

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(УГЛТУ)

УДК 630\*2

Рег. № НИОКТР 123041100013-0

Рег. № ИКРБС

УТВЕРЖДАЮ  
Ректор УГЛТУ  
канд. с.-х. наук, доцент



Платонов Е.П.

« 26 » 01 2024 г.

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

«Естественно-научные и технологические аспекты рационального использования,  
прогнозирования и управления лесными ресурсами на основе генетического подхода к  
классификации типов леса в условиях  
современного изменения климата и антропогенных воздействий»  
по теме:

НАУЧНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЦИОНАЛЬНОГО  
ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ  
(промежуточный, этап 1)

№ FEUG-2023-0002

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

Магасумова 25.01.24  
подпись, дата

А.Г. Магасумова

Научный руководитель  
д-р. биол. наук, доцент


Фомин 25.01.2024  
подпись, дата

В.В. Фомин

Екатеринбург 2024

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР,  
проректор по НРИИД  
д-р биол. наук, доцент



25.01.2024

В.В. Фомин  
(введение, разделы  
1, 2)

подпись, дата

Исполнители темы:

Заведующий кафедрой  
лесоводства, д-р с.-х. наук, проф.

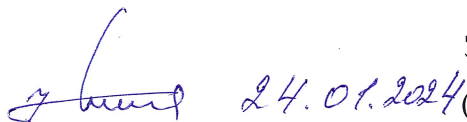


24.01.2024

С.В. Залесов  
(разделы 1, 4)

подпись, дата

Директор института леса и  
природопользования,  
д-р с.-х. наук, проф.



24.01.2024

З.Я. Нагимов  
(раздел 3)

подпись, дата

Заведующий лабораторией  
геоинформационных технологий  
ИЭРиЖ УрО РАН, д-р биол. наук

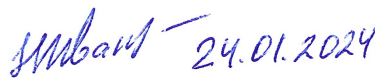


24.01.2024

П.А. Моисеев  
(раздел 3)

подпись, дата

Ведущий научный сотрудник  
лаборатории популяционной  
биологии древесных растений и  
динамики леса Ботанического  
сада УрО РАН, д-р биол. наук

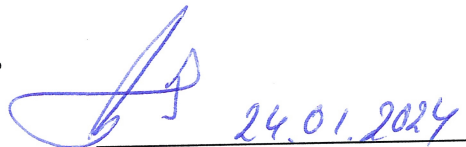


24.01.2024

Н.С. Иванова  
(раздел 1)

подпись, дата

Профессор кафедры ТОЛП,  
д-р с.-х. наук

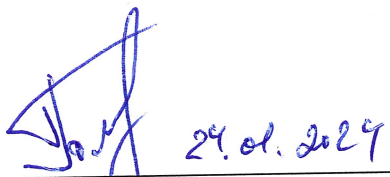


24.01.2024

Н.Н. Теринов  
(раздел 4)

подпись, дата

Научный сотрудник лаборатории  
экологии древесных растений  
Ботанического сада УрО РАН,  
канд. с.-х. наук




24.01.2024

Д.Ю. Голиков  
(раздел 2)


подпись, дата

Заведующий кафедрой ЭиП,  
канд. с.-х. наук, доцент

  
24.01.2024  
подпись, дата


А.В. Григорьева  
(раздел 2)

Заведующий кафедрой ЛТиЛУ,  
канд. с.-х. наук, доцент

  
24.01.2024  
подпись, дата


И.В. Шевелина  
(раздел 3)

Доцент кафедры лесоводства,  
канд. с.-х. наук, доцент

  
24.01.24  
подпись, дата


А.Г. Магасумова  
(раздел 4)

Доцент кафедры лесоводства,  
канд. с.-х. наук, доцент

  
24.01.2024  
подпись, дата


Н.П. Бунькова  
(раздел 4)

Доцент кафедры лесоводства,  
канд. с.-х. наук, доцент

  
24.01.2024  
подпись, дата


Г.А. Годовалов  
(раздел 4)

Доцент кафедры лесоводства,  
канд. с.-х. наук, доцент

  
24.01.24  
подпись, дата


И.А. Панин  
(раздел 4)

Доцент кафедры ЛТиЛУ,  
канд. с.-х. наук, доцент

  
24.01.24  
подпись, дата


А.В. Суслов  
(раздел 3)

Доцент кафедры ЛТиЛУ,  
канд. с.-х. наук, доцент

  
24.01.24  
подпись, дата

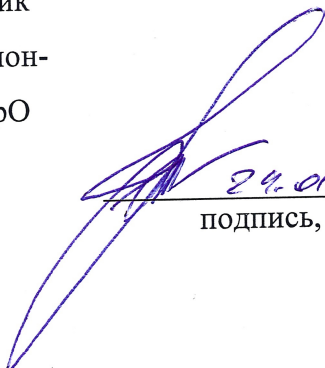
Т.С. Воробьева  
(раздел 3)

Доцент кафедры ЛТиЛУ,  
канд. с.-х. наук

  
24.01.24  
подпись, дата

А.А. Баргыш  
(раздел 3)


Старший научный сотрудник  
лаборатории геоинформацион-  
ных технологий ИЭРиЖ УрО  
РАН, канд. с.-х. наук

  
24.01.24  
подпись, дата


А.А. Григорьев  
(раздел 3)

Доцент кафедры ЛТиЛУ,  
канд. с.-х. наук

И.С. Сальникова


 24.01.2024 (раздел 3)  
подпись, дата

Млад. науч. сотр. научно-  
исследовательской лаборатории  
«Физико-функциональных  
материалов углеродной микро- и  
оптоэлектроники» УрФУ,  
канд. биол. наук.

 24.01.2024  
подпись, дата


А.П. Михайлович  
(разделы 1 и 2)

Млад. науч. сотр. лаборатории  
геоинформационных технологий  
ИЭРиЖ УрО РАН

 24.01.2024  
подпись, дата

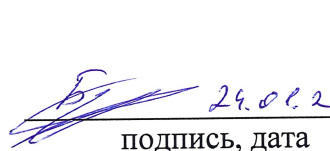
С.О. Вьюхин  
(раздел 3)

Млад. науч. сотр. лаборатории  
геоинформационных технологий  
ИЭРиЖ УрО РАН

 24.01.2024  
подпись, дата

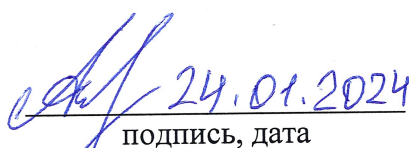
Д.С. Балакин  
(раздел 3)

Ассистент кафедры лесоводства

 24.01.2024  
подпись, дата

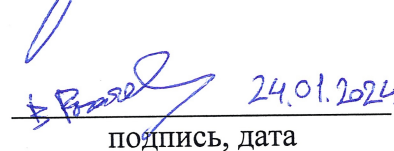
К.А. Башегуров  
(раздел 4)

Ассистент кафедры ЭиП

 24.01.2024  
подпись, дата

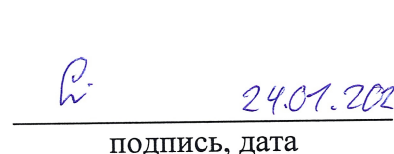
Е.М. Агапитов  
(раздел 2)

Ассистент кафедры ЭиП

 24.01.2024  
подпись, дата

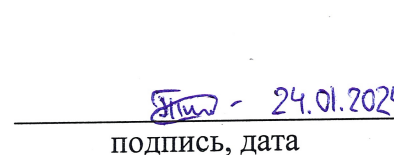
В.Е. Рогачев  
(раздел 2)

Инженер

 24.01.2024  
подпись, дата


Л.Е. Рогачев  
(раздел 2)

Инженер

 24.01.2024  
подпись, дата

А.С. Тимофеев  
(раздел 3)

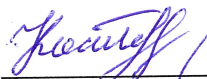
Инженер

  
24.01.2024  
подпись, дата

А.Н. Гулин

(раздел 2)

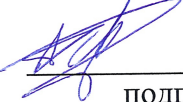
Лаборант-исследователь

  
24.01.2024  
подпись, дата

Е.А. Костоусова

(раздел 2)

Нормоконтролер

  
26.01.2024  
подпись, дата

А.В. Ананьина

## РЕФЕРАТ

Отчет 94 с., 1 книга, 11 рис., 4 табл., 175 источников, 2 прил.

### ЛЕСНЫЕ ТИПОЛОГИИ, ДРЕВЕСНАЯ, ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА, ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ, ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ, РЕКОМЕНДАЦИИ

Проведен анализ подходов и особенностей классификаций типов леса в Российской Федерации (лесоэкологической Е.В. Алексеева – П.С. Погребняка, фитоценотической В.Н. Сукачева, генетической Б.А. Ивашкевича – Б.П. Колесникова, динамической И.С. Мелехова), Северной Америке (классификация местообитаний (Habitat Type Classifications – НТС), биогеоклиматическая классификация (Biogeoclimatic Ecosystem Classification – ВЕС), экологическое описание местообитаний (Ecological Site Description - ESDs)) и Европы (европейских типов леса (EFT), классификаций местообитаний EUNIS и растительности Европы, созданной фитосоциологами Европейского обследования растительности (EVS)) по ключевым показателям. Собраны и представлены данные о распространении данных типологий по регионам РФ. Учет сукцессионной динамики лесных биогеоценозов является центральной проблемой во всех современных типологиях. Лучше всего данная проблема проработана в отечественной генетической лесной типологии и классификации в ESD с помощью включения в классификационные признаки потенциальной растительности и разрушающих экосистемы факторов. Одной из сильных сторон европейского подхода к классификации типов леса на общеевропейском уровне (EFT) является установление перекрестных связей с другими системами классификации типов леса, применяемыми как в рамках национальных систем инвентаризации лесов, так и на уровне ЕС, а также учет антропогенных воздействий. В рамках задач проекта, связанных с исследованием пространственно-временной динамики древесной растительности вблизи верхнего предела ее произрастания в районах исследований на Полярном и Южном Урале, проведен комплекс полевых работ, а также получены результаты, характеризующие закономерности изменения местоположения древесной растительности в пространстве. Разработаны и апробированы методики картирования основных лиственных типов фитоценозов (лес, редина, редколесье, тундра с отдельно стоящими деревьями) и их динамики во второй половине XX – начале XXI веков на Полярном Урале. Установлено, относительно общей площади района исследований увеличение площади сомкнутых лесов, редколесий и редины и сокращение площади участков тундры с одиночными деревьями. Получены уравнения, позволяющие количественно оценить закономерности изменения фракций фитомассы ели

сибирской с высотой над уровнем моря. У деревьев ели одинакового диаметра по мере повышения высоты над уровнем моря фитомасса стволов закономерно уменьшается, а фитомасса крон, наоборот, увеличивается. При решении блока задач, связанных с анализом лесных пожаров, исследований в области лесовосстановления, лесоразведения и рекультивации земель получены следующие результаты: установлено, что на территории Уральского региона резко увеличились показатели фактической горимости лесов, специфической особенностью которой в последние годы является развитие беглых низовых лесных пожаров в устойчивые и даже в торфяные; разработаны практические предложения по совершенствованию охраны лесов и минимизации послепожарного ущерба; разработаны рекомендации по рекультивации нарушенных в процессе добычи драгоценных металлов земель, в зоне влияния медеплавильного производства, а также в условиях лесотундры и подзоны северной тайги. Разработанные рекомендации по лесовосстановлению и лесоразведению на землях лесного фонда в границах Ямало-Ненецкого автономного округа рассмотрены на научно-техническом совете Рослесхоза.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	9
1 Анализ современного состояния исследований в области использования и совершенствования лесных типологий в России и за рубежом.....	11
1.1 Основные лесные типологии в России.....	11
1.2 Особенности европейского подхода к классификации типов леса .....	18
1.3 Сравнительный анализ основных североамериканских лесных типологий.....	28
2 Оценка современной структуры древостоев в районе исследований на Полярном Урале .....	41
2.1 Методика исследований и объем выполненных работ .....	41
2.2 Количественная оценка пространственно-временной динамики лиственницы сибирской на Полярном Урале в связи с современным изменением климата.....	46
3 Особенности формирования фитомассы деревьев ели в верхней границе леса на Южном Урале.....	56
4 Научные и технологические аспекты рационального лесопользования.....	62
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	68
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	73
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	89
ПРИЛОЖЕНИЕ Б .....	93



## ВВЕДЕНИЕ

Рациональные системы ведения лесного хозяйства опираются на научные достижения комплекса естественных и инженерных наук. Современные изменения в климатической системе Земли, появление новых технологий оценки и использования древесной и недревесной продукции лесов требуют совершенствования как существующих, так и новых подходов к оценке, прогнозированию и управлению лесными ресурсами. В современных лесных типологиях интегрированы естественно-научные и технологические аспекты оценки, эффективного использования лесных ресурсов и прогнозирования изменений в лесах.

Используемый в рамках проекта ярко выраженный междисциплинарный подход открывает возможности для сопряжения данных фундаментальных исследований в области изучения лесообразовательного процесса и технологических аспектов неистощимого рационального использования лесных ресурсов для создания природоподобных технологий ведения лесного хозяйства.

Задачи проекта сгруппированы в три блока (уровня), отражающие переход от фундаментального к прикладному уровням исследований и разработок. В качестве методологической основы использован генетический подход к классификации типов леса Б.А. Ивашкевича – Б.П. Колесникова, как одной из самых совершенных типологий, учитывающих особенности лесообразовательного процесса. Учет его особенностей при проведении лесохозяйственных мероприятий, способствующих естественному течению данного процесса позволяет создавать природоподобные технологии ведения лесного хозяйства, обеспечивающие формирование устойчивых и высокопродуктивных лесных насаждений, оптимально использующих весь комплекса почвенно-климатических факторов.

В задачи первого этапа проекта входил анализ современного состояния отечественных лесных типологий, основных типологий местообитаний и лесных типологий Северной Америки и Европы. Результаты решения данной задачи позволили получить представление о состоянии и современных тенденциях развития рассматриваемых типологий, выделить наиболее сильные стороны подходов, используемых учеными-лесотипологами, в том числе с точки зрения возможного их применения в рамках совершенствования отечественных лесных типологий.

Во второй блок задач этапа проекта 2023 года входили исследования древесной растительности вблизи верхнего предела ее произрастания в районах исследований на Полярном и Южном Урале. Высокогорья используется в качестве областей ранней реакции

древесной растительности на региональное изменение климата. Исследования, которые будут проведены на высокогорных мониторинговых полигонах позволяют оценить и провести сравнительный анализ процессов, происходящих в верхней части горно-лесного пояса в Арктической зоне РФ и на Южном Урале - удаленных друг от друга на значительное расстояние районов исследований. Выполнение работ в рамках данного блока задач позволит получить объективные количественные данные о структуре популяций древесной растительности и ее пространственно-временной динамике, а также фракционной структуре фитомассы деревьев вблизи верхней границы из произрастания. Также эти районы исследований использованы для разработки и апробации методик, связанных с автоматизированным выделением однородных (по комплексу характеристик древостоев) единиц растительного покрова, а именно - одного из технологических элементов совершенствования лесных типологий для автоматизированного определения границ лесных фитоценозов.

Третий блок задач проекта в 2023 году включал проведение исследований в области изучения закономерностей возникновения лесных пожаров, лесовосстановления и лесоразведения на основе максимального использования потенциальных природных возможностей формирования древесной растительности.

Проведенные в ходе 2023 года исследования полностью соответствуют научному направлению Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра «Биологическая безопасность человека, животных и растений»:

- Разработка технологий и профилактики лесных пожаров и лесовозобновления, ремедиации нарушенных территорий;
- Новые решения для цифровизации сельского и лесного хозяйства.

# **1 Анализ современного состояния исследований в области использования и совершенствования лесных типологий в России и за рубежом**

## **1.1 Основные лесные типологии в России**

В соответствии с задачами первого этапа проекта был выполнен анализ современного состояния исследований в области использования и совершенствования лесных типологий в России и за рубежом. Ниже приведены результаты проведенных исследований.

В основе современных систем рационального ведения лесного хозяйства лежат лесные типологии. Наиболее интенсивное развитие основных направлений лесотипологических исследований в разных странах северного полушария, которые завершились созданием классификаций типов леса, применяемых в лесном хозяйстве этих стран, происходило с конца XIX и практически до конца XX в. В начале XXI в. научный и практический интерес ученых-лесотипологов сместился в область создания классификаций типов леса, позволяющих на уровне критериев и индикаторов устойчивого управления лесами гармонизировать национальные системы инвентаризации лесов [1-4].

В течение 2-го десятилетия XXI в. наблюдается рост количества публикаций, связанных с вопросами влияния регионального изменения климата на местообитания и лесную растительность, в том числе с точки зрения влияния этих изменений на лесопользование и индикаторы, которые используются, в том числе, и при выделении типов леса [5-17]. В этой связи совершенствование лесотипологических схем в условиях современного изменения климата и антропогенных воздействий является одной из актуальных задач лесотипологических исследований.

Ученые Российской империи и СССР разработали ряд оригинальных направлений в области создания лесных типологий, результаты выполненных в то время исследований до сих пор не потеряли своей актуальности [9, 18, 19]. Несмотря на уменьшение в Российской Федерации с конца XX и в начале XXI вв. количества посвященных данной теме публикаций, которое было обусловлено в первую очередь социально-экономическими причинами, российские ученые продолжают исследования и разработки в этом направлении [7, 11, 15, 16, 20-37].

Необходимость научных разработок в области гармонизации национальных систем инвентаризации лесов на уровне критериев и индикаторов устойчивого управления лесами в Российской Федерации обусловлена тем, что она входит в число стран, присоединившихся к Монреальскому и Панъевропейскому процессам [2, 38, 39]. Цель этих

инициатив состоит в гармонизации национальных систем инвентаризации лесов. При этом успешное решение данной задачи будет зависеть от ряда условий, в том числе от глубины знаний классификаций типов леса, используемых на национальном или наднациональном уровнях специалистами разных стран, присоединившихся к Монреальскому и Панъевропейскому процессам. Кроме того, возможность свободного доступа к результатам научных исследований в этой области важна для экологов и лиц, принимающих решения на отраслевых, государственном и межгосударственном уровнях.

Основные классификации типов леса Российской Федерации. Основные подходы к классификации лесов, этапы развития лесной типологии в Российской империи и СССР, а также особенности разработанных классификаций типов леса подробно описаны в многочисленных работах [9, 11, 19, 24-26, 40-53]. Специалисты выделяют следующие периоды и направления лесотипологических исследований в России и СССР: доморозовский период, учение о типах леса Г.Ф. Морозова, классификация типов леса А.А. Крюденера, лесоэкологическое направление Е.В. Алексеева – П.С. Погребняка, фитоценотическая типология леса В.Н. Сукачева, географо-генетическая типология леса Б.А. Ивашкевича – Б.П. Колесникова и динамическая типология И.С. Мелехова. Хронологически перечисленные выше лесотипологические направления, созданные после классификации А.А. Крюденера, развивались параллельно.

В таблице представлены результаты сравнительного анализа основных классификаций типов леса, которые используются в лесном хозяйстве в Российской Федерации в настоящее время. В ряде регионов РФ лесоустроительные предприятия при инвентаризации лесов применяют авторские классификации типов леса, созданные другими отечественными исследователями, не названными выше. Однако эти классификации, как правило, можно отнести к одному из направлений лесотипологических исследований, которые представлены перечисленными классификациями. Следует отметить региональные схемы и кадастры типов леса, нашедшие широкое применение как в лесоустройстве, так и в научных исследованиях [22, 27, 35, 54-64], а также классификации вырубок [65-67]. В основе этих классификаций преобладают основные принципы одной из перечисленных в таблице классификаций. При этом все эти направления базируются на идеях Г.Ф. Морозова [47]. В процессе развития лесных типологий уточнялось и углублялось понятие типа леса, изменялось представление о нем: от участка леса, однородного по составу, строению и внешнему облику до представлений о типе леса с приоритетом однородности по происхождению (генезису), процессам развития и динамике (однородность во времени) по сравнению с однородностью состава и структуры (гомогенностью) в пространстве.

В естественных классификациях, к которым относят лесоэкологическую и фитоценотическую, тип леса рассматривается с точки зрения однородности характеристик компонентов лесного биогеоценоза в пространстве. При данном подходе в тип леса объединяются участки, однородные по комплексу характеристик компонентов лесного биогеоценоза, т. е. в основу определения типа леса положены критерии однородности участков леса в пространстве.

В лесоэкологической классификации постулируется, что тип леса определяют лесорастительные условия и, следовательно, каждому типу лесорастительных условий соответствует один тип леса. При этом количество типов леса ограничивается числом выделяемых ячеек в эдафической сетке. Поэтому лесоэкологическую классификацию можно использовать только в тех случаях, когда типы леса соответствуют выделяемым типам лесорастительных условий в пределах эдафической сетки [48]. В южных районах Российской Федерации, где растительный покров сильно изменен и имеет слабую диагностическую способность для определения типов леса, лесоэкологическая классификация хорошо себя зарекомендовала в качестве надежной основы лесопользования.

В динамической и генетической классификациях приоритет критериев пространственной однородности лесных участков при отнесении их к одному типу леса заменен критериями однородности рядов типов лесных биогеоценозов во времени [9, 26, 68]. Региональные генетические классификации основываются на общих принципах, но обязательно учитывают конкретные особенности климата, ландшафта, почв. Это делает типологические схемы региональными. Географический принцип Г.Ф. Морозова реализуется в них благодаря требованию указывать в названии типа леса, код лесорастительных условий [35, 55, 62]. Для этих целей предложена система буквенных и цифровых обозначений, которая позволяет отразить принадлежность каждого типа леса к соответствующей зоне, подзоне, провинции, высотному поясу, флористическому комплексу биогеоценозов, эдафическому и гидрологическому комплексу лесорастительных условий разного ранга (классы, группы, типы) [35, 55, 62], что обеспечивает типу леса генетической классификации точный географический и экологический «адрес». В этом заключается фундаментальное отличие генетической классификации от динамической, лесоэкологической и фитоценотической лесных типологий. В последних нет строго фиксированных границ использования [55]. Для того чтобы подчеркнуть региональную специфику генетических классификаций их ещё называют географо-генетическими [9]. Тем не менее учет климатических факторов и зональная основа ведения лесного хозяйства признаются важными во всех рассматриваемых в статье лесных типологиях, и именно в

этом направлении идет развитие современных российских лесных типологий, в том числе разрабатываются теоретические основы составления региональных классификаций на зональной основе [26, 69, 70].

Тип леса в генетических типологиях выделяется в пределах типа лесорастительных условий, который определяется по комплексу следующих характеристик: генезису и форме элементов рельефа, световым условиям, физико-химическим свойствам материнских почвообразующих горных пород и почв, водному режиму, водно-минеральному питанию растений. Тип леса в рамках генетического подхода является этапом лесообразовательного процесса [44].

Типы насаждений (типы фитоценозов) обозначают этапы развития типа леса – в пределах типа лесорастительных условий лесные фитоценозы могут сменять друг друга во времени. При этом внешний облик, состав и структура фитоценозов часто значительно отличаются друг от друга, но при этом все они будут принадлежать к одному и тому же типу леса [44, 50]. Тип леса в генетической классификации складывается из серии типов насаждений [30, 31] или, другими словами, «тип насаждения является формой существования типа леса, а этот последний представлен генетическим рядом типов насаждений, сменяющих друг друга во времени» [55, с. 30]. Тип леса характеризуется ходом роста древостоя, составленного лесообразующими древесными породами.

Необходимо отметить, что если в естественных классификациях тип насаждения, тип леса и лесной биогеоценоз рассматриваются как синонимы, то в генетической классификации тип леса является более широким понятием. Генетический подход к классификации типов леса не отрицает естественные типологии, а дополняет их. Генетические классификации преемственно связаны с естественными классификациями и выступают в качестве их продолжения [68, 71]. В настоящее время в основе генетической классификации Б.А. Ивашкевича – Б.П. Колесникова используются достижения классификации В.Н. Сукачева. Можно сказать, что последняя была дополнена данными о продолжительности, направлении и темпах разных видов смен.

Проблемы естественной и антропогенной динамики остро актуальны для всех сопоставляемых в статье лесных типологий [12, 26, 69, 70]. Наиболее полно учет динамики реализован в динамической и генетической классификациях. В основу динамической лесной типологии положена классификация В.Н. Сукачева, однако трактовка типа леса расширена. Тип леса в рамках данного направления, как и географо-генетической типологии Б.А. Ивашкевича – Б.П. Колесникова, рассматривается в пространстве и времени, т. е. является этапом или серией этапов в развитии леса [36, 72]. В динамической типологии учитываются экзо- и эндогенные изменения, происходящие в лесу,

устанавливается возможность перехода одного типа леса в другой, а также взаимосвязь этапов в пределах одного типа леса. Сукцессии на вырубках представляют собой восстановительные (демутационные) смены. Начальному этапу демутации соответствует тип вырубки, который определяется по комплексу лесорастительных условий и оценивается по признакам растительности, связанной с исходным типом леса до вырубки [65, 70].

Для целей учета динамики в генетической и динамической лесных типологиях предложена гипотеза о многообразии линий сукцессионной динамики лесов в сходных условиях местопроизрастания [12, 26, 30]. В литературу по лесному хозяйству вводятся термины: «тип развития», «направления лесовозобновления», «экологический ряд восстановления и развития насаждения», «эколого-динамический ряд», «категория вырубки», «вариант типа вырубки», «тип возобновления», «тип формирования насаждений» [26, 30, 31]. Данные понятия имеют как теоретическое значение – для лесоведения в плане понимания сложности и неоднозначности лесообразовательного процесса; так и практическое – для разработки оптимальных стратегий лесовосстановления.

Для этих целей С.Н. Санников предложил подробную схему дивергенции рядов динамики растительности на примере горных лесов Урала [30, 31]. Наглядно показана зависимость направлений дигрессивно-демутационных сукцессий от вида и интенсивности деструктивного воздействия (пожар, ветровал, рубка), типа почвенного субстрата (ненарушенный, обожженный, механически «минерализованный»), наличия или отсутствия на открытых местообитаниях семян и подростов хвойных древесных растений. Доказывается, что планирование мероприятий по лесовосстановлению с учетом эколого-динамических рядов восстановления и развития биогеоценозов позволяет эффективно использовать восстановительный потенциал лесной экосистемы и существенно сократить экономические затраты и сроки лесовосстановления.

Стадии и фазы восстановительно-возрастной динамики древостоев, и критерии их выделения подробно описаны Е.П. Смолоноговым [62] на примере еловых и кедровых лесов Западной Сибири и Урала. В данной работе убедительно показано, что для устойчивого природопользования необходимо учитывать не только особенности типов леса, но и восстановительно-возрастную стадию лесного фитоценоза. Это имеет значение для планирования как рубок ухода, так и выбора технологии лесозаготовок и может помочь избежать нежелательной длительной и устойчивой смены хвойных лесов на лиственные.

Если генетическая лесная типология сформировалась при изучении исключительно сложных и постоянно меняющихся лесов Дальнего Востока [43], то динамическая типология зародилась при классифицировании растительности северных территорий [66,

73], которые отличаются более простой структурой и более четкими зависимостями структуры растительности от лесорастительных условий. Первоначально типология И.С. Мелехова была направлена на классификацию открытых местообитаний: вырубок и гарей. В ходе исследований ученый показал, что различия растительности на вырубках и гарях обуславливают и различия в дальнейшем формировании лесного фитоценоза. Поэтому в число основных диагностических признаков типа вырубки или гари включены виды-доминанты травяно-кустарничкового яруса как факторы, определяющие выживание и рост последующего возобновления древесных растений [66, 73]. В этом заключается одно из различий динамической и генетической лесных типологий. В генетической лесной типологии травяно-кустарничковому ярусу уделяется незаслуженно мало внимания. На необходимость более детального учета флористического состава фитоценозов в лесной типологии и использования сильных сторон фитоиндикации для детального экологического анализа, в том числе для диагностики лесорастительных условий и стадий дигрессивно-демутационных смен, указывается во всех рассмотренных в статье лесотипологических направлениях [19, 26, 67, 39, 74, 75]. Можно отметить, что совершенствование региональных классификационных схем типов леса происходит на основе углубленного экологического анализа видовой структуры фитоценозов, их продуктивности и динамики, а также факторов определяющих разнообразие типов леса. Поэтому, несмотря на изначальные различия лесных типологий, происходит их постепенное сближение.

Следующее различие заключается в том, что в динамической типологии вырубки и гари выделяются в разные типы леса, а в генетической лесной типологии они включены в коренной тип леса [26, 76]. При этом связь с коренным типом леса в динамической типологии не всегда прослеживается, так как один тип вырубки или гари может формироваться на месте различных коренных типов леса [66, 73]. В генетической лесной типологии, так как тип вырубки и гари включен в коренной тип леса, всегда сохраняется связь между ними [26]. В динамической классификации, в отличие от классификации Б.А. Ивашкевича – Б.П. Колесникова, не используется детерминированная схема изменений типов леса. Так как явления конвергенции растительности на вырубках и гарях в различных типах леса выражены достаточно сильно и физиономически сходные вырубки и гари в различных типах леса требуют совершенно различных лесовосстановительных мероприятий, для устойчивого лесопользования большее значение имеет генетическая лесная типология [26, 77]. В то же время на основе детальных количественных исследований было доказано, что и для коренных лесов явление конвергенции возможно. Так, например, ельники черничники характеризуются широкой экологической амплитудой,



но восстановительные смены протекают по-разному в зависимости от различий в лесорастительных условиях, а сходство выявляется только для коренных лесов [29]. Данный результат исследований имеет принципиальное значение для лесопользования и охраны природы, так как эффекты рубок и пожаров в физиономически сходных типах леса (т. е. в пределах одного типа леса фитоценотической типологии, но в различных типах леса генетической типологии) могут существенно различаться и требуют внесения корректив в лесопользование.

Несмотря на различия в деталях, учет динамики растительности при ее классифицировании объединяет эти 2 направления лесной типологии и в настоящее время их уже бывает сложно разделить [19, 26, 65, 76, 78]. Здесь можно привести примеры исследований С.А. Дыреникова [42], В.Н. Федорчука [79], В.Ю. Нешатаева [29] и многих других. Особо следует отметить современную классификацию вырубков [65], которая по принципам составления сходна с генетической типологией. Большой вклад в типологию вырубков внесла также Н.Г. Уланова [70]. Ее подход к классификации растительности объединяет не только динамическую и генетическую типологии, но и подход Браун-Бланке [70]. Данный пример не является уникальным. Современный электронный определитель типов леса Европейской России также удачно сочетает в себе основные идеи динамической и генетической типологии, эколого-флористической классификации [22]. В динамической типологии, как и в генетической, выделяются этапы лесобразовательного процесса. Так, например, И.С. Мелехов называет следующие этапы развития леса: этап, предшествующий образованию леса (типы вырубков, гарей); формирование леса; этап сложившегося леса (в спелом возрасте); последующие этапы с возможным переходом в новый тип леса [80]. Б.П. Колесников считал, что разработанная И.С. Мелеховым динамическая классификация типов вырубков и гарей [73] является частным случаем классификации начальных стадий восстановления лесов в ходе их онтогенетических (демутационных) или дигрессивных устойчивых смен, поэтому классификацию И.С. Мелехова можно отнести к генетическим классификациям [44]. Следует отметить, что современная лесоэкологическая классификация также развивается в направлении учета естественной и антропогенной динамики лесных экосистем [69].

В таблице 1 приведены характеристики основных лесотипологических классификаций Российской Федерации по следующим показателям: объем понятия типа леса, граница типа леса, классификационные признаки, используемые для определения типов лесорастительных условий, классификационные признаки фитоценоза, используемые для определения типа леса, учет сукцессионной динамики, учет влияния

антропогенных факторов, уровень внедрения в практику лесного хозяйства, регионы внедрения.

География использования лесотипологических классификаций в Российской Федерации. На рисунке 1 приведена картосхема современного использования лесотипологических классификаций, созданная на основе данных, полученных по официальным запросам в филиалы ФГБУ «Рослесинфорг», изучения лесных планов регионов РФ, а также обзора Ю.В. Нешатаева [81]. Детализации по названиям, характеристикам, авторам и организациям участвовавших в разработке лесных типологий для конкретных регионов СССР и РФ в данной публикации не приведено из-за значительного объема этой информации. Классификацию И.С. Мелехова отдельно не выделяли, а рассматривали ее в качестве продолжения фитоценотической классификации В.Н. Сукачева.

Генетические типологии используются в 13 регионах РФ (Приморский и Хабаровский края, Удмуртская Республика, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа, Амурская, Еврейская, Иркутская, Нижегородская, Омская, Свердловская, Тюменская и Челябинская области). Лесозоологические (эколого-лесоводственные) типологии применяются в 14 регионах Российской Федерации (Астраханская, Волгоградская, Курганская и Самарская области, Ставропольский край Республики: Кабардино-Балкарская, Карачаево-Черкесская, Чеченская, Адыгея, Дагестан, Калмыкия, Ингушетия, Северная Осетия – Алания, Крым). В Ростовской и Рязанской областях используются классификации, которые относятся к фитоценоческому и лесозоологическому направлениям. В остальных регионах Российской Федерации, которые не перечислены выше, распространены фитоценотические лесотипологические классификации.

## **1.2 Особенности европейского подхода к классификации типов леса**

Общеввропейский добровольный политический процесс высокого уровня для межправительственного диалога и сотрудничества по вопросам лесной политики в Европе под эгидой конференции по защите лесов в Европе на уровне министров (Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe – MCPFE) получил название «Лесная Европа» [82].

Таблица 1 – Характеристики основных лесотипологических классификаций Российской Федерации

Сравниваемые особенности	Классификация типов леса			
	лесозокологическая Е.В. Алексеева – П.С. Погребняка	фитоценотическая В.Н. Сукачева	генетическая Б.А. Ивашкевича – Б.П. Колесникова	динамическая И.С. Мелехова
1	2	3	4	5
Объем понятия типа леса	<p>Тип леса – это совокупность лесных участков, сходных по почвенно-гидрологическим и климатическим условиям, с влиянием исторического фактора. Определяется по ТЛУ. Трактовки объема данного понятия в разное время могут отличаться: от ТЛУ до совокупности лесных биогеоценозов, рассматриваемых в пределах ТЛУ. На практике данная типология получила распространение в районах, для которых ТЛУ соответствует определенные типы древостоев, поэтому для определения типа леса достаточно определения ТЛУ на основе эдафической сетки. В пределах данной сетки возможно выделение только 24 ТЛУ</p>	<p>Тип лесного биогеоценоза, нет ограничений на выделение количества типов леса</p>	<p>Серия взаимосвязанных типов лесных фитоценозов в пределах ТЛУ, т. е. серия типов лесных биогеоценозов, сменяющих друг друга во времени. Объем понятия типа леса шире, чем в классификации В.Н. Сукачева, нет ограничений на количество выделяемых типов леса</p>	<p>Объем понятия типа леса соответствует типу В.Н. Сукачева, добавлены этапы развития лесной растительности: тип вырубок и гарей, предусмотрена возможность перехода одного типа леса в другой, нет ограничений на количество выделяемых типов леса</p>

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
Граница типа леса	По границе ТЛУ для покрытых и непокрытых лесом участков	По границе лесного фитоценоза только для покрытых лесом участков с учетом ТЛУ	По границе ТЛУ для покрытых и непокрытых лесом участков	По границе лесного фитоценоза для покрытых и непокрытых лесом участков с учетом ТЛУ
Классификационные признаки, используемые для определения ТЛУ	Подстилающие горные породы, тип почв, механический состав, трофность почв, влажность почв, флористический состав фитоценоза. Предложен алгоритм и разработана база данных для определения ТЛУ по системе П.С. Погребняка (списку доминантов напочвенного покрова), а также для независимой проверки экспертных оценок ТЛУ, содержащихся в лесотаксационных описаниях	Прямо действующие факторы (трофность почв, режим увлажнения и аэрация почвы) оцениваются по косвенным признакам: индикаторам живого напочвенного покрова, положению в рельефе и режиму увлажнения	Высота над уровнем моря (высотный класс) для горных территорий или региональный комплекс лесорастительных условий для равнинных; режим увлажнения, особенности рельефа и почв	Как в классификации В.Н. Сукачева
Классификационные признаки фитоценоза, используемые для определения типа леса	Состав древостоя в пределах ТЛУ с учетом требовательности отдельных видов растений к трофности и влажности почв	Состав древостоя, индикаторы живого напочвенного покрова, лесоводственно-таксационные характеристики, бонитет, возобновление	Для покрытых лесом участков классификационные признаки по В.Н. Сукачеву, среди которых главными являются продуктивность древостоя и особенности естественного возобновления (видовой состав, численность, возрастная структура); для	Для непокрытых лесом участков используются характеристики живого напочвенного покрова, для фитоценоза – классификационные признаки по В.Н. Сукачеву

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
			<p>непокрытых лесом участков наличие и видовой состав подроста древесных растений, а также описание доминантов живого напочвенного покрова</p>	
<p>Учет сукцессионной динамики</p>	<p>Изначально на уровне теоретических положений, позже были предприняты попытки учета сукцессионной динамики в классификационных схемах</p>	<p>На уровне теоретических положений (в классификационных схемах заложена возможность прогнозирования смен древостоев на основе данных о возобновлении)</p>	<p>Как на уровне теоретических положений, так и в классификационных схемах возрастная и восстановительная динамика представлены в виде ряда возможных типов фитоценозов, сменяющих друг друга во времени в пределах ТЛУ. Разработаны конкретные схемы проведения лесоустроительных работ</p>	<p>Разработана типология вырубок и гарей как этапа восстановительной динамики, предшествующего формированию типа леса; возможность перехода одного типа предусмотрена на уровне теоретических положений</p>
<p>Учет влияния антропогенных факторов</p>	<p>На уровне теоретических положений для прямых антропогенных воздействий, косвенные воздействия не учитываются</p>		<p>Как на уровне теоретических положений, так и в классификационных схемах по типам вырубок (паловые, беспаловые), предназначенных для использования при проведении лесоустроительных работ; косвенные воздействия не учитываются</p>	<p>Разработана типология вырубок и гарей, косвенные воздействия не учитываются</p>

Окончание таблицы 1

1	2	3	3	4
Уровень внедрения в практику лесного хозяйства, регионы внедрения	Высокий (Украина, южные регионы Российской Федерации, Казахстан)	Очень высокий (европейская часть России, регионы Западной и Восточной Сибири)	Высокий (некоторые регионы Дальнего Востока, Урала и Западной Сибири, отдельные регионы европейской части России)	Используется совместно с классификацией В.Н. Сукачева

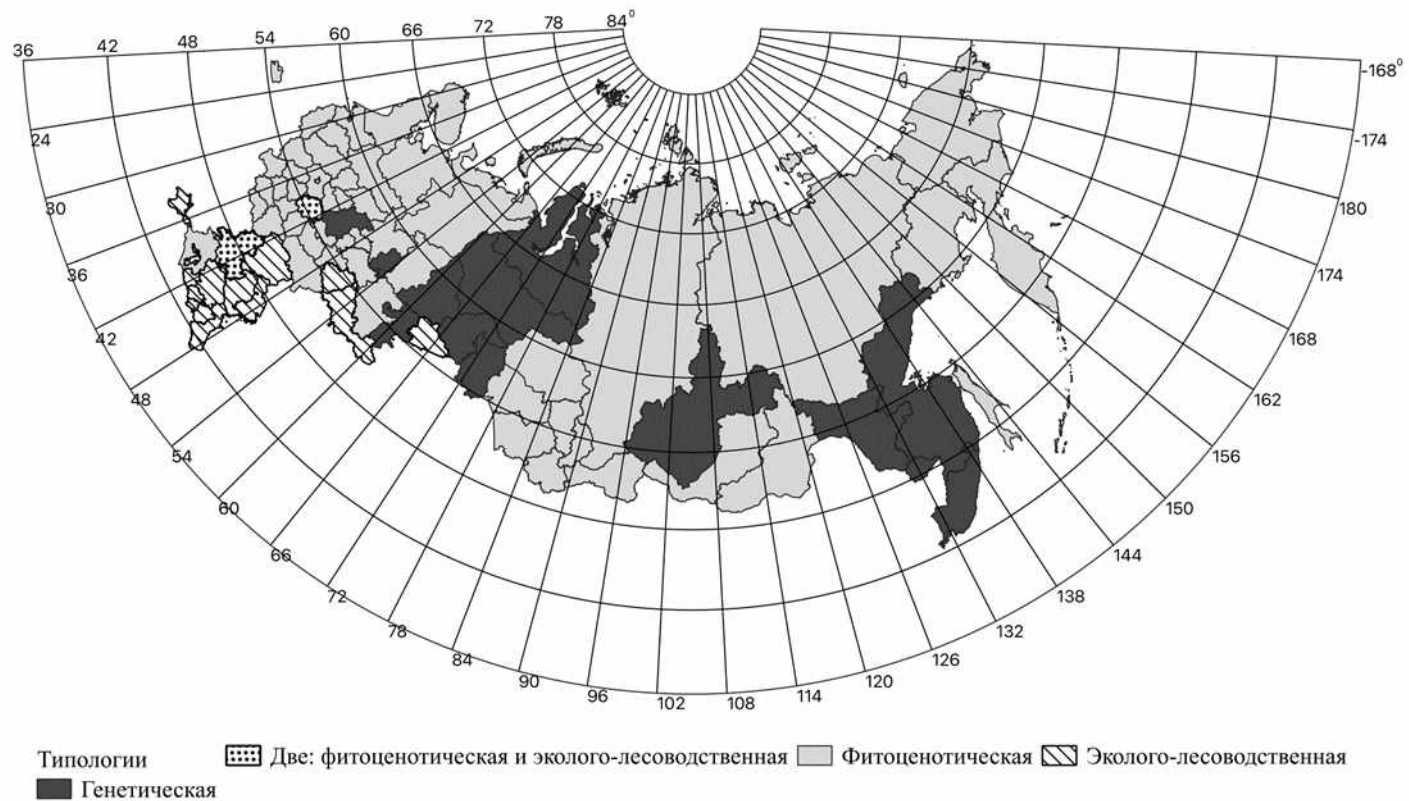


Рисунок 1 – Картосхема, характеризующая географию использования основных лесотипологических классификаций в Российской Федерации

В 2006 году Международный консорциум экспертов представил результаты исследований по типам европейских лесов для MCPFE [1]. В нем была представлена классификация «Европейские типы леса» (European Forest Types – EFT), созданная с учетом индикаторов устойчивого управления лесами. Данная классификация позволяет повысить эффективность устойчивого лесопользования в Европе и упростить представление отчетности странами-членами Европейского союза. В таблице 1.2 приведены характеристики EFT по тем же самым показателям, которые были использованы при анализе отечественных лесотипологических классификаций.

До создания классификации EFT на общеевропейском уровне идентификация лесных сообществ была возможна с использованием классификации местообитаний EUNIS [83] и классификации фитосоциологических альянсов [84], позже получившей название Европейского исследования растительности (European Vegetation Survey – EVS) [85]. Необходимость создания EFT была обусловлена тем, что EUNIS и EVS имеют ряд ограничений для отчетности MCPFE. К ним относятся: избыточное количество классов и неинформативность некоторых из них; труднодоступность для понимания конечными пользователями, не являющимися специалистами в области фитосоциологии; отсутствие четкой связи между показателями биоразнообразия лесов и вопросами политики его сохранения; недостаточная эффективность этих классификаций в удовлетворении потребностей в отчетности MCPFE [1, 2].

В классификации EFT ключевую роль играют следующие группы факторов, влияющих на биоразнообразие лесов в Европе:

1) структурные (физические характеристики) - общая площадь лесов (официальный статус/использование или защита, владелец лесов, видовой состав древесных растений и их возраст, старшевозрастные леса/леса, оставленные для свободного развития, снижение/возрастание лесистости территории;

2) факторы состава: естественные виды или виды, не типичные для данных условий местопроизрастания;

3) функциональные: естественные нарушения, обусловленные влиянием пожаров, ветра и снега; биологические нарушения; влияние человека, включая ведение лесного хозяйства, выпас скота, другие виды землепользования, загрязнения.

Классификация EFT имеет иерархическую структуру, состоящую из двух уровней. В основу ранжирования категорий и типов положен принцип увеличения схожести лесных участков в естественных и антропогенных условиях, влияющих на следующие 5 базовых индикаторов:

1) натуральность;



- 2) количество видов растений;
- 3) запас древостоя;
- 4) распределение значений возраста и диаметра деревьев;
- 5) запас мертвой древесины.

Уровень категорий предложен для выявления и отражения в общеевропейском масштабе наиболее значимых (переломных) моментов в континууме природных и антропогенных источников, влияющих на изменение вышеперечисленных выше показателей. В качестве примера фундаментального переломного момента можно привести изменение естественной растительности лесного участка на искусственные насаждения, появление которых приводит к резкому изменению естественности. Это изменение можно оценить по следующим параметрам:

- 1) упрощение структуры лесного насаждения, (лесные культуры, как правило, состоят из одновозрастных и монопородных древостоев, с равномерным распределением деревьев в пространстве);

- 2) изменение генетического разнообразия местообитания;

- 3) изменение видового состава в пределах местообитания, когда естественная лесная растительность заменяется древостоями из интродуцированных видов, причем некоторые из них становятся способными подавлять естественную растительность (инвазивных виды). Классификация EFT в настоящий момент содержит 78 типов леса, которые сгруппированы в 14 категорий [2].

В номенклатуре европейских типов леса при описании лесов указывается их связь с классификационными единицами местообитаний классификации EUNIS и приложения I Директивы по местообитаниям [86]. В классификации EFT также предусмотрена возможность связи данных, используемых в национальных системах инвентаризации лесов с европейскими типами леса для тех европейских стран, где уже существуют схемы типов лесов. Это возможно сделать при условии, что такие классификации основаны на тех же диагностических критериях, которые использованы для европейских типов леса. Таким образом, на уровне типа леса в классификации EFT установлены перекрестные связи с другими системами классификации типов леса, применяемыми как в рамках национальных систем инвентаризации лесов, так и на уровне ЕС. Они позволяют систематически идентифицировать и характеризовать категории и типы лесов в Европе. Типы леса связаны с классами на третьем уровне классификации EUNIS и с Приложением I Директивы ЕС по местообитаниям [2]. Таким образом EFT тесно связана EUNIS и классификацией фитосоциологических альянсов, которая наряду с другими классификациями была

использована при создании EUNIS. В этой связи, на наш взгляд, целесообразно привести краткое описание этих классификаций.

Таблица 2 – Характеристики европейской классификации типов леса EFT

Сравниваемые особенности	Классификации типов леса и их авторы
Авторы	А. Барбати (A. Barbati), П. Корона (P. Corona), М. Марчетти (M. Marchetti)
Объем понятия типа леса	Крупная единица — категория леса, определенная его составом и/или факторами, характеризующими условия местопроизрастания; классифицируемая каждой страной в соответствии с ее потребностями. Категории и типы леса, представлены только для лесных земель.
Граница типа леса	В пределах биогеографических регионов Европы. Границы большей части типов леса обусловлены широтно-высотной зональностью европейской растительности или деятельностью человека. Границы могут быть определены в пределах классификационных единиц классификаций местообитаний EUNIS или флористической классификации EVS.
Классификационные признаки, используемые для определения ТЛУ	Используются классификационные единицы следующих классификаций местообитаний EUNIS и Приложение I Директивы о местообитаниях 92/43/ЕЕС.
Классификационные признаки фитоценоза, используемые для определения типа леса	Используются следующие показатели: 1) натуральность; 2) количество обнаруженных видов лесной растительности; 3) запас древостоя; 4) распределение значений возраста и диаметра деревьев; 5) запас мертвой древесины. Дополнительная информация может быть получена за счет наличия кросс-связей с классификационными единицами EUNIS, и кросс-связей последней с синтаксонами флористической классификации EVS.
Учет сукцессионной динамики	В основном на теоретическом уровне. В некоторых случаях возможен учет сукцессионной динамики за счет информации, полученной из классификации местообитаний EUNIS.
Учет влияния антропогенных факторов	Учтено. Один из ключевых показателей, характеризующих степень натуральности лесов, используется для выделения категорий и типов леса. В пределах типа леса приведено краткое описание основных антропогенных воздействий.
Уровень внедрения в практику проведения лесоустроительных работ и ведения лесного хозяйства, регионы внедрения	Используется на общеевропейском уровне для отчетности в рамках Пан-Европейского процесса (ранее Министерской конференции по защите лесов в Европе).

EUNIS представляет собой общеевропейский эталонный набор единиц местообитаний для удовлетворения требований в отношении политических целей и вспомогательных приложений, связанных с мониторингом и отчетностью по биоразнообразию [87]. EUNIS – это иерархическая классификация наземных, пресноводных и морских местообитаний всей Европы. Она содержит 4 иерархических уровня. Морские местообитания ранжированы на четыре уровня, а наземные и пресноводные – на три (до третьего уровня включительно). Для наземных местообитаний, относящихся к третьему уровню, указывается их аналог в широко используемой в данном регионе европейскими фитосоциологическими синтаксонами [87]. Выделение местообитаний EUNIS основано на физиогномических и физических признаках, а также на некоторых флористических критериях.

В 2016 году группой исследователей EVS была представлена «Растительность Европы: иерархическая флористическая система классификации сообществ сосудистых растений, мхов и лишайников, а также водорослей» для Европы, и некоторых прилегающих к ней территорий, в рамках границ тектонических структур [88]. Создание данной классификации было призвано решить следующие задачи: представить всеобъемлющую иерархическую синтаксономическую систему союзов, порядков и классов синтаксономии Брауна-Бланке для Европы для перечисленных выше организмов; кратко охарактеризовать в эколого-географических терминах все принятые синтаксономические понятия; связать все доступные синонимы с этими принятыми понятиями; предоставить список диагностических видов для каждого принятого класса.

В ходе работы над данной классификацией авторы проанализировали около десяти тысяч библиографических источников, для того чтобы составить исчерпывающий список ранее предложенных многочисленными исследователями синтаксономических единиц. Для каждой из них экспертами была проведена оценка на предмет флористической и экологической отчетливости, ясности географического распределения и соответствия номенклатурному коду. Принятые единицы были собраны в три системы классов, порядков и союзов, в так называемый европейский контрольный список растительности (EuroVegChecklist – EVC), который в свою очередь состоит из трех контрольных списков для сообществ, в которых преобладают сосудистые растения (EVC1), мхи и лишайников (EVC2), а также водоросли (EVC3). Для сообществ с преобладанием сосудистых растений исследователи выделили 1108 альянсов, 300 порядков и 109 классов. Список EVC2 включает в себя 27 классов, 53 порядка и 137 альянсов, а EVC3 включает в себя 13 классов, 24 порядка и 53 альянса [88].

Таким образом одной из отличительной особенностью европейского подхода к классификации типов леса является обобщение (EFT) и интеграция разных (EUNIS и EVS) классификаций, характеризующих местообитания и фитоценологические альянсы Европы. Тип леса в EFT – крупная единица лесной растительности, выделяемая в пределах биогеографических регионов по общности лесорастительных условий, структуре и продуктивности растительности, степени антропогенной трансформации. Учет лесорастительных условий и соблюдение географического принципа сближает EFT и генетическую лесную типологию. Однако полной аналогии нет: тип леса в EFT – более крупная единица растительного покрова, чем в генетической лесной типологии (и тем более, чем в естественных российских классификациях) и в меньшей степени учитывает особенности лесовосстановления после катастрофических воздействий.

Необходимо отметить, что учет сукцессионной динамики лесных биогеоценозов в EFT обозначен только на теоретическом уровне, практически ее учет возможен за счет информации, полученной из классификации местообитаний EUNIS. При этом большим достоинством EFT является включение антропогенных воздействий в число ключевых диагностических признаков типа леса. Уровень антропогенных воздействий учитывается по оценке степени натуральности лесов, количества лесных видов, вида и интенсивности антропогенного воздействия.

Одной из самых сильных сторон классификации EFT также является установление перекрестных связей с другими системами классификации типов леса, применяемыми как в рамках национальных систем инвентаризации лесов, так и на уровне ЕС. Использование эколого-флористического подхода Браун-Бланке, реализованного в классификации фитоценологических альянсов, дает возможность проведения детального экологического анализа, учета не только продуктивности древостоя, но и уровня биоразнообразия в типе леса, что делает классификацию более полезной для научных исследований и охраны природы.

### **1.3 Сравнительный анализ основных североамериканских лесных типологий**

В разных регионах Соединенных Штатов Америки и Канады наибольшее распространение получили следующие классификации местообитаний и типов леса: Habitat Type Classifications (HTC) – классификации местообитаний [89], Biogeoclimatic Ecosystem Classification – (BEC) биогеоклиматическая классификация [90, 91] – экологическое описание местообитаний (Ecological Site Description – ESDs) [92; 93]. Ниже приведено

краткое описание особенностей классификаций, а в таблице 3 – их ключевые характеристики.

На основе концепции потенциальной растительности в 1952 Р.Ф. Добенмайром была предложена первая система классификации типов местообитаний для северной части Айдахо и восточной части штата Вашингтон [89; 94-95]. Данный подход был применен при исследовании лесов центральной и южной части штата Юта. Для целей классифицирования было заложено в старшевозрастных древостоях, не подверженных влиянию естественных или антропогенных факторов, 720 пробных площадей [96], и дополнительно для лесов Монтаны – 1500 пробных площадей [89]. Проведенные исследования дали основу не только для разработки классификации типов леса, но и для развития теоретических положений данного подхода к классифицированию природных комплексов.

Для типа местообитаний введены две формулировки: 1) все участки местности (сумма дискретных единиц), которые в настоящее время поддерживают или в течение недавнего времени поддерживали и, предположительно, все еще способны поддерживать одну растительную ассоциацию, будут называться типом среды обитания; 2) все части ландшафта, поддерживающие или способные поддерживать то, что представляется желательным рассматривать как один и тот же тип относительно стабильного фитоценоза (однородного по доминантам во всех ярусах) при отсутствии нарушений, составляют один тип местообитания [95]. Таким образом, тип местообитания включает в себя все земельные участки, потенциально способные производить аналогичные растительные сообщества в климаксовой стадии, которые не обязательно совпадают с современной растительностью [89].

В типах местообитаний отражены различия в общем составе растительности. В тип местообитания могут быть включены все участки потенциально способные произвести одно и то же климаксовое сообщество [89]. При этом при объединении участков в один тип местообитания не устанавливается требование к сходству текущей растительности на каждом из них. В названии типа местообитания используется название доминирующего вида в древостое и доминирующего вида в подпологовой растительности. Например, *Abies lasiocarpa/Aconitum columbianum* h.t. (h.t. – от *habitat type* – тип местообитания) или *Abies lasiocarpa/Physocarpus malvaceus* h.t. Краткое обозначение данных типов местообитаний ABLA/ACCO и ABLA/PHME соответственно. В пределах типа местообитания выделяют фазы, например, для типа местообитания *Abies lasiocarpa/Berberis repens* h.t. выделяют фазы *Pinus flexilis* phase и *Picea engelmannii* phase, в пределах которых в древостое доминируют сосна мягкая или ель Энгельмана. Типы местообитаний по сходству доминирующей древесной породы могут объединяться в серии. Например, в серию с доминированием

Таблица 3 – Характеристики основных лесотипологических классификаций Северной Америки

Сравниваемые особенности	Классификации типов леса и их авторы		
	классификации типов местообитаний (Habitat Type Classifications — НТС)	классификация биогеоклиматических экосистем, ВЕС	экологическое описание местообитаний (NRCS USDA)
1	2	3	4
Объем понятия типа леса, тип местообитания, участка	Тип местообитания включает в себя все земельные участки, потенциально способные производить аналогичные растительные сообщества в климаксовой стадии, которые не обязательно совпадают с современной растительностью. В пределах типа местообитания выделяют фазы, которые отражают незначительные различия в условиях окружающей среды. Нет никаких ограничений на количество типов лесов, которые могут быть выделены в рамках данной классификации.	Основной единицей ВЕС является растительная ассоциация, точнее ее кульминационная стадия развития, которая определяет биогеоклиматические подзоны. Лесная ассоциация связывается с сеткой, подобной «эдафической сетке» П.С. Погребняка, отражающей основные экологические градиенты. В пределах одной климатической сетки может быть определено ограниченное количество условий местообитания. Ряды условий местообитания объединяют информацию о растительности (с использованием таксономии Брауна-Бланке) с физической средой (климат и соответствующая экологическая сетка). Существует ограничение на количество рядов местообитаний в пределах сетки.	«Экологический участок» определяется как особый вид участка земной поверхности, основанный на повторяющихся закономерностях почвенного покрова, формах рельефа, геологических и климатических характеристиках. Он отличается от других участков своей способностью формировать условия для произрастания растительности, которая будет отличаться по видовому составу и количеству видов, а также характерной реакцией на хозяйственные мероприятия и естественные нарушения. Экологические участки лесных угодий и экологические участки пастбищ различаются в зависимости от климаксового сообщества растений. Ограничений по количеству выделяемых типов леса в данной классификации нет.
Граница типа леса	По границам типа местообитания лесного фитоценоза, для лесопокрываемых территорий неявно учитывается тип условий местообитания участка леса	Определяется по границе серии (ряда) участков с определенными характеристиками условий местообитания. При выделении однородного участка для	По границам экологического участка для лесопокрываемых территорий и пастбищ с учетом типа растительности (растительного сообщества) и почвенных условий (типа почвы/почвенного ряда)

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4
	<p>(качество условий местообитания с точки зрения температурного режима и режима увлажнения почвы)</p>	<p>лесопокрытых территорий явно учитывается тип условий местообитания участка леса с точки зрения режима влагообеспеченности и обеспеченности элементами питания, задающего определенный потенциал для поддержания существования определенного типа фитоценоза.</p>	
<p>Классификационные признаки, используемые для определения ТЛУ</p>	<p>Географическое распространение, климат, высотный пояс, рельеф (положение в рельефе, крутизна и экспозиция склона, кривизна поверхности,), почвы (подстилающие горные породы, речные отложения, механический состав почв, характеристика лесной подстилки). В то время как градиенты температуры и влажности почвы учитываются неявно. Из свойств почв имеют наибольшее значение тип субстрата, глубина подстилки, рН, механический состав и текстура почвы.</p>	<p>Климатическая часть классификации неявно учитывает региональный климат / макроклимат (часто представленный высотой). Часть классификации, связанная с учетом особенностей местообитания неявно учитывает режимы увлажнения и минерального питания. Для прикладных целей (в основном картографических) эти режимы/прямые градиенты расширяются модификаторами участка, характеризующими рельеф местности, условия влажности почвы, горные породы, механический состав почв. Климатическая и лесорастительная фрагменты классификации дополняются частью, связанной с растительностью.</p>	<p>Явные ключевые свойства почвы (подстилающая горная порода, мощность, текстура, ограничивающие слои, уровень грунтовых вод, рН, соленость) определяют взаимоотношения компонентов растения — почва — вода. Они зависят от физиографических (рельеф, крутизна и экспозиция склона, высота над уровнем моря и т. д.), климатических (осадки, температура, продолжительность вегетационного периода и т. д.) и гидрологических условий.</p>

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4
<p>Классификационные признаки фитоценоза, используемые для определения типа леса</p>	<p>Тип местообитания представлен комбинацией видов растений-индикаторов древесного полога и нижних ярусов растительного сообщества. Используется сомкнутость крон деревьев и проективное покрытие подпологовой растительности</p>	<p>На основе подхода Браун-Бланке выделяются характерные и диагностические виды климаксовой стадии из растений верхнего и подчиненных ярусов, в том числе мхов и лишайников.</p>	<p>Видовой состав</p>
<p>Классификационные признаки фитоценоза, используемые для определения типа леса</p>	<p>Тип местообитания представлен комбинацией видов растений-индикаторов древесного полога и нижних ярусов растительного сообщества. Используется сомкнутость крон деревьев и проективное покрытие подпологовой растительности</p>	<p>На основе подхода Браун-Бланке выделяются характерные и диагностические виды климаксовой стадии из растений верхнего и подчиненных ярусов, в том числе мхов и лишайников.</p>	<p>Видовой состав</p>
<p>Учет сукцессионной динамики</p>	<p>Представлены общие описания типов растительных сообществ, отражающих сукцессионную динамику растительного покрова, возникающую в ходе естественных нарушений. Некоторые варианты классификации могут быть дополнены описанием сукцессий.</p>	<p>В многозначном шифре для единицы классификации есть возможность отразить потенциальную растительность и стадию динамики фактической растительности.</p>	<p>Представлена как динамика фаз растительного сообщества, включает различные варианты состояния растительности на участке. Нарушения, вызывающие переход из одного состояния в другое, описываются в моделях состояний и переходов. Переход может быть инициирован стихийными бедствиями (пожар) и хозяйственной деятельностью (выпас скота, тушение пожара, рекреация, лесозаготовки)</p>



Окончание таблицы 3

1	2	3	4
<p>Учет влияния антропогенных факторов</p>	<p>Исходно классификация местообитаний основана на потенциальной (климаксовой) растительности. Антропогенные нарушения первоначально не включены. Некоторые варианты классификации могут быть дополнены описанием сукцессий.</p>	<p>В многозначном шифре для единицы классификации есть возможность отразить вид и интенсивность антропогенного воздействия.</p>	<p>Антропогенные факторы, вызывающие переход из одного состояния сообщества в другое, включены в описания переходов.</p>
<p>Уровень внедрения в практику проведения лесоустроительных работ и ведения лесного хозяйства, регионы внедрения</p>	<p>Очень высокий: в западной части Соединенных Штатов Америки и в районе Великих озер.</p>	<p>Очень высокий: в Британской Колумбии (Канада)</p>	<p>Очень высокий уровень: управление пастбищами (Bureau of Land Management-BLM), особенно в западной части США</p>

пихты шершавоплодной на климаксовой стадии объединены 11 типов местообитаний в центральной и южной частях штата Юта [96]. В эту серию входят два типа приведенных выше ABLA/ACCO и ABLA/PHME.

В итоге авторы получили иерархическую систему классифицирования местообитаний, которая не накладывает ограничений на количество типов, выделенных в рамках данного подхода.

Для определения серий и типов местообитаний составлены определители. Например, под пунктом 1 раздела классификации «Ключи для определения климаксовой серии, местообитаний и фаз» приведены рекомендации по использованию следующего ключа: для полога спелых древостоев, которые не сильно нарушены выпасом скота, лесозаготовками, лесным пожаром и т. д., если древостой сильно нарушен или находится в ранней сукцессионной стадии, то предлагается тип местообитания определить экстраполяцией из ближайшего старшевозрастного древостоя, занимающего аналогичный участок [89; 96].

Для классифицирования условий местообитания имеют значение географическое распространение, климат, высотный пояс, рельеф (положение в рельефе, крутизна и экспозиция склона, кривизна поверхности,), почвы (подстилающие горные породы, речные отложения, механический состав почв, характеристика лесной подстилки). В то время как градиенты температуры и влажности почвы учитываются неявно. Из свойств почв имеют наибольшее значение тип субстрата, мощность подстилки, pH, механический состав и текстура почвы. Из признаков растительности используются климаксовое сообщество, индикаторные виды, сомкнутость крон деревьев и проективное покрытие подпологовой растительности, продуктивность лесов (запас) и рекомендации по управлению (особенности лесозаготовки). Границы типа местообитаний определяются по границе лесного фитоценоза [89].

С целью учета динамики растительности классификации могут быть дополнены описанием сукцессий и антропогенных трансформаций. Основная задача в ходе проведения классифицирования сводится к определению потенциальной растительности. И именно сравнение текущей растительности с потенциальной является ключевым моментом для описания и изучения сукцессий, в том числе выявлении устойчивости и изменчивости различных признаков при различного рода и интенсивности нарушений. Поэтому подход, основанный на учете потенциальной растительности, имеет явные преимущества для отражения сукцессий и антропогенных трансформаций в классификационных построениях,

по сравнению с типологиями, основанными на классификации только текущей растительности.

Таким образом, тип местообитания в НТС близок к трактовке типа леса в генетических классификациях Б.А. Ивашкевича – Б.П. Колесникова [43, 44], а также И.С. Мелехова [66, 73], при этом характеристики растительного покрова и почв похожи на те, что предложил В.Н. Сукачев. Как и типы леса В.Н. Сукачева типы местообитаний обеспечивают экологически обоснованную систему классификации земель, которая может быть применена как к исследовательской, так и к управленческой деятельности [89]. Первый вариант классификации типов местообитаний был предложен Р.Ф. Добенмайром в 1952 году [94]. В СССР первая генетическая классификация типов леса была разработана Б.А. Ивашкевичем для лесов Дальнего Востока в 1927 году [71].

Биогеоклиматическая классификация экосистем (Biogeoclimatic Ecosystem Classification, ВЕС) разработана В. Краиной [90, 91] на основе изучения сложных горных ландшафтов Британской Колумбии (Канада) и с начала 1970-х годов успешно используется в качестве основы природопользования и охраны природы [97].

В биогеоклиматической классификации использовано уникальное сочетание различных подходов, используемых при создании лесных типологий [98]. При этом зональная концепция выступает основой, что связано с признанием ее значимости для устойчивого лесопользования и охраны природы [97, 99; 14]. Для описания и классификации растительности используется подход и номенклатура Дж. Брауна-Бланке [100; 101] в сочетании с ландшафтной экологией и концепцией климаткса Ф.Е. Клементса [102]. Для разработки ВЕС также использованы: концепция почвообразующих факторов [103], концепция биогеоценоза В.Н. Сукачева [53; 104], эдафическая сетка П.С. Погребняка [48] и европейский подход к почвоведению [105]. В итоге для использования лесниками, полевыми биологами и другими специалистами по управлению природными ресурсами была разработана иерархическая классификация с тремя уровнями интеграции: региональный, ландшафтный и экосистемный. На региональном (биоклиматическом) уровне выделены 16 зон, приблизительно 100 подзон и 200 вариантов [106]. Для определения зон, подзон и формаций используется подход Дж. Браун-Бланке. Биогеоклиматическую подзону диагностирует растительная ассоциация. Биогеоклиматическим зонам, регионам и формациям соответствуют союзы, порядки и классы в понимании Дж. Браун-Бланке [106]. Таким образом иерархия в классификации растительности используется для разработки иерархической системы классификации лесорастительных условий и одновременно является ее основой.

На ландшафтном уровне (масштаб серии участков ВЕС) классификация идет в пределах зон и подзон на основе характеристик местообитания, почвы и растительности и представляется в наглядном виде: в виде эдатописической сетки, подобной «эдафической сетке» П.С. Погребняка [98; 107]. Сетка представляет собой абстрактный ландшафт, который включает все сочетания влажности и трофности почв в изучаемой подзоне. Представленные ландшафты не являются реальными, а скорее концептуальными, которые помогают интерпретировать ассоциации видов [97].

Основной единицей ВЕС является растительная ассоциация в понимании Браун-Бланке, точнее ее кульминационная стадия развития (климакс). Названия ассоциациям (в том числе антропогенно нарушенным и трансформированным) даются на основе видов растений характерных для климаксовой стадии. Здесь прослеживается сходство с генетической лесной типологией, когда названия типов леса могут включать виды растений, временно отсутствующие в структуре фитоценоза. Так, например, в Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала Б.П. Колесниковым выделен тип леса Ельник-кедровник хвощево-мшистый, но в настоящее время в исследованных фитоценозах данного типа леса сосна сибирская не обнаружена [26]. Также в этом плане интересен тип леса Сосняк с темнохвойным ярусом мшисто-черничниковый, широко распространенный в данной провинции, в котором, как правило, присутствует обильный подрост ели сибирской и пихты сибирской, являющийся диагностическим признаком данного типа леса. Однако пожары часто полностью уничтожают ярус темнохвойного подроста, а также и сопутствующие виды мелкотравья, и тип леса можно диагностировать уже только по положению в рельефе [26].

Для краткой характеристики выделяемых единиц классификации разработана система буквенных и цифровых обозначений, принципы которой очень сходны, с применяемыми в генетической лесной типологии [63, 64; 26]. В ВЕС также, как и в генетической лесной типологии, код типа леса отражает приуроченность к зоне, подзоне (т.е. в полной мере реализован географический принцип Г.Ф. Морозова [47]), флористическому комплексу, а также дает возможность отразить в коде вид и интенсивность антропогенного воздействия. Данная разработка имеет большое значение для практики.

Граница типа леса определяется по границе серии (ряда) участков с определенными характеристиками условий местопроизрастания. В базовой картографической единице для лесопокрываемых территорий явно учитывается тип условий местопроизрастания участка леса с точки зрения режима влагообеспеченности и обеспеченности элементами питания, задающего определенный потенциал для поддержания определенного типа растительного

сообщества. В ячейках эдафической сетки в качестве индикаторов используются виды древесных растений из верхнего яруса и виды сосудистых растений, мхов и лишайников.

Система ВЕС разработана таким образом, чтобы пользователи могли классифицировать участок на основе ключевых признаков: диагностических видов и свойств почвы, независимо от стадии дигрессивно-демутационных смен [97]. Для этого диагностические виды и другие признаки тестируются на устойчивость к естественным нарушениям и антропогенным воздействиям. Виды-индикаторы идентифицируются для каждой зоны отдельно путем расчета индекса значения индикатора (который включает поправку на неравные размеры групп) [108]. Для анализа индикаторной значимости видов разработано специальное программное обеспечение: пакет «indicspecies» в R [109]. Анализируя виды и другие признаки с различной устойчивостью к естественным и антропогенным нарушениям можно судить о трансформации структуры экосистемы или о ее восстановлении после стихийных и антропогенных воздействий. Так, например, анализ видового состава в процессе сукцессий позволяет оценивать трансформацию и выявлять сроки восстановления экосистем до флористического состава, типичного для биогеоклиматической зоны [110].

Большим достоинством ВЕС можно считать разработку сайта ВЕСWeb [111] и предоставление доступа ко всем опубликованным документам, полевым руководствам, полевым методам и картам. Также, с целью классификации больших массивов данных, облегчения анализа и составления отчетов по таблицам растительности и окружающей среды разработана программа управления данными под названием VPro (сокращение от VENUS (Vegetation and Environment NexUS) PROfessional) [112].

Биоклиматическая классификация нашла широкое применение в Британской Колумбии для принятия решений по землепользованию и в настоящее время выступает в качестве общей основы для широкого спектра приложений в области управления земельными ресурсами, охраны природы и научных исследований [113]. Также ВЕС используется при планировании охраняемых территорий [114], выборе древесных растений для лесовосстановления [14], моделировании устойчивости лесов [115] и моделировании динамики экосистем в результате климатических смен [97].

Классификация «Экологическое описание местообитаний (Ecological Site Descriptions – ESDs) получила распространение в западной части США. Ключевыми публикациями с описанием данного подхода к классификации являются справочники Interagency Ecological Site Handbook for Rangelands [92] и National Ecological Site Handbook [93], а также ряд практических руководств [116; 117]. Первоначально, данный подход был

применен для классификации местообитаний пастбищ на основе описаний почвы и растительности. В ESD выделение однородных участков производится по схожести потенциальной реакции растительности на нарушения и проведение хозяйственных мероприятий. Позже в данную классификацию были включены лесные массивы. «Экологический участок» определяется как особый вид участка земной поверхности, основанный на повторяющихся закономерностях почвенного покрова, формах рельефа, геологических и климатических характеристиках, который отличается от других участков своей способностью формировать условия для произрастания растительности, которая будет отличаться по видовому составу и количеству видов, а также характерной реакцией на хозяйственные мероприятия и естественные нарушения. Лесные угодья и пастбища различаются в зависимости от климаксового сообщества растений. Ограничений по количеству выделяемых типов леса в данной классификации нет.

Границы местообитаний определяются для лесопокрытых территорий и пастбищ с учетом типа растительности (растительного сообщества) и почвенных условий (типа почвы/почвенного ряда). Взаимоотношения компонентов растения – почва – вода определяются ключевыми свойствами почв (подстилаящая горная порода, мощность, текстура, уровень грунтовых вод, pH, соленость), которые зависят от физиографических параметров (рельеф, крутизна и экспозиция склона, высота над уровнем моря и т. д.), климатических (осадки, температура, продолжительность вегетационного периода и т. д.) и гидрологических условий.

В данной классификации сукцессионная динамика представлена как динамика фаз растительного сообщества и включает различные варианты состояния растительности на участке. Нарушения, вызывающие переход из одного состояния в другое, описываются в моделях состояний и переходов (State-and-Transition Models – STM) [118-120]. При этом STM синтезируют информацию о возможном спектре альтернативных состояниях экосистемы, а также причинах и условиях переходов из одного состояния в другое в зависимости от климатической зоны (подзоны), положения в рельефе, почвенных условий и истории формирования растительного сообщества [119]. Модели состояния и перехода в сочетании с параметрами местообитаний характеризуют показатели экологической устойчивости и пороговые значения [120; 121]. Переход может быть инициирован стихийными бедствиями, например, пожаром или хозяйственной деятельностью, такой как выпас скота, тушение пожара, рекреация, лесозаготовки. Большим достоинством данного подхода можно считать включение в классификационные признаки антропогенных факторов, которые вызывают переход из одного состояния сообщества в другое. Все это

делает возможным использовать ESD для интерпретации потенциала всего ландшафта и повышения вероятности принятия успешных решений по управлению природными ресурсами [122]. Также можно привести примеры включения показателей альфа- и бета-разнообразия в ESD и модели состояния и перехода [123]. В этом случае увеличивается ценность ESD для целей сохранения биоразнообразия и охраны природы в целом.

К сильным сторонам ESD следует отнести и разработку инструмента интерпретации динамики экосистем (Ecosystem Dynamics Interpretive Tool – EDIT) [124], который является хорошо структурированным хранилищем информации об экологических объектах, предоставляемой Службой охраны природных ресурсов Министерства сельского хозяйства США (NRCS USDA). Также EDIT может быть использован для анализа уязвимости к засухе, потенциала инвазивных видов или качества среды обитания.

Уникальный идентификатор местообитания формируется из кодов элементов классификации земель, которые записываются слева направо в направлении от крупных единиц к наиболее мелким: Регион земельных ресурсов (Land Resource Region) → Основная область земельных ресурсов (Major Land Resource Area) → Подобласть основной области земельных ресурсов (Sub-Major Land Resource Area) → Единица земельных ресурсов (Land Resource Unit) → Экологический участок (Ecological Site) → Компонент почвы (Soil Component). Например, при запросе к базе данных EDIT получена следующая информация: в регионе земельных ресурсов D - Западный хребет и орошаемый регион (Western Range and Irrigated Region) и Основной области земельных ресурсов 035X Плато Колорадо (Colorado Plateau) выделено 302 экологических участка. Каждый из них имеет уникальный идентификатор и имеется подробная информация: диапазон высот над уровнем моря, диапазон суммы осадков за год, характеристики почв (включая температурный режим и влажность) и подстилающих горных пород, подробное описание растительности, особенности сукцессионной динамики, включая модели STM. Например, для регион земельных ресурсов D – (Западный хребет и орошаемый регион – Western Range and Irrigated Region) и Основной области земельных ресурсов (MLRA) – 035X Плато Колорадо (Colorado Plateau) экологический участок с уникальным идентификатором DX035X03G602 «Глинисто-суглинистая возвышенность 13-17"» (среднегодовое количество осадков от 13 до 17 дюймов в год). Виды доминанты в древостое – Можжевельник жесткосемянный - *Juniperus osteosperma* (Torr.) Little, Сосна съедобная – *Pinus edulis* Engelm.; в кустарниковом ярусе – *Artemisia tridentata* ssp. *wyomingensis*; в живом напочвенном покрове – Пырей западный – *Pascopyrum smithii* (Rydb.) Á.Löve. Описание данного экологического участка приведено на 10 страницах.

Уровень внедрения данного подхода очень высокий, что позволяет получать непрерывный поток информации для дальнейшего развития теоретических основ классификации [125]. Этому способствует и анализ данных с помощью современных информационных технологий [126], в том числе разработка моделей состояний и переходов [121], конечной целью которых является предоставление практических рекомендаций для устойчивого управления природными ресурсами на основе прогнозирования устойчивости экосистем, в том числе анализе рисков потери устойчивости и выявлении пороговых (критических) значений внешних и внутренних факторов [121]. В целом, понимая сложность влияния на растительность меняющегося климата, естественных и антропогенных разрушающих факторов, основой для дальнейшего совершенствования ESD выбирается междисциплинарный подход [125].



## 2 Оценка современной структуры древостоев в районе исследований на Полярном Урале

### 2.1 Методика исследований и объем выполненных работ

В ходе выполнения первого этапа проекта были проведены исследования, относящиеся к заявленной задаче – оценка современной структуры древостоев на серии пробных площадей в 100-метровой высотной полосе, прилегающей к современной верхней границе леса (горный массив Рай-Из, Полярный Урал). Район исследований (66°30'28" – 66°47'42" N, 65°49'28" – 65°33'59" E) расположен на юго-восточном макросклоне горного массива Рай-Из (Полярный Урал, Россия). Поверхность района была сформирована под воздействием ледника в ходе последнего глобального оледенения, которое закончилось около 10 тыс. лет назад. С запада район ограничен рекой Енгаю, правый берег которой в данном месте образован правой боковой мореной (рисунок 2). Восточная граница района проходит по левой боковой морене. Действием ледника обусловлено наличие на исследуемой территории большого количества гряд, бугров и впадин. Верхняя часть ледника находилась на горном массиве Рай-Из, который сложен из перидотитов. При движении массы льда проходили между двух горных вершин, сложенных из габбро – горами Черная и Малая Черная. Данная особенность расположения крупных форм рельефа по ходу движения ледника способствовала переносу, перемешиванию и накоплению на исследуемой территории двух типов ультраосновных горных пород перидотитов желтовато-оранжевого типа и габбро серого цвета (рисунок 3).

В пределах экотона верхней границы древесной растительности (treeline ecotone) преобладают чистые лиственничники (*Larix sibirica* Ledeb.). В нижней части экотона встречаются лиственничные редколесья и леса с примесью ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и березы извилистой (*Betula tortuosa* Ledeb.). Кустарниковый ярус представлен карликовой березой (*Betula nana* L.) и можжевельником сибирским (*Juniperus sibirica* L.). На рисунке 2 приведена картосхема района исследований с указанием местоположения ранее пробных площадей. Желтым цветом обозначены круговые пробные площади, радиусом 11,3 метра на которых в ходе полевых исследований в 2023 году проведены повторные измерения следующих биометрических параметров всех экземпляров лиственницы сибирской: диаметр у шейки корня и на высоте 1,3 метра, высота, максимальная проекция кроны в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Диаметр рассчитывали на основе измерений периметра ствола, измеренного при помощи мерной

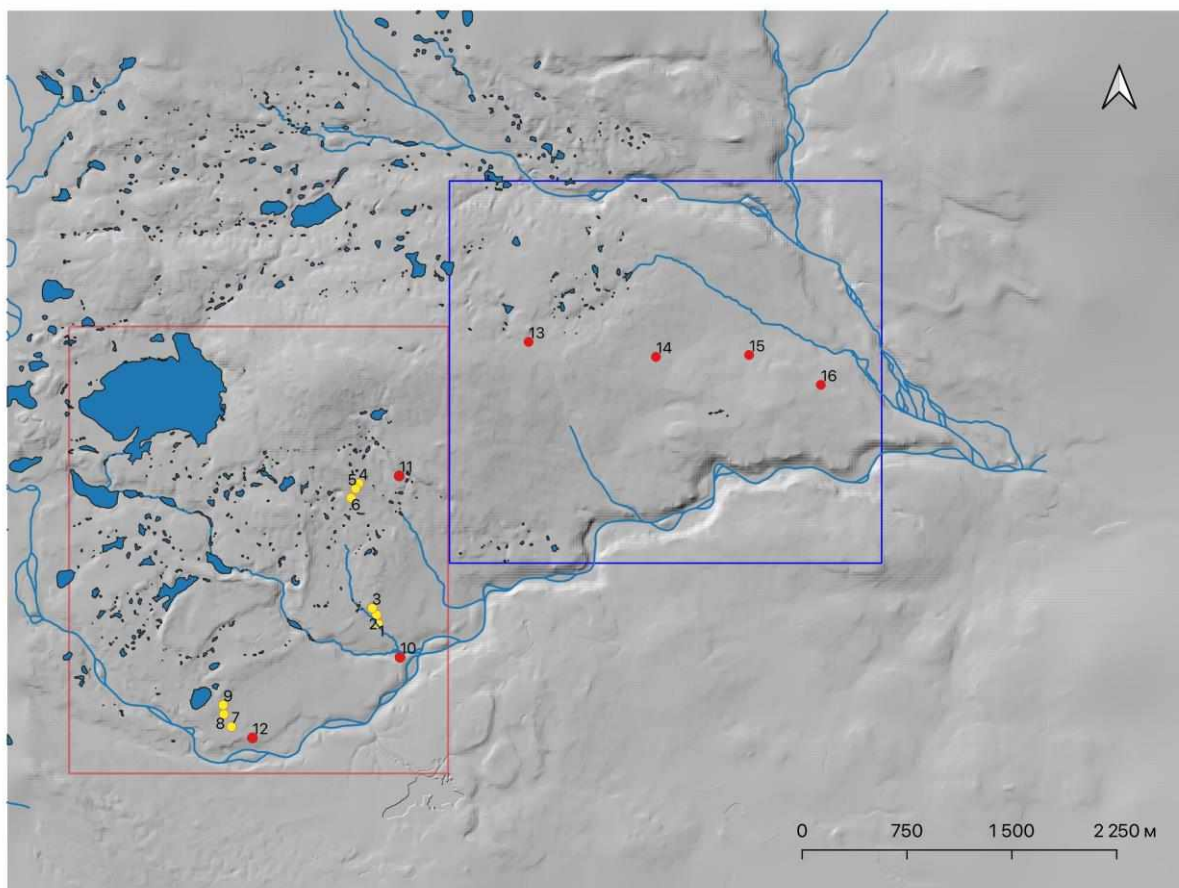


Рисунок 2 – Картосхема района исследований

Точками красного и желтого цвета обозначено местоположение ранее заложенных пробных площадей. Желтым цветом выделены пробные площади, на которых в 2023 году проведены повторные измерения биометрических параметров. Прямоугольником с границей красного цвета обозначен район исследований, в пределах которого проведен анализ динамики фитоценозов (лес, редколесье, редина и тундра с отдельно стоящими деревьями) на основе данных аэрофотосъемки начала 1960-х годов и космического снимка 2015 года. В пределах данного участка проведено дешифрирование лиственницы сибирской на основе данных аэрофотосъемки с использованием беспилотных летательных аппаратов. Прямоугольником с синей границей обозначена область, в пределах которой частично проведено дешифрирование лиственницы сибирской на основе данных аэрофотосъемки с использованием беспилотных летательных аппаратов.



*а*



*б*



*в*

Рисунок 3 – Ландшафтные фотографии, сделанные с одной и той же точки фотосъемки. На дальнем плане слева – гора Черная, вдали в центре на фотографиях *а* и *в* виден фрагмент горного массива Рай-Из. Фото *а* сделано С.Г. Шиятовым 14 июня 2003 года, *б* – А.П. Михайлович 14 июля 2016 года, *в* – В.В. Фоминым 9 августа 2023 года

ленты. Высоту экземпляров лиственницы измеряли при помощи мерной ленты, а для деревьев выше 2 метров при помощи ультразвукового высотомера – дальномера- угломера Vertex 5 (Haglof, Швеция). В ходе закладки пробных площадей в 2018 году у деревьев, диаметр ствола которых позволял взять керны древесины, были взяты образцы для определения возраста с использованием приростного бурава (Haglof, Швеция). Для того, чтобы оценить возраст других экземпляров были взяты экземпляры по ступеням высоты. Возраст деревьев определяли с использованием комплекса Lintab (Rinntech Inc., Германия).

Для нахождения координат каждого экземпляра лиственницы сибирской в пределах пробной площади с использованием GPS-приемника ETREX-10 определяли географические координаты центра пробной площади, которые затем пересчитывали в координаты X и Y в метрах проекции UTM 41 зоны для северного полушария. Координату каждого из экземпляров лиственницы рассчитывали по тригонометрическим формулам на основе данных угла от направления на север и расстояния от центра пробной площади. Угол измеряли при помощи буссоли AP-1 (Вологодский оптико-механический завод, Вологда, Россия). Расстояние до каждого древесного растения измеряли при помощи мерной ленты.

На рисунке 4 приведена картосхема размещения экземпляров лиственницы, созданная на основе данных максимальной проекции кроны дерева, измеренной в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Синим цветом обозначены кроны деревьев в 2023 году, желтым – в 2018. На данном рисунке видно, что за пять лет размер кроны большинства деревьев увеличился.

На рисунке 5 приведена картосхема, характеризующая объем проведенного дешифрирования деревьев лиственницы сибирской на снимках, ранее полученных с использованием беспилотных летательных аппаратов DJI Phantom IV Advanced, DJI Mavic 2 Zoom, DJI Mavic Air 2 (DJI Inc., Китай) в 2018 - 2021 годах. При дешифрировании кроны деревьев лиственницы сибирской использовали ручной метод. Это обусловлено тем, что для оценки фитомассы деревьев будут использованы аллометрические уравнения, в состав предикторов которых входит диаметр кроны. Поэтому выделение и реконструкция кроны дерева необходимо было выполнить с максимальной точностью. Автоматизированные методы дешифрирования не позволили добиться требуемой точности.

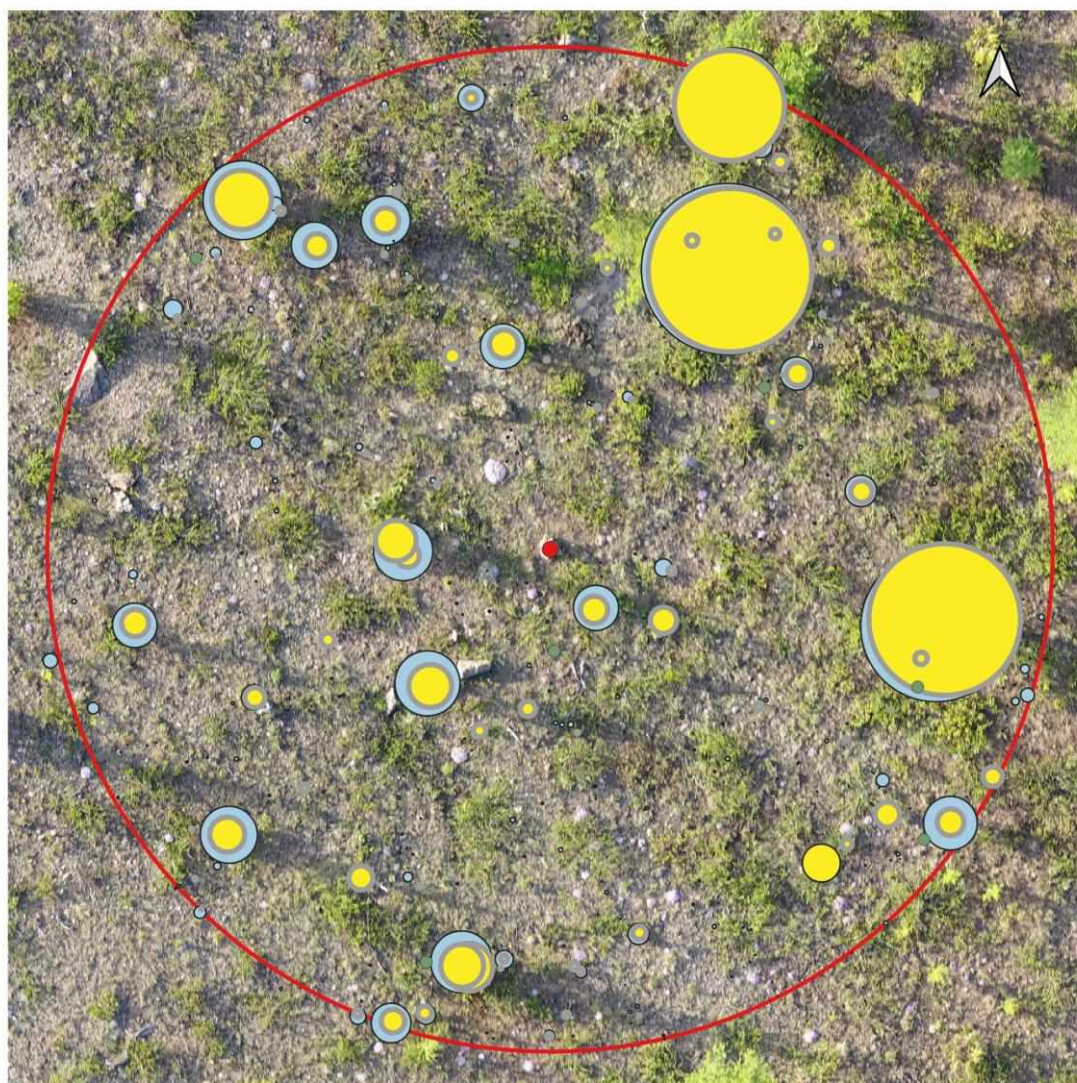


Рисунок 4 – Картосхема пробной площади №2

Синим цветом обозначены кроны деревьев в 2023 году, желтым – в 2018.

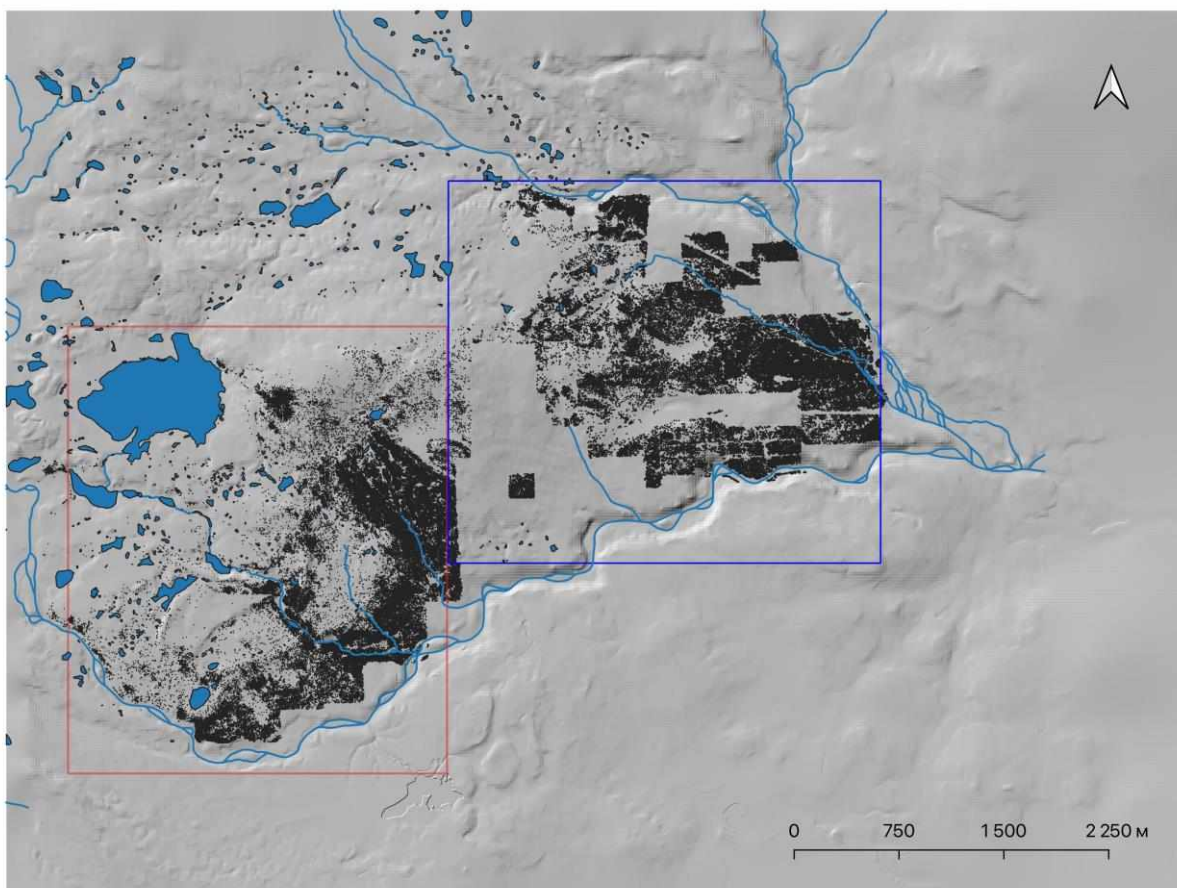


Рисунок 5 – Картосхема, характеризующая ход работ по ручному дешифрированию деревьев лиственницы сибирской в районе исследований

В прямоугольнике с синей границей приведен векторный геоинформационный слой с кронами деревьев, распознанных в ходе выполнения проекта в 2023 году.

## **2.2 Количественная оценка пространственно-временной динамики лиственницы сибирской на Полярном Урале в связи с современным изменением климата**

В ходе выполнения этапа проекта 2023 года на основе ранее полученных данных о местоположении деревьев лиственницы в районе исследований на основе полутонных аэроснимков 1962 и 1964 (область, а обозначенная красной границей на рисунке 2) также спутниковый снимок высокого пространственного разрешения 2015 года были созданы точечные векторные геоинформационные слои, характеризующие местоположение деревьев в районе исследований в начале 1960-х годов и в 2015 году (рисунок 6) Пространственное разрешение космо- и аэроснимков позволяет дешифрировать деревья, высотой более 4 метров [127].

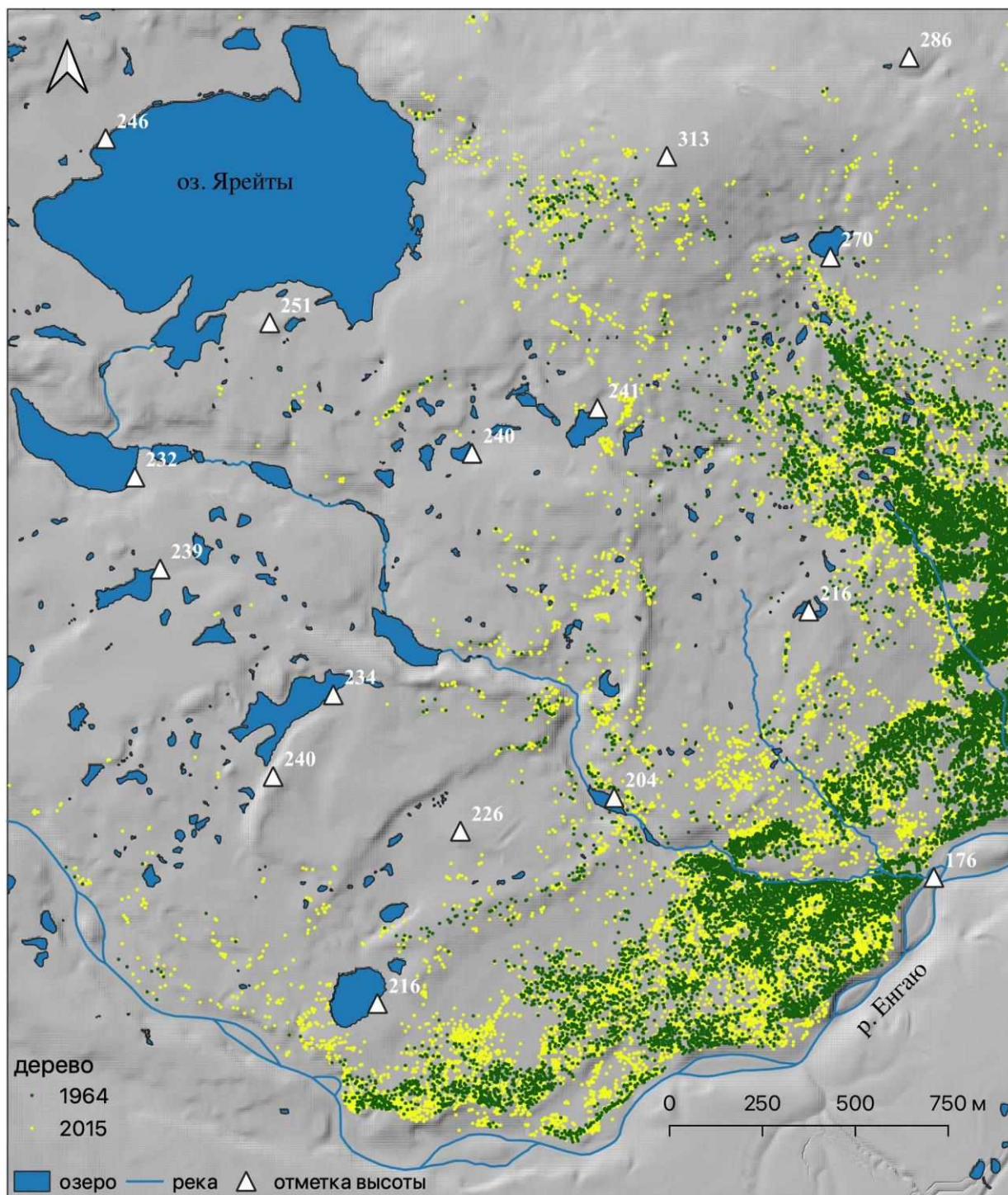


Рисунок 6 – Картограмма местоположения деревьев в районе исследований в начале 1960-х годов и в 2015 году

В ходе проведенного ранее в районе исследований крупномасштабного картирования лесотундровых сообществ с использованием глазомерно-измерительного метода [128, 129] была использована методика, основанная на выделении фитоценозов – участков относительно однородных по одному или нескольким компонентам

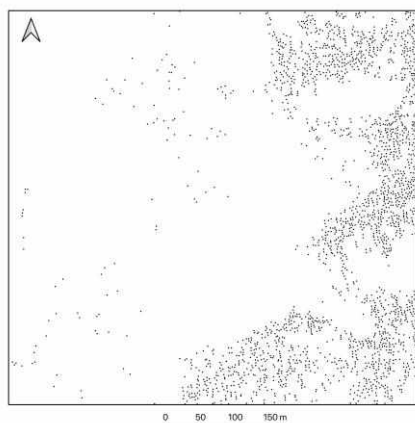
растительности и/или особенностям лесорастительных условий. В нашей работе в качестве критерия выделения участков сомкнутого леса, редколесий, редин и тундры с одиночными деревьями используется густота деревьев. В проведении полевых работ С.Г. Шиятов [128] использовал в качестве пороговых значений среднее расстояние между деревьями. К сомкнутому лесу относили участки, на которых среднее расстояние между деревьями было меньше 7 – 10 метров. Для редколесий значения данного параметра лежат в диапазоне от 10 до 30 метров включительно; для редин – от 30 до 60 метров; для участков тундры с одиночными деревьями свыше 60 метров.

На рисунке 7 приведены картосхемы, иллюстрирующие основные этапы данной методики. На первом этапе на основе точечного слоя (рисунок 7а), характеризующего местоположение деревьев, создается слой с полигонами Вороного (рисунок 7б). На втором – производится выбор ячеек, относящихся к одному из типов фитоценозов по значениям их площади (рисунок 7в). На следующем шаге выполняется объединение ячеек в более крупные полигоны путем удаления внутренних границ между ними (рисунок 7г) с последующей фильтрацией по площади (рисунок 7д). Фильтрация необходима для исключения небольших по площади полигонов для того, чтобы избежать вырожденных случаев. Например, если объединенный полигон относится к лесу, но его площадь слишком мала, т. е. он содержит только несколько деревьев, поэтому данный участок не следует считать лесом. На завершающем этапе проводится сглаживание границ полигона, позволяющая сгладить фрагменты ломаных, образующихся на границе трех и более ячеек Вороного (рисунок 7е). В результате применения данной методики были получены карты типов фитоценозов в 1960-х и 2015 годах.

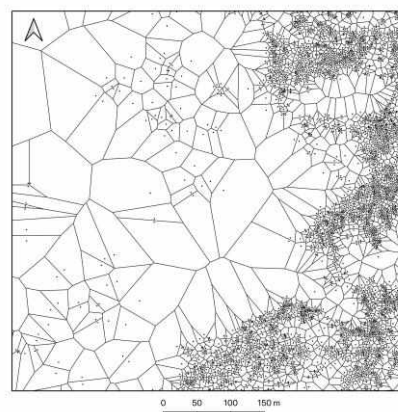
На рисунке 3 в центральной части снимков на дальнем плане можно видеть увеличение размеров существующих и появление новых деревьев на участках горной тундры в течение последних 20 лет. Полученные в ходе дешифрирования аэроснимков 1962 и 1964 годов, а также космического снимка 2015 года данные о местоположении деревьев (рисунок 6) свидетельствует о том, что с начала шестидесятых годов XX века до 2015 года произошло почти двукратное увеличение количества деревьев на исследуемой территории (с 14377 до 28344 штук).

На рисунке 8 приведены картосхемы распределения основных типов лесотундровых сообществ района исследований в начале 1960-х годов и в 2015 году, созданные с использованием описанной выше методики картирования. При топологическом наложении слоев фитоценозов в начале 60-х годов XX века и 2015 году формируются полигоны в атрибутивной таблице которых содержится информация о типе фитоценоза в начале

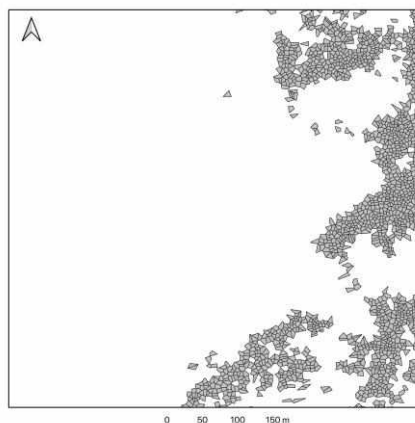




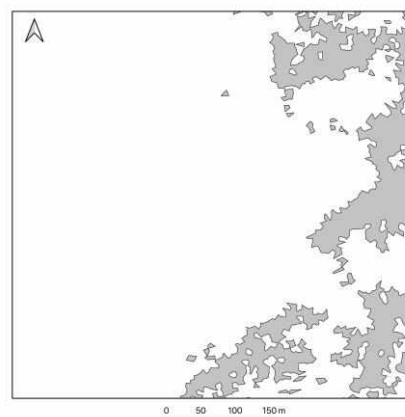
*a*



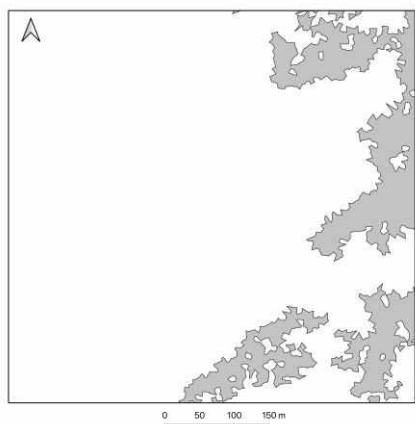
*б*



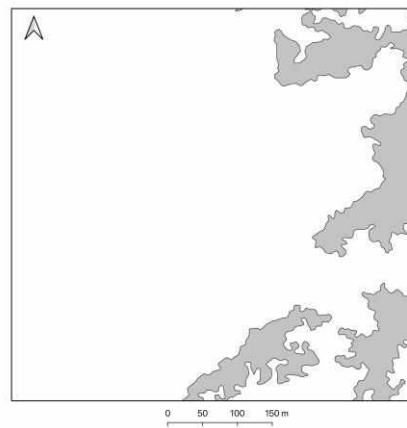
*в*



*г*

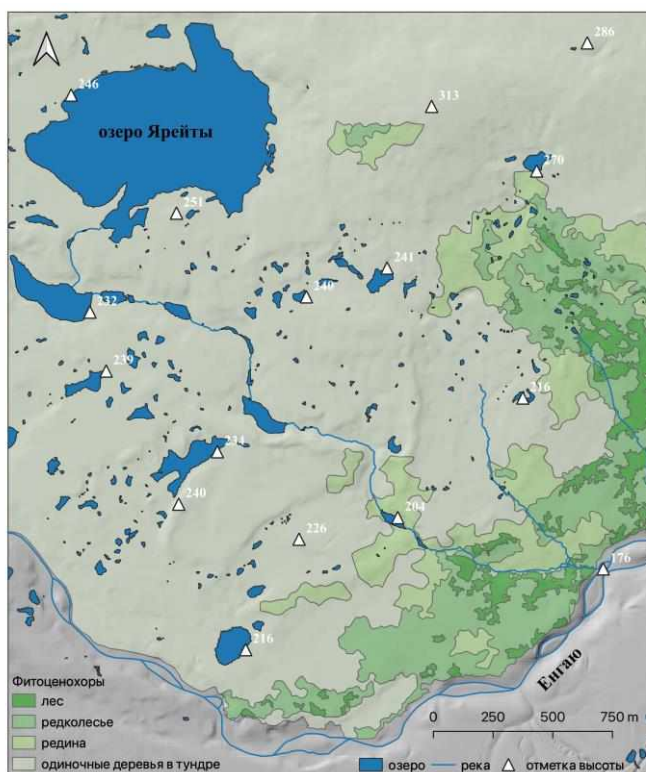


*д*

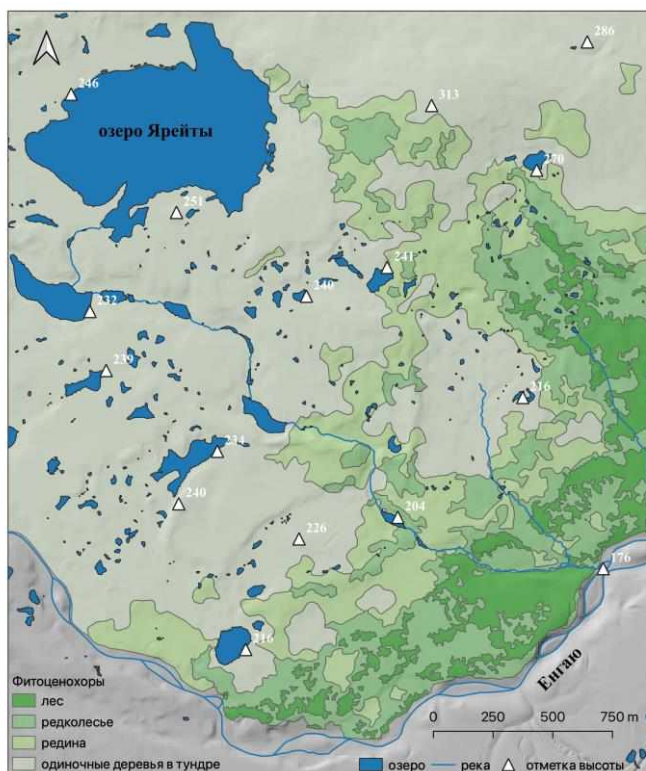


*е*

Рисунок 7 – Рисунки, характеризующие основные этапы методики выделения типов фитоценозов на примере фитоценозы «лес»: *a* – распределение деревьев в на участке района исследований; *б* – разбиение исследуемой территории на полигоны Вороного; *в* – выбор ячеек, относящихся к одному из типов фитоценозов по значениям их площади; *г* – выполняется объединение ячеек в более крупные полигоны путем удаления внутренних границ между ними; *д* – удаление небольших по площади полигонов для исключения вырожденных случаев; *е* – сглаживание границ полигонов.



*а*



*б*

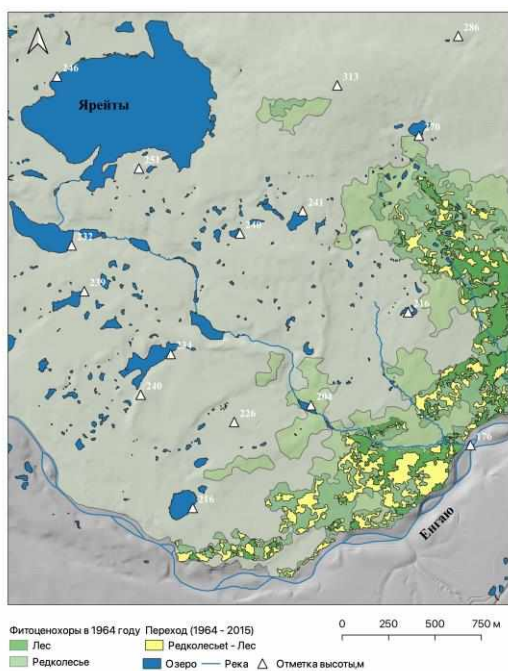
Рисунок 8 – Картосхемы основных типов фитоценозов (лес, редина, редколесье, тундра с отдельно стоящими деревьями) в районе исследований в начале 1960-х годов (*а*) и 2015 году (*б*).

и конце исследуемого периода (рис. 9). В целом, характер смен типов фитоценозов в районе исследований за период с начала 1960-х годов до 2015 года характеризуется переходами от типов, характеризующихся меньшей густотой к типам с большей густотой. При этом величина площади участков, характеризующихся переходами между соседними типами, т. е. "редколесье – лес", "редина – редколесье", "тундра с отдельно стоящими деревьями – редина", больше площади участков, характеризующихся более интенсивными переходами, например, таких как "редина – лес," тундра с отдельно стоящими деревьями – лес" и другими.

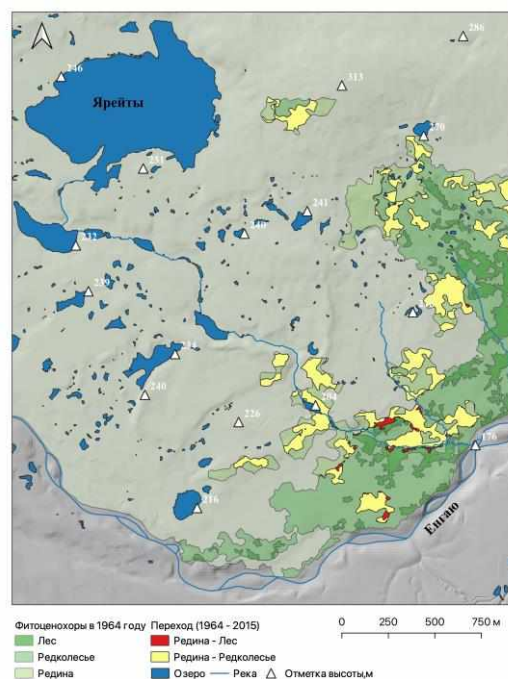
На рисунке 9 можно видеть, что в основном в южной части района исследований участки с такими переходами. Переходы в обратную сторону, например, от леса к редколесью, редине и тундре с отдельно стоящими деревьями в исследуемый период не установлены. Площадь участков леса за исследуемый период увеличилась на 28,1 га (с 21,5 до 49,6 га), редколесий – на 25,7 (с 70,5 до 96,2 га), редин – на 59,1 га (с 55,3 до 114,4 га). Площадь участков тундры с одиночными деревьями уменьшилась на 112,9 га (с 585,7 до 472,8 га). В процентном выражении (относительно общей площади района исследований) площадь сомкнутых лесов, редколесий и редин увеличилась с 2,9 до 6,8%, с 9,6 до 13,1% и с 7,5 до 15,6% соответственно, а площадь участков тундры с одиночными деревьями уменьшилась с 79,9 до 64,5%.

Сравнительный анализ количества деревьев в начале 1960-х годов и в 2015 году свидетельствует о том, что региональное потепление климата, которое происходило на Полярном Урале [130], способствовало как появлению молодого поколения лиственницы сибирской, так и выживанию части новых деревьев, как на ранее необлесенных, слабооблесенных участках тундры, так и на участках, где раньше произрастали деревья.

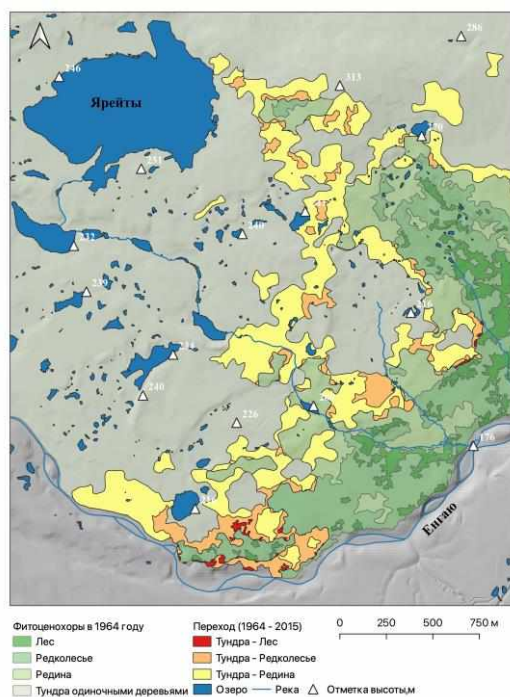
При формализованном описании и представлении этих изменений в экотоне верхней границы древесной растительности возникает ряд методологических затруднений. Они связаны с тем, что характеристики экотона зависят от уровня детализации, на котором он изучается. Это обусловлено свойствами растительности, которая представляет собой сложное многомасштабное явление. Учет этой особенности в экологических исследованиях, в том числе с помощью абстрагирования, имеет решающее значение для понимания закономерностей и процессов, связанных с растительностью.



*а*



*б*



*в*

Рисунок 9 – Картосхемы, характеризующие пространственное размещение участков, на которых произошла смена типа фитоценохоры с начала 1960-х годов до 2015 года: (а) – с редколесья на лес; (б) – с редины на лес и редины на редколесье; (в) – с тундры с отдельно стоящими деревьями на лес, редколесье и редины.

Представление верхней границы леса в виде линии в начале и конце исследуемого периода позволяет использовать методики с использованием алгоритмов автоматизированной оценки горизонтального вертикального сдвигов с использованием функций «алгебры карт» в географической информационной системе. Ограничение данного подхода проявляется на участках, на которых произрастают деревья с низкой густотой. В этом случае представление границы леса в виде непрерывной линии затруднено или не всегда возможно, в том числе из-за наличия островов – участков леса, редколесий или редины, расположенных на удалении от основных крупных облесенных участков территории. Кроме того, пространственное наложение слоев с типами фитоценозов в конце и начале исследуемого периода позволяет локализовать участки, на которых произошел переход одного типа фитоценоза в другой.

Предложенный метод картирования типов фитоценозов в экотоне верхней границы древесной растительности не имеет приведенных выше ограничений. Он обладает высоким уровнем универсальности и позволяет снизить уровень субъективности выделения единиц растительного покрова. Предложенный метод выделения и картирования фитоценозов позволяет проиллюстрировать ряд характерных эффектов и пространственных паттернов в распределении и продвижении древесной растительности на необлесенные или слабооблесенные участки района исследований.

Для горных массивов северных регионов Урала и Сибири, а также Северной Америки характерной тенденцией для является экспансия деревьев рода *Larix* в горную тундру, а также увеличение густоты деревьев на ранее облесенных участках склона [131]. Картосхемы, представленные на рисунке 9, дают возможность оценить особенности реализации этих двух процессов в районе исследований. В основном переход «редколесье – редина» можно охарактеризовать как «заполнение» прогалов внутри участков леса, редколесий или их сочетания (рисунок 9а).

Переходы «редина – лес» и «тундра с отдельно стоящими деревьями – лес» также происходят на небольших участках, окруженных участками с достаточно высокой густотой (рисунки 9б и 9в). Масштаб процесса экспансии лиственницы сибирской на слабооблесенные и необлесенные участки горной тундры, который будет характеризовать «сдвиг» растительных рубежей можно видеть на участках с переходами «редина – редколесье» (рисунок 9б) и тундра с отдельно стоящими деревьями в редину и редколесье (рисунок 9в). В некоторой степени подход к оценке изменений в экотоне верхней границы древесной растительности, приведенной нами в данной статье, соотносится с подходом, связанным с выделением областей экспансии, сокращения (retraction) и стабильного

состояния популяций (stable populations) деревьев на участках вблизи верхнего предела в Пиренеях [132], только с большим уровнем детализации.

При определенном сочетании микроклиматических условий лиственница может переживать неблагоприятные условия в стланиковой форме, переходя в стволовую форму при улучшении условий окружающей среды [133]. Это означает, что эти участки могут быть рефугиумами, в которых лиственница сибирская благополучно пережила неблагоприятный для нее период похолодания. Этим объясняется формирование и увеличение площади участков редиин и редколесий на удалении от участков фитоценозов, сформировавших относительно сплошную полосу из редколесий и лесов (рисунок 8б).

Появление семян и их выживание в жестких почвенно-климатических условиях вблизи верхнего предела произрастания древесной растительности обусловлено достаточно сложным сочетанием факторов окружающей среды [134]. Ранее было установлено, что в данном районе исследований большое влияние на выживание и рост деревьев оказывают ветер и снег. Сдувание снега с верхних частей выпуклых форм рельефа способствует глубокому промерзанию почвы, что негативно влияет на молодое поколение древесной растительности. Например, результаты исследований влияния глубины снега на температуру почвы на северо-востоке Канады в циркумполярной переходной зоне между тундрой и лесом почвы свидетельствует о том, в лесу почва не замерзала до января, с последующим снижением до минимальной температуры в -1 градус Цельсия в марте. В тундре почва промерзает на глубину до 9 см к середине ноября, а затем опускаясь в марте до самых низких значений ниже -11 °С, что примерно на 10 °С ниже, чем в этот же период времени в лесу [135]. Данный факт объясняется тем, что глубина снега в лесу примерно в 1,5 - 2 раза выше, чем в тундре.

Накопление снега на заветренных участках холмов, бугров и гряд может приводить к более позднему по сравнению с другими участками территории освобождению их от снега и, соответственно, сокращению периода вегетации на несколько дней или даже недель. Кроме того, в холодный период времени молодые древесные растения сильно страдают от снеговой корразии.

Так как в данном районе исследований ветер (северо-западного направления) и снег оказывают значительное влияние на выживание и рост древесной растительности формирование участков с деревьями происходит поэтапно за счет формирования биогрупп и куртин деревьев вокруг взрослых экземпляров лиственницы, которые защищают молодое поколение от снеговой корразии и способствуют накоплению снега, снижая негативное влияние низких температур воздуха и почвы на молодые древесные растения.

Впоследствии при увеличении густоты деревьев за счет снижения скорости ветрового потока формируются большие сугробы снега на наветренной стороне участка, которые негативно влияют на выживание сеянцев и молодых деревьев. В результате формируются "прогалины", которые потом после смещения барьера из деревьев в сторону противоположную преобладающему направлению ветров заселяются деревьями.

Данная особенность формирования и изменения микроклиматических условий выражается в формировании полос из деревьев [136]. По мере сдвига барьера из деревьев в направлении преобладающих ветров в этом же направлении и сдвигается и полоса сугроба снега, который формируется на наветренном участке. При этом глубина снега на участке, на котором ранее наблюдалось избыточное (для выживания лиственницы) снегонакопление, со временем уменьшается и условия на нем становятся более благоприятными для выживания и роста лиственницы.

Таковую же роль играют и выпуклые элементы рельефа. Гряды и бугры, сформированные движением ледника, а также крупные камни также могут выполнять функцию защиты молодого поколения лиственницы от ветра и снега. При этом на грядах деревья закрепляются в средней части склона в области ветровой тени там, где условия являются более оптимальными с точки зрения промерзания почвы (снег накапливается, но не избыточно) и снижение влияния снеговой корразии (скорость ветра снижается). На рисунке 9б можно видеть слабооблесенные участки, вокруг которых уже находятся участки с более высокой густотой деревьев. В дальнейшем можно ожидать, что эти «прогалины» будут постепенно заселены лиственницей сибирской.

### **3 Особенности формирования фитомассы деревьев ели в верхней границе леса на Южном Урале**

Потепление климата планеты в последние десятилетия заметно повысило интерес исследователей к изучению и оценке реакции лесных экосистем на это глобальное явление. Общеизвестно, что к изменению климатических условий наиболее чувствительны насаждения, произрастающие в высокоширотных и высокогорных областях. Следовательно, они являются очень перспективными объектами при оценке процессов формирования, роста и развития лесных сообществ в условиях изменяющегося климата. Верхняя граница распространения древесной растительности в горах считается наиболее важным ботаническим и индикаторным рубежом [137]. Поэтому в настоящее время особую актуальность приобретают лесоводственно-таксационные исследования лесных насаждений в этих экстремальных условиях. Их результаты необходимы для оценки смещения верхней границы леса, экологической и биосферной роли растительности, произрастающей в этих условиях.

Следует отметить, что в горах наблюдающееся смещение верхнего предела произрастания древесно-кустарниковой растительности вверх по вертикали свидетельствует об увеличении площади насаждений, аккумулирующих углерод на длительный срок. Для оценки роли данных насаждений в углеродном бюджете лесов необходимы целенаправленные исследования их роста и фитомассы.

В настоящее время наиболее обоснованным и корректным является определение запасов фитомассы древостоев на основе данных перечета деревьев по ступеням диаметра. В этой связи основной целью данной работы явилось оценка особенностей формирования фитомассы деревьев в высокогорных условиях на основе исследований характера зависимости отдельных ее фракций от диаметра на высоте груди.

Исследования проводились на высотном профиле, заложенном в пределах лесотундрового экотона на склоне юго-западной экспозиции горного массива Малый Ирмель (Южный Урал) в соответствии с методикой международного научного проекта INTAS-01-0052. На данном профиле были зафиксированы 3 высотных уровня: первый – на высоте 1360 м над уровнем моря, второй – на высоте 1300 м и третий – на высоте 1260 м. На высотных уровнях закладывались по 6 пробных площадок площадью 400 м<sup>2</sup> (20x20 м). На всех пробных площадках для каждого дерева присваивался номер и устанавливались порода, координаты, высота и диаметр ствола, диаметр и длина кроны, и возраст (по буровым кернам). Модельные деревья на каждом высотном уровне в количестве 10-30 шт.



отбирались за пределами площадок в пределах всей амплитуды варьирования их диаметров в древостоях. У них помимо традиционных таксационных показателей, определялась надземная фитомасса по фракциям с учетом известных методических указаний [138]. Причем, масса стволов, крон, охвоенной части ветвей (древесной зелени), отмерших ветвей и генеративных органов определялась непосредственным взвешиванием на электронных весах, а хвои – по навескам древесной зелени. Перевод фитомассы фракций в абсолютно сухое состояние осуществлялся по пробным образцам.

Таксационные показатели насаждений ели на каждом высотном уровне определялись в соответствии с общепринятыми методами. Установлено, что при переходе от нижнего уровня к верхнему заметно уменьшаются средний диаметр (от 10,4 до 5,5 см), средняя высота (от 5,3 до 1,7 м), средний возраст (от 64 до 36 лет) и относительная полнота (от 0,52 до 0,15) древостоев. Результаты регрессионного анализа показали, что связи массы фракций деревьев от их диаметра носят криволинейный характер и наиболее корректно описываются степенной функцией:

$$Y=aX^b \quad (1)$$

Эта функция при исследовании подобных связей используется многими авторами [139, 140]. На рисунке 10 показана зависимость абсолютно сухой массы стволов от их диаметра по всей совокупности модельных деревьев, взятых на исследуемых высотных уровнях. Анализ его данных свидетельствует, что на характер исследуемой зависимости определенное влияние оказывает местоположение древостоев по высотному профилю: на графике экспериментальные точки нижележащих уровней в большинстве случаев располагаются выше, чем вышележащих.

Разработанные отдельно по высотным уровням уравнения имеют следующее конкретные выражения:

$$\text{для первого уровня } P_c = 0,4153 D^{1,2374}, \quad R^2=0,855 \quad (2)$$

$$\text{для второго уровня } P_c = 0,1613D^{1,8862}, \quad R^2=0,967 \quad (3)$$

$$\text{для третьего уровня } P_c = 0,1112D^{2,0442}, \quad R^2=0,874 \quad (4)$$

где  $P_c$  – фитомасса ствола в абсолютно сухом состоянии, кг;

$D$  – диаметр ствола на высоте груди, см;

$R^2$  – коэффициент детерминации.

Уравнения (2 – 4) характеризуются высокими значениями коэффициента детерминации и корректны экспериментальным материалам.

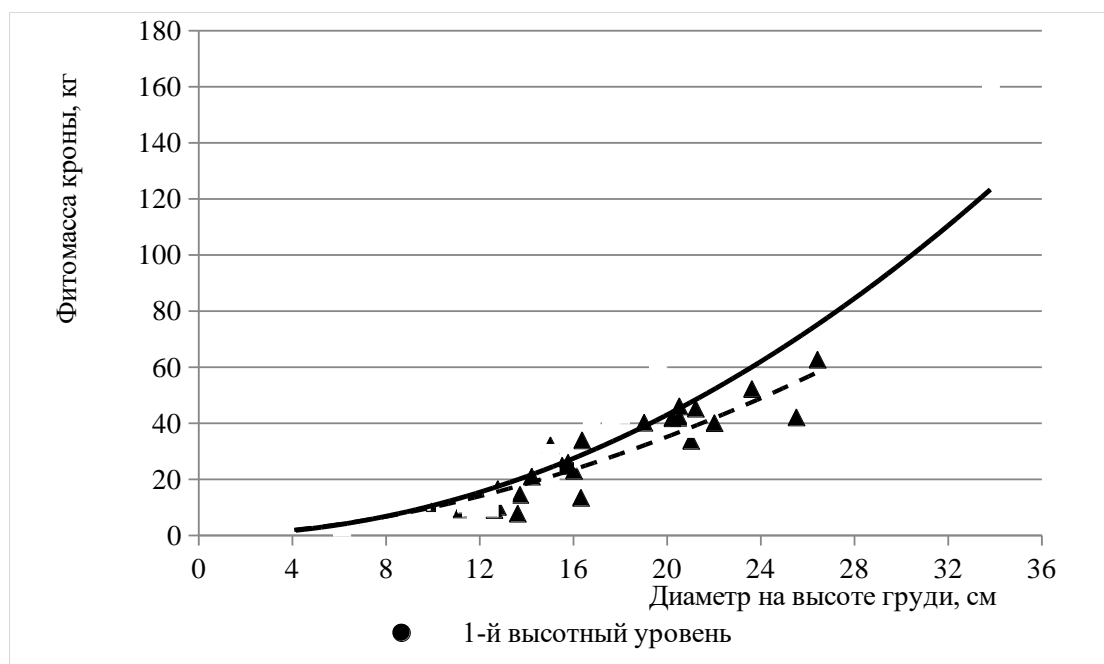


Рисунок 10 – Зависимость фитомассы стволов от их диаметра на разных высотных уровнях

На рисунке 11 представлена зависимость общей фитомассы крон деревьев ели в абсолютно сухом состоянии от их диаметра. Характер данной зависимости также зависит от высоты расположения древостоев относительно уровня моря. Однако, в этом случае, за редким исключением, линии зависимости на графике располагаются тем ниже, чем выше высота над уровнем моря. Конкретные уравнения связи фитомассы крон ( $P_k$ ) от диаметра деревьев оказались следующими:

$$\text{для первого уровня } P_k = 0,8979 D^{1,1973}, \quad R^2 = 0,559 \quad (5)$$

$$\text{для второго уровня } P_k = 0,1049 D^{2,008}, \quad R^2 = 0,8545 \quad (6)$$

$$\text{для третьего уровня } P_k = 0,1563 D^{1,808}, \quad R^2 = 0,816 \quad (7)$$

Уравнения (5 – 7) характеризуются несколько меньшими значениями коэффициента детерминации, чем уравнения (2 – 4). Это вполне объяснимо. Известно, что фитомасса крон более изменчивый показатель, чем фитомасса стволов. Несмотря на вышеизложенное уравнения (5 – 7) можно считать вполне адекватными и корректными экспериментальным данным.

На основе уравнений (2 – 7) разработана таблица 4, данные которой дают наглядное представление об изменении фитомассы стволов и крон в зависимости от диаметра деревьев. При ее составлении область применения уравнений ограничивался с учетом диапазона варьирования диаметров деревьев в соответствующих высотных уровнях.

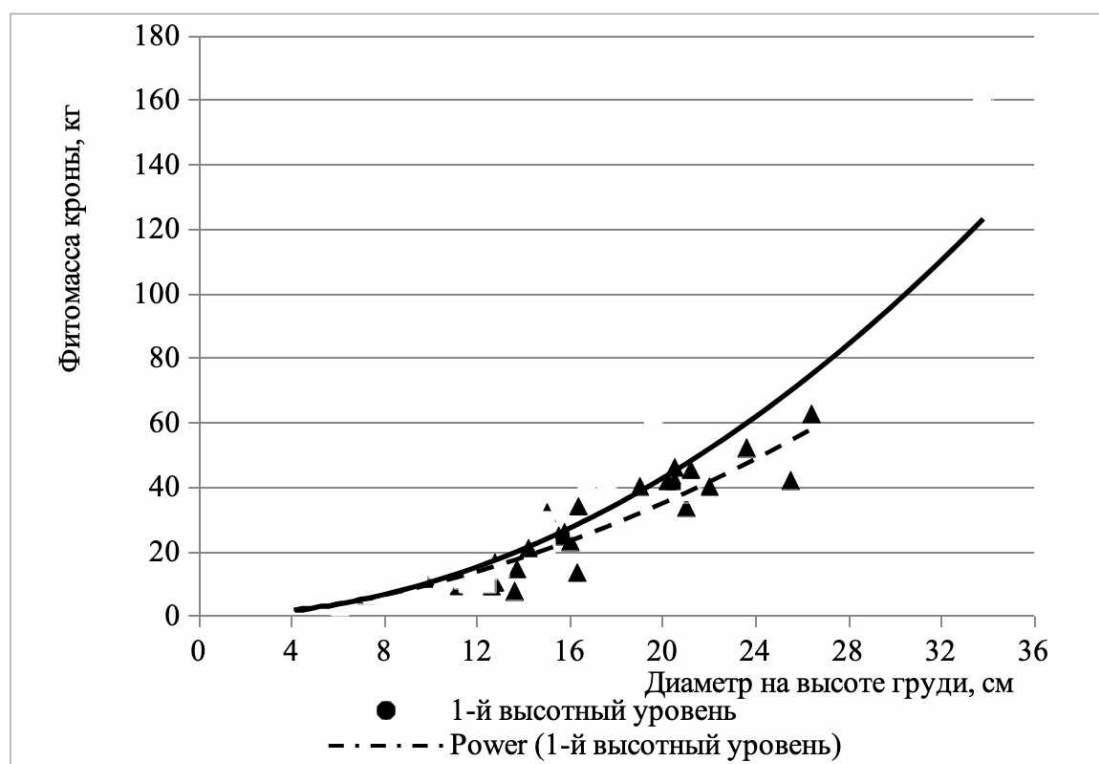


Рисунок 11 – Зависимость фитомассы кроны от диаметра стволов на разных высотных уровнях

Таблица 4 – Изменение фитомассы деревьев ели в зависимости от их диаметра на разных высотных уровнях

Диаметр, см	Фитомасса по высотным уровням, кг					
	верхний (1)		средний (2)		нижний (3)	
	ствола	кроны	ствола	кроны	ствола	кроны
2	0,979	2,052				
4	2,309	4,689	2,204	1,697		
6	3,813	7,604	4,736	3,831	4,333	3,989
8	5,443	10,715	8,148	6,826	7,802	6,710
10	7,174	13,981	12,412	10,685	12,311	10,045
12			17,506	15,409	17,872	13,967
14			23,413	20,999	24,492	18,457
16			30,119	27,457	32,179	23,497
18			37,612	34,783	40,939	29,073
20			45,881	42,978	50,777	35,174
22			54,918	52,043	61,700	41,789
24			64,713	61,978	73,711	48,908
26			75,259	72,785	86,815	56,524
28			86,549	84,463	101,015	64,628
30			98,578	97,014	116,315	73,214
32			111,339	110,437	132,718	82,275
34			124,827	124,734	150,229	91,806

Анализ данных приведенной таблицы 4 позволяет отметить следующее. При одинаковой толщине абсолютно сухая масса стволов уменьшается с увеличением высоты расположения древостоев относительно уровня моря. Отклонения от этой закономерности не значительны и наблюдаются только в маломерных ступенях толщины. Вероятно, это связано с особенностями выборки модельных деревьев. Указанная закономерность, на наш взгляд, объясняется снижением высоты стволов (следовательно, и их объема) у деревьев одинакового диаметра по мере поднятия в гору. Количественное подтверждение ее можно найти в нашей предыдущей работе [141].

Фитомасса крон деревьев одинакового диаметра с повышением высоты над уровнем моря, наоборот, увеличивается. Данное обстоятельство связано с возрастным изменением ранга деревьев одинаковых размеров. Как отмечалось ранее, с увеличением высоты над уровнем моря существенно снижается возраст деревьев ели [141]. Ступени толщины, относящиеся в молодых древостоях к высшим, в которых деревья имеют наиболее развитые кроны, в древостоях старшего возраста, как правило, являются средними или даже низшими с угнетенными особями.

Процентные соотношения фракций надземной фитомассы деревьев также зависят от высоты над уровнем моря. Доля крон в общей фитомассе деревьев на нижнем уровне колеблется в пределах от 37,9 до 46,2%, на среднем – от 43,5 до 50,0%, на верхнем – от 66,1 до 67,7%. Эти показатели существенно выше аналогичных данных, полученных в равнинных условиях в ельниках более высокой полноты и производительности [142]. Повышение удельного веса фитомассы крон в общей надземной фитомассе деревьев с ухудшением условий местопроизрастания, уменьшением полноты (сомкнутости древесного полога) и возраста древостоев в специальной литературе является известным фактом [139, 140].

В целом по результатам проведенных исследований можно сделать следующие обобщения и выводы. В условиях верхней границы леса, как и в равнинных лесах, зависимости фитомассы стволов и крон деревьев от их диаметра наиболее корректно описываются степенной функцией. На характер этих зависимостей заметное влияние оказывает расположение древостоев относительно уровня моря. У деревьев ели одинакового диаметра по мере повышения высоты над уровнем моря фитомасса стволов закономерно уменьшается, а фитомасса крон, наоборот, увеличивается. Уменьшение массы стволов, главным образом, объясняется закономерным снижением высоты стволов (уменьшением разряда высот) у деревьев одинаковой толщины с продвижением в гору.

Отмеченное увеличение фитомассы крон в первую очередь связано с повышением ранга деревьев одной и той же толщины с уменьшением их возраста.

Деревья ели одинаковой толщины, произрастающие на разных высотных уровнях, существенно различаются и по процентному соотношению фитомассы стволов и крон между собой. Доля их крон закономерно повышается от нижнего уровня к верхнему. Данное обстоятельство объясняется ухудшением условий местопроизрастания, уменьшением полноты (сомкнутости древесного полога) и возраста древостоев по мере продвижения в гору.

#### 4 Научные и технологические аспекты рационального лесопользования

Наблюдающиеся в последние годы изменения климата вызвали целый ряд как положительных, так и отрицательных последствий в лесопользовании. Так, в частности, уменьшение количества осадков в сочетании с повышением температуры воздуха привело к массовому размножению целого ряда вредителей леса. Зафиксирована массовая гибель еловых насаждений, вызванная короедом типографом (*Ips typographus* L.) [143]. В ряде областей существенно пострадали пихтовые насаждения от уссурийского полиграфа. Размножению вторичных вредителей во многом способствовала несвоевременная разработка насаждений, поврежденных шквальными ветрами и лесными пожарами.

Выполненные нами исследования показали, что на территории Уральского региона резко увеличились показатели фактической горимости лесов [144-146]. Специфической особенностью горимости лесов в последние годы является развитие беглых низовых лесных пожаров в устойчивые и даже в торфяные. Последнее обусловлено снижением уровня грунтовых вод и, как следствие этого, уровня возможности заглубления тления внутрь торфяной залежи. Указанное обстоятельство вызвало необходимость выполнения работ по совершенствованию охраны лесов от пожаров. Результаты исследований вошли в научные публикации, опубликованные как на научных конференциях, так и в ведущих научных журналах [147-152].

Обобщенные результаты исследований вошли в подготовленную нами коллективную монографию «Пожары и их последствия в Западной Сибири» [153]. В указанной монографии не только проанализированы показатели горимости лесов за длительный период, но и даны практические предложения по совершенствованию охраны лесов и минимизации послепожарного ущерба. В частности, возможности создаваемой в процессе разведки углеводородного сырья инфраструктуры для совершенствования противопожарного устройства и охраны лесов от пожаров.

Экологическая роль лесных насаждений возрастает при условии увеличения показателей лесистости территории. Последнее обеспечивается не только совершенствованием рубок спелых и перестойных насаждений и минимизацией площади лесных пожаров, но и расширением объемов лесовосстановления и лесоразведения.

В процессе выполнения темы исследований значительное внимание было уделено выращиванию качественного посадочного материала для искусственного лесовосстановления и лесоразведения [154], созданию и выращиванию высокопроизводительных лесных культур в различных лесорастительных условиях [155-

157]. Итоги выполненных работ по искусственному лесовосстановлению послужили основой разработки монографии по воспроизводству и омоложению ленточных боров Алтайского края [158]. Значение материалов монографии многократно возрастает, если учесть, что ленточные боры Алтайского края произрастают в жестких аридных условиях на границе ареала сосны обыкновенной. В условиях недостатка влаги, высоких летних температур, суховеев и других неблагоприятных климатических факторов, на фоне меняющегося в сторону аридизации климата [159] реализация, высказанных в монографии предложений по совершенствованию лесопользования и лесовосстановления, особенно актуальна.

Изменение климата оказывает влияние не только на насаждения, произрастающие в аридных условиях, но и на насаждения, подвергающиеся интенсивному антропогенному воздействию. Не случайно в ходе выполнения темы значительное внимание уделялось устойчивости и санитарному состоянию насаждений, испытывающих интенсивные рекреационные нагрузки [160-165]. В опубликованных работах не только приводятся современные данные о состоянии насаждений, но и даются практические рекомендации по повышению рекреационной устойчивости и рекреационной привлекательности лесных парков. Особое внимание уделено анализу почв, как основы рационального неистощительного лесопользования и депонирования углерода лесными экосистемами. Указанное рассмотрено в коллективной монографии, выполненной в ходе проведенных исследований [165].

Выращивание высокопроизводительных устойчивых насаждений невозможно без проведения лесоводственных мероприятий. К сожалению, чаще всего, многие лесоводственные мероприятия, направленные на повышение пожароустойчивости насаждений, снижению потенциальной горимости лесов, формирование целевого состава древостоев, проводятся формально или вовсе не проводятся из-за отсутствия сбыта низкотоварной древесины. В ходе выполненных нами исследований установлено, что проведение лесохозяйственных мероприятий в полном объеме возможно только при наличии предприятий-утилизаторов низкокачественной древесины [166].

Спецификой предприятий-утилизаторов является использование отходов лесозаготовок и переработки древесины в востребованную продукцию. В частности, в различные виды плит. Рентабельная работа указанных предприятий возможна при условии, если плечо вывозки древесного сырья не будет превышать 200 км.

Создание предприятий-утилизаторов обеспечит проведение, прежде всего, основного лесоводственного мероприятия – рубок ухода. Выполненные нами исследования

показали высокую эффективность рубок ухода в плане формирования высокопродуктивных устойчивых насаждений даже в лесостепных и степных условиях [167, 168].

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что благодаря своевременным, систематическим рубкам ухода можно не только сформировать насаждения нужного породного состава, устойчивые к неблагоприятным природным и антропогенным факторам, но и существенно повысить пожароустойчивость насаждений за счет сокращения напочвенных горючих материалов, уборки сухостоя и потенциального отпада. Кроме того, уборка отстающих в росте наиболее тонких деревьев приводит к увеличению среднего диаметра древостоя и, как следствие этого, способствует повышению пожароустойчивости деревьев.

Нельзя пренебречь и возможностью заготовки древесины. Расчеты свидетельствуют, что общая производительность древостоев при систематическом проведении рубок ухода за период оборота рубки увеличивается в 1,5 раза, что особенно важно, если учесть дефицит древесины в южных районах нашей страны.

Особое внимание при проведении работ по теме было уделено рекультивации нарушенных земель. При этом исследования охватывали различные виды нарушенных земель. Так, в частности, было проанализировано состояние лесных насаждений, созданных путем террасирования горных склонов в зоне влияния медеплавильного производства [169]. При этом установлено, что даже на участках, где полностью уничтожена растительность, можно сформировать смешанные насаждения с доминированием березы повислой в составе древостоев.

В целях улучшения экологической обстановки и более рационального использования земель проанализированы возможности использования постагрогенных земель в целях депонирования углерода [170]. При этом отмечается, что в значительном количестве случаев увеличение депонирования углерода, а следовательно, снижения содержания парниковых газов в атмосфере, не потребует значительных финансовых затрат.

Территория Уральского Федерального округа специфична тем, что здесь было найдено первое в России месторождение золота. Указанный драгоценный металл добывается на Урале с 1745 г. и за прошедший период накопилось значительное количество площадей, где добыча велась дражным способом, то есть с полным нарушением лесной экосистемы. При этом добыча велась преимущественно в поймах рек и речек, что не могло не сказаться на экологической обстановке. К сожалению, до недавнего времени серьезных работ по рекультивации нарушенных земель в процессе добычи драгоценных металлов



нами в научной литературе не обнаружено. В процессе исследований нами проанализирована лесоводственная эффективность рекультивации, нарушенных в процессе добычи драгоценных металлов, земель. В качестве основного направления было выбрано лесохозяйственное, поскольку большинство участков передано под добычу из лесного фонда.

Исследования показали, что наиболее эффективным способом рекультивации является создание лесных культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Лесные культуры можно создавать сеянцами, саженцами и посевом качественных семян указанной породы [170-172]. Установлено, что низкая конкуренция лесным культурам со стороны живого напочвенного покрова позволяет отказаться от агротехнических уходов при создании лесных культур. При этом, поскольку создаются монокультуры, необходимо повышенное внимание уделять противопожарному устройству. Так, в частности, при проведении рекультивационных работ необходимо, вблизи созданных драгами водоемов, оборудовать площадки стоянки автотранспорта, для заправки их водой. Другими словами, искусственные водоемы следует оборудовать и оформить в качестве противопожарных. При этом в них можно запустить рыбу, что обеспечит помимо лесохозяйственного рекреационное направление рекультивационных работ.

Выбор сосны обыкновенной в качестве главной породы при искусственном лесовосстановлении на дражных отвалах объясняется низкой требовательностью данной породы к почвенному плодородию. При этом даже на исключительно бедных, по содержанию органических веществ, дражных отвалах путем создания лесных культур удастся создать относительно продуктивные сосновые насаждения. По своей сути, искусственные сосновые насаждения на дражных отвалах являются углеродными плантациями, позволяющими задепонировать в древесине, живом напочвенном покрове и формирующейся почве значительное количество углерода, что служит основанием для снижения парниковых газов в атмосфере.

Особенно ранимы лесные экосистемы на границах их ареала. Последнее обусловило повышенное внимание к насаждениям, произрастающим в условиях лесотундры и подзоны северной тайги. В ходе исследований рассмотрены методические подходы к проблеме рекультивации нарушенных земель [173], а также проанализированы природные потенциалы к формированию древесной растительности на выработанных песчаных карьерах в условиях Западно-Сибирского северо-таежного равнинного лесного района [174].

Полученные в ходе комплексных исследований эффективности рекультивации нарушенных земель данные легли в основу опубликованной монографии «Опыт

лесохозяйственного направления рекультивации нарушенных земель при разработке месторождений глины, хризотил-асбеста и редкоземельных руд» [175]. В указанное монографии предложены направления повышения лесоводственной эффективности рекультивационных работ при снижении фактических затрат на их выполнение.

Результатом, проделанных по теме исследований работ, явилась разработка рекомендаций по лесовосстановлению и лесоразведению на землях лесного фонда в границах Ямало-Ненецкого автономного округа. В указанных рекомендациях, рассмотренных на научно-техническом совете Рослесхоза, имеют место принципиально новые подходы к лесовосстановлению на территории Западно-Сибирского района притундровых лесов и редкостойной тайги, а также Западно-Сибирского северо-таежного равнинного лесного района. В частности, учитывая приоритет экологических функций лесных насаждений над сырьевыми, предложено в качестве главных или основных лесных древесных пород выделить березы повислую и пушистую (*Betula pendula* Roth.) и (*B. pubescens* Ehrh.). Данные виды берез обладают повышенным, по сравнению с хвойными породами, приростом древесины, формируют молодняки даже на крупноплощадных гарях за счет налета семян и поросли от пня. При этом в единице объема древесины депонируется большая масса углерода, чем в аналогичном объеме древесины сосны и ели. Если учесть, что интегральным показателем экологической эффективности является именно прирост древесины, то становится понятной целесообразность выделения указанных видов берез в качестве основных древесных пород. Кроме того, в условиях Ямало-Ненецкого автономного округа береза очень редко формирует чистые насаждения, а следовательно, в конечном счете будут выращены смешанные насаждения при том условии, что на их формирование не потребуются значительных финансовых затрат, как на создание искусственных насаждений сосны обыкновенной и их последующую охрану от пожаров.

Основными видами нарушенных земель на территории Ямало-Ненецкого автономного округа являются выработанные песчаные карьеры и песчаные раздувы. Экспериментально доказано, что эффективная рекультивация данных видов нарушенных земель может быть обеспечена только при условии размещения на поверхности слоя торфо-песчаной смеси, которая прекращает перевевание песка и увеличивает плодородие почвы.

Поскольку все способы очистки мест рубок преследуют цель разложения (деструкции) древесины, они не способствуют решению проблемы депонирования парниковых газов. Нами обоснован и запатентован новый способ очистки мест рубок, заключающийся в захоронении порубочных остатков, пней и нетоварной древесины в

болотистую почву путем прокладки траншеи с последующей засыпкой грунтом и организацией на ней дороги противопожарного назначения.

Другими словами, в ходе выполнения исследований получены новые оригинальные данные, имеющие не только практическое, но и значительное теоретическое значение.

#### Выводы

1. На основании проведенных исследований предложены мероприятия по повышению эффективности охраны лесов от пожаров и минимизации слепожарного ущерба.

2. Проанализирована эффективность искусственного лесовосстановления и даны практические рекомендации по совершенствованию выращивания посадочного материала и лесовосстановления.

3. Изучены вопросы санитарного состояния и устойчивости насаждений, подверженных интенсивному рекреационному воздействию, и даны рекомендации по повышению их устойчивости и рекреационной привлекательности.

4. Отмечается, что проведение всего перечня лесоводственных и профилактических противопожарных мероприятий возможно только при наличии утилизаторов низкотоварной древесины, отходов лесозаготовок и переработки древесины.

5. Проанализирована эффективность лесохозяйственного направления рекультивации различных видов нарушенных земель. Сделаны предложения производству по ускорению и повышению эффективности рекультивационных работ при минимизации затрат на их проведение.

6. Разработаны рекомендации по лесовосстановлению и лесоразведению на землях лесного фонда в границах Ямало-Ненецкого автономного округа.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках поставленных задач проекта был проведен сравнительный анализ основных российских североамериканских и европейских лесных типологий по следующим позициям: содержание понятие классификационной единицы (тип условий местопроизрастания, тип леса); особенности выделения границы классификационных единиц; классификационные признаки, используемые для определения типа условий местопроизрастания; особенности классификации фитоценозов, используемых для определения типа леса; степень учета сукцессионной динамики лесных насаждений; степень учета влияния антропогенных факторов; уровень внедрения в лесоустройство и практику лесного хозяйства; регионы внедрения. В ходе исследований был проведен анализ следующих основных типологий по регионам:

- российских – лесоэкологическая Е.В. Алексеева – П.С. Погребняка, фитоценотическая В.Н. Сукачева, генетическая Б.А. Ивашкевича – Б.П. Колесникова, динамическая И.С. Мелехова;

- североамериканских – классификация местообитаний (Habitat Type Classifications – НТС), биогеоклиматическая классификация (Biogeoclimatic Ecosystem Classification – ВЕС), экологическое описание местообитаний (Ecological Site Description – ESDs);

- европейских – классификация европейских типов леса (ЕFT), классификация местообитаний EUNIS и классификация растительности Европы, созданной фитосоциологами Европейского обследования растительности (EVS).

Установлено, что в процессе развития российских лесных типологий представление о типе леса изменялось от участка леса, однородного по составу, строению и внешнему облику (однородностью в пространстве) в естественных классификациях, до представлений о типе леса, в котором отдается приоритет однородности по происхождению (генезису), процессам развития и динамике (однородностью во времени) по сравнению с однородностью состава и структуры в генетических и динамической типологиях.

Учет сукцессионной динамики лесных биогеоценозов становится центральной проблемой во всех современных отечественных и зарубежных типологиях. Лучше всего данная проблема проработана в генетической лесной типологии Б.А. Ивашкевича и Б.П. Колесникова, где в качестве основных диагностических признаков типа леса используются стабильные во времени характеристики лесорастительных условий и вводятся понятия эколого-динамических рядов формирования и развития биогеоценозов. Наиболее полно данная проблема также решена в североамериканской классификации ESD с помощью

включения в классификационные признаки потенциальной растительности и разрушающих экосистемы факторов.

Сильной стороной общеевропейской классификации ЕФТ является установление перекрестных связей с другими системами классификации растительности и местообитаний и типов леса, применяемыми как в рамках национальных систем инвентаризации лесов, так и на уровне ЕС. Также сильной стороной данной классификации является включение антропогенных воздействий в число ключевых диагностических признаков типа леса, которые оцениваются за счет оценки степени натуральности лесов, количества лесных видов, вида и интенсивности антропогенного воздействия.

В задачи исследований этапа проекта 2023 года также входило проведение оценки современной структуры древостоев в экотоне верхней границы древесной растительности, включая обследование серии пробных площадей и создание крупномасштабных картосхем в районе исследований на Полярном Урале (горный массив Рай-Из). Поставленные задачи были решены:

- проведено определение местоположения всходов, подроста и взрослых деревьев и проведены повторные измерения (предыдущие измерения сделаны в 2018 году) биометрических характеристик (высота, диаметр у шейки корня и на высоте 1,3 м, диаметр кроны в двух взаимно перпендикулярных направлениях) на 9 круговых пробных площадях, расположенных на градиенте высоты в экотоне верхней границы древесной растительности;

- созданы крупномасштабные картосхемы, характеризующие местоположение основных типов фитоценозов (лес, редколесье, редины, тундра с отдельно стоящими деревьями), созданных на основе данных о местоположении деревьев в экотоне верхней границы древесной растительности в начале 1960-х годов и в 2015 году;

- относительно общей площади района исследований площадь сомкнутых лесов, редколесий и редины увеличилась с 2,9 до 6,8%, с 9,6 до 13,1% и с 7,5 до 15,6% соответственно, а площадь участков тундры с одиночными деревьями уменьшилась с 79,9 до 64,5%. Характер смен типов фитоценозов за исследуемый период характеризуется переходами от фитоценозов с меньшей плотностью к фитоценозам с более высокой плотностью. Смены в обратном направлении не установлены.

В районе исследований на Южном Урале на горе Малый Ирмель (горный массив Ирмель) проведены исследования особенностей формирования фитомассы деревьев ели в экотоне верхней границы древесной растительности на трех высотных уровнях (первый – на высоте 1360 м над уровнем моря, второй – на высоте 1300 м и третий – на высоте 1260 м.). Полученные результаты свидетельствуют о том, что:

– в условиях верхней границы леса, как и в равнинных лесах, зависимости фитомассы стволов и крон деревьев от их диаметра наиболее корректно описываются степенной функцией;

– на характер зависимости фитомассы стволовой и крон деревьев заметное влияние оказывает расположение древостоев относительно уровня моря. У деревьев ели одинакового диаметра по мере повышения высоты над уровнем моря фитомасса стволов закономерно уменьшается, а фитомасса крон, наоборот, увеличивается. Уменьшение массы стволов, главным образом, объясняется закономерным снижением высоты стволов (уменьшением разряда высот) у деревьев одинаковой толщины с продвижением в гору. Отмеченное увеличение фитомассы крон в первую очередь связано с повышением ранга деревьев одной и той же толщины с уменьшением их возраста.

В рамках решения задачи проекта, связанной с анализом пространственно-временной динамики лесных пожаров проведены исследования и разработки, которые позволили получить следующие результаты:

– показано, что на территории Уральского региона резко увеличились показатели фактической горимости лесов, специфической особенностью которой в последние годы является развитие беглых низовых лесных пожаров в устойчивые и даже в торфяные. Последнее обусловлено снижением уровня грунтовых вод и, как следствие этого, уровня возможности заглубления тления внутрь торфяной залежи.

– разработаны практические предложения по совершенствованию охраны лесов и минимизации послепожарного ущерба. В частности, возможности создаваемой в процессе разведки углеводородного сырья инфраструктуры для совершенствования противопожарного устройства и охраны лесов от пожаров в Западной Сибири.

В рамках решения задач проекта, связанных с исследованиями по лесовосстановлению и лесоразведению с учётом зонально (подзонально)-типологической специфики участков лесного фонда проведены исследования:

– по выращиванию качественного посадочного материала для искусственного лесовосстановления и лесоразведения, созданию и выращиванию высокопроизводительных лесных культур в различных лесорастительных условиях;

– по рекультивации нарушенных земель в зоне медеплавильного производства – проведен анализ состояния лесных насаждений, созданных путем террасирования горных склонов в зоне влияния медеплавильного производства. Установлено, что даже на участках, где полностью уничтожена растительность, можно сформировать смешанные насаждения с доминированием березы повислой в составе древостоев.

– по рекультивации нарушенных в процессе добычи драгоценных металлов, земель. Установлено, что в качестве основного направления рекультивации следует выбирать лесохозяйственное, так как большинство участков передано под добычу из лесного фонда. Наиболее эффективным способом рекультивации является создание лесных культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Установлено, что низкая конкуренция лесным культурам со стороны живого напочвенного покрова позволяет отказаться от агротехнических уходов при создании лесных культур. При этом, так как создаются монокультуры, необходимо повышенное внимание уделять противопожарному устройству;

– в ходе исследований рассмотрены методические подходы к проблеме рекультивации нарушенных земель в условиях лесотундры и подзоны северной тайги, а также проанализированы природные потенции к формированию древесной растительности на выработанных песчаных карьерах в условиях Западно-Сибирского северо-таежного равнинного лесного района. Результатом, сделанных по теме исследований работ, явилась разработка рекомендаций по лесовосстановлению и лесоразведению на землях лесного фонда в границах Ямало-Ненецкого автономного округа. В указанных рекомендациях, рассмотренных на научно-техническом совете Рослесхоза, имеют место принципиально новые подходы к лесовосстановлению на территории Западно-Сибирского района притундровых лесов и редкостойной тайги, а также Западно-Сибирского северо-таежного равнинного лесного района.

В ходе проведенных исследований получены результаты:

— по выращиванию высокопроизводительных устойчивых насаждений. Проведенный анализ данных позволил установить, что многие лесоводственные мероприятия, направленные на повышение пожароустойчивости насаждений, снижению потенциальной горимости лесов, формирование целевого состава древостоев, проводятся формально или вовсе не проводятся из-за отсутствия сбыта низкотоварной древесины. Таким образом, установлено, что проведение лесохозяйственных мероприятий в полном объеме возможно только при наличии предприятий-утилизаторов низкокачественной древесины;

– проведенные расчеты свидетельствуют о том, что общая производительность древостоев при систематическом проведении рубок ухода за период оборота рубки увеличивается в 1,5 раза, что особенно важно, если учесть дефицит древесины в южных районах нашей страны.

Таким образом, все поставленные на 2023 год задачи проекты были выполнены. Результаты научно-технического уровня выполненной НИР соответствует передовому

исследований и разработок в нашей стране и за рубежом. Об этом свидетельствуют публикации, подготовленные по результатам проекта, в ведущих отечественных и зарубежных журналах. Разработанные рекомендации по лесовосстановлению и лесоразведению на землях лесного фонда в границах Ямало-Ненецкого автономного округа рассмотрены на научно-техническом совете Рослесхоза.

Полученные результаты соответствуют направлению исследований Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня «Биологическая безопасность человека, животных и растений»: разработка технологий и профилактики лесных пожаров и лесовозобновления, ремедиации нарушенных территорий; новые решения для цифровизации сельского и лесного хозяйства.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Barbati A., Corona P., Marchetti M. European Forest types - European Environment Agency//EEA Technical report. - 2006. - № 9. - URL: [https://www.eea.europa.eu/publications/technical\\_report\\_2006\\_9](https://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2006_9) (Дата обращения 2023-12-18)
2. Barbati A., Marchetti M., Chirici G., Corona P. European Forest Types and Forest Europe SFM indicators: Tools for monitoring progress on forest biodiversity conservation//Forest Ecology and Management. - 2014. - Vol. 321. - PP. 145 - 157.
3. Brand David G. Criteria and indicators for the conservation and sustainable management of Forest: progress to date and future directions//Biomass and Bioenergy. - 1997. - Vol.13. - PP. 247 - 253.
4. Castañeda F. Criteria and indicators for sustainable forest management: international processes, current status and the way ahead//Unasylva. - 2000. - Vol. 51 (203). - PP. 34 - 40.
5. Багинский В.Ф. Динамика продуктивности сосновых древостоев Белорусского Полесья по типам леса в связи с изменением климата//Лесная типология: современные методы выделения типов леса, классификация и районирование лесной растительности: Материалы Международного науч. семинара/ г. Минск (20-21 октября 2016 г.). - Минск: Колорград, 2016. - С. 73 - 83.
6. Маслов А.А. Характеристики типов леса в условиях изменения климата//Лесная типология: современные методы выделения типов леса, классификация и районирование лесной растительности: Материалы Международного науч. семинара/ г. Минск (20-21 октября 2016 г.). - Минск: Колорград, 2016. - С. 107 - 108.
7. Фарбер С.К., Кошкарлова В.Л., Кузьмик Н.С. Картографирование лесных формаций голоцена с использованием основных показателей климата - тепла и влаги//Сибирский лесной журнал. - 2017. - № 6. - С. 26 - 40.
8. DeLong S.C., Griesbauer H., Mackenzie W., Foord V. Corroboration of biogeoclimatic ecosystem classification climate zonation by spatially modelled climate data//BC Journal of Ecosystems and Management. - 2010. - Vol. 10, №3. - PP. 49 - 64.
9. Fomin V.V., Ivanova N.S., Mikhailovich A.P. Genetic forest typology as a scientific and methodological basis for environmental studies and forest management//IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2020. - Vol. 609. - Iss. 1. - e. 12044

10. Fomin V., Mikhailovich A., Golikov D., Agapitov E. Reconstruction of the expansion of Siberian larch into the mountain tundra in the Polar Urals in the 20th-early 21st centuries//Forests. - 2022. - Vol. 13. - PP. 419.
11. Fomin V., Mikhailovich A., Zalesov S., Popov A., Terekhov G. Development of ideas within the framework of the genetic approach to the classification of forest types//Baltic Forestry. - 2021. - Vol. 27, №1 (466). - 1 - 14.
12. Ivanova N., Fomin V., Kusbach A. Experience of Forest Ecological Classification in Assessment of Vegetation Dynamics//Sustainability. - 2022. - Vol. 14, № 6. - e. 3384.
13. Ivanova N.S., Zolotova E.S., Li G. Influence of soil moisture regime on the species biomass of the herb layer of pine forests in the Ural Mountains//Ecological Questions. - 2021. - Vol. 32. - Iss. 2. - PP. 27 – 38.
14. MacKenzie W.H., Mahony C.R. An ecological approach to climate change-informed tree species selection for reforestation//Forest Ecology and Management. - 2021. - Vol. 481. - e. 118705.
15. Nazimova D.I., Tsaregorodtsev V.G., Andreyeva N.M. Forest vegetation zones of Southern Siberia and current climate change//Geography and Natural Resources. - 2010. - Vol. 31, №2. - PP. 124 - 131.
16. Nazimova D.I., Ponomarev E.I., Konovalova M.E. Role of an Altitudinal Zonal Basis and Remote Sensing Data in the Sustainable Management of Mountain Forests//Contemporary Problems of Ecology. - 2020. - Vol. 13. - PP. 742 - 753.
17. Nelson H.W., Williamson T.B., Macaulay C., Mahony C. Assessing the potential for forest management practitioner participation in climate change adaptation//Forest Ecology and Management. - 2016. - Vol. 360. - PP. 388 - 399.
18. Fomin V.V., Zalesov S.V., Popov A.S., Mikhailovich A.P. Historical avenues of research in Russian forest typology: ecological, phytocoenotic, genetic, and dynamic classifications//Canadian Journal of Forest Research. - 2017. -Vol. 47, Iss. 7. - P. 849 - 860.
19. Ivanova N.S., Zolotova E.S. Development of Forest Typology in Russia//International Journal of Bio-resource and Stress Management. - 2014. - Vol. 5, №2. - PP. 298 - 303.
20. Горнов А.В. Классификация лесов с использованием определителя типов леса Европейской России (на примере Карелии и Карельского перешейка)//Вопросы лесной науки. - 2018. - Т. 1, № 1. - С. 1 - 53.

21. Заугольнова Л.Б. Подходы к оценке типологического разнообразия лесного покрова//Мониторинг биологического разнообразия лесов России: методология и методы. - М.: Наука, 2008. - С. 36-58.
22. Определитель типов леса Европейской России. - URL: <http://cepl.rssi.ru/bio/forest/index.htm> (дата обращения: 2023-01-19).
23. Золотова Е.С. Лесотипологические особенности растительности и почв Зауральской холмисто-предгорной провинции: дис. канд. биол. наук: 06.03.02. - Екатеринбург, 2013. - 208 с.
24. Иванова Н.С. Развитие генетической лесной типологии в России//Современные наукоемкие технологии. - 2010. - № 12. - С. 94 - 95.
25. Иванова Н.С. Интернет-ресурс «Генетическая типология и динамика леса»//Фундаментальные исследования - 2013. - № 1 (часть 3). - С. 576 - 579.
26. Иванова Н.С. Лесотипологические особенности биоразнообразия и восстановительно-возрастной динамики растительности горных лесов Южного и Среднего Урала: дис. д-р биол. наук: 06.03.02. - Екатеринбург, 2019. - 304 с.
27. Кузьменко Е.И., Смолоногов Е.П. Лесные экосистемы средней и южной тайги Западно-Сибирской равнины (Структура и пространственно-временная динамика). - Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2000. - 218 с.
28. Морозова О.В., Заугольнова Л.Б., Исаева Л.Г., Костина В.А. Классификация бореальных лесов севера Европейской России. I. Олиготрофные хвойные леса//Растительность России. - 2008. - № 13. - С. 61 - 81.
29. Нешатаев В.Ю. Антропогенная динамика таежной растительности Европейской России: автореф. дис. д-р. биол. наук: 03.02.08. - СПб, 2017. - 43 с.
30. Санников, С. Н. Дивергенция, конвергенция и наследование структуры лесных биогеоценозов//Генетическая типология, динамика и география лесов России: Материалы Всероссийской науч. конф. (с междунар. участием), посвященной 100-летию со дня рождения Б.П. Колесникова/г. Екатеринбург (21-24 июля 2009 г.). - Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 2009. - С. 56 - 62.
31. Санников С.Н. Эколого-генетическая классификация типов леса на основе экодинамических рядов развития биогеоценозов//Сибирский лесной журнал. - 2019. - № 1. - С. 3 - 15.
32. Седых В.Н. Ландшафтно-типологическая основа для проведения лесоустройства на территории Сибири//Лесная таксация и лесоустройство. - 2005. - Вып. 1(34). - С. 70 - 77.

33. Фарбер С.К. Структуризация лесных сообществ//Сибирский лесной журнал. - 2014. - № 1. - С. 35 - 49.
34. Фарбер С.К., Кузьмик Н.С. Лесная типология: теория и перспективы использования в лесах Сибири//Хвойные бореальной зоны. - 2013. - Т. 30, № 1-2. - С. 143 - 148.
35. Фомин В.В., Залесов С.В. Географо-генетический подход к оценке и прогнозированию лесных ресурсов с использованием ГИС-технологий//Аграрный вестник Урала. - 2013. - Т. 118. № 12(118). - С. 18 - 24.
36. Широких П.С., Мартыненко В.Б., Кунафин А.М., Миркин Б.М. Особенности флористического состава некоторых типов вторичных лесов Южно-Уральского региона//Бюллетень МОИП. - 2012. - Т. 117, № 2. - С. 43 - 55.
37. Ivanova N., Petrova I. Age structure of coniferous saplings in mountain old-growth forest of the Middle Urals//E3S Web of Conferences. Actual Problems of Ecology and Environmental Management (APM 2021). - 2021. - Vol. 265. - e. 01024.
38. The Pan-European Forest Process on Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management. - URL: <http://www.fao.org/docrep/004/AC135E/ac135e09.htm> (Дата обращения 2023-12-18)
39. The Montréal Process. Criteria and Indicators for the Conservation and Sustainable Management of Temperate and Boreal Forests. - URL: <http://www.montreal-process.org/documents/publications/techreports/MontrealProcessSeptember2015.pdf> (Дата обращения 2023-12-18)
40. Денисов С.А. Лесоведение: конспект лекций. - Йошкар-Ола: МарГТУ, 2008. - 168 с.
41. Дылис Н.В. Значение идей В.Н. Сукачева в развитии советского лесоведения//Вопросы лесоведения. - 1973. - Т. 2. - С. 5 - 14.
42. Дыренков С.А. О региональных кадастрах типов леса//Лесоведение. - 1989. - № 2. - С. 3 - 9.
43. Колесников Б.П. Кедровые леса Дальнего Востока. - М., Л.: Изд-во Акад. наук СССР, 1956. - 262 с.
44. Колесников Б.П. Генетический этап в лесной типологии и его задачи//Лесоведение. - 1974. - № 2. - С. 3 - 20.
45. Крюденер А.А. Основы классификации типов насаждений и их народохозяйственное значение в обиходе страны - Петроград: Б. и., 1917. - 318 с.

46. Манько Ю.И. Возникновение и становление генетической лесной типологии//Лесоведение. - 2013. - № 6. - С. 40 - 55.
47. Морозов Г.Ф. Учение о лесе. - 2-е изд. - Л., М.: Гос. изд-во, 1925. - 367 с.
48. Погребняк П.С. Основы лесной типологии. - 2-е изд. - Киев: АН Украинской ССР, 1955. - 456 с.
49. Рысин Л.П. Есть ли будущее у лесной типологии в России?//Лесные ресурсы таежной зоны России: проблемы лесопользования и лесовосстановления: Материалы Всероссийской науч. конф. с междунар. участием/г. Петрозаводск (30 сентября -3 октября 2009 г.). - Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. - С. 8 - 10.
50. Смолоногов Е.П. Основные положения генетического подхода при построении лесотипологических классификаций//Экология. - 1998. - № 4. - С. 256 - 261.
51. Смолоногов Е.П. Некоторые аспекты теории лесной типологии//Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. - 1999. - № 1. - С. 13 - 17.
52. Сукачев В.Н. Развитие лесной типологии в СССР за 40 лет//Достижение науки в лесном хозяйстве СССР за 40 лет. - М.; Ленинград, 1957. - С. 5 - 16.
53. Сукачев В.Н. Избранные труды: в трех томах. Том 1: Основы лесной типологии и биогеоценологии. - Ленинград: Наука, 1972. - 418 с.
54. Громцев А.Н., Кравченко А.В., Курхинен Ю.П., Сазонов С.В. Динамика разнообразия лесных сообществ, флоры и фауны европейской тайги в естественных условиях и после антропогенных воздействий: опыт исследований и обобщения//Труды КарНЦ РАН. - 2010. - № 1. - С. 16 - 33.
55. Колесников Б.П., Зубарева Р.С., Смолоногов Е.П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области: Практическое руководство. - Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973. - 176 с.
56. Курнаев С.Ф. Основные типы боровых сосняков южной тайги Ярославской области//Сосновые боры подзоны южной тайги и пути ведения в них лесного хозяйства. - М.: Наука, 1969. - С. 11 - 64.
57. Назимова Д.И., Гуревич М.Ю., Кофман Г.Б., Андреева Н.М. Опыт многомерной классификации лесорастительных районов Сибири по климатическим признакам//География и природные ресурсы. - 1997. -№ 2. - С. 134 - 142.
58. Орлов А.Я., Кошельков С.П., Осипов В.В., Соколов А.А. Типы лесных биогеоценозов южной тайги. - М.: Наука, 1974. - 232 с.
59. Рысин Л.П., Савельева Л.И. Еловые леса России. - М.: Наука, 2002. - 336 с.

60. Рысин Л.П., Савельева Л.И. Кадастры типов леса и типов лесных биогеоценозов. - М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2007. - 144 с.
61. Рысин Л.П., Савельева Л.И. Сосновые леса России. - М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2008. - 289 с.
62. Смолоногов Е.П. Эколого-географическая дифференциация и динамика кедровых лесов Урала и Западно-Сибирской равнины (эколого-лесоводственные основы оптимизации хозяйства). - Свердловск: УрО АН СССР, 1990. - 288 с.
63. Фильрозе, Е.М. Схема генетической классификации типов леса тайги восточного макросклона Южного Урала и северной лесостепи Восточноуральского пенеблена//Типы и динамика лесов Урала и Зауралья. - Свердловск: УНЦ АН СССР, 1967. - С. 119 - 156.
64. Фильрозе Е.М. Схема генетической классификации типов леса Южного Урала//Эколого-географические и генетические принципы изучения лесов. - Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. - С. 53 - 60.
65. Крышень А.М. Растительные сообщества вырубок: структура, динамика и классификация (на примере Карелии): автореф. дис. д-р. биол. наук: 03.00.05, 03.00.16. - Петрозаводск, 2005. - 42 с.
66. Мелехов И.С. Основы типологии вырубок//Основы типологии вырубок и ее значение в лесном хозяйстве. - Архангельск: [б. и.], 1959. - С. 5 - 34.
67. Уланова Н.Г. Восстановительная динамика растительности сплошных вырубок и массовых ветровалов в ельниках южной тайги (на примере европейской части России): автореф. дис. д-р. биол. наук: 03.00.05. - М., 2006. - 46 с.
68. Колесников Б.П. Генетическая классификация типов леса и ее задачи на Урале//Труды Института биологии Уральского филиала АН СССР. - 1961. - Вып. 27. - С. 47 - 59.
69. Мигунова Е.С. Лесная типология Г.Ф. Морозова - А.А. Крюденера - П.С. Погребняка - теоретическая основа лесоводства//Лесной вестник / Forestry bulletin. - 2017. Т. 21, № 5. - С. 52 - 63.
70. Уланова Н.Г. Синтез классификации растительности вырубок в еловых лесах южной тайги с позиций И.С. Мелехова, В.Н. Сукачева, Б.П. Колесникова и Ж. Браун-Бланке//Генетическая типология, динамика и география лесов России: Всероссийская науч. конф. с междунар. участием, посвященная 100-летию со дня рождения Б.П. Колесникова/г. Екатеринбург (21-24 июля 2009 г.). - Екатеринбург: Ботанич. сад УРО РАН, 2009. - С. 72 - 75.

71. Ивашкевич Б.А. Типы лесов Приморья и их экономическое значение//Производительные Силы Дальнего Востока. - Вып. 3: Растит. мир. Хабаровск. - Владивосток: Книжное дело, 1927. - С. 3 - 20.
72. Луганский Н.А., Залесов С.В., Луганский В.Н. Лесоведение: Учебное пособие для студентов, обучающихся по специальностям 260400 "Лесное и лесопарковое хоз-во" и 260100 "Лесоинженер. дело". - 2-е изд. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2010. - 432 с.
73. Мелехов И.С. К классификации растительного покрова в связи с концентрированными рубками//Вопросы классификации растительности. - 1961. - Вып. 27. - С. 139 - 145.
74. Ханина Л.Г. Классификация типов лесорастительных условий по индикаторным видам Воробьева-Погребняка: база данных и опыт анализа лесотаксационных данных//Вопросы лесной науки. - 2019. - Т. 2, № 4. - С. 1 - 30.
75. Ivanova N., Petrova I. Species abundance distributions: investigation of adaptation mechanisms of plant communities//E3S Web of Conferences: International Scientific and Practical Conference "Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: Current Issues, Achievements and Innovations" (FARBA 2021). – 2021. - Vol. 254. – e. 02003.
76. Золотова Е.С., Иванова Н.С. Лесотипологическое исследование вырубок Зауральской холмисто-предгорной провинции//Известия Самарского научного центра РАН. - 2012. - Т.14, № 1 (часть 4). - С. 1016 - 1019.
77. Ivanova N., Zolotova E. Influence of logging on plant species diversity in mountain forests of the Middle Urals//AIP Conference Proceedings. Modern synthetic methodologies for creating drugs and functional materials (MOSM2020): Proceedings of the IV International Conference. - 2021. - e. 020007.
78. Мартыненко В.Б., Широких П.С., Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Баишева Э.З., Мулдашев А.А. Синтаксономический анализ влияния инициальной стадии на вторичную автогенную сукцессию широколиственного леса//Журнал общей биологии. - 2016. - Т. 77, № 4. - С. 303 - 313.
79. Федорчук В.Н., Нешатаев В.Ю., Кузнецова М.Л. Лесные экосистемы северо-западных районов России: типология, динамика, хозяйственные особенности. - СПб.: СПбНИИЛХ, 2005. - 382 с.
80. Сеннов С.Н., Грязькин А.В. Лесоведение: Учебное пособие. - СПб.: СПбГЛТА, 2006. - 156 с.
81. Нешатаев В.Ю. Лесная типология в России: история и современные проблемы//Лесная типология: современные методы выделения типов леса, классификация

и районирование лесной растительности: Материалы Международного науч. семинара/г. Минск (20-21 октября 2016 г.). - Минск: Колорград, 2016. - С. 13 - 27.

82. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe. - URL: <https://foresteurope.org> (Дата обращения 2023-12-18)

83. Davies C.E., Moss D., Hill M.O. EUNIS habitat classification revised 2004. - URL: [https://inpn.mnhn.fr/docs/ref\\_habitats/Davies\\_&\\_Moss\\_2004\\_EUNIS\\_habitat\\_classification.pdf](https://inpn.mnhn.fr/docs/ref_habitats/Davies_&_Moss_2004_EUNIS_habitat_classification.pdf) (Дата обращения 2023-12-18)

84. Schaminee J.H.J., Janssen J.A.M., Hennekens S.M., Ozinga W.A. Large vegetation databases and information systems: new instruments for ecological research, nature conservation, and policy making//Plant Biosystems. - 2011. - Vol. 145. - PP. 85 - 90.

85. Rodwell J.S., Schaminée J.H.J., Mucina L., Pignatti S., Dring, J., Moss D. The diversity of European vegetation. An overview of phytosociological alliances and their relationships to EUNIS habitats. - Wageningen: National Reference Centre for Agriculture, Nature and Fisheries, 2002. - 168 pp.

86. Council Directive 92/43/EEC//Official Journal of the European Communities. – 1992. - Vol. 206. - PP. 7-50.

87. Caudullo G., Pasta S., Giannetti F., Barbati A., Chirici G. European Forest classifications//European Atlas of Forest Tree Species. - Luxembourg: Publication Office of the European Union, 2016. - PP 32 - 33.

88. Mucina L., Bültmann H., Dierßen K., Theurillat J., Raus T., Čarni A., ... Tichý L. Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities//Applied Vegetation Science. – 2016. - Vol. 19, № 1. - PP. 3 - 264.

89. Pfister R.D., Arno S.F. Classifying Forest Habitat Types Based on Potential Climax Vegetation//Forest Science. – 1980. - Vol. 26, № 1. - PP. 52 - 70.

90. Krajina V.J. Ecology of forest trees in British Columbia//Ecology of Western North America. – 1969. - Vol. 2. - PP. 1 - 147.

91. Krajina V.J. Ecosystem classification of forests (Summary of contributions to the Forest Ecosystem Symposium)//Silva Fennica. -1960. - Vol. 105. - PP. 107 - 110.

92. Caudle D., DiBenedetto J., Karl M.S., Sanchez H., Talbot C. Interagency Ecological Site Handbook for Rangelands. - USDA, NRCS, 2013 - 109 p. - URL: <https://jornada.nmsu.edu/files/InteragencyEcolSiteHandbook.pdf> (Дата обращения 2023-12-18)

93. 93. USDA. Natural Resources Conservation Service. National Ecological Site Handbook. - URL: [https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/NESH\\_1.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/NESH_1.pdf) (Дата обращения 2023-12-18)



94. Daubenmire R., Daubenmire J.B. Forest Vegetation of Eastern Washington and Northern Idaho. Tech. Bull. 60. - Pullman, WA: Washington Agricultural Experiment Station, Washington State University, 1968. - 104 p.
95. Dyksterhuls E.J. Habitat-type: A review//Ranegelands. – 1983. - Vol. 5, № 6. - PP. 270 - 271.
96. Youngblood A.P., Mauk R.L. Coniferous Forest Habitat Types of Central and Southern Utah: General Technical Report INT-187. - Ogden, Utah, 1985. - URL: <https://archive.org/details/CAT86858596/page/n1/mode/1up> (Дата обращения 2023-12-18)
97. Haeussler S. Rethinking biogeoclimatic ecosystem classification for a changing world//Environmental Reviews. – 2011. - Vol. 19. - PP. 254 - 277.
98. MacKenzie W.H., Meidinger D.V. The Biogeoclimatic Ecosystem Classification Approach: an ecological framework for vegetation classification//Phytocoenologia. - 2018. - Vol. 48, Issue 2. - PP. 203 – 213.
99. Kusbach A, Štěrba T, Šebesta J, Mikita T, Bazarradnaa E, Dambadarjaa S, Smola M. Ecological Zonation As A Tool For Restoration Of Degraded Forests In Northern Mongolia// Geography, environment, sustainability. – 2019. - Vol. 12(3). – PP. 98-116.
100. Braun-Blanquet J. Pflanzensociologie. - Wien – New York, 1964. - 865 p.
101. Victor Westhoff & Eddy Van Der Maarel The Braun–Blanquet Approach//Classification of plant communities. - Ed. R.H. Whittaker. - Hague, 1978. - PP. 287 - 399.
102. Clements F.E. Nature and Structure of the Climax//Journal of Ecology. - 1936. - Vol. 24. - PP. 252 - 284.
103. Major J. A functional, factorial approach to plant ecology//Ecology. – 1951. - Vol. 32. - PP. 392 - 412.
104. Sukachev V.N., Dylis N. Fundamentals of Forest Biogeocoenology / translated by Dr. J.M. MacLennan. - London: Oliver & Boyd, 1964. - 672 p.
105. Kubierna W.L. The classification of soils//Journal of Soil Science. - 1958. - Vol. 9. - PP. 9 - 19.
106. MacKillop D.J., Ehman A.J. Iverson K.E., McKenzie E.B. A field guide to site classification and identification for southeast British Columbia: the East Kootenay. Prov. B.C., Victoria, B.C. Land Manag. Handb., 2018. - 71 p.
107. Meidinger D., Pojar J. Ecosystems of British Columbia. - Victoria: BC Ministry of Forests, 1991. - 330 p.

108. Dufrière M., Legendre P. Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach//*Ecological Monographs*. – 1997. - Vol.67. - PP. 345 - 366.
109. De Caceres M., Jansen F. Package ‘indicspecies’ (R. package version 1.7.6.). - URL: <https://cran.r-hub.io/web/packages/indicspecies/indicspecies.pdf> (Дата обращения 2023-12-18)
110. Chandler J.R., Haeussler S., Hamilton E.H., Feller M., Bradfield G., Simard S.W. Twenty years of ecosystem response after clearcutting and slashburning in conifer forests of central British Columbia, Canada//*PLoS ONE*. – 2017. -Vol. 12, №. 2. - e0172667.
111. BECWeb, 2018. - URL: <https://www.for.gov.bc.ca/hre/becweb/index.html> (Дата обращения 2023-12-18)
112. MacKenzie W.H., Klassen R. VPro 13: Software for management of ecosystem data and classification. Version 6.0. BC. Min. For. and Range, Research Branch, Victoria BC., 2009. - URL: <https://www.for.gov.bc.ca/hre/becweb/resources/software/vpro/index.html> (Дата обращения 2023-12-18)
113. MacKinnon A., Meidinger D., Klinka, K. Use of the biogeoclimatic ecosystem classification system in British Columbia//*The Forestry Chronicle*. - 1992. - Vol. 68(1). - PP. 100 - 120.
114. BC Conservation Data Centre. BC Species and Ecosystems Explorer. BC Ministry of Environment, 2017. - URL: <http://a100.gov.bc.ca/pub/eswp/> (Дата обращения 2023-12-18)
115. Olivotto, G. and D. Meidinger. Development of Ecoyield - A conceptual model for timber supply analysis using predictive ecosystem mapping and site index – ecosystem relationships//*Econote*. – 2001. - Vol.1. - B.C. Ministry of Forests, Research Branch, Victoria, B.C.
116. Brohman R., Bryant L. Existing vegetation classification and mapping technical guide. Gen. Tech. Rep. WO-67. - Washington, D.C: U.S. Department of Agriculture Forest Service, Ecosystem Management Coordination Staff, 2005. - 305 p.
117. Winthers E., Fallon D., Haglund J., DeMeo T., Nowacki G., Tart D., Ferwerda M., Robertson G., Gallegos A., Rorick A., Cleland D.T., Robbie W. Terrestrial ecological unit inventory technical guide. - Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington Office, Ecosystem Management Coordination Staff, 2005. - 245 p.
118. Bestelmeyer B.T., Tugel A.J., Peacock G.L., Robinett D.G., Shaver P.L., Brown J.R., Herrick J.E., Sanchez H., Havstad K.M. State-and-Transition Models for Heterogeneous Landscapes: A Strategy for Development and Application//*Rangeland Ecology & Management*. - 2009. - Vol. 62(1). - PP. 1-15.

119. Bestelmeyer B.T., Goolsby D.P., Archer S.R. Spatial perspectives in state-and-transition models: a missing link to land management?//*Journal of Applied Ecology*. – 2011. - Vol. 48(3). - PP. 746-757.
120. Bestelmeyer B.T., Burkett L.M., Lister L. Effects of managed fire on a swale grassland in the Chihuahuan Desert//*Rangelands*. - 2021. - Vol. 43(5). - PP. 181 – 184.
121. Briske D.D., Bestelmeyer B.T., Stringham T.K., Shaver P.L. Recommendations for development of resilience-based state-and-transition models//*Rangeland Ecology & Management*. – 2008. - Vol. 61(4). - PP. 359-367.
122. USDA-NRCS ESIS. Ecological Site Information System (ESIS) Database. ESD User Guide, 2011. - URL: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/technical/ecoscience/desc/> (Дата обращения 2023-12-18).
123. Aoyama L., Bartolome J.W., Hallett L.M. Incorporating diversity measures into ecological site descriptions to manage biodiversity on heterogeneous landscapes//*Rangelands*. - 2020. - Vol. 42(4). - PP. 93-105.
124. Ecosystem Dynamics Interpretive Tool (EDIT). - URL: <https://edit.jornada.nmsu.edu> (Дата обращения 2023-12-21)
125. Brown J.R., Bestelmeyer B.T. Resolving Critical Issues for the Development of Ecological Site Descriptions: Summary of a Symposium//*Rangelands*. – 2008. - Vol. 30(4). - PP. 16-18.
126. Talbot C.J., Campbell S.B., Hansen M., Price A.B. Information technologies and ecological site descriptions//*Rangelands*. – 2010. - Vol. 32. - PP. 55-59.
127. Mikhailovich A.P., Fomin V.V. Quantitative Assessment of Forest–Tundra Patch Dynamics in Polar Urals Due to Modern Climate Change//*Forests*. - 2023. - №14(12):2340. - URL: <https://www.mdpi.com/1999-4907/14/12/2340>
128. Shiyatov S.G. Rates of Change in the Upper Treeline Ecotone in the Polar Ural Mountains//*Pages News*. - 2003. - Vol. 11, № 1. - PP. 8 - 10.
129. Shiyatov S.G., Terent'ev M.M., Fomin V.V., Zimmermann N.E. Altitudinal and horizontal shifts of the upper boundaries of open and closed forests in the Polar Urals in the 20th century//*Russian Journal of Ecology*. – 2007. - №38(4). – PP. 223 - 227.
130. Фомин В.В., Ундерских М.Г. Использование реанализов для оценки пространственно-временной динамики температуры воздуха на Урале и в Западной Сибири во второй половине XX - начале XXI веков//*Леса России и хозяйство в них*. - 2020. - № 3 (74). - С. 4 - 11.

131. Mamet S.D., Brown C.D., Trant A.J., Laroque C.P. Shifting global Larix distributions: Northern expansion and southern retraction as species respond to changing climate//Journal of Biogeography. – 2019. - № 46(1):1-15.
132. Aull'o-Maestro I., G'omez C., Hern'andez L., Camarero J.J., S'anchez-Gonz'alez M., Cañellas I., V'azquez de la Cueva A., Montes F. Monitoring montane-subalpine forest ecotone in the Pyrenees through sequential forest inventories and Landsat imagery//Annals of Forest Science. – 2023. - № 80:32. - URL: [https://www.researchgate.net/publication/372933278\\_Monitoring\\_montane-subalpine\\_forest\\_ecotone\\_in\\_the\\_Pyrenees\\_through\\_sequential\\_forest\\_inventories\\_and\\_Landsat\\_imagery](https://www.researchgate.net/publication/372933278_Monitoring_montane-subalpine_forest_ecotone_in_the_Pyrenees_through_sequential_forest_inventories_and_Landsat_imagery)
133. Devi N., Hagedorn F., Moiseev P., Bugmann H., Shiyatov S., Mazepa V., Rigling A. Expanding forests and changing growth forms of Siberian larch at the Polar Urals treeline during the 20th century//Global Change Biology. - 2008. - № 14(7). - PP. 1581 - 1591.
134. Holtmeier F.K., Broll, G. Treeline research-from the roots of the past to present time. A review//Forests. – 2020. – 11(1):38. - URL: [https://www.researchgate.net/publication/338189418\\_Treeline\\_Research-From\\_the\\_Roots\\_of\\_the\\_Past\\_to\\_Present\\_Time\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/338189418_Treeline_Research-From_the_Roots_of_the_Past_to_Present_Time_A_Review)  
(Дата обращения 2023-12-21)
135. Lackner G., Domine F., Nadeau D., Lafaysse M., Lackner G., Domine F., Nadeau D., Lafaysse, M., Dumont M., Lackner G. et al. Snow properties at the forest-tundra ecotone: predominance of water vapor fluxes even in deep, moderately cold snowpacks//The Cryosphere. - 2022. - №16. - PP. 3357 - 3373.
136. Fomin, V.V., Shiyatov, S.G. Factors determining the phenomena in the upper tree line ecotone in the Polar Urals mountains//Леса России и хозяйство в них. - 2021. - № 2(77). – С. 42 – 51.
137. Горчаковский П.Л., Шиятов С.Г. Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях. - М.: Наука, 1985. – 209 с.
138. Усольцев В.А., Нагимов З.Я. Методы таксации фитомассы деревьев: Методические указания для студентов-дипломников специальности 1512. - Свердловск: УЛТИ, 1988. - 43 с.
139. Усольцев В.А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев. - Красноярск: Наука, 1985. - 192 с.
140. Нагимов, З.Я. Закономерности роста и формирования надземной фитомассы сосновых древостоев: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.03. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2000. - 40 с.

141. Нагимов З.Я., Бабенко Т.С., Шевченко И.Г., Рахманов И.В., Моисеев П.А. Особенности роста и формирования фитомассы древостоев ели в высокогорьях Южного Урала (на примере г. Малый Ирмель//Хвойные бореальной зоны. - 2007. - Т. XXIV, № 4-5. - С. 427-430.
142. Усольцев В.А. Фитомасса модельных деревьев лесообразующих пород Евразии: база данных, климатически обусловленная география, таксационные нормативы. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2016. – 336 с.
143. Пирихалова-Карпова Н.Р., Карпов А.А., Козловский Е.Е., Грищенко М.Ю. Защита еловых лесов от вспышек *Ips tyrographus*//Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. - 2021. - № 4. - С. 55 - 67.
144. Ерицов А.М., Секерин И.М., Кректунов А.А., Залесов С.В. Особенности пожароопасного сезона 2022 г. в Курганской области//Лесной вестник / Forestry Bulletin. - 2023. - Т. 27, № 4. - С. 73 - 80.
145. Кузнецов Л.Е., Залесов С.В., Кректунов А.А., Секерин И.М. Оценка влияния лесных пожаров на качество воздуха в границах города Тюмени//Международный научно-исследовательский журнал. - 2023. - № 8 (134). - С. 1 - 6.
146. Кузнецов Л.Е., Залесов С.В., Кректунов А.А., Секерин И.М., Куксин Г.В. Анализ горимости лесов на территории Уральского Федерального округа//Международный научно-исследовательский журнал. - 2023. - № 11 (137). - URL: <https://research-journal.org/archive/11-137-2023-november/10.23670/IRJ.2023.137.43> (Дата обращения 2023-11-17)
147. Секерин И.М., Ерицов А.М., Кректунов А.А., Залесов С.В. Эффективный способ тушения торфяных пожаров в зимний период//Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. - 2023. - Вып. 245. - С. 23 - 35.
148. Годовалов Г.А., Залесов С.В., Секерин И.М. Пути совершенствования охраны лесов от пожаров и минимизации послепожарного ущерба//Оптимизация лесопользования: Материалы Всероссийской (национальной) науч.-практ. конф. с междунар. участием. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2023. - С. 355 - 359.
149. Куксин Г.В., Залесов С.В., Кректунов А.А., Кузнецов Л.Е., Секерин И.М., Щеплягин П.В. Необходимость оперативной ликвидации торфяных пожаров//Актуальные проблемы лесного комплекса: Сборник науч. трудов. Вып. 64. - Брянск: БГИТУ, 2023. - С. 70 - 72.
150. Кректунов А.А., Секерин И.М., Ерицов А.М., Залесов С.В. Организация противопожарного устройства территории лесного фонда//Леса России: политика,

промышленность, наука, образование: Материалы VIII Всероссийской науч.-техн. конф. - Санкт-Петербург: СПбЛТУ, 2023. - С. 263 - 265.

151. Кректунов А.А., Ефимов И.А., Васьков Я.Н., Залесов С.В. Анализ данных по способам обнаружения лесных пожаров на территории Свердловской области за период с 2014 по 2022 годы//Техносферная безопасность. - 2023. - № 2 (39). - С. 101 - 111.

152. Секерин И.М., Годовалов Г.А., Залесов С.В., Ерицов А.М., Кректунов А.А. Уточнение классификации природной пожарной опасности лесов на примере лесного фонда Свердловской области//Природообустройство. - 2023. - № 3. - С. 123 - 129.

153. Залесов С.В., Платонов Е.П., Платонов Е.Ю. Пожары и их последствия в Западной Сибири. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2022. - 191 с.

154. Оплетаев А.С., Жигулин Е.В., Залесов С.В. Опыт многоротационного выращивания контейнерного посадочного материала для искусственного лесовосстановления в теплицах с регулируемым микроклиматом//Хвойные бореальной зоны. - 2023. - Т. XLI, № 2. - С. 151 - 156.

155. Башегуров К.А., Белов Л.А., Залесов С.В., Осипенко А.Е., Попов А.С., Розинкина Е.П. Эффективность естественного и искусственного лесовосстановления на горах Западно-Сибирского северо-таежного равнинного лесного района//Леса России и хозяйство в них. - 2023. - № 2 (85). - С. 4 - 5.

156. Осипенко А.Е., Белов Л.А., Башегуров К.А., Залесов С.В. Приживаемость культур сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour.) в условиях Ханты-Мансийского автономного округа - Югры//Лесной вестник / Forestry Bulletin. - 2023. - Т. 27, № 5. - С. 92 - 99.

157. Осипенко А.Е., Залесов С.В. Разновозрастность сосновых древостоев как фактор гармонизации системы лесохозяйственных мероприятий в ленточных борах Алтайского края//Лесотехнический журнал. - 2023. - Т. 13, № 1 (49). - С. 129 - 145.

158. Залесов С. В., Осипенко А. Е., Толстиков А. Ю., Усов М.В., Гоф А.А., Савин В.В. Воспроизводство и омоложение ленточных боров Алтайского края. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2023. - 357 с.

159. Лескинен П., Линднер М., Веркерк П.Й., Набуурс Г.Я., Ван Брусселен Й., Куликова Е., Хассегава М., Леринк Б. Леса России и изменение климата. Что нам может сказать наука. - 2020. - URL: - [https://efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2021/efi\\_wsctu\\_11\\_2021\\_ru.pdf](https://efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2021/efi_wsctu_11_2021_ru.pdf) (Дата обращения 2023-11-17)

160. Данчева А.В. Залесов С.В., Назарова В.В. Оценка санитарного состояния березовых древостоев в лесопарках города Тюмени (на примере экопарка «Затюменский»)//Природообустройство. - 2023. - № 1. - С. 137 - 144.
161. Марковская А.Н. Мартюшов П.А., Мартюшова Е.Г., Бунькова Н.П., Залесов С.В. Натурализация подлесочных видов на примере лесопарка им. Лесоводов России//Актуальные проблемы лесного комплекса: Сборник науч. трудов. Вып. 63. - Брянск: БГИТУ, 2023. - С. 202 - 205.
162. Данчева А.В. Оценка состояния сосновых древостоев в городских лесах города Тюмени (на примере экопарка «Затюменский»)//Хвойные бореальной зоны. - 2023. - Т. ХLI, № 4. - С. 293 - 299.
163. Данчева А.В. Залесов С.В., Коровина В.С. Взаимосвязь таксационных показателей древостоев с их состоянием в сосновых насаждениях защитного назначения//Сибирский лесной журнал. - 2023. - № 4. - С. 58 - 63.
164. Годовалов Г.А., Залесов С.В., Сураев П.Н., Мишкина И.А. Критерии подбора насаждений для опытных рубок//Леса России и хозяйство в них. - 2023. - № 3. - С. 95 - 105.
165. Ван А.В., Сенькова Л.А., Залесов С.В., Гринев Л.В. Эколого-геологические аспекты научной основы рационального природопользования. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2023. - 184 с.
166. Залесов С.В., Мехренцев А.В., Секерин И.М. Необходимость создания предприятий утилизаторов низкокачественной древесины//Актуальные проблемы лесного комплекса: Сборник науч. трудов. Вып. 63. - Брянск: БГИТУ, 2023. - С. 36 - 38.
167. Панкратов В.К., Залесов С.В., Эбель А.В. Выбор интенсивности проведения рубок ухода в искусственных вязово-кленовых насаждениях//Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса: Материалы XIV Международной науч.-практ. конф. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2023. - С. 187 - 196.
168. Данчева А.В., Залесов С.В. Формирование рубками ухода биологически устойчивых сосняков защитного назначения в Северном Казахстане//Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. - 2023. - № 1. - С. 9 - 21.
169. Vachurina A.V., Zalesov S.V., Ayan S. Characteristics of plantations on disturbed lands in copper smelting zone in Urals, Russia//Forest. - 2022. - №73 (1). - С. 42 - 50.
170. Петров А.И. Залесов С.В., Котова В.С. Эффективность создания лесных культур сосны обыкновенной на дражных отвалах//Сибирский лесной журнал. - 2023. - № 3. - С. 15 - 20.

171. Петров А.И., Котова В.С., Осипенко Р.А., Залесов С.В. Лесохозяйственное направление рекультивации полигонов добычи россыпного золота//Леса России и хозяйство в них. - 2023. - № 2 (85). - С. 16 - 23.

172. Петров А.И., Котова В.С., Залесов С.В. Приживаемость и сохранность лесных культур сосны обыкновенной на дражных отвалах//Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы VIII Всероссийской науч.-техн. конф. - Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2023. - С. 325 - 327.

173. Розинкина Е.П., Башегуров К.А., Корчагин И.Е., Петров А.И., Морозов А.Е., Залесов С.В. Методические подходы к проблеме рекультивации нарушенных земель// Актуальные проблемы лесного комплекса: Сборник науч. тр. Вып. 63. - Брянск: БГИТУ, 2023. - С. 71 - 75.

174. Морозов А.Е., Белов Л.А., Башегуров К.А., Залесов С.В., Розинкина Е.П. Естественное зарастание песчаных карьеров в условиях Западно-Сибирского северо-таежного равнинного лесного района//Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. - 2023. - № 243. - С. 86 - 99.

175. Залесов С.В., Зарипов Ю.В., Осипенко Р.А. Опыт лесохозяйственного направления рекультивации нарушенных земель при разработке месторождений глины, хризотил-асбеста и редкоземельных руд. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2022. - 282 с.



## ПРИЛОЖЕНИЕ А

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

#### ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСНЫМИ РЕСУРСАМИ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К КЛАССИФИКАЦИИ ТИПОВ ЛЕСА В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

##### *WoS, Scopus Q1*

1. Mikhailovich A., Fomin V. Quantitative Assessment of Forest–Tundra Patch Dynamics in Polar Urals Due to Modern Climate Change // *Forests*. - 2023. - № 14, 2340.

##### *Журналы уровня белого списка*

##### *УБСЗ*

1. Фомин В.В., Иванова Н.С., Залесов С.В., Попов А.С., Михайлович А.П. Лесные типологии в Российской Федерации // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. – 2023. - № 6. - С. 9 - 22.

2. Данчева А.В., Залесов С.В. Формирование рубками ухода биологически устойчивых сосняков защитного назначения в Северном Казахстане // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. - 2023. - № 1. - С. 9 - 21.

##### *УБС4*

1. Ерицов А.М., Секерин И.М., Кректунов А.А., Залесов С.В. Особенности пожароопасного сезона 2022 г. в Курганской области // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*. - 2023. - Т. 27, № 4. - С. 73 - 80.

2. Секерин И.М., Ерицов А.М., Кректунов А.А., Залесов С.В. Эффективный способ тушения торфяных пожаров в зимний период // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. - 2023. - Вып. 245. - С. 23 - 35.

3. Секерин И.М., Годовалов Г.А., Залесов С.В., Ерицов А.М., Кректунов А.А. Уточнение классификации природной пожарной опасности лесов на примере лесного фонда Свердловской области // *Природообустройство*. - 2023. - № 3. - С. 123 - 129.

4. Осипенко А.Е., Белов Л.А., Башегуров К.А., Залесов С.В. Приживаемость культур сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour.) в условиях Ханты-Мансийского автономного округа - Югры // Лесной вестник / Forestry Bulletin. - 2023. - Т. 27, № 5. - С. 92 - 99.

5. Данчева А.В., Залесов С.В., Назарова В.В. Оценка санитарного состояния березовых древостоев в лесопарках города Тюмени (на примере экопарка «Затюменский») // Природообустройство. - 2023. - № 1. - С. 137 - 144.

6. Морозов А.Е., Белов Л.А., Башегуров К.А., Залесов С.В., Розинкина Е.П. Естественное зарастание песчаных карьеров в условиях Западно-Сибирского северо-таежного равнинного лесного района // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. - 2023. - № 243. - С. 86 - 99.

#### *Журналы, входящие в перечень ВАК*

1. Теринов Н.Н., Терехов Г.Г., Толкач О.В. Сохранность древостоев и лесообразовательный процесс после сплошных и выборочных рубок в производных мягколиственных насаждениях // Леса России и хозяйство в них. - 2023. - №4. - С. 18 - 27.

2. Фомин В.В., Залесов С.В., Агапитов Е.М., Рогачев В.Е., Михайлович А.П., Костоусова Е.А., Переходова Е.С., Марина Н.В., Лантинова А.В., Старыгин Л.А., Дрикер Б.Н., Суханов М.П., Рогачев Л.Е., Демьяненко Н.М., Платонов Е.П. Научные исследования и разработки Уральского государственного лесотехнического университета в области климатических проектов // Леса России и хозяйство в них. - 2023. - №4. - С. 4 - 17.

3. Кузнецов Л.Е., Залесов С.В., Кректунов А.А., Секерин И.М. Оценка влияния лесных пожаров на качество воздуха в границах города Тюмени // Международный научно-исследовательский журнал. - 2023. - № 8 (134). - С. 1 - 6.

4. Кузнецов Л.Е., Залесов С.В., Кректунов А.А., Секерин И.М., Куксин Г.В. Анализ горимости лесов на территории Уральского Федерального округа // Международный научно-исследовательский журнал. - 2023. - № 11 (137). - URL: <https://research-journal.org/archive/11-137-2023-november/10.23670/IRJ.2023.137.43>

5. Кректунов А.А., Ефимов И.А., Васьков Я.Н., Залесов С.В. Анализ данных по способам обнаружения лесных пожаров на территории Свердловской области за период с 2014 по 2022 годы // Техносферная безопасность. - 2023. - № 2 (39). - С. 101 - 111.

6. Оплетаев А.С., Жигулин Е.В., Залесов С.В. Опыт многоротационного выращивания контейнерного посадочного материала для искусственного

лесовосстановления в теплицах с регулируемым микроклиматом // Хвойные бореальной зоны. - 2023. - Т. XLI, № 2. - С. 151 - 156.

7. Башегуров К.А., Белов Л.А., Залесов С.В., Осипенко А.Е., Попов А.С., Розинкина Е.П. Эффективность естественного и искусственного лесовосстановления на гарях Западно-Сибирского северо-таежного равнинного лесного района // Леса России и хозяйство в них. - 2023. - № 2 (85). - С. 4 - 5.

8. Осипенко А.Е., Залесов С.В. Разновозрастность сосновых древостоев как фактор гармонизации системы лесохозяйственных мероприятий в ленточных борах Алтайского края // Лесотехнический журнал. - 2023. - Т. 13. № 1 (49). - С. 129 - 145.

9. Данчева А.В. Залесов С.В., Коровина В.С. Взаимосвязь таксационных показателей древостоев с их состоянием в сосновых насаждениях защитного назначения // Сибирский лесной журнал. - 2023. - № 4. - С. 58 - 63.

10. Годовалов Г.А., Залесов С.В., Сураев П.Н., Мишкина И.А. Критерии подбора насаждений для опытных рубок // Леса России и хозяйство в них. - 2023. - № 3. - С. 95 - 105.

11. Петров А.И. Залесов С.В., Котова В.С. Эффективность создания лесных культур сосны обыкновенной на дражных отвалах // Сибирский лесной журнал. - 2023. - № 3. - С. 15 - 20.

12. Петров А.И., Котова В.С., Осипенко Р.А., Залесов С.В. Лесохозяйственное направление рекультивации полигонов добычи россыпного золота // Леса России и хозяйство в них. - 2023. - № 2 (85). - С. 16–23.

#### *Монографии*

1. Залесов С.В., Осипенко А.Е., Толстиков А.Ю., Усов М.В., Гоф А.А., Савин В.В. Воспроизводство и омоложение ленточных боров Алтайского края. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2023. - 357 с.

2. Ван А.В., Сенькова Л.А., Залесов С.В., Гринец Л.В. Эколого-геологические аспекты научной основы рационального природопользования. - Екатеринбург: УГЛТУ. 2023. - 184 с.

#### *Доклады по теме научного исследования на российских и международных научных (научно-технических) семинарах и конференциях*

1. Годовалов Г.А., Залесов С.В., Секерин И.М. Пути совершенствования охраны лесов от пожаров и минимизации послепожарного ущерба // Оптимизация

лесопользования: Материалы Всероссийской (национальной) науч.-практ. конф. с междунар. участием. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2023. - С. 355 - 359.

2. Кректунов А.А., Секерин И.М., Ерицов А.М., Залесов С.В. Организация противопожарного устройства территории лесного фонда // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы VIII Всероссийской науч.-техн. конф. - Санкт-Петербург: СПбЛТУ, 2023. - С. 263 - 265.

3. Панкратов В.К., Залесов С.В., Эбель А.В. Выбор интенсивности проведения рубок ухода в искусственных вязово-кленовых насаждениях // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса: Материалы XIV Международной науч.-практ. конф. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2023. - С. 187 - 196.

4. Петров А.И., Котова В.С., Залесов С.В. Приживаемость и сохранность лесных культур сосны обыкновенной на дражных отвалах // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы VIII Всероссийской науч.-техн. конф. - Санкт-Петербург: СПбЛТУ, 2023. - С. 325 - 327.

5. Григорьев А. А., Громов А. М., Шалаумова Ю. В., Моисеев П. А., Вьюхин С. О., Балакин Д. С., Тимофеев А. С. Пространственно-временная динамика древесной и кустарниковой растительности в высокогорьях приполярного и полярного Урала // Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана. IV Всероссийская научная конференция. – Сыктывкар: ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2023. – С. 545-549.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

**Рецензируемые доклады в основной программе конференции по тематической области Computer Science уровня А и А\* по рейтингу CORE, принятые в публикацию в сборниках конференций (справочное)**

ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ  
РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ  
ЛЕСНЫМИ РЕСУРСАМИ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К  
КЛАССИФИКАЦИИ ТИПОВ ЛЕСА В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ  
КЛИМАТА И АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

*Конференции уровня А\* по рейтингу CORE*

1. Mikhailovich A.P., Fomin V.V., Agapitov E.M., Rogachev V.E., Kostousova E.A., Perekhodova E.S. Spatio-Temporal Dynamic of Woody Vegetation Assessment Using Oblique Landscape Photographs // XVIII. International Data Mining Conference. – 2024. – p. 38

2. Mikhailovich A.P., Fomin V.V., Agapitov E.M., Rogachev V.E., Kostousova E.A., Perekhodova E.S. Reconstruction of Age-Related Generations of Siberian Larch to Quantify the Climatogenic Dynamics of Woody Vegetation Close the Upper Limit of Its Growth// XVIII. International Data Mining Conference. – 2024. – p. 25

**INTERNATIONAL  
RESEARCH  
CONFERENCE**

**ACCEPTANCE AND INVITATION LETTER**

Prof. Dr. Valery Fomin  
Ural State Forest Engineering University  
Russia

December 16, 2023

Herewith, the international scientific committee is pleased to invite you for Poster presentation at ICDM 2024: XVIII. International Conference on Data Mining to be held in Istanbul, Türkiye during July 29-30, 2024

**Visa Requirements:**

Many delegates will require advance visa arrangements to enter the conference host country. You are kindly requested to submit a complete and accurate visa application to the consulate or embassy of the conference host country located in your country of residence. Please apply for your visa in due time and at your own responsibility. We look forward to your participation in the ICDM 2024: XVIII. International Conference on Data Mining.

Sincerely,



International Scientific Committee  
ICDM 2024 Istanbul, Türkiye  
<https://waset.org/data-mining-conference-in-july-2024-in-istanbul>