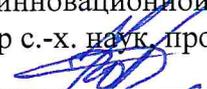


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(УГЛТУ)

УДК 504.05
Рег. № НИОКТР 1021070512742-0-1.6.19;1.5.8
Рег. № ИКРБС

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
и инновационной деятельности
д-р с.-х. наук, проф.

В.В. Фомин
« 23 » сентября 2023 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
«Экологические аспекты рационального природопользования»
НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ
В СВЕТЕ СОВРЕМЕННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ
(ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ)
№ FEUG-2020-0013

Начальник УНИД,
канд. с.-хоз. наук, доцент



А.Г. Магасумова

подпись, дата

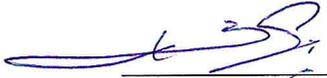
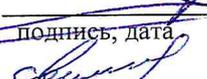
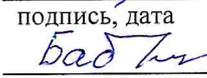
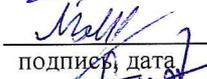
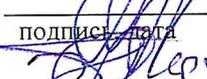
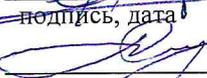
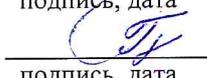
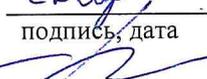
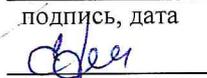
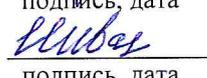
Научный руководитель
док. с.-хоз. наук, проф.,
Заслуженный лесовод РФ

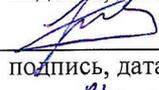
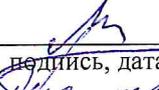
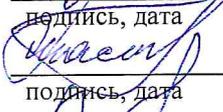
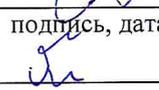
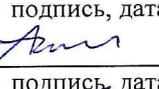
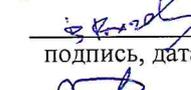
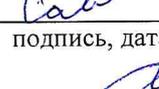
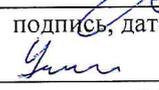
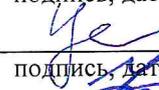
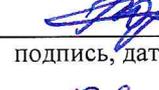
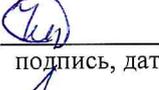
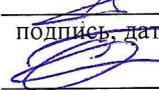
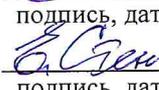
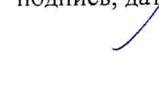


С.В. Залесов

подпись, дата

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

| | | |
|--|---|--|
| Руководитель темы, д-р с.-хоз. наук |  | С.В. Залесов (введение, раздел 1.3, 1.4, 2.1, заключение) |
| Зам. руководителя, д-р хим. наук | подпись, дата | И.Г. Первова (введение, раздел 3.1, заключение) |
| Исполнители темы | подпись, дата | |
| Инженер-исследователь |  | Е.М. Агапитов (раздел 1.1, 1.2) |
| | подпись, дата | |
| Профессор, д-р с.-хоз. наук |  | В.А. Азаренок (раздел 2.3) |
| | подпись, дата | |
| Инженер-исследователь |  | Т.В. Азарова (раздел 3.2, 3.3) |
| | подпись, дата | |
| Доцент, к. техн. наук |  | А.В. Артемов (раздел 3.2, 3.3) |
| | подпись, дата | |
| Науч. сотрудник |  | Э.Р. Ахтямов (раздел 2.1) |
| | подпись, дата | |
| Лаборант-исследователь |  | С.В. Бабинов (раздел 1.1, 1.2) |
| | подпись, дата | |
| Мл. научный сотрудник |  | К.А. Башегуров (раздел 1.3) |
| | подпись, дата | |
| Доцент, к. с.-хоз. наук |  | Л.А. Белов (раздел 1.4) |
| | подпись, дата | |
| Профессор, д-р техн. наук |  | В.Г. Буриндин (раздел 3.3) |
| | подпись, дата | |
| Профессор, д-р техн. наук |  | А.В. Вураско (раздел 3.4) |
| | подпись, дата | |
| Профессор, д-р техн. наук |  | Э.Ф. Герц (раздел 2.2) |
| | подпись, дата | |
| Профессор, д-р техн. наук |  | В.В. Глухих (раздел 3.2) |
| | подпись, дата | |
| Науч. сотрудник |  | Д.Ю. Голиков (раздел 1.1, 1.2) |
| | подпись, дата | |
| Доцент, к. хим. наук |  | Ю.А. Горбатенко (раздел 3.1) |
| | подпись, дата | |
| Инженер-исследователь |  | А.Н. Гулин (раздел 1.1, 1.2) |
| | подпись, дата | |
| Лаборант-исследователь |  | Д.Ю. Дворянкин (раздел 3.1) |
| | подпись, дата | |
| Профессор, д-р техн. наук |  | Б.Н. Дриккер (раздел 3.4) |
| | подпись, дата | |
| Инженер-исследователь |  | А.С. Ершова (раздел 3.2) |
| | подпись, дата | |
| Ст. научный сотрудник |  | Н.С. Иванова (раздел 1.1, 1.2) |
| | подпись, дата | |
| Профессор, д-р физ.-мат. наук |  | М.П. Кащенко (раздел 3.4) |
| | подпись, дата | |
| Ассистент |  | И.А. Клепалова (раздел 3.1) |
| | подпись, дата | |

| | | |
|-------------------------------|--|------------------------------------|
| Инженер-исследователь |  подпись, дата | И.Е. Корчагин (раздел 1.4) |
| Ст. преподаватель |  подпись, дата | П.С. Кривоногов (раздел 3.3) |
| Доцент, к. с.-хоз. наук |  подпись, дата | А.Г. Магасумова (раздел 1.3) |
| Доцент, к. хим. наук |  подпись, дата | Н.В. Марина (раздел 1.1, 1.2) |
| Доцент, к. хим. наук |  подпись, дата | Т.И. Маслакова (раздел 3.1, 3.3) |
| Доцент, к. техн. наук |  подпись, дата | А.В. Мехренцев (раздел 2) |
| Доцент, к. с.-хоз. наук |  подпись, дата | А.Е. Осипенко (раздел 1.4) |
| Мл. научный сотрудник |  подпись, дата | Р.А. Осипенко (раздел 1.4) |
| Доцент, к. с.-хоз. наук |  подпись, дата | И.А. Панин (раздел 1.4) |
| Ст. научный сотрудник |  подпись, дата | М.Г. Первова (раздел 3.1) |
| Мл. научный сотрудник |  подпись, дата | А.А. Протазанов (раздел 3.1) |
| Инженер-исследователь |  подпись, дата | В.Е. Рогачев (раздел 1.1, 1.2) |
| Доцент, к. техн. наук |  подпись, дата | А.В. Савиновских (раздел 3.2, 3.3) |
| Доцент, к. с.-хоз. наук |  подпись, дата | А.Ф. Уразова (раздел 2.3) |
| Лаборант-исследователь |  подпись, дата | Н.А. Усов (раздел 3.4) |
| Лаборант-исследователь |  подпись, дата | К.А. Усова (раздел 3.1) |
| Доцент, д-р с.-хоз. наук |  подпись, дата | В.А. Усольцев (раздел 2.1) |
| Профессор, д-р биол. наук |  подпись, дата | В.В. Фомин (раздел 1.1, 1.2) |
| Профессор, д-р физ.-мат. наук |  подпись, дата | В.Г. Чащина (раздел 3.4) |
| Инженер-исследователь |  подпись, дата | Д.Д. Чирков (раздел 3.2) |
| Ст. научный сотрудник |  подпись, дата | А.Б. Шишмаков (раздел 3.4) |
| Доцент, к. техн. наук |  подпись, дата | А.Е. Шкуро (раздел 3.2) |
| Профессор, д-р техн. наук |  подпись, дата | С.Б. Якимович (раздел 2.2) |
| Нормоконтролер |  подпись, дата | Е.И. Стенина |

РЕФЕРАТ

Отчет 116 с., 43 рисунков, 36 таблиц, 118 источников, 1 прил.

ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, ТЕХНОГЕННЫЕ УГРОЗЫ, БИОРАЗНООБРАЗИЕ, РЕКУЛЬТИВАЦИЯ; ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ГИБРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, КОМПОЗИТЫ, ВОЗОБНОВЛЯЕМОЕ СЫРЬЕ, СКОРОСТЬ БИОРАЗЛОЖЕНИЯ

В целом, проект направлен на решение фундаментальной проблемы - исследование закономерностей формирования и трансформации растительности в связи с изменениями климата и антропогенного воздействия, разработка экологизированных технологий получения природных и синтетических материалов.

Для разработки комплексного подхода к ведению лесного хозяйства, уходу за лесными насаждениями и охране их от пожаров на основании выполненных в 2022 г. исследований реализовано изучение региональной специфики изменения климата с использованием данных атмосферных реанализов. Проведен анализ пространственно-временной динамики отдельных климатических показателей на территории, которая относится к Полярному Уралу и прилегающих к нему районов, на основе данных инструментальных наблюдений на метеорологических станциях за период с середины XX века до настоящего времени. Созданы климатические картосхемы на основе данных реанализов и данных метеонаблюдений на метеостанциях, характеризующие пространственно-временную динамику климата исследуемой территории. Установлено, что данные реанализа CERA-20C лучше согласуются с данными метеонаблюдений на метеорологических станциях, по сравнению с данными реанализа ERA-20C.

Исследованы географические закономерности изменения базисной плотности древесины и коры лесообразующих пород Евразии. Выявлен вклад таксационных показателей древостоев (возраст и средний диаметр), происхождения древостоев (естественных и искусственных) и климатических показателей (температура и осадки) в объяснение изменчивости базисной плотности деревьев, показано изменение базисной плотности древостоев в градиентах средней январской температуры и среднегодовых осадков на территории Евразии. Для достижения этой цели была использована уникальная евразийская база данных о биомассе и базисной плотности древостоев лесообразующих пород.

С учетом климатических условий установлены пространственные закономерности распределения лесных пожаров на территории Ямало-Ненецкого автономного округа за период с 2002 по 2018 года, с учетом условий погоды, а также особенности пространственного распределения лесных пожаров относительно мест проживания и хозяйственной деятельности чело-

века. Проанализирована горимость лесов в условиях меняющегося климата и предложены оригинальные способы тушения лесных пожаров.

Разработана методика рационального объединения и типизации множеств природно-производственных условий лесных участков, известной системы машин заготовки и транспорта древесины, а также размещения лесных дорог, промышленных площадок и др. объектов, располагаемых на арендуемых лесных участках для транспортных, погрузочно-разгрузочных, обрабатывающих и информационных фракций. Разработаны предложения по совершенствованию рубок спелых и перестойных насаждений, а также рубок ухода с учетом зонально-типовой специфики насаждений; выбору главных пород при лесовосстановлении и лесоразведении и ведению хозяйства на землях, исключенных из сельскохозяйственного использования с учетом интенсивности зарастания их древесной растительностью и потенциального почвенного плодородия.

В ходе проведения исследований по разработке прогрессивных ресурсосберегающих технологий изучены возможности формирования полимерных композиционных материалов с полимерной фазой ПВХ и лигноцеллюлозными наполнителями, полученными из неиспользуемых промышленных отходов и растений (древесная пыль производства древесностружечных плит и фанеры, опилки бука, оболочка семян пшеницы и овса, солома пшеницы, костра конопля). Была установлена возможность получения полимерных композиционных материалов с полимерной фазой первичного и вторичного ПВХ и некоторыми исследованными лигноцеллюлозными наполнителями не уступающих по физико-механическим свойствам широко используемым древесно-полимерным композитам (ДПК) с фазой синтетических термопластичных полимеров. Получены экспериментально-статистические модели влияния компонентного состава полученных экоматериалов и биоматериалов на их физико-механические свойства и способность к биоразложению в активированном грунте. Разработаны подходы и технологические решения по получению сорбционных материалов из растительных отходов. Сорбенты, полученные с помощью химической и термохимической модификации скорлупы кедрового ореха, можно выделить как наиболее перспективные для извлечения ионов меди из водных сред.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----|
| 1 Разработка методов анализа и оценки состояния лесных ресурсов в условиях прошлого и современного изменений климата | 9 |
| 1.1 Географические закономерности изменения базисной плотности древесины и коры лесообразующих пород Евразии..... | 9 |
| 1.2 Использование реанализов для оценки пространственно-временной динамики температуры воздуха на Урале и в Западной Сибири во второй половине XX – начале XXI веков..... | 19 |
| 1.3 Пространственно-временная динамика лесных пожаров и значений климатических параметров в начале XXI века на территории Ямало-Ненецкого автономного округа..... | 22 |
| 1.4 Анализ горизонтальной пространственной структуры лиственницы сибирской вблизи верхнего предела произрастания древесной растительности | 32 |
| 2 Разработка методов совершенствование лесопользования, заготовки и обработки древесины с сохранением биотопов для оптимального развития и размещения производительных сил | 42 |
| 2.1 Совершенствование лесопользования на основе рекомендаций по выбору направления и способа рекультивации нарушенных земель | 42 |
| 2.2 Эффективные способы заготовки и обработки древесины с сохранением биотопов с учетом принципов комплектования систем машин..... | 52 |
| 2.3 Планирование оптимального развития и размещения производительных сил, обеспечивающих производство высокотехнологичных изделий на основе комплексной переработки лесной продукции, развития внутрироссийского и экспортного рынков, а также цифровизации процессов лесного сектора экономики | 58 |
| 3 Разработка технологий рационального использования растительных ресурсов и отходов деревообрабатывающей промышленности, уменьшения их экологического вреда ... | 64 |
| 3.1 Исследование модифицированных сорбентов на основе скорлупы кедрового ореха | 64 |
| 3.2 Получение и изучение свойств композитов на основе поливинилхлорида с лигноцеллюлозными наполнителями, полученными из неиспользуемых промышленных и растительных отходов | 70 |
| 3.3 Получение и исследование формирования структуры и свойств пластиков на основе растительного сырья без синтетических связующих | 78 |
| 3.4 Получение и исследование свойств технической целлюлозы из нетрадиционного растительного сырья | 98 |
| Заключение..... | 106 |
| Список использованных источников | 110 |
| Приложение А..... | 117 |

ВВЕДЕНИЕ

Наблюдающиеся в последние десятилетия изменения климатических условий сочетаются с усиливающимся негативным антропогенным воздействием на природные и, прежде всего, лесные экосистемы. Указанное вызывает необходимость поиска путей минимизации негативного воздействия промышленной и хозяйственной деятельности человека на лесные экосистемы. Становится актуальным поиск оптимальных систем лесопользования и рекультивации нарушенных земель, сокращения выбросов в атмосферу углекислого и других парниковых газов, и увеличения доли депонированного углерода компонентами лесных насаждений.

Леса выполняют как важнейшие средозащитные, средообразующие, экологические и социальные функции, так и вносят существенный вклад в обеспечение экономического развития отдельных государств и регионов. Лесной комплекс укрупнённо включает в себя два основных вида экономической деятельности – лесное хозяйство и лесную промышленность.

Среди наиболее острых проблем в сфере лесного хозяйства, лесной и деревообрабатывающей промышленности, ограничивающих и сдерживающих сегодня развитие отечественного лесного комплекса можно выделить:

низкий уровень достоверности и актуальности сведений об имеющихся лесных ресурсах, что обуславливает неэффективность нормативного регулирования вопросов предоставления в пользование лесных участков (давность проведения лесоустройства достигает 20 лет);

- приоритет экстенсивной модели лесопользования с низкой эффективностью лесовосстановления и необходимостью включения в хозяйственный оборот лесных районов необеспеченных транспортной инфраструктурой, что ведет к дополнительным затратам и неоправданным потерям лесного сырья;

- недостаточная эффективность системы охраны и защиты лесов, разобщенность лесопожарных сил и, как следствие, низкое качество выполнения работ по защите лесов, высокий уровень потерь лесного фонда от пожаров, вредителей и других природных факторов;

- ограниченные возможности лесозаготовки в эксплуатационных лесах, связанные с недостаточным уходом за лесами, что снижает показатели прироста древесины, и, в целом низкий уровень съема древесины с единицы площади эксплуатационных лесов;

- неразвитость системы по использованию отходов древесины и низкий уровень собираемости макулатуры;

- недостаточное для создания новых высокотехнологичных производств по глубокой переработке древесного сырья развитие внутреннего рынка продукции переработки древесины, его ограниченный объем.

Необходимо более рациональное комплексное использование лесных, растительных природных ресурсов. Следует разрабатывать технологии переработки отходов в новую востребованную продукцию, не допуская увеличения площади полигонов для хранения бытовых и промышленных отходов. Указанные технологии должны разрабатываться с учетом региональной специфики природно-экономических условий и обеспечивать рационализацию природопользования при минимальных затратах финансовых и трудовых ресурсов. Изучение региональной специфики изменения климата необходимо при проведении экологических исследований для понимания процессов, которые происходят в наземных экосистемах, а также при изучении катастрофических явлений. В то же время повышение эффективности систем лесопользования возможно только посредством системного подхода к типизации и группировке лесных объектов, обеспечивающего эффективную заготовку древесины и иные потребляемые функции леса с ограничениями на неистощительное лесопользование. Рациональное использование растительных ресурсов должно быть обеспечено инновационными технологиями переработки как деловой древесины, так и целлюлозосодержащих отходов, неиспользуемых на промышленных, сельскохозяйственных и лесоперерабатывающих предприятиях.

Проект направлен на активизацию фундаментальных и прикладных научных исследований в области лесного хозяйства, охраны окружающей среды и природопользования, включая экологически чистые технологии по переработке растительных отходов.

1 Разработка методов анализа и оценки состояния лесных ресурсов в условиях прошлого и современного изменений климата

1.1 Географические закономерности изменения базисной плотности древесины и коры лесообразующих пород Евразии

В последние годы мировая лесная экология характеризуется интенсивными исследованиями биологической продуктивности лесов в предположении антропогенного изменения климата и поиска возможностей его стабилизации. Роль лесов в мире становится все более значимой, поскольку человечество вступает в новую эру, характеризующуюся глобальным стремлением к достижению экономической, социальной и экологической устойчивости.

В рамках выполнения данного проекта необходимо было выявить географические закономерности изменения базисной плотности (БП) древесины и коры лесообразующих видов Северной Евразии. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- разработать регрессионные зависимости БП от дендрометрических показателей деревьев, географических координат и видовой принадлежности деревьев;
- оценить вклад дендрометрических показателей, географического положения и видовой принадлежности в объяснение изменчивости БП древесины и коры;
- выполнить ранжирование древесных видов по величине БП древесины и коры.

Для решения поставленных задач использована авторская база данных о квалиметрии лесообразующих пород Северной Евразии [1]. Из нее отобраны 3450 модельных деревьев 9 древесных видов, имеющих данные о дендрометрических показателях и БП древесины и коры стволов, а также о положении пробных площадей по широте и долготе. Их характеристика дана в таблице 1.

Эмпирические данные БП на пробных площадях получены по 3-10 дискам, выпиленным вдоль по стволу. БП (отдельно древесины и коры) рассчитана в результате обмера и взвешивания дисков, сушки до постоянной массы и повторного взвешивания. БП всего ствола рассчитана как средневзвешенная по площади поперечного сечения дисков.

При моделировании биомассы деревьев получили распространение модели смешанного типа (mixed-effects models) [1, 2]. Аллометрическая модель смешанного типа включает два типа независимых переменных – численные, принимающие значения из непрерывного ряда чисел, и фиктивные переменные, представляющие дискретные качественные характеристики. Древесные виды (роды) представлены в базе данных крайне неравномерно: от примерно 1000 по сосне обыкновенной до 80 деревьев по кедром сибирскому и корейскому.

Таблица 1 - Статистики показателей 3450 модельных деревьев, включенных в регрессионный анализ

| Обозначение статистик | Анализируемые показатели | | | | | | |
|----------------------------|--------------------------|----------|----------|-----------|-----------|------------|------------|
| | <i>A</i> | <i>D</i> | <i>H</i> | <i>DW</i> | <i>DB</i> | <i>Lat</i> | <i>Lon</i> |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Сосна обыкновенная | | | | | | | |
| Mean | 46 | 12.5 | 11.9 | 398.4 | 290.7 | - | - |
| Min | 5 | 1.1 | 1.4 | 254.0 | 164.3 | 44.6 | 24.3 |
| Max | 186 | 55.0 | 36.6 | 640.4 | 636.4 | 79.4 | 97.0 |
| SD | 33.5 | 9.5 | 7.1 | 52.1 | 61.9 | - | - |
| CV, % | 72.8 | 76.3 | 59.5 | 13.1 | 21.3 | - | - |
| n | 966 | 957 | 965 | 966 | 966 | - | - |
| Кедр сибирский и корейский | | | | | | | |
| Mean | 42 | 9.3 | 8.0 | 354.7 | 717.9 | - | - |
| Min | 15 | 1.5 | 1.7 | 245.8 | 298.7 | 43.6 | 59.9 |
| Max | 165 | 29.3 | 24.0 | 509.9 | 969.5 | 59.8 | 132.3 |
| SD | 37.5 | 6.7 | 5.5 | 51.1 | 214.4 | - | - |
| CV, % | 90.4 | 71.5 | 68.7 | 14.4 | 29.9 | - | - |
| n | 74 | 74 | 74 | 74 | 74 | - | - |
| Лиственница | | | | | | | |
| Mean | 81 | 13.7 | 12.2 | 511.7 | 335.8 | - | - |
| Min | 15 | 0.3 | 1.4 | 382.4 | 186.3 | 49.2 | 64.5 |
| Max | 400 | 52.8 | 30.0 | 735.5 | 545.3 | 67.0 | 148.0 |
| SD | 73.2 | 8.9 | 5.5 | 43.0 | 69.7 | - | - |
| CV, % | 90.5 | 64.7 | 44.8 | 8.4 | 20.8 | - | - |
| n | 193 | 194 | 193 | 194 | 194 | - | - |
| Ель | | | | | | | |
| Mean | 48 | 12.4 | 9.1 | 393.2 | 433.5 | - | - |
| Min | 11 | 1.0 | 1.5 | 238.1 | 176.7 | 43.7 | 12.0 |
| Max | 163 | 51.5 | 30.6 | 648.1 | 866.7 | 64.0 | 132.5 |
| SD | 32.6 | 10.2 | 6.1 | 64.6 | 126.5 | - | - |
| CV, % | 67.8 | 81.7 | 67.5 | 16.4 | 29.2 | - | - |
| n | 279 | 279 | 230 | 279 | 279 | - | - |
| Пихта | | | | | | | |
| Mean | 70 | 20.3 | 16.3 | 364.2 | 429.2 | - | - |
| Min | 8 | 1.6 | 2.2 | 272.8 | 299.1 | 43.7 | 22.7 |
| Max | 180 | 46.2 | 28.9 | 513.0 | 606.7 | 56.8 | 132.5 |
| SD | 40.2 | 11.0 | 7.2 | 41.3 | 71.1 | - | - |
| CV, % | 57.6 | 54.2 | 44.5 | 11.3 | 16.6 | - | - |
| n | 92 | 92 | 92 | 92 | 92 | - | - |
| Береза | | | | | | | |
| Mean | 43 | 14.1 | 14.3 | 499.0 | 532.5 | - | - |
| Min | 4 | 1.0 | 1.4 | 312.2 | 215.1 | 48.1 | 26.0 |
| Max | 142 | 48.0 | 34.5 | 769.4 | 993.3 | 64.0 | 148.0 |
| SD | 22.9 | 8.0 | 5.8 | 46.3 | 97.9 | - | - |
| CV, % | 52.9 | 57.1 | 40.7 | 9.3 | 18.4 | - | - |
| n | 899 | 901 | 882 | 901 | 901 | - | - |
| Осина | | | | | | | |
| Mean | 32 | 15.7 | 15.3 | 417.3 | 468.0 | - | - |
| Min | 3 | 1.1 | 2.4 | 301.0 | 311.0 | 31.2 | 30.8 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------|------|------|------|-------|-------|------|-------|
| Max | 57 | 45.7 | 28.8 | 500.0 | 692.0 | 56.7 | 70.4 |
| SD | 13.1 | 9.0 | 5.7 | 23.7 | 36.1 | - | - |
| CV, % | 41.3 | 57.1 | 37.3 | 5.7 | 7.7 | - | - |
| n | 317 | 317 | 317 | 317 | 317 | - | - |
| Липа | | | | | | | |
| Mean | 52 | 17.7 | 16.7 | 415.8 | 483.8 | - | - |
| Min | 10 | 3.1 | 4.8 | 252.3 | 248.5 | 43.6 | 37.4 |
| Max | 115 | 38.6 | 24.8 | 647.8 | 900.0 | 55.8 | 132.3 |
| SD | 22.2 | 8.4 | 5.1 | 73.6 | 105.5 | - | - |
| CV, % | 42.4 | 47.7 | 30.3 | 17.7 | 21.8 | - | - |
| n | 202 | 202 | 187 | 202 | 202 | - | - |
| Дуб | | | | | | | |
| Mean | 41 | 16.4 | 14.9 | 582.8 | 412.8 | - | - |
| Min | 6 | 1.9 | 2.8 | 450.0 | 269.6 | 43.6 | 27.5 |
| Max | 166 | 50.5 | 31.5 | 800.0 | 800.0 | 51.5 | 132.3 |
| SD | 23.9 | 9.4 | 6.5 | 50.6 | 71.4 | - | - |
| CV, % | 58.2 | 57.1 | 43.9 | 8.7 | 17.3 | - | - |
| n | 425 | 425 | 425 | 425 | 425 | - | - |

Примечание: Mean, Min и Max, соответственно, среднее, минимальное и максимальное значения; SD – стандартное отклонение; CV – коэффициент вариации; n – число наблюдений; *A* – возраст дерева, лет; *D* – диаметр ствола на высоте груди, см; *H* – высота дерева, м; (*Lat*) и (*Lon*) – соответственно широта и долгота местности, град.; *DW* и *DB* – соответственно базисная плотность древесины и коры, кг/м³.

Разная представленность их как по общему количеству, так и в географических координатах в пределах ареалов, может привести к тому, что закономерности изменения БП для разных древесных видов будут во многом специфичными и несопоставимыми именно по этой причине, тогда как в основе географической изменчивости биологической продуктивности лежат общие для всех видов (родов) биоэкологические и климатические факторы. Эта всеобщность действия определяющих внешних факторов позволяет предположить однонаправленность реакции видов на эти факторы и соответственно – однотипность (а не видоспецифичность) аллометрических моделей БП [3]. Исходя из качественного уровня имеющейся базы данных, в первом приближении построены аллометрические модели БП смешанного типа, включающие как численные (дендрометрические показатели и географические координаты), так и фиктивные переменные, кодирующие видовую принадлежность исходных данных (таблица 2).

Таблица 2 - Схема кодирования 9 лесобразующих пород Северной Евразии, у которых определена БП древесины и коры стволов

| Порода | Блок фиктивных переменных | | | | | | | |
|----------------------------|---------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | X ₆ | X ₇ | X ₈ |
| Сосна обыкновенная | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Кедр сибирский и корейский | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Лиственница | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ель | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Пихта | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Береза | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Осина | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Липа | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Дуб | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Была принята следующая структура аллометрической модели смешанного типа:

$$\ln(DW) \text{ и } \ln(DB) = a_0 + b_1 \ln(A) + b_2 \ln(D) + b_3 \ln(H) + b_4 \ln(Lat) + b_5 \ln(Lon) + \sum a_i X_i, \quad (1)$$

где $\sum a_i X_i$ – блок фиктивных переменных в количестве $(i + 1)$;

a_0 – свободный член уравнения, скорректированный на логарифмическое преобразование модели [4];

$b_1 \dots b_5$ – регрессионные коэффициенты при численных переменных уравнения.

В результате регрессионного анализа получены модели:

- для БП древесины ствола

$$\ln(DW) = 6.9597 + 0.0876 \ln A - 0.0680 \ln H - 0.1478 \ln(Lat) - 0.1290 \ln(Lon) - 0.1201 X_1 + 0.2690 X_2 - 0.0559 X_3 - 0.1716 X_4 + 0.2332 X_5 + 0.0878 X_6 + 0.0285 X_7 + 0.2973 X_8 \quad (2)$$

где $\text{adj}R^2 = 0.640$,

$$SE = 0.10;$$

- для БП коры ствола

$$\ln(DB) = 7.9764 - 0.0529 \ln H - 0.3665 \ln(Lat) - 0.1598 \ln(Lon) + 0.78741 X_1 + 0.1853 X_2 + 0.2978 X_3 + 0.2711 X_4 + 0.5641 X_5 + 0.4487 X_6 + 0.4477 X_7 + 0.1683 X_8, \quad (3)$$

где $\text{adj}R^2 = 0.554$,

$$SE = 0.20.$$

Численные переменные во всех уравнениях (1) оказались значимыми на уровне $p < 0.001$. Диаметр ствола в модели (2) и диаметр ствола и возраст дерева в модели (3) оказались статистически не значимы на уровне $p < 0.05$ и были исключены из числа независимых пере-

статистически не значимы на уровне $p < 0.05$ и были исключены из числа независимых переменных. Судя по знакам регрессионных коэффициентов при переменных $\ln(Lat)$ и $\ln(Lon)$, БП древесины и коры деревьев всех 9 видов в пределах их ареалов снижается в направлениях с юга на север и с запада на восток.

Для геометрического 3D-изображения моделей (2) и (3) в координатах широты и долготы в модели были подставлены средние значения возраста и высоты дерева. Благодаря специфике фиктивных переменных, видовые различия 3D-изображений в координатах широты и долготы определяются только величиной свободного члена, т.е. сдвигом 3D-поверхности по оси ординат. Поскольку конфигурация трехмерной геометрической интерпретации моделей (2) и (3) для всех древесных видов одна и та же, на рисунке 1 показана только для сосны обыкновенной.

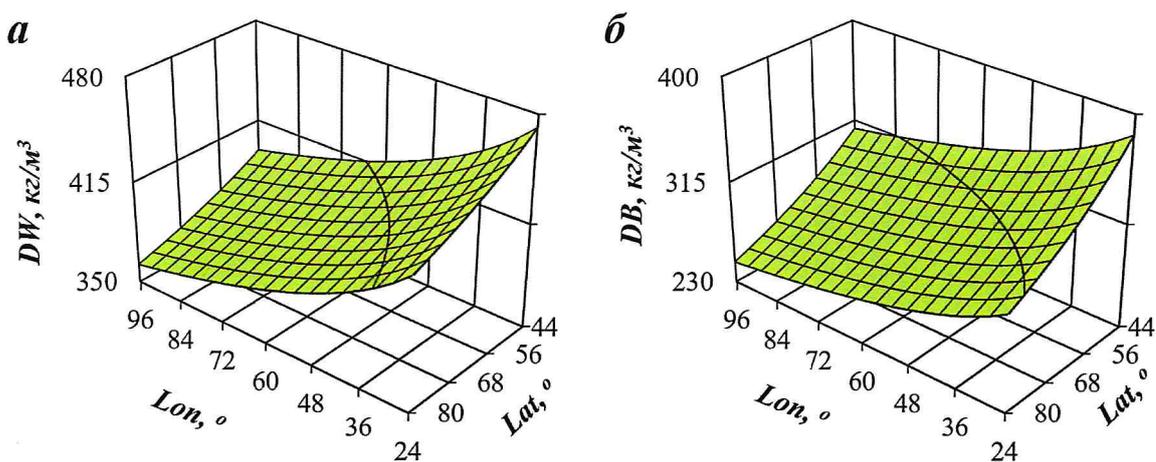


Рисунок 1 – Изменение расчетных значений БП древесины (а) и коры (б) сосны обыкновенной в градиентах широты и долготы при неизменных дендрометрических показателях дерева

Согласно рисунку 1а, снижение БП древесины составляет в широтном градиенте 0,25 % на 1° с.ш. и в долготном градиенте 0,26 % на 1° в.д. Согласно рисунку 1б, снижение БП коры составляет в широтном градиенте 0,55 % на 1° с.ш. и в долготном градиенте 0,28 % на 1° в.д.

Результаты регрессионного анализа дали возможность выполнить вторую задачу нашего исследования – оценить вклады дендрометрических переменных, географического положения пробных площадей и видовой принадлежности в объяснение изменчивости БП древесины и коры стволов (таблица 3).

Таблица 3 – Вклад дендрометрических переменных, географического положения пробных площадей и видовой принадлежности в объяснение изменчивости БП древесины и коры стволов, %

| Номер модели | <i>A</i> (I) | <i>H</i> (II) | (I)+(II) | (<i>Lat</i>) (III) | (<i>Lon</i>) (IV) | (III)+(IV) | $\Sigma a_i X_i$ |
|--------------|-----------------|------------------|----------|-------------------------|------------------------|------------|------------------|
| (2) | 8.4 | 5.9 | 14.3 | 2.0 | 10.0 | 12.0 | 73.7 |
| (3) | - | 4.0 | 4.0 | 2.5 | 6.9 | 9.4 | 86.6 |

Судя по данным таблицы 3, дендрометрические переменные объясняют изменчивость БП на уровне от 4 до 14 %, географическое положение – от 7 до 10 %, и наибольший вклад в объяснение общей изменчивости БП вносит видовой принадлежность деревьев – от 74 до 87 %. Это соответствует выводу французских исследователей, что внутривидовая изменчивость БП несопоставимо меньше по сравнению с межвидовой [5].

Столь большой процент объясненной изменчивости БП видовой принадлежностью предполагает очень большое различие видов по величине БП, и в этой связи представляет интерес их ранжирование. Диаграмма распределения древесных видов по величине БП построена по средним для всех видов значениям возраста дерева (45 лет) и его высоты (13,8 м), в координатах 60° с.ш. и 60° в.д. Диаграмма убывающей последовательности видов по величине БП представлена на рисунке 2.

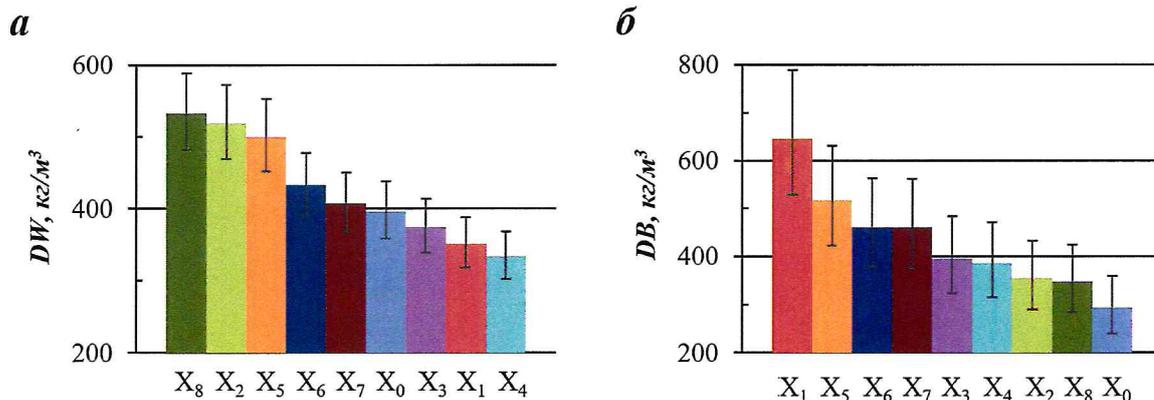


Рисунок 2 – БП древесины (а) и коры (б) равновеликих деревьев 9 лесобразующих видов Евразии в убывающей последовательности.

Кодировку древесных видов $X_0 \dots X_8$ согласно таблице 2.

Согласно рисунку 2, БП древесины снижается в последовательности: дуб, лиственница, береза, осина, липа, сосна, ель, кедр и пихта. Закономерность снижения БП коры совершенно другая: кедр, береза, осина, липа, ель, пихта, лиственница, дуб и сосна. Это означает, что каждый из исследованных видов характеризуется специфичным соотношением БП древесины и коры. Следовательно, при оценке фитомассы стволов деревьев в абсолютно сухом состоянии с

целью повышения точности результата необходимо замерять объем и массу диска отдельно для древесины и коры, а не диска в коре в целом, как это часто практиковалось и продолжает практиковаться как в отечественных, так и зарубежных исследованиях фитомассы деревьев [2,

В результате проведенного исследования выявлена статистически значимая положительная связь БП древесины с возрастом дерева и отрицательная с его высотой, что, как отмечалось выше, связано с увеличением доли поздней древесины как с возрастом дерева, так и с изменением положения дерева в древесном пологе по классу Крафта. Тем самым, были подтверждены ранее установленные закономерности повышения БП с возрастом дерева у сосны ладанной, в культурах сосны обыкновенной, а также у дуба, ясеня, ильма, липы и клена остролистного в европейской части России.

Установленная отрицательная связь БП коры с высотой дерева связана, по-видимому, с увеличением доли корки по мере увеличения высоты дерева и связанного с ней возраста. Насколько известно, какие-либо выявленные закономерности изменения БП коры с размером и возрастом дерева в литературе отсутствуют. Косвенным подтверждением названной закономерности изменения БП с высотой дерева являются результаты А. П. Андрущенко, установившего снижение БП коры в культурах сосны обыкновенной с 330 до 306 кг/м³ при увеличении возраста с 26 до 100 лет. [10]

Построенные зависимости БП древесины и коры деревьев от их дендрометрических показателей, географических координат и видовой принадлежности деревьев позволили установить статистически значимую закономерность снижения БП древесины и коры равновеликих деревьев в направлениях с юга на север и с запада на восток, действительную в пределах ареалов 9 лесообразующих видов Евразии.

В построенных моделях дендрометрические переменные объясняют изменчивость БП на 4-14 % и географическое положение – на 7-10 %. Наибольший вклад в объяснение общей изменчивости БП вносит видовой принадлежность деревьев – от 74 до 87 %. Установлено, что каждый из исследованных видов характеризуется специфичным соотношением БП древесины и коры. Следовательно, при оценке фитомассы стволов деревьев в абсолютно сухом состоянии с целью повышения точности результата необходимо замерять объем и массу диска отдельно для древесины и коры, а не диска в коре в целом.

Установленные закономерности изменения БП древесины и коры основных лесообразующих видов Евразии в зависимости от возраста, линейных размеров деревьев и географического положения должны внести вклад в более корректную оценку депонирования углерода в стволах, составляющих наибольшую долю в фитомассе деревьев.

Проведенные исследования были посвящены также квалиметрии древостоев двухвойных сосен (подрод *Pinus* L.), произрастающих на территории Евразии, и имеет целью:

- выявить вклад таксационных показателей древостоев (возраст и средний диаметр), происхождения древостоев (естественных и искусственных) и климатических показателей (температура и осадки) в объяснение изменчивости базисной плотности деревьев;

- показать изменение базисной плотности древостоев в градиентах средней январской температуры и среднегодовых осадков на территории Евразии. Для достижения этой цели была использована уникальная евразийская база данных о биомассе и базисной плотности древостоев лесообразующих пород [11].

Использованы следующие обозначения:

A – возраст древостоя, лет;

D – средний диаметр стволов на высоте груди, см;

M – запас древостоя в коре, м³/га;

P_s – масса древесины в сухом состоянии в коре, т/га;

$\rho_b = BD = (P_s/M)1000$ – базисная плотность древесины, кг/м³;

X – бинарная переменная, кодирующая принадлежность исходных данных к естественным древостоям ($X = 0$) или культурам ($X = 1$);

T_m – средняя температура января, °С;

PRm – среднегодовые осадки, мм.

Из упомянутой базы данных были взяты таксационные показатели и значения базисной плотности древостоев *Pinus* L. измеренной на 1630 пробных площадях, в том числе 1030 и 600 соответственно естественного и искусственного происхождения. Каждая пробная площадь по координатам, имеющимся в базе данных, позиционирована относительно изотерм на картах средних январских температур [12].

Конечная структура модели включает в себя только статистически значимые независимые переменные и имеет вид:

$$\ln BD = 4,7263 + 0,145(\ln A) - 0,1184(\ln D) + 0,0416X(\ln A) - 0,0357X(\ln D) + 0,1360[\ln(T_m + 40)] + 0,0988(\ln PRm), \quad (4)$$

где $\text{adj}R^2 = 0,201$,

$SE = 0,14$.

Поскольку средняя январская температура в северной части Евразии имеет отрицательные значения, соответствующая независимая переменная модифицируется к виду $(T_m + 40)$ вследствие необходимости логарифмической трансформации модели.

Когда вводится в уравнение (4) только одна бинарная переменная X , это означает, что трехмерная поверхность ($Tm-PRm-BD$) смещается между естественными и искусственными древостоями только вдоль оси ординат на величину коэффициента регрессии при бинарной переменной X . Биомасса в естественных древостоях и культурах по-разному реагирует на изменения климатических переменных [12]. По-видимому, базисная плотность естественных и искусственных древостоев по-разному реагирует не только на климатические сдвиги, но и на изменения таксационных характеристик древостоев. Чтобы учесть эти различия в модели (4) введены в нее синергизмы $X \cdot (\ln A)$ и $X \cdot (\ln D)$ в качестве независимых переменных.

Свободный член в (4) скорректирован на логарифмическую трансформацию [13]. Регрессионные коэффициенты значимы на уровне $p < 0,001$, за исключением одного, значимого на уровне $p < 0,05$; $\text{adj}R^2$ – коэффициент детерминации, скорректированный на число переменных; SE – стандартная ошибка модели.

Доли вклада независимых переменных в объяснение изменчивости BD в модели (4) приведены в таблице 4. Мы видим, что таксационные показатели (A и D), климатические переменные (Tm и PRm) и происхождение древостоев (естественное или искусственное) объясняют соответственно 62%, 32 % и 6 % изменчивости BD .

Таблица 4 – Вклад независимых переменных в объяснение изменчивости BD , %

| Независимые переменные модели (1) | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------|------|-----|---------------|---------------|--------|
| A (I) | D (II) | I+II | X | Tm (III) | PRm (IV) | III+IV |
| 36,5 | 25,5 | 62,0 | 6,2 | 17,7 | 14,1 | 31,8 |

Для получения табличной формы модели (1) рассчитано вспомогательное уравнение (5)

$$\ln D = -3,0138 + 0,7835 \ln A + 0,1183 X + 0,4719 [\ln(Tm + 40)] + 0,1694 (\ln PRm), \quad (5)$$

где $\text{adj}R^2 = 0,647$,

$$SE = 0,41.$$

Последовательным табулированием моделей (5) и (4) мы получили двухходовую таблицу расчетных значений базисной плотности. Для возраста 100 лет эта таблица представлена трехмерными поверхностями базисной плотности для естественных древостоев и культур (рисунок 3).

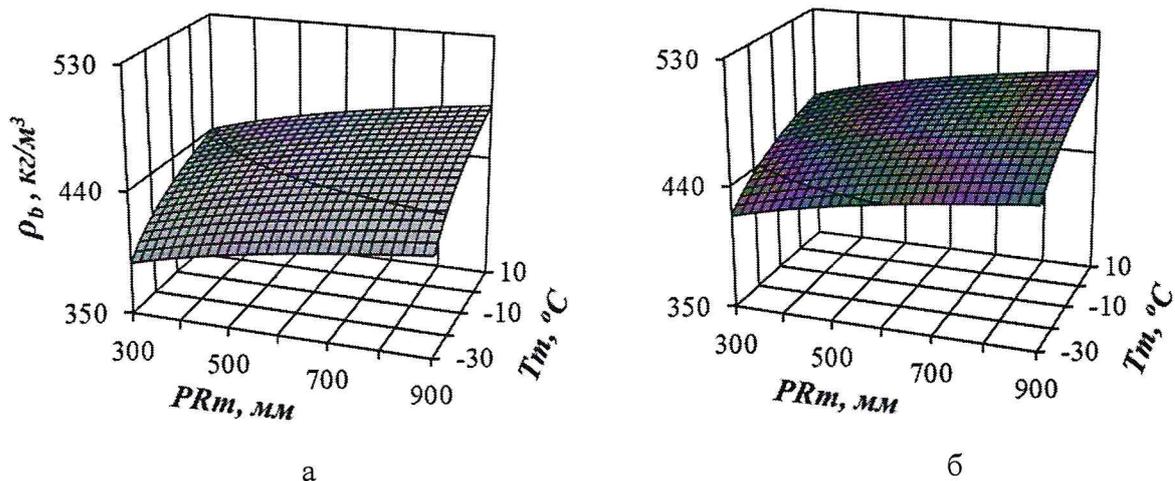


Рисунок 3 – Изменение базисной плотности древесины естественных древостоев (а) и культур (б) сосны в возрасте 100 лет в градиентах средних январских температур и средне-годовых осадков.

Построенные в рамках выполнения данного проекта модели зависимости БП древесины и коры деревьев от их дендрометрических показателей, географических координат и видовой принадлежности деревьев позволили установить статистически значимую закономерность снижения БП древесины и коры равновеликих деревьев в направлениях с юга на север и с запада на восток, действительную в пределах ареалов 9 лесообразующих видов Евразии. В построенных моделях дендрометрические переменные объясняют изменчивость БП на 4-14 % и географическое положение – на 7-10 %. Наибольший вклад в объяснение общей изменчивости БП вносит видовой принадлежность деревьев – от 74 до 87 %.

Культуры по величине базисной плотности превосходят естественные сосняки, и это превышение изменяется как с возрастом древостоя, так и с климатическими показателями. Если в возрасте 20 лет базисная плотность культур при переходе из теплых в холодные регионы возрастает вдвое по отношению к естественным древостоям, то в возрасте 100 лет аналогичное превышение составляет 1,5 раза. По градиентам годовых осадков при переходе от влажных к сухим регионам плотность древесины в культурах по отношению к естественным древостоям повышается на 10-20%, и это превышение практически не зависит от возраста.

Таким образом установлено, что каждый из исследованных видов характеризуется специфичным соотношением БП древесины и коры. Следовательно, при оценке фитомассы стволов деревьев в абсолютно сухом состоянии с целью повышения точности результата необходимо замерять объем и массу диска отдельно для древесины и коры, а не диска в коре в целом. Полученные закономерности изменения БП древесины и коры основных лесообразующих ви-

дов Евразии в зависимости от возраста, линейных размеров деревьев и географического положения должны внести вклад в более корректную оценку депонирования углерода в стволах, составляющих наибольшую долю в фитомассе деревьев.

1.2 Использование реанализов для оценки пространственно-временной динамики температуры воздуха на Урале и в Западной Сибири во второй половине XX – начале XXI веков

Анализ пространственно-временной динамики отдельных климатических показателей на территории, которая относится к Полярному Уралу и прилегающих к нему районов, выполнена на основе данных реанализов для XX века ERA-20C и CERA-20C, разработанных Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды — ECMWF, а также инструментальных наблюдений на метеорологических станциях за период с 2001 по 2019 годы на основе данных архива ВНИИ Гидрометеорологической информации — ВНИИГМИ-МЦД для территории Урала и Западной Сибири [14, 15].

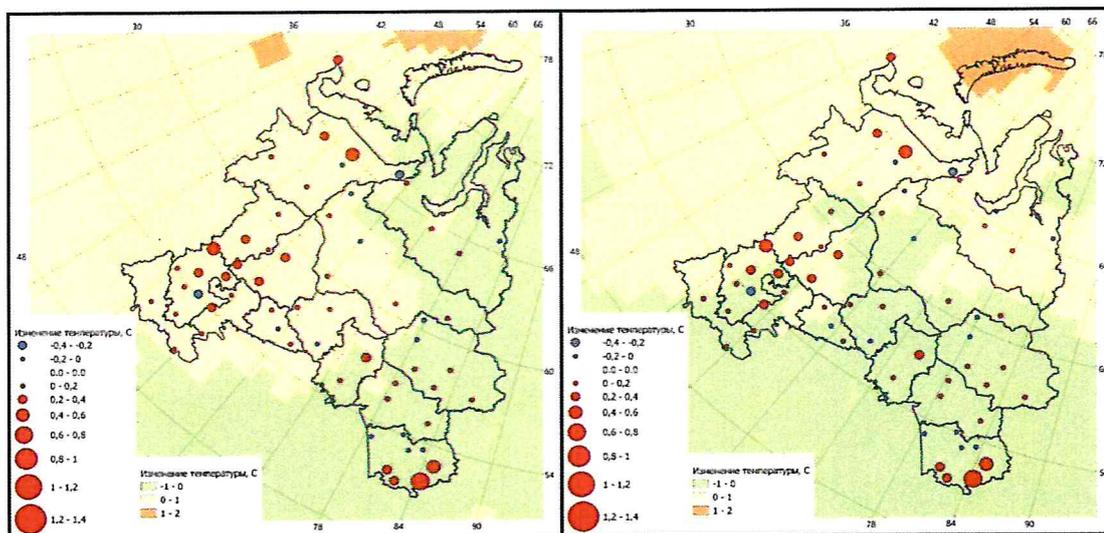
Реанализ – это динамически разглаженные и согласованные данные метеонаблюдений с использованием данных, полученных в результате моделирования [16]. Для проверки результатов реанализов данных по температуре воздуха были использованы среднемесячные значения приземной температуры воздуха на 92 метеорологических станциях, расположенных в районе исследований, полученные из архивов ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД».

Реанализы ERA-20C и CERA-20C, разработанные Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) используются для оценки температуры воздуха Северного полушария [17]. ERA-20C – это реанализ, разработанный ECMWF в 2014 году для временного интервала с 1900 по 2010 годы. Реанализ CERA-20C был создан на основе реанализов ERA-C и ORA-20C в 2016 году. CERA-20C имеет более реалистичное представление тепловых потоков между океаном и атмосферой по сравнению с другими реанализами для XX века [18]. Данные CERA-20C доступны для периода с 1901 по 2010 годы. Данные реанализов находятся в свободном доступе и предоставляются в растровом формате.

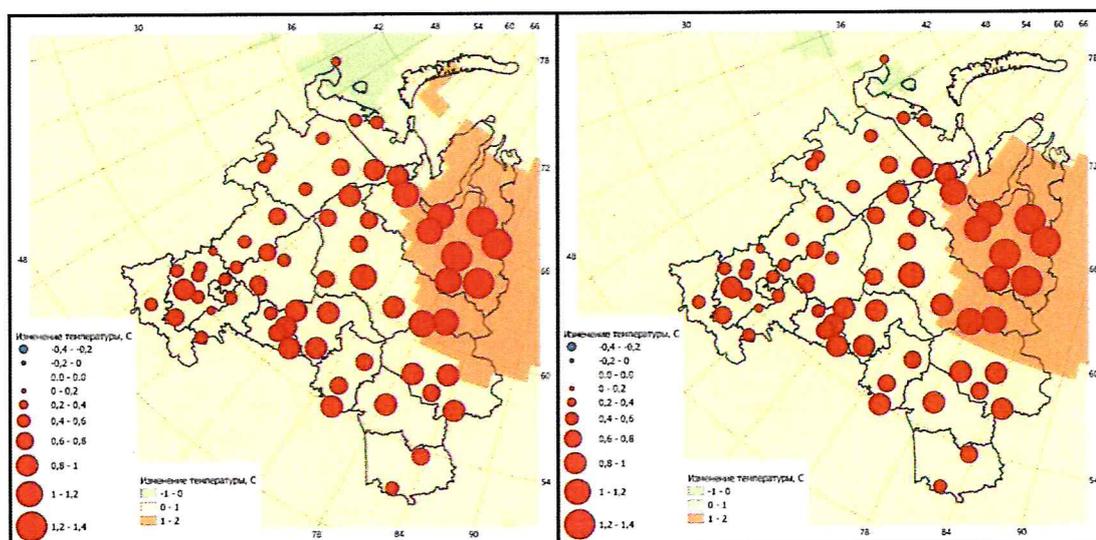
Для оценки изменений температуры воздуха по десятилетним временным интервалам за период с 1961 по 2010 годы по данным реанализов также проведены расчеты средней температуры за десятилетние периоды (1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010) а затем были рассчитаны растры, характеризующие изменение температуры между соседними десятилетиями. Оценка изменения температуры воздуха между соседними десятилетиями производилась путем вычитания значения температуры предыдущего десятилетия из значения текущего десятилетия. Если в каком-либо из десятилетий в наборе данных инструментальных

наблюдений отсутствовали показатели хотя бы за один месяц, то расчеты для конкретной станции за этот временной интервал не проводили.

Для создания картосхем использовали векторные слои OSM (openstreetmap.org). Полученные по данным инструментальных наблюдений значения разности температуры между соседними десятилетиями были нанесены на картосхему района исследований условными знаками в виде круговых маркеров разного размера и интенсивности цвета в серой шкале для каждой метеостанции, находящейся в районе исследований (рисунки 4 и 5).

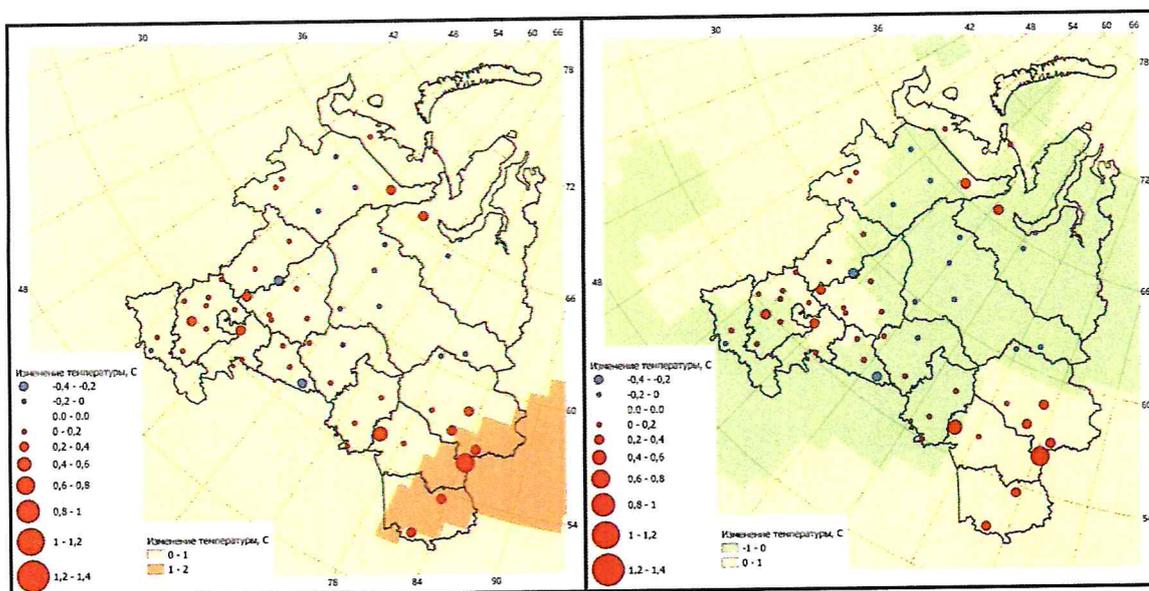


А

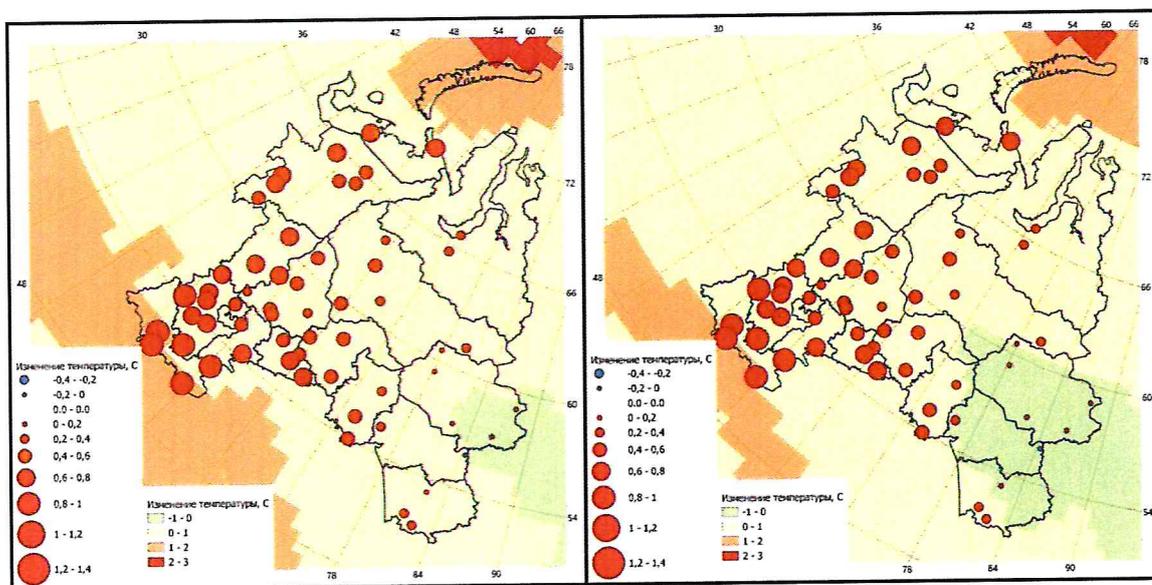


Б

Рисунок 4 - Картосхемы, характеризующие изменение температуры воздуха как разность между двумя соседними десятилетиями, по данным метеостанций (круговые маркеры) и реанализов (фон): А – $T_{1971-1980} - T_{1961-1970}$, Б - $T_{1981-1990} - T_{1971-1980}$. В левой части приведены картосхемы ERA-20C, в правой — CERA-20C



В



Г

Рисунок 5 - Картограммы, характеризующие изменение температуры воздуха как разность между двумя соседними десятилетиями, по данным метеостанций (круговые маркеры) и реанализов (фон): В – $T_{1991-2000} - T_{1981-1990}$, Г - $T_{2001-2010} - T_{1991-2000}$. В левой части приведены картограммы по данным ERA-20C, в правой — CERA-20C

Сравнительный анализ картограмм, приведенных на рисунках 4 и 5, свидетельствует о том, что данные реанализа CERA-20C лучше согласуются с данными метеонаблюдений на метеорологических станциях, по сравнению с данными реанализа ERA-20C. При этом для отдельных метеостанций расхождения между данными метеонаблюдений и реанализов могут

быть значительными — до знака изменений: потепление по данным метеонаблюдений и похолодания по данным реанализа и, наоборот.

Значения коэффициента корреляции между данными метеонаблюдений на станциях и реанализа ERA-20C находятся в диапазоне 0.81-0.97, а для реанализа CERA-20C – 0.86-0.98. Таким образом установлено, что данные реанализа CERA-20C лучше согласуются с данными метеонаблюдений на 92 станциях, расположенных в районе исследований. При этом необходимо отметить, что использование значений температуры, полученных по реанализам, при проведении исследований пространственно-временной динамики растительности для конкретного района исследований целесообразно, после проверки согласованности данных реанализа с данными наблюдений на метеорологических станциях.

1.3 Пространственно-временная динамика лесных пожаров и значений климатических параметров в начале XXI века на территории Ямало-Ненецкого автономного округа

Данные метеонаблюдений на метеостанциях, находящихся на территории Ямало-Ненецкого автономного округа, за период с 2000 до 2019 год были взяты из архива ВНИИ Гидрометеорологической информации — ВНИИГМИ-МЦД [15]. Для оценки пространственно-временной динамики лесных пожаров были использованы данные Интернет-сервиса NASA Firms с 2002 по 2018 годы [15].

В таблице 5 приведено количество лесных пожаров по данным Интернет-сервиса FIRMS по месяцам за период с 2002 по 2018 годы [19]. В таблице 6 приведены относительное количество пожаров в месяц по отношению к количеству пожаров в год (в процентах). Относительное количество пожаров в год получали в результате деления величины пожаров в год к количеству пожаров за исследуемый период (с 2002 по 2018 годы). Данные таблиц 5 и 6 свидетельствуют о том, что наибольшее количество пожаров за исследованный период наблюдалось в летние месяцы: июнь, июль и август.

Таблица 5 – Количество лесных пожаров по данным FIRMS, шт.

| Год | Количество пожаров | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------------|--------|---------|-------|--------|-----|------|------|--------|----------|---------|--------|---------|
| | За год | январе | феврале | марте | апрель | май | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | ноябрь | декабрь |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 2002 | 4022 | 0 | 0 | 0 | 27 | 204 | 1190 | 1627 | 686 | 267 | 18 | 3 | 0 |
| 2003 | 8251 | 0 | 0 | 2 | 9 | 630 | 1749 | 1712 | 3503 | 419 | 225 | 0 | 2 |
| 2004 | 9302 | 0 | 0 | 2 | 3 | 998 | 2670 | 3498 | 1488 | 559 | 74 | 9 | 1 |

Окончание табл. 5

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|------|-------|---|---|----|-----|------|------|-------|------|------|-----|----|----|
| 2005 | 21462 | 1 | 2 | 11 | 46 | 1580 | 3002 | 9317 | 5257 | 1963 | 277 | 3 | 3 |
| 2006 | 12341 | 0 | 0 | 10 | 2 | 407 | 3070 | 5677 | 2127 | 981 | 66 | 0 | 1 |
| 2007 | 9978 | 1 | 0 | 9 | 317 | 385 | 1949 | 5080 | 1045 | 876 | 283 | 33 | 0 |
| 2008 | 4334 | 0 | 0 | 30 | 16 | 276 | 841 | 1915 | 611 | 597 | 48 | 0 | 0 |
| 2009 | 5588 | 0 | 0 | 0 | 40 | 42 | 1326 | 1894 | 1673 | 453 | 160 | 0 | 0 |
| 2010 | 1667 | 0 | 0 | 0 | 9 | 159 | 512 | 523 | 324 | 96 | 43 | 1 | 0 |
| 2011 | 4865 | 0 | 0 | 1 | 37 | 602 | 2794 | 384 | 297 | 677 | 73 | 0 | 0 |
| 2012 | 19321 | 0 | 0 | 0 | 11 | 214 | 8744 | 9336 | 568 | 421 | 27 | 0 | 0 |
| 2013 | 18629 | 0 | 0 | 0 | 9 | 74 | 635 | 10134 | 7621 | 143 | 11 | 2 | 0 |
| 2014 | 12033 | 0 | 0 | 0 | 10 | 58 | 726 | 6308 | 4741 | 168 | 20 | 2 | 0 |
| 2015 | 2484 | 0 | 0 | 1 | 21 | 443 | 758 | 513 | 440 | 292 | 14 | 1 | 1 |
| 2016 | 19821 | 0 | 2 | 10 | 91 | 267 | 1109 | 14173 | 3309 | 665 | 189 | 6 | 0 |
| 2017 | 12395 | 0 | 0 | 27 | 24 | 27 | 873 | 10198 | 724 | 317 | 164 | 17 | 24 |
| 2018 | 4872 | 4 | 0 | 0 | 21 | 11 | 1257 | 2079 | 739 | 547 | 193 | 1 | 20 |

Таблица 6 – Количество лесных пожаров по данным FIRMS, %

| Год | Количество пожаров | | | | | | | | | | | | |
|-------------|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| | За год | январе | феврале | марте | апрель | май | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | ноябрь | декабрь |
| 2002 | 2,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 5,1 | 29,6 | 40,5 | 17,1 | 6,6 | 0,4 | 0,1 | 0,0 |
| 2003 | 4,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 7,6 | 21,2 | 20,7 | 42,5 | 5,1 | 2,7 | 0,0 | 0,0 |
| 2004 | 5,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 10,7 | 28,7 | 37,6 | 16,0 | 6,0 | 0,8 | 0,1 | 0,0 |
| 2005 | 12,5 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 7,4 | 14,0 | 43,4 | 24,5 | 9,1 | 1,3 | 0,0 | 0,0 |
| 2006 | 7,2 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 3,3 | 24,9 | 46,0 | 17,2 | 7,9 | 0,5 | 0,0 | 0,0 |
| 2007 | 5,8 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 3,2 | 3,9 | 19,5 | 50,9 | 10,5 | 8,8 | 2,8 | 0,3 | 0,0 |
| 2008 | 2,5 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 0,4 | 6,4 | 19,4 | 44,2 | 14,1 | 13,8 | 1,1 | 0,0 | 0,0 |
| 2009 | 3,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 0,8 | 23,7 | 33,9 | 29,9 | 8,1 | 2,9 | 0,0 | 0,0 |
| 2010 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,5 | 9,5 | 30,7 | 31,4 | 19,4 | 5,8 | 2,6 | 0,1 | 0,0 |
| 2011 | 2,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,8 | 12,4 | 57,4 | 7,9 | 6,1 | 13,9 | 1,5 | 0,0 | 0,0 |
| 2012 | 11,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 1,1 | 45,3 | 48,3 | 2,9 | 2,2 | 0,1 | 0,0 | 0,0 |
| 2013 | 10,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,4 | 3,4 | 54,4 | 40,9 | 0,8 | 0,1 | 0,0 | 0,0 |

Окончание табл. 6

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| 2014 | 7,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,5 | 6,0 | 52,4 | 39,4 | 1,4 | 0,2 | 0,0 | 0,0 |
| 2015 | 1,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,8 | 17,8 | 30,5 | 20,7 | 17,7 | 11,8 | 0,6 | 0,0 | 0,0 |
| 2016 | 11,6 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,5 | 1,3 | 5,6 | 71,5 | 16,7 | 3,4 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2017 | 7,2 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 7,0 | 82,3 | 5,8 | 2,6 | 1,3 | 0,1 | 0,2 |
| 2018 | 2,8 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,4 | 0,2 | 25,8 | 42,7 | 15,2 | 11,2 | 4,0 | 0,0 | 0,4 |

Примечание. Жирным шрифтом выделены строки с годовым количеством пожаров свыше 10% (относительно количества пожаров за весь исследуемый период).

Деятельность человека является одним из главных факторов возникновения лесных пожаров. На рисунке 6 приведена картосхема озерно-речной сети, дорожной сети и наиболее крупных населенных пунктов Ямало-Ненецкого автономного округа. На ней можно видеть, что на территории ЯНАО можно выделить три группы объектов (водные, дорожная сеть, населенные пункты) в районе городов: 1) Салехард и Лабытнанги, 2) Ноябрьск и Муравленко, 3) Уренгой и Новый Уренгой. В районе групп 2 и 3 проводится добыча углеводородов.

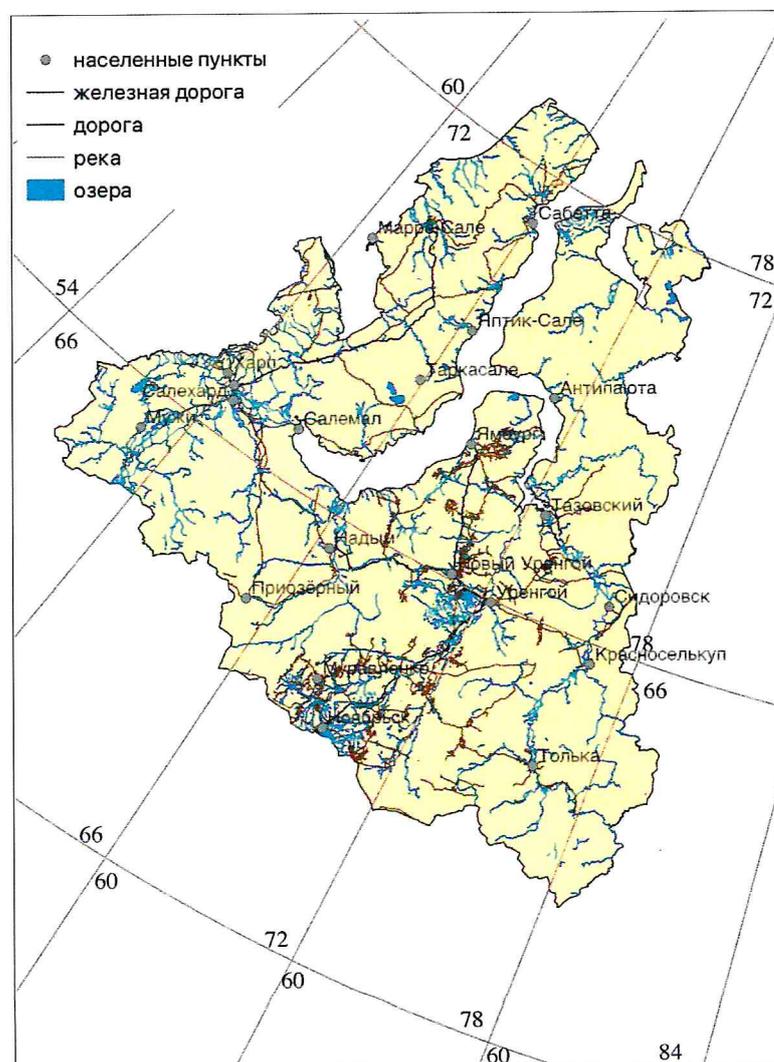


Рисунок 6 - Картосхема территории Ямало-Ненецкого автономного

На рисунке 7 приведены картосхемы распределения лесных пожаров на территории ЯНАО для тех лет, для которых относительно количество пожаров за год не превысило 2,5 % (относительно всего периода 2002 — 2018), а на рисунке 5 – картосхемы для тех лет, в которые количество пожаров свыше 10%. На данных рисунках видно, что в период с наименьшим количеством пожаров в 2002, 2008, 2010 и 2015 годах они распределены, в основном, в средней части ЯНАО в области Ноябрьска и Муравленко, а также Уренгоя и Нового Уренгоя. Эти участки характеризуются развитой озерно-речной сетью и относительно развитой дорожной сетью, создание которой обусловлено необходимостью подъезда к участкам добычи полезных ископаемых. Высокий уровень антропогенной нагрузки означает, что в данных областях повышается вероятность возникновения пожаров в результате деятельности человека. Этим объясняется факт наличия пожаров даже в годы, погодные условия которых не способствуют возникновению лесных пожаров. В годы, которые характеризуются большим количеством пожаров, в области Ноябрьск и Муравленко, Уренгой и Новый Уренгой добавляются участки в районе города Толька и Салехард, а также районы вдоль южной границы ЯНАО (рисунок 8). Одной из характерных особенностей пожаров в эти годы является групповое распределение пожаров, каждая из групп которых охватывает значительные по площади территории.

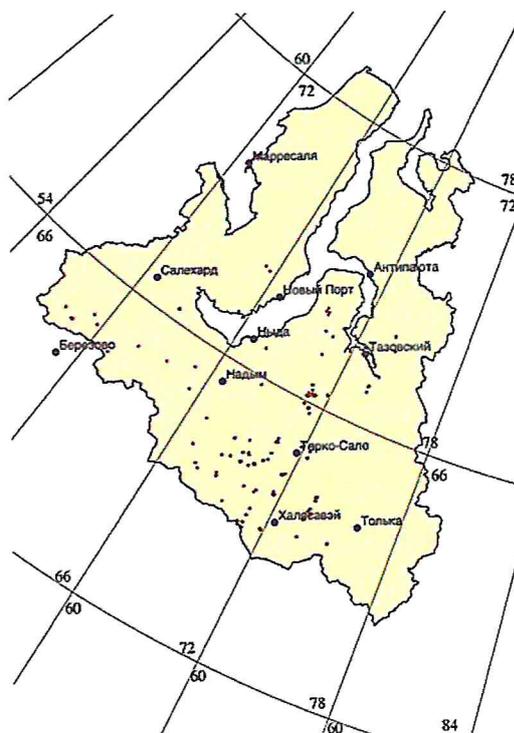


Рисунок 7 – Распределение термоточек, характеризующих лесные пожары на территории Ямало-Ненецкого автономного округа в годы, когда их количество не превысило 2,5 % относительно общего количества пожаров за период 2002–2018 гг.

Для объяснения причин аномально большого количества пожаров в данные годы был проведен анализ значений климатических параметров по данным архива ВНИИ Гидрометеорологической информации – ВНИИГМИ-МЦД [15].

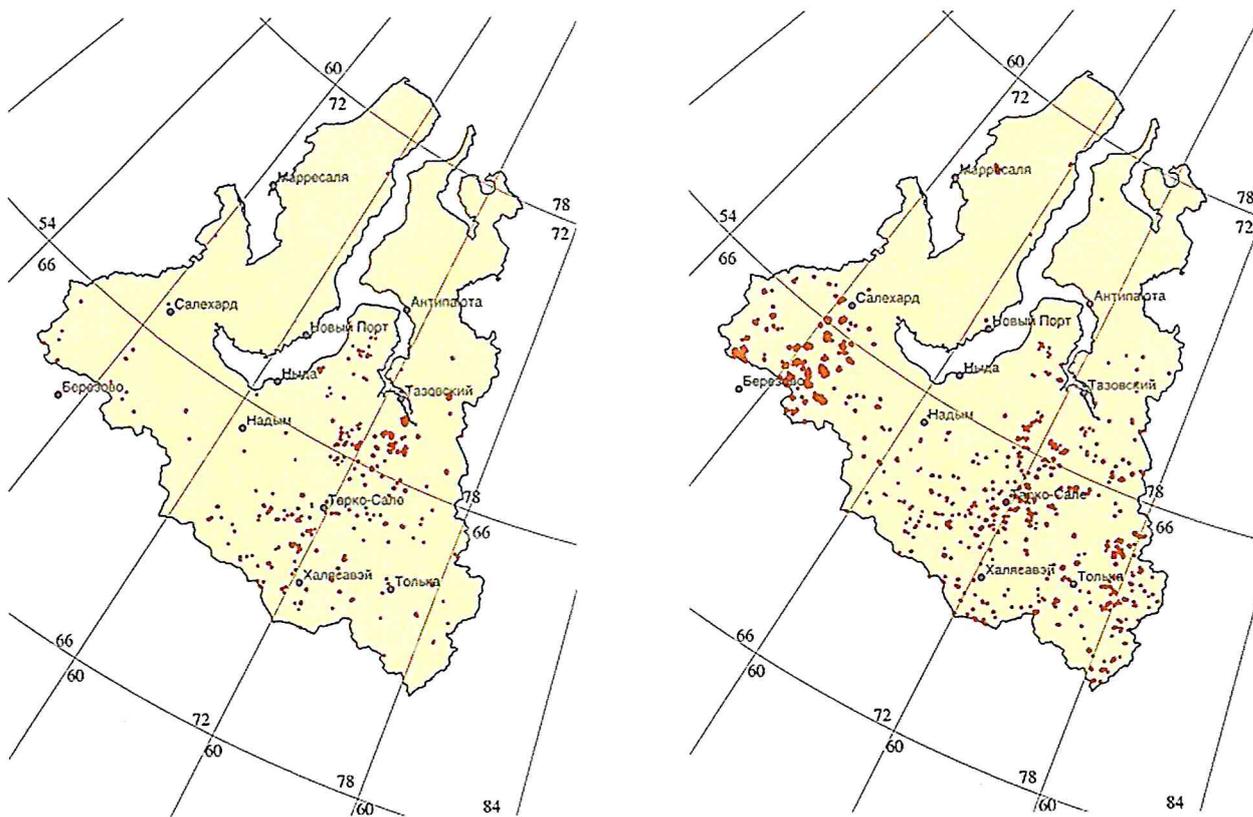


Рисунок 8 - Распределение термоточек, характеризующих лесные пожары на территории Ямало-Ненецкого автономного округа в годы, когда их количество превысило 10% относительно общего количество пожаров за период 2002 - 2018 годы

На рисунках 9, 10, 11 в качестве примеров приведены графики хода среднемесячных значений температуры воздуха, суммы осадков за месяц и количество дней в течение месяца с осадками более 1 мм для летних месяцев за исследуемый период для метеостанции Толька, которая расположена вблизи одной из областей распространения пожаров. На данном рисунке видно, что в июне 2005 года на данной метеостанции наблюдали наименьшее за исследуемый период наблюдений количество осадков (8 мм), количество дней с осадками более 1 мм составило 8 дней при температуре около 14 °С – близкой к среднему значению за исследуемый временной интервал. В июле данного года наблюдали температуру воздуха 19 °С (выше среднего за период), количество осадков ниже среднего – 36 мм, а количество дней с осадками более 1 мм – 4. Это означает, что данный месяц был сухой и жаркий. В августе 2005 года наблюдали наименьшее за исследуемый период значение температуры (около 12 °С) и средние показатели по сумме осадков и количеству дней с осадками свыше 1 мм – около 68 мм и 11 дней соответственно.

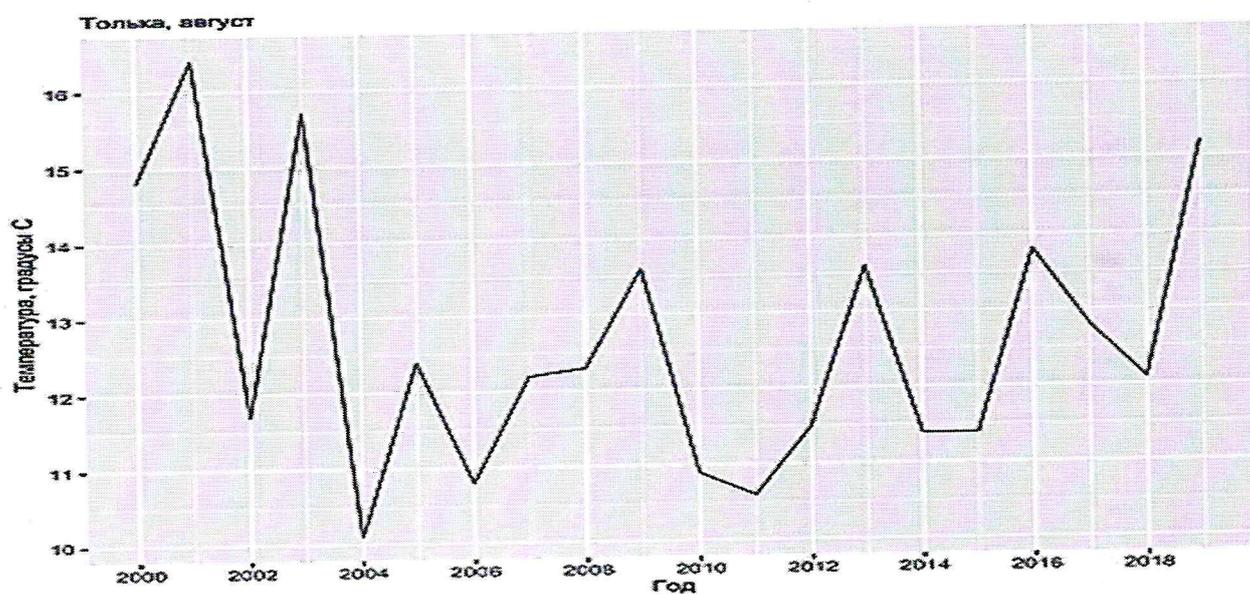
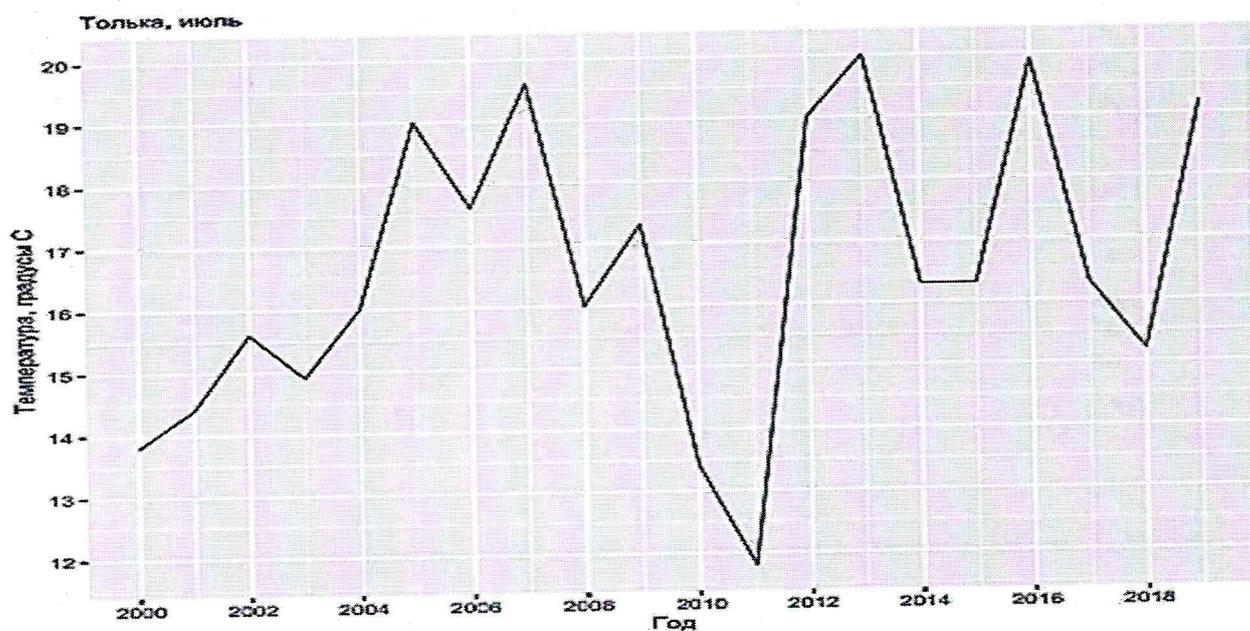
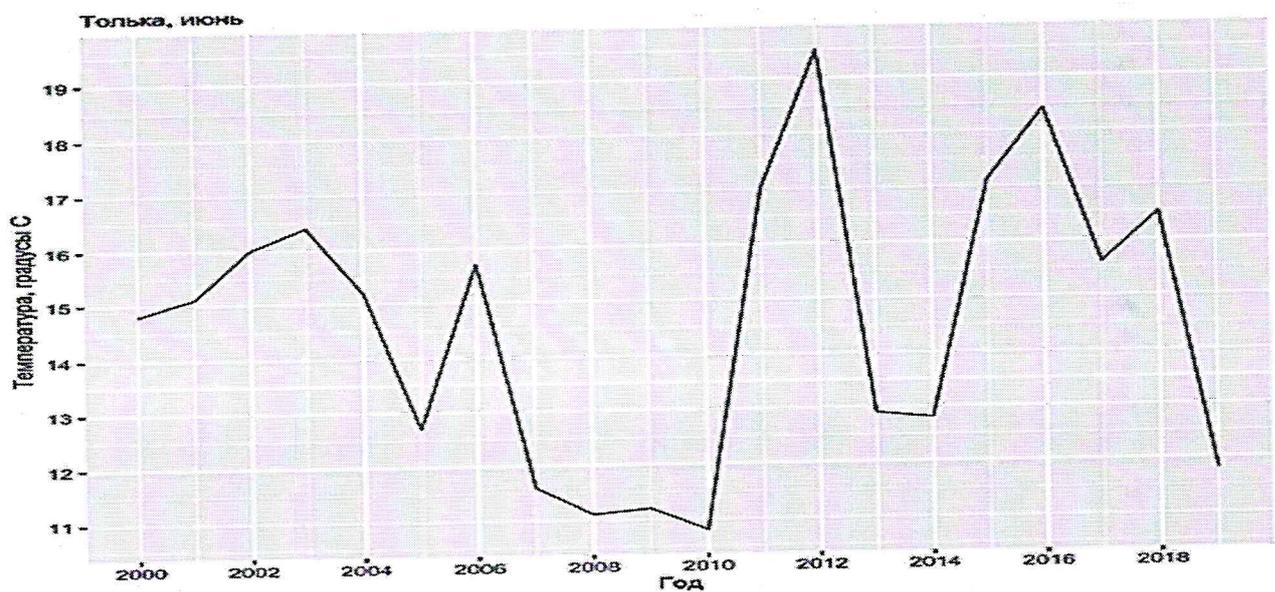


Рисунок 9 - Графики хода значений температуры воздуха в июне, июле и августе на метеостанции Толька за в начале XXI века

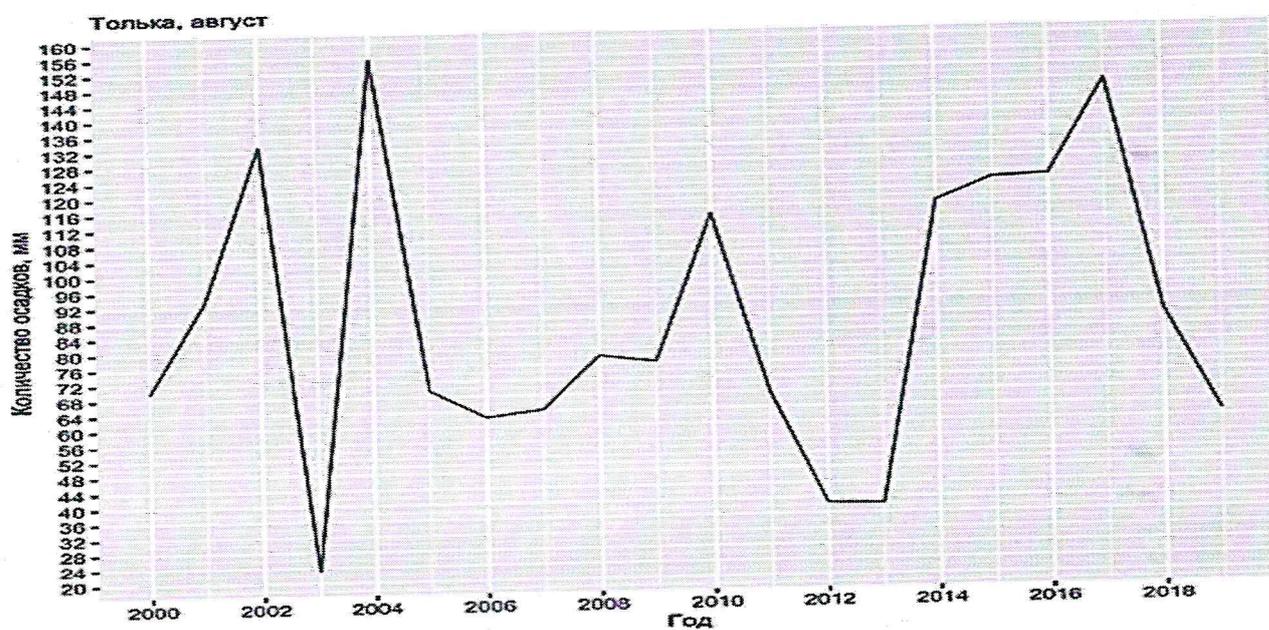
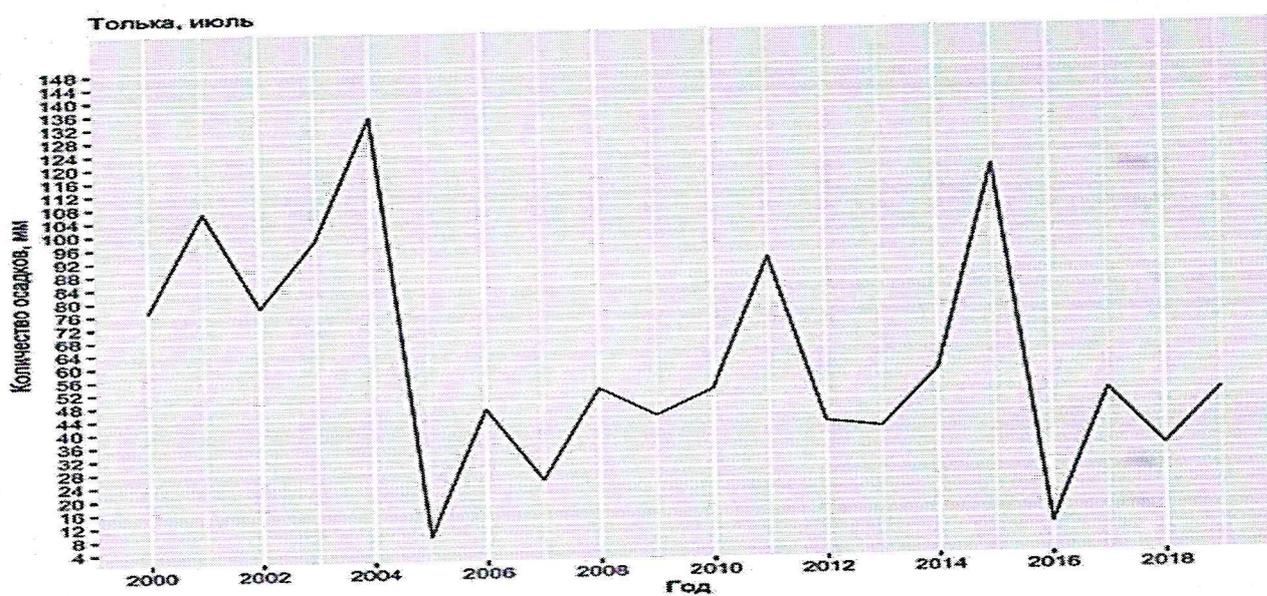
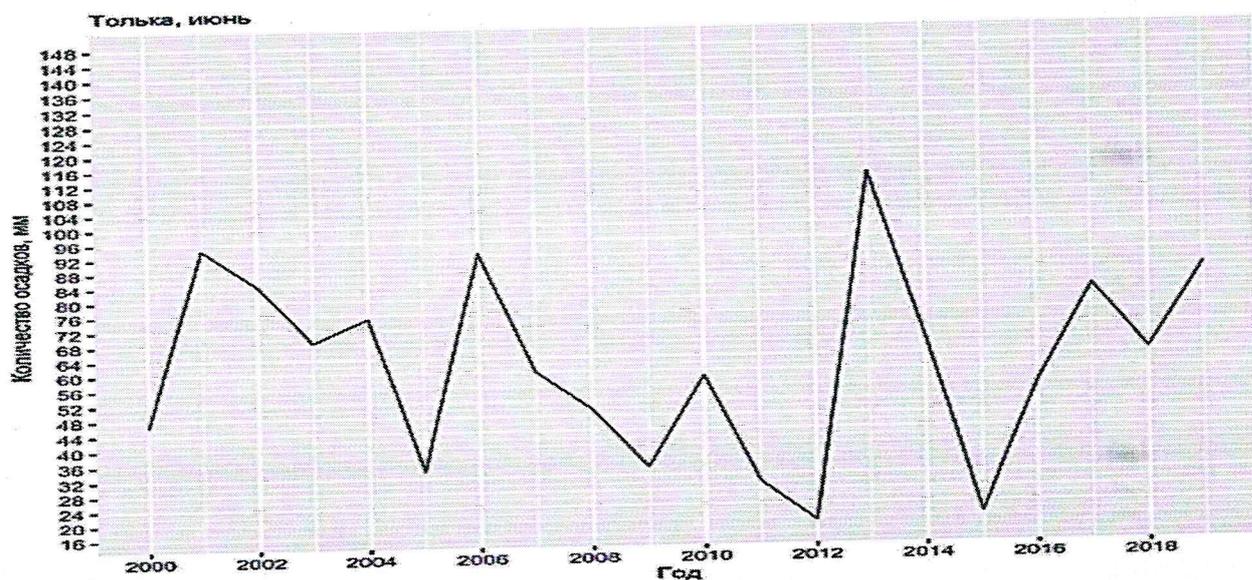


Рисунок 10 - Графики хода значений количества осадков в июне, июле и августе на метеостанции Толька за в начале XXI века

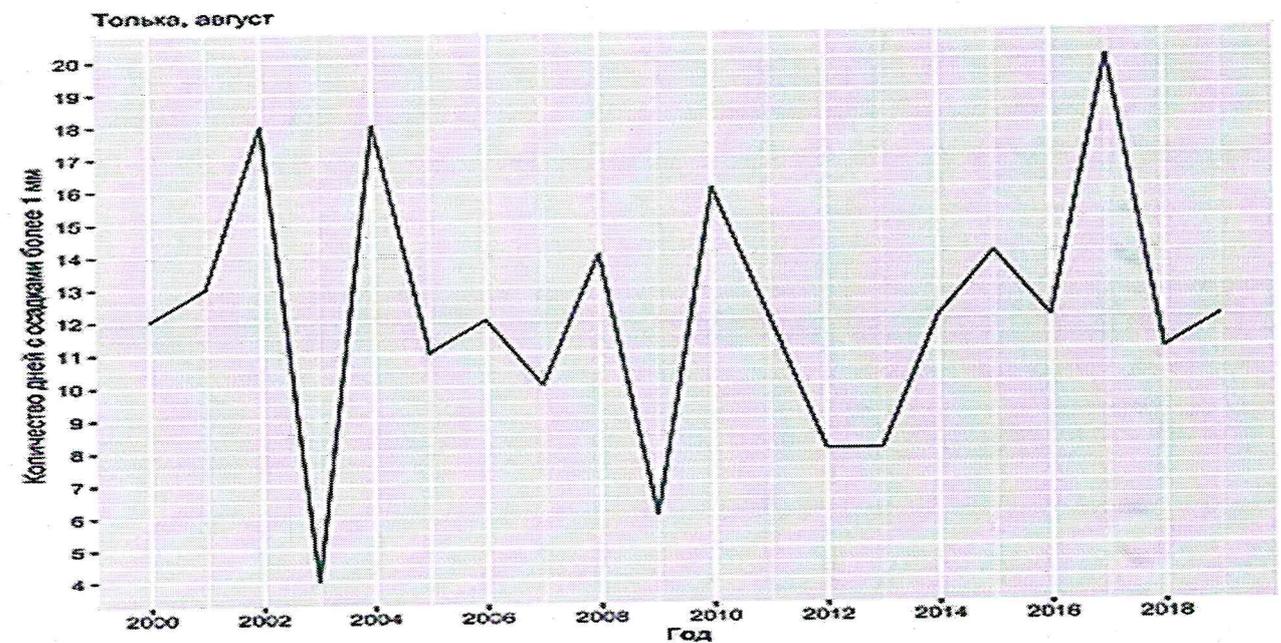
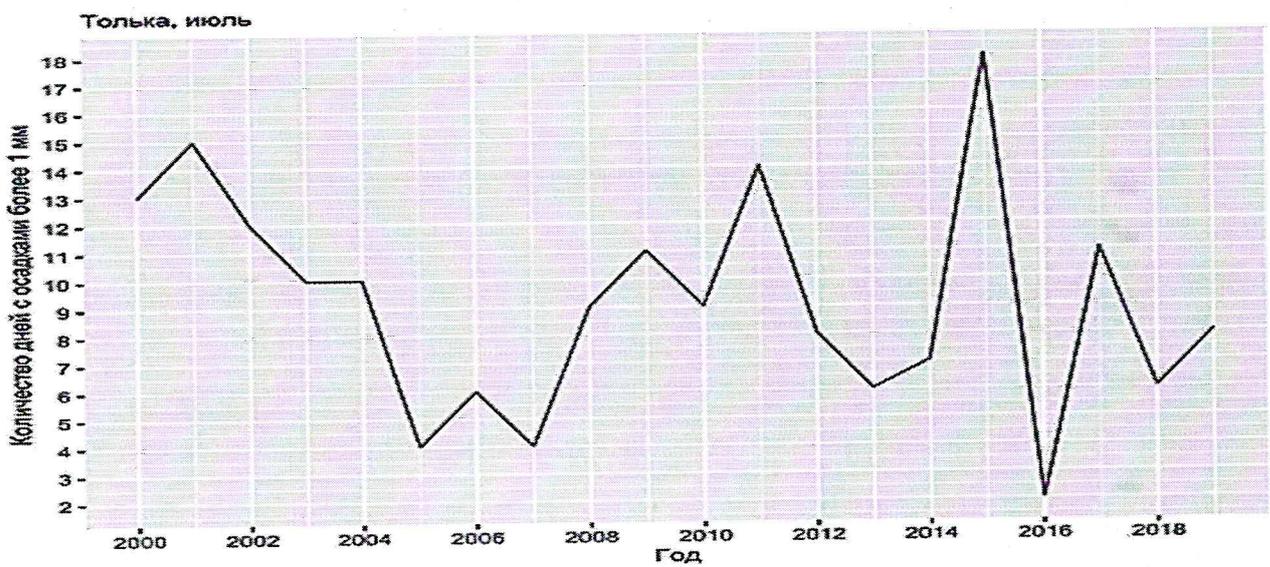
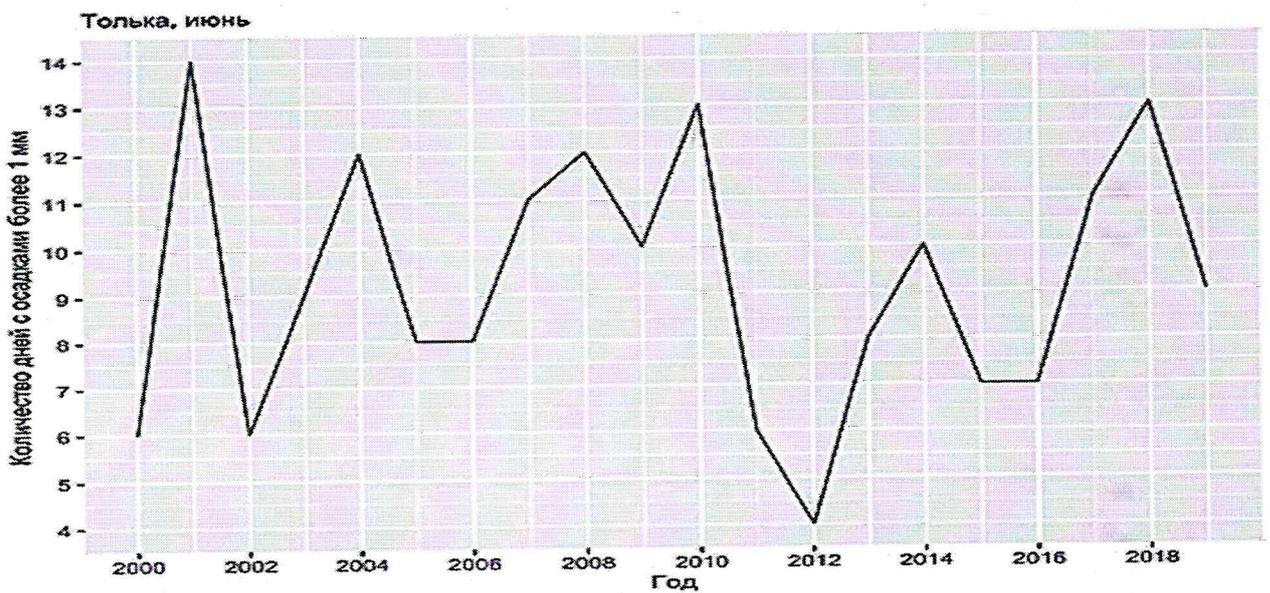


Рисунок 11 - Графики хода значений количества дней с осадками более 1 мм в июне, июле и августе на метеостанции Толька за в начале XXI века

На рисунке 8 можно видеть в этот год в юго-восточной части ЯНАО (в районе метеостанции Толька) действительно произошло больше пожаров, чем в годы с низкой пожарной активностью (рисунок 7). Например, июнь 2008 и 2010 годов характеризуется наиболее низкими значениями температуры данного месяца (около 11 °С) за исследуемый период, количеством осадков около 52 мм и количеством осадков свыше 1 мм – 12 и 13 дней соответственно. В июле средние значения температуры воздуха достигли значений 16 и 17 °С, количество осадков – около 52 и 60 мм, с количеством дней с осадками свыше 1 мм – 9 и 10 дней соответственно. В августе 2008 и 2010 годов наблюдали средние значения температуры около 12 и 11 °С, осадков выпало около 76 и 116 мм, а количеством дней с осадками свыше 1 мм – 14 и 16 дней соответственно.

На рисунке 12 приведена картосхема, характеризующая динамику лесных пожаров по месяцам 2005 года. Она дает представление о пространственных особенностях распространения пожаров в год с высокой пожарной активностью. Несмотря на то, что благоприятные для возникновения лесных пожаров условия сформировались еще в июне 2005 года, только относительно небольшое количество пожаров наблюдали севернее населенного пункта Толька (термоточки зеленого цвета). В июле наблюдали существенное увеличение лесных пожаров условий из-за благоприятных для их возникновения (термоточки красного цвета). В августе, несмотря на снижение температуры воздуха и увеличение количества осадков пожары продолжали возникать, как правило, вокруг ранее возникших очагов (термоточки желтого цвета).

Проведенный анализ особенностей возникновения и распространения лесных пожаров с использованием термоточек, определенных по результатам съемки спутниковыми системами, пространственных данных по озерно-речной и дорожной сетям, местоположению населенных пунктов, а также данных метеонаблюдений на метеостанциях позволили оценить условия и особенности возникновения и распространения лесных пожаров на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. Результаты данного анализа свидетельствуют о том, что среднемесячные значения температуры, количество осадков и количество дней с осадками более 1 мм за месяц достаточно хорошо характеризуют метеоусловия месяца с точки зрения возможности возникновения лесных пожаров. Близость участков к местам проживания или промышленной деятельности человека способствуют возникновению природных пожаров, при этом места их распространения зависят не только от сложившихся метеоусловий месяца, но и от наличия уже существующих очагов. В перспективе набор рассмотренных в ходе выполнения проекта данных должен быть дополнен информацией, позволяющей количественно оценить особенности лесорастительных условий, например, по геоботаническим картам и/или планам лесонасаждений.

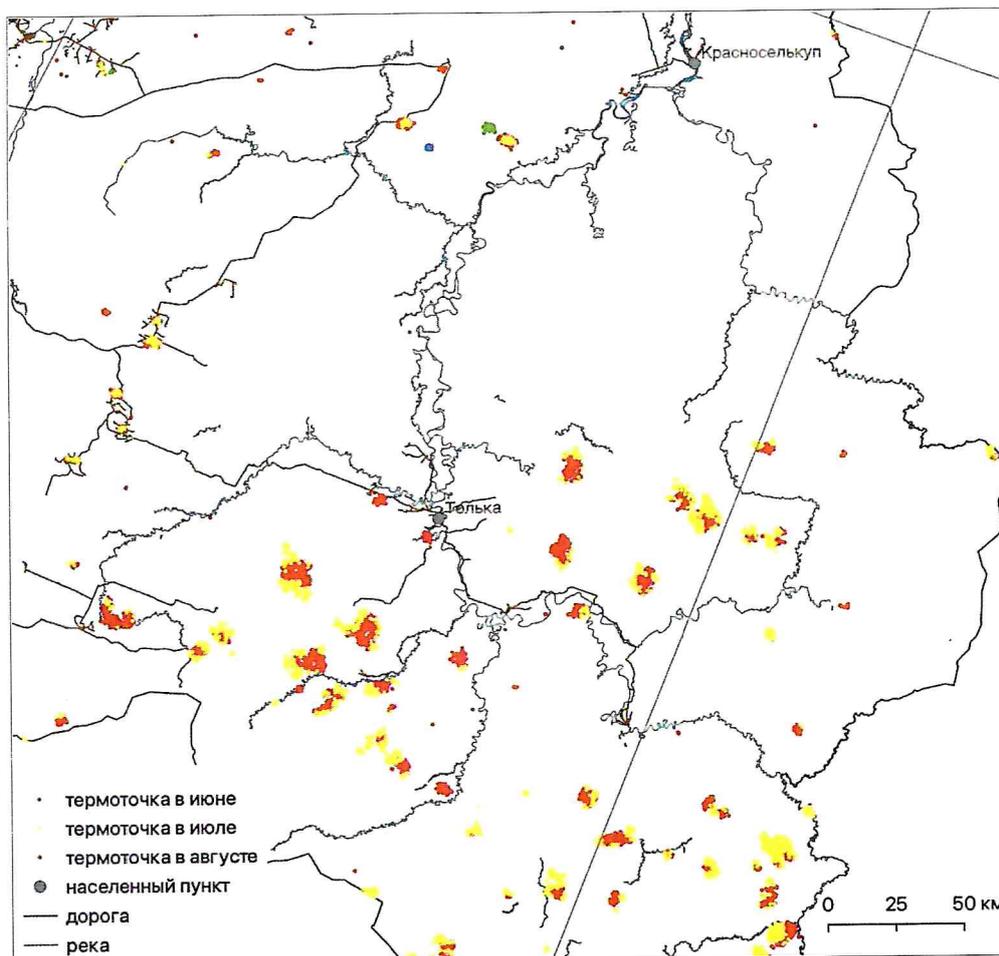


Рисунок 12 - Картосхема, характеризующая пространственное распределение термоточек в июне – августе 2005 года в юго-восточной части Ямало-Ненецкого автономного округа

1.4 Анализ горизонтальной пространственной структуры лиственницы сибирской вблизи верхнего предела произрастания древесной растительности

В районе исследований на юго-восточном макросклоне горного массива Рай-Из проведен сбор образцов древесины деревьев, произраставших ранее на данной территории и погибших в ходе средневекового похолодания, происходившего с конца XIII до конца XIX веков. Древесно-кольцевой анализ выполняли с использованием комплекса Lintab (Rinntech, Германия). Картирование древесных остатков проводили с использованием GPS-приемника Etrex10 (Garmin, Швейцария).

Создание геоинформационных слоев с местоположением деревьев в начале 1960-х, 1985, 2003 и 2015 годах выполняли методом визуального дешифрирования в QGIS (qgis.org) по аэроснимкам (1962, 1964, 1985 и 2003 годов) и космическому снимку 2015 года.

В ходе исследований были созданы картосхемы размещения деревьев лиственницы сибирской высотой более 2,3 метра в районе исследований (междуречье рек Енгаю и Кердоманшор, юго-восточный склон горного массива Рай-Из), а также остатков деревьев, произраставших в верхней части экотона древесной растительности (ЭВГДР) и погибших в ходе средневекового похолодания, которое происходило с конца XIII до конца XIX веков (рисунок 13). На рисунке 13 видно, что на некоторых участках крупные деревья еще не достигли той густоты, которая была в прошлом. На данном рисунке видно, появление деревьев на ранее необлесенных или слабооблесенных участках склона, а также увеличение густоты деревьев на ранее облесенной территории.

На рисунке 13а также выделена область сбора образцов древесных остатков для проведения древесно-кольцевого анализа, позволяющего определить возраст погибших деревьев и год их гибели.

На рисунке 14 приведена картосхема мест сбора образцов древесных остатков. Часть собранных образцов были предварительно обработаны с использованием шлифовальной ленты для проведения измерений. На картосхеме (рисунок 14а) цифрами обозначен возраст гибели деревьев. Для тех образцов, для которых была проведена датировка числами обозначен год гибели дерева (рисунок 14б). Даты гибели деревьев лежат в интервале с конца XVII и до конца XVIII веков (рисунок 14б). Возраст на момент гибели деревьев лежит в интервале от 70 до 256 лет. Работы по определению возраста и датировке образцов, собранных в ходе выполнения проекта, будут продолжены для получения большего количества пар значений «возраст – дата гибели» дерева и данных о местоположении этих деревьев в градиенте высоты местности.

Для оценки изменений горизонтальной пространственной структуры популяции лиственницы сибирской в районе исследований был доработан ранее разработанный метод автоматизированного выделения границ фитоценозов лес, редколесье, реина, тундра с отдельно стоящими деревьями [20]. На примере юго-восточной части района исследований проведена демонстрация данного метода. На рисунке 15 представлены картосхемы фитоценозов на начало 1960-х годов и в 2015 году. На рисунке 16 приведены картосхемы, иллюстрирующие трансформацию одного типа фитоценоза в другой за этот период [21].

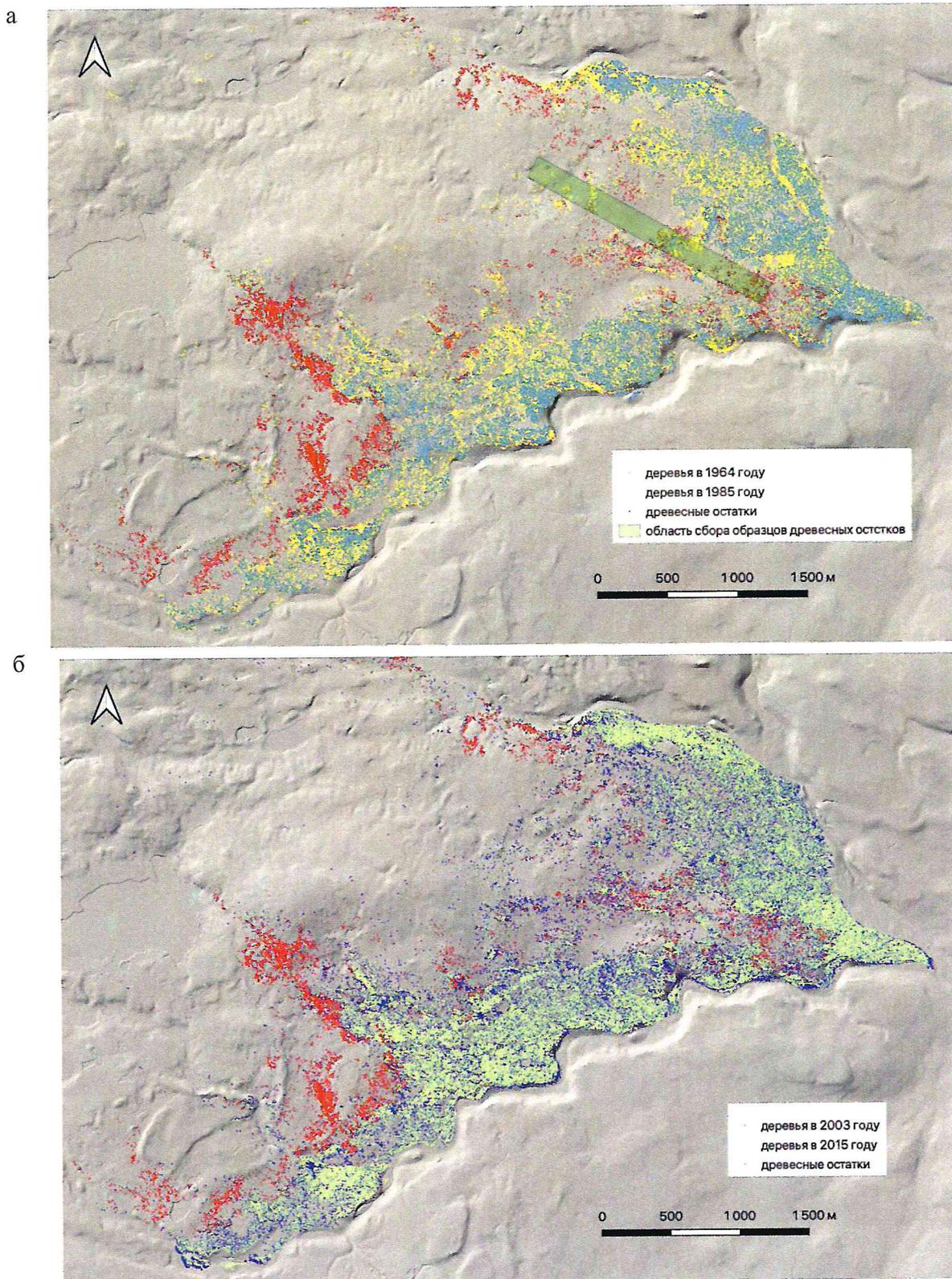
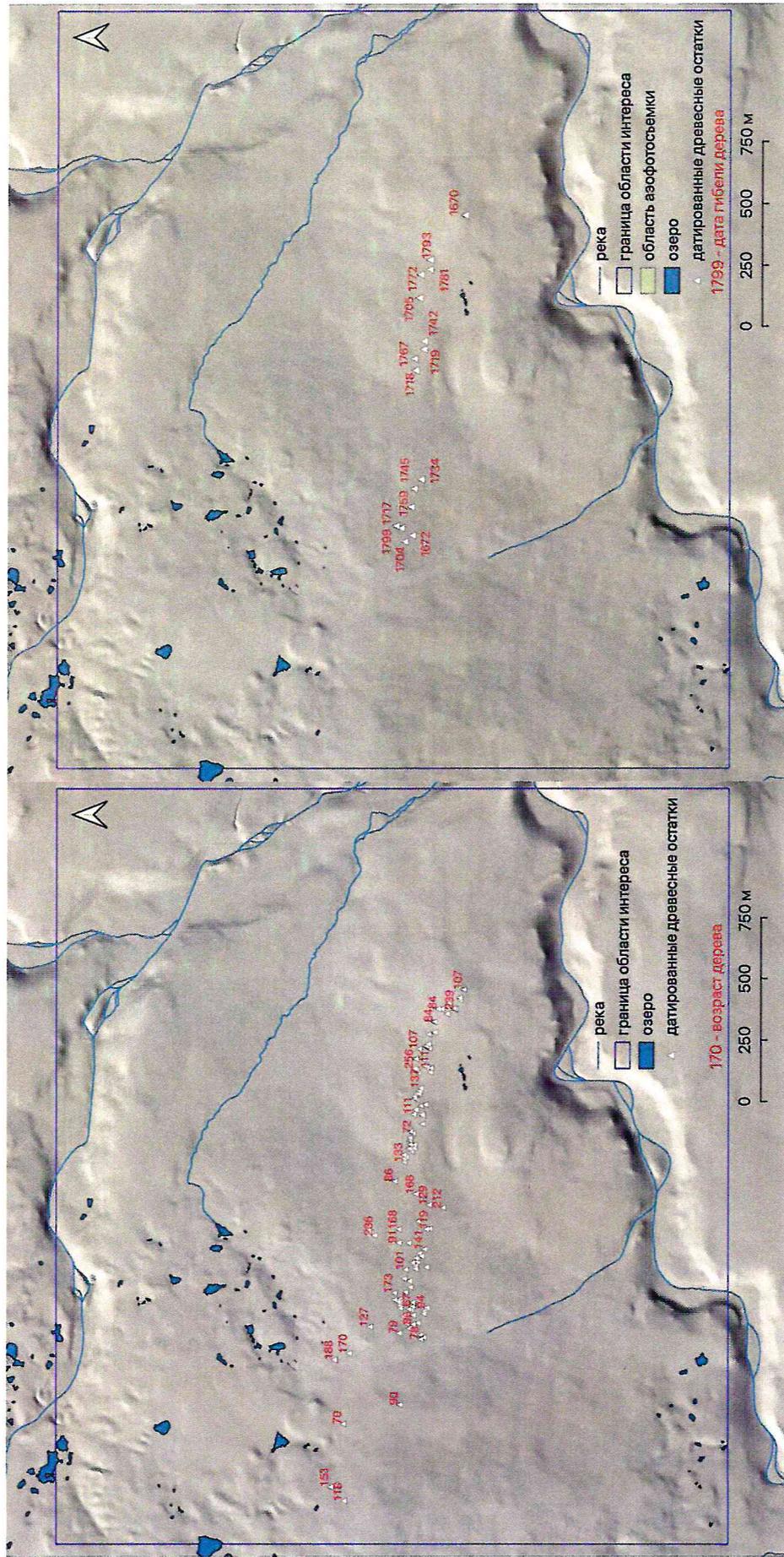


Рисунок 13 - Картограммы размещения деревьев и района исследований в 1964, 1985 (а), 2003 и 2015 (б) годах. Красными точками обозначено местоположение деревьев, произраставших в верхней части экотона древесной растительности и погибших в ходе средневекового похолодания, которое происходило с конца XIII до конца XIX веков

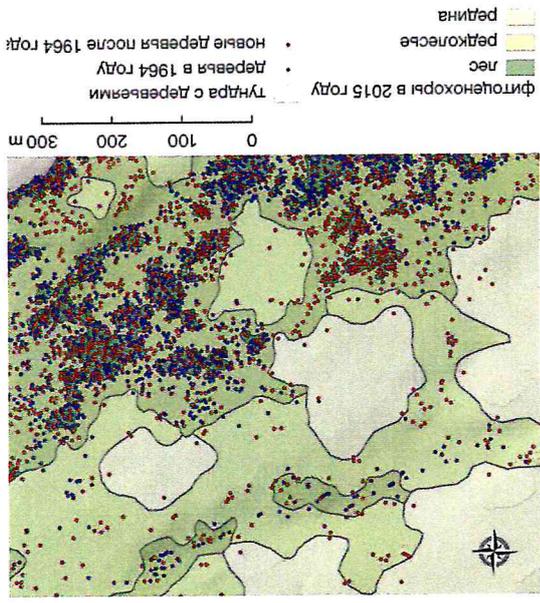


а

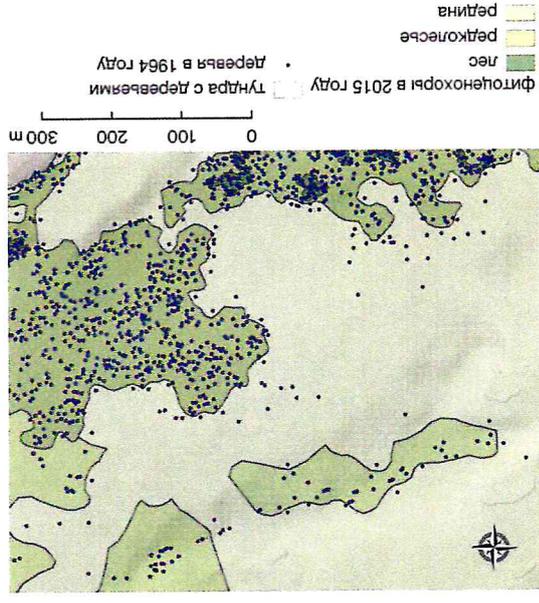
б

Рисунок 14 - Картосхемы с обозначением мест сбора образцов остатков деревьев, произраставших ранее в экотоне верхней границы древесной растительности и погибших в ходе средневекового похолодания, продолжавшегося с конца XIII до конца XIX веков: а) приведены места сбора всех древесных остатков с обозначением возраста деревьев уже обработанных образцов, б) приведены годы гибели деревьев для тех образцов, для которых удалось провести датировку

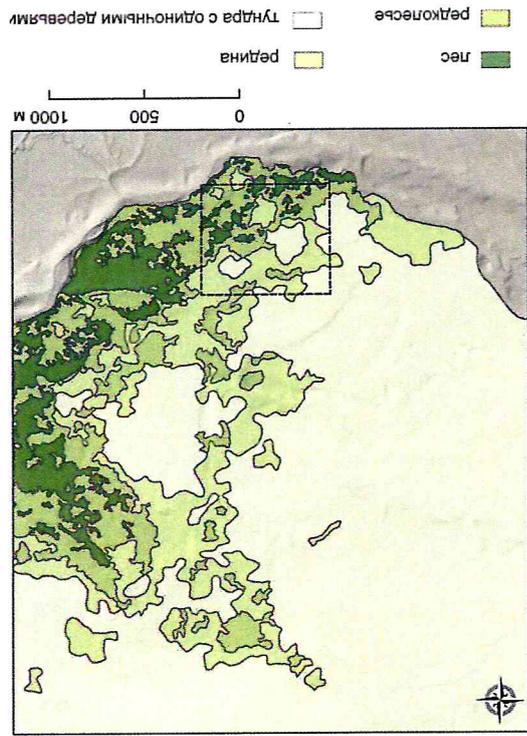
Рисунок 15 - Картограммы фитоценозов на начало 1960-х годов и в 2015 году



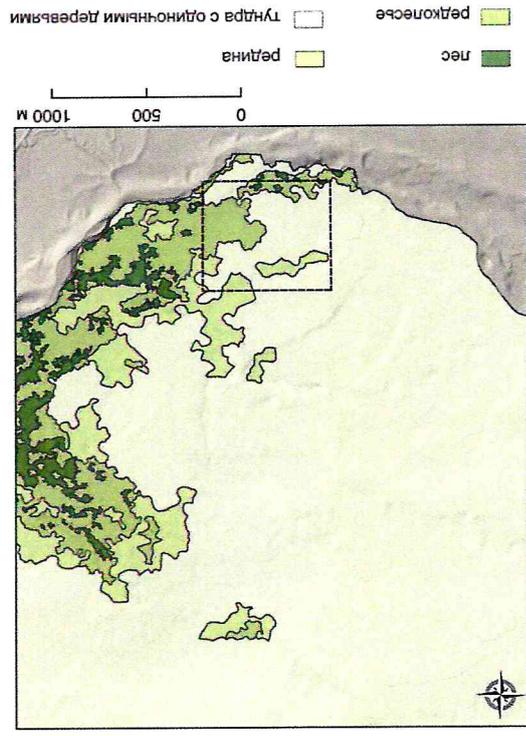
а)



б)



в)



г)

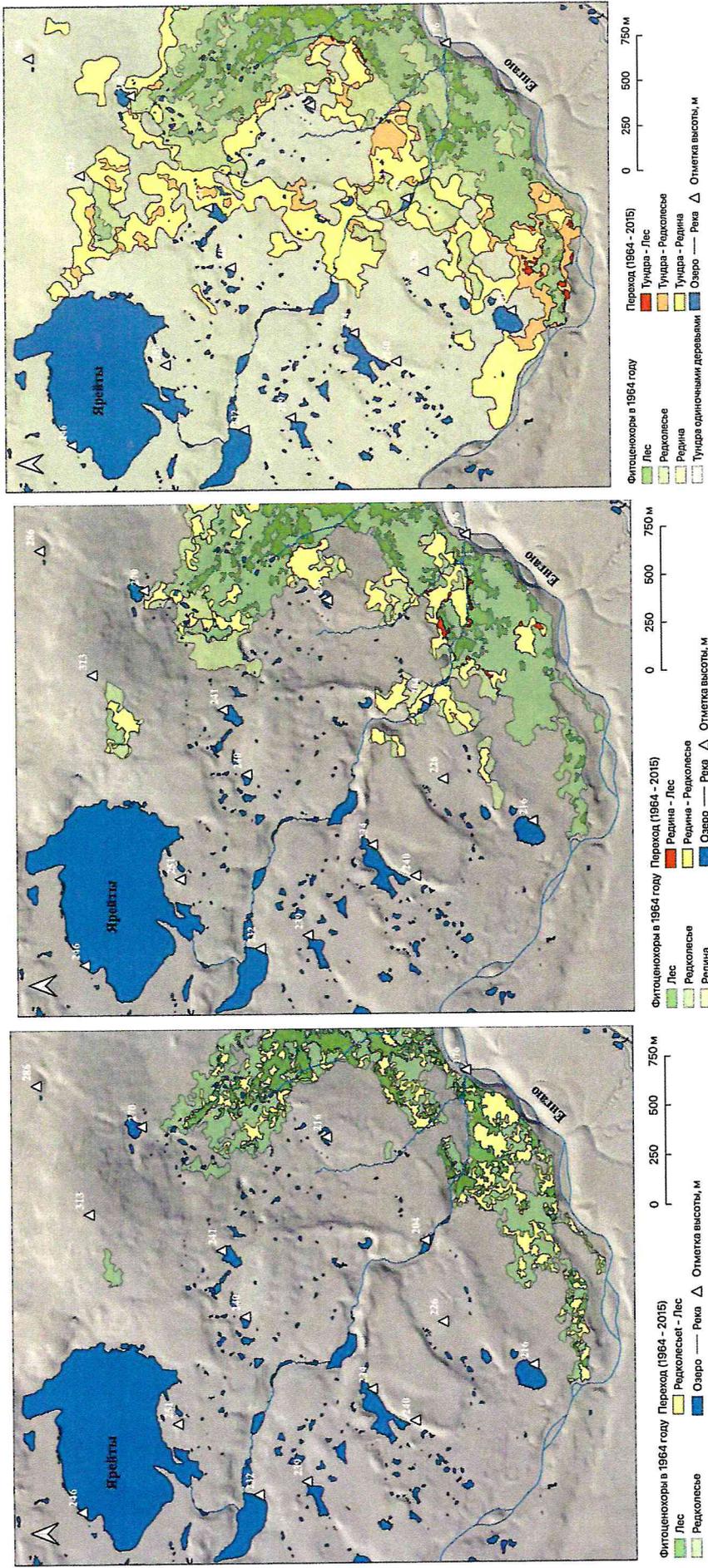


Рисунок 15 – Смена типов фитоценозор в районе исследований с начала 1960-х годов до 2015 года

Смены типов фитоценозов в районе исследований за период с начала 1960-х годов до 2015 года характеризуются, в основном, переходами между соседними типами: от фитоценозов с меньшей плотностью к фитоценозам с большей плотностью, т. е. наиболее часто встречаются переходы «редколесье – лес», «редина – редколесье», «тундра с отдельно стоящими деревьями – редина» (таблица 7). Общая площадь участков со сменой типа фитоценозов «редколесье – лес» составляет 25,8 га, «редина – редколесье» – 28,1 га, а «тундра с одиночными деревьями – редина» – 88,3, «тундра с одиночными деревьями – редколесье» – 23,4 га соответственно. Площадь участков с переходами «редина – лес» и «тундра с одиночными деревьями – лес» составляют значения 1,1 и 1,2 га соответственно. Переходы в обратную сторону, например, от леса к редколесью, редине и тундре с отдельно стоящими деревьями за исследуемый период не происходили.

Таблица 7 – Смена типов фитоценозов в юго-восточной части района исследований за период с 1964 по 2015 годы

| № | Фитоценозы | | Площадь, га |
|---|-------------------------------|------------|-------------|
| | 1964 | 2015 | |
| 1 | Лес | Лес | 21,5 |
| 2 | Редколесье | Лес | 25,8 |
| 3 | Редколесье | Редколесье | 44,7 |
| 4 | Редина | Лес | 1,1 |
| 5 | Редина | Редколесье | 28,1 |
| 6 | Редина | Редина | 26,1 |
| 7 | Тундра с одиночными деревьями | Лес | 1,2 |
| 8 | Тундра с одиночными деревьями | Редина | 88,3 |
| 9 | Тундра с одиночными деревьями | Редколесье | 23,4 |

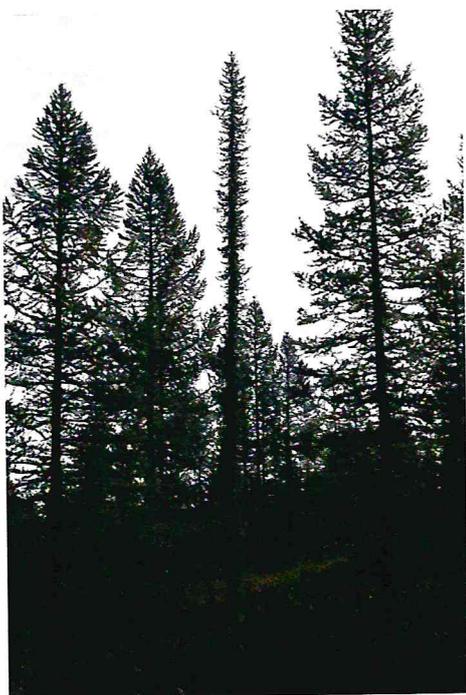
Одной из задач исследований являлся сбор шишек лиственницы сибирской с последующим извлечением семян и их посадкой в теплицу. Это было необходимо для формирования коллекции образцов лиственницы сибирской для проведения перспективных исследований генетической структуры популяции из разных частей района исследований. В ходе полевых работ в разных частях экотона были собраны шишки лиственницы сибирской. Из них извлечены семена и посажены в теплицу Уральского сада лечебных культур Уральского государственного лесотехнического университета (рисунок 17). К сожалению, всхожесть семян составила около 1%. К настоящему времени выжило несколько экземпляров лиственницы сибирской.

В ходе выполнения проекта была проведена проверка другого варианта создания коллекции деревьев лиственницы сибирской из разных частей экотона — прививкой. На рисунке

приведен результат прививки ранее на описанной в литературе колонновидной формы лиственницы сибирской, обнаруженной в ходе полевых работ участником проекта Голиковым Д.Ю., на лиственницу Сукачева.



Рисунок 17 – Результат прополки грядки с сеянцами лиственницы сибирской. На ярлычках приведены номер и географические координаты дерева



а



б

Рисунок 18 – Прививка лиственницы сибирской колонновидной формы (а — материнское дерево) на подвой лиственницы Сукачева (б). Привой взят в районе исследований с лиственницы сибирской колонновидной формы (а). Снимок (а) сделан Голиковым Д.Ю., снимок (б) — Оплетаевым А.С.

2 Разработка методов совершенствование лесопользования, заготовки и обработки древесины с сохранением биотопов для оптимального развития и размещения производительных сил

2.1 Совершенствование лесопользования на основе рекомендаций по выбору направления и способа рекультивации нарушенных земель

Сохранение экологической обстановки в условиях меняющегося климата и интенсивного антропогенного воздействия вызывает необходимость комплексного подхода к ведению лесного хозяйства, уходу за лесными насаждениями и охране их от пожаров. В процессе работы по заявленной теме нами проанализированы последствия проведения рубок спелых и перестойных насаждений [22, 23]. При этом особое внимание было уделено накоплению подроста последующей генерации и сохранению жизнеспособности подроста предварительной генерации.

Известно, что вырастить высокопроизводительные устойчивые насаждения максимально эффективно выполняющие защитные функции невозможно без проведения на научной основе рубок ухода. Выполненные нами исследования создают базовую основу по повышению эффективности рубок ухода в различных лесорастительных зонах, в насаждениях различного состава и целевого назначения [24-27].

Логично, что особое внимание при проведении исследований уделялось таким быстрорастущим породам, как лиственница. Выполненные исследования могут лечь в основу практических рекомендаций по созданию и выращиванию лиственничных насаждений в различных лесорастительных условиях [28-31]. При этом все выполненные исследования по выращиванию и созданию лесных насаждений базируются на зонально-(подзонально)-типологической основе [32, 33].

В целях увеличения лесистости территории и, как следствие этого, увеличения депонирования углерода из атмосферного воздуха, большое внимание уделялось вопросам формирования древесной растительности на бывших сельскохозяйственных угодьях [34-36]. Обобщение результатов исследований позволило установить зависимости накопления подроста (рисунок 19) в Южно-таежном лесном районе европейской части РФ и в районе хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части РФ (рисунок 20) [37].

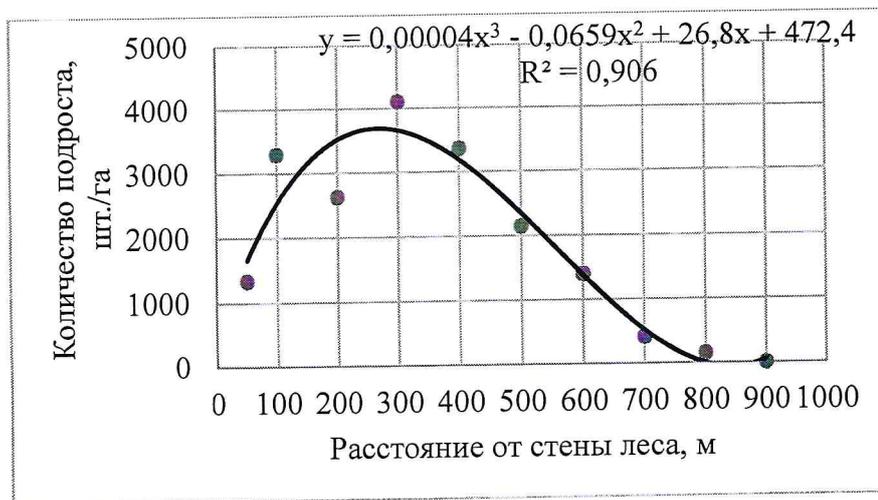


Рисунок 19 – Количество жизнеспособного подроста сосны на бывшей пашне в Южно-таежном лесном районе европейской части РФ в зависимости от расстояния до стены леса

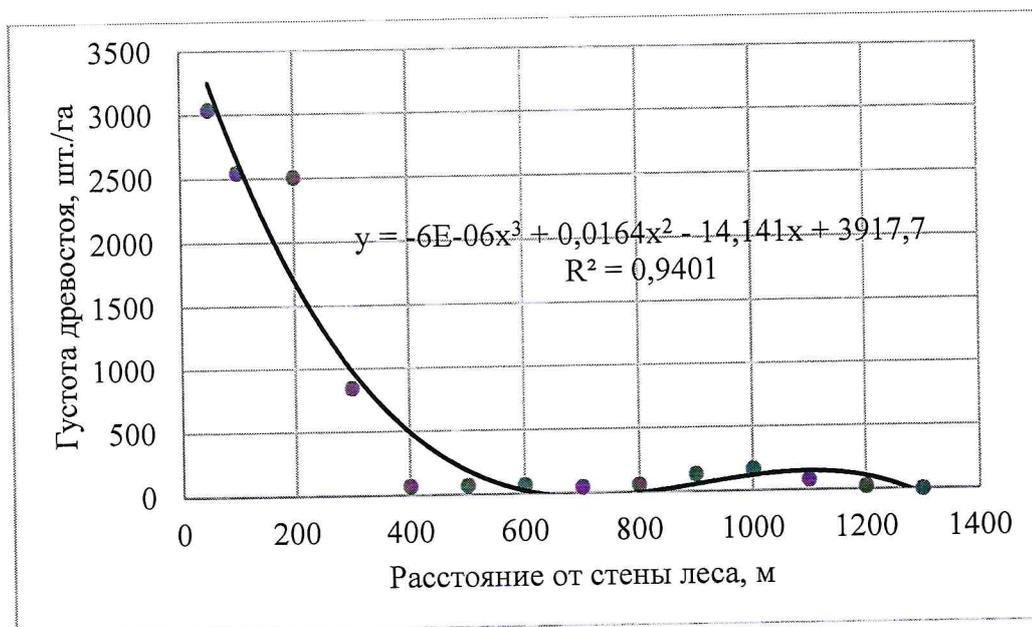


Рисунок 20 – Густота подроста сосны на бывшей пашне в районе хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части РФ в зависимости от расстояния до стены леса

При этом были разработаны предложения производству, позволяющие проектировать ведение хозяйства на бывших сельскохозяйственных угодьях с учетом потенциального плодородия почвы и реальной ситуации [37]. В частности, рекомендуется на бывших сельскохозяйственных угодьях, где уже сформировались полноценные древостои, вести лесное хозяйство с учетом целевого назначения лесов. На участках пашни, зарастающих древесной растительностью, рекомендуется устанавливать потенциальное почвенное плодородие и, если последнее позволяет, выращивать урожаи, равные или выше среднего урожая зерновых по муниципальному району за последние 4 года, затем участок передается в сельхозпользование. Если же

потенциальное плодородие не позволяет достичь вышеуказанных результатов и у сельхозпроизводителя нет средств на коренное улучшение почвы, участок передается для плантационного выращивания быстрорастущих древесных пород.

Изменение климата в сторону аридизации вызывает необходимость повышенного внимания к охране лесов от пожаров. В рамках данного направления нами была проделана значительная работа. В процессе исследований анализировались показатели фактической горимости лесов, совершенствовались способы противопожарного устройства и тушения лесных пожаров, а также проведения мероприятий на пройденных лесными пожарами площадях [38-43, 44,]. Следует отметить, что впервые на территории РФ была проанализирована эффективность тушения торфяных пожаров в зимний период перемешиванием грунта. Установлены закономерности распространения торфяных пожаров в зимний период на участках с наличием дровостоя и без такового [45].

Расчеты ширины лиственных противопожарных барьеров, необходимых для остановки верховых лесных пожаров, позволяют в сочетании с другими противопожарными мероприятиями надежно защитить населенные пункты, объекты экономики и ценные лесные массивы от природных пожаров в целом и лесных пожаров в частности [41]. Естественно, что совершенствование ведения лесного хозяйства, охраны лесов от пожаров и лесовосстановления возможно только на основе научно-обоснованных нормативно-правовых документов [47].

Как отмечалось нами ранее, активная добыча полезных ископаемых приводит к увеличению площади нарушенных земель. В целях минимизации ущерба от изъятия земель необходимо оперативно вернуть их для использования по прямому назначению сразу после того, как отпадает необходимость в их использования для целей, которыми обусловлено изъятие. Однако возврат нарушенных земель возможен только при условии возвращения их в исходное состояние. Как правило, последнее связано с проведением рекультивационных работ. Рекультивационные работы осуществляются по разным направлениям. Указанное объясняется видом нарушения и хозяйственными запросами, а также стремлением к минимизации затрат на рекультивацию. В частности, карьеры целесообразнее не засыпать, а создать на их основе водоемы различного назначения: противопожарные, рыбопродуктивные и др.

В Уральском Федеральном округе основным направлением рекультивации является лесохозяйственное. Указанное объясняется двумя основными причинами. Во-первых, большинство земель для разведки, добычи и транспортировки и переработки полезных ископаемых изымается из земель лесного фонда. Во-вторых, лесохозяйственное направление обеспечивает минимизацию затрат на рекультивационные работы. Сложность лесохозяйственного направления заключается в существенном различии климатических и лесорастительных условий на

объектах, требующих рекультивации; различием видов нарушенных земель и медленным ростом многих древесных растений.

Нами в процессе исследований была проанализирована эффективность самозарастания и рекультивации различных видов нарушенных земель. Исследованиями были охвачены золотвалы, сейсмопрофили, прикустовые площадки, а также нарушенные земли вблизи медеплавильного производства [48-51]. Исследованиями установлено, что значительные площади нарушенных земель можно оставить под естественное зарастивание или использовать в качестве объектов лесной инфраструктуры. К последним, в частности можно отнести сейсмопрофили, разрушаемые в процессе разведки углеводородного сырья.

Ширина сейсморазведочных профилей не превышает 4 м. Профили прокладываются в зимний период при промерзшем грунте, что минимизирует негативное воздействие техники на почву. Размещение профилей зависит от детализации разведки и составляет 1×1 км или 300×400 м. На каждом профиле закладываются скважины глубиной 13–15 м через 50 м одна от другой. В местах пересечения профилей глубина скважины увеличивается до 25 м. Диаметр скважин составляет 15 см, а после снятия сейсмоданных, вынутая из скважин порода, возвращается обратно. Материалы обследования сейсморазведочных профилей спустя 4, 9 и 17 лет после проведения работ в условиях северной подзоны тайги Западной Сибири (Западно-Сибирский северо-таежный равнинный лесной район) показали, что формирование древесной растительности на них протекает достаточно успешно (таблица 8).

Материалы таблицы 8 свидетельствуют, что уже спустя 4 года после проведения сейсморазведочных работ количество подроста в пересчете на крупный составляет более 10,9 тыс. шт./га. При этом на долю хвойного подроста приходится более 2,6 тыс. шт./га. По мере увеличения давности проведения сейсморазведочных работ количество подроста увеличивается, а затем снижается благодаря естественному изреживанию.

Таким образом, экспериментально доказана нецелесообразность передачи профилей сейсморазведки для компенсационного лесоводства. Сейсморазведочные профили целесообразно оставлять под естественное зарастивание или, что не менее перспективно, оставлять в качестве просек, доля которых на территории северной и средней тайги Западной Сибири крайне ограничена.

Таблица 8 – Густота и состав подроста, сформировавшегося на сейсморазведочных профилях в Западно-Сибирском северо-таежном лесном районе

| Давность проведения сейсморазведочных работ, лет | Состав подроста | Общее количество жизнеспособного подроста, шт/га | В т.ч. хвойного, шт/га | Состав подроста в пересчете на крупный | Количество подроста в пересчете на крупный, шт/га | В т.ч. хвойного, шт/га |
|--|-----------------|--|------------------------|--|---|------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 17 | 3,9Б | 9000 | | 4,8Б | 9000 | |
| | 1,8Ос | 4133 | | 2,1Ос | 3973 | |
| | 3,5К | 8067 | | 2,5К | 4754 | |
| | 0,4С | 1000 | | 0,2С | 500 | |
| | 0,4П | 967 | | 0,4П | 724 | |
| | | 23167 | 10034 | | 18951 | 5978 |
| 9 | 2,6Б | 7133 | | 3,5Б | 6706 | |
| | 1,5Ос | 4000 | | 2,1Ос | 4000 | |
| | 4,0К | 10767 | | 3,1К | 5864 | |
| | 1,5Е | 4100 | | 1,1Е | 2130 | |
| | 0,4С | 934 | | 0,2С | 297 | |
| | | 26934 | 15801 | | 18997 | 8291 |
| 4 | 1,0Б | 2000 | | 0,9Б | 1050 | |
| | 6,8Ос | 14200 | | 6,7Ос | 7260 | |
| | 1,5К | 3100 | | 1,5К | 1630 | |
| | 0,5П | 1033 | | 0,6П | 676 | |
| | 0,1Е | 267 | | 0,2Е | 214 | |
| | 0,1С | 167 | | 0,1С | 84 | |
| | | 20767 | 4567 | | 10914 | 2604 |

Учитывая значительные объемы сейсморазведочных работ, полученные выводы имеют большое практическое значение, поскольку позволяют сэкономить трудовые и финансовые ресурсы за счет исключения нецелесообразных работ по искусственному лесоразведению.

Успешно происходит естественное зарастание мелких карьеров глины, где после завершения добычи на дне не накапливается вода. Примером может служить карьер глины месторождения Красноармейское II (Средне-Уральский таежный лесной район). Спустя 13 лет после добычи глины на данном карьере количество имеющегося подроста в пересчете на крупный обеспечивало возможность перевода карьера в покрытую лесной растительностью площадь (таблица 9).

Анализируя таблицу 9, можно отметить, что на выработанном карьере глины формируются сосновые насаждения с незначительной примесью мягколиственных пород. При этом процесс лесовосстановления продолжается, что подтверждается наличием всходов.

Таблица 9 – Количество всходов и подроста на выработанном карьере глины месторождения Красноармейское II спустя 13 лет после завершения работ

| № участка | Порода | Всходы | | Подрост* | |
|-----------------------|--------|----------------------|------------------|----------------------|------------------|
| | | Густота, тыс. шт./га | Встречаемость, % | Густота, тыс. шт./га | Встречаемость, % |
| 1 | Сосна | 1,8 | 45 | 16,5 | 70 |
| | Береза | 10,7 | 30 | 9,6 | 55 |
| | Ива | - | - | 5,7 | 45 |
| 2 | Сосна | 5,0 | 75 | 12,6 | 100 |
| | Береза | 22,2 | 63 | 4,7 | 38 |
| | Осина | 2,5 | 13 | 3,8 | 38 |
| | Ива | - | - | 10,0 | 50 |
| 3 | Сосна | 6,3 | 53 | 11,5 | 80 |
| | Береза | 9,5 | 20 | 3,9 | 33 |
| | Ива | - | - | 0,3 | 7 |
| 6 | Сосна | 8,1 | 63 | 13,4 | 100 |
| | Береза | 20,6 | 63 | 2,0 | 38 |
| | Осина | - | - | 1,1 | 25 |
| | Ива | - | - | 23,1 | 50 |
| 7 | Сосна | 1,1 | 30 | 3,0 | 43 |
| | Ива | - | - | 1,1 | 30 |
| 8 | Сосна | 3,5 | 35 | 13,7 | 85 |
| | Береза | 4,9 | 30 | 6,0 | 60 |
| | Осина | 3,8 | 25 | 3,9 | 30 |
| | Ива | - | - | 0,3 | 5 |
| Склоны участков 1 и 2 | Сосна | 1,0 | 13 | 9,5 | 67 |
| | Береза | 0,8 | 7 | 4,3 | 27 |
| | Осина | - | - | 0,9 | 20 |
| | Ива | - | - | 1,5 | 27 |
| Склоны участка 3 | Сосна | 4,2 | 47 | 9,8 | 53 |
| | Береза | 1,3 | 7 | 4,5 | 27 |
| | Осина | - | - | 0,1 | 7 |
| Склоны участков 6 и 7 | Сосна | 5,0 | 60 | 4,9 | 67 |
| | Береза | - | - | 0,2 | 7 |
| | Осина | - | - | 0,2 | 7 |
| | Ива | - | - | 0,3 | 7 |

Примечание. *В пересчете на крупный жизнеспособный подрост.

Достаточно успешно естественно зарастают отвалы вскрышных пород и отходов обогащения бедных руд при добыче хризотил-асбеста. Материалы, полученные на отвале № 3 Баженовского месторождения хризотил-асбеста (Средне-Уральский таежный лесной район), показали, что неоднородность накопления древесной растительности объясняется, прежде всего, различным уровнем отвалов, содержанием в них различной доли глинистых частиц, наличием надежных обсеменителей и сдуванием зимних осадков с поверхности отвала. На участках, где зимние осадки не сдуваются и в составе отвалов имеется глина формируются естественно сосновые молодняки с незначительной примесью лиственных пород (таблица 10).

Таблица 10 – Таксационная характеристика естественных молодняков, сформировавшихся на южной части отвала № 3

| № уровня | Состав | Средние | | | Густота, шт/га | Полнота | | Запас, м ³ /га | Класс бонитета |
|----------|------------------------|--------------|-----------|-------------|----------------|------------|-----------------------------------|---------------------------|----------------|
| | | возраст, лет | высота, м | диаметр, см | | абсолютная | относительная, м ² /га | | |
| 1 | 9,7С0,2Б0,1Ив+Ос | 20 | 6,2 | 10,4 | 1757 | 13,95 | 0,8 | 62,9 | II |
| | 8,2С0,1Ос0,6Б0,2Т0,1Ив | 20 | 5,5 | 8,4 | 3244 | 15,45 | 0,9 | 72,0 | III |
| 2 | 8,5С0,8Б0,5Щс0,2Ив | 19 | 5,7 | 9,1 | 2444 | 12,31 | 0,7 | 65,0 | III |
| | 9,0С0,5Б0,4Ив0,1Ос | 17 | 5,2 | 8,3 | 4963 | 18,36 | 1,2 | 86,3 | III |
| 3 | 8,6С0,5Б0,8Ив0,1Ос | 18 | 6,0 | 9,6 | 3800 | 19,38 | 1,1 | 100,5 | II |
| | 9,5С0,3Б0,1Ос0,1Ив | 18 | 5,0 | 7,5 | 4920 | 17,72 | 1,2 | 70,9 | III |
| л/к* | 10С | 20 | 6,2 | 8,5 | 4800 | 27,10 | 1,5 | 129 | II |

Примечание. * л/к - искусственные 20-летние насаждения в квартале № 125 (контроль)

Ранее было показано также успешное естественное зарастание мелкоконтурных песчаных карьеров при наличии надежных обсеменителей. В то же время ряд видов нарушенных земель требует проведения рекультивационных работ. Так, в частности, золоотвалы, формирующиеся вблизи тепловых электростанций, работающих на каменном угле, резко ухудшают экологическую обстановку. Разносимая ветром зола меняет химический состав почвы и, как правило, вблизи золоотвалов многие виды живого напочвенного покрова характерного для таежных насаждений вытесняются злаками. В результате затрудняется естественное лесовосстановление и повышается потенциальная пожарная опасность насаждений. Перечисленное четко проявилось вблизи Рефтинской ГРЭС работающей на высокозольных углях Экибастузского месторождения (Средне-Уральский таежный лесной район).

Минимизация негативных последствий золоотвала была достигнута проведением рекультивационных работ. При этом при техническом этапе рекультивации на поверхность золоотвала насыпался почвогрунт толщиной 25–30 см. После выравнивания почвогрунта на рекультивируемом золоотвале создавались лесные культуры механизированной посадкой 2-летних сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Выполненные исследования показали, что на золоотвале сформировались высокопроизводительные искусственные сосновые насаждения, не уступающие по основным таксационным показателям прилегающим сосновым древостоям как искусственного, так и естественного происхождения (таблица 11).

Таблица 11 – Таксационная характеристика искусственных сосновых древостоев, созданных на рекультивированном золоотвале Рефтинской ГРЭС

| № | Элемент леса | Средние | | | Густота, шт./га | | Сумма площадей сечений, м ² /га | Относительная полнота, ед. | Запас древесины, м ³ /га | Класс бонитета |
|-----|--------------|--------------|-----------|-------------|-----------------|---------|--|----------------------------|-------------------------------------|----------------|
| | | возраст, лет | высота, м | диаметр, см | посадки | текущая | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| P1 | 10С | 31 | 14,6 | 13,4 | 4329 | 2628 | 37,0 | 0,99 | 290 | Ia |
| | +Б | 25 | 12,3 | 8,8 | - | 19 | 0,1 | 0,00 | 0,9 | |
| P2 | 5С | 29 | 14,8 | 17,1 | 902 | 513 | 11,8 | 0,32 | 93 | Ia |
| | 1Е | 29 | 11,1 | 13,8 | 902 | 138 | 2,1 | 0,09 | 13 | |
| | 4Б | 29 | 14,3 | 12,7 | 1804 | 674 | 8,6 | 0,42 | 63 | |
| | +Ос | 20 | 6,8 | 4,4 | - | 66 | 0,1 | 0,01 | 0,4 | |
| P3 | 10С | 27 | 10,3 | 10,4 | 6489 | 3013 | 25,6 | 0,87 | 161 | II |
| P4 | 10С | 24 | 10,0 | 10,6 | 6060 | 3153 | 27,6 | 0,89 | 167 | Ia |
| P5 | 10С | 24 | 11,0 | 10,7 | 4237 | 2744 | 24,8 | 0,76 | 162 | Ia |
| P6 | 10С | 25 | 9,4 | 8,3 | 8000 | 3830 | 20,5 | 0,73 | 121 | II |
| P7 | 10С | 26 | 11,5 | 9,5 | 4882 | 3880 | 27,7 | 0,82 | 188 | I |
| P8 | 10С | 27 | 11,3 | 9,4 | 4598 | 3679 | 25,4 | 0,78 | 170 | I |
| P9 | 10С | 27 | 12,5 | 11,0 | 5510 | 2894 | 27,7 | 0,79 | 195 | I |
| | +Ос | 25 | 7,0 | 5,3 | - | 57 | 0,1 | 0,01 | 0,6 | |
| P10 | 10С | 22 | 10,1 | 11,7 | 2051 | 1625 | 17,4 | 0,56 | 105 | Ia |
| | +Ос | 15 | 6,5 | 4,5 | - | 41 | 0,1 | 0,01 | 0,3 | |
| P11 | 10С | 20 | 7,0 | 8,0 | 5555 | 3200 | 16,1 | 0,65 | 68 | II |
| P12 | 10С | 23 | 7,8 | 9,4 | 3496 | 2362 | 16,3 | 0,58 | 81 | I |
| P13 | 10С | 26 | 10,5 | 8,6 | 3922 | 3659 | 21,4 | 0,70 | 137 | II |
| | +С | 20 | 8,9 | 6 | - | 72 | 0,2 | 0,01 | 1 | |

При проведении рекультивационных работ существенное значение имеет вид посадочного материала. В настоящее время большинство исследователей склонно ко мнению, что наиболее целесообразно использовать при проведении рекультивационных работ сеянцы с закрытой корневой системой. Поскольку в настоящее время в Уральском федеральном округе отсутствуют лесные селекционные центры, выращивающие сеянцы с закрытой корневой системой (ЗКС), нами были проведены исследования по выращиванию указанного посадочного материала в теплицах с регулируемым микроклиматом.

В процессе исследований был предложен оригинальный способ сортировки семян, ускорения их прорастания; разработан режим освещенности и выполнен анализ оптимизации размера контейнеров для выращивания посадочного материала. Кроме того, был предложен новый способ полива сеянцев, исключаящий вынос растворов удобрений и химикатов в окружающую среду [52].

Разработанный в ходе исследования режим микроклимата (таблица 12) в сочетании с выше перечисленными разработками обеспечивает выращивание 3–4 ротаций стандартного посадочного материала сосны и лиственницы, что снижает его себестоимость по сравнению с традиционным выращиванием 2 ротаций.

Таблица 12 – Режим микроклимата при выращивании посадочного материала в теплицах с регулируемым микроклиматом

| Срок после посева, недель | Физиологическое состояние | Температура воздуха, °С | Влажность воздуха, % | Тип помещения |
|---------------------------|--|-------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| | Набухание и прорастание семян | +22...+25 | | Камера проращивания |
| | Появление и рост всходов | +22...+25 | | Теплица |
| | Интенсивный рост | +20...+22 | | Теплица |
| | Закладка верхушечной почки | +16...+20 | | Теплица или открытый полигон |
| | Закладка верхушечной почки, одревеснение | +10...+16 | | Открытый полигон или холодная теплица |
| | Одревеснение и закалка | +4...+10 | | Открытый полигон или хранилище |
| Более 17 | Состояние покоя | 0...-4 | | Хранилище |

Поскольку выращивание качественного посадочного материала возможно только при наличии семян нами разработан и запатентован способ учета урожая семян деревьев хвойных пород [53]. Применение данного способа, особенно в лиственничных древостоях, резко повысит точность учета, а, следовательно, возможность заготовки семян.

Рассматривая вопросы рекультивации нарушенных земель, нельзя не отметить, что нормативно-правовая база по данному вопросу еще далека от совершенства. Так, в частности, при рекультивации загрязненных нефтью земель следует, прежде всего, учитывать не количество сданных гектар, а степень восстановления на них исходных биогеоценозов [54, 55]. Эколого-хозяйственная эффективность рекультивации любых антропогенно-нарушенных земель определяется производительностью биологической продукции на восстановленных участках, то есть депонированием углерода, выделением кислорода, выполнением других сырьевых и экологических функций.

Чаще всего к вопросу рекультивации подходят односторонне. Так, действующими нормативно-правовыми документами основным критерием качества выполнения рекультивации

загрязненных нефтью земель указано содержание в почве остаточной нефти [56]. Учет остаточного содержания нефти на рекультивированных участках при их приемке безусловно необходимо. Последнее определяется высокой опасностью токсического воздействия нефти на живые организмы. Однако, указанного критерия явно недостаточно для объективной оценки качества проведения рекультивационных работ. Указанное объясняется тем, что влияние нефти и нефтепродуктов на лесные экосистемы в значительной степени зависит от микрорельефа поверхности рекультивированного участка, гидрологического режима, строения и состава почвы, ее биологической активности, степени сохранности древостоя, подроста, подлеска, живого напочвенного покрова и их видового состава. Именно сочетание указанных показателей во многом определяет скорость восстановления биогеоценоза или исходной экосистемы на нарушенных землях. При этом скорость восстановления будет существенно варьироваться даже при одинаковом содержании остаточной нефти в почве.

Не следует забывать, что скорость разложения нефти и восстановление лесных экосистем, кроме того, в значительной степени будет зависеть от региональных особенностей. В частности, от продолжительности вегетационного периода. Другими словами, нормативно-технические и нормативно-правовые документы по рекультивации нарушенных земель должны разрабатываться на зонально (подзонально)-типологической основе.

В процессе исследований проанализирована эффективность рекультивационных работ на прикустовых площадках и на других видах нарушенных земель при разведке, добыче, транспортировке и переработке полезных ископаемых [48, 51, 57]. В результате проделанных работ были получены оригинальные материалы, вошедшие в изданную монографию и диссертационную работу, подготовленную на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук [51, 57].

Итогом работы по теме являются подготовленные и переданные для опытно-производственной проверки «Рекомендации по лесовосстановлению и лесоразведению на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры» и «Рекомендации по лесовосстановлению и лесоразведению на землях лесного фонда в границах Ямало-Ненецкого автономного округа». Кроме того, разработаны способ учета урожая семян деревьев хвойных пород и способ формирования семенных полос при сплошнолесосечных рубках в ельниках [58, 59].

2.2 Эффективные способы заготовки и обработки древесины с сохранением биотопов с учетом принципов комплектования систем машин

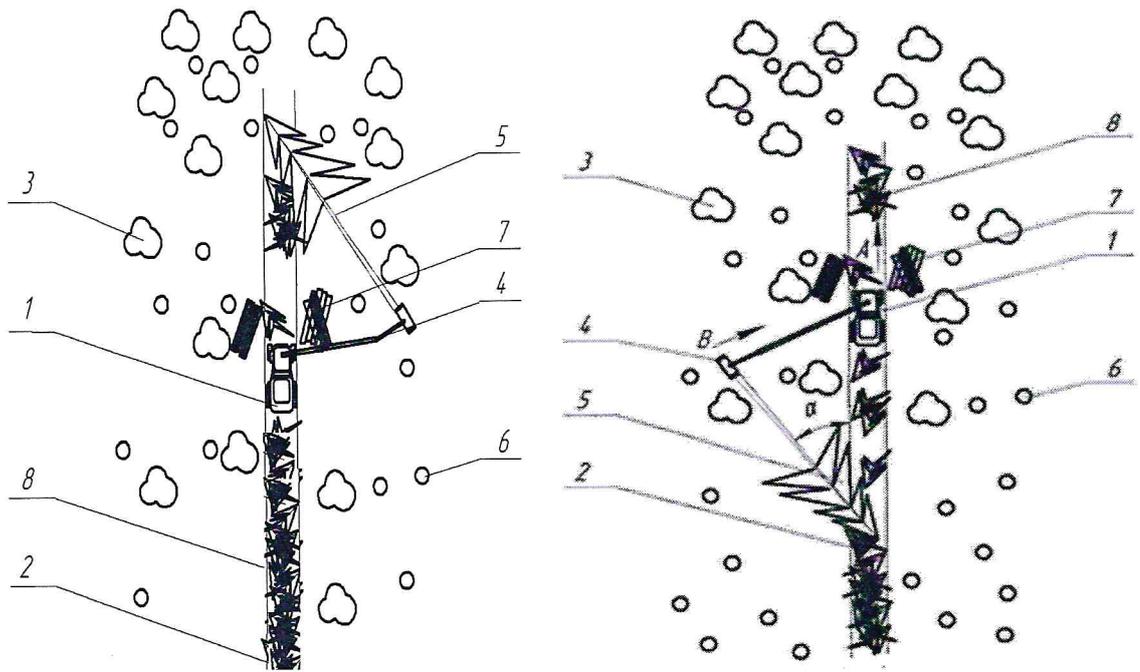
Российская лесная практика к текущему моменту определила нормативные документы, определяющие сохранение объектов биоразнообразия (биотопы) при проведении заготовки

древесины. Однако существующие способы заготовки древесины и технологические схемы освоения лесосек не в полной мере соответствуют требованиям нормативных документов [60]. Требования по сохранению биологического разнообразия, в том числе ключевых биотопов – участков леса, которые играют значительную роль в разнообразии флоры и фауны, закреплены приказами Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 01 декабря 2020 г. № 993 «Об утверждении Правил заготовки древесины и особенностей заготовки древесины в лесничествах, указанных в статье 23 «Лесного кодекса Российской Федерации».

Способы заготовки древесины ограничиваются нормативными требованиями по охране окружающей среды, в частности правил заготовки древесины и правил лесовосстановления в актуальной редакции, и технологическими требованиями [61]. Технолог в ходе эксплуатации реализует систему неистощительного (сохранности природной среды) и энергоэффективного по критерию удельной энергоемкости (производительного) лесопользования [62, 63]. Оптимизация в рамках этих ограничений и требований определяет наиболее эффективные способы и системы машин. По результатам выполненной оптимизации представлены эффективные способы заготовки и обработки древесины на основе конечных состояний предмета труда (ПТ) заготовки древесины, включая его размещение [62]. Размещение конечных состояний предмета труда относительно фазы транспорта (сортимент на лесосеке; хлыст, доставленный на лесопромышленный склад, биржу сырья и иные конечные состояния) классифицирует по общепринятым подходам способ заготовки и обработки древесины – деревьями, хлыстами, сортиментами, пиломатериалом, щепой и так далее. В этой связи рекомендации по способам заготовки эквивалентны рекомендациям по степени совмещения и размещению технических функций и конечных состояний ПТ заготовки и обработки древесины. Здесь способы или процессы понимаются как совокупность, обрабатывающе-переместительных и транспортных действий (технических функций), определяющих изменение формы (размеров, объема) и положения ПТ и получаемых вследствие этого состояний предмета труда в определенной позиции маршрута технологического процесса (ТП) [62, 64].

На основе анализа и сопоставления способов и простейшей классификации биотопов по форме и размещению в пространстве следуют следующие выводы.

1. Способ заготовки древесины с траекториями движения дерева под углом к волоку с поднятием комлевой части (валка деревьев вершинами на траекторию волока) (рисунок 21а). Способ с аналогичными траекториями, но отличающийся тем, что валка дерева производится также и в заднюю полусферу, то есть траектории движения описываются ромбом (рисунок 21б). Схема по этому способу обеспечивает сохранение плоскостных и объемных биотопов расположенных на пасаках. В большей мере это обеспечивает способ заготовки древесины ромбом, при оставлении в тупых углах ромба всех расположенных на пасаках биотопов.



а) валка дерева перед харвестером

б) валка дерева за харвестером

Рисунок 21 – Схема разработки лесосек с валкой деревьев вершиной на волок:

1 – харвестер; 2 – пасечный волок; 3 – стоящие деревья; 4 – манипулятор; 5 – поваленное дерево; 6 – подрост, молодняк, биотопы; 7 – пачки сортиментов

3. Способ со вспомогательным коридором, на котором функционирует исключительно харвестер [67]. Схема может использоваться в комбинации со схемами по п. 1 для всех типов биотопов, обеспечивая также их сохранность от воздействия форвардера. Форвардер, на который приходится основная часть повреждений почвы, подроста и оставляемого древостоя, а также биотопов, функционирует только на волоках, удаленных друг от друга на расстояние приблизительно 3,5 эффективных вылета манипулятора.

4. Схемы с заездами на полупасеки (рисунок 22) и с заездами с вспомогательным коридором (рисунок 23) практически идентичны по принципу, единственным отличием является обеспечение сохранности биотопов больших размеров. При этих способах несколько снижается производительность. Связано это с потерей времени на заезды, однако при этом возникает больше возможностей огибать площади, занятые биотопами. Заезды на соседних полупасеках сдвинуты на половину шага примыкания, что обеспечивает доступность всех деревьев на смежных полупасеках.

Выявлено, что наиболее простые схемы со вспомогательными коридорами являются наиболее эффективными и наиболее приемлемы для заготовки древесины с сохранением био-

топов, так как доля площади технологических коридоров минимальна, а схема движения рабочих органов, машин и деревьев с сортиментами позволяет сохранять от механического воздействия участки с биотопами.

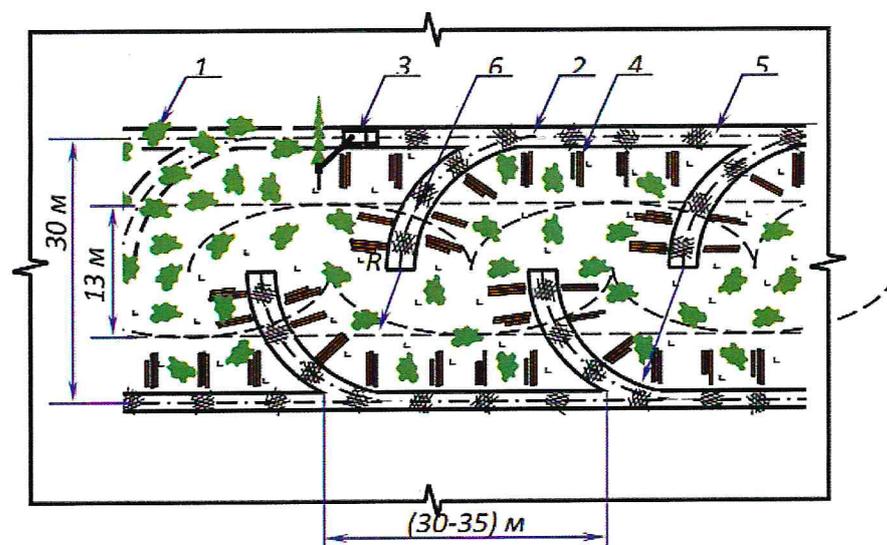


Рисунок 22 – Схема работы харвестера с заездами на полупасеки: 1 – растущий лес; 2 – волок; 3 – харвестер; 4 – пакет сортиментов; 5 – порубочные остатки; 6 – заезд на полупасеку

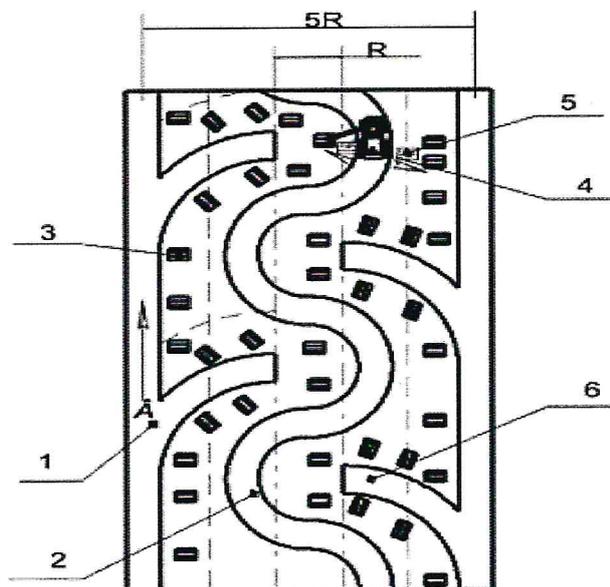


Рисунок 23 – Технологическая схема заготовки сортиментов с заездами харвестера и форвадера на полупасеки и вспомогательным коридором: 1- основные технологические коридоры; 2 - вспомогательный коридор; 3 - пачки сортиментов, сформированные при разработке пасеки посредством основного технологического коридора; 4 – харвестер; 5 - пачки сортиментов, сформированные при разработке пасеки посредством дополнительного однократного прохода харвестера по вспомогательному коридору; 6 - заезд на полупасеку и зона полупасеки.

Равнозначными по удельной энергоемкости являются все технологические процессы (способы) с одинаковыми конечными состояниями предмета труда заготовки и обработки древесины, получаемых в одинаковой степени компактности на лесосеке или складе, и для которых используется одни и те же способы транспортировки ПТ (волочение, либо полупогруженное или полностью погруженное состояние ПТ) и одни и те же транспортные средства (колесные, гусеничные и др.), определяющие значение суммарного сопротивления. Это такие способы заготовки и обработки древесины, для которых объем предмета труда не изменяется в ходе транспортировки, трелевки и т.п. К ним относятся и два предельных:

1) обработка ПТ до его максимально возможного конечного состояния (например, пиломатериал) в координатах начальной позиции маршрута (например, стоящего дерева) и последующая транспортировка обработанного ПТ в конечную позицию маршрута;

2) транспортировка деревьев в конечную точку маршрута и там его обработка до конечного состояния (при этом должны быть полностью исключены различного рода потери или отделения компонентов дерева в ходе его перемещения). То есть, либо полная обработка на лесосеке, либо альтернативно – на лесопромышленном складе, с последующей реализацией всех полученных при обработке компонентов, объем которых равен объему сырья, доставленного для обработки.

Основой для комплектования энергосберегающих машин заготовки и обработки древесины является наиболее эффективное размещение обрабатывающе-переместительных операций (функций) исходя из выбранного критерия в пространстве - времени маршрута.

Из изложенного и рекомендаций по способам, изложенным выше, формулируются следующие принципы комплектования:

- комплект машин формируется из перечня наиболее компактных по размещению обрабатывающе-переместительных функций: на лесосеке – (лесные комбайны с обработкой стоящих деревьев без приземления, далее харвардеры, харвестеры +прицепы или форвардеры, моторный инструмент + транспортные средства), на лесопромышленном складе – машины циклично поточной технологии и групповой обработки предмета труда.

- в комплект включаются обрабатывающе-переместительные машины, которые реализуют операции в позициях максимально приближенных к дереву или к конечной точке маршрута технологического процесса (например, лесопромышленный склад);

- в комплект включаются обрабатывающе-переместительные машины, которые в большей степени реализуют требование «дерево и полученные из него компоненты не должны приземляться (лесные комбайны, харвардеры, валочно-пакетирующие машины с прицепами)»;

- транспорт древесины реализуется без отделения или потерь компонентов ПТ, то есть обрабатывающе-переместительные операции, кроме операций в начальной и конечной позиции маршрута ТП, не допускаются, а также исключаются транспортные машины, которые повреждают, отделяют и теряют древесину при ее перемещении, например, трелевочные трактора при волочении или трелевке пачки в полупогруженном состоянии (сломыши, обдиры и так далее);

- в комплекты не включаются машины для дополнительной перевалки древесины (различные погрузочно-разгрузочные устройства).

- комплект «харвестер-форвардер» формируется с учетом стохастичности факторов, исходя из условия синхронизации по техническим параметрам машин, размерным и таксационным характеристикам лесосек и ограничениям на число проходов по одному следу по рейсовым нагрузкам форвардеров [68].

В рамках выполнения проекта разработана конструкция специализированной машины для освоения земель с подростом, а также технологические приемы для ее применения на сельскохозяйственных землях, зарастающих древесной растительностью. Основой для разработки технического решения является самоходная специализированная машина, обеспечивающая выполнение следующей последовательности операций:

- извлечение растений лесовозобновления из почвы;
- освобождение корневой системы от почвогрунта с возвратом последнего;
- измельчение фитомассы в однородную сыпучую фракцию;
- сжигание измельченной фитомассы с последующим внесением золы на поверхность почвы;
- заделка золы в почву прицепными дисковыми культиваторами.

На основании проведенного патентного поиска была решена техническая задача по разработке устройства для освоения земель с древесным подростом (рисунок 24) [69]. Устройство для освоения земель с древесным подростом перемещается фронтально относительно границы подростка. Плужный корчеватель подростка 1, заглубляется в почву и извлекает подрост с корневой системой. Подрост попадает в зону действия направляющего транспортера 2. Подпружиненные ветви транспортера захватывают ствол ближайшего дерева вблизи корневой системы и поштучно перемещают его, одновременно переводя в горизонтальное положение и ориентируя вперед корнем в зону работы барабана 3 с кулачками для стряхивания почвы с корней.

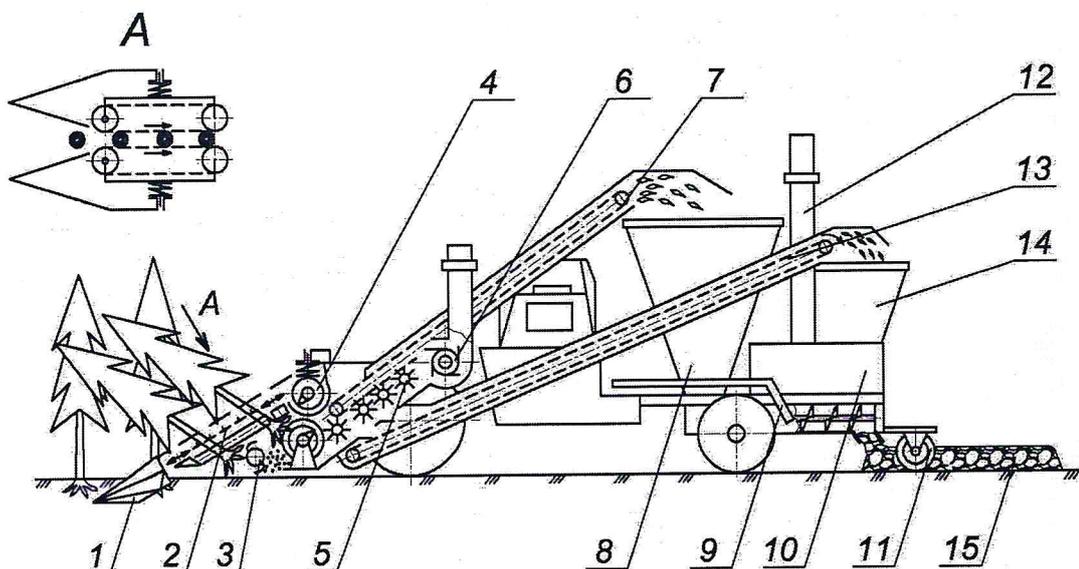


Рисунок 24 – Устройство для освоения земель с древесным подростом

Далее очищенное от почвы деревце корнями вперед подается в подпружиненные направляющие вальцы 4, которые перемещают деревце поштучно к отделителю зелени 5 для удаления древесной зелени (хвои, листвы). Очищенный ствол подроста движется в измельчитель древесины 6. Измельченная древесина с помощью наклонного транспортера 7 перемещается в бункер-накопитель 8. Подающий вибралоток 9 формирует и направляет измельченную древесную массу в термическую камеру со шнековой топкой 10. Древесная масса, проходя по шнековой топке, сгорает и превращается в золу. На выходе из шнековой топки формируется поток золы, который заделывается в почву дисковым культиватором 11. Необходимая для сгорания древесной массы тяга в термической камере создается дымовой трубой 12. Древесная зелень с помощью транспортера 13 подается в бункер термической камеры 14, в котором происходит сушка древесной зелени за счет использования тепла термической камеры. При движении данного устройства для освоения земель с древесным подростом вдоль его траектории остается очищенная от древесного подроста, обработанная культиватором и удобренная продуктами сгорания почва 15, готовая к дальнейшей обработке и выращиванию сельскохозяйственных культур.

Для практического использования описанного устройства разработана рациональная технология удаления древесно-кустарниковой растительности с извлечением растений с корневой системой и с их последующей утилизацией.

2.3 Планирование оптимального развития и размещения производительных сил, обеспечивающих производство высокотехнологичных изделий на основе комплексной переработки лесной продукции, развития внутрироссийского и экспортного рынков, а также цифровизации процессов лесного сектора экономики

В рамках текущих исследований выполнен комплекс работ по планированию развития и размещения производительных сил на основе цифровизации процессов лесного сектора экономики и комплексной переработки лесной продукции. Цифровизация лесного сектора экономики формируется на основе моделирования и обработки баз данных о биомассе лесов Евразии. В качестве метода исследований применен системный анализ баз данных о биомассе лесов для трансформации в нейронные сети искусственного интеллекта.

В рамках проекта рассмотрено повышение эффективности заготовки древесины на основе модификации методики рационального объединения (пересечения, выделения) и типизации множеств природно-производственных условий лесных участков, известной системы машин заготовки и транспорта древесины, а также размещения лесных дорог, промышленных площадок и других объектов, располагаемых на арендуемых лесных участках для транспортных, погрузочно-разгрузочных, обрабатывающих и информационных функций.

Методологическая основа исследований определялась системным подходом, объединяющим в приложении к объектам исследования инвариантные методы кластеризации, квантильной метрики, теории нечетких множеств, математической статистики, параметрические ряды, методы теории множеств. Использовалась также методика типизации природно-производственных условий арендованных лесных участков с одной стороны и параметрически однородных групп лесных машин и способов заготовки древесины с параметрами этих условий с другой.

Методы кластеризации представлены апробированными эффективно работающими стандартными способами. Под кластером понимают группу объектов, обладающих свойством отделимости от других кластеров по плотности (плотность объектов внутри кластера выше, чем вне его), дисперсии, форме, которые определяются выбранным расстоянием между параметрами объекта. Расстояние между объектами – является мерой сходства (расхождения). Расстояния могут представляться в натуральных или безразмерных (стандартизованных единицах). Евклидово расстояние – наиболее общий тип расстояния. Оно является геометрическим расстоянием в многомерном пространстве и вычисляется следующим образом:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2},$$

где d_{ij} – расстояние между объектами i и j ,

x_{ik} – значение k -той – переменной для j -го объекта.

Евклидово расстояние (и его квадрат) вычисляется по исходным, а не по стандартизованным данным. Кроме евклидова расстояния могут использоваться расстояния городских кварталов, метрики Чебышева, Минковского и другие. Однако в дальнейшем по изложенным основаниям в кластеризации используется евклидово расстояние. В практическом примере реализуется евклидово расстояние.

При объединении расстояния между объектами определяются выбранной мерой. Стандартно объединение в однородные группы реализуется следующими способами. Одиночная связь (метод ближайшего соседа). В этом методе расстояние между двумя кластерами определяется расстоянием между двумя наиболее близкими объектами (ближайшими соседями) в различных кластерах и результирующие кластеры имеют тенденцию быть представленными длинными «цепочками». Метод К-средних как метод кластеризации существенно отличается от предыдущего метода тем, что требуется предварительное знание количества кластеров. Метод К-средних строит К заданных кластеров, расположенных на возможно больших расстояниях друг от друга. В практической апробации для предварительного анализа используется метод ближайшего соседа, а для уточнения типизации и объединения - метод К-средних.

Методы квалиметрии предназначены для количественной оценки качественных факторов объекта и в нашем случае носят экспертный характер. Качественные оценки типа отлично, хорошо, удовлетворительно или «отлично – плохо» переводятся в количественные безразмерные оценки на основе, например, обобщенной функции Харрингтона. Более точными, но и более сложными в реализации аналогичной задачи, являются методы теории нечетких (расплывчатых, пушистых) множеств, основанных на лингвистической переменной Л.А. Заде. В практической апробации использованы для описания качественных факторов и последующего перевода их в количественные. Например, для перевода в квалиметрические значения следующих качественных показателей:

- наличие или отсутствие на лесном участке дорог с твердым покрытием;
- общая граница со смежным лесным участком или участками.

Методика типизации использовалась, как основа для модифицирования методики рационального объединения (пересечения, выделения) и типизации множеств природно-производственных условий лесных участков, известной системы машин заготовки и транспорта древесины, а также размещения промышленных площадок, др. объектов для транспортных, погрузочно-разгрузочных, обрабатывающих и информационных функций, располагаемых на арендуемых лесных участках. Алгоритм методики содержит следующие шаги:

1. Формулирование цели группировки, выбор и обоснование количественных и качественных факторов группировки. Разработка методики и сбор данных для выделения однородных множеств.

2. Приведение к стандартизованному виду при необходимости.
3. Обоснование способа перевода качественных факторов в количественные показатели на основе квалиметрии или методов нечетких множеств.
4. Обоснование метрики и меры расстояния между множествами параметров множества объектов лесного комплекса в их многопараметрическом описании.
5. Выбор метода объединения объектов лесного комплекса в кластеры из возможных стандартных. Выполняется на основе предварительного тестирования и сравнения качества полученных кластеров, как разведочный анализ.
6. Кластеризация и выделение кластеров, определение количества кластеров.
7. Уточнение статистических оценок для полученного количества кластеров на основе метода К-средних. При необходимости (кластеры не соответствуют физической сущности, полученные кластеры имеют различия сравнительно с разведочным анализом и т.д.) возврат к 4 шагу. В противном случае анализ кластеров и выделение из множества объектов лесного комплекса, которые подлежат совмещению и образуют систему.
8. Совмещение (пересечение, объединение) полученных множеств в соответствии с поставленной целью на основе повторного кластерного анализа или методов теории множеств. Например, кластеризация однородных групп природно-производственных условий с одной стороны и однородных групп или параметрических рядов лесных машин с другой. При необходимости приложение к полученной системе одних и тех же способов, методов, моделей оптимизации, обеспечивающих повышение их эффективности по различным критериям.

Данная методика позволяет реализовать объединение всех составляющих предметно-функциональных частей технологии заготовки и обработки древесины, в том числе и недвижимых объектов для любого уровня иерархии систем заготовки и обработки древесины, начиная с минимальной – лесосеки. При необходимости, выполнить разработку оптимальной или рациональной технологии, рассматриваемой как развивающееся, уточняемое и дополняемое явление в определенные пространственные и временные интервалы.

Апробация разработанной методики была выполнена в условиях арендного участка лесных земель инвестиционного проекта ООО «Синергия». Разработанная методика представляется следующим выражением операций пересечения и последующего объединения однородных групп производных множеств локальных обрабатывающих транспортно-перегрузочных лесных объектов

$$МПО_{ij} = \cup_{i,j}^n (МПУ_i \cap МСМ_j), \quad (7)$$

где МПО_{ij} – производное ij-ое множество локальных обрабатывающих транспортно-перегрузочных лесных объектов;

МПУ_{*i*} – *i*-ые лесные участки с присущими им природно-производственными условиями;
 МСМ_{*j*} – *j*-ые, параметрически заданные системы машин и способы заготовки древесины;
 n - количество локальных обрабатывающих транспортно-перегрузочных лесных объектов.

В связи с тем, что типизация выполнена на основе кластерного анализа в программной среде «Statistica» поясняющие рисунки, таблицы представляются в виде копий экранов (рисунок 25, 26).

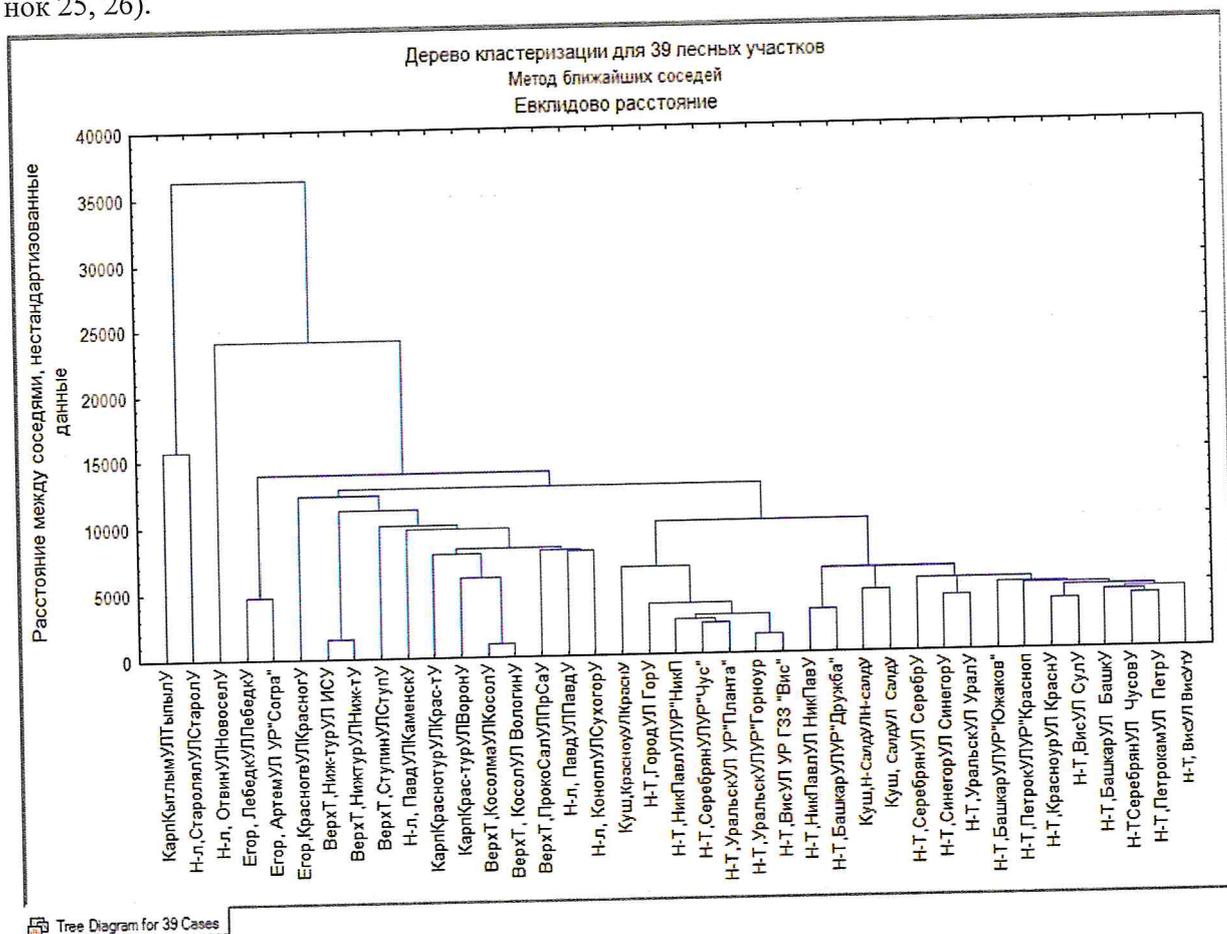


Рисунок 25 – Дерево кластеризации и графическое представление кластеров для 39 арендованных лесных участков ООО «Синергия»

На основе обзора и анализа для кластеризации принимается в качестве первичного метод одиночной связи (метод ближайшего соседа) для предварительной оценки количества кластеров. В последующем, для уточнения и проверки качества выделенных кластеров, метод К-средних. При кластеризации, для всех методов используется евклидово расстояние. Кластеризация проводится для 39 участков по 6 параметрам. Результаты кластеризации представлены на рисунке 26. По итогам решения выделены следующие кластеры с лесными участками в следующем составе. Фрагмент выделенных кластеров представлен на рисунке 25.

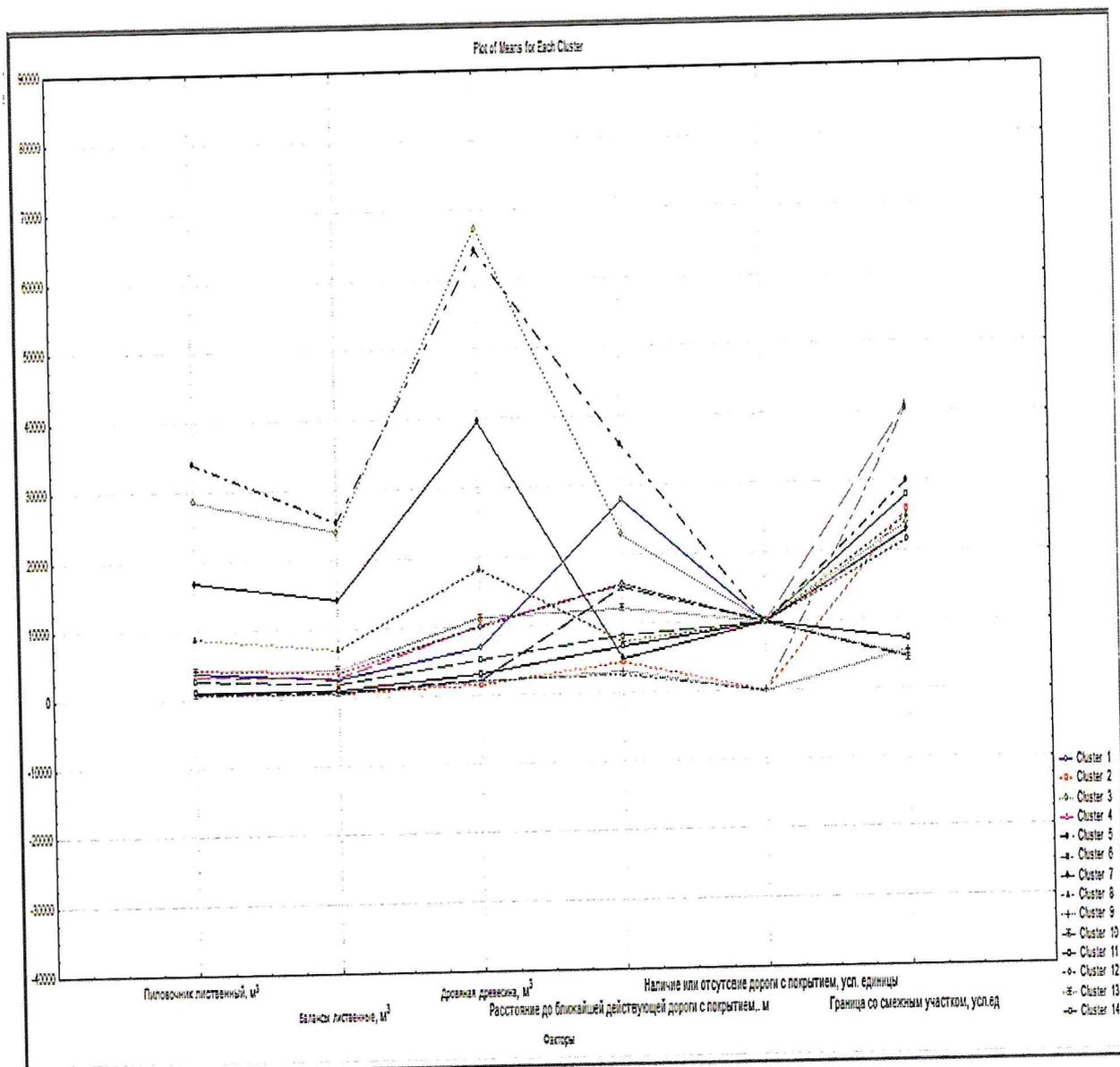


Рисунок 26 – Графическое отображение кластеров по средним значениям факторов

По перечисленным кластерам и соответствующим им лесным участкам формулируются выводы в рамках промежуточного этапа. Оставшиеся кластеры требуют дополнительного анализа с расчетами описательных статистик (средних значений, минимального и максимального расстояния, дисперсии и пр.).

На основе предварительного вывода следует необходимость дополнительного, более основательного анализа на основе метода К-средних с целью получения статистических оценок, выделенных 14 кластеров. Результаты кластеризации методом К-средних представлены на рисунке 26.

Анализ средних значений определил, что наибольший разброс значений по всем 14 кластерам имеют: объемы дровяной древесины, включая балансы лиственные; расстояния из условных центров лесных участков до действующей дороги с твердым покрытием; смежность лесных участков (наличие общих границ), а также географическое размещение лесных участков и объемы заготавливаемой древесины в целом по каждому из участков.

Известные подходы типизации объектов лесного комплекса характеризуются отсутствием в процедуре группировки локальных обрабатывающих транспортно-перегрузочных множеств недвижимых объектов в виде лесных дорог, промышленных площадок и др. объектов для транспортных, погрузочно-разгрузочных, обрабатывающих, информационных функций, располагаемых на арендуемых лесных участках. В связи с отсутствием данных множеств конечный результат является неполным в рациональной системе лесного комплекса. Разработанная модифицированная методика типизации в дополнение к известным стандартным процедурам кластеризации отличается от известных включением и объединением локальных обрабатывающих транспортно-перегрузочных множеств недвижимых объектов, параметрически заданной системы лесных машин и множествами лесных участков.

Практическая значимость заключается в получении конечного результата в виде рекомендаций по рациональным множествам лесных дорог, размещенным промышленным площадкам и др. объектам для транспортных, погрузочно-разгрузочных, обрабатывающих и информационных функций, реализуемых на арендуемых лесных участках.

3 Разработка технологий рационального использования растительных ресурсов и отходов деревообрабатывающей промышленности, уменьшения их экологического вреда

3.1 Исследование модифицированных сорбентов на основе скорлупы кедрового ореха

В последние годы скорлупа кедрового ореха (СКО) начала рассматриваться в качестве актуального сырья для синтеза углеродных материалов, обладающих хорошей сорбирующей способностью по отношению к ряду соединений. Многотоннажный отход заготовки семян сосны кедровой сибирской (до 55 % от исходной массы ореха) представляет собой ценный материал, содержащий в своем составе 38,6% целлюлозы и 23,8% лигнина [70]. Присутствие перечисленных компонентов может обеспечить достаточное содержание функциональных групп, участвующих в процессах при извлечении ионов металлов. Поскольку при естественном произрастании кедровников компонентный состав растительной биомассы может отличаться в разных регионах, необходимо выбрать эффективные методы модификации, позволяющие улучшить физико-химические и сорбционные характеристики углеродных материалов, получаемых из скорлупы кедрового ореха [71]. Среди методов активации нативных (исходных)

целлюлозосодержащих отходов наибольшее распространение получили способы термической и химической модификации [72]. Термическая модификация позволяет улучшить параметры пористой структуры растительно-содержащих отходов и получить мезо-макропористый сорбент, причем температура активирования является одним из основных переменных факторов, влияющих на качества сорбента [73]. Однако, карбонизация при высокой температуре 600-сорбционных процессов ионогенных групп [74]. Более низкие температуры 250-300 °С позволяют сохранить химическую активность лигнина и целлюлозы [75].

Химическая обработка целлюлозосодержащего сырья (воздействием кислот, щелочей, перекиси водорода и т.д.) является тем методом модификации, при котором не только удаляется часть органических компонентов, но и происходит преобразование качества и количества функциональных групп, например, кислородсодержащих ионогенных групп, обуславливающих катионообменные свойства синтезируемых углеродных сорбентов [76, 77]. Варьирование применяемых кислот способствует получению сорбентов, обладающих определённым составом азот- и кислородсодержащих функциональных групп, причем величина концентрации кислоты может повлиять как на увеличение, так и на уменьшение содержания этих группировок.

На данном этапе выполнения проекта было проведено сравнение физико-химических характеристик и сорбционных свойств углеродных материалов на основе СКО, полученных методами термической модификации и химической обработки растворами азотной кислоты. Для этого высушенную скорлупу кедрового ореха предварительно измельчали на лабораторной мельнице марки High Multifunctional Grinder CE мощностью 3000 W и фракционировали ситовым методом. Известно, что размер частиц влияет на содержание функциональных группировок на поверхности углеродного сорбента [78, 79]. Для оценки содержания кислородсодержащих функциональных групп (КФГ) отобраны две фракции с размером частиц 0,1-0,5 мм (образец 1.1) и 0,55-0,75 мм (образец 1.2). Количество гидроксильных и карбоксильных группировок было определено методом потенциометрического титрования (таблица 13).

Таблица 13 – Характеристики исследуемых образцов СКО

| Условия модификации СКО | Фракция 0,1-0,5 мм | | | Фракция 0,55-0,75 мм | | |
|--|--------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|
| | № образца | E _н , мг·экв/г | E _с , мг·экв/г | № образца | E _н , мг·экв/г | E _с , мг·экв/г |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Немодифицированные (нативные) образцы | 1.1 | 5 | 3,66 | 1.2 | 6,0 | 2,0 |
| Термически модифицированные образцы | 2.1 | 8,57 | 8,57 | 2.2 | 9,0 | 8,6 |
| Химически модифицированные образцы (серии 3.1 и 3.2) | | | | | | |
| 0,5н HNO ₃ | 3.1-0.5н | 3,33 | 3,33 | 3.2-0.5н | 8,9 | 7,5 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|----------|------|------|----------|-------|------|
| 1н HNO ₃ | 3.1-1н | 4,5 | 3,5 | 3.2-1н | 9,2 | 7,6 |
| 3н HNO ₃ | 3.1-3н | 5,4 | 3,2 | 3.2-3н | 10,7 | 7,3 |
| 5н HNO ₃ | 3.1-5н | 6,33 | 2,17 | 3.2-5н | 11,0 | 7,1 |
| Термохимическая модификация (серии 4.1 и 4.2) | | | | | | |
| 0,5н HNO ₃ | 4.1-0.5н | 4,5 | 3,1 | 4.2-0.5н | 7,27 | 1,67 |
| 1н HNO ₃ | 4.1-1н | 6,1 | 3,4 | 4.2-1н | 8,69 | 1,95 |
| 3н HNO ₃ | 4.1-3н | 6,5 | 3,5 | 4.2-3н | 10,5 | 2,2 |
| 5н HNO ₃ | 4.1-5н | 7,1 | 3,2 | 4.2-5н | 12,73 | 3,33 |

Результаты, представленные в таблице 13, свидетельствуют о влиянии дисперсности образцов на количество определяемых данным методом функциональных групп. Так, нативные образцы независимо от размера частиц содержат приблизительно одинаковое количество гидроксильных групп. В то время как содержание карбоксильных групп сорбента (образец 1.1) почти вдвое больше по сравнению с содержанием этих же групп образца 1.2.

Термическую модификацию исходных образцов 1.1 и 1.2 проводили в соответствии с методикой, изложенной в публикациях Г.Б. Камбаровоу и А.В. Оболенской [80, 81]. При 300 С выход при термической обработке не менее 49,2% от исходной навески. Выбранная температура обжига обеспечила постепенное выгорание полисахаридов и полифенолов, что привело к изменению функциональных групп [82]. В отличие от результатов обжига скорлупы грецкого ореха и торфа после термической обработки исследуемых образцов наблюдается увеличение содержания гидроксильных и карбоксильных группировок на поверхности сорбентов 2.1 и 2.2, соответственно в 1,5-1,7 и 2,3-4,3 раза (таблица 13) [80, 81]. а Состав и свойства активных углей, полученных из отходов орехового дерева, Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы

После контакта исследуемых образцов с растворами азотной кислоты наблюдается увеличение содержания данных групп гидроксильных и карбоксильных группировок на поверхности сорбентов 2.1 и 2.2, соответственно в 1,5-1,7 и 2,3-4,3 раза. Качественный состав функциональных групп нативного и модифицированных образцов СКО на основе фракции 0,55-0,75 мм изучали методом ИК-спектроскопии (таблица 14). Интерпретация ИК-спектров велась в соответствии с [83].

О наличии гидроксильных группировок в составе образцов СКО свидетельствует колебание групп ОН-групп в диапазоне 3341-3375 см⁻¹ и 647-660 см⁻¹. На присутствие в сорбентах ионизированных карбоксильных групп указывают валентные симметричные и асимметричные колебания групп (С-О) в диапазоне 1550-1560 см⁻¹ и полосы поглощения в области двойных связей С=О (1720-1735 см⁻¹) [80].

Таблица 14 – Данные ИК-спектроскопии образцов на основе фракции 0,55-0,75 мм

| Отнесение полос поглощения* | Максимум полосы поглощения для образца, см ⁻¹ | | | |
|--|--|--------------|--------|--------|
| | 1.2 | 2.2 | 3.2-5н | 4.2-5н |
| ν ОН-групп, участвующих в межмолекулярных и внутримолекулярных Н-связях | 3375 | 3350 | 3346 | 3341 |
| ν связей в группах СН и СН ₂ | 2950 | 2895 | 2864 | 2868 |
| ν связей С=О | 1725 1720 | 1735 | 1734 | - |
| Колебания фенильного кольца | 1601 | 1603 | 1603 | 1604 |
| ν связей COO ⁻ | 1560 1555 | 1556 1551 | 1550 | - |
| δ групп СН, обусловлено присутствием ароматических примесей (лигнина) | 1450 | 1450 | 1475 | - |
| ν связей О-Н, включенных в водородную связь | 658 650 | 660 | 647 | 657 |

Примечание. * ν –валентные колебания, δ –деформационные колебания

Химическую модификацию образцов СКО проводили при температуре 80 °С в среде растворов азотной кислоты различной концентрации – 0,5н HNO₃, 1н HNO₃, 3н HNO₃, 5н HNO₃ (таблица 13). Показано, что более заметное увеличение содержания карбоксильных групп в результате окислительного деметилирования нефенольных и фенольных единиц лигнина СКО до *o*-хинона и дальнейшего окисления до дикарбоновых кислот наблюдается для образцов серии 3.2 (3.2-0.5н, 3.2-1н, 3.2-3н, 3.2-5н) на основе фракции 0,55-0,75 мм [84]. В то время как для образцов 3.1-0.5н, 3.1-1н, 3.1-3н, 3.1-5н с повышением концентрации кислоты увеличивается только количество гидроксильных группировок. В отличие от данных, приводимых авторами Г.Б. Камбаровоу и А.В. Оболенской для химических модифицированных скорлупы грецкого ореха и торфа, в настоящем исследовании не было зарегистрировано в ИК-спектрах образцов СКО серий 3.1 и 3.2 значительного присутствия нитро- и других азотсодержащих групп

Представляло интерес исследовать характеристики сорбционных материалов, применяя для их получения в комплексе стадии обжига и химической модификации. Для полученных образцов серий 4.1 и 4.2 (таблица 13) установлено, что и термохимическая обработка приводит к увеличению преимущественно гидроксильных групп, особенно в случае образцов 4.2-0.5н, 4.2-1н, 4.2-3н, 4.2-5н. Удельная поверхность образцов серии 4.2 составила 135–149 м²/г.

Традиционно большинство углеродных материалов используется для сорбционного извлечения органических молекул, поэтому важным фактором в этом случае является удельная поверхность адсорбентов [81]. В данной работе методом БЭТ была проведена оценка удельной поверхности образцов по методике для Sorbi-M и установлено, что корректные результаты

можно получить только для образцов на основе фракции 0,55-0,75 мм. Причем химическая модификация 5н азотной кислотой способствует увеличению удельной поверхности сорбента 3.2-5н в 2,5 раза по сравнению с нативным образцом 2.2, в то время как обжиг и обработка 0,5н азотной кислотой заметно снижают аналогично удельной поверхности [82].

Оценку возможности применения полученных сорбционных материалов для обезвреживания сточных вод от ионов тяжелых металлов провели на выбранных образцах, полученных на основе фракции СКО 0,55-0,75 мм: термомодифицированный (2.2), химически модифицированные (3.2-0,5н, 3.2-5н) и образцы после термохимической обработки (4.2-0,5н, 4.2-5н) (таблица 15). Было изучено сорбционное поведение этих сорбентов по отношению к ионам меди(II) и цинка(II) (рисунок 27), отличающихся ковалентным индексом [85, 86].

Таблица 15 – Физико-химические и сорбционные характеристики образцов СКО после сорбции ионов меди(II) и цинка(II)

| № образца | Eh, мг·экв/г | Ec, мг·экв/г | ССu, мг/г | № образца | Eh, мг·экв/г | Ec, мг·экв/г | СZn, мг/г |
|-------------|-----------------|-----------------|--------------|-------------|-----------------|-----------------|--------------|
| 1.2+Cu | 5,3 | 3,1 | 3,23 | 1.2+Zn | 7,9 | 6,75 | 12,1 |
| 2.2+Cu | 9,8 | 4,89 | 8,16 | 2.2+Zn | 9,8 | 4,89 | 9,6 |
| 3.2-0,5н+Cu | 8,9 | 4,72 | 7,54 | 3.2-0,5н+Zn | 9,2 | 5,49 | 13,1 |
| 3.2-5н+Cu | 12,45 | 5,88 | 11,25 | 3.2-5н+Zn | 11,45 | 4,35 | 13,5 |
| 4.2-0,5н+Cu | 10,1 | 4,46 | 8,54 | 4.2-0,5н+Zn | 10,1 | 4,46 | 15,9 |
| 4.2-5н+Cu | 12,89 | 3,44 | 11,98 | 4.2-5н+Zn | 11,87 | 3,74 | 16,1 |

Выявлено, что изотерма сорбции ионов меди(II) (рисунок 27), согласно классификации С. Брунауэра, Л. Деминга, У. Деминга и Э. Теллера, характерна для микропористых твёрдых тел с относительно малой долей внешней поверхности [87, 88, 89]. А вид изотермы сорбции ионов цинка(II) выбранными образцами модифицированной СКО указывает на полимолекулярную адсорбцию на пористых или макропористых адсорбентах. Максимальная сорбционная емкость образцов по отношению к ионам цинка практически не зависит от методов модификации СКО (таблица 15). В случае же извлечения ионов меди можно выделить как наиболее перспективные сорбенты 3.2-5н и 4.2-5н, полученные с помощью химической и термохимической модификации 5н азотной кислотой.

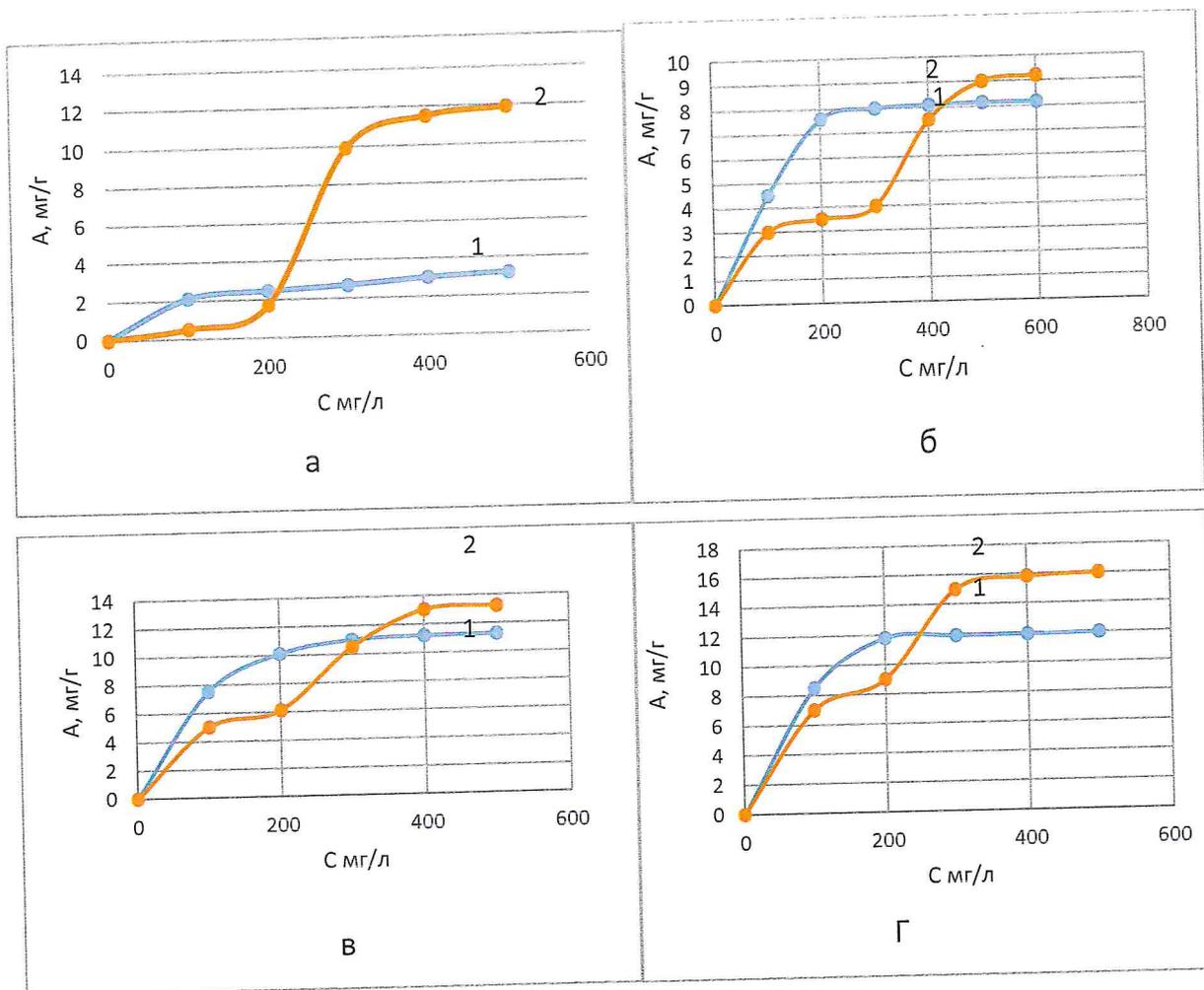


Рисунок 27 – Зависимость сорбционной емкости (A) образцов модифицированного СКО от равновесной концентрации ионов меди (1) и цинка (2) в растворе (Сравн): а) образец 1.2; б) образец после термической обработки 2.2; в) образец после химической обработки 3.2-5н; г) образец после комплексной термохимической обработки 4.2-5н.

Основным механизмом сорбции ионов металлов углеродными сорбентами является ионный обмен, сопровождающийся образованием поверхностных комплексных соединений с участием слабокислотных функциональных фенольных и карбоксильных групп, что обуславливает повышение сорбционной емкости исследуемых модифицированных образцов по отношению к ионам металлов (для сравнения: сорбционная емкость лигнина составляет 1,5 мэкв катионов на 1 г лигнина) [84, 90, 91, 92]. Сопоставление данных, полученных методом потенциометрического титрования, по количеству функциональных группировок в составе сорбентов до и после сорбции ионов металлов (таблицы 1 и 3) указывает на существенные изменения в структурных характеристиках модифицированной СКО за счет возможного окисления альдегидных групп лигнина в присутствии металлсодержащих компонентов [93].

Испытание сорбционных свойств образцов 1.2, 2.2 и 3.2-5н (масса образцов СКО 3 г) в динамических условиях проводили при пропускании через слой адсорбента (высота слоя 8-9 см, скорость 0,5 мл/мин) 100 мл раствора соли меди(II) ($C_{Cu^{2+}} = 98$ мг/л), для десорбции использовали 5 н H_2SO_4 . В результате первого цикла сорбции-десорбции извлечение меди составило 100 %, второй цикл, проведённый после отмывки сорбента от кислоты, показал сохранение до 90 % сорбционной емкости по ионам меди и 100 %-ную десорбцию.

3.2 Получение и изучение свойств композитов на основе поливинилхлорида с лигноцеллюлозными наполнителями, полученными из неиспользуемых промышленных и растительных отходов

В рамках проекта проведены исследования по изучению возможности получения полимерных композиционных материалов с полимерной фазой поливинилхлорида (ПВХ) и лигноцеллюлозными наполнителями, представляющими собой неиспользуемые промышленные и растительные отходы (древесная пыль производства древесностружечных плит и фанеры, опилки бука, оболочка семян пшеницы и овса, солома пшеницы, костра конопли) [95-99]. Для оценки влияния содержания лигнина и целлюлозы в наполнителе на способность биоразложения в грунте композитов с полимерной фазой ПВХ и лигноцеллюлозными наполнителями были выполнены исследования свойств древесно-полимерных композитов с полимерной матрицей первичного ПВХ марки SG-5, наполненных смесями мелкодисперсного крафт-лигнина и микрокристаллической целлюлозы. В качестве пластификатора был применён технический дибутилфталат (ДБФ), а качестве лубриканта использовался полиэтиленовый воск марки ПВ-200. Смешение компонентов ДПК осуществлялось в одношнековом лабораторном экструдере при температуре 180 °С. Стандартные образцы для испытаний свойств композитов были получены методом горячего прессования при температуре 180 °С и давлении 5 МПа. Рецептуры исследованных композитов представлены в таблице 16.

Таблица 16 - Рецептуры образцов композитов

| Номер образца | Содержание компонента в образце композита, % | | | | |
|---------------|--|--------|-----|--------------|----------------|
| | ПВХ SG-5 | ПВ-200 | ДБФ | Крафт-лигнин | Микроцеллюлоза |
| 1 | 40,5 | 1,5 | 8,0 | 0,0 | 50,0 |
| 2 | 40,5 | 1,5 | 8,0 | 10,0 | 40,0 |
| 3 | 40,5 | 1,5 | 8,0 | 20,0 | 30,0 |
| 4 | 40,5 | 1,5 | 8,0 | 30,0 | 20,0 |
| 5 | 40,5 | 1,5 | 8,0 | 40,0 | 10,0 |
| 6 | 40,5 | 1,5 | 8,0 | 50,0 | 0,0 |
| 7 | 90,5 | 1,5 | 8,0 | 0,0 | 0,0 |

Для полученных образцов ДПК были определены следующие показатели физико-механических свойств: плотность, твердость, число упругости, пластичность, модуль упругости при сжатии, прочность при изгибе, ударная вязкость, водопоглощение за 24 ч, водопоглощение за 30 суток, температура размягчения по Вика, а также способность к биодegradации.

Несомненно, что морфология композитов влияет и на их физико-химические свойства, поскольку биодegradации подвержена фаза органических наполнителей и на её скорость может повлиять состав композитов [94]. Оценка способности образцов ДПК к биодegradации производилась по величине потери массы после выдержки в активированном грунте в течение 6 месяцев. Для эксперимента был использован грунт следующего состава: почва садовая (ГОСТ-Р 53381-2009) – 89 об. %, вода дистиллированная – 10 об. %, микробиологический препарат «Тамир» (ТУ 9291-002-70213832-2007) - 1 об. %. В состав препарата входят бактерии *Lactobacillus casei*, *Streptococcus lactis*, *Saccaromyces cerevisiae*, а также сапрофитные микроорганизмы, ферменты и другие биологически активные вещества, способствующие разложению органических соединений. Перед проведением эксперимента активный грунт выдерживался при комнатной температуре в течение 21 суток. Во время проведения эксперимента влажность грунта поддерживалась на уровне 30 мас. %.

Стандартный образец композита для испытаний в активированном грунте представлял собой прямоугольную пластину размерами 15×10×5 мм. Перед экспонированием в грунте образцы композитов высушивались в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянной массы. После чего погружались в активный грунт на глубину 2 см. Через фиксированные промежутки времени образцы извлекались из грунта, тщательно очищались и промывались этиловым спиртом, а затем высушивались до постоянной массы, после чего определялось изменение массы (потеря) относительно исходных значений.

Статистический анализ результатов экспериментов показал, что содержание крафт-лигнина в композите, в отличие от содержания микрокристаллической целлюлозы, не оказывает влияния на способность композита к биоразложению в грунте.

Экспериментально-статистическая зависимость показателя потери массы композита после шести месяцев выдержки его в активном грунте (Y) от содержания в нём целлюлозы (x) имеет следующий вид:

$$Y = 3,7412 + 0,0163x + 0,0033x^2, \quad (8)$$

где $R^2 = 0,8342$

Следовательно, для получения композиционных материалов с высокой скоростью биоразложения приоритетным является применение лигноцеллюлозных наполнителей с высоким содержанием целлюлозы.

Для получения ДПК с пониженной скоростью биодеградации были проведены исследования по оценке влияния на степень их биоразложения в грунте введения биоцида Ултан в наполнитель (древесная мука) композита с полимерной фазой первичного ПВХ (СИ-67). Наполнитель предварительно пропитывался биоцидом, затем высушивался до постоянной массы при температуре 105 °С. Смешение компонентов композитов (древесная мука с биоцидом, дибутилфталат, полиэтиленовый воск марки ПВ-200) производилось на лабораторном одношнековом экструдере с тремя зонами нагрева (180, 190 и 200 °С). Стандартные образцы композитов для испытаний изготавливались методом горячего прессования. Рецептатура полученных лабораторных образцов композитов приведена в таблице 17.

Таблица 17 - Рецепттуры образцов композитов

| № образца | Содержание компонентов в композите, мас. % | | | | Расход биоцида «Ултан» на 100 г древесной муки, г |
|-----------|--|--------|-----|------------------------|---|
| | ПВХ | ПВ-200 | ДБФ | наполнитель с биоцидом | |
| 1 | 40,5 | 1,5 | 8 | 50 | 0 |
| 2 | 40,5 | 1,5 | 8 | 50 | 1 |
| 3 | 40,5 | 1,5 | 8 | 50 | 2,5 |
| 4 | 40,5 | 1,5 | 8 | 50 | 10 |

Были получены и проанализированы экспериментально-статистические зависимости влияния компонентов ДПК и содержания биоцида в наполнителе на следующие свойства композитов: твердость по Бринеллю, модуль упругости при сжатии, пластичность, число упругости, ударная вязкость, прочности при изгибе, водопоглощение, температура размягчения по Вика, потеря массы при выдержке в активированном грунте до 120 суток. Установлены положительные и отрицательные эффекты влияния биоцида «Ултан» на физико-механические свойства ДПК по сравнению с эталонным образцом (образец 1).

У эталонного образца ДПК наблюдается динамика небольшого увеличения потери массы после выдержки в активированном грунте в диапазоне 60-120 суток от 0,4 до 1,8 %, то у всех образцов, содержащих биоцид «Ултан», потеря массы в этот период составляет 0,2-0,3 %.

В настоящее время в больших объёмах производится различная продукция с использованием термопластичных производных целлюлозы, в том числе, ацетатов целлюлозы (АЦ). Ацетаты целлюлозы применяются как основные компоненты материалов для производства фильтров, мембран, плёнок, текстиля, пластиков. Одной из актуальных современных задач является обезвреживание промышленных отходов, изделий, вышедших из

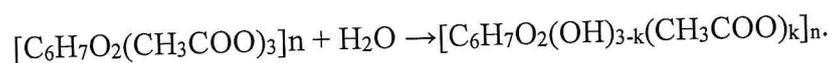
потребления продуктов, содержащих ацетаты целлюлозы. Одним из наиболее распространённых видов таких отходов являются ацетатные плёнки.

В выполненной работе основной целью являлось получение методом горячего прессования биокompозитов с полимерной фазой в виде пластифицированных ацетатов целлюлозы и наполнителя (древесной муки, отходы ацетатной фотоплёнки), а также определение закономерностей влияния химического строения и компонентного состава биокompозитов на их способность к разложению в активированном грунте и физико-химические свойства. В задачи работы входило получение и анализ экспериментально-статистических зависимостей от состава компонентов свойств полученных биокompозитов, а также оценка их потенциала для практического применения.

Основным объектом исследований являлись биокompозиты в форме дисков толщиной 5 мм с диаметром 90 мм полученные в лабораторных условиях горячим прессованием в пресс-форме при температуре плит пресса 180 °С и выдержке при максимальном давлении 10 МПа в течении 15 минут с последующим охлаждением до температуры 60 °С. Дополнительными объектами были: листы, полученные из механической смеси компонентов биокompозитов на лабораторных вальцах при температуре вальцевания 150-160 °С; вырезанные из полученных дисков образцы биокompозитов с требуемыми размерами для измерения их свойств.

В качестве исходного сырья для получения биокompозитов использовали: ацетат целлюлозы со степенью ацетилирования 2,41, произведённый ОАО «Ацетат Химволокно» по требованиям ТУ 6-05-943-75; триацетат глицерина (триацетин); дибутиловый эфир фталевой кислоты (дибутилфталат) (ДБФ); трибутилфосфат (ТБФ); стеарат кальция, древесная мука (ДМ) хвойных пород древесины марки 180, произведённая ООО «Юнайт» по требованиям ГОСТ 16361-87, отходы ацетатной фотоплёнки, предоставленные Союзом отходоперерабатывающих предприятий Уральского федерального округа.

Образцы ацетатов целлюлозы с различной степенью ацетилирования (k) были получены щелочным гидролизом триацетата целлюлозы:



Для полученных композитов определяли твердость по Бринеллю, модуль упругости при сжатии, и пластичность по ГОСТ 4670-67, прочность при изгибе по ГОСТ 17036-71 и водопоглощение по ГОСТ 19592.

Для проведения экспериментов необходимо было подобрать универсальный состав пластификаторов, способный обеспечивать смеси АЦ с пластификаторами достаточную текучесть для смешения пластифицированных АЦ с наполнителями биокompозитов методом

вальцевания. Критерием выбора состава смеси пластификаторов являлся показатель текучести расплава (ПТР) пластифицированных АЦ не ниже 0,5 г/10 минут при нагрузке 5 кгс и температуре 190 оС. В результате определения ПТР пластифицированных АЦ для дальнейших экспериментов было выбрано следующее постоянное соотношение компонентов полимерного связующего биокompозитов: АЦ – 62 мас. %; триацетин – 30 мас. %; трибутилфосфат – 8 мас. %.

Для оценки влияния степени ацелирования целлюлозы на свойства биокompозита на основе пластифицированного ацетата целлюлозы и древесной муки (далее – ПлаЦДМ) был проведён эксперимент по плану, приведённому в таблице 18. В этом эксперименте варьировали долю древесной муки в составе композита в диапазоне 0 – 50 мас. %.

Таблица 18 - Рецептуры биокompозитов

| № образца | Степень замещения АЦ (к) | Содержание компонентов в образцах композита, мас. % | | | |
|-----------|--------------------------|---|-----------|-----|------|
| | | пластифицированный АЦ | | | ДМ |
| | | АЦ | триацетин | ТБФ | |
| 1 | 2,41 | 62,0 | 30,0 | 8,0 | 0,0 |
| 2 | | 55,8 | 27,0 | 7,2 | 10,0 |
| 3 | | 43,4 | 21,0 | 5,6 | 30,0 |
| 4 | | 31,0 | 15,0 | 4,0 | 50,0 |
| 5 | 2,29 | 62,0 | 30,0 | 8,0 | 0,0 |
| 6 | | 55,8 | 27,0 | 7,2 | 10,0 |
| 7 | | 43,4 | 21,0 | 5,6 | 30,0 |
| 8 | | 31,0 | 15,0 | 4,0 | 50,0 |
| 9 | 2,19 | 62,0 | 30,0 | 8,0 | 0,0 |
| 10 | | 55,8 | 27,0 | 7,2 | 10,0 |
| 11 | | 43,4 | 21,0 | 5,6 | 30,0 |
| 12 | | 31,0 | 15,0 | 4,0 | 50,0 |
| 13 | 2,07 | 62,0 | 30,0 | 8,0 | 0,0 |
| 14 | | 55,8 | 27,0 | 7,2 | 10,0 |
| 15 | | 43,4 | 21,0 | 5,6 | 30,0 |
| 16 | | 31,0 | 15,0 | 4,0 | 50,0 |
| 17 | 1,81 | 62,0 | 30,0 | 8,0 | 0,0 |
| 18 | | 55,8 | 27,0 | 7,2 | 10,0 |
| 19 | | 43,4 | 21,0 | 5,6 | 30,0 |
| 20 | | 31,0 | 15,0 | 4,0 | 50,0 |

Для полученных образцов дисков были определены следующие показатели их свойств: плотность, твёрдость по Бринеллю, пластичность, модуль упругости при сжатии, ударная вязкость, прочность при изгибе, водопоглощение за сутки и 30 суток, степень разложения при выдержке в активированном грунте в течение 90 и 120 суток.

На степень разложения полученных биокomпозитов в активированном грунте наибольшее влияние оказывает изменение степени ацетилирования АЦ. Повышение степени ацетилирования АЦ приводит к уменьшению степени разложения полученных биокomпозитов в грунте (рисунок 28). Влияние на это свойство содержания в полученных биокomпозитах ДМ имеет экстремальный характер: при невысоких степенях наполнения способность материала к биоразложению в грунте снижается, достигая минимума при содержании ДМ порядка 50 м.ч.; при дальнейшем увеличении содержания ДМ способность материала к разложению в активированном грунте возрастает.

Повышение степени ацетилирования АЦ уменьшает также водопоглощение полученных биокomпозитов, но существенно увеличивает их модуль упругости при сжатии и прочность при изгибе. Увеличение показателей физико-механических свойств биокomпозитов при этом обусловлено снижением интенсивности образования водородных связей между макромалекулами АЦ в образцах более высокими степенями ацетилирования, что в свою очередь позволяет получать биокomпозиты с более равномерным распределением наполнителя в полимерной фазе АЦ. Увеличение содержания в композиции ДМ повышает модуль упругости при сжатии, но уменьшает прочность при изгибе, пластичность и ударную вязкость биокomпозита.

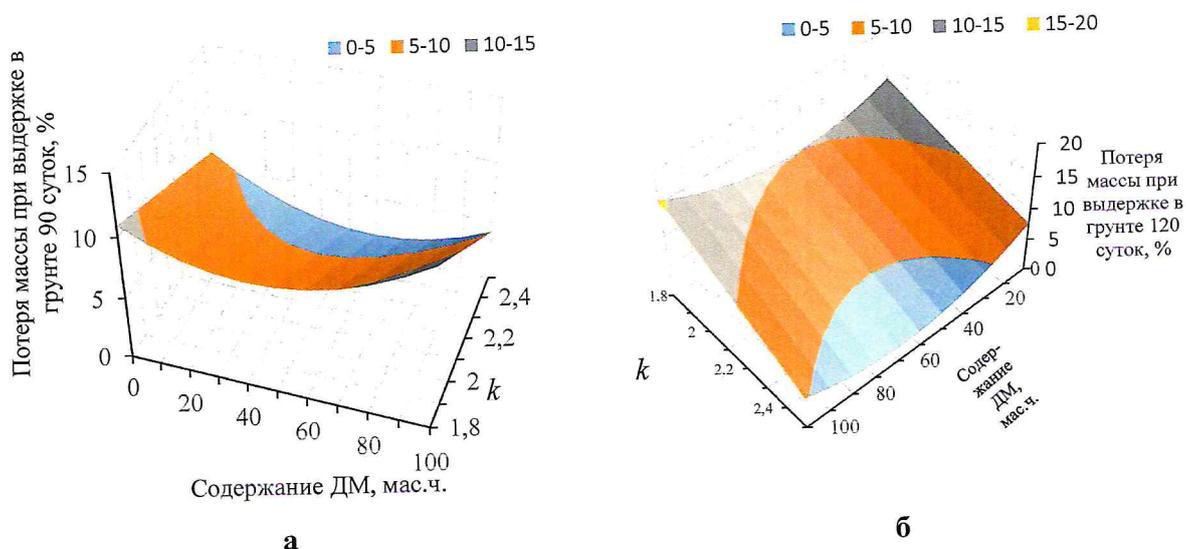


Рисунок 28 – Зависимость разложения биокomпозитов при выдержке в активированном грунте в течение 90 (а) и 120 (б) суток от содержания в них древесной муки и степени ацетилирования АЦ

По показателям ударной вязкости и прочности при изгибе полученные биокомпозиты во всём исследованном диапазоне степени ацетилирования пластифицированного ацетата целлюлозы и содержания древесной муки существенно превосходят эталонный древесно-полимерный композит с фазой полиэтилена высокой плотности (ПЭВП) с содержанием древесной муки 50 мас. % (ДПКПЭВП) у которого значения этих показателей соответственно равны 3,5 кДж/м² и 40,3 МПа.

Для изучения возможности совместного использования ДМ и измельчённых отходов ацетатной фотопленки (ОАП) в качестве наполнителей для пластифицированного триацетата целлюлозы ($k = 2,41$) были получены горячим прессованием образцы биокомпозитов в форме дисков, рецептуры которых представленных в таблице 19. При приготовлении смеси всех компонентов биокомпозитов вальцеванием массовое соотношение между триацетатом целлюлозы и пластификаторами (триацетином и ТБФ) было постоянным в соотношении 667 : 266 : 67 массовых частей. Содержание в композите ДМ изменяли от 0,9 до 29,1 мас. %, ОАП – от 0,9 до 29,1 мас. %, а содержание лубриканта (стеарата кальция) было постоянным – 1,5мас. %.

Таблица 19 - Состав полученных образцов биокомпозитов

| Номер образца | Содержание компонентов в образцах биокомпозитов, мас. % | | |
|---------------|---|------|------|
| | пластифицированный АЦ | ДМ | ОАП |
| 1 | 68,5 | 15,0 | 15,0 |
| 2 | 48,5 | 25,0 | 25,0 |
| 3 | 68,5 | 25,0 | 5,0 |
| 4 | 93,6 | 0,9 | 5,0 |
| 5 | 54,4 | 29,1 | 15,0 |
| 6 | 54,4 | 15,0 | 29,1 |
| 7 | 68,5 | 15,0 | 15,0 |
| 8 | 68,5 | 5,0 | 25,0 |
| 9 | 82,6 | 15,0 | 0,9 |
| 10 | 82,6 | 0,9 | 15,0 |

Установлено, что отходы ацетатной плёнки статистически значимо влияют на эти свойства биокомпозитов с полимерной фазой пластифицированного триацетата целлюлозы в исследованном диапазоне изменений содержаний в них наполнителей. На водопоглощение и пластичность биокомпозитов влияние оказывает доля обоих компонентов наполнителя относительно полимерной фазы пластифицированного АЦ. При минимальном содержании в смеси наполнителей ДМ происходит рост водопоглощения и пластичности композитов с увеличением в них доли ОАП, а при максимальном содержании

в смеси наполнителей ДМ (≈ 50 мас. ч. относительно пластифицированного АЦ) наблюдается экстремальный характер влияния доли ОАП на эти свойства.

Противоположные эффекты влияния на твёрдость по Бринеллю биокompозитов оказывает доля обоих компонентов наполнителя относительно полимерной фазы пластифицированного АЦ. При минимальном содержании в смеси наполнителей древесной муки происходит уменьшение показателей твёрдости по Бринеллю композитов с увеличением в них доли ОАП, а при максимальном содержании в смеси наполнителей древесной муки (≈ 50 мас.ч. относительно ПЛАЦ) наблюдается повышение значения этого показателя с ростом доли ОАП. При минимальном содержании в смеси наполнителей древесной муки также происходит уменьшение прочности при изгибе композитов с увеличением в них доли ОАП, а при максимальном содержании в смеси наполнителей древесной муки (≈ 50 мас. ч. относительно ПЛАЦ) наблюдается экстремальное изменение значения этого показателя с ростом доли ОАП. При этом в присутствии в смеси наполнителей ОАП до 10 мас.ч. относительно полимерной фазы пластифицированного триацетата целлюлозы с увеличением содержания в композите древесной муки приводит к снижению его прочности при изгибе, что не наблюдается для биокompозитов наполненных только древесной мукой. Добавление к древесной муке в качестве наполнителя измельчённых отходов ацетатной плёнки приводит к снижению прочности при изгибе биокompозитов с полимерной фазой пластифицированного триацетата целлюлозы, но при содержании в них ОАП до 15 мас.ч. их преимущество перед ДПК_{ПЭВП} в показателях ударной вязкости и прочности при изгибе сохраняется.

Полученные в работе результаты исследований показали возможность получения методом горячего прессования биокompозитов с полимерной фазой пластифицированных ацетатов целлюлозы со степенью ацетилирования 1,81 – 2,41 и наполнителем древесной мукой хвойных пород древесины марки ДМ-180. Получены экспериментально-статистические зависимости влияния степени ацетилирования пластифицированного ацетата целлюлозы и содержания в композите древесной муки на степень их разложения при выдержке в активированном грунте, водопоглощение и ряд показателей физико-механических свойств. Установлено, что увеличение степени ацетилирования ацетата целлюлозы повышает стойкость композитов полученных на их основе при выдержке в активированном грунте и уменьшает их водопоглощение. При этом у биокompозитов возрастают показатели модуля упругости при сжатии и прочности при изгибе. По этим показателям полученные биокompозиты во всём исследованном диапазоне степени ацетилирования пластифицированного ацетата целлюлозы и содержания древесной муки

существенно превосходят эталонный древесно-полимерный композит с фазой полиэтилена высокой плотности с содержанием древесной муки 50 мас. %.

Результаты исследований показали возможность использования отходов ацетатной фотопленки с древесной мукой в составе наполнителя для получения горячим прессованием биокompозитов на основе пластифицированного триацетата целлюлозы. Добавление к древесной муке измельченных отходов ацетатной пленки приводит к снижению прочности при изгибе биокompозитов с полимерной фазой пластифицированного триацетата целлюлозы, но при содержании в них ОАП до 15 мас.ч. их преимущество перед ДПК_{пэвп} в показателях ударной вязкости и прочности при изгибе сохраняется, что создаёт перспективы практического применения отходов ацетатной фотопленки для производства биокompозитов с полимерной фазой пластифицированного триацетата целлюлозы. Оценивая способности к разложению биокompозитов в активированном грунте следует отметить, что в композитах наполненных смесью ДМ с ОАП их разложение в активированном грунте растёт с увеличением содержания ДМ и существенно больше по сравнению с биокompозитами наполненными только древесной мукой.

3.3 Получение и исследование формирования структуры и свойств пластиков на основе растительного сырья без синтетических связующих

Для производства пластиков без связующих (ПБС) могут быть использованы различные виды растительного сырья, содержащие в своей структуре целлюлозу, лигнин и гемицеллюлозы. Содержание целлюлозы в древесных и травянистых растениях всегда отличается и во многом зависит от породы (хвойные, лиственные), климатической зоны произрастания, характером почвы, возрастом (однолетние, двулетние и многолетние). Кроме того, растительное сырьё может быть представлено в виде различных отходов – древесных (опил, стружка, неликвидная древесина с корой, ветки с хвоей и листвой) и самих растений или их шелухи [100-104]. При этом необходимо учитывать функциональный состав лигнина содержащих веществ в исходном пресс-материале - в хвойных породах преобладает гваяцилпропановая структура, а у растительного сырья – гидроксифенилпропановая структура. В таблице 20 представлены выполненные исследования по содержанию целлюлозы и лигнина в растительном сырье произрастающим и образующимся в виде отходов в Свердловской области.

Таблица 20 – Химический состав различного растительного сырья

| Вид сырья | Содержание, % | |
|--|---------------|--------|
| | Целлюлоза | Лигнин |
| Древесная мука (Марка ДМ-250) | 25,5 | 35,0 |
| Опил сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i>) | 44,6 | 31,4 |
| Опил березы (<i>Betula</i>) | 31,0 | --- |
| Листья березы (<i>Betula</i>) | 10,7 | 30,1 |
| Шишки сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i>) | 36,7 | 30,3 |
| Свежая хвоя сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i>) | 34,6 | --- |
| Опавшая хвоя сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i>) | 32,7 | 33,6 |
| Кора сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i>) | 18,0 | 53,5 |
| Опавшая хвоя лиственницы сибирской (<i>Larix sibirica</i>) | 14,5 | 53,7 |
| Смесь опавших листьев деревьев | 11,2 | 35,2 |
| Шелуха пшеница (<i>Triticum</i>) | 21,0 | 21,2 |
| Шелуха овса обыкновенного (лат. <i>Avena sativa</i>) | 18,3 | 21,5 |
| Борщевик (<i>Heracleum</i>) | 34,0 | 26,0 |
| Смесь газонной травы (Костер безостый, Тимофеевка луговая, Овсяница луговая и проч.) | 27,5 | 14,2 |

Древесиносодержащее сырьё. Объектом исследования явились различные виды сырья, которые в больших количествах либо используются, либо образуются в виде отходов в лесной, деревообрабатывающей, гидролизной и целлюлозно-бумажной промышленности:

- отходы деревообработки (ОДО) – опилки, стружки, пыль, образующиеся в основном лесопильной и деревообрабатывающей промышленности;
- сосновый опил (СО);
- берёзовый опил (БО);
- шлифовальная пыль ДСтП (ШП-ДСтП), образуется при шлифовании древесно-стружечных плит;
- шлифовальная пыль фанеры (ШП-Ф), образуется в производстве фанеры;
- гидролизный лигнин (ЛГ), получается в качестве остатка от гидролиза растительного сырья;
- древесная мука (ДМ) - является древесным наполнителем и служит основным сырьем для производства фенопластов.

Все указанные виды сырья, кроме древесной муки, являются непосредственно отходами производства, которые не находят должного применения.

Из выше приведенного сырья были получены образцы в форме дисков диаметром 30 мм при температуре 175-185 °С и давлении 35 МПа. Технологические показатели исходного пресс-сырья и эксплуатационные свойства ПБС свойства приведены в таблице 21.

Таблица 21 – Технологические и эксплуатационные свойства ПБС из различных видов сырья

| Показатель | ПБС на основе | | | | | | |
|--|---------------|---------|------|------|------|------|------|
| | ОДО | ШП-ДСтП | ШП-Ф | ДМ | ЛГ | БО | СО |
| Показатель рН сырья | 4,69 | 5,12 | 5,43 | 4,45 | 3,01 | 6,60 | 5,73 |
| Плотность, кг/м ³ | 1300 | 1480 | 1380 | 1520 | 1140 | 954 | 1180 |
| Модуль упругости (г), ГПа | 0,45 | 0,67 | 0,93 | 0,61 | 0,61 | 0,77 | 0,52 |
| Модуль упругости (х), ГПа | 0,98 | 2,10 | 1,82 | 1,78 | 3,97 | 1,02 | 0,53 |
| Предел текучести, МПа | 1,5 | 1,3 | 1,8 | 1,7 | 1,0 | 1,5 | 1,6 |
| Текучесть по Рашигу, мм | 15 | 11 | 6 | 8 | 48 | 29 | 7 |
| Текучесть по МДО, мм | 77 | 78 | 68 | 70 | 86 | 75 | 74 |
| Водопоглощение за 24 часа, % | 69 | 33 | 36 | 38 | 10 | 58 | 81 |
| Разбухание по толщине за 24 часа, % | 54 | 56 | 35 | 41 | 5 | 51 | 91 |
| Выделение формальдегида из сырья, мг/100 г | 7,6 | 39,9 | 0,4 | 4,7 | 8,6 | 6,8 | 11,4 |
| Выделение формальдегида из ПБС, мг/100 г | 7,2 | 14,7 | 4,2 | --- | 5,6 | 8,2 | 25,0 |

Примечание: (г) - модуль упругости определен после распрессовки образца, (х) - модуль определен после кондиционирования

Проведенные исследования показали, что большей плотностью обладают пластики из ДМ, ШП-ДСтП и ШП-Ф, что связано с гранулометрическим составом композиции – чем меньше размер частиц материала, тем больше его плотность. Наихудшие показатели водопоглощения у изделий на основе ОДО, СО, БО – 69, 81, 58 % соответственно. Наилучшие показатели у образцов на основе ЛГ и ШП-ДСтП – 10 и 33 % соответственно. Высокая водостойкость ПБС на основе ЛГ объясняется тем, что лигнин является ароматическим полимером, придающий гидрофобность.

Определение модуля упругости (как одного из прочностных показателей материала) проводилось на горячих и на холодных образцах. Модуль упругости на горячих образцах показывает прочность материала, а на холодных - степень отверждения материала (данный показатель является косвенным). Образцы на основе ДМ, ШП-Ф и ШП-ДСтП обладают примерно одинаковыми показателями модуля упругости, что объяснимо высокой плотностью материала. Соответственно ПБС на основе ДМ и ШП-Ф имеют наибольшие показатели сопротивлению сдвигу.

Текучесть по методу деформирования плоского образца (МДО) у лигнина лучше, чем у других материалов это объясняется наличием большого количества остаточных кислот в лигнине (рН=3,01), образовавших в результате гидролиза древесины.

Практически у всех материалов очень низкая текучесть по Рашигу. Низкая текучесть не обеспечивает более полное заполнение пресс-формы. Для предания повышенной текучести пресс-материала необходимо использование модификаторов.

Наименьшее количество формальдегида из исходного сырья выделяется из ШП-Ф, и все показатели выделения формальдегида из всех видов сырья соответствуют классу токсичности Е-1 (выделение формальдегида < 10 мг/100 абс.с.п.). Исключением является шлифовальная пыль ДСтП (выделение формальдегида соответствует классу токсичности Е-3), что обусловлено гидролизом полностью или частично отверженной смолы под влиянием температуры и влаги из окружающей среды. Такая же картина наблюдается и в ПБС: наименьшее количество формальдегида выделяется в пластиках на основе ШП-Ф. Наилучшими показателями физико-механических свойств обладает пластик, полученный на основе ДМ (по плотности, модулю упругости, сопротивлению сдвигу, выделению формальдегида из сырья).

Лигнин является в основном отходом гидролизных производств. В настоящее время разработано ряд технологий, позволяющих утилизировать этот вид отхода, в том числе и получение лигно-древесного пластика. Значение рН лигнина равно 3,01 и чем выше кислотность, тем выше текучесть пресс-материала и тем лучше физико-механические показатели пластика. Высокой кислотностью исходного сырья и объясняется самый высокий показатель текучести.

ПБС на основе ШП-ДСтП, обладая по ряду свойств неплохими показателями, не может быть рекомендована для получения изделий, поскольку обладает повышенной токсичностью и тем самым изготовление изделий ПБС на основе ШП-ДСтП предполагается экологически и санитарноопасным. Хорошим сырьем для получения ПБС можно считать ШП-Ф. Токсичность сырья низкая, модуль упругости при изгибе образцов в 2 раза выше, чем у ОДО и водостойкость также высокая.

Пластики из ОДО и СО обладают сравнительно одинаковыми свойствами, и это объясняется тем, что в деревообработке в большинстве используются хвойные породы древесины. В свою очередь отличные свойства пластиков из ОДО и СО от пластиков из БО объяснимо различным химическим составом хвойных и лиственных пород древесины, который и предопределяет свойства ПБС. В общем же свойства пластиков, полученных из древесного наполнителя ниже по сравнению с пластиками на основе ДМ, ГЛ и ШП-Ф.

Таким образом, что из всех видов рассматриваемого сырья возможного для получения ПБС, с учетом стоимости древесного сырья, объемов образования и приемлемых технологических параметров производства и физико-механических свойств готовых изделий, преобладают древесные отходы деревообработки. При производстве изделий на основе древесных отходов основное значение приобретают свойства, характерные лишь для самих отходов. Для

кусовых отходов характерны свойства исходной цельной древесины, мягкие отходы отличаются специфическими свойствами. При распиловке исходной неокоренной древесины, получаемые опилки имеют примесь коры, содержание которой зависит от фракции опилок. Содержание коры в опилках, полученных на лесопильной раме, возрастает с увеличением размера фракции опилок.

Исследование выполнялось с использованием регрессионного двухфакторного математического планирования полного факторного эксперимента. В качестве независимых факторов были приняты: содержание сосновой коры Z1 (10...30 %) и фракционный состав пресс-композиции Z2 (0,7...1,4 мм). В качестве выходных параметров принимались следующие физико-механические свойства: Y(P) – плотность, г/см³; Y(Π) – прочность при изгибе, МПа; Y(T) – твердость по Бринеллю, МПа; Y(B) – водопоглощение за 24 часа, %; Y(L) – разбухание по толщине за 24 часа, %; Y(A) – ударная вязкость, кДж/м². Условия получения образцов ПБС и их характеристика представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Характеристика и условия изготовления ПБС на основе отходов деревообработки и коры сосны

| № | Наименование | Единица измерений | Показатель |
|---|---------------------------------|-------------------|------------|
| 1 | Влажность исходного пресс-сырья | % | 12 |
| 2 | Диаметр образцов | мм | 90 |
| 3 | Толщина образцов | мм | 2 |
| 4 | Температура прессования | °С | 180 |
| 5 | Давление прессования | МПа | 40 |
| 6 | Время прессования | мин | 10 |
| 7 | Время охлаждения под давлением | мин | 10 |
| 8 | Время кондиционирования | ч | 24 |

После кондиционирования образцы подвергались испытаниям на физико-механические свойства (таблица 23). Установлено, что при увеличении фракционного состава прочность при изгибе снижается до 12,7 МПа.

Таблица 23 – Результаты испытаний на физико-механические свойства ПБС на основе отходов деревообработки и коры сосны

| № | Физико-механические свойства | | | | | |
|---|------------------------------|-----------|-----------|---------|---------|--------------------------|
| | Y(P), г/см ³ | Y(Π), МПа | Y(T), МПа | Y(B), % | Y(L), % | Y(A), кДж/м ² |
| 1 | 1046 | 13,3 | 56 | 110 | 9,0 | 0,9 |
| 2 | 1201 | 18,1 | 46 | 41 | 4,0 | 1,3 |
| 3 | 1079 | 12,7 | 72 | 141 | 13,0 | 0,7 |
| 4 | 1205 | 18,3 | 45 | 50 | 13,0 | 1,4 |

По результатам регрессионного анализа были получены следующие уравнения регрес-

сии:

$$Y(P) = 1253,33 - 2,09 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + 0,03 \cdot Z_1^2 - 75,517 \cdot Z_2^2 \quad (9)$$

$$Y(\Pi) = 19,96 - 0,001 \cdot Z_1^2 - 4,11 \cdot Z_2^2 + 0,07 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \quad (10)$$

$$Y(T) = 43,2 - 0,99 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + 0,02 \cdot Z_1^2 + 20,9 \cdot Z_2^2 \quad (11)$$

$$Y(B) = 30,85 + 0,04 \cdot Z_1^2 + 78,23 \cdot Z_2^2 - 3,33 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \quad (12)$$

$$Y(L) = 2,775 - 0,4 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + 0,005 \cdot Z_1^2 + 7,7 \cdot Z_2^2 \quad (13)$$

$$Y(A) = 1,49 + 0,03 \cdot Z_1 \cdot Z_2 - 0,0007 \cdot Z_1^2 - 70,53 \cdot Z_2^2 \quad (14)$$

На основании адекватных уравнений регрессии, были выполнены графические поверхности зависимости прочности при изгибе (рис.29а) и водопоглощения (рис.29б) ПБС.

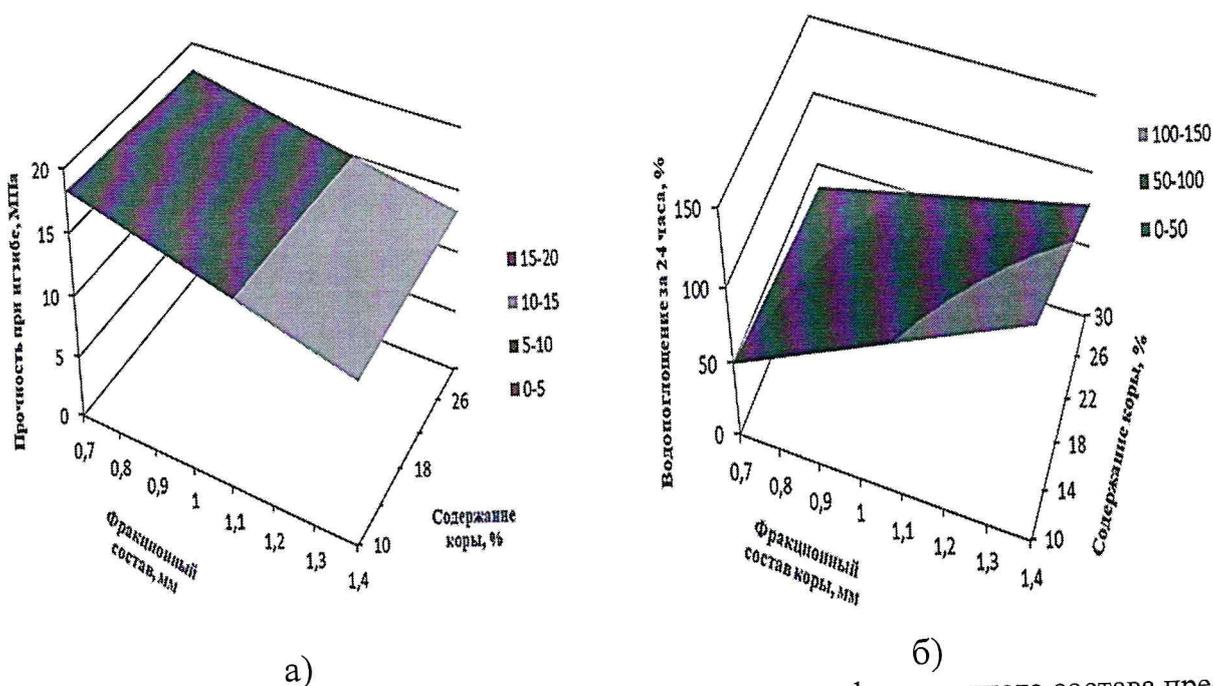


Рисунок 29 - Поверхность зависимости от содержания коры и фракционного состава пресс-сырья: а) – прочности при изгибе; б) - водопоглощения за 24 часа

Можно сделать вывод о том, что при увеличении фракционного состава прочность при изгибе снижается до 12,7 МПа. При минимальном значении содержания коры (10 %) и максимальном значении фракционного состава (1,4 мм) наибольшее водопоглощение составляет 141 %. А при максимальном значении содержания коры (30 %) и минимальном значении фракционного состава (0,7 мм) водопоглощение уменьшается до 41 %.

С помощью метода нелинейной оптимизации по полученным уравнениям регрессии для заданных параметров была подобрана наиболее рациональная рецептура для ПБС на основе отходов деревообработки и коры сосны. Исходные данные, ограничения и результаты проведенной оптимизации приведены в таблице 24. Ограничения по оптимизации приняты

исходя из условий максимальных прочностных показателей (прочности при изгибе и твердости) и минимальных показателей водопоглощения и разбухания.

Таблица 24 – Оптимизация получения ПБС на основе отходов деревообработки и коры сосны

| Целевая функция | Условие | Ограничения | Рациональные условия | |
|--------------------------------------|---------------------------|--|--|---|
| | | | Содержание сосновой коры в пресс-композиции, % | Фракционный состав пресс-композиции, мм |
| Прочность при изгибе $Y(\Pi)$, МПа | $Y(\Pi) \rightarrow \max$ | $10 \leq Z_1 \leq 30$ $0,7 \leq Z_2 \leq 1,4$ | 25 | 0,7 |
| Водопоглощение за 24 часа $Y(B)$, % | $Y(B) \rightarrow \min$ | $10 \leq Z_1 \leq 30$ $0,7 \leq Z_2 \leq 1,4$ | 29 | 0,7 |

Определены расчетные значения физико-механических свойств образцов ПБС при рациональных условиях (таблица 25).

Таблица 25 – Расчетные свойства ПБС при оптимальной рецептуре при заданной целевой функции

| Физико-механические свойства | Расчетные значения при заданной целевой функции | |
|--------------------------------------|---|--------|
| | $Y(\Pi)$ | $Y(B)$ |
| Модуль упругости при изгибе, МПа | 5420 | 2371 |
| Прочность при изгибе, МПа | 18,5 | 12,8 |
| Твердость, МПа | 72 | 47 |
| Водопоглощение за 24 часа, % | 36 | 36 |
| Разбухание по толщине за 24 часа, % | 12,8 | 2,6 |
| Ударная вязкость, кДж/м ² | 1,4 | 0,8 |

С целью подтверждения полученных теоретических условий получения ПБС с рациональными физико-механическими свойствами был выполнен эксперимент при данных условиях. Полученные образцы ПБС при рациональных условиях были испытаны на определение физико-механических свойств. Результаты экспериментальные данных и их сопоставление с расчетными представлены в таблице 26.

Достигнутые значения физико-механических свойств образцов ПБС полученных по оптимальной рецептуре в целом совпадают с прогнозируемыми. Таким образом, подтверждается значительная достоверность описания экспериментально-статистическими моделями, полученных в результате исследования данных. Показано, что возможно получение с приемлемыми физико-механическими свойствами ПБС на основе отходов деревообработки в виде опилок с добавлением коры сосновой.

Таблица 26 – Физико-механические свойства ПБС при рациональной рецептуре

| Физико-механические свойства | Y(П) → max | | Y(B) → min | |
|--------------------------------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|
| | Значение | | | |
| | экспериментальные | расхождение, % | экспериментальные | расхождение, % |
| Модуль упругости при изгибе, МПа | 2164 | 60 | 2114 | 11 |
| Прочность при изгибе, МПа | 16,6 | 10 | 11,2 | 13 |
| Твердость, МПа | 71,2 | 1 | 47,6 | 0 |
| Водопоглощение за 24 часа, % | 32 | 11 | 39 | -11 |
| Разбухание по толщине за 24 часа, % | 12,2 | 5 | 2,8 | -8 |
| Ударная вязкость, кДж/м ² | 1,3 | 7 | 0,9 | -13 |

Недревесное растительное сырьё. Результаты исследования получения ПБС на основе древесного и растительного сырья требуют учитывать функциональный состав лигнин-содержащих веществ в исходном пресс-материале.

Характеристики неизмельчённых и измельчённых (муки) шелухи пшеницы (ШПШ, ПШМ), шелухи овса (ШО, ОМ) и шелухи проса (ШП, ПРМ), в сравнении с древесной мукой (ДМ) марки 180, определяли аналитическим, гравиметрическим методами и методом ИК-Фурье-спектроскопии. Результаты определения химического состава аграрных отходов аналитическими методами приведены в таблице 27 и на рисунке 30.

Таблица 27 – Химический состав растительного сырья

| Исходное сырьё | Содержание веществ, мас. % | | | | |
|----------------|----------------------------|--------|--------------|------|--------------------------------|
| | Целлюлоза | Лигнин | Смолы и жиры | Зола | Гемцеллюлозы и другие вещества |
| ОМ 180 | 29,79 | 19,12 | 6,14 | 8,32 | 36,63 |
| ОМ 250 | 42,22 | 15,54 | 3,30 | 8,53 | 30,41 |
| ОМ 560 | 53,58 | 23,99 | 1,87 | 6,17 | 14,39 |
| ДМ 180 | 50,02 | 27,84 | 4,44 | 0,92 | 16,78 |

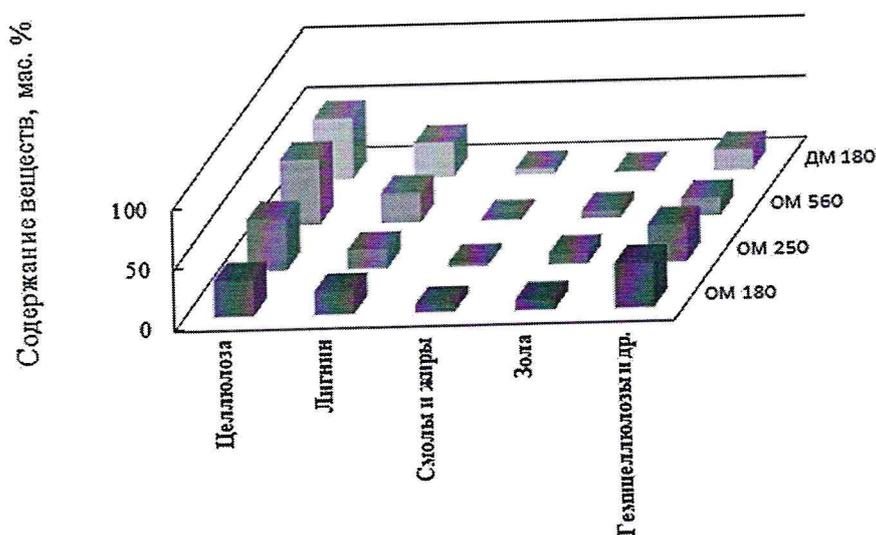


Рисунок 30 – Химический состав муки шелухи овса и древесной муки

Из результатов определения химического состава аграрных отходов следует, что наиболее близкие к древесной муке значения содержания целлюлозы, лигнина, гемицеллюлоз имеет мука шелухи овса марки ОМ 560. Мука шелухи овса марок ОМ 180 и ОМ 250 содержит гемицеллюлоз и других веществ в 2 раза больше, чем древесная мука (ДМ). Все марки муки шелухи овса имеют значительно большее содержание минеральных веществ (зола) по сравнению с древесной мукой. Схожесть функционального состава древесной муки с шелухой пшеницы и овса подтвердили данные их ИК-Фурье-спектров (рисунок 31).

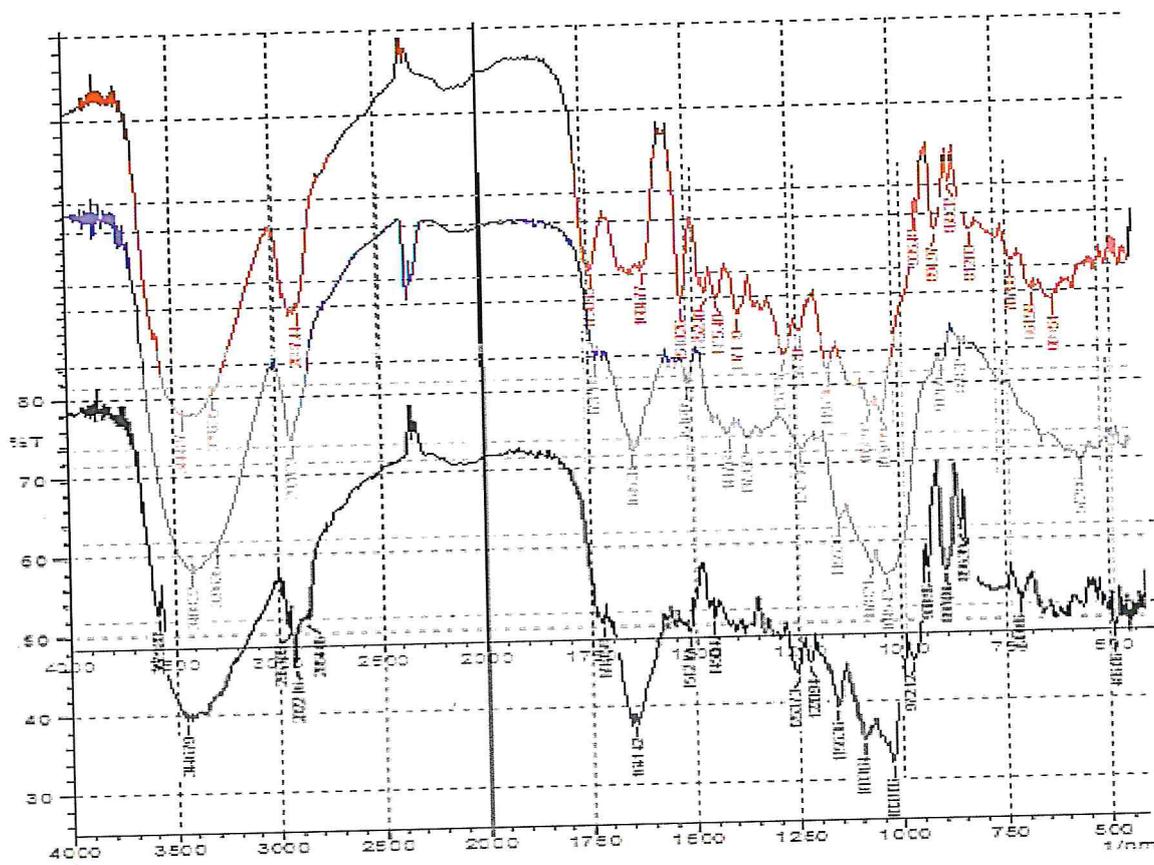


Рисунок 31 – ИК-Фурье-спектры наполнителей: ДМ 180 (-), ОМ 180 (-), ШП (-)

Для определения фракционного состава промышленных образцов муки шелухи овса и древесной муки был проведён их просев на ситах с размером ячеек 0,25, 0,18 и 0,125 мм. Массовый состав фракций муки, остающихся на ситах, приведён в таблице 28.

Таблица 28 – Фракционный состав древесной муки и муки шелухи овса

| Размер ячеек сит, мм | Массовая доля фракций, % | | | |
|----------------------|--------------------------|--------|--------|--------|
| | ДМ 180 | ОМ 180 | ОМ 250 | ОМ 560 |
| 0,25 | 32,3 | 58,4 | 45,5 | 89,0 |
| 0,18 | 56,4 | 31,7 | 40,4 | 9,4 |
| 0,125 | 7,7 | 5,7 | 9,5 | 0,5 |
| Поддон | 3,3 | 2,1 | 2,9 | 0,1 |

Для определения линейных размеров промышленных образцов древесной муки и муки шелухи овса были использованы их фотографии, полученные с помощью цифрового микроскопа с 2,0 мегапикселями и 500-кратным увеличением. Образцы муки рассматривались под микроскопом с увеличением в 60 раз и фотографировались (образцы фотографий приведены на рисунках 32 и 33). На фотографиях штангенциркулем (с точностью измерения 0,01 мм) измерялись размеры 100 частиц муки и далее рассчитывались средние арифметические значения их действительных линейных размеров, которые представлены в таблице 29.



Рисунок 32 – Фотография древесной муки ДМ 180 с увеличением $\times 60$

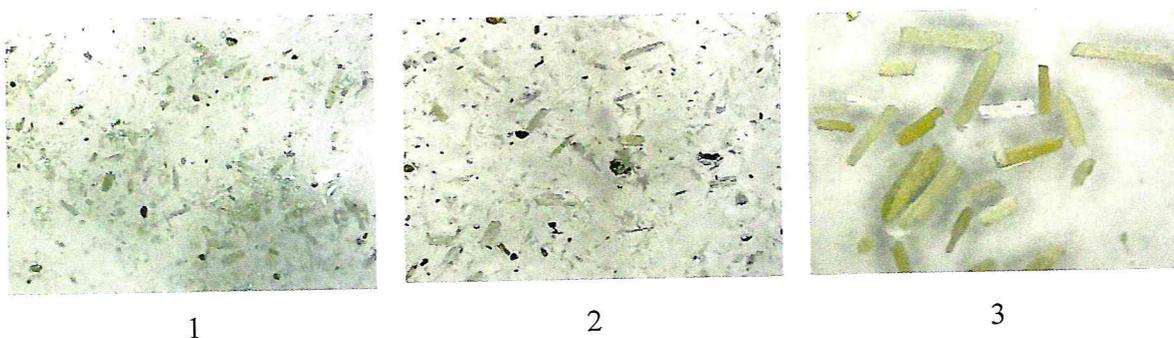


Рисунок 33 – Фотография овсяной муки с увеличением $\times 60$:

1 – ОМ 180, 2 – ОМ 250, 3 – ОМ 560

Таблица 29 – Средние арифметические значения линейных размеров частиц промышленных образцов древесной (без включений частиц коры) и овсяной муки (без включений частиц ядра зёрен овса)

| Линейный размер частиц муки, мм | Мука | | | |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | ДМ 180 | ОМ 180 | ОМ 250 | ОМ 560 |
| Длина | 0,14 | 0,17 | 0,17 | 3,28 |
| Ширина | 0,05 | 0,09 | 0,06 | 0,92 |

На фотографиях древесной муки (рисунок 32) кроме светлых частиц древесины видно присутствие в составе муки небольшого количества тёмных частиц её коры. На фотографиях шелухи овса ОМ 180 и ОМ 250 (рисунок 33) присутствует небольшое количество тёмных частиц ядра зёрен овса. Несмотря на равенство средних арифметических значений длины частиц овсяной муки ОМ 180 и ОМ 250 в составе последней присутствуют частицы более крупные по длине и ширине. На фотографиях муки ОМ 560 отсутствуют включения тёмных частиц ядра зёрен овса и видно, что длина большинства частиц этой муки значительно превосходит длину частиц муки ОМ 180 и ОМ 250.

Для оценки воздействия температуры на измельчённые аграрные отходы была проведена оценка их термической устойчивости динамическим методом термогравиметрии (ТГ) в сравнении с древесной мукой марки 180. Термические характеристики растительного сырья определялись с помощью прибора для термогравиметрического анализа TGA/SDTA 851e фирмы Mettler Toledo. Скорость нагрева образцов наполнителей массой 3-10 мг составляла 20°С/мин в условиях атмосферного воздуха в температурном интервале 25–600 °С. Полученные интегральные кривые ТГ приведены на рисунке 34.

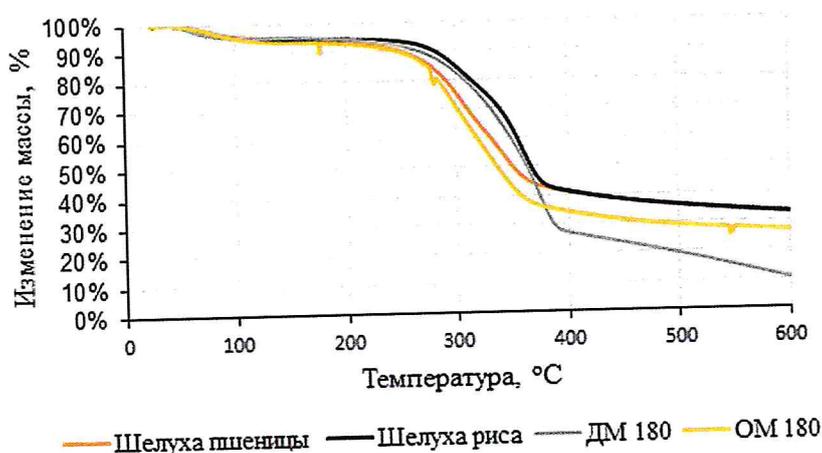


Рисунок 34 – Изменение массы растительного сырья при нагревании

Из данных рисунка 34 следует, что потеря массы ДМ 180 наблюдается в трёх температурных интервалах: 25–100 °С (потеря массы образца 5 %), 100–370 °С (65 %) и 370–600 °С (20 %). Общая потеря массы в исследованном диапазоне температур 50–600 °С составляет 90 %. Максимальная скорость потери массы при термической деструкции у ДМ 180 наблюдается при 365 °С и общая потеря массы при этой температуре составляет 50 % от исходной массы образца (таблица 30). В зоне рабочих температур при получении в работе новых материалов (150–250°С) потеря массы ДМ 180 составляет 3 %.

Из данных таблицы 30 видно, что по термической устойчивости в зоне температур до 120 °С мука шелухи овса марок 180, 250 и 560 незначительно уступает древесной муке, шелухе риса и пшеницы. При температурах от 50 до 250 °С общая потеря массы шелухи пшеницы и овса больше, чем у древесной муки и шелухи риса. Общие потери массы при нагревании до С у аграрных отходов заметно меньше, чем у древесной муки, видимо, из-за более высокого содержания в них минеральных веществ.

Таблица 30 – Термические характеристики растительного сырья

| Растительное сырьё | Температурный интервал, °С (потеря массы, %) | | | Температура максимальной скорости потери массы, °С (общая потеря массы, %) |
|---------------------|---|------------------|-------------------|--|
| | 50-120 (5 %) | 150-250 (3 %) | 250-600 (82 %) | |
| ДМ 180 | 50-120 (5 %) | 150-250 (3 %) | 250-600 (82 %) | 365 (50 %) |
| Мука шелухи риса | 50-110 (5 %) | 150-250 (2 %) | 250-600 (60 %) | 350 (35 %) |
| Мука шелухи пшеницы | 50-140 (5 %) | 150-250 (5 %) | 250-600 (57 %) | 310 (69 %) |
| ОМ 180 | 50-170 (7 %) | 150-250 (3 %) | 250-600 (62 %) | 310 (40 %) |
| ОМ 250 | 35-140 (7 %) | 150-250 (3 %) | 250-600 (60 %) | 370 (40 %) |
| ОМ 560 | 40-180 (8 %) | 150-250 (2 %) | 250-600 (61 %) | 350 (50 %) |

Полученные характеристики растительного сырья необходимо будет учитывать в анализе свойств лигноцеллюлозных материалов на их основе.

Модификация исходного сырья. Одним из недостатков главных ПБС являются низкие показатели пластично-вязкостных свойств исходного древесного пресс-сырья. Данная проблема может быть решена несколькими путями. Одним из перспективных направлений является химическая модификация исходного пресс-материала.

С целью изучения влияния модификатора в виде карбамида (мочевины) на физико-механические свойства ПБС на основе сосновых опилок использовались опилки сосны обыкновенной с фракционным составом 0,7-1,2 мм и абсолютной влажностью 6 %. Для выполнения исследования были изготовлены образцы диаметром 40 мм и толщиной 2 мм. Изготовление образцов осуществлялось методом плоского горячего прессования в герметичной пресс-форме при постоянных значениях параметров прессования: давлении – 35 МПа, температуре – 180 °С. В качестве модификатора использовался 15 %-ный раствор карбамида (мочевины).

Определение физико-механических свойств, полученных образцов, проводились по аттестованным методикам (ГОСТ 4670-2015, ГОСТ 4650-2014, ГОСТ 10634-88). При испытаниях на физико-механические свойства были использовано поверенное оборудование (твердомер марки «БТШПСР У42», прибор «Динстат-Дис»).

В результате анализа полученных данных был найден оптимальный режим прессования для получения ПБС, исходя из условий максимального модуля упругости при изгибе и минимального водопоглощения (таблица 31). Параллельно были определены физико-механические свойства у образцов, не подвергнутых модификации (контроль).

Таблица 31 – Физико-механические свойства ПБС по оптимальной рецептуре

| Физико-механические свойства | ПБС | |
|-------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | сосновые опилки (контроль) | сосновые опилки + карбамид |
| Плотность, кг/м ³ | 1020 | 1110 |
| Модуль упругости при изгибе, МПа | 2860 | 3620 |
| Твердость по Бринеллю, МПа | 22 | 24 |
| Водопоглощение за 24 часа, % | 68 | 52 |
| Разбухание по толщине за 24 часа, % | 7,6 | 7,2 |

По результатам проведенных испытаний, можно констатировать следующее (рисунок

1. В изучаемых интервалах параметров оптимизации влияние модификатора в виде -ного раствора карбамида на прочностные показатели имеет прямую зависимость – с увеличением расхода модификатора они увеличиваются. Основные факторы, оказывающий влияние на показатели водостойкости ПБС на основе модифицированных карбамидом сосновых опилок, являются в первую очередь влажность и фракционный состав исходной пресс-композиции.

2. Использование карбамида в качестве модификатора исходного пресс-сырья в виде сосновых опилок, позволяет получать ПБС с более высокими физико-механическими свойствами.

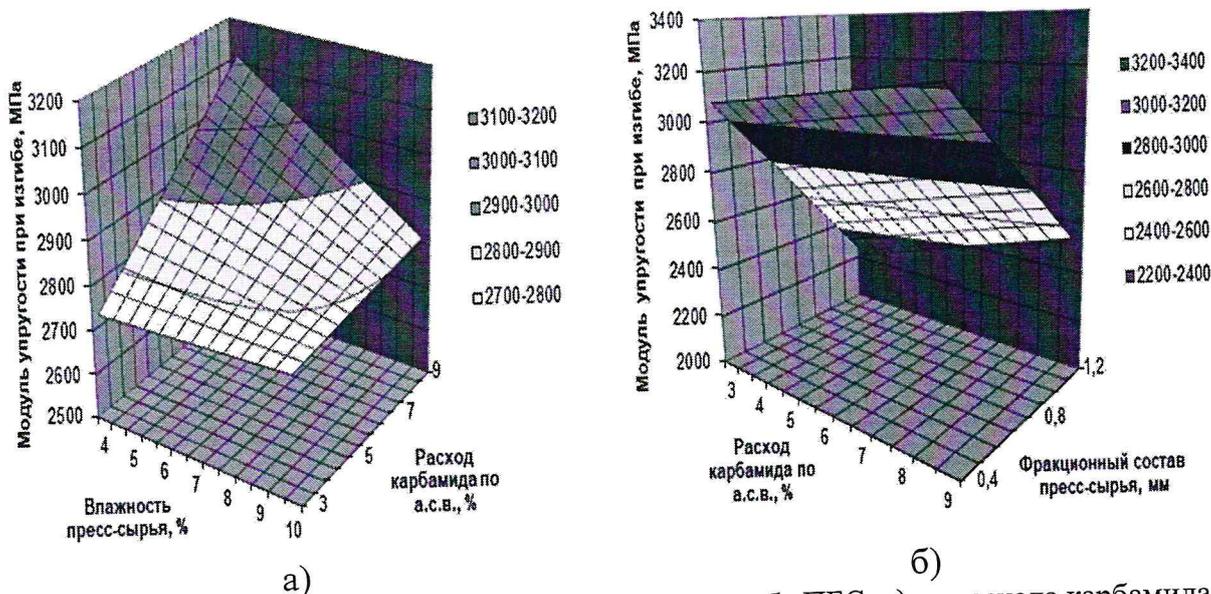


Рисунок 35 - Зависимость модуля упругости при изгибе ПБС: а) от расхода карбамида и влажности пресс-сырья; б) от расхода карбамида и фракционного состава пресс-сырья

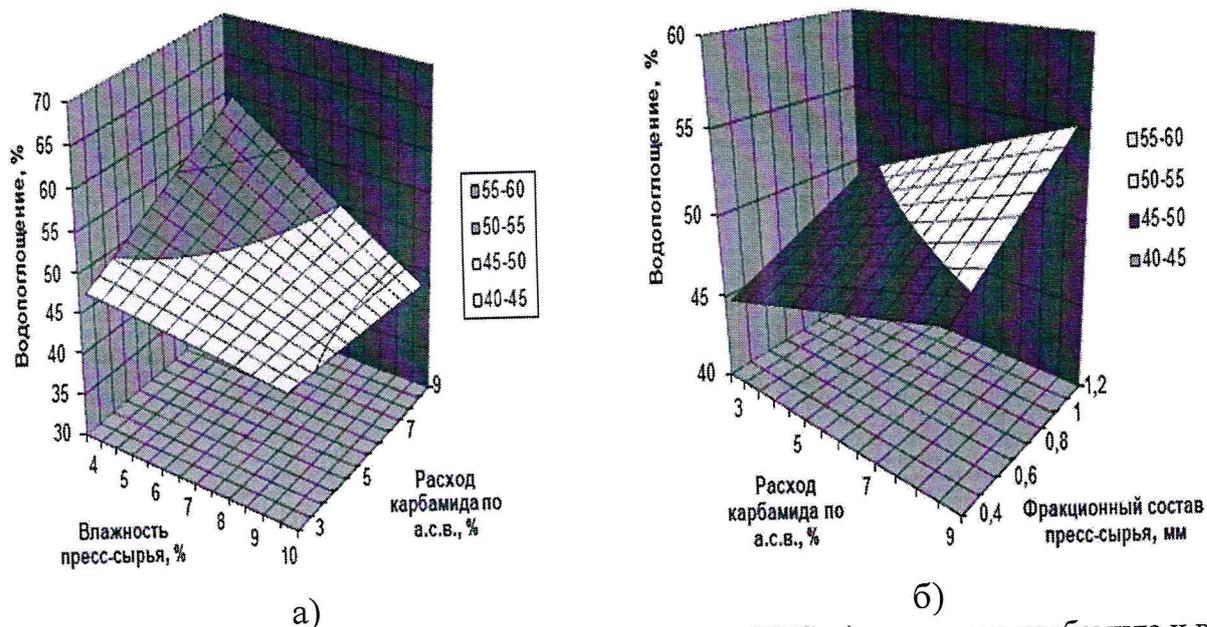
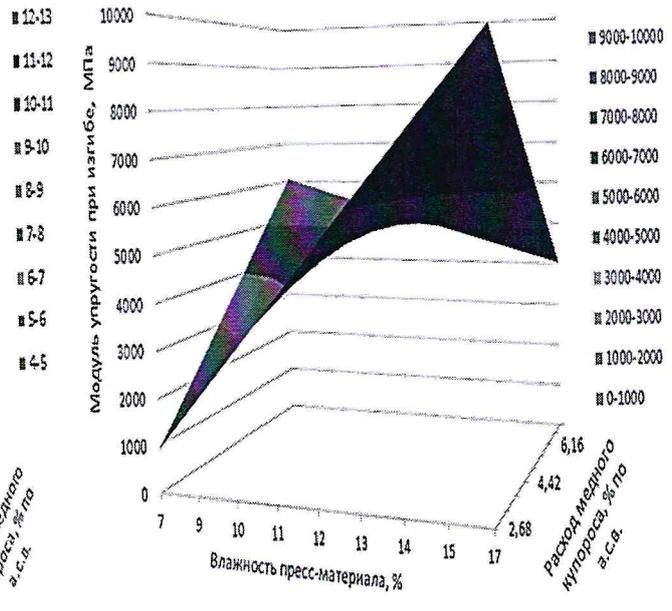
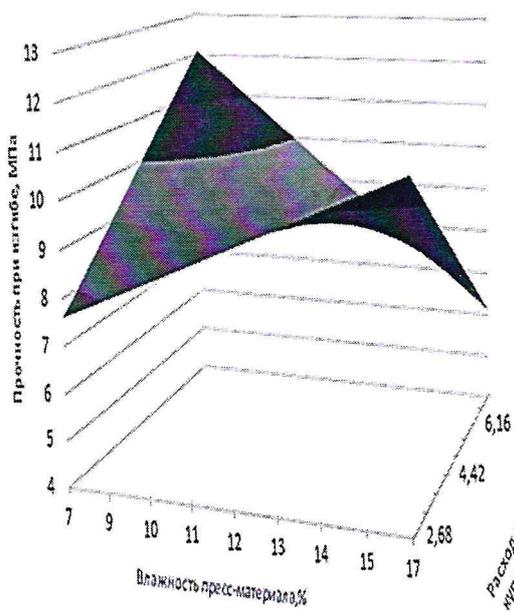


Рисунок 35 - Зависимость водопоглощения за 24 часа ПБС: а) от расхода карбамида и влажности пресс-сырья; б) от расхода карбамида и фракционного состава пресс-сырья

Известно, что скорость гидролиза гемицеллюлоз и лигнина зависит от температуры и кислотности среды. Сульфат меди при гидролизе даёт кислую среду и это ускоряет поликонденсационный процесс, кроме того он является антисептиком. В рамках данного проекта было изучено влияния модификатора в виде сульфата меди (медного купороса) на физико-механические свойства ПБС на основе опилок лиственницы. В качестве исходного пресс-сырья использовались опилки лиственницы Сибирской (*Larix sibirica*). Содержание лигнина в исходном сырье составляло 38 %, целлюлозы – 36 %. В качестве модификатора использовался 5 %-ный раствор сульфата меди (медного купороса).

Постоянными факторами являлись: давление прессования – 40 МПа; температура прессования – 180 °С; продолжительность прессования – 10 мин; продолжительность охлаждения пресс-формы под давлением – 10 мин; фракционный состав пресс-сырья – 0,7 мм. Образцы изготавливались в виде дисков диаметром 90 мм и толщиной 2 мм в закрытых пресс-формах методом плоского горячего прессования.

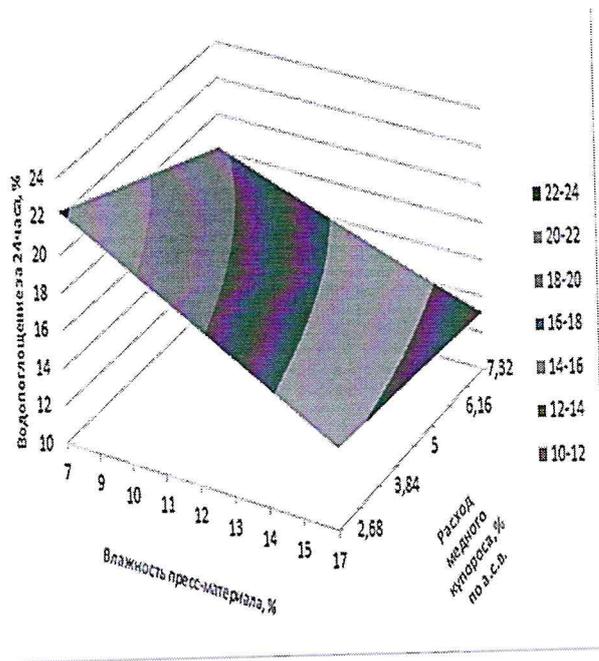
Полученные экспериментальные данные физико-механических свойств образцов были подвергнуты регрессионному анализу и были построены поверхности отклика изученных свойств от величины варьируемых факторов (рисунки 36, 37).



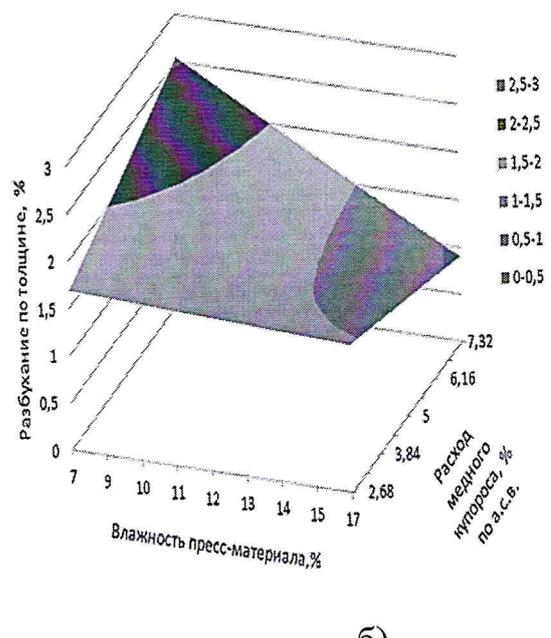
а)

б)

Рисунок 36 - Поверхность зависимости прочности при изгибе пластика (а) и модуля упругости при изгибе (б) ПБС от расхода медного купороса и влажности пресс-сырья



а)



б)

Рисунок 37 - Поверхность зависимости водопоглощения за 24 часа (а) и разбухания по толщине (б) ПБС от расхода медного купороса и влажности пресс-сырья

Для нахождения рациональных рецептов был применен метод нелинейной оптимизации исходя из условий максимальной прочности при изгибе и минимального водопоглощения материала. Результаты расчетной оптимизации были сопоставлены с результатами экспериментальных данных (с наилучшими значениями физико-механических свойств). Результаты сопоставления приведены в таблице 32.

Таблица 32 – Расчетные и экспериментальные значения физико-механические свойства ПБС

| № | Физико-механические свойства | Целевая функция | | | | | |
|---|----------------------------------|----------------------|-------------------|------------|----------------|-------------------|------------|
| | | Прочность при изгибе | | | Водопоглощение | | |
| | | расчётная | экспериментальная | разница, % | расчётная | экспериментальная | разница, % |
| 1 | Прочность при изгибе, МПа | 9,1 | 12,1 | +33 | 9,5 | 6,6 | -31 |
| 2 | Модуль упругости при изгибе, МПа | 2247 | 9685 | +331 | 5470 | 2039 | -63 |
| 3 | Водопоглощение за 24 часа, % | 21 | 28 | +33 | 18 | 9 | -50 |
| 4 | Разбухание по толщине, % | 2,8 | 2,8 | 0 | 2,8 | 0,6 | -78 |

В изучаемых интервалах параметров оптимизации невозможно достигнуть получения образцов обладающих высокими показателями прочности и водостойкости. Основной фактор, оказывающий влияние на прочностные показатели ПБС на основе модифицированных опилок лиственницы, является в первую очередь влажность исходной пресс-сырья, а на показатели водостойкости – расход модификатора.

По результатам проведенных испытаний, можно констатировать следующее: возможно получение ПБС на основе модифицированных сульфатом меди опилок лиственницы с удовлетворительными физико-механическими свойствами (таблица 33); физико-механические свойства ПБС, полученного из модифицированного пресс-сырья на основе опилок лиственницы, не уступают, а по некоторым показателям даже и превосходят, свойства ПБС, полученные из традиционного пресс-сырья – отходов деревообработки в виде сосновых опилок; модификация опилок лиственницы сульфатом меди позволяет получать ПБС с высокими показателями водостойкости.

Таблица 33 – Сводная таблица физико-механических свойств ПБС на основе различного пресс-сырья

| № п/п | Показатель | ПБС | | | |
|-------|----------------------------------|--------|-------------|------------------|-------------------|
| | | сосна | лиственница | | |
| | | w=12 % | w=12 % | w=7,4 %; P=5% | w=12,3 %; P=5% |
| 1 | Прочность при изгибе, МПа | 8 | 25 | 12,1 | 9,4 |
| 2 | Твердость, МПа | 29 | 11 | 17 | 41 |
| 3 | Модуль упругости при изгибе, МПа | 1038 | 3597 | 818 | 476 |
| 4 | Водопоглощение, % | 59,1 | 96,6 | 8,5 | 11 |
| 5 | Разбухание, % | 6,0 | 10,1 | 2,0 | 1,8 |

Примечание: w – влажность пресс-сырья, P – расход раствора медного купороса по а.с.в. опилок.

По результатам выполненных исследований установлено, что путем химической модификации древесных частиц можно улучшить эксплуатационные свойства древесных пластиков, которые можно получать из этих пресс-материалов без добавления связующих в закрытых пресс-формах.

Оценка биоразлагаемости ПБС. На данном этапе выполнения проекта был проведен сравнительный анализ физико-механических характеристик и потенциала биоразложения опытных партий растительных пластиков без связующего на основе шелухи пшеницы и проса и контрольных партий древесного пластика без связующего на основе опилок [105-108].

Для проведения исследований были изготовлены образцы пластиков без связующего на основе древесного и растительного сырья. Контрольная партия образцов была изготовлена из древесных опилок технологических (ГОСТ 18320-78). Опытные партии – из шелухи проса и шелухи пшеницы, являющихся отходами крупяного производства. Получали пресс-материал с влажностью 12 %, затем прессованием в лабораторных условиях получали диски толщиной 2,0 и 4,0 мм, диаметром 90 мм.

Анализ физико-механических характеристик образцов выполняли до испытания на биостойкость и биодеструкцию и после него. Определяли показатели прочности (плотность, прочность при изгибе, твердость, число упругости, модуль упругости при сжатии, модуль упругости при изгибе, разрушающее напряжение, предел текучести) и водопоглощения. Исследование потенциала биоразложения проводили следующим образом: испытываемые образцы выдерживали в течение 21 суток в активном грунте, затем оценивали основные визуальные морфологические признаки биодеструкции образцов; кроме того, проводили тест с прорастанием семян овса и клевера на субстрате, содержащем образцы.

Почва для выдержки образцов была приготовлена в соответствии с ГОСТ 9.060-75, рН почвенной вытяжки составлял 7,0 на начало испытаний, коэффициент биологической активности 0,8. Микробиоценоз почвы сформирован нативными полевыми штаммами микроорганизмов исходных компонентов почвенной смеси.

При анализе визуальных признаков биодеструкции оценивали расслоение, разбухание, разрыхление, появление макро- и микрополостей, изменения формы и размера частиц основного растительного компонента, фибрилляция и фрагментация частиц, изменение окраски участков образца, наличие колоний микроорганизмов, гифов, плодовых тел грибов внутри или на поверхности образца, ослизнение поверхности. Образцы, не разрушенные во время теста на биоразложение, исследовали на прочность и водопоглощение.

Для теста с растениями готовили субстрат из двух слоёв универсального грунта, чередующихся с двумя слоями образцов, соотношение по объему составляло 60% и 40%. Контроль-

ная проба была представлена универсальным грунтом. В субстрат высевали семена овса и клевера, проращивали в течение 21 суток, далее оценивали состояние растений: скорость роста, сформированность стебля, листьев опытных и контрольных проб. Состояние корневой системы растений оценивали визуально в видимом свете и в ультрафиолетовом свете.

Исследование потенциала биоразложения ПБС на основе древесных опилок, шелухи проса и шелухи пшеницы показало, что все исследуемые материалы обладали сравнительно одинаковым высоким потенциалом биоразложения. Анализ морфологических признаков биодеструкции материалов после 21 суток экспозиции в активном грунте обнаружил значительные изменения у всех исследованных образцов. Так, 100 % образцов имели признаки ослизнения поверхности, краевое разбухание, и очаговое изменение цвета поверхности (рисунок 38).



Рисунок 38 – Внешний вид образцов ПБС (на основе древесных опилок, шелухи пшеницы и проса) после 21 суток экспозиции в активном грунте

Продольное и поперечное расслоение, разрыхление в толще образца, а также наличие макрополостей в краевой области и вдоль расслоений выявили у 60 % образцов пластика на основе шелухи проса, у 58 % образцов пластика на основе шелухи пшеницы и у 47 % пластиков на основе древесных опилок (рисунок 39). Участки расслоения и разрыхления имели размеры от 1,5 мм до 5,5 мм.

При микроскопии образцов выявили следующие признаки деструкции: краевую волокнистость, фрагментацию и разрушение отдельных частиц растительного компонента; очаговое потемнение частиц; микрополости между частицами растительного материала. На 100 % образцов выявлены признаки роста плесневых грибов. Множественные крупные колонии плесневых грибов в разной фазе зрелости обнаружили на 74 % образцов ПБС с шелухой проса, на % образцов ПБС с шелухой пшеницы и на ПБС древесных опилок 62 % (рисунок 40).



Рисунок 39 – Фрагмент ПДС (на основе древесных опилок) с признаками расслоения, разбухания, краевой и продольной фрагментации



Рисунок 40 – Фрагмент ПДС на основе шелухи пшеницы с признаками интенсивного роста плесневых грибов

Морфологические макро- и микропризнаки биологической деструкции были наиболее выражены у образцов на основе шелухи проса и пшеницы. Для них были характерны изменения на всем протяжении пластинки. У образцов на основе древесных опилок выявляли преимущественно краевые и поверхностные изменения.

Тест с растениями показал, что скорость развития и формирования органов растений на опытном и контрольном субстратах не имела статистически значимой разницы. Морфологи-

ческих признаков задержки и отклонения в развитии овса и клевера не выявили. Степень сформированности корневой системы также была сравнительно одинакова. Корни свободно прорастали в толщу образцов ПБС, фрагментируя их. Исследование почвенно-корневого конгломерата в ультрафиолетовом свете показало характерную для данных видов растений картину, зависимости от наличия образцов ПБС в субстрате не обнаружили (рисунок 41).

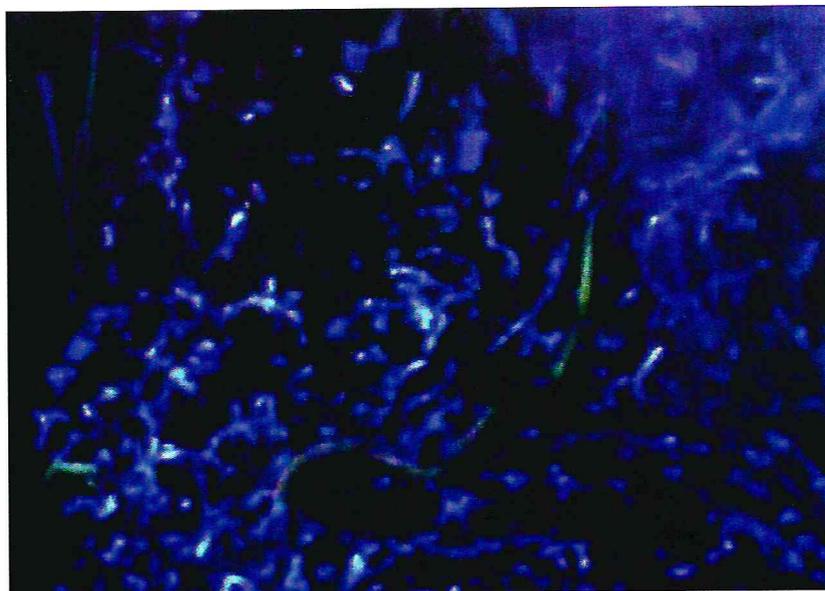


Рисунок 41 – Корневая система овса на субстрате с ПБС на основе шелухи пшеницы в ультрафиолетовом свете с очагами люминесценции

В целом, степень биодеструкции по сумме обнаруженных признаков была максимальной у пластиков на основе шелухи пшеницы, наименьшей – у пластиков на основе шелухи проса.

После 3 недель выдержки испытуемых партий образцов ПБС в активном грунте отмечали ухудшение физико-механических свойств всех образцов. Так, среднее значение показателя твердости уменьшилось у образцов ПБС (древесные опилки) на 66 %, ПБС (шелуха проса) - на 70 %, ПБС (шелуха пшеница) – на 62 %. Значения числа упругости и модуля упругости при сжатии снизились на 43 % и 76 % ПБС (древесные опилки), 47 % и 80 % ПБС (шелуха проса), 46 % и 73 % ПБС (шелуха пшеница) соответственно. Значения разрушающего напряжения и предела текучести уменьшились на 64 % и 63 % для ПБС (древесные опилки), на 60 % и 68 % для ПБС на основе проса и пшеницы. Сравнение опытных образцов пластиков без связующего по прочности при изгибе показало, что наибольшее среднее значение данного показателя имели образцы пластика на основе древесного сырья (4 МПа), а наименьшее – у пластика на основе шелухи пшеницы (1 МПа). Показатели водопоглощения и разбухания по

толщине, наоборот, проявили противоположную динамику. Так, наименьшее среднее значение водопоглощения выявили у ПБС на основе проса (85 %), наибольшее – ПБС с шелухой пшеницы (96 %). Среднее значение показателя водопоглощения у ПБС на основе опилок составляло 94 %.

Таким образом, ПБС на основе технологических опилок имеют высокий потенциал биоразложения. Высокий потенциал биоразложения свидетельствует о низкой биостойкости материалов на основе ПБС.

3.4 Получение и исследование свойств технической целлюлозы из нетрадиционного растительного сырья

Техногенное влияние на окружающую среду становится все заметнее: загрязнение водных ресурсов и воздуха промышленными производствами; вырубка лесов, без их эффективного восстановления, приводит к дефициту качественной древесины; зарастание сорными растениями, такими как борщевик, значительных территорий, что разрушает биоценозы местной растительности [109, 110]. Наряду с отрицательными свойствами борщевика – неконтролируемое распространение, наличие ядовитых веществ (кумаринов и фурукумаринов) и так далее, нужно отметить и положительные свойства – неприхотливость, легкость размножения, набор большого объема биомассы за вегетативный период и лигнификация ветвей и стеблей, развитая сырьевая база – все это может обеспечить многие потребности промышленности и заменить другие виды сырья [111]. Многие положительные свойства позволяют рассматривать зрелую биомассу борщевика как возможное сырье для получения технической целлюлозы (ТЦ). Однако, исследования по получению ТЦ из борщевика ограничились только натронными варками [112]. Интерес представляют экологически малоопасные способы делигнификации, например, окислительно-органо-сольвентный способ варки (ООСВ).

В связи с этим в проекте проведены исследования по получению ТЦ из одревесневших стеблей борщевика окислительно-органо-сольвентным способом и изучение её свойств. В качестве объекта исследования использовали одревесневшие надземные однолетние стебли борщевика и примыкающие к ним «побеги обогащения». Стебли собирали в окрестностях г. Березовского Свердловской области в конце августа и сентября 2020 года. Сырье измельчали, сортировали на ситах с размером отверстий от 2 до 10 мм, промывали холодной водой для удаления пыли, металлических включений и высушивали до комнатно-сухой влажности, анализировали.

Компонентный состав сырья и ТЦ определяли по методикам: влажность ГОСТ 16932; зольность (ГОСТ 18461); массовая доля экстрактивных веществ, растворимых в органических

растворителях (хлористый этилен) (ГОСТ 6841); массовая доля лигнина (ГОСТ 11960); массовая доля веществ, растворимых в горячей воде [113]; массовая доля целлюлозы (по Кюршнеру-Хофферу) [1135].

Компонентный состав стеблей борщевика в сравнении с другими видами недревесного и древесного растительного сырья представлен в таблице 34 [84, 114].

Таблица 34 – Компонентный состав растительного сырья

| Компонентный состав | Месяц сбора борщевика | | Древесина | | Солома | |
|--|-----------------------|----------|-----------|-------|--------|------|
| | август | сентябрь | береза | осина | риса | овса |
| Лигнин, % а.с.с. | 21,9±0,2 | 25,4±0,2 | 19,6 | 21,8 | 14,6 | 18,0 |
| Массовая доля целлюлозы по Кюршнеру-Хофферу, % а.с.с. | 46,4±1,0 | 45,0±1,0 | 43,8 | 41,8 | 45,6 | 47,0 |
| Содержание минеральных веществ | 7,6±0,1 | 5,4±0,1 | 0,4 | 0,3 | 17,2 | 3,0 |
| Экстрактивные вещества, % а.с.с.: | | | | | | |
| – растворимые в органических растворителях (этиловый эфир) | 1,3±0,5 | 1,8±0,5 | 2,9 | 0,8 | 6,0 | 3,5 |
| – растворимые в горячей воде | 18,0±0,5 | 17,7±0,5 | 2,6 | 2,8 | 12,7 | 2,4 |
| рН водной вытяжки | | | | | | |
| – холодного экстрагирования | 6,7±0,1 | 6,5±0,1 | ... | ... | ... | ... |
| – горячего экстрагирования | 6,6±0,1 | 6,2±0,1 | ... | ... | ... | ... |

Как видно из таблицы 34 сырье в виде стеблей борщевика, заготовленное в августе, содержит меньше лигнина, больше целлюлозы и минеральных веществ, по сравнению с сырьем, заготовленным в сентябре. Разницу в композиционном составе можно объяснить частичной деструкцией и растворением углеводов под действием ультрафиолетового света и осадков. Лигнин и липиды при этих условиях разрушаются незначительно, что приводит к изменению соотношения между углеводной и ароматической частями.

При сравнении биомассы стеблей борщевика с древесиной березы и осины можно отметить, что содержание лигнина для этих видов сырья находится в сопоставимых количествах, а целлюлозы в борщевике несколько больше. Основным отличием по компонентному составу от древесины является содержание минеральных веществ (в борщевике больше в 13,5–25 раз) и экстрактивных веществ, растворимых в горячей воде (в борщевике больше примерно в 7 раз).

При сравнении сырья из борщевика с соломой риса и овса видно, что лигнина в борщевике больше, а содержание целлюлозы почти одинаково. Массовая доля минеральных веществ сопоставима с прочими видами недревесного сырья, за исключением соломы риса [114].

В связи с тем, что в состав борщевика входят водорастворимые экстрактивные вещества кислого характера интерес представляют результаты определения рН водной вытяжки лигнифицированных стеблей борщевика [115, 116]. Установлено, что при равных (в пределах по-

погрешности) количествах экстрактивных веществ, растворимых в горячей воде, в сырье собранном в августе и сентябре, рН водной вытяжки сырья, собранного в сентябре, более кислый при любом способе экстрагирования. Для дальнейших исследований использовали сырье, собранное в августе.

Таким образом, по компонентному составу стебли борщевика вполне пригодны для получения ТЦ. Массовая доля целлюлозы в сырье позволяет предположить, что при эффективном и щадящем способе делигнификации возможно получение ТЦ с максимальным сохранением гемицеллюлозной части растительного сырья.

Первая серия варок – изучение влияния расхода рПУК. Проведение данной серии варок предназначено для анализа влияния расхода рПУК на показатели полученной ТЦ. Полученная ТЦ была проанализирована, подвергнута размолу, изготовлены и испытаны лабораторные отливки (75 ± 2 г/м²). Полученные данные приведены в таблице 35.

Таблица 35 – Результаты анализа ТЦ после щелочной обработки продолжительностью 120 минут и ООСВ

| Показатель | Расход рПУК | | |
|--|-------------|----------|----------|
| | 0,4 | 0,6 | 0,8 |
| Расход рПУК, г/г от а.с.с. | 0,4 | 0,6 | 0,8 |
| Выход сортированной ТЦ, % от а.с.с. | 59,0±0,5 | 49,6±0,5 | 49,7±0,5 |
| Непровар, % от а.с.с. | 14,0±0,5 | 2,1±0,5 | – |
| Массовая доля лигнина, % от абсолютно сухой целлюлозы (а.с.ц.) | 20,9±0,2 | 8,5±0,2 | 3,9±0,2 |
| Белизна, % | 40,0±0,2 | 53,4±0,2 | 72,0±0,2 |
| Степень помола, °ШР | 58±2,0 | 56±2,0 | 64±2,0 |
| Сопrotивление раздиранию, сН | 65,0±1,0 | 72,5±1,0 | 60,0±1,0 |
| Разрывная длина, км | 3,5±0,5 | 5,4±0,5 | 8,4±0,5 |
| Капиллярная впитываемость, мм | 2,1±0,3 | 1,0±0,3 | 0,8±0,3 |

Из таблицы 35 видно, что варка с расходом рПУК 0,4 % от а.с.с. приводит к получению большого количества непровара 14,0 % от а.с.с.. Сортированная ТЦ содержит высокий процент лигнина 20,9 % от а.с.ц. Более приемлемые результаты по выходу и массовой доле лигнина наблюдаются при повышении расхода рПУК. Следует отметить делигнифицирующую избирательность варочного раствора: разрушения целлюлозы не происходит; значения по выходу ТЦ находятся в пределах погрешности эксперимента. С увеличением расхода рПУК увеличиваются показатели белизны за счет эффективного удаления лигнина и отбеливающих свойств варочного раствора, в частности пероксида водорода. При расходе рПУК 0,6 г/г а.с.с. происходит самостоятельная сепарация волокон, что позволяет при размолу получить хорошо фибриллированные волокна.

С увеличением расхода рПУК увеличивается разрывная длина, что обусловлено фибрилляцией и разработанностью волокон за счет повышения эластичности делигнифицированных стенок. Высокая фибрилляция поверхности волокон, даже при коротком волокне позволяет получить высокую разрывную длину. Сопротивление раздиранию имеет лучший показатель при расходе рПУК 0,6 г/г. При увеличении расхода делигнифицированные волокна плотнее укладываются в листе, при этом короткие волокна, расположенные поперек направления раздиранию, вытаскиваются из листа в месте разрыва. За счет более плотной укладки волокон в листе при увеличении расхода рПУК снижается и капиллярная впитываемость образцов. Это связано с увеличением плотности полученной отливки. Так как волокна обладают более развитой удельной поверхностью, в процессе сушки в отливке развиваются значительные усадочные напряжения, стягивающие волокна между собой. Это приводит к образованию более плотной капиллярно-пористой структуры, что и затрудняет проникновение жидкости в межволоконное пространство.

В результате проведенной серии варок ТЦ с наилучшими характеристиками была получена при расходе рПУК 0,8 г/г, выход составил 49,7 %, содержание остаточного лигнина 3,9 %, белизна 72,0 % и получены удовлетворительные физико-механические свойства. Увеличение расхода рПУК выше 0,8 г/г является экономически не целесообразным.

Вторая серия варок была направлена на изучение влияния продолжительности щелочной обработки на качество ТЦ. Проведение данной серии варок предназначено для анализа влияния продолжительности щелочной обработки на показатели полученной ТЦ. Полученная ТЦ была проанализирована, размолота, изготовлены и испытаны лабораторные отливки (75 ± 2 г/м²). Полученные данные приведены в таблице 36.

Таблица 36 – Результаты анализа технической целлюлозы после щелочной обработки и окислительно-органо-растворительной варки с расходом рПУК 0,8 г/г от а.с.с.

| Показатель | Продолжительность щелочной обработки, мин | | |
|---|---|----------|----------|
| | 60 | 90 | 120 |
| Продолжительность щелочной обработки, мин | 60 | 90 | 120 |
| Выход сортированной ТЦ, % от а.с.с. | 45,4±0,5 | 49,5±0,5 | 49,7±0,5 |
| Непровар, % от а.с.с. | 4,0±0,5 | – | – |
| Массовая доля лигнина, % от а.с.с. | 6,4±0,2 | 4,3±0,2 | 3,9±0,2 |
| Белизна, % | 70,5±0,2 | 80,2±0,2 | 72,0±0,2 |
| Степень помола, °ШР | 56±2,0 | 57±2,0 | 64±2,0 |
| Сопротивление раздиранию, сН | 67,5±1,0 | 75,0±1,0 | 50,0±1,0 |
| Разрывная длина, км | 6,15±0,5 | 5,90±0,5 | 8,40±0,5 |
| Капиллярная впитываемость, мм | 2,1±0,3 | 1,3±0,3 | 0,8±0,3 |

Из таблицы 36 видно, что увеличение продолжительности щелочной обработки, как и предполагалось, приводит к снижению непровара и массовой доли лигнина. ТЦ при продолжительности щелочной обработки 90 и 120 минут имеет равный (в пределах погрешности) выход и близкие показатели массовой доли лигнина 4,3 % и 3,9 % соответственно. Щелочная обработка приводит к набуханию волокон, снижению количества водорастворимых веществ, в том числе и кислого характера, улучшает доступность варочной кислоты в межклеточное пространство. Однако увеличение продолжительности с 90 минут до 120 снижают показатели белизны, что вероятно связано с процессами окисления компонентов растительного сырья.

Щелочная обработка улучшает проникновение варочного раствора при варке, снижая расход кислоты, ускоряет варку. Увеличение продолжительности щелочной обработки оказывает положительное влияние на разрывную длину, это происходит за счет увеличения удельной поверхности волокон во время варки, что дает возможность образовывать большее число межволоконных связей. Наибольшая разрывная длина достигается при щелочной обработке 120 минут, но после достижения 90 минут начинает снижаться показатель сопротивления раздиранию. Наилучший показатель сопротивления раздиранию получен при продолжительности щелочной обработки 90 минут. Как и в первой серии варок с увеличением продолжительности обработки снижается капиллярная впитываемость. Основываясь на полученных данных, считаем что, дальнейшее увеличение продолжительности варок более 90 минут при расходе рПУК 0,8 г/г будет приводить к снижению прочностных показателей ТЦ.

Для оценки возможности практического использования полученной ТЦ из борщевика, приводим сравнительную характеристику с требованиями к целлюлозе сульфатной марки ЛС-4 ГОСТ 28172-89 (ТЦ /ЛС-4): белизна 80,2 % / не менее 80 %; сопротивление раздиранию 75,0 сН / не менее 35 сН; разрывная длина 5,90 км / не менее 6,0 км. Видно, что показатели белизны и разрывной длины ТЦ из борщевика близки к требованиям, предъявляемым к сульфатной целлюлозе марки ЛС-4, а показатель сопротивления раздиранию более чем в два раза превышает, предъявляемы к целлюлозе ЛС-4 требования.

Микроскопическое исследование анатомических элементов проведено на образце ТЦ, полученной ООСВ при продолжительности щелочной обработки 90 минут и расходе рПУК 0,8 г/г. ТЦ из борщевика содержит разнообразные волокна (рисунок 42). Наряду с тонкими и длинными лубяными волокнами, с заостренными концами, целлюлозная масса содержит паренхимные клетки и незначительное количество сосудов различных форм. Целлюлозная масса преимущественно состоит из хорошо делигнифицированных лубяных волокон и паренхимных клеток. Данный способ варки сохраняет легкоразрушаемые паренхимные клетки, спиралевидные и сетчатые сосуды. Результаты электронно-микроскопических исследований структуры поверхности волокон ТЦ представлены на рисунке 43.

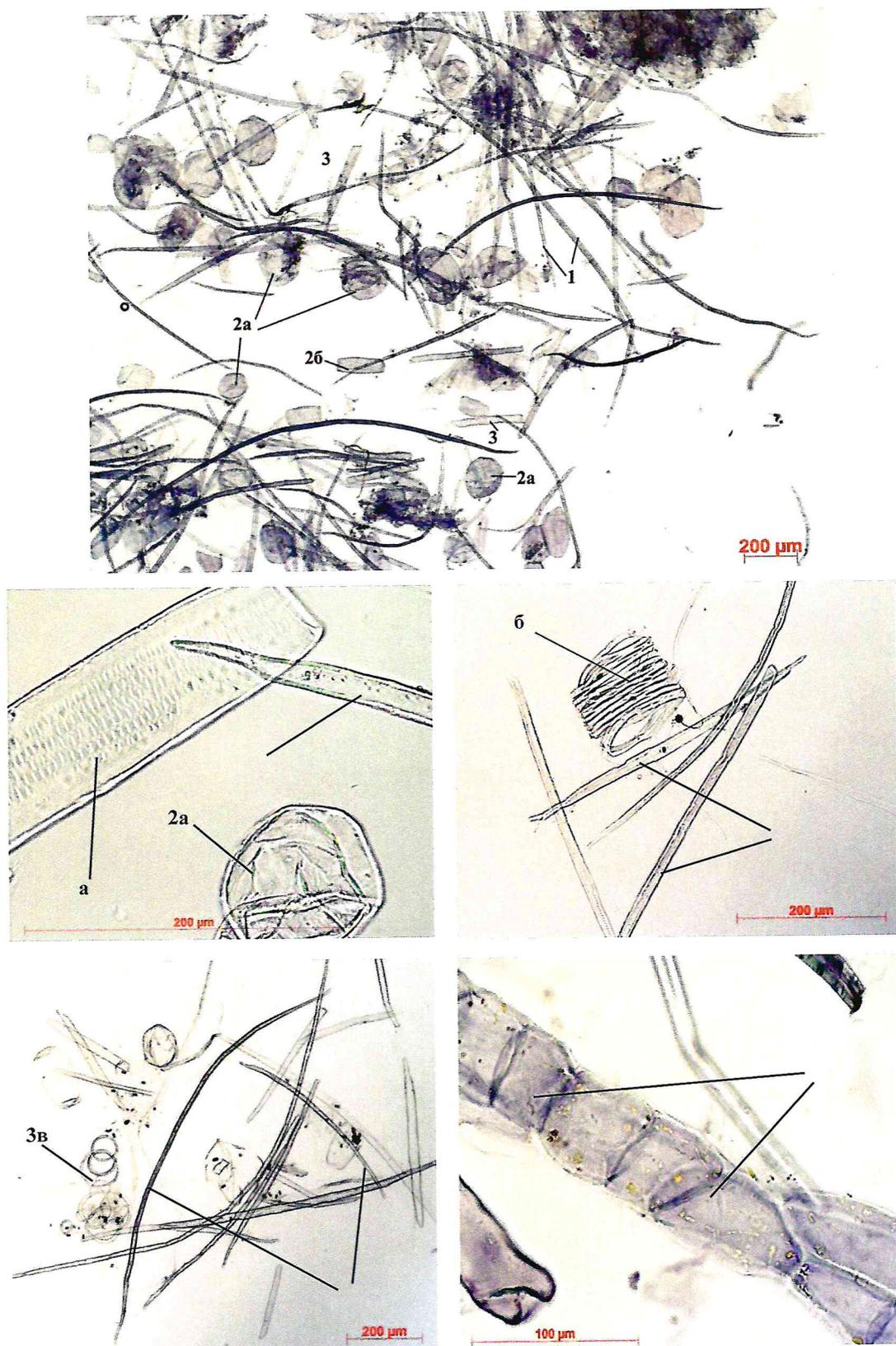


Рисунок 42 – Анатомические элементы ТЦ из борщевика:

1 – лубяные волокна; 2 – паренхимные клетки: а) бочковидные; б) длинные;
 3 – сосуды: а) пористые; б) спиральные; в) кольчатые; 4 – эпидермальные клетки

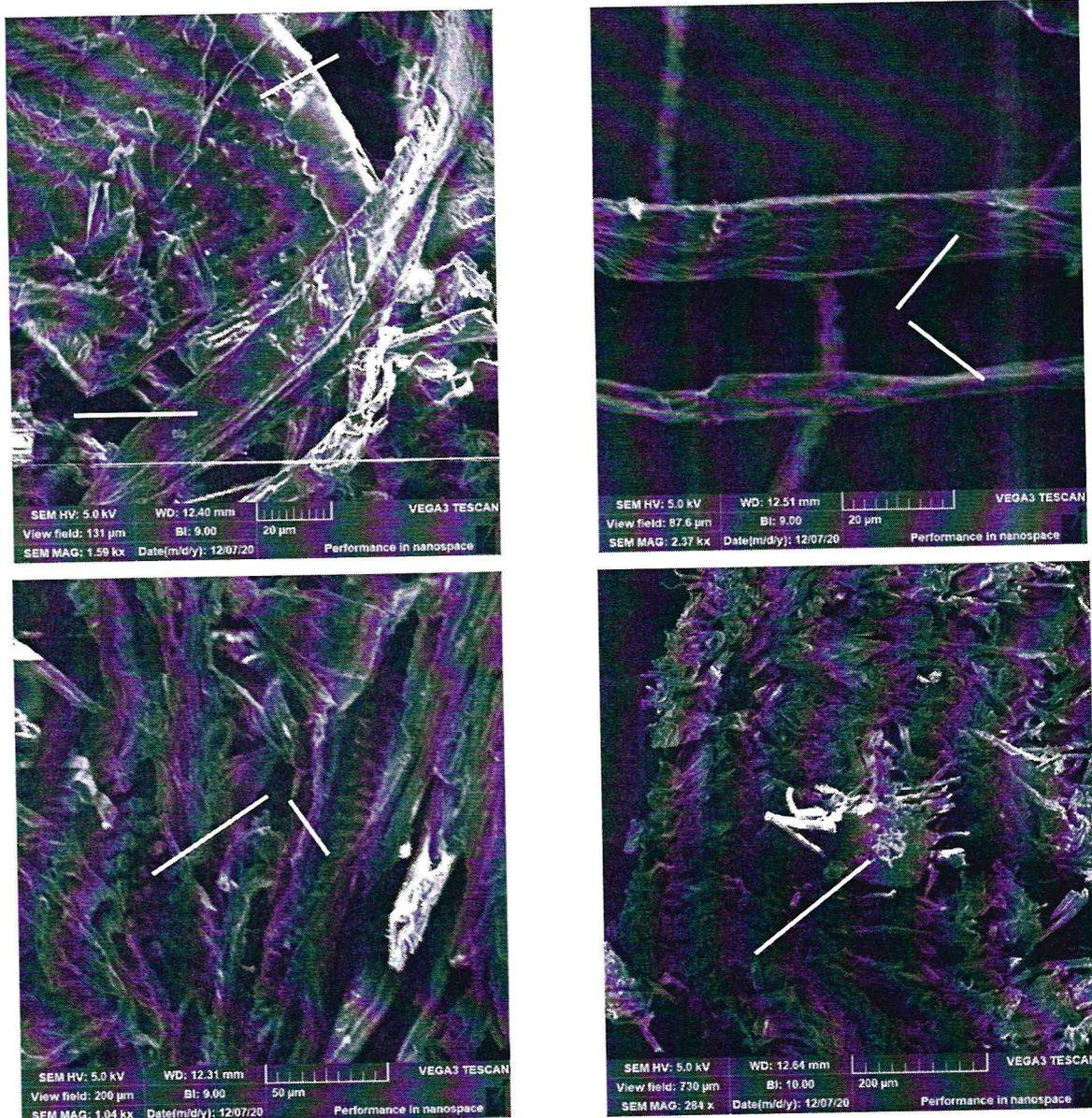


Рисунок 43 – Микрофотографии ТЦ из борщевика:

1 – лубяные волокна; 2 – пористые сосуды; 3 – центральный проводящий пучок

Таким образом, установлено, что наилучшими показателями по качеству и физико-механическим свойствам из двух серий проведенных варок обладает ТЦ, полученная при расходе рПУК 0,8 г/г и с продолжительностью щелочной обработки 90 минут. Анатомические элементы ТЦ из борщевика содержат лубяные волокна, паренхимные клетки и сосуды. Средняя длина волокна составляет 0,70 мм, а средняя ширина волокна – 20,4 мкм. ТЦ из борщевика имеет грубость в 1,5 раза ниже, чем у ТЦ из соломы овса и в 3,1 раза ниже, чем ТЦ соломы гречихи при равных массовых долях лигнина. Таким образом, по компонентному составу бор-

шевик пригоден для получения ТЦ. По фракционному составу и размерам волокон полученную ТЦ следует отнести к коротковолокнистым полуфабрикатам и рекомендовать к использованию в композиции при производстве бумаги и картона.

Следовало также обратить внимание на проблемы, связанные с практикой технологического и технического обслуживания оборудования целлюлозно-бумажного и деревообрабатывающего производства. Процессы технического перевооружения промышленности – замена устаревших процессов новыми, позволяющими снизить затраты на производство, уменьшить экологическую нагрузку на окружающую среду, и другие, являются актуальной задачей современных технологий.

В этой связи в рамках проекта были выполнены исследования по разработке метода расчета допустимых уровней температур для работоспособного технического состояния подшипников сушильных цилиндров и предотвращению образования минеральных отложений в коммуникациях оборудования. Разработан метод и алгоритм температурного диагностирования подшипников сушильных цилиндров, выполнены диагностические измерения и рассчитаны допустимые уровни температур подшипников при двухстороннем ограничении [117].

В качестве ингибиторов солеотложений и коррозии испытаны цинковые и магниевые комплексоны, полученные при мольном соотношении 2,5:1 (органодифосфат:металл). Установлено, что по своей эффективности магниевые не уступают цинковым [118]. В присутствии комплексонов, с ростом температуры, снижается величина коррозии. Это обусловлено образованием «защитной пленки» на поверхности металла. Образование «защитной пленки» подтверждается результатами эллипсометрических исследований (спектральный светодиодный эллипсометр SPEL-7LED) и результатами элементного анализа (атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно-связанной плазмой iCAP 6300 Duo). В состав «защитной пленки» входит комплексонат железа (мольное соотношение близкое 1,5:1) и гидроксид магния. Изучена возможность применения реагента ИОМС-2 для очистки технологического оборудования, периодичность которой составляет несколько раз в месяц. Установлено, что предлагаемый реагент при данном качестве воды и в температурном диапазоне 40-70 °С позволяет снизить интенсивность отложений в 5-10 раз при его концентрации 10-20 мг/л.

Заключение

В процессе выполнения предыдущих и завершающего этапа работ по заявленной теме были решены задачи по поиску оптимальных систем лесопользования и рекультивации нарушенных земель, по совершенствованию подходов и технологий рационального комплексного использования лесных, растительных природных ресурсов и переработки целлюлозосодержащих отходов.

Выполнен количественный анализ уровней ветрового воздействия и распределения снежного покрова в холодный период времени, а также анализа цифровой модели местности Arctic DEM (NASA). Радарная съемка для Arctic DEM была проведена в конце 26 марта 2017 года. Установлена хорошая согласованность данных прямых измерений глубины снега и значений индекса глубины снежного покрова, рассчитанного по данным Arctic DEM. Для моделирования зависимости значений индекса глубины снежного покрова построены ряд моделей множественной линейной регрессии от ряда предикторов. Наилучшей с точки зрения количественной и качественной адекватности является модель, в которой возрастание кривизны поверхности (переход от вогнутых участков к выпуклым), увеличение уровня ветрового воздействия, увеличение крутизны склона и величины евклидова расстояния до ближайшего дерева, увеличение высоты над уровнем моря приводит к снижению величины индекса глубины снежного покрова.

Созданы картосхемы размещения деревьев и древесных остатков в районе исследований, картографические модели, характеризующие пространственную неоднородность ряда экологических факторов, влияющих на древесную растительность исследуемого района. Создан ортофотоплан юго-западной части исследуемой территории и проведено дешифрирование лиственницы сибирской (97000 экземпляров). С использованием данных измерений экземпляров подроста и деревьев лиственницы сибирской на ранее заложенных пробных площадях, получены оценки вероятности отнесения деревьев к одному из трех интервалов возраста (1-10, 10-40 и свыше 40 лет) по средней величине проекции кроны с использованием статистических моделей. Это позволило распределить дешифрированные на аэроснимках с использованием БПЛА экземпляры лиственницы по трем возрастным интервалам. Таким образом, разработанная методика позволяет реконструировать продвижение деревьев в горную тундру.

Для оценки изменений горизонтальной пространственной структуры популяции лиственницы сибирской в районе исследований был доработан ранее предложенный метод автоматизированного выделения границ фитоценозов (лес, редколесье, редина, тундра с отдельно стоящими деревьями) на примере юго-западной части района исследований и

созданы картосхемы смен типов фитоценозов с начала 1960-х годов до 2015 года. Смены типов фитоценозов в районе исследований за период с начала 1960-х годов до 2015 года характеризуются, в основном, переходами между соседними типами: от фитоценозов с меньшей густотой к фитоценозам с большей густотой, т. е. наиболее часто встречаются переходы «редколесье — лес», «редина — редколесье», «тундра с отдельно стоящими деревьями — редина».

Проведен анализ пространственно-временной динамики отдельных климатических показателей на территории, которая относится к Полярному Уралу и прилегающих к нему районов, на основе данных инструментальных наблюдений на метеорологических станциях за период с середины XX века до настоящего времени. Созданы климатические картосхемы на основе данных реанализов и данных метеонаблюдений на метеостанциях, характеризующие пространственно-временную динамику климата исследуемой территории. Установлено, что данные реанализа CERA-20С лучше согласуются с данными метеонаблюдений на метеорологических станциях, по сравнению с данными реанализа ERA-20С.

Проведен анализ пространственно-временной динамики лесных пожаров на территории за период с 2002 по 2018 года и установлены пространственные закономерности распределения лесных пожаров на территории Ямало-Ненецкого автономного округа, с учетом условий погоды, а также особенности пространственного распределения лесных пожаров относительно мест проживания и хозяйственной деятельности человека. Результаты данного анализа свидетельствуют о том, что среднемесячные значения температуры, количество осадков и количество дней с осадками более 1 мм за месяц достаточно хорошо характеризуют метеоусловия месяца с точки зрения возможности возникновения лесных пожаров. Близость участков к местам проживания или промышленной деятельности человека способствуют возникновению природных пожаров, при этом места их распространения не обязательно зависят от сложившихся метеоусловий месяца, а от наличия уже существующих очагов пожаров. Проанализирована горимость лесов в условиях меняющегося климата и предложены оригинальные способы тушения лесных пожаров.

Проведен сбор семян с деревьев лиственницы сибирской, произрастающей в разных частях экотона и проведены определения показателей их всхожести, а также проведены успешные эксперименты по прививке колонновидной формы лиственницы сибирской на лиственницу Сукачева. Разработаны предложения по совершенствованию технологии выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой в теплицах с регулируемым микроклиматом, обеспечивающие ежегодное выращивание 3-4 ротаций основных хвойных пород для лесовосстановления и лесоразведения, а также оригинальный способ определения урожайности семян хвойных пород.

Исследованы географические закономерности изменения базисной плотности древесины и коры лесообразующих пород Евразии. Выявлен вклад таксационных показателей древостоев (возраст и средний диаметр), происхождения древостоев (естественных и искусственных) и климатических показателей (температура и осадки) в объяснение изменчивости базисной плотности деревьев, показано изменение базисной плотности древостоев в градиентах средней январской температуры и среднегодовых осадков на территории Евразии. Для достижения этой цели была использована уникальная евразийская база данных о биомассе и базисной плотности древостоев лесообразующих пород.

Изучены закономерности изменения содержания сухого вещества во фракциях биомассы деревьев сосны обыкновенной. Построенные модели зависимости ССВ от возраста дерева и диаметра ствола сосны обыкновенной, согласованные по регионам Северной Евразии благодаря включению в модели фиктивных переменных, характеризуются статистически значимым вкладом возраста дерева и диаметра ствола в объяснение изменчивости ССВ древесины, коры, хвои и ветвей.

Разработаны технологические схемы и приемы функционирования лесозаготовительных систем машин, в частности «харвестер–форвардер», для условий интенсивного ведения лесного хозяйства. Разработанными схемами и приемами проведения рубок поддерживается сохранение биотопов, сокращение площади технологических коридоров, интенсивность уплотнения лесных почвогрунтов. Разработана конструкция специализированной машины для освоения земель с подростом и технологические приемы для ее применения на сельскохозяйственных землях, зарастающих древесной растительностью.

Выполнен комплекс работ по планированию развития и размещения производительных сил на основе цифровизации процессов лесного сектора экономики и комплексной переработки лесной продукции, которая базируется на основе моделирования и обработки баз данных о биомассе лесов Евразии. В качестве метода исследований применен системный анализ баз данных о биомассе лесов для трансформации в нейронные сети искусственного интеллекта.

Разработана методика рационального объединения и типизации множеств природно-производственных условий лесных участков, известной системы машин заготовки и транспорта древесины, а также размещения лесных дорог, промышленных площадок и др. объектов, располагаемых на арендуемых лесных участках для транспортных, погрузочно-разгрузочных, обрабатывающих и информационных фракций. Разработаны предложения по совершенствованию рубок спелых и перестойных насаждений, а также рубок ухода с учетом зонально-типовой специфики насаждений; выбору главных пород при лесовосстановлении и лесоразведении и ведению хозяйства на землях, исключенных из сельскохозяйственного использования с

учетом интенсивности зарастания их древесной растительностью и потенциального почвенного плодородия.

На основе анализа формирования первичных сукцессий на различных видах нарушенных земель разработаны предложения по выбору направления и способа рекультивации с учетом зонально (подзонально)-технологических особенностей региона. Для Ханты-Мансийского автономного округа – Югры и Ямало-Ненецкого автономного округа разработаны и находятся в стадии утверждения Рекомендации по лесовосстановлению и лесоразведению.

Подтверждена результатами экспериментов возможность уменьшения экологического вреда неиспользуемых полимерных отходов производства и потребления за счёт использования их в качестве сырья для производства конкурентоспособной продукции из полимерных композиционных материалов с лигноцеллюлозными наполнителями.

Доказано сокращение потребления древесного сырья ценных пород древесины за счёт применения для производства полимерных композиционных материалов лигноцеллюлозных наполнителей, получаемых из неиспользуемых растительных отходов. Получены экспериментально-статистические модели влияния состава и химического строения компонентов на свойства (включая способность к биоразложению в грунте) полимерных композиционных материалов с полимерными фазами синтетических полимеров (полиэтилена, полипропилена, поливинилхлорида), ацетата целлюлозы и лигноцеллюлозными наполнителями.

Список использованных источников

1. Usoltsev V. A. Stem taper, density and dry matter content in biomass of trees growing in Central Eurasia: CD-monograph. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, Botanical Garden of Ural Branch of RAS, 2020. Available at: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9649>.
2. Usoltsev V. A., Shobairi S. O. R., Tsepordey I. S., Chasovskikh V. P. Augmentative modelling: A template for *Populus* sp. stand biomass in Eurasia region // *Indian For.* 2021a. V. 147. Iss. 3. P. 224-229.
3. Roque R. M., Fo M. T. Wood density and fiber dimensions of *Gmelina arborea* in fast growth trees in Costa Rica: relation to the growth rate // *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales.* - 2007. - V. 16. Iss. 3.- P. 267-276.
4. Baskerville G. L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // *Can. J. For. Res.* - 1972. - V. 2. - P. 49-53.
5. Kerfriden B., Bontemps J.-D., Leban J.-M. Variations in temperate forest stem biomass ratio along three environmental gradients are dominated by interspecific differences in wood density // *Plant Ecol.* - 2021. - V. 222. Iss. 3. - P. 289–303.
6. Молчанов А. А. Научные основы ведения хозяйства в дубравах лесостепи. - М.: Наука, - 1964. - 255 с.
7. Казимиров Н. И., Морозова Р. М. Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии. - Л.: Наука, - 1973. - 175 с.
8. Karizumi N. The mechanism and function of tree root in the process of forest production. (I). Methods of investigation and estimation of the root biomass // *Bull. Gov. For. Exp. Sta.* - 1974. - V. 259. - P. 1-99.
9. Le Goff N. Above and belowground biomass data for a set of beech trees of different age and crown classes sampled in Hesse state forest (NE France) with a view to analyzing the distribution and the allocation of biomass in the tree, 2019. Available at: <https://doi.org/10.15454/8CLEGO>, Portail Data INRAE, V1, UNF:6:HDb+DRUGMjU4MmuN/sKVVA== [fileUNF].
10. Андрущенко А. П. Надземная фитомасса древостоев разного возраста в свежей субори // *Тр. Харьковского с.-х. ин-та.* - Харьков, - 1977. - Т. 240. - С. 53-56.
11. Usoltsev V. A. Forest biomass and primary production database for Eurasia: digital version. The third edition, enlarged. Monograph. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2020. - DOI: 10.13140/RG.2.2.29991.70568.

Список использованных источников

1. Usoltsev V. A. Stem taper, density and dry matter content in biomass of trees growing in Central Eurasia: CD-monograph. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, Botanical Garden of Ural Branch of RAS, 2020. Available at: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9649>.
2. Usoltsev V. A., Shobairi S. O. R., Tsepordey I. S., Chasovskikh V. P. Augmentative modelling: A template for *Populus* sp. stand biomass in Eurasia region // *Indian For.* 2021a. V. 147. Iss. 3. P. 224-229.
3. Roque R. M., Fo M. T. Wood density and fiber dimensions of *Gmelina arborea* in fast growth trees in Costa Rica: relation to the growth rate // *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales.* - 2007. - V. 16. Iss. 3.- P. 267-276.
4. Baskerville G. L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // *Can. J. For. Res.* - 1972. - V. 2. - P. 49-53.
5. Kerfriden B., Bontemps J.-D., Leban J.-M. Variations in temperate forest stem biomass ratio along three environmental gradients are dominated by interspecific differences in wood density // *Plant Ecol.* - 2021. - V. 222. Iss. 3. - P. 289–303.
6. Молчанов А. А. Научные основы ведения хозяйства в дубравах лесостепи. - М.: Наука, - 1964. - 255 с.
7. Казимиров Н. И., Морозова Р. М. Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии. - Л.: Наука, - 1973. - 175 с.
8. Karizumi N. The mechanism and function of tree root in the process of forest production. (I). Methods of investigation and estimation of the root biomass // *Bull. Gov. For. Exp. Sta.* - 1974. - V. 259. - P. 1-99.
9. Le Goff N. Above and belowground biomass data for a set of beech trees of different age and crown classes sampled in Hesse state forest (NE France) with a view to analyzing the distribution and the allocation of biomass in the tree, 2019. Available at: <https://doi.org/10.15454/8CLEGO>, Portail Data INRAE, V1, UNF:6:HDb+DRUgMjU4MmuN/sKVVA== [fileUNF].
10. Андрущенко А. П. Надземная фитомасса древостоев разного возраста в свежей субори // *Тр. Харьковского с.-х. ин-та.* - Харьков, - 1977. - Т. 240. - С. 53-56.
11. Usoltsev V. A. Forest biomass and primary production database for Eurasia: digital version. The third edition, enlarged. Monograph. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2020. - DOI: 10.13140/RG.2.2.29991.70568.

12. Usoltsev V. A., Shobairi O., Tsepordey I. S., Ahrari A., Zhang M., Shoaib A. A., Chasovskikh V. P. Are there differences in the response of natural stand and plantation biomass to changes in temperature and precipitation? A case for two-needled pines in Eurasia // *Journal of Resources and Ecology*, - 2020, - v. 11 (4). - P. 331-341. - DOI: 10.5814/j.issn.1674-764x.2020.04.001.
13. Baskerville G. L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // *Canadian Journal of Forest Research*, - 1972, - v. 2 (1). - P. 49-53.
14. Специализированные массивы [Электронный ресурс] - <http://meteo.ru/data> [дата обращения 01.05.2020].
15. Булыгина О. Н., Разуваев В. Н., Коршунова Н. Н., Швед Н. В. "Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России". Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394 [Электронный ресурс] - <http://meteo.ru/data/158-total-precipitation#описание-массива-данных> [дата обращения 01.05.2020].
16. Гавриков А. Атмосферные реанализы [Электронный ресурс] - https://ocean.ru/phocadownload/pl_univer/pl_univer_2019_01.pdf [дата обращения 18.10.2020].
17. МГЭИК, 2007: Изменения климата, 2007: Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II, III в четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата. – МГЭИК, Женева, Швейцария. – 104 с.
18. Бокучава Д. Д., Семенов В. А. Анализ аномалий приземной температуры воздуха в Северном полушарии в течение XX века по данным наблюдений и реанализов // *Фундаментальная и прикладная климатология*. — 2018. — № 1. — С. 28–51.
19. FIRMS Fire Information for Resource Management System - URL: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#d:24hrs;@0.0,0.0,3z> (дата обращения: 08.11.2022).
20. Fomin, V.V., Mikhailovich, A.P., Shiyatov S.G. Trees in the Upper Treeline Ecotone in the Polar Urals: Centuries-Old Change and Spatial Patterns. *Mountain Research and Development*. — 2020. — 40(2). — P. R32–R40. - DOI:10.1659/MRD-JOURNAL-D-20-00002.1.
21. Михайлович А.П. Пространственно-временная динамика популяции лиственницы сибирской на верхнем пределе ее произрастания в нижнем течении рек Енгаю и Кердоманшор (Полярный Урал) в условиях изменения климата: дис. канд. биол. наук наук: 1.5.15. - 2022. - 149 с.
22. Башегуров К.А., Залесов С.В., Морозов А.Е., Попов А.С. Накопление подроста сосны обыкновенной на вырубках в подзоне северной тайги // *Международный научно-исследовательский журнал*. - 2022. - № 2 (116). Ч. 1. - С. 123-127.

23. Сураев П.Н., Азаренок В.А., Залесов С.В., Михайлов Ю.Е., Фомин В.В. Проблемы выборочных рубок в Средне-Уральском таежном лесном районе // Международный научно-исследовательский журнал, - 2022. - № 4 (118). Ч. 1. - С. 189-193.
24. Панкратов В.К., Эбель А.В., Залесов С.В., Рахимжанов А.Н., Нысанбаев Е.Н. О жизненном состоянии искусственных насаждений и необходимость лесоводственного ухода в зеленом поясе города Нур-Султан // Природообустройство. - 2022. - № 1. - С. 117-123.
25. Фефелова И.А., Залесов С.В., Сураев П.Н. Последствия рубок ухода в сосняках ягодникового типа леса //Международный научно-исследовательский журнал. - 2022. - № 2 (116). Ч. 1. - С. 169-174.
26. Данчева А.В., Залесов С.В. Влияние рубок ухода на биологическую устойчивость сосняков защитного назначения Северного Казахстана // Лесной вестник / Forestry Bulletin, - 2022. - Т. 26. № 4. - С. 5-13.
27. Панкратов В.К., Залесов С.В., Эбель А.В. Опыт спиливания искусственных деревьев вяза шершавого на высокий пенек в условиях ковыльно-типчаковой степи // Инновационные технологии в лесохозяйственной, деревообрабатывающей промышленности и прикладной механике. Сб. трудов Всерос. научно-практ. конф. – Тюмень: ГАУ Северного Зауралья - 2022. - С. 161-167.
28. Алипов Б.А., Калачев А.А., Залесов С.В. Влияние высоты над уровнем моря на продуктивность лиственничников Рудного Алтая // Международный научно-исследовательский журнал. - 2022. - № 6 (120). Ч. 5. - С. 20-25
29. Алипов Б.А., Калачев А.А., Залесов С.В. Производительность искусственных насаждений лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb) в Рудном Алтае // Международный научно-исследовательский журнал. - 2022. - № 6 (120). Ч. 1. - С. 147-151.
30. Алипов Б.А., Калачев А.А., Залесов С.В. Площади лесных культур лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) в Казахстанском Алтае // Международный научно-исследовательский журнал. - 2022. - № 7 (121). Ч. 2. - С. 130-135.
31. Алипов А.Б., Калачев А.А., Залесов С.В. Насаждения лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) в Казахстанском Алтае // Международный научно-исследовательский журнал. - 2022. - № 11 (125). - URL: [https:// research-journal. org/archive/11-125-2022-november/10.23670/IRJ. 2022. 125.30](https://research-journal.org/archive/11-125-2022-november/10.23670/IRJ.2022.125.30).
32. Годовалов Г.А., Залесов С.В., Маршев К.В., Секерин И.М. Состав древостоев в насаждениях различных групп типов леса Средне-Уральского таежного лесного района // Международный научно-исследовательский журнал. - 2022. - № 6 (120). Ч. 5. - С. 48-52.

33. Фомин В.В., Иванова Н.С., Залесов С.В., Михайлович А.П. Общеввропейские подходы к классификации местообитаний, растительности и типов леса // Известия вузов. Лесной журнал». - 2022. - № 4. - С. 9-24.

34. Жижин С.М., Залесов С.В., Магасумова А.Г. Изменение площади сельскохозяйственных угодий в Удмуртской Республике // Лесной вестник / Forestry Bulletin, - 2022. - Т. 26. № 3. - С. 47-53.

35. Залесов С.В., Жижин С.М., Магасумова А.Г., Оплетаев А.С., Платонов Е.П. Повышение эффективности использования бывших сельскохозяйственных угодий // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, - 2022. - Вып. 239. - С. 104-116.

36. Жижин С.М., Залесов С.В. Низкое плодородие почвы как фактор прекращения сельскохозяйственного использования // Международный научно-исследовательский журнал. - 2022. - № 7 (121). Ч. 2. - С. 163-166.

37. Жижин С.М. Формирование лесной растительности на землях, вышедших из сельскохозяйственного использования в Удмуртской Республике: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. - Екатеринбург, - 2022. - 19 с.

38. Архипов Е.В., Залесов С.В. Минимизация послепожарного ущерба в сосняках после низовых лесных пожаров // Леса России и хозяйство в них. - 2022. - № 1 (80). - С. 26-36.

39. Секерин И.М., Ерицов А.М., Залесов С.В. Анализ фактической горимости лесов Уральского Федерального округа и пути ее снижения // Международный научно-исследовательский журнал. - 2022. - № 1 (115). Ч. 1. - С. 129-133.

40. Ерицов А.М., Залесов С.В., Морозов А.Е., Секерин И.М. Фактическая горимость лесов по зонам охраны на примере Уральского Федерального округа // Вестник бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. - 2022. - № 2 (67). - С. 146-153.

41. Чижов Б.Е., Залесов С.В., Терехов Г.Г., Санников Н.С., Егоров Е.В. Противопожарное обустройство лесов южной тайги, лесостепи Западной Сибири и Урала // Лесохозяйственная информация. - 2022. - № 2. - С. 13-33.

42. Кректунов А.А., Ефимов И.А., Залесов С.В., Секерин И.М. Охрана населенных пунктов Свердловской области от лесных пожаров на основе анализа способов их обнаружения // Техносферная безопасность. - 2022. - № 2 (35). - С. 3-8.

43. Кректунов А.А., Ерицов А.М., Залесов С.В., Секерин И.М. Прогноз развития лесного пожара в зависимости от расстояния до населенного пункта // Международный научно-исследовательский журнал, - 2022. - № 7 (121). Ч. 2. - С. 167-172.

44. Секерин И.М., Ерицов А.М., Кректунов А.А., Залесов С.В. Опыт тушения торфяных пожаров на Среднем Урале // Международный научно-исследовательский журнал. - 2022. - № 5 (199). Ч. 2. - С. 81-85.
45. Секерин И.М., Годовалов Г.А., Ерицов А.М., Залесов С.В. Специфика распространения и тушения торфяных пожаров в зимний период // Лесной вестник / Forestry Bulletin, - 2022. - Т. 26. № 5. - С. 64-70.
46. Башегуров К.А., Залесов С.В., Белов Л.А. Влияние способа разработки гари на рост и развитие лесных культур сосны обыкновенной в подзоне северной тайги Западной Сибири // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: мат. XVIII всерос. (национальный) науч.-техн. конф. - Екатеринбург: УГЛТУ, - 2021. - С. 35-43.
47. Залесов С.В., Сураев П.Н., Бунькова Н.П., Осипенко А.Е., Панин И.А., Петров А.И. Интенсификация лесопользования путем совершенствования нормативно-правовых документов // Международный научно-исследовательский журнал. - 2022. № 10 (124). - С. 1-4.
48. Биатова Е.А., Башегуров К.А., Залесов С.В., Белов Л.А. Опыт рекультивации прикустовых площадок сеянцами с закрытой корневой системой на территории ХМАО-Югры // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России. - Екатеринбург: УГЛТУ, - 2021. - С. 40-46.
49. Корчагин И.Е., Залесов С.В. История рекультивации золоотвала № 1 Рефтинской ГРЭС // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России. - Екатеринбург: УГЛТУ, - 2021. - С. 159-162.
50. Vachurina A.V., Zalesov S.V., Ayan S. Characteristics of Plantations on Disturbed Land in copper smelting zone in Urals, Russia // Forest, - 2022: 1-9.
51. Залесов С.В., Зарипов Ю.В., Осипенко Р.А. Опыт лесохозяйственного направления рекультивации нарушенных земель при разработке месторождений глины, хризотил-асбеста и редкоземельных руд: монография. - Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, - 2022. - 282 с.
52. Жигулин Е.В. Совершенствование агротехники выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой в теплицах с регулируемым микроклиматом: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2022. 19 с.
53. Залесов С.В., Оплетаев А.С. Способ учета урожая семян деревьев хвойных пород // патент на изобретение № 2768039. Зарегистрирован в Гос. реестре изобретений РФ от 23.03.2022 г.

54. Зубайдуллин А.А., Юсупов И.А., Лопатин К.И., Чемякин А.Г. Несовершенство региональных критериев приемки участков земли, рекультивированных после нефтяного загрязнения // Правовые вопросы природопользования. - 2006. - № 3. - С. 139-142.

55. Данчева А.В., Залесов С.В., Лучкина Н.В., Коровина В.С. Естественное возобновление сосны в городских лесах города Тюмени (на примере экопарка «Затюменский»), Природообустройство. - 2022. - № 4. - С. 124-131.

56. Деградация и демутация лесных экосистем в условиях нефтегазодобычи / С.В. Залесов, Н.А. Кряжевских, Н.Я. Крупинин, К.В. Крючков, К.И. Лопатин, В.Н. Луганский, Н.А. Луганский, А.Е. Морозов, И.В. Ставищенко, И.А. Юсупов. - Екатеринбург: УГЛТУ, - 2002. - Вып. 1. - 436 с.

57. Морозов А.Е. Научная организация использования и сохранения лесов в районах добычи углеводородного сырья (на примере Ханты-Мансийского автономного округа – Югры): автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Екатеринбург, 2022. 39 с.

58. Способ учета урожая семян деревьев хвойных пород: патент на изобретение № 2768039 / Залесов С.В., Оплетаев А.С. – Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений РФ от 23.03.2022 г.

59. Способ формирования семенных полос при сплошнолесосечных рубках в ельниках: Патент на изобретение № 277933// Залесов С.В. – Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений РФ от 06.09.2022.

60. Якимович С. Б., Тетерина М.А. Оценка энергоэффективности и экологичности нового способа заготовки и обработки древесины харвестером на основе промышленной апробации // Вестник Казанского технологического университета. – Казань: КНИТУ. – 2013. - Т 16. № 24. – С. 40-44.

61. Yakimovich, S.B., Teterina, M.A. Ways of conservation the natural environment and the intensification of logging round timber // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. v. 232. p. 9, 2019. - DOI:10.1088/1755-1315/272/3/032026.

62. Якимович С. Б. Постановка и решение задачи синтеза и оптимального управления технологическими процессами // Лесной Вестник, (Issue number 2542-1468). - 2003. - № 5. – С. 96-103.

63. Якимович С. Б., Ефимов Ю.В. Оценка эффективности систем маши и харвестерных агрегатов для заготовки древесины по фундаментальному критерию технолога – удельной энергоемкости // Лесной Вестник, (Issue number 2542-1468). - 2020. - Т 24. – №1. – С. 59-68.

64. Якимович С. Б. Оптимальное управление процессами лесозаготовок: уравнения состояний // Лесной Вестник, (Issue number 2542-1468). - 2003. - №3. – С. 149-160.

65. Патент на изобретение 2365093 Российская Федерация, МПК А01G23/02. Способ заготовки сортиментов машиной манипуляторного типа / Якимович С.Б. (RU), Груздев В.В. (RU), Крюков В.Н. (RU), Тетерина М.А. (RU). № 2008107195/12; заявл. 26.02.07; опубл. 27.08.2009, Бюл. №24. 2 с.

66. Патент на изобретение 2467559 Российская Федерация, МПК А01G23/02. Способ заготовки сортиментов машиной манипуляторного типа с сохранением молодняка / Якимович С.Б. (RU), Груздев В.В. (RU), Свириденков А.Н. (RU), Тетерина М.А. (RU), Минай А.Я. (RU), Столяров А. М. (RU). № 2011125457/13; заявл. 20.06.2011; опубл. 27.11.2012, Бюл. №33. 3 с.

67. Герц Э.Ф., Мехренцев А.В., Якимович С.Б. Сравнительная оценка эффективности технологических схем работы систем машин «харвестер–форвадер» по критериям площади технологических коридоров и производительности // Лесной вестник. – Москва: МВТУ им. Баумана. – 2012. – № 4 - 63 с.

68. Якимович С. Б., Тетерина М.А. Моделирование стохастических обрабатывающе-транспортных систем с перемещаемыми запасами // Лесной Вестник, (Issue number 2542-1468). – Москва: МВТУ им. Баумана. - 2007. - № 6. – С. 71-76.

69. Патент RU 2767355 С1 Российская Федерация, Устройство для освоения земель с древесным подростом / А.В. Мехренцев, А.Ф. Уразова, П.Н. Уразов, Э.Ф. Герц, Ю.В. Ефимов, А.Д. Герасимова; заявитель и патентообладатель УГЛТУ, - 2021126522; заявл. 27.03.03 ; опубл. 17.03.22.

70. Оффан К.Б., Петров В.С., Ефремов А.А. Закономерности пиролиза скорлупы кедровых орехов с образованием древесного угля в интервале температур 200-500 °С // Химия растительного сырья. - 1999. - № 2. - С. 61-64.

71. Одинцова М.В. Физико-химические характеристики бифункционального сорбента из скорлупы кедровых орехов: автореф... дис. кан. хим. наук. Тюмень: 2010. 19 с.

72. Везенцев А.И., Нгуен Хоай Тъяу, Габрук Н.Г., Соколовский П.В., Шутеева Т.А., Харитоновна М.Н. Сорбенты на основе монтмориллонитовых глин и кофейной шелухи. В кн.: Актуальные проблемы теории адсорбции, пористости и адсорбционной селективности. Материалы Всероссийского симпозиума с участием иностранных ученых. Москва–Клязьма: - 2013. - С. 89.

73. Патент РФ №2404996. Способ получения хитинсодержащих композитов. Габрук Н.Г., Давиденко А.В., Олейникова И.И. Опубл. 27.11.2010. Бюл. №33.

74. Патент РФ №2467760. Способ получения модифицированного энтеросорбента. Габрук Н.Г., Олейникова И.И., Рюшина В.А. Опубл. 27.11.2012. Бюл. №33.

75. Патент РФ №. Способ получения сорбента на основе углеродного материала. Габрук Н.Г., Олейникова И.И., Шутеева Т.А. Опубл. 20.10.2015. Бюл. №29.

76. Габрук Н.Г., Шутеева Т.А. Получение углеродного сорбента на основе растительного сырья. В кн.: Сорбенты как фактор качества жизни и здоровья. Материалы IV Международной конференции. – Белгород, - 2012. - С. 57–62.

77. Никифорова Т.Е., Козлов В.А. Сорбция ионов Cu(II) соевым шротом, модифицированным монохлорацетатом натрия // Журнал прикладной химии. - 2008. - Т. 81. №8. - С. 428–433.

78. Гришин И.С., Смирнов Н.Н., Смирнова Д.Н. Механохимическое модифицирование активированного угля в воздушной среде // Журнал прикладной химии. - 2020. - Т. 93. Вып. 11. - С. 1560-1566. - DOI: 10.31857/S0044461820110055

79. Малыгин А.А. Физика поверхности и нанотехнология: взаимосвязь и перспективы // Соросовский образовательный журнал. - 2004. - Т. 8. № 1. - С. 32-37.

80. Камбарова Г.Б. Состав и свойства активных углей, полученных из отходов орехового дерева // Наука и новые технологии. - 2011. - №4. - С. 159-161.

81. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. - М.: Экология, - 1991. - 320 с.

82. Богаев А.Н., Горелова О.М., Курочкин Э.С. Изучение закономерностей процесса пиролиза скорлупы кедрового ореха и получение на ее основе активированного угля с заданными свойствами // Ползуновский вестник. - 2014. - № 3. - С. 217-220.

83. Базарнова Н.Г. Методы исследования древесины и ее производных: учеб. пособие. Под ред. Н.Г. Базарновой. Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2002. 160 с.

84. Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров. - СПб.: Изд-во «Лань», - 2021. - 624 с.

85. Хохотва А.П. Адсорбция тяжелых металлов сорбентом на основе сосновой коры // Химия и технология воды. - 2010. - Т.32 (6). - С. 604–612.

86. Адсорбция из растворов на поверхности твердых тел: пер. с англ. / под ред. Г. Парфита, Л. Рочестера. - М.: Мир, - 1986. - 488 с.

87. Ершов Ю.А. Коллоидная химия / Ю.А. Ершов. - М.: ГЭОТАР- Медиа, - 2014. - 352с.

88. Зимон А.Д., Павлов А.Н. Коллоидная химия наночастиц. - М.: Научный мир, - 2012. - 224 с.

89. Степанова С.В., Шайхиев Т.И., Фридланд С.В. Очистка модельных вод, содержащих ионы меди, отходами переработки зерновых культур // Вестник Казанского технологического университета. - 2013. - Т. 16. № 15. - С. 318-321.

90. Ермоленко И.Н., Савриков Е.В., Назарова Т.Л., Фрумкин Л.Е., Шабанова Н.В. Исследование механизма сорбции ионов переходных металлов фосфорсодержащим волокнистым ионитом на основе целлюлозы // Журнал прикладной химии. - 1987. - Т. 60. №9. - С. 2053–2057
91. Lichun Fu, Fuqiang Liu, Yan Ma, Xuewen Tao, Chen Ling, Aimin Li, Chendong Shuang, Yan Li. High-efficient technique to simultaneous removal of Cu(II), Ni(II) and tannic acid with magnetic resins: complex mechanism behind integrative application // Chemical Engineering Journal. - 2015. - Vol. 263. - P. 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.11.041>
92. El-Hendawy A.N.A. The role of surface chemistry and solution pH on removal of Pb²⁺ and Cd²⁺ ions via effective adsorbents from low cost biomass // J. Hazard. Mater. - 2009. - V.167 (1-3). - P. 260-267. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.12.118>
93. Арапова О.В., Бондаренко Г.Н., Цодиков М.В. Наноразмерные частицы Fe и Ni в процессе углекислотного риформинга лигнина: исследование методами ИК-спектроскопии // Журнал физической химии. - 2019. - Т.93. №7. - С. 1060-1070. - DOI: 10.1134/S0044453719070021
94. Nassar M.M.A. Progress and challenges in sustainability, compatibility, and production of eco-composites: A state-of-art review / M.M.A. Nassar, K.I. Alzebdeh, T. Pervez, N. Al-Hinai, A. Munam // J Appl. Polym. Sci. – 2021; e51284. - DOI: <https://doi.org/10.1002/app.51284>.
95. Исследование свойств полимерного композиционного материала на основе поливинилхлорида и стеблей подсолнечника / Захаров П.С., Чирков Д.Д., Шкуро А.Е., Усова К.А., Биктимирова О.Е., Кривоногов П.С. // Вестник Технологического университета. - 2022. - Т. 25. № 3. - С. 51-56.
96. Исследование влияния пластификаторов на свойства полимерных композиционных материалов на основе поливинилхлорида и древесной муки / Незнанов В.А., Глухих В.В., Шкуро А.Е., Кривоногов П.С. // Деревообрабатывающая промышленность. - 2022. - № 1. - С. 114-122.
97. Термомеханическая активация наполнителей для древесно-минеральных полимерных композиционных материалов / Захаров П.С., Чирков Д.Д., Шкуро А.Е., Ершова А.С. // Деревообрабатывающая промышленность. - 2022. - № 1. - С. 103-109.
98. Композиционный материал на основе отходов кабельной изоляции и древесной муки / Чирков Д.Д., Шкуро А.Е., Глухих В.В., Биктимирова О.Е. // Вестник Технологического университета. - 2022. - Т. 25. № 5. - С. 30-34.
99. Полимерные композиционные материалы на основе отходов потолочных панелей и древесной муки / Чирков Д.Д., Шкуро А.Е., Глухих В. В., Кулаженко Ю.М., Кривоногов П.С. // Деревообрабатывающая промышленность. - 2022. - № 2. - С. 90-96.

100. Исследование превращений содержащегося в растительном сырье лигнина как естественного связующего при получении пластика в закрытых пресс-формах / А. В. Артемов, В. Г. Бурындин, П. С. Кривоногов [и др.] // Клеи. Герметики. Технологии. – 2022. – № 9. – С. 8-15. – DOI 10.31044/1813-7008-2022-9-8-15.

101. Исследование свойств пластиков без добавления связующих веществ на основе фитомассы бурых водорослей / А. В. Артемов, А. С. Ершова, Н. Г. Власов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – № 8(122). – DOI 10.23670/IRJ.2022.122.38.

102. Получение и свойства пластика без связующего на основе термообработанного исходного пресс-сырья / А. В. Артемов, А. С. Ершова, В. Г. Бурындин, А. В. Савиновских // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 5. – С. 65-69. – DOI 10.55421/1998-7072_2022_25_5_65.

103. Пластики без связующих на основе фитомассы банановых листьев: свойства и биоразлагаемость / А. В. Артемов, А. С. Ершова, А. Б. Якимова // Journal of Agriculture and Environment. – 2022. – № 3(23). – DOI 10.23649/jae.2022.3.23.03

104. Получение и исследование влияния технологических факторов на свойства пластика без связующего на основе растительных остатков сосны Сибирской кедровой / А. В. Артемов, А. В. Савиновских, А. С. Ершова, В. Г. Бурындин // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 3. – С. 57-61. – DOI 10.55421/1998-7072_2022_25_3_57.

105. Исследование биоразлагаемости древесных пластиков без добавления связующих на основе древесины березы / А. В. Артемов, А. С. Ершова, А. В. Савиновских [и др.] // Системы. Методы. Технологии. – 2022. – № 3(55). – С. 92-97. – DOI 10.18324/2077-5415-2022-3-92-97

106. Оценка воздействия биоразлагаемых материалов на основе растительного недревесного сырья на элементы окружающей среды / А. В. Артемов, А. С. Ершова, А. В. Савиновских, В. Г. Бурындин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2022. – № 1(45). – С. 5-20. – DOI 10.15593/2409-5125/2022.1.01.

107. Biostability of binder-free wood and plant plastics protected with antiseptics / V. G. Buryndin, A. V. Artyemov, A. V. Savinovskih [et al.] // Foods and Raw Materials. – 2022. – Vol. 10. – No 1. – P. 148-154. – DOI 10.21603/2308-4057-2022-1-148-154.

108. Изучение изменений прочностных показателей пластиков без связующего по потере массы при биоразложении / А. В. Артемов, А. С. Ершова, В. Г. Бурындин, А. В. Савиновских // Деревообрабатывающая промышленность. – 2022. – № 1. – С. 71-79.

109. Третьякова Е.М., Петрухин Я.В. Целлюлозно-бумажная промышленность: обеспечение безопасности и проблемы переработки отходов // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. - 2012. - № 1(19). - С. 43-45.
110. Козбан П.Ф., Краснов А.А., Тихомиров С.Г. Проблема уничтожения борщевика Сосновского в водоохраных и природоохраных зонах // XXII Международный Биос-форум 2017. - Санкт-Петербург,- 2017. - С. 63-66.
111. Ткаченко К.Г., Краснов А.А. Борщевик Сосновского: экологическая проблема или сельскохозяйственная культура будущего? (Обзор) // Бюллетень Ботанического сада-института ДВО РАН. - 2018. - № 20. - С. 1-22. - DOI: 10.17581/bbgi2002
112. Мусихин П.В., Сигаев А.И. Исследование физических свойств и химического состава борщевика сосновского и получение из него волокнистого полуфабриката // Современные наукоемкие технологии. - 2006. - № 3. - С. 65-67.
113. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. - М., - 1991. - 320 с.
114. Материалы из нетрадиционных видов волокон: технологии получения, свойства, перспективы применения / Под ред. А.В. Вураско. - Екатеринбург, - 2020. - 252 с.
115. Ткаченко К.Г. Род *Heracleum* – перспективные эфирномасличные растения // Научный и инновационный потенциал развития производства, переработки и применения эфиромасличных и лекарственных растений. - Симферополь, - 2019. - С. 88-92.
116. Купов И.С. Разработка метода выделения пектина и фуранокумаринов из борщевика Сосновского // Открытая городская научно-практическая конференция «Инженеры будущего». - Москва, - 2020. - С. 309-311.
117. Сиваков В.П., Вураско А.В., Исаева К.С. Температурное диагностирование подшипников сушильных цилиндров картоноделательной машины // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. - 2022. - № 238. - С. 185-202. - DOI: 10.21266/2079-4304.2022.238.185-202
118. B.N. Driker, N.V. Tsiulnikova, A.A. Protazanov, N.N. Styagov Magnesium and zinc organophosphonate complexonates as scaling and corrosion inhibitors // Journal of Corrosion and Scale Inhibition. - 2022. - V. 11. № 2. - С. 695-704. - DOI: 10.17675/2305-6894-2022-11-2-17

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Библиографический список публикаций и патентных
документов, полученных в результате выполнения НИР
(справочное)

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ
В СВЕТЕ СОВРЕМЕННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ

Публикации, индексируемые Web of Science

1. Fomin V, Mikhailovich A, Golikov D, Agapitov E. Reconstruction of the Expansion of the Siberian Larch into the Mountain Tundra in the Polar Urals in the 20th—Early 21st Centuries. *Forests*. - 2022; 13(3):419. <https://doi.org/10.3390/f13030419>, WoS Q1, ScopusWoS
2. Ivanova N, Fomin V, Kusbach A. Experience of Forest Ecological Classification in Assessment of Vegetation Dynamics. *Sustainability*. - 2022. - 14(6):3384. <https://doi.org/10.3390/su14063384> Q2, Scopus
3. Фомин В.В., Иванова Н.С., Залесов С.В., Михайлович А.П. Общеввропейские подходы к классификации местообитаний, растительности и типов леса // *Известия вузов. Лесной журнал* - 2022. - № 4. - С. 9-24. Doi: 10.37482/0536-1036-2022-4-9-24. WoS Q4, ВАК, RSCI
Bachurina A.V., Zalesov S.V., Ayan S. Characteristics of Plantations on Disturbed Land in copper smelting zone in Urals, Russia // *Forest*, - 2022: 1-9. DOI: 10.5152/forestist. 2022. 22019.
4. Герц Э.Ф., Мехренцев А.В., Теринов Н.Н., Уразова А.Ф. Обоснование технологических параметров процесса трелевки древесины мини-трактором при проходных рубках // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал* - 2022. - № 6. - С. 126-138.

Публикации, индексируемые Scopus

1. Vurasko, A.V., Ageev, M.A., Sivakov, V.P. Preparation and properties of technical cellulose from hogweed by oxidative-organosolvent method // *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, - 2022, - (1), - pp. 289–298. DOI: 10.14258/jcprm.20220110121
2. B.N. Driker, N.V. Tsirulnikova, A.A. Protazanov, N.N. Styagov Magnesium and zinc organophosphonate complexonates as scaling and corrosion inhibitors // *Journal of Corrosion and Scale Inhibition*. 2022. V. 11. № 2. С. 695-704. DOI: 10.17675/2305-6894-2022-11-2-17
3. Zakharov, P.S. Studying the Properties of Composites with a Polyvinylchloride Matrix and Meadow-Grass-Hay Filler / Zakharov, P.S., Shkuro, A.E., Glukhikh, V.V., Stoyanov, O.V., Kolpakova, M.V. // *Polymer Science - Series D*, - 2022, - 15(2), - p. 306–310.
4. A.E. Shkuro, P.S. Krivonogov Modeling of wood-polymer composites properties / AIP Conference Proceedings, Volume 2632 International Scientific and Practical Symposium “Materials Science and Technology” (MST2021).
5. P.S. Zakharov, A.E. Shkuro, V.V. Glukhikh, Yu.M. Kulazhenko. Effect of microcrystalline cellulose content in mixture with craft lignin properties of wood-polymer composites / AIP Conference Proceedings, Volume 2632 International Scientific and Practical Symposium “Materials Science and Technology” (MST2021).
6. Kashchenko M.P., Skorikova N.A., Kashchenko N.M., Chashchina V.G. Critical Diameters of Grains or Individual Particles for the Start of a Martensitic Reaction from the Positions of Dynamic Theory // *Physics of the Solid State*, - 2022, - 64(6), - pp. 316–320.
7. Kashchenko M.P., Semenyukh A.G., Nefedov A.V., Kashchenko N.M., Chashchina V.G. Dynamic Model for the Nanocrystalline Implementation of the γ - α Martensitic Transition

- with an Increased Volumetric Effect // *Physics of the Solid State*, - 2022, - 64(6), - pp. 321–324.
8. Kashchenko M.P., Skorikova N.A., Semenovych A.G., Kashchenko N.M., Chashchina V.G. A Cryston Model for the Formation of Typical Rolling Texture Components in a Metal with a Cubic Lattice // *Physics of the Solid State*, - 2022, - 64(6), - pp. 312–315.
 9. Kashchenko M.P., Kashchenko, N.M. Formation of massive electron pairs as a necessary condition for low-temperature nuclear fusion and the existence of a new state of matter // *Progress in Biomedical Optics and Imaging - Proceedings of SPIE*, - 2022, 12193, 121930U
 10. Usoltsev V., Zukow W., Tsepordey I. Climatically determined spatial and temporal changes in the biomass of *Pinus* sp. of Eurasia in the context of the law of the limiting factor // *Ecological Questions*, - 2022. - Vol. 33(1). - P. 15-23. <http://dx.doi.org/10.12775/EQ.2022.007> (Scopus, ядро РИНЦ)
 11. Usoltsev V.A., Shakoor A., Zaib G., Tsepordey I.S. Temperature and precipitation gradients determine biomass in birch (*Betula* spp.) and fir (*Abies* spp.) in Eurasia // *Biologia Futura*. - 2022. - Vol. 73. - P. 119–131. <https://doi.org/10.1007/s42977-022-00112-9> (Scopus, ядро РИНЦ)
 12. Jucker T., Fischer F. J., Chave J., Coomes D.A., Caspersen J., Ali A., Loubota Panzou G.J., Feldpausch T.R., Falster D., Usoltsev V.A., Adu-Bredu S., Alves L.F., Aminpour M., Angoboy I.B., Anten N.P.R., Antin C., Askari Y., Muñoz R., Ayyappan N., Balvanera P., Banin L., Barbier N., Battles J.J., Beeckman H., Bocko Y.E., Bond-Lamberty B., Bongers F., Bowers S., Brade T., van Breugel M., Chantrain A., Chaudhary R., Dai J., Dalponte M., Dimobe K., Domec J.-C., Doucet J.-L., Duursma R.A., Enríquez M., van Ewijk K.Y., Farfán-Rios W., Fayolle A., Forni E., Forrester D.I., Gilani H., Godlee J.L., Gourlet-Fleury S., Haeni M., Hall J.S., He J.-K., Hemp A., Hernández-Stefanoni J.L., Higgins S.I., Holdaway R.J., Hussain K., Hutley L.B., Ichie T., Iida Y., Jiang H.-sheng, Joshi P.R., Kaboli H., Larsary M.K., Kenzo T., Kloeppel B.D., Kohyama T., Kunwar S., Kuyah S., Kvasnica J., Lin S., Lines E.R., Liu H., Lorimer C., Loumeto J.-J., Malhi Y., Marshall P.L., Mattsson E., Matula R., Meave J.A., Mensah S., Mi X., Momo S., Moncrieff G.R., Mora F., Nissanka S.P., O'Hara K.L., Pearce S., Pelissier R., Peri P.L., Ploton P., Poorter L., Pour M.J., Pourbabaie H., Dupuy-Rada J.M., Ribeiro S.C., Ryan C., Sanaei A., Sanger J., Schlund M., Sellan G., Shenkin A., Sonké B., Sterck F.J., Svátek M., Takagi K., Trugman A.T., Ullah F., Vadeboncoeur M.A., Valipour A., Vanderwel M.C., Vovides A.G., Wang W., Wang L.-Q., Wirth C., Woods M., Xiang W., de Aquino Ximenes F., Xu Y., Yamada T., Zavala M.A. Tallo – a global tree allometry and crown architecture database (500 000 деревьев с фитомассой) // *Global Change Biology*, - 2022. - V. 28. - P. 5254-5268. <https://doi.org/10.1111/gcb.16302> (Scopus, ядро РИНЦ)
 13. Usoltsev V. A., Lin H., Shobairi S.O.R., Tsepordey I. S., Ye Z. Foliage biomass of the genera *Picea* spp. and *Quercus* spp. in winter temperature and annual precipitation gradients: inter-genera paradox in the forests of Eurasia // *Computational Ecology and Software*. - 2022. - Vol. 12 (3). - P. 123-140. <https://www.researchgate.net/publication/361985633> (Scopus, ядро РИНЦ)
 14. Usoltsev V. A., Lin H., Shobairi S.O.R., Tsepordey I. S., Ye Z. and Anees S. A. The principle of space-for-time substitution in predicting *Betula* spp. biomass change related to climate shifts // *Applied Ecology and Environmental Research*. - 2022. - Vol. 20(4). - P. 3683-3698. DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aeer/2004_36833698 (Scopus, ядро РИНЦ)
 15. Shobairi S.O.R., Lin H., Usoltsev V.A., Osmirko A.A., Tsepordey I.S., Ye Z., Anees S.A. A comparative Pattern for *Populus* spp. and *Betula* spp. Stand Biomass in Eurasian Climate Gradients // *Croatian Journal of Forest Engineering*. - 2022. - Vol. 43. No. 2. - P. 457-467. doi: 10.5552/crojfe.2022.1340 (Scopus, ядро РИНЦ)
 16. Liang J., Gamarra J.G.P., Picard N., Zhou M., Pijanowski B., Jacobs D.F., Reich P.B., Crowther T.W., Nabuurs G.-J., de-Miguel S., Fang J., Woodall C.W., Svenning J.-C., Jucker T., Bastin J.-F., Wiser S.K., Slik F., Hérault B., Alberti G., Keppel G., Hengeveld G.M.,

Ibisch P.L., Silva C.A., ter Steege H., Peri P.L., Coomes D.A., Searle E.B., von Gadow K., Jaroszewicz B., Abbasi A.O., Abegg M., Yao Y.C.A., Aguirre-Gutiérrez J., Zambrano A.M.A., Altman J., Alvarez-Dávila E., Álvarez-González J.G., Alves L.F., Amani B.H.K., Amani C.A., Ammer C., Ilondea B.A., Antón-Fernández C., Avitabile V., Aymard G.A., Azihou A.F., Baard J.A., Baker T.R., Balazy R., Bastian M.L., Batumike R., Bauters M., Beeckman H., Benu N.M.H., Bitariho R., Boeckx P., Bogaert J., Bongers F., Bouriaud O., Brancalion P.H.S., Brandl S., Brearley F.Q., Briseno-Reyes J., Broadbent E.N., Bruelheide H., Bulte E., Catlin A.C., Gatti R.C., César R.G., Chen H.Y.H., Chisholm C., Cienciala E., Colletta G.D., Corral-Rivas J.J., Cuchietti A., Cuni-Sanchez A., Dar J.A., Dayanandan S., de Haulleville T., Decuyper M., Delabye S., Derroire G., DeVries B., Diisi J., Do T.V., Dolezal J., Dourdain A., Durrheim G.P., Obiang N.L.E., Ewango C.E.N., Eyre T.J., Fayle T.M., Feunang L.F.N., Finér L., Fischer M., Fridman J., Frizzera L., de Gasper A.L., Gianelle D., Glick H.B., Gonzalez-Elizondo M.S., Gorenstein L., Habonayo R., Hardy O.J., Harris D.J., Hector A., Hemp A., Herold M., Hillers A., Hubau W., Ibanez T., Imai N., Imani G., Jagodzinski A.M., Janecek S., Johannsen V.K., Joly C.A., Jumbam B., Kabelong B.L.P.R., Kahsay G.A., Karminov V., Kartawinata K., Kassi J.N., Kearsley E., Kennard D.K., Kepfer-Rojas S., Khan M.L., Kigomo J.N., Kim H.S., Klautberg C., Klomberg Y., Korjus H., Kothandaraman S., Kraxner F., Kumar A., Kuswandi R., Lang M., Lawes M.J., Leite R.V., Lentner G., Lewis S.L., Libalah M.B., Lisingo J., López-Serrano P.M., Lu H., Lukina N.V., Lykke A.M., Maicher V., Maitner B.S., Marcon E., Marshall A.R., Martin E.H., Martynenko O., Mbayu F.M., Mbuvi M.T.E., Meave J.A., Merow C., Miscicki S., Moreno V.S., Morera A., Mukul S.A., Müller J.C., Murdjoko A., Nava-Miranda M.G., Ndiva L.E., Neldner V.J., Nevenic R.V., Nforbelie L.N., Ngoh M.L., N'Guessan A.E., Ngugi M.R., Ngute A.S.K., Njila E.N.N., Nyako M.C., Ochuodho T.O., Oleksyn J., Paquette A., Parfenova E.I., Park M., Parren M., Parthasarathy N., Pfautsch S., Phillips O.L., Piedade M.T.F., Piotta D., Pollastrini M., Poorter L., Poulsen J.R., Poulsen A.D., Pretzsch H., Rodeghiero M., Rolim S.G., Rovero F., Rutishauser E., Sagheb-Talebi K., Saikia., Sainge M.N., Salas-Eljatib C., Salis A., Schall P., Schepaschenko D., Scherer-Lorenzen M., Schmid B., Schöngart J., Šebeň V., Sellan G., Selvi., Serra-Diaz J.M., Sheil D., Shvidenko A.Z., Sist P., Souza A.F., Stereńczak K.J., Sullivan M.J.P., Sundarapandian S., Svoboda M., Swaine M.D., Targhetta N., Tchebakova N., Trethowan L.A., Tropek R., Mukendi J.T., Umunay P.M., Usoltsev V.A., Laurin G.V., Valentini R., Valladares F., van der Plas F., Vega-Nieva D.J., Verbeeck H., Viana H., Vibrans A.C., Vieira S.A., Vleminckx J., Waite C.E., Wang H.-F., Wasingya E.K., Wekesa C., Westerlund B., Wittmann F., Wortel V., Zawila-Niedzwiecki T., Zhang., Zhao X., Zhu J., Zhu X., Zhu Z.-X., Zo-Bi I.C., Hui C. Co-limitation toward lower latitudes shapes global forest diversity gradients // *Nature Ecology & Evolution*. - 2022 <https://doi.org/10.1038/s41559-022-01831-x> (Scopus, ядро РИНЦ)

17. Усольцев В.А., Цепордей И.С., Данилин И.М. Модели фитомассы деревьев березы и осины для дистанционного зондирования в климатических градиентах Евразии // *Лесоведение* - 2022. - № 5. С. 451-460. (Scopus, ядро РИНЦ)

Журналы, входящие в перечень ВАК

1. Секерин И.М., Ерицов А.М., Залесов С.В. Анализ фактической горимости лесов Уральского Федерального округа и пути ее снижения // *Международный научно-исследовательский журнал*. - 2022. - № 1 (115). Ч. 1. - С. 129-133. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.115.1.026>.
2. Башегуров К.А., Залесов С.В., Морозов А.Е., Попов А.С. Накопление подроста сосны обыкновенной на вырубках в подзоне северной тайги // *Международный научно-исследовательский журнал*. - 2022. - № 2 (116). Ч. 1. - С. 123-127. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.116.2.020>.

3. Фёфелова И.А., Залесов С.В., Сураев П.Н. Последствия рубок ухода в сосняках ягодникового типа леса //Международный научно-исследовательский журнал. - 2022. - № 2 (116). Ч. 1. - С. 169-174. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.116.2.029>.
4. Сураев П.Н., Азаренок В.А., Залесов С.В., Михайлов Ю.Е., Фомин В.В. Проблемы выборочных рубок в Средне-Уральском таежном лесном районе // Международный научно-исследовательский журнал, - 2022. - № 4 (118). Ч. 1. - С. 189-193. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.031>.
5. Секерин И.М., Ерицов А.М., Кректунов А.А., Залесов С.В. Опыт тушения торфяных пожаров на Среднем Урале // Международный научно-исследовательский журнал. - 2022. - № 5 (199). Ч. 2. - С. 81-85. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.119.5.014>.
6. Алипов Б.А., Калачев А.А., Залесов С.В. Влияние высоты над уровнем моря на продуктивность лиственничников Рудного Алтая // Международный научно-исследовательский журнал. - 2022. - № 6 (120). Ч. 5. - С. 20-25. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.120.6.097>.
7. Годовалов Г.А., Залесов С.В., Маршев К.В., Секерин И.М. Состав древостоев в насаждениях различных групп типов леса Средне-Уральского таежного лесного района // Международный научно-исследовательский журнал. - 2022. - № 6 (120). Ч. 5. - С. 48-52. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.120.6.101>.
8. Алипов Б.А., Калачев А.А., Залесов С.В. Производительность искусственных насаждений лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb) в Рудном Алтае // Международный научно-исследовательский журнал. - 2022. - № 6 (120). Ч. 1. - С. 147-151. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.120.6.021>.
9. Кректунов А.А., Ефимов И.А., Залесов С.В., Секерин И.М. Охрана населенных пунктов Свердловской области от лесных пожаров на основе анализа способов их обнаружения // Техносферная безопасность. - 2022. - № 2 (35). - С. 3-8; URL: <https://uigps.ru/nauka/tekhnosfernaya-bezopasnost-nauchnyy-elektronnyy-zh/>.
10. Ерицов А.М., Залесов С.В., Морозов А.Е., Секерин И.М. Фактическая горимость лесов по зонам охраны на примере Уральского Федерального округа // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. - 2022.- № 2 (67). - С. 146-153. DOI: [10.34655/bgsha.2022.67.2.019](https://doi.org/10.34655/bgsha.2022.67.2.019).
11. Бунькова Н.П., Залесов С.В., Катова В.С., Марковская А.Н., Мартюшов П.А. Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) в озеленении г. Екатеринбурга // Международный научно-исследовательский журнал. - 2022. - № 12 (126). DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.126.12.19>.
12. Панкратов В.К., Чермных А.И., Залесов С.В. Возможности омоложения кустарников в зеленой зоне г. Астаны // Международный научно-исследовательский журнал. - 2022. - № 12 (126). DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.126.12.22>.
13. Мартюшов П.А., Коростелева М.В., Марковская А.Н., Катова В.С., Залесов С.В. Роль ботанического сада в определении перспективности древесных интродуцентов // Международный научно-исследовательский журнал. - 2022. - № 112 (126). - С. 1-9. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.126.12.20>.
14. Жижин С.М., Залесов С.В. Низкое плодородие почвы как фактор прекращения сельскохозяйственного использования // Международный научно-исследовательский журнал. - 2022. - № 7 (121). Ч. 2. - С. 163-166. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.121.7.068>.
15. Кректунов А.А., Ерицов А.М., Залесов С.В., Секерин И.М. Прогноз развития лесного пожара в зависимости от расстояния до населенного пункта // Международный научно-исследовательский журнал, - 2022. - № 7 (121). Ч. 2. - С. 167-172 DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.121.7.069>.
16. Алипов Б.А., Калачев А.А., Залесов С.В. Площади лесных культур лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) в Казахском Алтае // Международный научно-

- исследовательский журнал. - 2022. - № 7 (121). Ч. 2. - С. 130-135. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.121.7.063>.
17. Залесов С.В., Сураев П.Н., Бунькова Н.П., Осипенко А.Е., Панин И.А., Петров А.И. Интенсификация лесопользования путем совершенствования нормативно-правовых документов // Международный научно-исследовательский журнал. - 2022. - № 10 (124). - С. 1-4. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.17>.
 18. Алипов А.Б., Калачев А.А., Залесов С.В. Насаждения лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) в Казахском Алтае // Международный научно-исследовательский журнал. - 2022. - № 11 (125). URL: <https://research-journal.org/archive/11-125-2022-november/10.23670/IRJ.2022.125.30>. DOI: 10.23670/IRJ.2022.125.30.
 19. Захаров П.С., Чирков Д.Д., Шкуро А.Е., Усова К.А., Биктимирова О.Е., Кривоногов П.С. Исследование свойств полимерного композиционного материала на основе поливинилхлорида и стеблей подсолнечника // Вестник Технологического университета. - 2022. - Т. 25. - № 3. - С. 51-56.
 20. Незнанов В.А., Глухих В.В., Шкуро А.Е., Кривоногов П.С. Исследование влияния пластификаторов на свойства полимерных композиционных материалов на основе поливинилхлорида и древесной муки // Деревообрабатывающая промышленность. - 2022. - № 1. - С. 114-122.
 21. Захаров П.С., Чирков Д.Д., Шкуро А.Е., Ершова А.С. Термомеханическая активация наполнителей для древесно-минеральных полимерных композиционных материалов // Деревообрабатывающая промышленность. - 2022. - № 1. - С. 103-109.
 22. Чирков Д.Д., Шкуро А.Е., Глухих В.В., Биктимирова О.Е. Композиционный материал на основе отходов кабельной изоляции и древесной муки // Вестник Технологического университета. - 2022. - Т. 25. № 5. - С. 30-34.
 23. Чирков Д.Д., Шкуро А.Е., Глухих В. В., Кулаженко Ю.М., Кривоногов П.С. Полимерные композиционные материалы на основе отходов потолочных панелей и древесной муки // Деревообрабатывающая промышленность. - 2022. - № 2. - С. 90-96.
 24. А.В. Артемов, В.Г. Бурындин, П.С. Кривоногов [и др.] Исследование превращений содержащегося в растительном сырье лигнина как естественного связующего при получении пластика в закрытых пресс-формах // Клеи. Герметики. Технологии. – 2022. – № 9. – С. 8-15. – DOI 10.31044/1813-7008-2022-9-8-15.
 25. А.В. Артемов, А.С. Ершова, Н.Г. Власов Исследование свойств пластиков без добавления связующих веществ на основе фитомассы бурых водорослей // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – № 8(122). – DOI 10.23670/IRJ.2022.122.38.
 26. А.В. Артемов, А.С. Ершова, А.В. Савиновских [и др.] Исследование биоразлагаемости древесных пластиков без добавления связующих на основе древесины березы // Системы. Методы. Технологии. – 2022. – № 3(55). – С. 92-97. – DOI 10.18324/2077-5415-2022-3-92-97
 27. А.В. Артемов, А.С. Ершова, В.Г. Бурындин, А.В. Савиновских Получение и свойства пластика без связующего на основе термообработанного исходного пресс-сырья // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 5. – С. 65-69. – DOI 10.55421/1998-7072_2022_25_5_65.
 28. В.Г. Бурындин, А.В. Артемов, А.В. Савиновских Производство древесных топливных гранул на предприятиях малого и среднего бизнеса // Системы. Методы. Технологии. – 2022. – № 2(54). – С. 190-195. – DOI 10.18324/2077-5415-2022-2-190-195
 29. А.В. Артемов, А.С. Ершова, А.Б. Якимова Пластики без связующих на основе фитомассы банановых листьев: свойства и биоразлагаемость // Journal of Agriculture and Environment. – 2022. – № 3(23). – DOI 10.23649/jae.2022.3.23.03
 30. А.В. Артемов, А.В. Савиновских, А.С. Ершова, В.Г. Бурындин Получение и исследование влияния технологических факторов на свойства пластика без связующего на основе растительных остатков сосны Сибирской кедровой // Вестник

- Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 3. – С. 57-61. – DOI 10.55421/1998-7072_2022_25_3_57.
31. А.В. Артемов, А.С. Ершова, А.В. Савиновских, В.Г. Буриндин Оценка воздействия биоразлагаемых материалов на основе растительного недревесного сырья на элементы окружающей среды // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2022. – № 1(45). – С. 5-20. – DOI 10.15593/2409-5125/2022.1.01.
 32. V. G. Buryndin, A. V. Artyemov, A. V. Savinovskih [et al.] Biostability of binder-free wood and plant plastics protected with antiseptics // Foods and Raw Materials. – 2022. – Vol. 10. – No 1. – P. 148-154. – DOI 10.21603/2308-4057-2022-1-148-154.
 33. А.В. Артемов, А.С. Ершова, В.Г. Буриндин, А.В. Савиновских Изучение изменений прочностных показателей пластиков без связующего по потере массы при биоразложении // Деревообрабатывающая промышленность. – 2022. – № 1. – С. 71-79.
 34. Бутко Г.П., Мехренцев А.В., Шарапова В.М., Шарапова Н.В. Инновационные кластеры по рациональному использованию сырья на уровне региона. // Международный сельскохозяйственный журнал - 2022. - № 6 (390). С. 609-613. (Ядро РИНЦ RSCI)
 35. Мехренцев А.В., Уразова А.Ф., Ефимов Ю.В., Кашников Г.В. Меры нефинансовой поддержки предприятий лесного комплекса по переходу на инновационные технологии // Системы. Методы. Технологии - 2022. - № 3 (55). С. 141-145.
 36. Сергеева Т.С., Мехренцев А.В. Экспертный метод в оценке эффективности технологических процессов деревянного домостроения // Системы. Методы. Технологии - 2022. - № 4 (56). С. 153-158.
 37. Солдатов А.В., Мехренцев А.В., Ефимов Ю.В. Сортиментация древесины при эксплуатации арендуемых лесных участков ООО "Синергия" // Системы. Методы. Технологии - 2022. - № 4 (56). С. 94-99.
 38. Яковенко Н.В., Бутко Г.П., Мехренцев А.В. Типологические особенности инновационного развития ЛПК // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика - 2022. - Т. 10. № 2 (57). С. 124-138.
 39. Бутко Г.П., Мехренцев А.В., Скрынников Р.А. Перспективы формирования промышленного кластера по рациональному использованию сырья на региональном уровне // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика - 2022. - Т. 10. № 2 (57). С. 7-15.
 40. Усольцев В.А., Цепордей И.С. Географические закономерности изменения базисной плотности древесины и коры лесообразующих пород Евразии // Сибирский лесной журнал - 2022. - № 3. С. 59–68. DOI: 10.15372/SJFS20220307 (ВАК)
 41. Усольцев В.А., Цепордей И.С., Данилин И.М. Модели фитомассы деревьев березы и осины для дистанционного зондирования в климатических градиентах Евразии // Лесоведение - 2022. - № 5. С. 451-460.
 42. Усольцев В.А., Цепордей И.С., Ковязин В.Ф. Биомасса бука (*fagus l.*) и ясеня (*fraxinus l.*) в зависимости от высоты дерева, ширины кроны и средней температуры января на территории Евразии // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии - 2022. - № 238. С. 23-48.
 43. Усольцев В.А., Цепордей И.С., Норицин Д.В. Аллометрические модели для оценки биомассы корней лесообразующих родов Евразии дистанционными методами с учетом глобального потепления // Хвойные бореальной зоны - 2022. - Т. 40. № 1. С. 65-75.
 44. Усольцев В.А., Цепордей И.С. Содержание сухого вещества в биомассе деревьев 13 видов евразии: географические аспекты // Хвойные бореальной зоны - 2022. - Т. 40. № 3. С. 194-201.
 45. Усольцев В.А., Цепордей И.С., Данилин И.М. Охвоенность побегов сосны обыкновенной в географических градиентах Евразии // Хвойные бореальной зоны - 2022. - Т. 40. № 4. С. 303-311.

46. Усольцев В.А., Цепордей И.С., Данилин И.М. Прогнозирование биомассы кедровых сосен северной части Азии при изменении климата // Хвойные бореальной зоны - 2022. - Т. 40. № 5. С. 410-423.
47. Усольцев В.А., Цепордей И.С. Отношение подземной биомассы к надземной лесообразующих видов Евразии в градиентах температур и осадков // Биосфера - 2022. - Т. 14. № 3. С. 213-234.
48. Усольцев В.А., Цепордей И.С. Моделирование фитомассы отмерших ветвей растущих деревьев сосны обыкновенной // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование - 2022. - № 3 (55). С. 5-8.

Международные и национальные конференции

1. Дворянкин Д.Ю., Маслакова Т.И., Сафонова М.Е., Первова И.Г. Изучение строения сорбентов из растительных материалов методом ИК-Фурье-спектроскопии // Проблемы теоретической и экспериментальной химии: тез. докл. XXXII Рос. молодеж. науч. конф. с международ. участием, посвящ. 110-летию со дня рожд. проф. А. А. Тагер, – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, - 2022. - С. 102-105.
2. Дворянкин Д.Ю., Маслакова Т.И., Первова И.Г. Исследование возможности оценки функциональных групп методом ИК-Фурье-спектроскопии в модифицированных древесных отходах // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XVIII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции. - Екатеринбург: УГЛТУ, - 2022. - С. 565-568.
3. Шерстобитов А. Л., Вураско А. В., Агеев М. А. Использование целлюлозы из соломы пшеницы в технологии гофрированного картона // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XVIII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции. - Екатеринбург: УГЛТУ, - 2022. - С. 740-745.
4. Патракова Е.Ю., Вураско А.В., Первова И.Г. Выбор тест-системы для обнаружения металлов в водных растворах // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XVIII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции. - Екатеринбург: УГЛТУ, - 2022. - С. 667-670.
5. Сафонова М.Е., Первова И.Г. Исследование влияния способа модификации на физико-химические характеристики сорбентов на основе растительных отходов // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XVIII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции. - Екатеринбург: УГЛТУ, - 2022. - С. 681-685.
6. Стягов Н.Н., Протазанов А.А., Дрикер Б.Н. Ингибирование солеотложений в нефтяной промышленности // Нефтяная столица: Пятый Международный молодежный научно-практический форум. – Сургут: АНО ЦНТР, - 2022. – С. 159-160.
7. Дворянкин Д.Ю., Первова И.Г., Маслакова Т.И. Утилизация древесных отходов с получением модифицированных сорбентов // Химия и технология растительных веществ: Тезисы докладов XII Всероссийской научной конференции с международным участием и школой молодых ученых. – Киров, - 2022. - С. 53.
8. Kashchenko M.P.², Kashchenko N.M., Chashchina V.G. Nucleation centers for martensite with habitus {110} in the shape memory alloys // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1213, The Fourth International Conference: Shape Memory Alloys (SMA 2021) 2022 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1213 012006 DOI: 10.1088/1757-899X/1213/1/012006
9. Кащенко М.П., Коваленко М.А., Печорский В.И. Концепция квазинейтронов и характерные соотношения содержания изотопов синтезируемых элементов. // Тезисы докладов 14 международного уральского семинара «Радиационная физика металлов и сплавов» (Кыштым 2022). - Изд-во ИФМ УрО РАН, - 2022. - С.70-74.

10. Вураско А.В., Шерстобитов А.Л., Агеев М.А., Алтыбаев Н.Н. Влияние вида щелочи на характеристики целлюлозы из соломы пшеницы // Химия. Экология. Урбанистика. - 2022. - Т. 4. С. 87-91.
11. Шерстобитов А.Л., Вураско А.В., Агеев М.А. Использование калийного черного щелока делигнификации соломы пшеницы в качестве органоминеральных удобрений // Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды: сб. материалов IX Всероссийской конференции, посвященной 55-летию Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова. - Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, - 2022. - С. 36.
12. Вураско А.В., Агеев М.А., Дудорова А.Ю., Минакова А.Р. Окислительно-органосольвентная делигнификация лубяных волокон конопли технической // Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды: сб. материалов IX Всероссийской конференции, посвященной 55-летию Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова. - Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, - 2022. - С. 142.
13. Вураско А.В., Агеев М.А., Дудорова А.Ю., Минакова А.Р. Целлюлоза из волокон конопли технической, полученная окислительно-органосольвентным способом // Химия и технология растительных веществ: Тезисы докладов XII Всероссийской научной конференции с международным участием и школой молодых ученых. - Киров, - 2022. - С. 34.
14. Вураско А.В., Агеев М.А., Шерстобитов А.Л., Алтыбаев Н.Н. Получение калийной целлюлозы из соломы пшеницы // Химия и технология растительных веществ: Тезисы докладов XII Всероссийской научной конференции с международным участием и школой молодых ученых. - Киров, - 2022. - С. 35.
15. О.Е. Биктимирова, Д.Д. Чирков, П.С. Кривоногов, А.Е. Шкуро Оценка твердости композитов на основе вторичного ПВХ // Научное творчество молодежи - лесному комплексу России. материалы XVIII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции. - Екатеринбург, - 2022. - С. 532-536.
16. А.С. Винокурова, П.С. Захаров, П.С. Кривоногов, А.Е. Шкуро Оценка эффективности применения триацетина в качестве пластификатора для ацетата целлюлозы // Научное творчество молодежи - лесному комплексу России. материалы XVIII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции. - Екатеринбург, - 2022. - С. 541-544.
17. Ш.Р. Мамадгулова, П.С. Захаров, В.В. Глухих, А.Е. Шкуро Получение и свойства композитов на основе карбоксиметилцеллюлозы и древесной муки // Научное творчество молодежи - лесному комплексу России. материалы XVIII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции. - Екатеринбург, - 2022. - С. 633-637.
18. К.А. Усова, Д.Д. Чирков, П.С. Захаров, А.Е. Шкуро Древесно-полимерные композиты на основе полиэтилена с измельченным стеблем подсолнечника // Научное творчество молодежи - лесному комплексу России. материалы XVIII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции. - Екатеринбург, - 2022.- С. 721-724.
19. К.И. Дубовицкая, А.С. Ершова, А.В. Савиновских, А.В. Артемов Исследование влияния технологических факторов на прочностные показатели пластиков без связующих на основе сосновых опилок и кукурузного крахмала // Научное творчество молодежи - лесному комплексу России: материалы XVIII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции. - Екатеринбург: УГЛУТУ, - 2022. - С. 573-578.
20. Г.Р. Иштимирова, А.Е. Соловьева, А.В. Артемов, В.Г. Бурындин Исследование влияния технологических факторов на показатели водостойкости пластиков без связующих на основе растительных остатков сосны сибирской // Научное творчество молодежи -

- лесному комплексу России: материалы XVIII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции. Екатеринбург: УГЛТУ, - 2022. – С. 587-591.
21. А.Н. Ладыгина, С.В. Петров, А.В. Артемов, С.Н. Казицин Рациональные режимы получения пластика без связующих на основе растительных остатков сосны сибирской // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XVIII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции. - Екатеринбург: УГЛТУ, - 2022. – С. 611-616.
 22. А.А. Мамаева, А.Ж. Жанабаева, А.В. Савиновских, А.В. Артемов Получение пластиков без связующих на основе сосновых опилок и кукурузного крахмала // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XVIII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции. - Екатеринбург: УГЛТУ, - 2022. – С. 637-641.
 23. В.В. Сиражев, П.В. Давыдова, А.В. Артемов, А.В. Савиновских Исследование влияния технологических факторов на показатели водостойкости пластиков без связующих на основе сосновых опилок и кукурузного крахмала // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XVIII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции. - Екатеринбург: УГЛТУ, - 2022. – С. 685-689.
 24. А.А. Протазанов, Б.Н. Дрикер, Н.Н. Стягов Магниево-цинковые комплексоны НТФ - ингибиторы коррозии // Нефтяная столица: Пятый Международный молодежный научно-практический форум. – Сургут: АНО ЦНТР, 2022. – С. 235-236.
 25. Н.Н. Стягов, А.А. Протазанов, Б.Н. Дрикер Ингибирование солей в нефтяной промышленности // Нефтяная столица: Пятый Международный молодежный научно-практический форум. – Сургут: АНО ЦНТР, - 2022. – С. 159-160.
 26. А.В. Артемов, А.С. Ершова, А.В. Савиновских, В.Г. Бурьдин Оценка биоразлагаемости пластиков без связующих на основе биомассы борщевика Сосновского // Химическая технология и техника: Материалы 86-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием). – Минск: Белорусский государственный технологический университет, - 2022. – С. 280-283.
 27. Агапитов Е. М., Рогачев В. Е., Михайлович А. П., Фомин В. В. Методика распознавания лиственницы сибирской на верхнем пределе ее произрастания на Полярном Урале с использованием снимков беспилотного летательного аппарата / Е. М. Агапитов, В. Е. Рогачев, А. П. Михайлович, В. В. Фомин. – Текст : электронный // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XVIII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет; [ответственный за выпуск Л. В. Малютин]. – Екатеринбург, - 2022. – С. 7–11.
 28. Рогачев, В. Е. Оценка запаса углерода в древостоях на участке «Урал-Карбон» (Северка) карбонового полигона Свердловской области / В. Е. Рогачев, Е. М. Агапитов, В. В. Фомин. – Текст : электронный // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XVIII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет; [ответственный за выпуск Л. В. Малютин]. – Екатеринбург, - 2022. – С. 214–218.
 29. Агапитов Е.М., Рогачев В.Е., Рогачев Л.Е., Суханов М.П., Фомин В.В. Оценка объема стволовой древесины на аэроснимках пробной площади на полигоне «Урал-Карбон (Северка)» с использованием таблиц хода роста / Актуальные проблемы развития лесного комплекса. Материалы XX Международной научно-технической конференции - Вологда: Вологодский государственный университет, - 2022. - С. 123 - 126.

30. Агапитов Е.М., Фомин В.В., Михайлович А.П. Рогачев В.Е., Голиков Д.Ю. Аспекты математического анализа статистических данных пробных площадей в качестве определения возрастных интервалов на основе размеров крон лиственницы сибирской (Полярный Урал) / Системы автоматизации в образовании науке и производстве. Труды всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). - Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, - 2022. - С. 316 - 320.
31. Герц Э.Ф., Мехренцев А.В., Теринов Н.Н., Уразова А.Ф., Безгина Ю.Н. Трелевка древесины мини-трактором при проходных рубках в сосняках / Леса России: политика, промышленность, наука, образование. материалы VII Всероссийской научно-технической конференции. - Санкт-Петербург, - 2022. - С. 113-116.
32. Мехренцев А.В., Азаренок В.А., Герц Э.Ф., Мурзинов Т.А. Стратегическое планирование производительных сил лесного комплекса с учетом глобальной роли трансграничных лесов Евразии в системе «человек-технологии-природа» / Состояние и перспективы развития лесного комплекса в странах СНГ. сборник статей II Международной научно-технической конференции в рамках Международного молодежного форума по лесопромышленному образованию (Лес-Наука-Инновации-2022). Белорусский государственный технологический университет. - Минск, - 2022. - С. 130-134.
33. Сергеева Т.С., Мехренцев А.В. Планирование экспертного исследования в области деревянного домостроения / Состояние и перспективы развития лесного комплекса в странах СНГ. сборник статей II Международной научно-технической конференции в рамках Международного молодежного форума по лесопромышленному образованию (Лес-Наука-Инновации-2022). Белорусский государственный технологический университет. - Минск, - 2022. - С. 135-139.
34. Кашников Г.В., Мехренцев А.В. О рациональной производственной структуре регионального лесопромышленного комплекса Челябинской области . – Текст : электронный // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XVIII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет; [ответственный за выпуск Л. В. Малютина]. – Екатеринбург, - 2022. – С. 143-148.
35. Уразова А.Ф., Мехренцев А.В. Анализ факторов, влияющих на развитие лесных технологий на территории Свердловской области / Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. Труды XVII Международного Евразийского симпозиума. - Екатеринбург, - 2022. - С. 20-25.
36. Мехренцев А.В., Герц Э.Ф., Уразова А.Ф., Уразов П.Н., Герасимова А.Д. Технологическая машина для ведения лесного хозяйства в условиях зарастающих сельскохозяйственных угодий / Леса России: политика, промышленность, наука, образование. материалы VII Всероссийской научно-технической конференции. - Санкт-Петербург, - 2022. - С. 253-255.
37. Мехренцев А.В., Стариков Е.Н. О стратегическом планировании и механизме его реализации в лесном комплексе / Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. Труды XVII Международного Евразийского симпозиума. - Екатеринбург, - 2022. - С. 6-12.
38. Мехренцев А.В., Герц Э.Ф., Уразова А.Ф., Уразов П.Н. Формирование древостоев хозяйственно ценных пород в условиях зарастающих сельскохозяйственных угодий / Изменения климата и углеродная нейтральность: вызовы и возможности. Сборник материалов всероссийской научно-практической конференции. - Ханты-Мансийск, - 2022. - С. 68-73.
39. Герасимова А.Д., Мехренцев А.В. Исследование физико-химических свойств биомассы древесных насаждений, формирующихся при зарастании

сельскохозяйственных земель – Текст : электронный // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XVIII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет; [ответственный за выпуск Л. В. Малютина]. – Екатеринбург, - 2022. – С. 81-85.

40. Мехренцев А.В., Безгина Ю.Н., Уразова А.Ф., Ефимов Ю.В. Технологическое предпринимательство как основа подготовки бакалавров технологии по укрупненной группе направлений «Лесное дело» / Философия современного природопользования в бассейне реки Амур. Материалы XI научно-практической конференции с международным участием. - Хабаровск, - 2022. - С. 145-150.

Журналы, входящие в ядро РИНЦ

1. Панкратов В.К., Эбель А.В., Залесов С.В., Рахимжанов А.Н., Нысанбаев Е.Н. О жизненном состоянии искусственных насаждений и необходимость лесоводственного ухода в зеленом поясе города Нур-Султан // Природообустройство. - 2022. - № 1. - С. 117-123. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-1-117-123.
2. Жижин С.М., Залесов С.В., Магасумова А.Г. Изменение площади сельскохозяйственных угодий в Удмуртской Республике // Лесной вестник / ForestryBulletin, - 2022. - Т. 26. № 3. - С. 47-53. DOI:10.18698/2542-1468-2022-3-47-53.
3. Данчева А.В., Залесов С.В. Влияние рубок ухода на биологическую устойчивость сосняков защитного назначения Северного Казахстана // Лесной вестник / ForestryBulletin, - 2022. - Т. 26. № 4. - С. 5-13. DOI:10.18698/2542-1468-2022-4-5-13.
4. Залесов С.В., Жижин С.М., Магасумова А.Г., Оплетаев А.С., Платонов Е.П. Повышение эффективности использования бывших сельскохозяйственных угодий // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, - 2022. - Вып. 239. - С. 104-116. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.239.104-116.
5. Чижев Б.Е., Залесов С.В., Терехов Г.Г., Санников Н.С., Егоров Е.В. Противопожарное обустройство лесов южной тайги, лесостепи Западной Сибири и Урала // Лесохозяйственная информация. - 2022. - № 2. - С. 13-33. DOI:10.24419.LNI.2304-3083.2022.Ч.02.
6. Секерин И.М., Годовалов Г.А., Ерицов А.М., Залесов С.В. Специфика распространения и тушения торфяных пожаров в зимний период // Лесной вестник / ForestryBulletin, - 2022. - Т. 26. № 5. - С. 64-70. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-64-70.
7. Данчева А.В., Залесов С.В., Лучкина Н.В., Коровина В.С. Естественное возобновление сосны в городских лесах города Тюмени (на примере экопарка «Затюменский») // Природообустройство. - 2022. - № 4. - С. 124-131. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4.
8. Данчева А.В., Залесов С.В., Назарова В.В. Оценка состояния среды придорожных территорий города Тюмень на основе использования методов биоиндикации // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. - 2022. - Вып. 240. - С. 47-63. DOI: 10.21266/2079-43042022.240.47-63.
9. V.N. Driker, N.V. Tsiulnikova, A.A. Protazanov, N.N. Styagov Magnesium and zinc organophosphonate complexonates as scaling and corrosion inhibitors // Journal of Corrosion and Scale Inhibition. - 2022. - V. 11. № 2. - С. 695-704. DOI: 10.17675/2305-6894-2022-11-2-17
10. Вураско А.В., Агеев М.А., Сиваков В.П. Получение и свойства технической целлюлозы из борщевика окислительно-органосольвентным способом // Химия растительного сырья. - 2022. - № 1. - С. 289-298. DOI: 10.14258/jcprm.20220110121
11. Сиваков В.П., Вураско А.В., Исаева К.С. Температурное диагностирование подшипников сушильных цилиндров картоноделательной машины// Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. - 2022. - № 238. - С. 185-202. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.238.185-202

12. Кащенко М.П., Семеновых А.Г., Нефедов А.В., Кащенко Н.М., Чащина В.Г. О роли деформации Питча при $\gamma - \alpha$ мартенситных превращениях // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. - 2022. - Т.19. №1. - С. 9–16.
13. Кащенко М.П., Скорикова Н.А., Семеновых А.Г., Нефедов А.В., Кащенко Н.М., Чащина В.Г. Крестонная модель формирования типичных компонент текстуры прокатки металлов с кубической решеткой // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. - 2022. - Т.19. №2. - С. 165-171.
14. Кащенко М.П., Скорикова Н.А., Кащенко Н.М., Чащина В.Г. Критические размеры диаметров зерен либо отдельных частиц для старта мартенситной реакции с позиций динамической теории // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. - 2022. - Т.19. №2. - С. 197-204.

Журналы, входящие в РИНЦ

1. Архипов Е.В., Залесов С.В. Минимизация послепожарного ущерба в сосняках после низовых лесных пожаров // *Леса России и хозяйство в них*. - 2022. - № 1 (80). - С. 26-36.
2. Панкратов В.К., Залесов С.В., Эбель А.В. Опыт спиливания искусственных деревьев вяза шершавого на высокий пенёк в условиях ковыльно-типчаковой степи // *Инновационные технологии в лесохозяйственной, деревообрабатывающей промышленности и прикладной механике*. Сб. трудов Всерос. науч.-практ. конф. - Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, - 2022. - С. 161-167.
3. Алипов Б.А., Оплетаев А.С., Залесов С.В. Распределение лиственничников Казахского Алтая по группам типов леса // *Ландшафтная архитектура: традиции и перспективы*. 2022. Мат. I Всерос. науч.-практ. конф. Екатеринбург: УЛТУ, - 2022. - С. 12-15.
4. Рогачев В.Е., Агапитов Е.М., Фомин В.В., Суханов М.П., Рогачев Л.Е. Оценка запаса углерода в древостоях карбонового полигона свердловской области на участке "Урал-Карбон (Северка)" // *Леса России и хозяйство в них*. - 2022. - № 4(83). DOI 10.51318/FRET.2022.88.53.001
5. Мехренцев А.В., Уразова А.Ф., Авдюкова О.Д. Студенческие стартапы как основа подготовки бакалавров технологии по укрупненной группе направлений "Лесное дело" / *Леса России и хозяйство в них*. – Екатеринбург, - 2022. - № 2 (81). - С. 68-77.
6. Бутко Г.П., Мехренцев А.В., Лысенко Ю.В., Колчин О.Ю. Формирование кластера инновационного типа в промышленности / *Теория и практика мировой науки*. - 2022. - № 8. - С. 6-8.

Монография

1. Получение полимерных материалов из вторичного лигноцеллюлозного сырья / Бурындин В.Г., Вураско А.В., Глухих В.В., Агеев М.А., Артемов А.В., Кривоногов П.С., Савиновских А.В., Шкуро А.Е. - Екатеринбург: УЛТУ, - 2022. - 188 с. ISBN: 978-5-94984-825-8
2. Залесов С.В., Зарипов Ю.В., Осипенко Р.А. Опыт лесохозяйственного направления рекультивации нарушенных земель при разработке месторождений глины, хризотил-асбеста и редкоземельных руд: монография. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, - 2022. - 282 с. ISBN: 978-5-94984-834-0
3. Мехренцев А.В., Усольцев В.А., Азаренок А.В., Герц Э.Ф., Уразова А.Ф., Теринов Н.Н., Якимович С.Б. Динамика поглощающей способности в управляемых экосистемах трансграничных лесов Евразии в условиях глобального энергоперехода: технологический аспект: монография. - Вологда: изд-во "ИНФРА-ИНЖЕНЕРИЯ", - 2022. – 84 с. ISBN: 978-5-9729-1150-9

Учебные пособия

4. Мехренцев А. В., Меньшиков Б. Е., Курдышева Е. В. Полуфабрикаты деревянного домостроения: учебное пособие. - Вологда: изд-во "ИНФРА-ИНЖЕНЕРИЯ", - 2022. – 304 с. ISBN: 978-5-9729-1144-8
5. Мехренцев А. В., Меньшиков Б. Е., Курдышева Е. В. Технология и оборудование для переработки горбылей на пилопродукцию: учебное пособие. - Вологда: изд-во "ИНФРА-ИНЖЕНЕРИЯ", - 2022. – 152 с. ISBN: 978-5-9729-1148-6

Заявка на получение патента (РИД)

1. Шкуро Алексей Евгеньевич, Глухих Виктор Владимирович, Захаров Павел Сергеевич, Кривоногов Павел Сергеевич. Способ получения изделий из древесно-полимерных композитов. Заявка № 2022107423/05(015333). Дата подачи заявки 22.03.2022 (Решение о выдаче патента на изобретение от 19.09.2022.)

Патенты (РИД)

1. Патент на изобретение № 2768039 Способ учета урожая семян деревьев хвойных пород / Залесов С.В., Оплетаев А.С. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений РФ от 23.03.2022 г.
2. Патент на изобретение № 2779311// Способ формирования семенных полос при сплошнолесосечных рубках в ельниках / Залесов С.В. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений РФ от 06.09.2022 г.
3. Программа расчета морфологических характеристик формирования полос сдвига и мартенсита деформации для кубических кристаллов в кристонной модели. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021667218, 26.10.2021. Заявка № 2021663222 от 18.08.2021.
4. Способ предотвращения коррозии металла в водных растворах. Дрикер Б.Н., Цирульников Н.В., Протазанов А.А., Стягов Н.Н., Линников О.Д., Акишев Л.А. Патент РФ на изобретение № 2775595, опубл. 05.07.2022 Бюл. №19.
5. Программа расчета углеродных единиц в древостое. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 20236105965, 11.01.2022. Заявка № 2022685989 от 27.12.2022.
6. Патент на изобретение 2767355 // Устройство для освоения земель с древесным подростом / Мехренцев А.В., Уразова А.Ф., Уразов П.Н., Герц Э.Ф., Ефимов Ю.В., Герасимова А.Д. Патент на изобретение 2767355 С1, 17.03.2022. Заявка № 2021126522 от 09.09.2021.

Диссертации

1. Морозов А.Е. Научная организация использования и сохранения лесов в районах добычи углеводородного сырья (на примере Ханты-Мансийского автономного округа – Югры). Дис. ... д-ра с.-х. наук. Спец. 06.03.02 – Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация. Екатеринбург, 2022. 1 том 544 с; 2 том - 166 с.
2. Жижин С.М. Формирование лесной растительности на землях, вышедших из сельскохозяйственного использования в Удмуртской Республике. Дис. ... канд. с.-х. наук. Спец. 06.03.02 – Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация. Екатеринбург, 2022. 203 с.
3. Жигулин Е.В. Совершенствование агротехники выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой в теплицах с регулируемым микроклиматом. Дис. ... канд. с.-х. наук. Спец. 06.03.01 – Лесные культуры, селекция и семеноводство. Екатеринбург, 2022. 146 с.
4. Михайлович А. П. Пространственно-временная динамика популяции лиственницы сибирской на верхнем пределе ее произрастания в нижнем течении рек Енгаю и Кердоманшор (Полярный Урал) в условиях изменения климата. Дисс. канд. биол. наук Спец. 1.5.15 – Экология (биологические науки), Екатеринбург, 2022. 146 с.