

Обзорная статья

УДК 630\*1/630\*9:674:676

DOI: 10.37482/0536-1036-2025-1-177-196

## Лесопромышленный комплекс и процесс техногенеза

*А.Б. Дягилева, д-р хим. наук, доц.; ResearcherID: [AAF-4459-2021](https://orcid.org/0000-0001-5983-4550),*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5983-4550>*

*А.И. Смирнова<sup>✉</sup>, канд. хим. наук, доц.; ResearcherID: [AAF-4016-2021](https://orcid.org/0000-0001-6429-1490),*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6429-1490>*

*П.И. Ленивец, аспирант; ResearcherID: [KHY-2984-2024](https://orcid.org/0009-0003-2790-7577),*


*ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2790-7577>*

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия, 198095; abdiag@mail.ru, smirnova\_nasty87@mail.ru<sup>✉</sup>, lenivcev-pavel@rambler.ru

*Поступила в редакцию 22.04.24 / Одобрена после рецензирования 08.07.24 / Принята к печати 10.07.24*

**Аннотация.** Анализ природоохранной деятельности предприятий лесопромышленного комплекса по данным из открытых источников и по опыту экспертной оценки негативного воздействия ряда промышленных объектов, перерабатывающих биомассу древесины, позволил описать механизмы влияния интегрального вида хозяйственной деятельности на современный техногенез. Выделены группы техногенеза, свойственные для естественных ландшафтно-геохимических процессов в зоне влияния предприятий лесопромышленного комплекса: биогенез, гидрогенез, гуматогенез, хелатогенез и антропогенез. При промышленной эксплуатации леса меняется ядро лесного биогеоценоза и специфический комплекс растений нижнего яруса, определяющий биогенную миграцию. Рассмотрены особенности проявления гидрогенеза, сопряженные с изменением действия воды и ее проникновением в литосферу. Проявления гуматогенеза и хелатогенеза проанализированы с позиции изменения содержания углерода в лесных подстилках. Установлено, что источниками антропогенеза являются объекты технической инфраструктуры и хозяйственной деятельности, которые сопряжены с оборотом и переработкой древесного сырья, что способствует изменению характера миграции, аккумуляции химических веществ в различных средах и формированию биогеохимических барьеров на их пути. Отмечается особый тип «экономической урбанизации» на современном этапе общественного развития, в которой участвует лесопромышленный комплекс как переработчик растительного сырья и поставщик готовой продукции с генерацией отходов в городских агломерациях с их возможной последующей переработкой. Выделено несколько предполагаемых механизмов техногенеза на различных этапах развития хозяйственной деятельности в лесном секторе. Подчеркнута значительная роль деградационного механизма. Современная ориентация природопользования и развитие модифицирующих механизмов техногенеза, таких как поддерживающий, креативный и управляющий (наиболее перспективный для реализации циркулярной экономики) и их сочетание в процессе эксплуатации территории открывают новые возможности. Даны прогнозы перспективности перехода от традиционно воспринимаемого техногенеза (преимущественно деградационного) к ноотехногенезу. Этот переход основан на реализации принципов управляемой природно-технической системы с учетом динамики восстановления и регулирования воспроизводства лесных ресурсов в условиях экологических ограничений, что является залогом устойчивого лесопромышленного комплекса.

© Дягилева А.Б., Смирнова А.И., Ленивец П.И., 2025

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

**Ключевые слова:** природно-технический комплекс, экосистема, древесное сырье, лесопромышленный комплекс, техногенез, протогенез, ноотехногенез

**Для цитирования:** Дягилева А.Б., Смирнова А.И., Ленивцев П.И. Лесопромышленный комплекс и процесс техногенеза // Изв. вузов. Лесн. журн. 2025. № 1. С. 177–196. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-1-177-196>

Review article

## Timber Industry and the Process of Technogenesis

**Alla B. Dyagileva**, Doctor of Chemistry, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AAF-4459-2021](https://orcid.org/0000-0001-5983-4550),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5983-4550>

**Anastasiya I. Smirnova**<sup>✉</sup>, Candidate of Chemistry, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [AAF-4016-2021](https://orcid.org/0000-0001-6429-1490), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6429-1490>

**Pavel I. Lenivtsev**, Postgraduate Student; ResearcherID: [KHY-2984-2024](https://orcid.org/0009-0003-2790-7577),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2790-7577>

Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, ul. Ivana Chernykh, 4, Saint Petersburg, 198095, Russian Federation; [abdiag@mail.ru](mailto:abdiag@mail.ru), [smirnova\\_nasty87@mail.ru](mailto:smirnova_nasty87@mail.ru)<sup>✉</sup>, [lenivtsev-pavel@rambler.ru](mailto:lenivtsev-pavel@rambler.ru)

Received on April 22, 2024 / Approved after reviewing on July 8, 2024 / Accepted on July 10, 2024

**Abstract.** An analysis of the environmental protection activities of timber industry enterprises based on data from open sources and on the experience of expert assessment of the negative impact of a number of industrial facilities processing wood biomass has made it possible to describe the mechanisms of influence of an integrated type of economic activity on the modern technologies. The groups of technogenesis characteristic of natural landscape and geochemical processes in the zone of influence of timber industry enterprises have been identified, those being biogenesis, hydrogenesis, humatogenesis, chelation and anthropogenocenosis. During the industrial exploitation of forests, the core of the forest biogeocenosis and the specific complex of plants of the lower tier, which determines biogenic migration, change. The features of the manifestation of hydrogenesis associated with a change in the action of water and its penetration into the lithosphere have been considered. The manifestations of humatogenesis and chelation have been analyzed from the perspective of changes in the carbon content in forest litter. It has been established that the sources of anthropogenocenosis are objects of technical infrastructure and economic activity that are associated with the turnover and processing of wood raw materials, which contributes to a change in the nature of migration, accumulation of chemicals in various environments and the formation of biogeochemical barriers in their path. There is a special type of “economic urbanization” at the present stage of social development, in which the timber industry participates as a processor of plant raw materials and a supplier of finished products with waste generation in urban agglomerations with their possible subsequent processing. Several possible mechanisms of technogenesis at various stages of the development of economic activity in the forestry sector have been identified. The significant role of the degradation mechanism has been emphasized. The modern nature management orientation and development of modifying mechanisms of technogenesis, such as supportive, creative and managing (the most promising for the implementation of a circular economy) and their combination in the process of exploitation of the territory open



up new opportunities. Forecasts have been provided on the prospects of the transition from the traditionally perceived technogenesis (mainly degradation) to nootechnogenesis. This transition is based on the implementation of the principles of a managed natural-technical system, taking into account the dynamics of restoration and regulation of reproduction of forest resources under environmental restrictions, which is the key to a sustainable timber industry.

**Keywords:** natural-technical complex, ecosystem, wood raw material, timber industry, technogenesis, protogenesis, nootechnogenesis

**For citation:** Dyagileva A.B., Smirnova A.I., Lenivtsev P.I. Timber Industry and the Process of Technogenesis. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2025, no. 1, pp. 177–196. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-1-177-196>

Лесопромышленный комплекс (ЛПК) России представляет собой жестко связанную с окружающей средой природно-техническую систему, в которой в виде технических объектов функционируют особо опасные производственные элементы в окружении видоизмененного ландшафта. Каждому элементу этой системы на всех этапах развития свойственны расчлененность, иерархичность и многочисленность уровней организации специфического воздействия на основные компоненты окружающей среды: ландшафт (как водный, так и лесной), водные экосистемы, воздух [25]. В сферу антропогенного влияния ЛПК попадают почвы [15], орнитофауна [37], проявляется снижение общего биоразнообразия [16], страдают другие составные части экосистемы. Несмотря на относительную нейтральность воздействия накопления древесных отходов V класса опасности, их наличие ведет к рискам, прежде всего к возникновению пожароопасных ситуаций, а также затрудняет лесовозобновление и проходимость лесных участков. Удельный показатель отходов кроны на 1 тыс. м<sup>3</sup> заготовленной древесины, например, в Забайкальском округе составляет 149–154 т/год, [20] варьирует по различным регионам и может составлять до 250 т/год. Следует особо отметить специфику функционирования временных лесных поселков, где образуются сопутствующие бытовые отходы без организации должного обращения, что при определенных условиях способствует выделению токсичного фильтрата, газов и других вредных продуктов распада отходов в зоне их влияния [32].

Направление хозяйственной деятельности по заготовке и переработке древесины относится к одним из старейших и на протяжении всего исторического этапа использования биомассы древесины человеком оставляло существенный след на генезисе природных экосистем в зоне влияния этих объектов. В последнее время в литературе появилось много информации об исторических аспектах развития целлюлозно-бумажной отрасли на территории нашей страны [31, 33, 34].

Однако лесопромышленный комплекс и хозяйственная деятельность по переработке и использованию лесного ландшафта, делового леса, фито- и биоресурсов значительно старше отрасли по переработке древесины с помощью химических способов получения целлюлозы. И первый механизм преобразования человеком природной среды в ходе ее использования со времен древности может быть обозначен как начальный этап техногенеза – протогенез. Техногенез [2] – это процесс изменения природной среды под воздействием производственной деятельности общества. В соответствии с установившейся практикой природоохранной деятельности в регулировании преобразования биосферы в рамках

ГОСТ 15.5.1.01–78 и последующих нормативных документов по охране окружающей среды техногенный ландшафт определяется как продукт антропогенного действия на ландшафт в зависимости от особенности структуры исходного под воздействием конкретной промышленной деятельности. Для России явление нерационального применения древесины всегда относилось к актуальным вопросам природопользования. Однако после 1990-х гг. наметилась специфическая тенденция супернерационального и спекулятивного использования этого воспроизводимого ресурса, в т. ч. с поджогами лесосечных отходов, что привело к усугублению ситуации в лесных экосистемах, которая требует принципиально новых механизмов обращения с лесными ресурсами для их целевой переработки [43].

С 2016 г. по требованиям приказа Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 27 июня 2016 г. № 367 «Об утверждении видов лесосечных работ, порядка и последовательности их проведения. Формы технологической карты лесосечных работ. Формы акта осмотра лесосеки и порядка осмотра лесосеки» при выполнении рубки лесных насаждений на участках, предоставленных на праве постоянного (бессрочного) пользования или аренды, необходимо осуществлять мероприятия по охране, защите и воспроизводству лесов, лесосечные работы проводятся в соответствии с лесной декларацией по проекту освоения лесов.

Эксплуатирующим организациям, легально и нелегально вырубаящим лес, выгоднее сжечь лесосечные остатки, чем утилизировать их, либо же избавиться от следов несанкционированной деятельности. В России сфера лесозаготовок долгое время оставалась коррумпированной, о чем свидетельствуют периодически возбуждаемые уголовные дела, в т. ч. по факту лесных пожаров. Отчетные материалы по лесным пожарам за 2023 г. показали, что 99 % причин – это человеческий фактор, и часто заинтересованными в возникновении возгорания лицами являются бизнесмены, приобретатели выгоды от лесозаготовок [22]. Прямые выбросы углерода при пожарах, по данным ряда стран, соизмеримы с выбросами энергетической отрасли [40, 42].

Следует отметить, что в системе лесовосстановления пожары рассматриваются с 2 позиций: в южных регионах причина последующего иссушения почвы и формирования остепененных пустошей [5, 14, 30]; в таежной зоне и зонах вечной мерзлоты при использовании контролируемого выжигания достигается прогревание почвы и удаление (выгорание) подстилки, что повышает минерализацию почвы с последующей активацией лесовосстановления [3]. Улучшение минерализации выжиганием является рискованным мероприятием, которое должно прорабатываться детально, и сегодня есть альтернативные технологические приемы способствования минерализации за счет применения золы от сжигания, например, осадков сточных вод совместно с корой древесно-подготовительных цехов ЛПК [26].

Среднее ежегодное уменьшение площади лесов, по данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), прогрессирует и в 2023 г. увеличилось на 3,2 % [50], но при этом не учитывается потеря биоресурсов планеты во всем объеме. Динамика техногенеза в лесных ландшафтах и в водных экосистемах, которая прослеживается по материалам мониторинга, подтверждает прогноз об интенсификации эвтрофикации водоемов (в т. ч. главного источника питьевого водоснабжения Северо-Запада

РФ – Ладожского озера) и изменение видового состава лесообразующих пород в этой зоне, на что обращали внимание российские эксперты на стадии подготовки к реализации конкретных проектов в части развития ЛПК. Сегодня мировое сообщество в лице наших потенциальных партнеров, а главное российская законодательная база после длительного лесного экономического и политического кризисов [38, 39], готовы к поэтапному урегулированию процесса природопользования и достижению экологически сбалансированного лесоведения с получением широкого ассортимента продукции при рациональном использовании ресурсов. Это особенно актуально при смене парадигмы экономического развития и переходе к циркулярной экономике для регионов, где лесные богатства играют существенную роль. В соответствии со сложившимися условиями в новой стратегии природопользования мировое сообщество вынуждено принять следующий этап развития как «Десятилетие ООН по восстановлению экосистем» с предполагаемым переходом к 3 взаимосвязанным лесохозяйственным стратегиям в интересах общества [24, 50]: лесопользованию и созданию экологически чистых производственно-сбытовых цепочек; прекращению процесса обезлесения и сохранению лесов; восстановлению деградированных земель и расширению практики агролесоводства.

Для понимания и разработки механизмов реализации этого процесса необходимо установить основные тенденции техногенеза, сопряженного с поэтапными изменениями в развитии природно-технических систем в лесном секторе, а также для организации работ по переходу к управляемым системам природно-территориального комплекса (ПТК). Целью данной работы являлась систематизация накопленной информации по компонентам окружающей среды, имеющим наиболее значимые проявления, определяющие основные тенденции изменения генеза под воздействием производственной деятельности предприятий ЛПК. Поставлены следующие задачи: выделить основные группы генеза, дать характеристику и отследить их качественную оценку по достоверным источникам информации, установив таким образом динамику их изменения при сложившемся природопользовании на современном этапе.

Как известно, формы естественного генеза и их трансформация в техногенез не менее разнообразны, чем виды деятельности, провоцирующие изменение природных ландшафтно-геохимических процессов в зоне влияния интегрированных предприятий ЛПК. В общем случае такие процессы можно разделить на 4 группы: биогенез, гидрогенез, гуматогенез, хелатогенез.

*Биогенез.* Первым и наиболее значимым для лесных ландшафтов следует назвать биогенез как процесс, обусловленный синтезом и разложением органического вещества в ландшафтах, биогенной миграцией и аккумуляцией химических компонентов с формированием биогеохимических барьеров. Для лесного комплекса его рассматривают как элемент развития экосистем в рамках концепции биогеоценоза в учении В.Н. Сукачева о типах леса и лесных биогеоценозах [13].

Внешний вид и внутренняя иерархическая организация участков леса, которая попадает под промышленную эксплуатацию и зону влияния ЛПК, является следствием воздействия древостоя, сформированного лесообразующими породами, относящимся к эдификаторам, доминантам. При промышленной эксплуатации леса меняется ядро лесного биогеоценоза и специфический комплекс растений нижнего яруса, определяющих биогенную миграцию, при этом, как



следствие, происходит смена сообщества животных, насекомых и микроорганизмов – естественных сателлитов лесообразующих пород – в конкретных условиях эксплуатируемых лесных ландшафтов.

В зонах рубки при лесозаготовке отмечается изъятие хвойных пород и заполнение пространства малоценными лиственными видами, смена механизма формирования опада и лесной подстилки, в ряде случаев наблюдается эрозия почв, что приводит к затруднению лесовосстановления.

В лесных экосистемах опад древесных растений играет роль регулятора биохимических процессов в почве и способствует консервации органических веществ, что положительно сказывается на последующей взаимосвязи между растениями и почвой. При взаимодействии растительности и почвы происходит перераспределение макро- и микроэлементов из почвенных горизонтов в надземные части растений, а затем возвращение их в почву в виде самоорганизованной структуры растительного опада – лесной подстилки. Подстилка, которая формируется из неразложившегося опада, поддерживает микроклимат, благоприятный для биоты, выступая средой ее обитания. Таким образом, любое изменение баланса в виде опада может оказывать специфическое влияние на процесс техногенеза.

Наличие растительного опада в лесных экосистемах учитывается при формировании моделей оценки по доле его участия в биологическом круговороте, связи с атмосферным  $\text{CO}_2$ , что особенно актуально для регулирования климатических изменений в рамках Климатической доктрины РФ (указ Президента РФ от 26.10.2023 № 812 «Об утверждении Климатической доктрины Российской Федерации») [42, 58].

Большое влияние на цикл углерода в лесах оказывает хозяйственная деятельность человека, прежде всего промышленные рубки, изменяя углеродный баланс экосистемы. Сплошные рубки ведут к потерям почвенного углерода за счет снижения его массы в лесной подстилке и верхних минеральных горизонтах. Вмешательство в лесной покров нарушает естественные для лесных экосистем биогеохимические процессы, определяющие основные потоки парниковых газов. Изменения в газообмене  $\text{CO}_2$  значительно варьируют в зависимости от природных и климатических условий. После сплошной вырубki наиболее сильно нарушается верхний горизонт почв – лесная подстилка. Стабильные органические соединения (гемицеллюлоза, целлюлоза) в почве превалируют над легкоразлагаемыми. И только спустя несколько лет трудноразлагаемые компоненты опада (ветошь, сучья, отпад) утрачивают свое анатомическое строение и могут активнее использоваться микробиотой, вовлекаясь в круговорот веществ. Отсутствие равновесия между компонентами лесных экосистем, вызванное сплошными рубками, является причиной дисбаланса между образованием почвенного органического вещества в результате разложения растительного опада и его минерализацией до неорганических соединений, доступных растениям [8, 48, 51, 56].

При активном использовании леса как сырьевой базы изменяется водный баланс расчетных участков лесосеки и территорий, с которыми они имеют тесную гидрологическую связь, что приводит к пересыханию мелких рек, нарушению режима питания крупных водных артерий, а в ряде случаев может наблюдаться процесс заболачивания [7].

*Гидрогенез.* Процессы, связанные с изменением действия воды и ее проникновением в литосферу в зоне гипергенеза, с растворением, переносом и выделением из растворов различных минеральных веществ на определенной территории, принято рассматривать как проявление гидрогенеза. Он находится в тесном взаимодействии с лесным ландшафтом. Сведение древесного полога, который способен перехватывать до 40 % осадков [23], при активной лесозаготовке провоцирует поступление избыточного количества влаги на поверхность. Это в комплексе со строительством лесных дорог и существенным нарушением лесной подстилки, а также ухудшением водно-физических свойств почвы вызывает резкое увеличение склонового стока, как в период снеготаяния, так и при формировании ливневых потоков. В этом случае происходит увеличение поверхностного стока на 10–20 %, а с территории изъятия лесных насаждений – на 10–50 %, что сопровождается эрозионными процессами (смывом и сносом почвы, оврагообразованием и пр.). Снижение водопроницаемости почвы, большее поступление осадков к ее поверхности, а также уменьшение расходов воды на транспирацию часто способствуют повышению уровня грунтовых вод и верховодки на сплошных вырубках, усилению поверхностного и внутрипочвенного стока в условиях расчлененного рельефа [57].

Необходимо отметить, что при таких условиях следует ожидать роста загрязненности ливневых сточных вод, в которых присутствуют минеральные и органические вещества (в т. ч. нефтепродукты), которые при нарушении гидрологического режима формирования подземного стока напрямую попадают в водные объекты, минуя инфильтрацию в нижние горизонты подземного стока в область традиционного разрешения, характерного для сложившегося ландшафта. Как итог, снижается качество воды в поверхностном водном источнике, что выявляется при системном мониторинге водных объектов. К сожалению, сегодня отсутствует нормирование качества дренажных вод с лесосек и подземных питающих вод в зоне влияния ЛПК, а также в местах рубок под линейные объекты и нефтедобывающие площадки, где почвы и воды подвергаются усиленной биодеградации под воздействием нефтепродуктов [28, 47].

В процессе лесозаготовки на микрорельеф почвы, ее строение и физические свойства сильно влияет способ доставки бревен от места валки на погрузочную площадку. В результате многократных рейсов трактора происходит углубление почвенного покрова, который приобретает корытообразную форму с заметными углублениями в местах прохождения гусениц. Одновременно с этими изменениями резко уменьшается общая капиллярная и некапиллярная скважность почвы и, следовательно, ухудшаются водный, воздушный и тепловой режимы. Было установлено, что при трелевке леса канатной установкой происходит вымывание взвешенных веществ поверхностным стоком в 7,5 раза, а растворенных солей в 5,7 раза меньше, чем при тракторной трелевке [17, 27]. Это необходимо учитывать при организации работ на лесных участках.

В результате пожаров на территориях лесозаготовок снижается кислотность почвенной подстилки и, напротив, повышается кислотность минеральных горизонтов почв. Это сопровождается увеличением содержания обменного кальция, углерода и азота. Таким образом, достигаются кратковременный рост доступности элементов питания, уменьшение биологической активности почв и доли углерода водорастворимых соединений, а также изменение отношения C/N

в подстилке и других горизонтах, испытавших пирогенное влияние [35, 40, 41, 44, 45, 52, 53], что следует принимать во внимание при разработке мероприятий по управлению этими процессами.

Анализ водной и кислотной вытяжек из почв горельников показал наличие тяжелых металлов, марганца, никеля, меди, железа. Причем во всех пробах содержание тяжелых металлов в кислотной вытяжке намного выше, чем в водной, хотя водная вытяжка указывает на их непосредственное воздействие на растения. Термическое разрушение органики проявляется не только в изменении общего содержания тяжелых металлов, но и в соотношении растворимых соединений и связанных комплексов в почвенном слое [18, 46, 55].

При пожарах одновременно увеличивается количество зольных элементов, которые освобождаются преимущественно в форме карбонатов и сульфатов, обладающих значительной растворимостью, также в грунтовых водах растет концентрация неорганических форм азота [36]. В условиях сравнительно медленного восстановления растительного покрова на горячих это создает опасность вымывания и вовлечения в большой геологический круговорот значительной части образуемых растворимых солей. Особенно велика эта опасность при павальных пожарах, когда происходит гибель древостоя, и, следовательно, резко сокращается использование элементов в биологическом круговороте. При этом на восстановление исходного молекулярного состава до предпожарных значений требуется примерно 50 лет.

Особенно необходимо отметить специфику инженерных решений по защите водоемов путем создания устройств для гашения энергии водных потоков на территориях эксплуатации леса. Проектирование придорожных дренажных систем без соблюдения современных требований по организации пассивной системы очистки воды не решает проблему регулирования стока и не может остановить переход гидрогенеза в стадию техногенеза в зоне влияния участков лесозаготовки и промышленных площадок ЛПК. Этот процесс требует более тщательной и комплексной проработки в качестве одного из элементов регулятора генезиса формирования речного стока в системе перехода к управляемым природно-техническим системам нового поколения, к которым следует отнести ЛПК, и механизмы которых предполагается обсуждать в следующих статьях.

В данной работе не рассматривается вопрос использования водных источников для молевого сплава, который долгое время доминировал в практике доставки древесины для переработки и был на определенном этапе запрещен российским законодательством, но это не означает, что такой вид природопользования не оставил негативного следа [4] и не способствовал активному развитию деградационного механизма техногенеза как водных экосистем, так и ландшафтов водосборной системы. Согласно измененному Водному кодексу РФ (гл. 3 ст. 11 п. 9) практика сплава древесины (лесоматериалов) возвращена в систему возможного использования водных объектов (ФЗ № 302-ФЗ от 02.07.2021), и реализация этих процессов будет требовать специального мониторинга, производственного экологического контроля по всему водному пути с разработкой мероприятий по повышению экологической устойчивости водных экосистем, чтобы обеспечить устойчивое развитие территорий в зоне влияния лесозаготовительных и перерабатывающих компаний без топляка, заторов и снижения качества воды в водоемках.



Замена сплава на транспортировку древесного сырья по лесным дорогам, где используются лесовозные автопоезда, снизила негативную нагрузку на лесные экосистемы, но не свела ее на нет. В этом случае изменяется соподчиненность процессов по отрицательному влиянию на ПТК. Процессы проникновения воды и воздуха под воздействием тяжелой техники становятся другими, фильтрационные и обменные свойства почв не отвечают естественным параметрам, что способствует формированию мозаичных участков с зонами высокой преобразованности ландшафта [11]. Следует отметить, что при организации и эксплуатации таких участков в общем балансе эмиссии веществ на водосборной площади возрастает риск возникновения новых маркерных веществ – нефтепродуктов, которые ранее не участвовали в системе трансформации органического вещества. Их появление отмечается при техническом обслуживании машин, при проливах и утечках нефтесодержащих горючих и смазочных материалов, при хранении на делянках, заправке техники, а также в результате аварий при низкой культуре эксплуатации лесных машин [32, 49].

*Гуматогенез.* Степень гумификации органического вещества в лесных подстилках принято оценивать по содержанию целлюлозы и лигнина [1]. Эти компоненты обладают различными видами устойчивости [9], трансформации и биодеструкции, что делает их основными источниками для формирования гумусовых кислот. По элементному составу гумусовых кислот можно оценить степень их самоорганизации в почвенном слое, которую называют «зрелость» почв, и определить направленность процесса гумификации. Образование и формирование в определенных ландшафтах менее подвижных органоминеральных производных гумусовых веществ (преимущественно с ионами кальция), гетерополярных соединений и поликомпозиционных комплексов с макрокомпонентами принято считать гуматогенезом. Любое изменение содержания углерода в лесных подстилках и, следовательно, в органогенных слоях в ходе его естественной биоаккумуляции нарушают ход гуматогенеза в конкретном ландшафте, что особенно проявляется в зонах сплошных рубок [54].

*Хелатогенез.* На начальном этапе после рубок отмечается неравномерное формирование органогенного горизонта, который имеет мозаичный характер, а биохимические процессы на различных участках заторможены. В естественных условиях во времени компоненты опада и лесосечные отходы утрачивают анатомическое строение, активно используются микробиотой и вовлекаются в круговорот веществ. С морфологической точки зрения этот процесс выражается этапами разложения органического поликомпозиционного природного материала, переходом к иллювиированию гумуса вниз по профилю. Особенностью здесь является снижение содержания углерода в составе гуминовых и фульвокислот в нижних слоях органогенного горизонта при увеличении их окисленности. Минеральная составляющая подстилок, как правило, неоднородна по мере трансформации органоминеральных комплексов в различных слоях. По мере увеличения минерализации растительного материала повышается подвижность основных элементов-органогенов: Ca, K, P, Mg, S, Mn – и их концентрации в комплексах, а количество Al, Fe и Si возрастает. Если процесс спровоцировать в зоне сплошной рубки, то будут наблюдаться ускоренные образование и накопление в ландшафтах ненасыщенных комплексных алюмо- и железогумусовых кислот и на их основе адсорбционных – органоминеральных структур, что

принято квалифицировать как хелатогенез. Такие процессы наиболее активно проявляются для ландшафтов кислого и глеевого классов водной миграции (Северо-Западный регион) [1, 8].

*Антропогенноценоз.* Методология критических нагрузок, экологический риск, мониторинг этих процессов и системный анализ геохимии биосферы как основного механизма формирования современной ноосферы сегодня в комплексе рассматриваются в качестве теоретической платформы для разработки путей планового регулирования рационального природопользования, т. е. создания управляемого техногенеза для обеспечения безопасного проживания населения. При ограниченности невозпроизводимых ресурсов и лимитированном росте воспроизводимых запасов для понимания особенностей построения нового уклада экономики устойчивого развития в зоне системообразующего типа геосистем необходимо понимание механизмов современного техногенеза.

В общем случае любая трансформация компонентов естественного ландшафта, обусловленная прямыми или косвенными воздействиями различного характера в результате хозяйственной деятельности или деятельности промышленных кластеров на различных стадиях их жизненного цикла, называется процессом антропогенноценоза [29]. Сегодня его характеризуют как техногенез. Источниками техногенеза со стороны ЛПК будут являться объекты технической инфраструктуры и хозяйственной деятельности, которые сопряжены с оборотом и переработкой древесного сырья и вызывают изменение характера миграции или аккумуляции химических веществ в различных средах с формированием биогеохимических барьеров на пути их миграции.

Нельзя не отметить эффект «экономической урбанизации» [19] для объектов ЛПК, которые, кроме промышленной переработки древесины и производства бумаги для крупных агломераций мегаполисов, сами являются градообразующими предприятиями со свойственными им проблемами экологического характера. Эта особенность ЛПК накладывает на основные технологические процессы и энергетические системы производства дополнительные нагрузки по подготовке и отведению воды при хозяйственной деятельности. Специфическое экономическое развитие общества потребления, сферы услуг и их общая цифровизация генерируют образование отходов и вторичных материалов в городских агломерациях. Таким образом, ЛПК, как основной переработчик растительного сырья, является поставщиком готовой продукции, а опосредованно и генератором вторичного сырья, которое требует дополнительных решений в управлении этими ресурсами.

В общем случае при техногенезе генетически неизменное поколение «проходит» несколько этапов развития техники, технологии, а главное информационного сопровождения. Для ЛПК частота смены технологии  $\beta_{с.т} = 1/T_{с.т}$  ( $T$  – общее время всех изменений), которую можно принять за эталонную частоту смены в негенетической информации, сначала была равной смене поколений  $\beta_n = 1/T_n$ , а затем с переходом и тиражированием наилучшей доступной технологии превысила ее  $\beta_{с.т} > \beta_n$ . По ряду технологических операций и процессов при создании элементов техносферы в ЛПК частота смены поколений многократно превышает частоту технологического обновления  $\beta_n \gg \beta_{с.т}$  – т. н. технический прогресс в объеме производства. Но система воспроизводства растительных ресурсов как основного источника сырья не способна успевать за этими сдвигами

и ростом экономического спроса. Данные процессы имеют важные следствия для организации общества и управления природно-технической системой в части устойчивого инновационного развития в техносфере через различные механизмы техногенеза на самой промышленной площадке и в зоне влияния ЛПК.

Сочетание индустриальной и постиндустриальной составляющих техносферы, неравномерность развития регионов, которые также могут находиться на различных этапах техногенеза, обуславливают реализацию гибкой экологической промышленной политики в управлении ПТК. Большинство лесоперерабатывающих предприятий одновременно проходят конкретные периоды развития и требуют особой организации производственного процесса при переходе от линейной к циркулярной модели экономики.

*Влияние ЛПК на механизмы техногенеза.* В функционировании лесопромышленного комплекса России можно выделить несколько механизмов техногенеза на различных этапах развития хозяйственной деятельности в лесном секторе.

Наиболее часто обсуждается деградационный механизм [38] в организации и функционировании лесного хозяйства России и водных объектов в зоне влияния деятельности предприятий этой сферы. Если рассматривать данный процесс с экологической точки зрения, то он сопровождается утратой хозяйственного и рекреационного потенциала территории с изменением почвенного слоя, ландшафтов, биоразнообразия и окружающей среды в целом при осуществлении природопользования.

В систему деградационного механизма входит следующее:

изменение исходных характеристик ландшафта и вмещающих пород, которые можно оценить с использованием артериальной оценки потенциальной устойчивости ландшафта [6] под прессингом антропогенной нагрузки;

извлечение древесины разных пород с целью заготовки, а также гибель лесных насаждений вследствие лесных пожаров. Это – основная причина снижения лесистости и увеличения площади фонда лесовосстановления [10, 47];

формирование импровизированных складов древесины, отвалов лесосечных отходов в виде несанкционированного хранения древесных отходов [33]. Следствием становится деградация лесных экосистем с последующим концентрированием и рассеиванием органического вещества;

создание новых композиций, перегруппировка химических элементов, изменение первоначального химического состава с получением ксенобиотиков в виде ламинированной упаковки и изделий из древесины с включением материалов II–III классов опасности;

рассеяние химических элементов, вовлеченных в техногенез, которое может происходить планомерно (внесение удобрений, обработка гербицидами, перемещение грунта при строительных работах и т. д.) и при эмиссии загрязняющих веществ от организованных и неорганизованных источников сбросов и выбросов, в т. ч. из отвалов отходов производства. Концентрации элементов в почвах различных ландшафтов коррелируют с содержанием органического вещества [21], которое при активной лесозаготовке изменяется и регулирует миграционную активность элементов.

Обобщенные классификационные признаки этапов техногенеза на основе анализа природоохранной деятельности предприятий ЛПК и научно-технической литературы приведены в таблице.

Динамика развития техногенеза на различных этапах природопользования  
The dynamics of the development of technogenesis at various stages of nature management

Этап техногенеза	Формы хозяйственной деятельности	Доминирующие процессы	Изменение в экосистеме в результате техногенеза	Цель деятельности, приоритетность
Биогенез	–	Естественные	–	Обеспечение проживающих биовидов природными ресурсами в естественной среде. Характер примитивный
Прототехногенез	Элементарные формы хозяйствования. Ограниченная природно-хозяйственная деятельность	Простые технические процессы на фоне естественных ландшафтов. Примитивное изменение ландшафта и ряда естественных геохимических процессов	Истребление отдельных биовидов (растительного и животного происхождения). Изменение продуктивности ландшафтов на отдельных участках биосферы	Расширение ареала овладения новыми биоресурсами. Кочевой характер – собирательство. Обеспечение биопродукцией. Интенсивное освождение площадей и замена биовидов
Индустриальный техногенез (антропогенез)	Механизированное и химическое развитие крупномасштабного промышленного производства ЛПК	Негативное воздействие на постоянной основе, формирование факторов, влияющих на естественные геохимические процессы	Специфическая трансформация окружающей среды на региональном уровне, постепенное развитие проявлений на ландшафтном уровне, необратимые изменения биогеохимических циклов, «кризис редуцентов»	Извлечение максимальной прибыли при интенсификации промышленного производства. Линейная «спекулятивная» экономическая модель деятельности
Современный техногенез (постиндустриальный)	Реализация производства по принципам наилучшей доступной технологии в рамках экологических ограничений	Негативное воздействие в пределах допустимых нагрузок со стабилизацией геохимических процессов	Формирование технополюсов с неконтролируемыми и геохимическими процессами в биосфере в глобальном масштабе, переход биосферы в биотехносферу	Эколого-экономически обоснованное расширение производства с извлечением прибыли и с учетом компенсации ущерба, в т. ч. третьим лицам
Управляемый техногенез (ноотехногенез)	Развитие циркулярной экономики с вовлечением вторичных продуктов в производственные циклы	Минимальное негативное воздействие со стабилизацией геохимических процессов	Искусственно регулируемые в биотехносфере условия, обеспечение качества среды обитания населения в технополюсах и сохранение биоразнообразия на охраняемых территориях	Достижение эколого-экономического устойчивого развития, основанного на обязательном использовании природоподобных и наилучших технологий

Техногенез нельзя рассматривать исключительно с позиции деградации экосистем. Созидательная роль экологически грамотного управления территории позволяет реализовывать другие механизмы развития управляемых природно-технических систем в зоне влияния ЛПК.

Модифицирующие механизмы техногенеза в части развития территорий ЛПК предполагают искусственное создание условий, благоприятных для развития определенных групп организмов (видов растений) или даже обуславливающих саму возможность их существования. Например, развитие аквакультуры в системе восстановления популяции в зоне водовыпуска сточных вод или адаптации сохраняемых краснокнижных видов в водоохраных зонах. Модифицирующие механизмы можно совмещать с лесовосстановлением. При традиционном проведении таких работ, которые чаще осуществляются на свежих (1–2-летних) вырубках используются экскаваторы (44 %), заменяющие обычно используемые тракторы с плугами (чаще ПЛ-1). На большинстве площадей обработку почвы выполняют бороздами (52 %), но распространена также полосная обработка с микроповышениями и площадками (40 %) [12]. При правильной системе организации работ дополнительно необходимо предусматривать комплексные проекты по обустройству ландшафтного дизайна с оценкой негативного воздействия на всех этапах жизненного цикла этих проектов, что в литературе по отношению к ЛПК сегодня не обсуждается.

Поддерживающий механизм основан на проведении профилактических мероприятий по обслуживанию ландшафта и созданию систем его инженерно-экологического обустройства. Эти работы позволяют сохранять и поддерживать благополучное экологическое состояние конкретного участка окружающей среды без нарушения биогеохимических процессов территории. Пример – искусственная аэрация водных объектов или дноуглубительные работы на русле. Это может быть особенно актуально с возвращением молевого сплава для транспортировки древесины. Сегодня обслуживание площадок для выращивания деловой древесины не предусматривает производственного экологического контроля, хотя этот инструмент должен стать важным регулятором такой системы.

Креативный механизм заключается в создании новых природно-антропогенных объектов, например, развитие значимых историко-культурных, спортивных и оздоровительных объектов. В качестве примера можно привести туристический комплекс Малые Карелы. Наиболее востребованы сегодня туристические тропы (маршруты) на территории создания новых рекреационных зон в режиме восстановления лесов после пожаров или промышленной рубки различного назначения. Важным аспектом в этой части течения техногенеза является использование альтернативных источников энергии при реализации комплексных инфраструктурных объектов.

Управляющий механизм, наиболее перспективный для циркулярной экономики, предполагает включение компонентов иерархической системы организации территории ЛПК (водного объекта, санитарно-защитной зоны, зоны жилой застройки и участков лесного массива) в качестве соподчиненного компонента в управляемую природно-техническую систему. В отличие от «поддерживающего механизма» управление состоянием участка окружающей среды осуществляется не его собственной системой инженерно-экологического обустройства, а регулятором (природопользователем, автоматическим



контролем с включением в региональные, глобальные геоинформационные базы конкретной природно-технической системы, элементом которой является участок). Например, это может быть водный объект, состояние которого отслеживается посредством контроля режимов водовыпуска ряда водопользователей с учетом обеспечения предельно допустимого сброса или режима пропуска вод гидроэлектростанцией с мониторингом условий подтопления определенной территории, входящий в систему лесовосстановления и заготовки древесного сырья.

Процесс техногенеза может включать сочетание различных механизмов реализации на конкретной территории и будет требовать их учета в общей системе управления ПТК на базе ЛПК, которая способна изменяться с развитием искусственного интеллекта.

Сочетание системного поддерживающего и управляющего механизмов техногенеза создает условия формирования природообустроенного техногенеза, который особенно востребован для урбанизированных территорий в современных условиях.

Крупные ПТК, градообразующие предприятия и предприятия 1-й и 2-й категорий воздействия на окружающую среду в обязательном порядке должны разрабатывать планы повышения экологической эффективности, которые сегодня предусмотрены при получении комплексного экологического разрешения для основного производства. Это только часть перехода к устойчивому развитию. Выдача этого документа сопровождается обязательной экологической экспертизой, что является важным регулятором снижения нагрузки на окружающую среду и улучшает ее комфортность для различных биовидов, а также становится элементом управления ПТК.

Экологическая оптимизация инженерно-технических объектов и контроль их эффективности – основа альтернативной стратегии охраны окружающей среды. В современных условиях эта стратегия способна на практике обеспечить реализацию концепции устойчивого развития.

Таким образом, предложенные классификационные признаки техногенеза по этапам его развития на исторических периодах активного природопользования могут способствовать регулированию биогеохимических процессов в зоне влияния ЛПК. Это важно для понимания динамики устойчивого развития регионов, которые могут иметь неодинаковые стартовые позиции, т. к. находятся на различных этапах техногенеза, и на основе обобщенных подходов способны перейти на стадию управляемого техногенеза с меньшими экологическими потерями. Адекватность оценки этапности техногенеза для конкретной территории, на которой выстроен технологический процесс ЛПК, позволит в форсированном режиме отработать и подобрать прогрессивные сочетания механизмов для сбалансированного перехода к устойчивой экономике регионов в зоне их влияния.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бахмет О.Н., Медведева М.В. Трансформация органического вещества почв на вырубках различного возраста среднетаежной подзоны Карелии // Лесоведение. 2013. № 3. С. 38–45.

Bakhmet O.N., Medvedeva M.V. Transformation of Soil Organic Matter in Cuttings of Various Ages in the Middle Taiga Subzone of Karelia. *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 2013, no. 3, pp. 38–45. (In Russ.).

2. Безопасность деятельности. Энциклопедический словарь / под ред. О. Н. Русака. СПб.: Лик, 2003. 502 с.

Activity Safety. *Encyclopedic dictionary*. Ed. by O.N. Rusak. St. Petersburg, Lik Publ., 2003. 502 p. (In Russ.).

3. Бузыкин А.И., Пшеничникова Л.С. Возобновление и рост хвойных на вырубках южно-таежных лесов Среднего Приангарья // География и природ. ресурсы. 1997. № 3. С. 124–133.

Buzykin A.I., Pshenichnikova L.S. Renewal and Growth of Conifers in Clearings of Southern Taiga Forests of the Middle Angara Region. *Geografiya i prirodnye resursy* = Geography and Natural Resources, 1997, no. 3, pp. 124–133. (In Russ.).

4. Виноградов А.Ю., Ржавцев А.А., Бачериков И.В., Хвалев С.В., Обязов В.А., Сазонова С.И., Кадацкая М.М., Парфенов Е.А., Виноградов И.А. О применимости молевого сплава по малым рекам в современных условиях // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2020. Вып. 231. С.110–130.

Vinogradov A.Y., Rzhavtsev A.A., Bacherikov I.V., Hvalev S.V., Obyazov V.A., Sazonova S.I., Kadatskaya M.M., Parfenov E.A., Vinogradov I.A. On the Applicability of Loose Logs Driving on Small Rivers in Modern Conditions. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*, 2020, iss. 231, pp. 110–130. (In Russ.).

5. Гераськина А.П., Тебенькова Д.Н., Ершов Д.В., Ручинская Е.В., Сибирицева Н.В., Лукина Н.В. Пожары как фактор утраты биоразнообразия и функций лесных экосистем // Вопр. лесн. науки. 2021. Вып.: Лесные пожары. Т. 4. № 2. Ст. № 82. Режим доступа: [https://jfsi.ru/wp-content/uploads/2022/04/Wildfires\\_as\\_a\\_factor-2021.pdf](https://jfsi.ru/wp-content/uploads/2022/04/Wildfires_as_a_factor-2021.pdf) (дата обращения: 17.01.25).

Geraskina A.P., Tebenkova D.N., Ershov D.V., Ruchinskaya E.V., Sibirtseva N.V., Lukina N.V. Wildfires as a Factor of the Loss of Biodiversity and Functions of Forest Ecosystems. *Voprosy lesnoj nauki* = Forest Science Issues, 2021, Iss.: Wildfires, vol. 4, no. 2, art. no. 82. (In Russ.). <https://doi.org/10.31509/2658-607x-202142-11>

6. Дмитриев В.В., Огурцов А.Н., Морозова А.С., Пилюгина А.А., Свердлова О.А., Сиротина П.М., Федорова М.Е., Черепанов С.В., Шакуров В.А. Интегральная оценка устойчивости ландшафтов: модели, результаты, перспективы // Междунар. журн. приклад. и фундамент. исследований. 2017. № 9. С. 110–114.

Dmitriev V.V., Ogurtsov A.N., Morozova A.S., Pilyugina A.A., Sverdlova O.A., Sirotina P.M., Fedorova M.E., Cherepanov S.V., Shakurov V.A. Integral Assessment of Landscape Sustainability: Models, Results, Prospects. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovanij* = International Journal of Applied and Basic Researches, 2017, no. 9, pp. 110–114. (In Russ.).

7. Дмитриева В.А., Неведова Е.Г. Гидроэкологическая роль лесных насаждений в формировании режима водных ресурсов // Лесотехн. журн. 2015. № 3. С. 22–33.

Dmitrieva V.A., Nefedova E.G. Hydroecological Role of Forest in Formation of Regime of Water Resources. *Lesotekhnicheskij zhurnal* = Forestry Engineering Journal, 2015, no. 3, pp. 22–33. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/14150>

8. Долгая В.А., Бахмет О.Н. Свойства лесных подстилок на ранних этапах естественного лесовозобновления после сплошных рубок в средней тайге Карелии // Лесоведение. 2021. № 1. С. 65–77.

Dolgaya V.A., Bakhmet O.N. Forest Litter Layer Properties on the Early Stages of Natural Regrowth after Clear Cuts in Karelian Middle Taiga. *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 2021, no. 1, pp. 65–77. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0024114821010022>

9. Дягилева А.Б. Устойчивость и агрегация низкоконцентрированных водных дисперсий технических лигнинов, выделенных при переработке древесного сырья: дис. ... д-ра хим. наук. Санкт-Петербург, 2010. 378 с.

Dyagileva A.B. *Stability and Aggregation of Low-Concentration Aqueous Dispersions of Technical Lignins Isolated during Processing of Wood Raw Materials*: Doc. Chem. Sci. Diss. St. Petersburg, 2010. 378 p. (In Russ.).

10. Ермоленко А.А. Анализ состояния и причин изменения лесистости в Центральном федеральном округе: сложившаяся практика и возможные решения // Лесохоз. информ. 2018. № 4. С. 55–65.

Ermolenko A.A. Analysis of the State and Causes of Changes in Forest Cover in the Central Federal District: Current Practice and Possible Solutions. *Lesokhozyajstvennaya Informatsiya* = Forestry Information, 2018, no. 4, pp. 55–65. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2018.4.06>

11. Занозин В.В., Бармин А.Н., Валов М.В. Исследование степени антропогенной преобразованности природных территориальных комплексов // Геология, география и глобальная энергия. 2019. № 4(75). С. 168–179.

Zanozin V.V., Barmin A.N., Valov M.V. Studies of the Degree of Anthropogenic Transformation of Natural Territorial Complexes. *Geologiya, geografiya i global'naya energiya* = Geology, Geography and Global Energy, 2019, no. 4(75), pp. 168–179. (In Russ.).

12. Ильинцев А.С., Романов Е.М., Воронин В.В., Богданов А.П. Современная практика искусственного лесовосстановления в таежной зоне европейской части России // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 1. С. 52–64.

Ilintsev A.S., Romanov E.M., Voronin V.V., Bogdanov A.P. Modern Practice of Artificial Reforestation in the Taiga Zone of the European Part of Russia. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2024, no. 1, pp. 52–64. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-1-52-64>

13. Исаев А.С., Абаимов А.П., Бузыкин А.И., Ефремов С.П., Назимова Д.И., Петренко Е.С., Семечкин И.В. Лесная биогеоценология – составная часть лесоведения // Лесоведение. 2005. № 4. С. 4–11.

Isaev A.S., Abaimov A.P., Buzykin A.I., Efremov S.P., Nazimova D.I., Petrenko E.S., Semechkin I.V. Forest Biogeocenology is a Component of Forest Science. *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 2005, no. 4, pp. 4–11. (In Russ.).

14. Ишутин Я.Н., Ключников М.В., Бушков Н.Т., Ильичев Ю.Н., Тараканов В.В., Маскаев В.Н. Применение генетически улучшенного посадочного материала при облесении вырубок в горельниках Приобских боров // Хвойные бореал. зоны. 2007. Т. 24, № 2-3. С. 187–192.

Ishutin Ya.N., Klyuchnikov M.V., Bushkov N.T., Il'ichev Yu.N., Tarakanov V.V., Maskaev V.N. The Use of Genetically Improved Planting Material for Afforestation of Clearings in Burnt Areas of Priobsky Pine Forests. *Khvoynye boreal'noi zony* = Conifers of the Boreal Area, 2007, vol. 24, no. 2-3, pp. 187–192. (In Russ.).

15. Казеев К.Ш., Солдатов В.П., Шхатацев А.К., Шевченко Н.Е., Грабенко Е.А., Ермолаева О.Ю., Колесников С.И. Изменение свойств дерново-карбонатных почв после сплошной рубки в хвойно-широколиственных лесах Северо-Западного // Лесоведение. 2021. № 4. С. 426–436.

Kazeev K.Sh., Soldatov V.P., Shkhatatsev A.K., Shevchenko N.Ye., Grabenko Ye.A., Ermolaeva O.Yu., Kolesnikov S.I. Changes in the Properties of Calcareous Soils after Clearcutting in the Coniferous-Deciduous Forests of the Northwestern Caucasus. *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 2021, no. 4, pp. 426–436. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0024114821040069>

16. Кальнер В.Д. «Зомби экономика» и биоразнообразии планеты // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25, № 1. С. 60–64.

Kalner V.D. «Zombie Economics» and Biodiversity of the Planet. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* = Ecology and Industry of Russia, 2021, vol. 25, no. 1, pp. 60–64. (In Russ.). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-1-60-64>

17. Карпечко Ю.В., Мясникова Н.А. Оценка изменения элементов водного баланса в первый год после рубок в таежной зоне Европейского Севера России // Уч. зап. рос. гос. гидрометеорол. ун-та. 2014. № 33. С. 31–44.

Karpechko Yu.V., Myasnikova N.A. Estimation of Water Balance Terms Changes during the First Year after Logging in the Taiga Zone of the Northern European Russia. *Uchenye zapiski Rossijskogo gidrometeorologicheskogo universiteta* = Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University, 2014, no. 33, pp. 31–44. (In Russ.).

18. Коган Р.М., Панина О.Ю. Исследование влияния пожаров на фитотоксичность почв (на примере широколиственных лесов еврейской автономной области) // Вестн. Приамур. гос. ун-та им. Шолом-Алейхема. 2010. № 2(6). С. 40–41.

Kogan R.M., Panina O.Y. Investigation of Influence of Fires Phyto-Toxicity on Soil (on Example Broad Leaf-Bearing Forest Jewish Autonomous Region). *Vestnik Priamurskogo universiteta im. Sholom-Alejkhema* = Bulletin of the Amur State University named after Sholom Aleichem, 2010, no. 2(6), pp. 40–41. (In Russ.).

19. Косарева Н.Б., Полиди Т.Д., Пузанов А.С. Экономическая урбанизация. М.: Институт экономики города, 2018. 418 с.

Kosareva N.B., Polidi T.D., Puzanov A.S. Economic Urbanization. Moscow, *Institut ekonomiki goroda* = The Institute for Urban Economics, 2018. 418 p. (In Russ.).

20. Макаренко Е.Л. Оценка образования отходов лесозаготовки и деревообработки в центральной зоне Байкальской природной территории // Успехи соврем. естествознания. 2020. № 5. С. 63–69.

Makarenko E.L. Assessment of Forestry and Woodworking Waste Formation in Central Ecological Area of the Baikal Natural Territories. *Uspekhi sovremennogo estesvoznaniya* = Advances in Current Natural Science, 2020, no. 5, pp. 63–69. (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/use.37393>

21. Махинова А.Ф., Махинов А.Н., Купцова В.А., Лю Шугуан, Ермошин В.В. Ландшафтно-географическое районирование бассейна р. Амур (Российская часть) // Тихоокеанская геология. 2014. Т. 33, № 2. С. 76–89.

Makhinova A.F., Makhinov A.N., Kuptsova V.A., Liu S., Ermoshin V.V. Landscape-Geographical Zoning of the Amur Basin (Russian Territory). *Tikhookeanskaya ekologiya* = Russian Journal of Pacific Geology, 2014, vol. 8, pp.138–150. <https://doi.org/10.1134/S1819714014020043>

22. Мишина И. Лесные пожары 2023: масштаб бедствия приближается к национальной катастрофе. Режим доступа: <https://newizv.ru/news/2023-05-11/lesnye-pozhary-2023-masshtab-bedstviya-priblizhaetsya-k-natsionalnoy-katastrofe-406879> (дата обращения: 27.02.24).

Mishina I. *Forest Fires 2023: the Scale of the Disaster is Approaching a National Catastrophe*. (In Russ.).

23. Онучин А.А., Буренина Т.А., Зирюкина Н.В., Фарбер С.К. Лесогидрологические последствия рубок в условиях средней Сибири // Сиб. лесн. журн. 2014. № 1. С. 110–118.

Onuchin A.A., Burenina T.A., Ziryukina N.V., Farber S.K. Impact of Forest Harvesting and Forest Regeneration on Runoff Dynamics at Watersheds of Central Siberia. *Sibirskij lesnoj zhurnal* = Siberian Journal of Forest Science, 2014, no. 1, pp. 110–118. (In Russ.).

24. Организация Объединенных Наций: Восемьдесят первая сессия Сан-Марино, 20–23 ноября 2023 года. Вопросы, касающиеся Европейской комиссии по лесному хозяйству (Продовольственной и сельскохозяйственной организации GE.23-16420 (R) 040923 290923).

*United Nations Organization: Eighty First Session San Marino, November 20–23, 2023. Issues Concerning the European Forestry Commission (Food and Agriculture Organization of the United Nations GE.23-16420 (R) 040923 290923).* (In Russ.).

25. Очистка и рекуперация промышленных выбросов / под общ. ред. В.Ф. Максимова, И.В. Вольфа. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 416 с.

*Cleaning and Recovery of Industrial Emissions.* Under the gen. ed. by V.F. Maksimov, I.V. Wolf. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1989. 416 p. (In Russ.).

26. Патент 2734634 С1 РФ, МПК C05F11/00 A01N65/06. Способ получения стимуляторов роста из водной вытяжки коросодержащей массы: № 2019118614: заявл. 17.06.2019; опубл. 21.10.2020 / А.Б. Дягилева, А.И. Смирнова, С.Б. Михайлова, Д.В. Дягилева.

Dyagileva A.B., Smirnova A.I., Mikhailova S.B., Dyagileva D.V. *Method for Obtaining Growth Stimulants from an Aqueous Extract of Bark-Containing Mass.* Patent RF no. RU 2734634 C1, 2020. (In Russ.).

27. *Побединский А.В.* Водоохранная и почвозащитная роль лесов. М.: Лесн. пром-сть, 1979. 174 с.

Pobedinsky A.V. *The Water and Soil Protection Role of Forests.* Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1979. 174 p. (In Russ.).

28. *Пристова Т.А., Василевич М.И.* Химический состав снежного покрова в лесных экосистемах в зоне аэротехногенного влияния целлюлозно-бумажного производства // Изв. СамНЦ РАН. 2010. Т. 12, № 1(9). С. 2313–2316.

Pristova T.A., Vasilevich M.I. Chemical Composition of Solid Precipitates in Forest Ecosystems of Background Areas and in the Zone of Aerotechnogenic Impact of Pulp and Paper Mill. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossijskoj akademii nauk = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2010, vol. 12, no. 1(9), pp. 2313–2316. (In Russ.).

29. *Реймерс Н.Ф.* Природопользование: Словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с. Rejmers N.F. *Nature Management: Reference Dictionary.* Moscow, Mysl' Publ., 1990. 637 p. (In Russ.).

30. *Семенякин Д.А., Тихонова И.В.* Использование многофакторного анализа данных в оценке состояния предварительного и последующего возобновления сосняков после выборочных рубок // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 1. С. 33–51.

Semenyakin D.A., Tikhonova I.V. The Use of Multivariate Data Analysis in Assessing the State of Advance and After-Regeneration of Pine Forests after Selective Felling. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2024, no. 1, pp. 33–51. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-1-33-51>

31. *Сиваков В.П., Мехренцев А.В., Вураско А.В.* История и современное состояние целлюлозно-бумажной промышленности России // Леса России и хозяйства в них. 2019. № 1(68). С. 75–83.

Sivakov V.P., Mekhrentsev A.V., Vurasko A.V. History and Current State of the Pulp and Paper Industry. *Lesa Rossii i khozyajstvo v nikh = Forests of Russia and Economy in them*, 2019, no. 1(68), pp. 75–83. (In Russ.).

32. *Сюнёв В.С., Графова Е.О.* Новые технические решения по снижению негативного воздействия лесопромышленных производств на лесную среду // Resources and Technology. 2022. № 19(1). С. 48–71.

Syunev V.S., Grafova E.O. New Technical Solutions for Reducing the Negative Impact of Forest Industries on the Forest Environment. *Resources and Technology*, 2022, no. 19(1), pp. 48–71. (In Russ.). <https://doi.org/10.15393/j2.art.2022.6103>

33. *Троицкая Р.М.* О развитии отечественных целлюлозно-бумажных предприятий, осуществляющих варку целлюлозы из древесины // Трубопроводная арматура и оборудование. 2022. № 1(118). С. 54–57.



Troitskaya R.M. On the Development of Domestic Pulp and Paper Enterprises that Produce Pulp from Wood. *Truboprovodnaya armatura i oborudovanie*, 2022, no. 1(118), pp. 54–57. (In Russ.).

34. Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Ассоциации полициклических ароматических углеводородов в пройденных пожарами почвах // Вестн. моск. ун-та. Сер. 5.: География. 2011. № 3. С. 13–19.

Tsibart A.S., Gennadiev A.N. Associations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Fire-Affected Soils. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya* = Moscow University Bulletin. Series 5: Geography, 2011, no. 3, pp. 13–19. (In Russ.).

35. Шестеркин В.П. Влияние торфяных пожаров на химический состав снежного покрова и поверхностных вод // География и природные ресурсы. 2009. № 1. С. 49–54.

Shesterkin V.P. The Influence of Peat Fires on the Chemical Composition of Snow Cover and Surface Waters. *Geografiya i prirodnye resursy* = Geography and Natural Resources, 2009, no. 1, pp. 49–54. (In Russ.).

36. Шестеркина Н.М., Шестеркин В.П., Таловская В.С., Ри Т.Д. Пространственно-временная изменчивость содержания растворенных элементов в водах реки Амур // Водн. ресурсы. 2020. Т. 47, № 3. С. 336–347.

Shesterkina N.M., Shesterkin V.P., Talovskaya V.S., Ri T.D. Space and Time Variations of the Concentrations of Dissolved Forms of Microelements in Amur River Water. *Vodnye resursy* = Water Resources, 2020, vol. 47, no. 3, pp. 336–347. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0321059620020170>

37. Шилин М.Б., Леднова Ю.А., Меньшакова М.Ю., Гайнанова Р.И., Румянцева Е.А. Птицы в техносфере // Изв. С.-Петербур. лесотехн. акад. 2023. Вып. 246. С. 67–89.

Shilin M.B., Lednova J.A., Menshakova M.J., Gaynanova R.I., Rumiantceva E.A. Birds in the Technosphaera. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2023, iss. 246, pp. 67–89. (In Russ.). <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2023.246.67-89>

38. Шутов И.В. Деградация лесного хозяйства России. СПб.: СПбНИИЛХ, 2006. 97 с.

Shutov I.V. *Degradation of Forestry in Russia*. St. Petersburg, Saint-Petersburg Forestry Research Institute Publ., 2006. 97 p. (In Russ.).

39. Шутов И.В. Остановить деградацию лесов России! 2-е изд., расшир. и доп. М.: Лесн. страна, 2007. 227 с.

Shutov I.V. *Stop the Degradation of Forests in Russia!* 2nd ed., enlarged. Moscow, Lesnaya strana Publ., 2007. 227 p. (In Russ.).

40. Adams M.A. Mega-Fires, Tipping Points and Ecosystem Services: Managing Forests and Woodlands in an Uncertain Future. *Forest Ecology and Management*, 2013, vol. 294, pp. 250–261. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.11.039>

41. Ahlgren I.F., Ahlgren C.E. Effects of Prescribed Burning on Soil Microorganisms in a Minnesota Jack Pine Forest. *Ecology*, 1965, vol. 46, iss. 3, pp. 304–310. <https://doi.org/10.2307/1936333>

42. Amiro B.D., Todd J.B., Wotton B.M., Logan K.A., Flannigan M.D., Stocks B.J., Mason J.A., Martell D.L., Hirsch K.G. Direct Carbon Emissions from Canadian Forest Fires, 1959–1999. *Canadian Journal of Forest Research*, 2001, vol. 31, no. 3, pp. 512–525. <https://doi.org/10.1139/x00-197>

43. Ansink E., Hein L., Hasund K.P. To Value Functions or Services? An Analysis of Ecosystem Valuation Approaches. *Environmental Values*, 2008, vol. 17, iss. 4, pp. 489–503. <https://doi.org/10.3197/096327108X368502>

44. Benyon R., Culvenor D., Simms N., Opie K., Siggins A., Doody T. Evaluation of Remote Sensing for Predicting Long Term Hydrological Impacts of Forest Regeneration as a Result of Bushfire. *Technical Report*, Ensis, 2007, no. 163. 55 p.

45. Bond-Lamberty B., Peckham S.D., Ahl D.E., Gower S.T. Fire as the Dominant Driver of Central Canadian Boreal Forest Carbon Balance. *Nature*, 2007, vol. 450, pp. 89–92. <https://doi.org/10.1038/nature06272>
46. Bowd E.J., Banks S.C., Strong C.L., Lindenmayer D.B. Long-Term Impacts of Wildfire and Logging on Forest Soils. *Nature Geoscience*, 2019, vol. 12, pp. 113–118. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0294-2>
47. Chaillan F., Chaîneau 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, iss. 1, pp. 255–265. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.12.016>
48. Crutzen P., Heidt L.E., Krasnec J.P., Pollock W.H., Seiler W. Biomass Burning as a Source of Atmospheric Gases CO, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, NO, CH<sub>3</sub>Cl and COS. *Nature*, 1979, vol. 282, pp. 253–256. <https://doi.org/10.1038/282253a0>
49. 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 Hydro-Bio-Geochemical Markers and Modeling Support. *Water, Air & Soil Pollution*, 2011, vol. 220, pp. 253–263. <https://doi.org/10.1007/s11270-011-0751-7>
50. FAO. 2022. *The State of the World's Forests 2022. Forest Pathways for Green Recovery and Building Inclusive, Resilient and Sustainable Economies*. Rome, FAO, 2022. 166 p. <https://doi.org/10.4060/cb9360en>
51. Kashian D.M., Romme W.H., Tinker D.B., Turner M.G., Ryan M.G. Postfire Changes in Forest Carbon Storage over a 300-year Chronosequence of *Pinus contorta*-Dominated Forests. *Ecological Monographs*, 2013, vol. 83, iss. 1, pp. 49–66. <https://doi.org/10.1890/11-1454.1>
52. Kawahigashi M., Prokushkin A., Sumida H. Effect of Fire on Solute Release from Organic Horizons under Larch Forest in Central Siberian Permafrost Terrain. *Geoderma*, 2011, vol. 166, iss. 1, pp. 171–180. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.07.027>
53. Kuczera G. Prediction of Water Yield Reductions Following a Bushfire in Ash-Mixed Species Eucalypt Forest. *Journal of Hydrology*, 1987, vol. 94, iss. 3-4, pp. 215–236. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(87\)90054-0](https://doi.org/10.1016/0022-1694(87)90054-0)
54. Kulikowska D. Kinetics of Organic Matter Removal and Humification Progress during Sewage Sludge Composting. *Waste Management*, 2016, vol. 49, pp. 196–203. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.005>
55. Smith H.G., Sheridan G.J., Lane P.N.J., Nyman P., Haydon S. Wildfire Effects on Water Quality in Forest Catchments: A Review with Implications for Water Supply. *Journal of Hydrology*, 2011, vol. 396, iss. 1-2, pp. 170–192. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.10.043>
56. Walker X.J., Baltzer J.L., Cumming S.G., Day N.J., Ebert C., Goetz S., Johnstone J.F., Potter S., Rogers B.M., Shuur E.A.G., Turetsky M.R., Mack M.C. Increasing Wildfires Threaten Historic Carbon Sink of Boreal Forest Soils. *Nature*, 2019, vol. 572, no. 7770, pp. 520–523. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1474-y>
57. Yang Y., Hu X., Wang Y., Jin T., Cao X., Han M. Preliminary Study on Methods to Calculate Dynamic Reserves of Slope Eroding Materials Transported by Post-Fire Debris Flow. *Journal of Engineering Geology*, 2021, vol. 29, no. 1, pp. 151–161. <https://doi.org/10.13544/j.cnki.jeg.2020-008>
58. Zamolodchikov D.G., Grabovskii V.I., Shulyak P.P., Chestnykh O.V. Recent Decrease in Carbon Sink to Russian Forests. *Doklady Biological Sciences*, 2017, vol. 476, pp. 200–202. <https://doi.org/10.1134/S0012496617050064>

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest

**Вклад авторов:** Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи  
**Authors' Contribution:** All authors contributed equally to the writing of the article