Григорьева Л. Д., Акименко Н. Ю.* Применение локальных очистных сооружений поверхностного стока различных компаний // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2019. Т. 1, № 2. С. 306—309.
19. *Дитрих В. И., Андрияс А. А., Пережилин А. И., Корначев В. П.* Оценка объёмов и возможные пути использования отходов лесозаготовок на примере Красноярского края // Хвойные бореальные зоны. Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М. Ф. Решетнева. 2010. Т. 27, № 3-4. С. 346—351.
20. *Другов Ю. С., Родин А. А.* Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов: Практическое руководство. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2007. 270 с. (Серия: Методы в химии).
21. *Евстигнеев В. Д., Графова Е. О.* Перспективы применения древесных отходов для обеспечения экологической безопасности лесозаготовительных предприятий // Resources and Technology. 2016. Т. 13, № 3. С. 63—70. DOI: 10.15393/j2.art.2016.3341.
22. *Замотаев И. В., Иванов И. В., Михеев П. В., Белобров В. П.* Оценка состояния почв и растительности в районах размещения свалок и полигонов твёрдых бытовых отходов (обзор) // Почвоведение. 2018. № 7. С. 907—924. DOI: 10.1134/S0032180X18070109.
23. *Катаров В. К.* Обоснование применимости технологических процессов лесосечных работ по степени воздействия пути первичного транспорта леса: специальность 05.21.01 — Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Петрозаводск, 2009. 20 с.
24. *Кислицына С. Н., Шитова И. Ю.* Способы переработки отходов деревообрабатывающей промышленности: Учеб. пособие. Пенза: ПГУАС, 2016. 140 с.
25. *Киреева Н. А., Галимзянова Н. Ф.* Влияние загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами на численность и видовой состав микромицетов // Почвоведение. М.: Наука, 1995. № 2. 211 с.
26. *Кольниченко Г. И., Тарлаков Я. В.* Топливо из древесной биомассы в условиях распределённой энергетики // Новое в российской электроэнергетике. 2020. № 7. С. 29—37.
27. *Курьянов В. К., Скрыпников А. В., Рябова О. В.* Воздействие дорожно-строительной отрасли на окружающую природную среду в Воронежской области // Лесное хозяйство малолесной зоны России в условиях переходного периода к рынку: Материалы региональной научно-практич. конф., Воронеж, 15 мая 2000 г. Воронеж, 2000. С. 86—89.
28. Лесной кодекс Российской Федерации (с изм. на 2 июля 2021 года, ред., действующая с 1 сентября 2021 года) 200-ФЗ / Государственная Дума Федерального Собрания Российской Федерации. М., 2006. 102 с.

29. *Майорова Л. П., Рябухин П. Б., Мелешко М. А.* Оценка загрязнения атмосферного воздуха в процессе лесозаготовок // Вестник КрасГАУ. 2007. № 4. С. 86—91.
30. *Морозова Е. В.* Учёт воздействия лесозаготовки на окружающую среду // Экономика и эффективность организации производства. 2008. № 9. С. 185—190.
31. *Мохирев А. П., Безруких Ю. А., Медведев С. О.* Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса как фактор устойчивого природопользования // Инженерный вестник Дона — Северо-Кавказский научный центр высшей школы Южного федерального университета. 2015. № 2 (ч. 2). 2015. 13 с.
32. *Назаров В. Д., Назаров М. В., Хакимова Г. Ф.* Очистка поверхностного стока с автомобильных дорог // Наука и техника в дорожной отрасли. 2018. № 4 (86). С. 29—33.
33. Наставление по экологии лесного хозяйства / Лесная служба Финляндии. 2007. 42 с.
34. Об утверждении Порядка учёта в области обращения с отходами: Приказ Минприроды России (Министерства природных ресурсов и экологии РФ) № 1028. 2020.
35. Об охране окружающей среды (с изм. на 2 июля 2021 года) 7-ФЗ / Государственная Дума Федерального Собрания Российской Федерации. М., 2002. 89 с.
36. Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242 (ред. от 02.11.2018) «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов» (с изм. и доп., вступ. в силу с 04.10.2021) / Министерство природных ресурсов Российской Федерации. 2021.
37. *Питухин А. В., Сюнёв В. С.* Минимизация техногенного воздействия на лесную среду в процессе лесозаготовок // Фундаментальные исследования. 2005. № 9. С. 116—120.
38. *Путилина В. С., Галицкая И. В., Юганова Т. И.* Трансформация нефти и нефтепродуктов в почвах, горных породах, подземных водах. Загрязнение, инфильтрация, миграция, деградация. Метаболиты // Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы. 2019. № 108. С. 1—112.
39. Рекомендации по проведению рубок в защитных лесах Карелии. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2015. 29 с.
40. *Родионов А. В.* Рубка и восстановление леса на основе ресурсосберегающей технологии. М.: Наука, 2006. 276 с.
41. *Санжаровская М. И.* Обзор состояния и перспектив развития рынка топливных брикетов в России и за рубежом [Экономическая эффективность получения и применения топливных брикетов из растительных и древесных отходов, торфа при использовании установки для брикетирования УБО-2] // Инженерно-техническое обеспечение АПК: Реферативный журнал. 2008. № 4. С. 947.
42. СанПиН 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий / Главный государственный санитарный врач Российской Федерации. 2021. 13 с.
43. *Свиридова О. В., Воробьев Н. И., Петров В. Б.* Микробиологическая деструкция древесных отходов и вовлечение лигнинсодержащих компонентов в агроэкосистему // Постгеномная эра в биологии и проблемы биотехнологии: Материалы науч. конф. М.: МАКС Пресс, 2004. С. 11—15.
44. СП 155.13130.2014 Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности (с изм. № 1) / Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. М.: МЧС России, 2014. 41 с.
45. СП 318.1325800.2017 Дороги лесные. Правила эксплуатации / Минстрой России. М.: Стандартинформ, 2018. 45 с.

46. СП 288.1325800.2016 Дороги лесные. Правила проектирования и строительства / Минстрой России. М.: Стандартинформ, 2017. 61 с.
47. Филина Н. А. Исследование сорбционных свойств древесных отходов для сбора нефтепродуктов с последующей утилизацией их в виде топливных брикетов: специальность 03.02.08 — Экология (химия и нефтехимия): Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2011. 23 с.
48. Царев Е. М., Рукомойников К. П., Анисимов С. Е., Капитонова Ю. А. Анализ вариантов и поиск альтернативных решений выработки окорённых сортиментов с повышением экологической эффективности утилизации отходов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2021. № 2. С. 64—72. DOI: 10.25686/2542-114X.2021.2.64.03.02.08.

## References

1. Bialobrzewski I., Miks-Krajnik M., Dach J., Markowski M., Czekala W., Gluchowska K. Model of the sewage sludge-straw composting process integrating different heat generation capacities of mesophilic and thermophilic microorganisms. *Waste Manage*, 2015, no 43, pp. 72—83.
2. Chaillan F., Chaineau C. H., Point V., Saliot A., Outdot J. Factors inhibiting bioremediation of soil contaminated with weathered oils and drill cuttings. *Environmental Pollution*, 2006, vol. 144, no 1, pp. 255—265.
3. Fan W., Yang Y. S., Du X. Q., Lu Y., Yang M. X. Finger-printing biodegradation of petroleum contamination in shallow groundwater and soil system using hydrobiogeochemical markers and modeling support. *Water, Air & Soil Pollution*, 2011, vol. 220, no 1—4, pp. 253—263.
4. Kulikowska D. Kinetics of organic matter removal and humification progress during sewage sludge composting. *Waste Manage*, 2016, No 49, pp. 196—203.
5. Xiu-lan Z., Bi-qiong L., Jiu-pai N. I., De-ti X. I. E. Effect of four crop straws on transformation of organic matter during sewage sludge composting. *Integr. Agric*, 2016, no 15, pp. 232—240.
6. Watson J. S., Jones D. M., Swannell R. P. J., Duin A. C. T., van. Formation of carboxylic acids during aerobic biodegradation of crude oil and evidence of microbial oxidation of hopanes. *Organic Geochemistry*, 2002, vol. 33, no 10, pp. 1153—1169.
7. Zhang H., Li C., Li G., Zang B., Yang Q. Effect of spent air reusing (SAR) on maturity and greenhouse gas emissions during municipal solid waste MSW composting with different pile height // *Procedia Environ. Sci*, 2012, no 16, pp. 59—69.
8. Ayukaev R. I., Grafova E. O. Engineering solutions for environmental safety during the reconstruction of roads in the North-West within the boundaries of water protection zones. *Scientific Notes of Petrozavodsk State University*, 2010, no 6 (111), pp. 49—54. (In Russ.)
9. Bertenev I. M., Drapalyuk M. V. Reducing the harmful effects of forest tractors and logging machines on the soil and plantations. *Forestry journal*, 2012, no 1 (5), pp. 61—66. (In Russ.)
10. Venitsianov E. V., Grafova E. O., Ayukaev R. I., Chudnova T. A. Multilayer sorption filters to protect water protection zones of highways from pollution. *Water: chemistry and ecology*, 2012, no 12(54), pp. 32—41. (In Russ.)
11. Vinokurov K. I., Krestyaninova A. Yu. Local treatment facilities for surface runoff on highways and bridge crossings. *Ecology and construction*, 2019, no 4, pp. 42—52, doi: 10.35688/2413-8452-2019-04-005. (In Russ.)
12. Galaktionov O. N., Piskunov M. A., Bezlatny P. V. Evaluation of the efficiency of using logging waste for the construction of skidding trails. *Bulletin of the St. Petersburg Forestry Academy*, 2008, no 185, pp. 86—93. (In Russ.)
13. Gerasimov Y. Y., Katarov V. K. *Forest roads*. Joensuu, Publishing house of the Research Institute of Finnish Forests, 2009. 70 p. (In Russ.)

14. Gerasimov Y. Y., Syuney V. S. *Cutting machines for thinning: Computer decision-making system*. Petrozavodsk, Publishing house of PetrSU, 1998. 236 p. (In Russ.)
15. Gerasimov Y. Y., Syuney V. S. *Ecological optimization of technological processes and machines for logging*. Joensuu, Publishing House of the University of Joensuu, 1998. 178 p. (In Russ.)
16. Hertz E. F. *Assessment of the technology of forest use in logging operations*. Yekaterinburg, Ed. Ural state Forestry University, 2003. 219 p. (In Russ.)
17. Grafova E. O., Parshin N. V. Research of methods of treatment of sewage sludge from Petrozavodsk treatment facilities. *Resources and Technology*, 2019, vol. 16, no 4, pp. 94—118, doi: 10.15393/j2.art.2019.5042. (In Russ.)
18. Grigorieva L. D., Akimenko N. Yu. Application of local treatment facilities for surface runoff of various companies. *Far East: problems of development of the architectural and construction complex*, 2019, vol. 1, no 2, pp. 306—309. (In Russ.)
19. Dietrikh V. I., Andriyas A. A., Perezhilin A. I., Korpachev V. P. Assessment of volumes and possible ways of using logging wastes on the example of the Krasnoyarsk Territory. *Coniferous boreal zones. Siberian state University of Science and Technology. acad. M. F. Reshetnev*. 2010, vol. 27, no 3-4, pp. 346—351 (In Russ.)
20. Drugov Yu. S., Rodin A. A. *Ecological analyzes during oil and oil products spills: a practical guide*. 2nd ed., Rev. and add. Moscow, Binom. Lab. knowledge, 2007. 270 p. (Series: Methods in Chemistry). (In Russ.)
21. Evstigneev V. D., Grafova E. O. Prospects for the use of wood waste to ensure the environmental safety of logging enterprises. *Resources and Technology*, 2016, vol. 13, no 3, pp. 63—70, doi: 10.15393/j2.art.2016.3341. (In Russ.)
22. Zamotaev I. V., Ivanov I. V., Mikheev P. V., Belobrov V. P. Assessment of the state of soils and vegetation in the areas of landfills and solid waste landfills (review). *Soil Science*, 2018, no 7, pp. 907—924, doi: 10.1134/S0032180X18070109. (In Russ.)
23. Katarov V. K. *Justification of the applicability of technological processes of logging operations according to the degree of impact of the path of primary transport of timber: specialty 05.21.01 —Technology and machines for logging and forestry: Abstract of the thesis. Dissertation of Cand. of Engineering Scs*. Petrozavodsk, 2009. 20 p. (In Russ.)
24. Kislitsyn S. N., Shitova I. Yu. *Methods for processing waste woodworking industry: textbook. Allowance*. Penza, PGUAS, 2016. 140 p. (In Russ.)
25. Kireeva N. A., Galimzyanova N. F. *Influence of soil pollution by oil and oil products on the number and species composition of micromycetes*. *Soil science*. Moscow: Science, 1995, no 2. 211 p. (In Russ.)
26. Kolnichenko G. I., Tarlakov J. V. Fuel from woody biomass in distributed energy conditions. *New in the Russian electric power industry*, 2020, no 7, pp. 29—37. (In Russ.)
27. Kuryanov V. K., Skrypnikov A. V., Ryabova O. V. Impact of the road construction industry on the environment in the Voronezh region. *Forestry in the low-forest zone of Russia in the transition period to the market: materials of the regional scientific-practical conference, Voronezh, May 15, 2000*. Voronezh, 2000, pp. 86—89. (In Russ.)
28. Forest Code of the Russian Federation (as amended on July 2, 2021, as amended on September 1, 2021) 200-FZ. State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation, 2006. 102 p. (In Russ.)
29. Mayorova L. P., Ryabukhin P. B., Meleshko M. A. Assessment of atmospheric air pollution in the process of logging. *Bulletin of KrasGAU*, 2007, no 4, pp. 86—91. (In Russ.)
30. Morozova E. V. Accounting for the impact of logging on the environment. *Economics and efficiency of production organization*, 2008, no 9, pp. 185—190. (In Russ.)

31. Mokhirev A. P., Bezrukikh Yu. A., Medvedev S. O. Processing of wood waste from forestry enterprises as a factor of sustainable environmental management. *Engineering Bulletin of the Don — North Caucasian Scientific Center of the Higher School of the Southern Federal University*, 2015, no 2 (part 2), 13 p. (In Russ.)
32. Nazarov V. D., Nazarov M. V., Khakimova G. F. Purification of surface runoff from highways. *Science and technology in the road industry*, 2018, no 4 (86), pp. 29—33. (In Russ.)
33. Manual on the ecology of forestry. Finnish Forest Service. 2007. 42 p. (In Russ.)
34. On approval of the Accounting Procedure in the field of waste management. Order of the Ministry of Natural Resources of Russia (Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation), no 1028. 2020. (In Russ.)
35. On environmental protection (as amended on July 2, 2021) 7-FZ. State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation. 2002. 89 p. (In Russ.)
36. Order of Rosprirodnadzor dated 22.05.2017 no 242 (as amended on 02.11.2018) «On approval of the Federal classification catalog of waste» (as amended and supplemented, entered into force on 04.10.2021). Ministry of Natural Resources of the Russian Federation. 2021. (In Russ.)
37. Pitukhin A. V., Syunev V. S. Minimization of technogenic impact on the forest environment in the process of logging. *Fundamental research*, 2005, no 9, pp. 116—120. (In Russ.)
38. Putilina V. S., Galitskaya I. V., Yuganova T. I. Transformation of oil and oil products in soils, rocks, groundwater. Pollution, infiltration, migration, degradation. Metabolites. *Ecology. A series of analytical reviews of world literature*, 2019, no 108, pp. 1—112. (In Russ.)
39. Recommendations for felling in the protective forests of Karelia. Ed. KarRC RAS, 2015. 29 p. (In Russ.)
40. Rodionov A. V. Cutting and forest restoration based on resource-saving technology. Moscow, Science, 2006. 276 p. (In Russ.)
41. Sanzharovskaya M. I. Review of the state and development prospects of the market of fuel briquettes in Russia and abroad [Economic efficiency of obtaining and using fuel briquettes from plant and wood waste, peat when using the unit for briquetting UBO-2]. *Engineering and technical support of the agro-industrial complex. Abstract journal*, 2008, no 4, p. 947. (In Russ.)
42. SanPiN 2.1.3684-21 Sanitary and epidemiological requirements for the maintenance of the territories of urban and rural settlements, for water bodies, drinking water and drinking water supply, atmospheric air, soils, living quarters, the operation of industrial, public premises, the organization and implementation of sanitary and anti-epidemic (preventive) events. Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation. 2021. 13 p. (In Russ.)
43. Sviridova O. V., Vorobiev N. I., Petrov V. B. Microbiological destruction of wood waste and the involvement of lignin-containing components in the agroecosystem. *Post-genomic era in biology and problems of biotechnology: Proceedings of scientific. Conf.* Moscow, MAKS Press, 2004, pp. 11—15. (In Russ.)
44. SP 155.13130.2014 Warehouses of oil and oil products. Fire safety requirements (with Amendment no 1). Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters. Moscow, EMERCOM of Russia, 2014. 41 p. (In Russ.)
45. SP 318.1325800.2017 Forest roads. Operating rules. Ministry of Construction of Russia Moscow, Standartinform, 2018. 45 p. (In Russ.)
46. SP 288.1325800.2016 Forest roads. Design and construction rules. Ministry of Construction of Russia. Moscow, Standartinform, 2017. 61 p. (In Russ.)
47. Filina N. A. *Investigation of the sorption properties of wood waste for the collection of oil products with their subsequent disposal in the form of fuel briquettes: specialty 03.02.08 —*

*Ecology (chemistry and petrochemistry): Author. for a job. uch. step. Cand. tech. Sciences. Penza, 2011. 23 p. (In Russ.)*

48. Tsarev E. M., Rukomoinikov K. P., Anisimov S. E., Kapitonova Yu. A. Analysis of options and the search for alternative solutions for the development of debarked assortments with an increase in the environmental efficiency of waste disposal. *Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Materials. Constructions. Technologies*, 2021, no 2, pp. 64—72. doi: 10.25686/2542-114X.2021.2.64.03.02.08 (In Russ.)

© Сютнев В. С., Графова Е. О., 2022