



Фонд содействия устойчивому развитию

«Серебряная тайга»

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ДОКЛАД

**Адаптация лесного сектора Республики Коми к изменениям климата
на основе анализа информации о среднесрочных (20-40 лет) прогнозных
сценариях изменения климата в регионе**

Исполнитель - к. с.-х. наук Паутов Ю.А.

При подготовке доклада использованы материалы

кандидата геогр. наук - А.А. Братцева,

кандидата биол. наук - Н.В. Торлоповой,

А.Ю. Боровлева.

Сыктывкар, 2022

Содержание

1.	Глобальные изменения климата.....	3
1.1.	Какие изменения климата уже доказаны инструментально.....	3
1.2.	Экономический ущерб от глобального изменения климата.....	6
1.3.	Глобальные модели и прогнозы изменения климата на Земле	7
2.	Наблюдаемые изменения климата в Республике Коми	10
3.	Наблюдаемые изменения лесного и растительного покрова	16
4.	Изменение климата и основные угрозы для лесного сектора Республики Коми...18	
4.1.	Повышение пожароопасности и горимости лесов.	18
4.2.	Увеличение количества экстремальных погодных явлений: волны жары, засухи, ветровалы, наводнения, снеголомы, ожеледь.	20
5.	Адаптация лесного сектора Республики Коми к изменениям климата.....	28
5.1.	Стратегия адаптации лесного хозяйства	29
	Таблица 5.2	32
5.2.	Развитие лесной инфраструктуры.....	40
6.	Заключение	42
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	43

1. Глобальные изменения климата.

Климат планеты Земля формируется под воздействием самых разнообразных факторов – от изменения солнечной радиации до вулканической активности. Но современная наука однозначно подтвердила, что наблюдаемые за последние полвека климатические изменения обусловлены именно деятельностью человека. Образно можно сравнить наблюдаемые изменения климата с движением огромного круизного лайнера, который медленно набирает скорость, но, когда наберет, его уже тяжело остановить, а тем более развернуть в обратную сторону.

1.1. Какие изменения климата уже доказаны инструментально.

Средняя глобальная температура 2019 года была на $1,1 \pm 0,1$ градуса Цельсия выше доиндустриального уровня. Последние пять лет были самым теплым пятилетием за весь период наблюдений, а последние десять - самым теплым десятилетием. С 1980-х годов прошлого века каждое следующее десятилетие было теплее любого предыдущего за весь период с 1850 года.

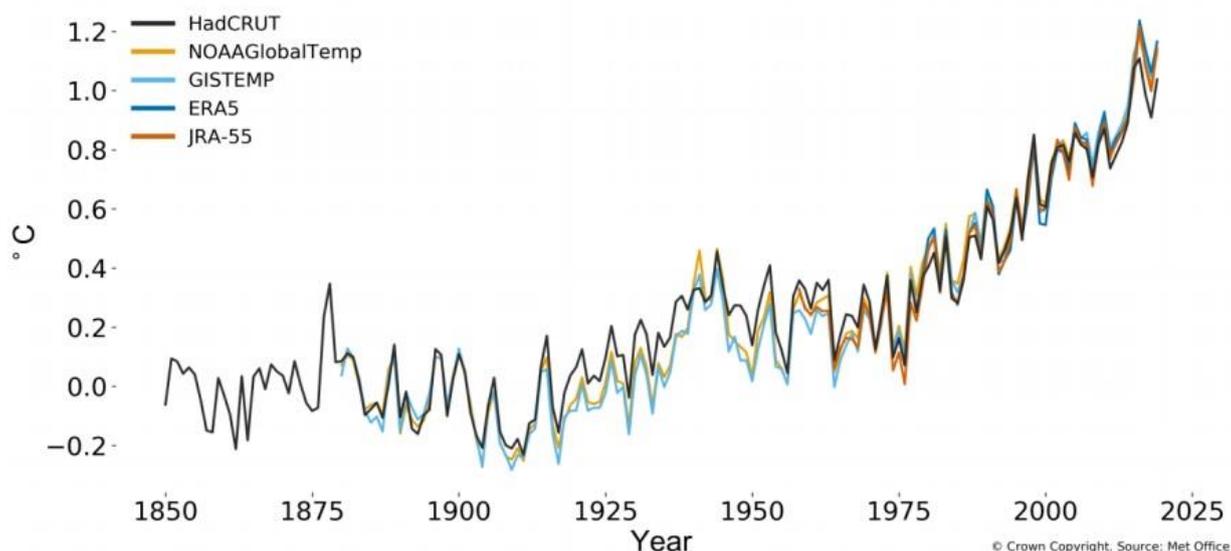


Figure 1: Global annual mean temperature difference from pre-industrial conditions (1850-1900, °C). The two reanalyses (ERA5 and JRA55) are aligned with the in-situ datasets (HadCRUT, NOAA GlobalTemp and GISTEMP) over the period 1981-2010. 2019 is the average for January to October.

Рис. 1.1. Глобальный рост температуры по данным разных источников (Источник – Википедия)

Глобальные концентрации парниковых газов в атмосфере достигли в 2019 году рекордных уровней, что составляет 147% от доиндустриального уровня. Концентрации

метана и оксида азота, которые также являются важнейшими парниковыми газами, тоже достигли рекордных уровней в 2018 году.

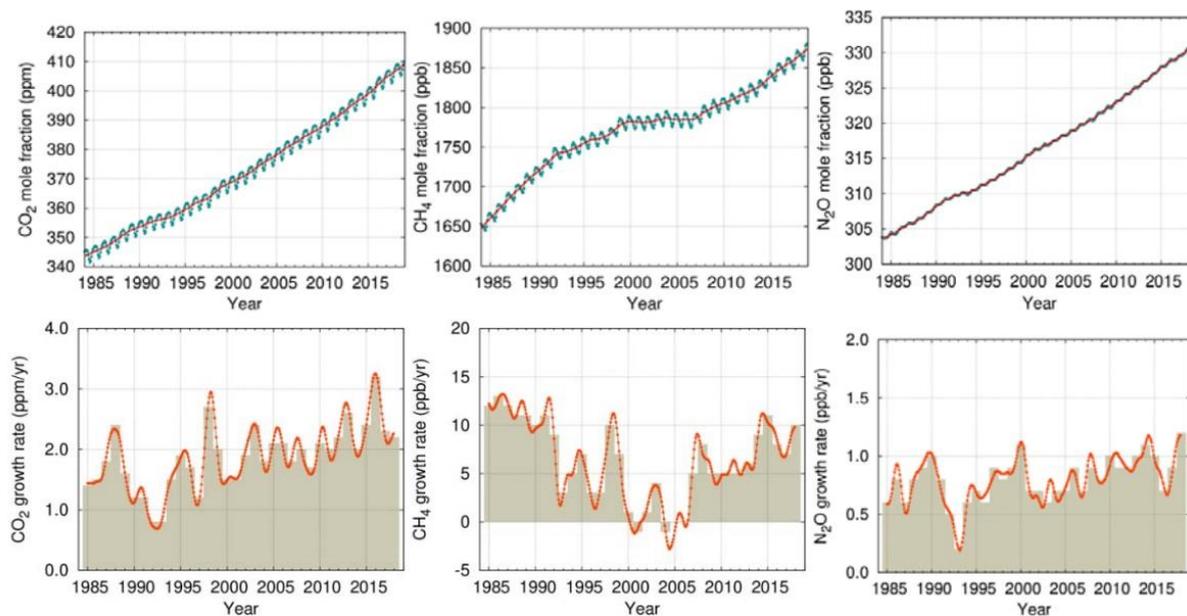


Figure 3 Top row: Globally averaged mole fraction (measure of concentration), from 1984 to 2018, of CO₂ in parts per million (left), CH₄ in parts per billion (centre) and N₂O in parts per billion (right). The red line is the monthly mean mole fraction with the seasonal variations removed; the blue dots and line show the monthly averages. Bottom row: the growth rates representing increases in successive annual means of mole fractions for CO₂ in parts per million per year (left), CH₄ in parts per billion per year (centre) and N₂O in parts per billion per year (right) (Source: WMO Global Atmosphere Watch).

Рис. 1.2. Рост концентрации (вверху) и скорость роста концентрации (внизу), слева направо - углекислого газа, метана и оксида азота. (источник – Википедия):

Океан поглощает более 90% дополнительного тепла, удержанного земной атмосферой из-за роста концентрации парниковых газов. За весь период наблюдений уровень моря в целом рос, но сейчас он растет быстрее из-за таяния ледниковых щитов Гренландии и Антарктики. В 2019 г. средний глобальный уровень океана достиг самых высоких значений за весь период точных альтиметрических наблюдений (с января 1993 года).

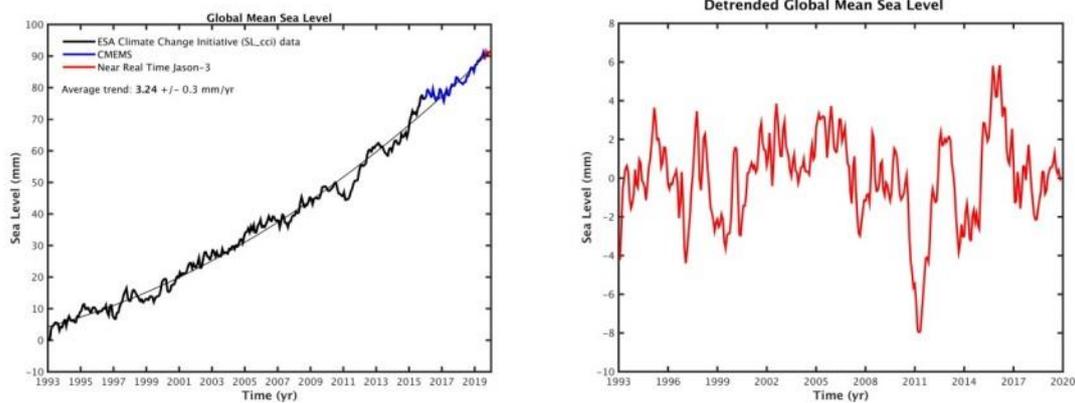
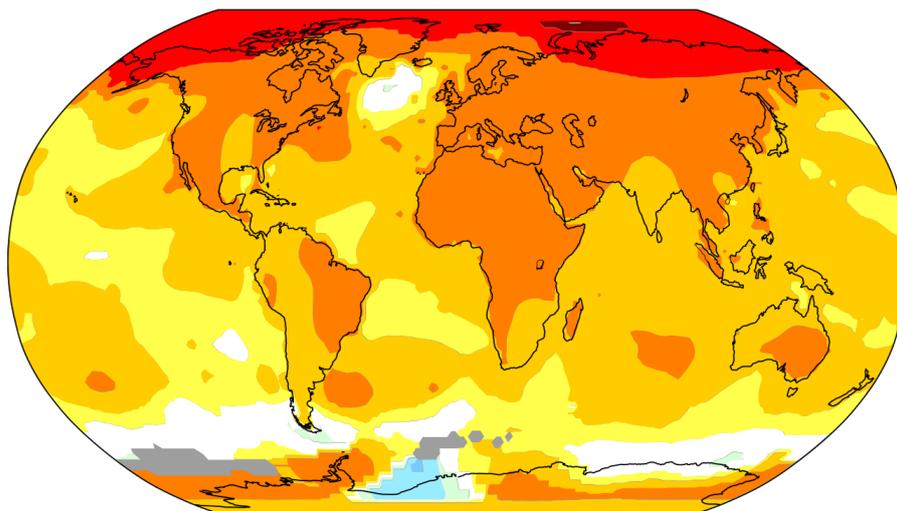


Figure 6: Global mean sea level evolution for January 1993–October 2019 from high-precision altimetry. The thin black curve is a quadratic function that best fits the data. (right) Detrended global mean sea level over the same period (the difference between the smooth quadratic function and the measured values in the left panel).

Рис. 1.3. Рост глобального уровня мирового океана (слева) и межгодовые колебания уровня за вычетом этого роста (справа) (Источник – Википедия)

Temperature change in the last 50 years



2011–2021 average vs 1956–1976 baseline (°C)



-1.0° -0.5° -0.2° +0.2° +0.5° +1.0° +2.0° +4.0°

Рис. 1.4. Средние глобальные температуры с 2011 по 2020 год в сравнении с базовым средним показателем с 1951 по 1980 год (Источник – Википедия)

1.2. Экономический ущерб от глобального изменения климата

Изменчивость климата и экстремальные погодные явления входят в число главных причин растущего в мире голода и продовольственных кризисов наряду с войнами и спадами в экономике.

За 50-летний период количество бедствий увеличилось в пять раз, что связано с изменением климата, увеличением числа экстремальных погодных явлений и повышением качества отчетности. С 1970 по 2019 год на опасные метеорологические, климатические и гидрологические явления пришлось 50 % всех бедствий, 45 % всех зарегистрированных смертей и 74 % всех зарегистрированных экономических потерь.

В течение 50-летнего периода **средний ежедневный объем наносимого ущерба** достигал 200 миллионов долларов США. Размер экономических потерь вырос в семь раз с 1970-х по 2010-е годы. Размер потерь, зарегистрированных в 2010 – 2019 годах, семикратно превышает этот же показатель за 1970 – 1979 годы (49 миллионов долларов США).

С начала нашей эры такого масштабного глобального изменения климата, как сейчас, не было. В прошлом, в том числе за время существования человечества, изменения были и более значительными по величине, но нет никаких свидетельств изменений, происходивших с такой скоростью.

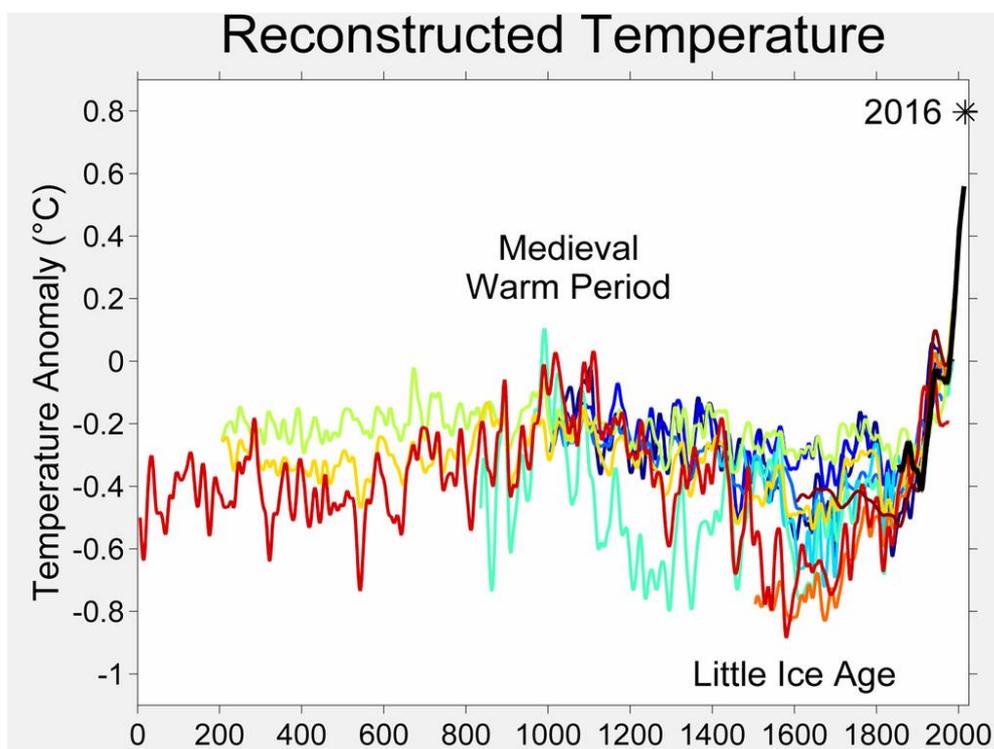


Рис. 1.5. Реконструкция средней температуры за последние две тысячи лет (Источник - Википедия):

1.3. Глобальные модели и прогнозы изменения климата на Земле

Накануне саммита глав государств и правительств в Глазго в декабре 2021 г. по проблемам глобального изменения климата был опубликован Шестой Доклад Международной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК – IPCC), в котором приведены уточненные прогнозы изменения климата на планете при различных сценариях реагирования на этот вызов со стороны человеческой цивилизации: от наиболее благоприятного - RCP 2.6, если меры по снижению выбросов парниковых газов будут приняты немедленно, до самого мрачного - RCP 8.5, если человечество не изменит существующую модель поведения (рис. 1.6). Всего в докладе рассматриваются пять основных сценариев будущего изменения климата в связи с масштабами влияния на него человека. В случае реализации сценария низкой эмиссии парниковых газов к концу XXI века средняя глобальная температура будет выше, чем в 1850–1900 годах, на 1–1,8°C, для сценария среднего уровня эмиссии она увеличится на 2,1–3,5°C. При очень высоком уровне выбросов парниковых газов увеличение будет драматическим — на 3,3–5,7°C. Необходимо отметить, что в последний раз глобальная температура увеличивалась на 2,5°C и выше более 3 миллионов лет назад. Отмечаемые сегодня концентрации углекислого газа

в атмосфере не были выше, чем за последние 2 млн лет, метана и закиси азота – за 800 тыс. лет.

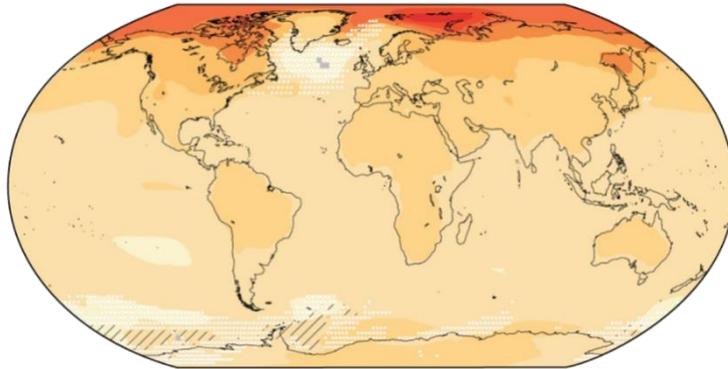
На основе данных сценариев было также рассчитано изменение уровня океана (рис 1.7).

Общий вывод Шестого доклада таков: положение серьезное, и необходимы срочные меры по снижению выбросов. При условии развития цивилизации по сценарию низких эмиссий эффект будет заметен примерно через два десятилетия.

По итогам саммита в Глазго приняты рекомендации по снижению уровней выбросов парниковых газов и достижению «климатической нейтральности». Разные страны приняли на себя обязательства достичь «климатической нейтральности» в горизонте 2040-2060 г. и даже позже. В частности, Россия обязалась снизить выбросы парниковых газов и достичь климатической нейтральности к 2060 г. При этом эксперты отмечают, что даже если выбросы парниковых газов стабилизируются или снизятся, инерционная климатическая система Земли не сможет мгновенно вернуться в свое «доиндустриальное» состояние: нагретый океан будет продолжать оказывать свое отепляющее воздействие, глобальная температура будет расти, ледники и вечная мерзлота – таять, уровень моря – подниматься (О. Соломина, 2021). Согласно разработанным прогнозным моделям, поверхность суши будет продолжать нагреваться в 1,4–1,7 раза сильнее, чем поверхность океана. Потепление в Арктике прогнозируется в два раза более сильное, чем в среднем по Земле. Северный ледовитый океан и Арктика в целом, вероятно, будут практически свободны от морского льда ежегодно в сентябре по крайней мере один раз до 2050 года при любом из пяти рассмотренных сценариев.

Projected Change in Temperatures by 2090

If CO₂ emissions peak by 2020 and drop to zero by 2080 (RCP 2.6)



If CO₂ emissions triple by 2080 (RCP 8.5)

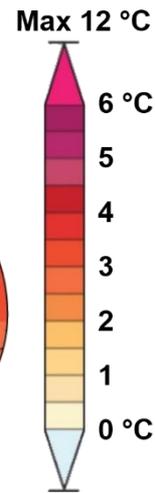
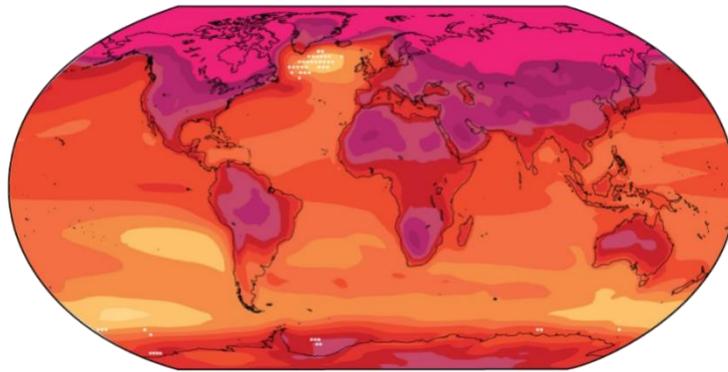


Рис 1.6. Климат земли в 2090 году, по сценариям RCP 2.6 и RCP 8.5

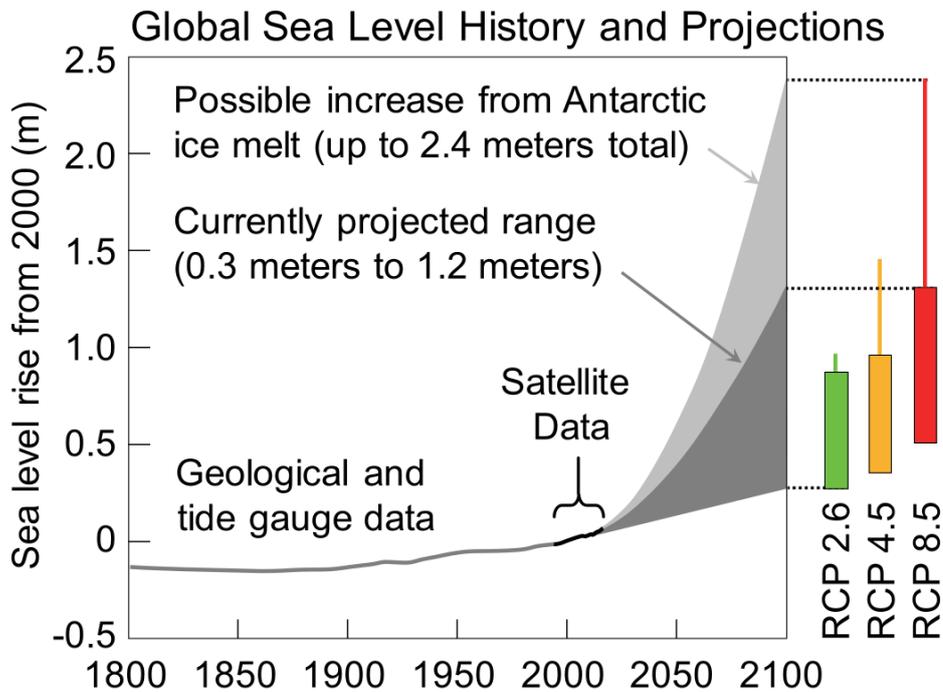


Рис. 1.7. Повышение уровня моря по разным сценариям IPCC

2. Наблюдаемые изменения климата в Республике Коми

Климатическая система Планеты Земля едина, поэтому нельзя ожидать, что в отдельных регионах глобальные изменения климата будут существенно отличаться или происходить по другим сценариям. Анализ многолетних инструментальных наблюдений за погодой в границах республики подтверждает это.

На территории Республики Коми расположены три метеостанции с продолжительным периодом наблюдений. Это Усть-Цильма, Троицко-Печорск и Сыктывкар. На рис. 2.1. показаны изменения среднегодовой температуры воздуха по этим метеостанциям за период с 1888 г.

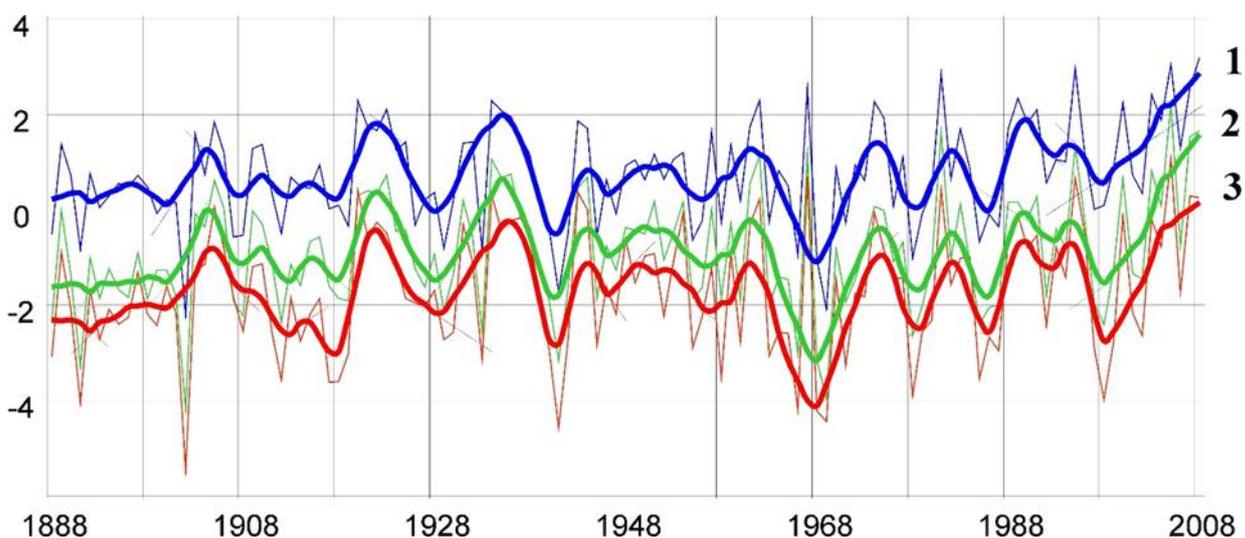


Рис. 2.1. Колебания среднегодовой температуры воздуха с 1888 по 2008 гг. 1 – Сыктывкар, 2 – Троицко-Печорск, 3 – Усть-Цильма.

Приведенные данные убедительно подтверждают соответствие региональных климатических изменений общепланетарной тенденции изменения климата.

На рис. 2.2. приведены сглаженные графики среднемесячных температур воздуха за рассмотренный период. На основе этих данных можно сделать следующие выводы. Мартовские температуры находятся в фазе роста с начала 1940-х годов примерно на $0,5^{\circ}$ в десятилетие. Отчетливая тенденция роста температур характерна для декабря в течение всего периода инструментальных наблюдений. Температуры апреля, мая, июня, июля и сентября не имеют явно выраженной тенденции к изменению, либо она весьма незначительна. Наконец, на графиках хода средней температуры августа и ноября можно наблюдать небольшую тенденцию к снижению температуры воздуха.

Более наглядно повышение среднегодовых температур в Республике Коми за последние 60 лет заметно на усредненных погодичных диаграммах – теплокартах температур (рис. 2.3).

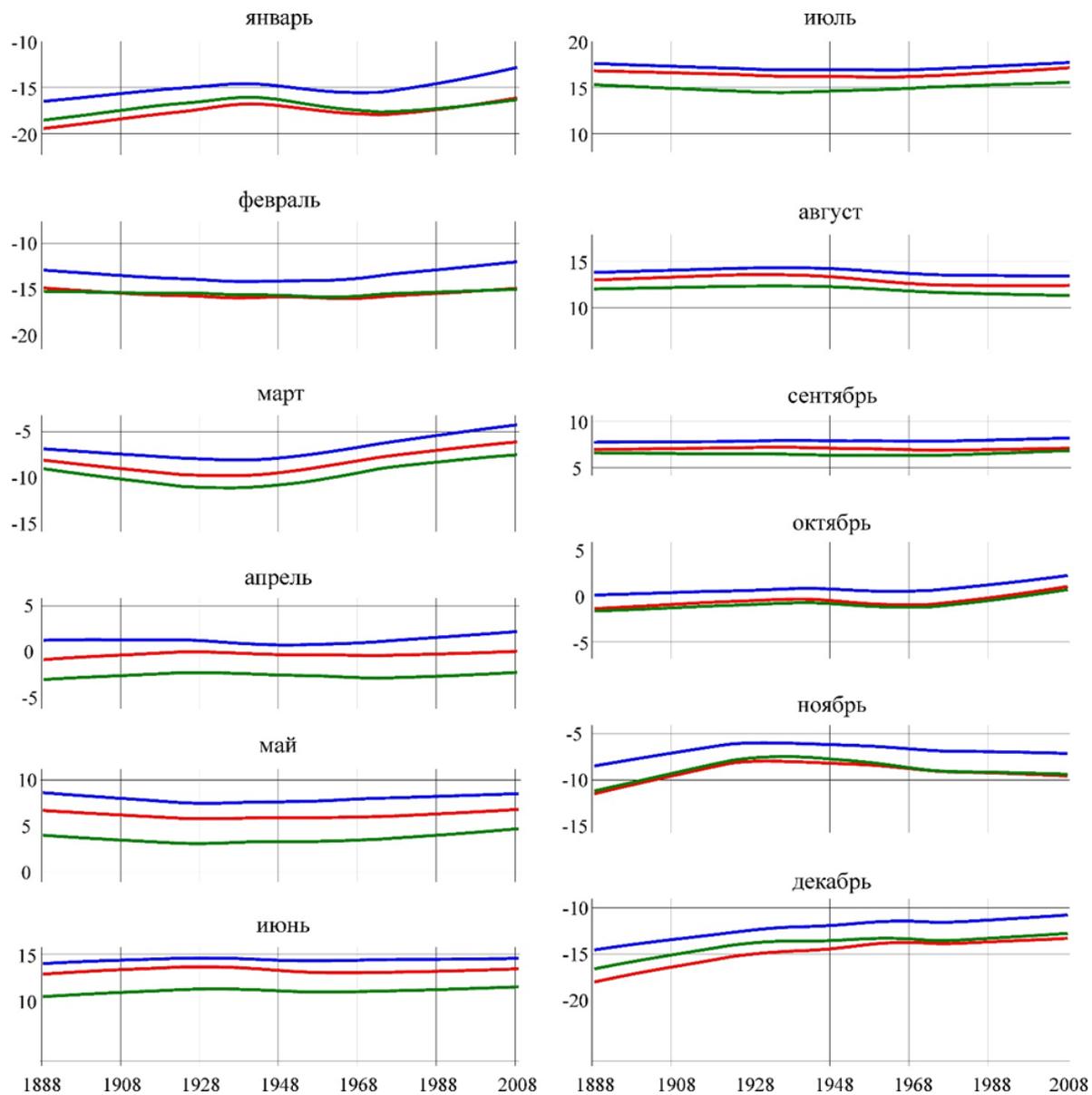
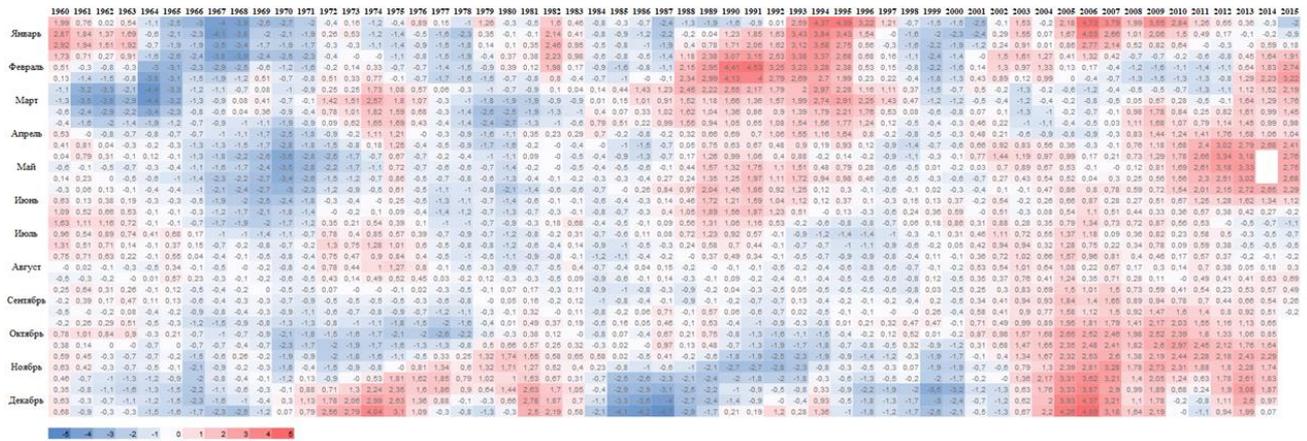
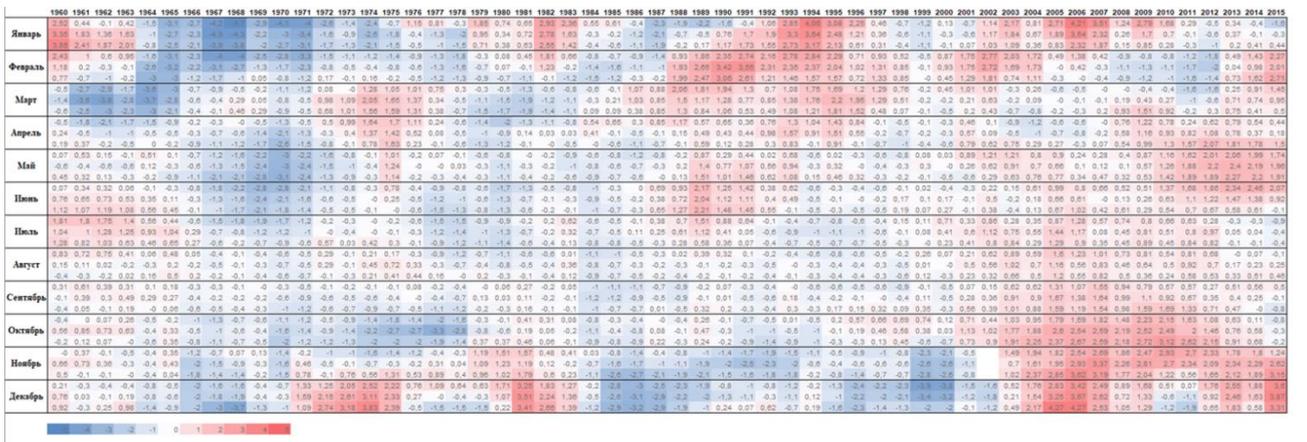


Рис. 2.2. Сглаженные графики изменения температуры воздуха по месяцам за период инструментальных наблюдений в Республике Коми.

Усть-Цильма



Сыктывкар



Троицко-Печорск

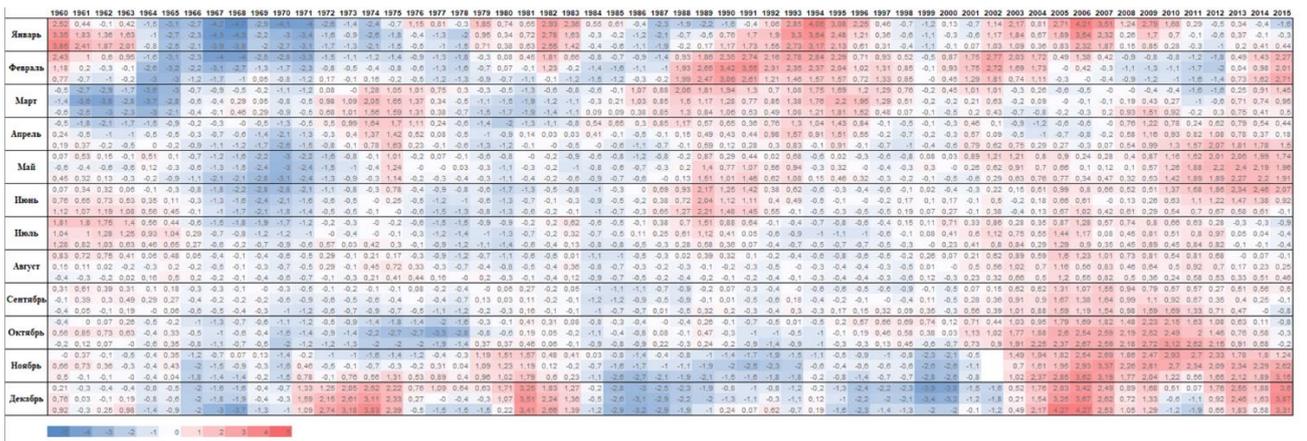


Рис 2.3. Диаграммы (теллокармы) среднегодовых температур за период с 1960 по 2015 г. по метеостанциям Усть-Цильма, Сыктывкар и Троицко-Печорск.

Аналогично температуре воздуха наблюдаются изменения среднегодового количества осадков (рис. 2.4), за последний 60-летний период количество осадков увеличилось на 80 мм (18%). При этом отмечено также перераспределение осадков внутри года: за 60 лет количество твердых осадков (в холодный период) увеличилось на 28%, в теплый период года количество осадков (преимущественно жидких) приросло в среднем на 10,5%. В зимние месяцы осадки выросли на 32,1%, весной на 17,7%, летом на 7,1% и осенью на 15,7%. Максимум прироста осадков за 60 лет в декабре – 40,1%. Минимум прироста в сентябре – 5,6%.

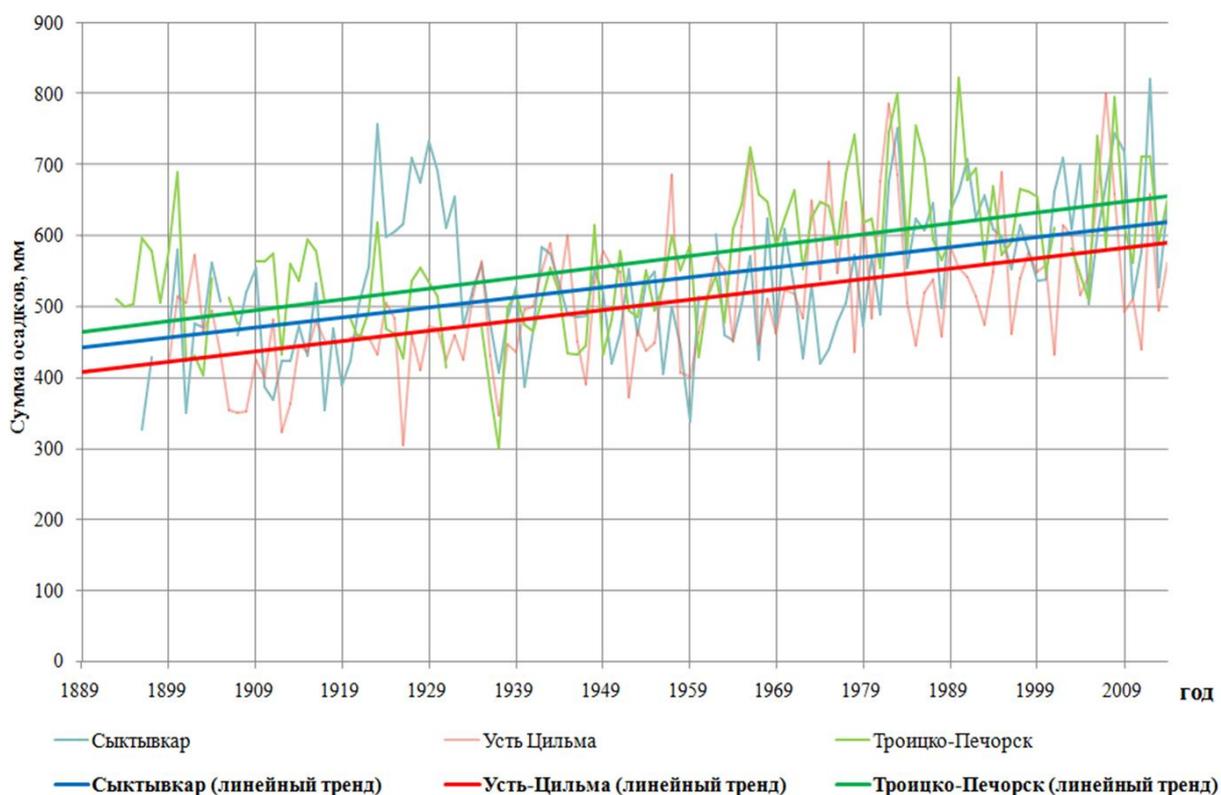


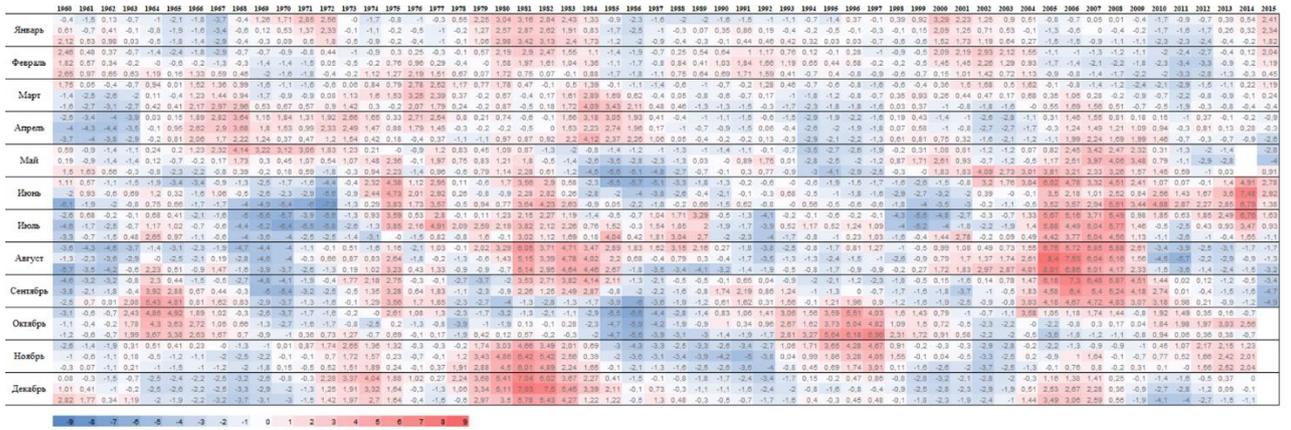
Рис 2.4. Изменение среднегодовых сумм осадков за весь период инструментальных наблюдений

Более наглядно ежемесячное изменение сумм осадков за последние 60 лет приведено на рис. 2.5. Из данной диаграммы хорошо заметно, что наибольший прирост осадков в зимние месяцы зафиксирован в Сыктывкаре, а в весенне-летний сезон – в Усть-Цильме. Необходимо отметить, что общая тенденция увеличения количества осадков зафиксирована для всего северо-запада России, но в Коми она проявляется на 3-5% сильнее, что связывают с влиянием Уральских гор на глобальные циклонические процессы.

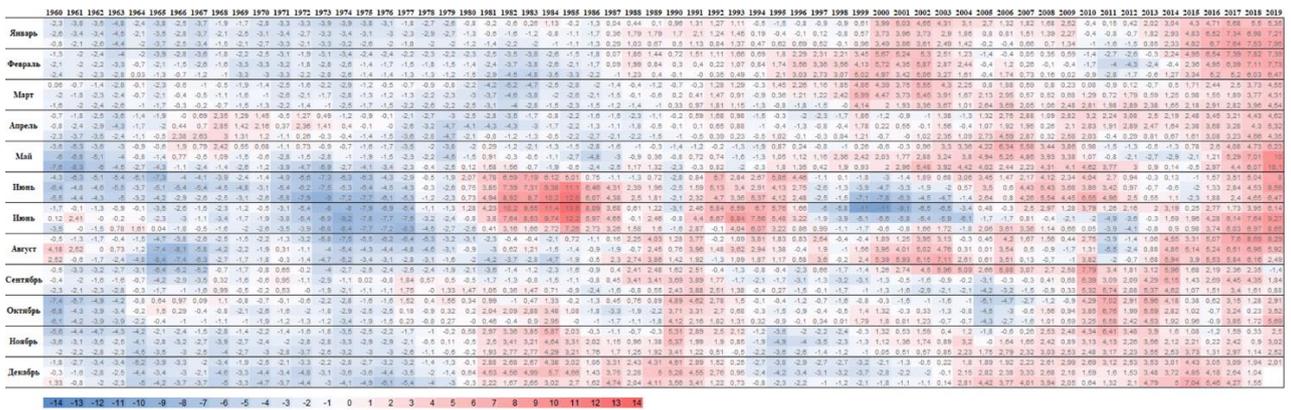
На северо-востоке ЕЧР (в том числе на территории Республики Коми) в среднесрочной перспективе (до 2060 г.) сценарии изменения климата показывают увеличение

среднегодовой температуры более чем на 4 °С. Прогнозируется увеличение количества накопленных осадков (на 200-300 мм/год), при этом будет удлиниться продолжительность периодов без осадков (Leskinen et al., 2020).

Усть-Цильма



Сыктывкар



Вышеуказанные изменения климата влекут за собой биотические и абиотические последствия, изменения в лесном хозяйстве и лесном секторе экономики.

3. Наблюдаемые изменения лесного и растительного покрова

В начальный период голоцена сразу после отступления ледника – 12 тыс. лет назад – наблюдались очень медленные изменения растительного покрова, но затем в Атлантический период голоцена 5-3 тыс. лет назад при повышении температуры и влажности воздуха климатологи отмечают очень быстрое изменение растительных зон. В центральной части Республики Коми на широте Ухты, где сейчас находится северная граница средней подзоны тайги, в образцах торфа верховых болот находят пыльцу вяза, дуба, липы, т.е. типичных представителей современной южной подзоны тайги, встречающихся сегодня только на самом юге республики.

Наблюдаемые в последние десятилетия повышения среднегодовых температур и прогнозы изменения климата также позволяют говорить о смещении лесорастительных зон к северу. Однако пока такие изменения фиксируются не повсеместно.

Отдельные исследования посвящены наблюдениям за изменениями границ леса, в частности, для Севера Европейской части России это граница между лесной и тундровой зонами. Обнаружены локальное продвижение границы леса в экотоне тайга-тундра на Полярном Урале со смещением на север на 3,2–5,8 метра в год и вертикальным смещением на 0,3–0,4 метра в год (Шиятов и др., 2005), изменения границы леса в экотонных зонах Приполярного Урала (Елсаков, Марущак, 2011), продвижение границы леса вверх на Южном Урале (Капралов и др., 2007), изменения экотонных зон Мезенской тундры (Елсаков, 2014).

Для подобных оценок применяются методы дистанционного зондирования с использованием индексов NDVI. Путем эмпирико-статистического моделирования растительной зональности спрогнозировано смещение растительных зон на период 2046-2064 гг.: на месте как средней, так и северной тайги будет преимущественно южная тайга (Сурина, Сеньков, 2018). Как считают авторы, смещение растительных зон с юга на север должно способствовать повышению продуктивности лесов на территории средней и северной тайги, росту лесистости северной тайги.

Однако, пока такой оптимизм не подтверждается. Анализ региональных межгодовых изменений индекса NDVI по космоснимкам показал, что за период с 2000 по 2016 гг. на Севере ЕЧР на 80% преобладают участки с несущественными изменениями (Елсаков, 2017). Климатические модели показывают, что зона тайги будет смещаться на север со скоростью 5 км в год, в то время как наблюдаемая средняя скорость миграции деревьев не

превышает 200–300 м в год. Основная причина – инертность экосистем болот и ерниковых тундр, накопивших большие запасы торфа, который разлагается очень медленно. Таким образом, для распространения лесов на север в лесотундру и тундру потребуются столетия.

Согласно моделям, основанным на климатических сценариях RCP 4.5 и RCP 8.5, изменения климата могут иметь позитивный эффект на рост леса и прирост запаса в модельных древостоях. Различия в реакции разных видов деревьев увеличиваются со временем и выраженностью климатических изменений. Прирост ели может даже уменьшиться в Архангельской области в результате изменения климата, особенно при потеплении до 8.5 С. (Kellomäki, 2007).

Воздействие изменения климата на леса зависит как от величины потепления, так и от буферного потенциала лесных экосистем. Леса таежной зоны в основной своей части эволюционно адаптировались к устойчивому холодному климату, что создает дополнительные риски, связанные с потеплением. Предполагается, что прогнозируемые климатические изменения существенным образом скажутся на структурных и функциональных характеристиках лесного покрова, что может привести к значительному ухудшению пожарных режимов в лесах.

Как показывают модели, при региональном потеплении порядка 6–7 градусов следует ожидать достижения критического предела в функционировании бореальных лесных экосистем, превышение которого приведет к массовому отпаду деревьев. Если только пороговые значения устойчивости будут перейдены, этот процесс может быть достаточно быстрым, и значительная трансформация бореальных лесов может совершиться в течение 50-летнего периода. Причины повышенной смертности деревьев вызваны увеличивающимся водным стрессом и высокими пиковыми температурами, которые вызывают повышенный отпад непосредственно, а также косвенно, за счет повышения уязвимости бореальных лесных экосистем от болезней и вредителей, а также вследствие ухудшения пожарных режимов.

4. Изменение климата и основные угрозы для лесного сектора Республики Коми

Как уже отмечено ранее, изменение климата происходит в глобальном, общемировом масштабе, однако на севере России, в т.ч. в Республике Коми, наблюдаемые изменения происходят примерно в 2 раза интенсивнее, чем в среднем по планете. Рассмотрим основные угрозы лесному сектору региона, связанные с наблюдаемыми и прогнозируемыми изменениями климата.

4.1. Повышение пожароопасности и горимости лесов.

Прогнозные особенности климата и увеличение количества растительных горючих материалов определяют существенное усиление пожарной опасности в лесах России, возрастающее к концу столетия. Современные модельные представления о будущих пожарных режимах на большей части территории России предполагают удвоение числа пожаров к концу нынешнего века. Уже сейчас наблюдается возрастание количества катастрофических пожаров, выходящих из-под контроля, существенное увеличение интенсивности пожаров, а также возрастание количества и изменение газового состава пожарных эмиссий вследствие усиления почвенного горения. Во многих районах возрастет число пожаров от молний. Учащающиеся случаи жары и периодов засухи приводят к пересыханию подстилки и почвы, что, в свою очередь, приводит к увеличению количества пожароопасных дней и лесных горючих материалов, повышает вероятность возникновения катастрофических лесных пожаров (Росгидромет, 2014). В последние годы пожары в бореальной зоне являются основной причиной гибели лесов не только в России, но и в Канаде, США, Австралии.

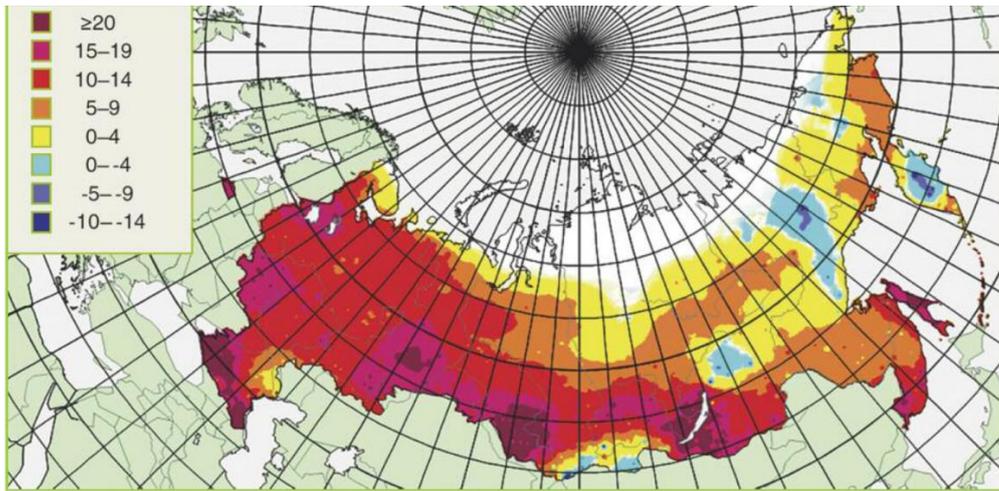


Рис. 4.1. Перспективная оценка числа пожароопасных суток (с индексом Нестерова больше 1000) в мае–сентябре 2028–2047 годов по сравнению с нормой за 1981–2000 гг. в условиях сценария RCP8.5 (Росгидромет, 2014).

Территория Республики Коми входит в зону преимущественно авиационной охраны от пожаров. Очевидно, что в долгосрочной перспективе пожарная опасность лесов в регионе будет расти в связи с ростом продолжительности пожароопасного сезона, увеличением длительности и частоты засух и периодов экстремальной высокой температуры, однако пока четких прогнозов, насколько и в какие сроки произойдет это изменение, сделать невозможно (Рис 4.2., 4.3)

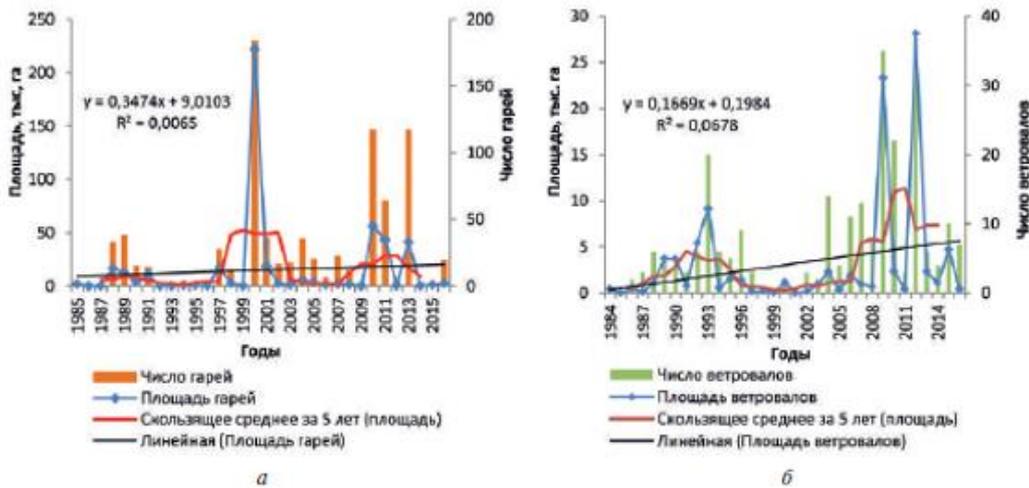


Рис 4.2. Количество крупных пожаров (а) и ветровалов (б) и их площади на северо-востоке ЕЧР (по Шихов, Зарипов, 2018)

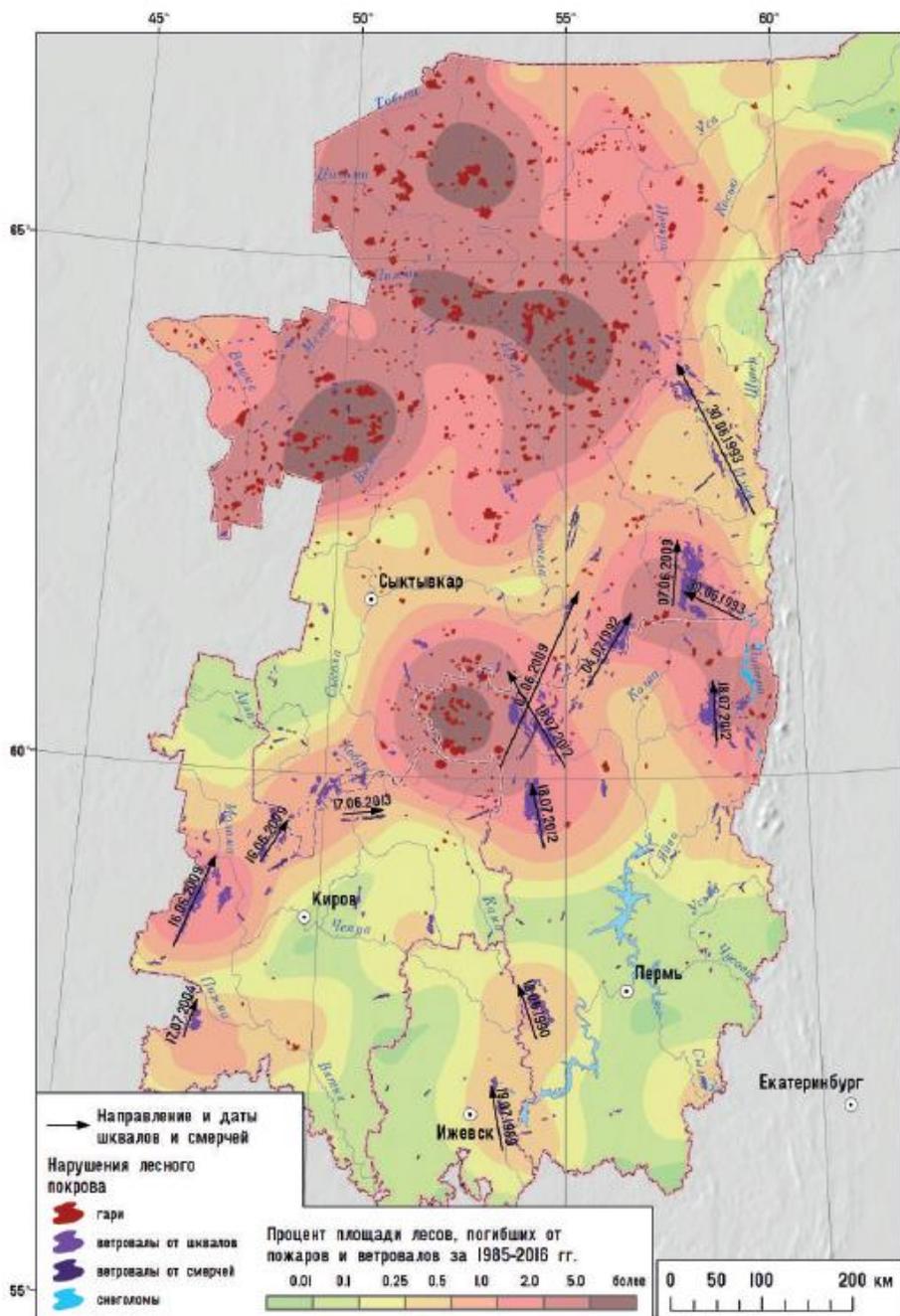


Рис. 4.3. Пространственное распределение нарушений лесного покрова, вызванных пожарами, ветровалами и снеголомами на северо-востоке ЕЧР за 1985–2016 гг. (по Шихов, Зарипов, 2018)

4.2. Увеличение количества экстремальных погодных явлений: волны жары, засухи, ветровалы, наводнения, снеголомы, ожеледь.

Увеличение среднегодовой температуры и количества осадков является основным трендом, свидетельствующим об изменении климата, однако наибольшую опасность для лесов представляет увеличение количества экстремальных погодных аномалий.

Над континентальной частью северного полушария и над территорией РК, в частности, действуют западно-атлантическая/восточно-российская мода атмосферной циркуляции. Это преимущественно зональные волны. В пределах внутрисезонной изменчивости эти волны известны как блокирование западно-восточного переноса воздушных масс. Анализ циклонической активности для восточной Европы показывает, что рост числа крупных циклонов наблюдается с середины 1970 гг. до второй половины 1990-х в соответствии с долгопериодными изменениями индекса Северо-Атлантического Колебания (САК) (ОД 2 Росгидромет, 2014; Бардин и др., 2019). Максимальная зависимость региональной температуры от индекса САК наблюдается для европейской территории России; этим также подтверждается, что избыточное потепление в этом регионе, наблюдавшееся в предыдущие десятилетия (1976—2007 гг.), в значительной мере связано с наблюдавшейся в тот период фазой увеличения индекса САК. Рост экстремумов тепла по скорости опережает убывание экстремумов холода зимой, весной и летом в ЕЧР (Бардин и др., 2020). В России годовое число дней с осадками более 10 мм растет на большей части территории (Climate Change 2013).

На рис. 4.2 и 4.3. показано достоверное увеличение количества сильных смерчей и штормов, приведшее к площадным и локальным ветровалам, хорошо выявляемым по космоснимкам, на территории Республики Коми и сопредельных территорий Пермского края (Шихов, Зарипов, 2018). Эта тенденция объясняется проявлением нестабильности макроциркуляционных режимов атмосферы, представляющих собой сложную динамическую систему с активным воздействием на климат.

Нестабильность макроциркуляционных процессов проявляется также в увеличении таких нежелательных погодных явлений, как засухи и избыточные летние дожди, приводящие к наводнениям. Жителям Республики Коми надолго запомнятся непрерывные обильные дожди в июле 2019 г., приведшие к летнему паводку на реках в центральных районах (рис 4.4, 4.5).



Рис 4.4. Смытый июльским паводком 2019 г. мост на улучшенной грунтовой дороге в Усть-Куломском районе.



Рис 4.5. Размытый мостовой переход после июльского паводка 2019 г. на грунтовой лесовозной дороге в Усть-Куломском районе.

Наоборот, 2020 год запомнился длительной летней засухой в июле-августе, когда более месяца вообще не наблюдалось осадков, что привело к иссушению подстилки и верхних горизонтов почвы даже в долгомошных и сфагновых типах леса, к обмелению и пересыханию лесных ручьев, к проявлению симптомов водного стресса в ельниках и в перегущенных лиственнично-еловых молодняках. Этот стресс выражался в пожелтении хвои ели, в преждевременном пожелтении и листопаде листьев березы, начавшемся уже в конце августа 2020 г. Простым жителям Коми эта засуха запомнилась отсутствием урожая грибов и ягод в лесах.

Размножение насекомых-вредителей является второй по значимости после пожаров природной причиной гибели лесов. В 2016 году были зафиксированы повреждения лесов Канады насекомыми на площади 15,5 млн гектаров. Массовое размножение вредителей произошло вследствие изменения климата (отсутствия сильных морозов зимой и более высоких температур летом).

Географическое распространение многих вредителей леса ограничено низкими зимними температурами. Повышение температуры позволяет этим вредителям расширить свой ареал на север и вверх по склонам гор. Потепление климата и увеличение длины вегетационного периода позволяет короедам выводить 2 и более поколения за сезон, что приводит к вспышкам численности, распространению очагов вредителей и площадей поврежденных и усыхающих древостоев.

Поскольку развитие елового короеда (лат. *Ips typographus*) зависит от температуры, изменение климата может стимулировать развитие его дополнительных генераций и способствовать появлению массовых вспышек гораздо севернее, чем было известно ранее. Наблюдаемое смещение изотермы суммы эффективных температур на север на 450 км может способствовать переходу от жизненных циклов с одним поколением к жизненным циклам с двумя поколениями *Ips typographus* в южной и средней тайге.

Локальное потепление климата позволяет проникать другим видам вредителей, например, шелкопряда-монашенки, пихтового усача из Сибири в ЕЧР, что вызывает угрозы новых вспышек усыхания для темнохвойных лесов.

Специалистами Центра лесозащиты Республики Коми в 2020 г. отмечено появление нового инвазивного для нашего региона опасного вредителя Уссурийского полиграфа (лат. *Polygraphus proximus* Blandford) – вида жуков-короедов, который постепенно продвигается с Дальнего Востока в Сибирь и ЕЧР и повреждает деревья пихты сибирской.

Кроме насекомых, опасными патогенами являются грибы, вызывающие гнили древесины. Корневая губка (лат. *Heterobasidion annosum*), различные виды трутовиков (род *Phellinus*) являются экономически значимыми грибными патогенами бореальных лесов, вызывающими гниение, снижение роста и гибель хвойных деревьев. Грибница этих патогенов, остающаяся в корнях и пнях после сплошных рубок, может оставаться жизнеспособной в течение десятилетий и подвергать повышенному риску гибели древостои последующих поколений.

Корневая губка (*Heterobasidion* spp.) считается основным патогеном, вызывающим комлевую и корневую гниль, а также ухудшающим санитарное состояние лесов (рис. 4.6). Повышение температуры является благоприятным для корневой губки, с точки зрения увеличения продолжительности периода распространения. Споры *Heterobasidion* проникают в свежие пни ели при температуре выше 0°C (Брандтберг и др., 1996). Таким образом, долгосрочное повышение среднегодовой температуры, а также среднего числа дней с положительной температурой сделают климатические условия благоприятными для вида *Heterobasidion*, с точки зрения увеличения продолжительности периода расселения и его распространения в северном направлении. Этот факт может оказать негативное влияние на будущее санитарное состояние и общее ухудшение состояния лесных насаждений в таежных лесах (Trishkin et al., 2016). Корневая губка является наиболее опасным заболеванием хвойных пород, поражающим деревья на огромных площадях. Она вызывает ветровал, массовое усыхание и полный распад насаждений. В очагах корневой губки быстро размножаются стволовые вредители, которые ускоряют и довершают усыхание деревьев.



Рис. 4.6. Плодовое тело корневой губки (*Heterobasidion annosum*) на стволе ели.

Распространению корневой губки способствуют все более частые мягкие зимы и непромерзание подстилки и почвы из-за раннего выпадения снега на влажную почву. Кардинальных мер борьбы с этим патогеном, кроме как проведение сплошных санитарных рубок пораженных древостоев, не разработано. В Скандинавии для предупреждения распространения корневой губки все харвестерные головки дополнительно оборудуют специальными опрыскивателями, которые одновременно со спиливанием дерева обрабатывают пень спорами антагониста корневой губки – гриба *Phlebiopsis gigantea*.

Мягкие зимы с глубоким снежным покровом и многочисленными оттепелями становятся также причиной таких негативных явлений в лесном хозяйстве, как снеголомы и ожеледи. Коэффициенты линейного тренда максимальной высоты снежного покрова в центральной части республики составляли до +2 см/10лет. На Севере ЕЧР и Западной Сибири тренд роста максимальной высоты снежного покрова статистически значим (Росгидромет, 2021).

Риски снеголомов повышаются от увеличения количества зимних осадков, усиления неравномерности выпадения осадков, от внезапных потеплений, усиленного ветра. В период обильных снегопадов при небольших морозах, когда температура колеблется около 0°C, а снег и дождь неоднократно сменяются, возможно значительное накопление снега и льда на кронах хвойных деревьев. Перегрузка крон может закончиться снеголомом – переломом ствола ниже загруженной снегом кроны, или снеговалом – повалом деревьев с корнями или сгибанием их в виде дуги кроной к земле. Чаще всего от навала снега страдают перегущенные жердняки. В очень густых жердняках сосны и ели вред от снега усиливается тем, что поникающие от перегрузки снегом кроны деревьев опираются на кроны соседних деревьев, близких к состоянию перегрузки. Возникает своего рода цепная реакция, образующая куртины снеговала и снеголома. Пострадавшие от снеговала участки отличаются от ветровала тем, что направление упавших стволов самое разнообразное. Особенно страдают от снега одновозрастные древостои сосны и березы (Рожков, 1989). На примере средневозрастных древостоев установлено, что деревья сосны, как правило, обламываются ниже кроны, что приводит к их гибели. У деревьев ели обламывается верхняя часть кроны, в среднем 4,6 м, что соответствует приросту за 12-15 лет, при этом повреждение, как правило, оказывается нелетальным, однако сильно снижающим качество стволов (Николаев, Глазунов, 2010).

Резкие потепления и похолодания приводят к таким повреждениям древесины как ожоги, морозобойные и отлупные трещины, на поверхности ветвей и стволов – ожеледь. Ожеледь

– это налет льда, образующийся на поверхности стволов и ветвей деревьев при резкой смене холодной морозной погоды на сырую и теплую, при которой происходит усиленная конденсация влаги из воздуха на переохлажденные поверхности, где и образуется слой льда. Ожеледь приносит существенный вред лесным насаждениям, поскольку под тяжестью льда ломаются ветви и стволы, а деревья могут вываливаться с корнем. Чаще ожеледью повреждаются хвойные породы. Поврежденные зимой деревья к началу весны бывают уже сильно ослаблены и впоследствии поражаются грибными болезнями и заселяются стволовыми вредителями, которые нередко становятся причиной их усыхания.

Мягкие зимы с частыми оттепелями становятся все более значимым фактором для лесозаготовительной промышленности Республики Коми и таежной зоны России в целом, в связи с тем, что основной объем рубок и вывозки заготовленной древесины – до 70% от общего объема заготовки – традиционно приходится на зимнее время и ведется по «зимникам» – снежно-ледовым дорогам. Учеными Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (Катцов и др., 2019) получены ансамблевые оценки специализированных климатических индикаторов, которые характеризуют условия возникновения температурно-влажностных деформаций, оказывающих разрушающее воздействие на здания, сооружения и дороги в XXI веке. Для сценария RCP 8.5 практически на всей территории Европейской части России (ЕЧР) число переходов температуры воздуха через 0 °С в холодный сезон значительно возрастет (рис. 4.7). В сочетании с увеличением жидких осадков в холодное время года это приведет к ускоренному разрушению покрытия автомобильных дорог. В холодный сезон относительное увеличение максимумов суточных сумм ожидается практически повсеместно. К середине XXI века на севере ЕЧР оно составит около 20 % (рис. 4.8).

Ограничения использования «зимников» будут связаны не только с возможным разрушением их дорожного полотна в период оттепелей, но и с укороченным периодом их действия в зимний период. Это объясняется тем, что строительство снежно-ледовых дорог возможно только при наступлении устойчивой морозной погоды. Как показывают тренды изменения температуры в декабре по Республике Коми, в последние годы все чаще снег ложится на не промерзшую почву. Соответственно, время начала устойчивой работы «зимников» смещается на конец декабря и даже начало января.

Согласно исследованиям И.Р. Шегельман с соавторами (2007), для условий Сегежского района Республики Карелия, для трех типов зимних дорог – снежных, снежно-ледяных и ледяных (оледененных) с плотностью соответственно 0,50 - 0,55, 0,57 - 0,64 и 0,64 - 0,68 г/см³ возможность их эксплуатации прекращается соответственно при температуре:

снежных от $-4,5$ до $-4,0$ °С, для снежно-ледяных – от $-2,7$ до $-1,8$ °С, для ледяных – от $1,0$ до $2,0$ °С. По мнению авторов, начало эксплуатации снежно-ледовых дорог в Сегежском районе Карелии в 2035 г. будет возможно не раньше января.

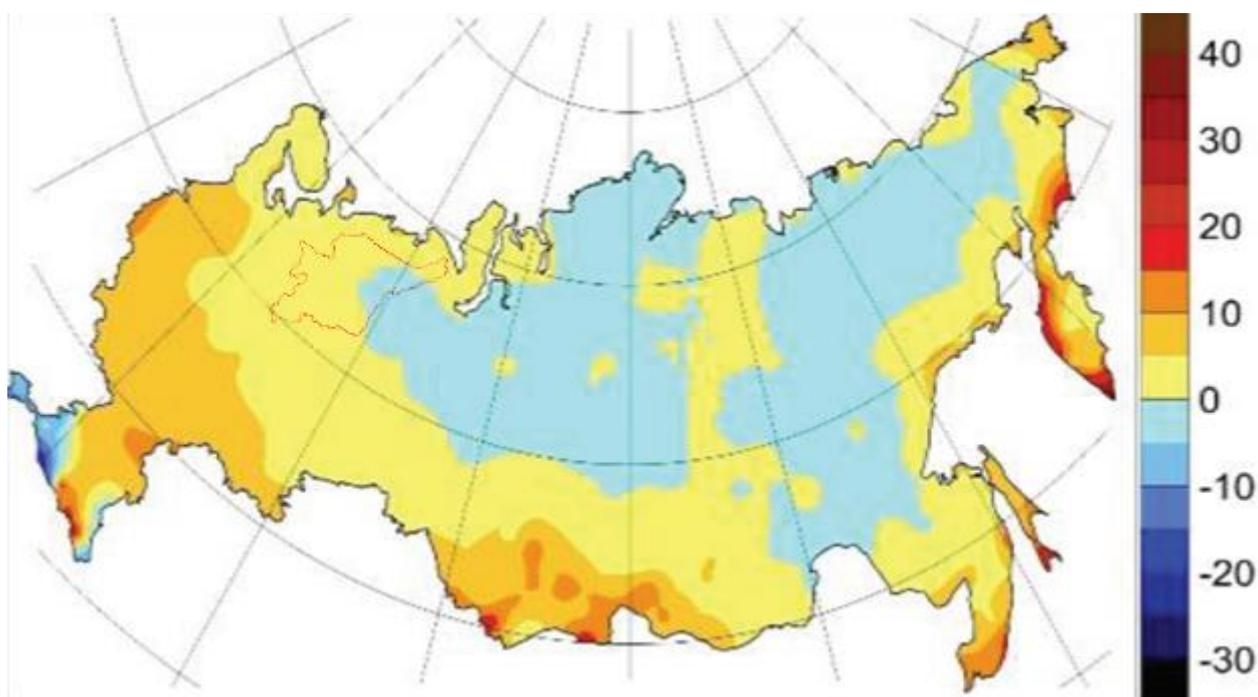


Рис. 4.7. Географическое распределение изменения числа внутрисуточных переходов температуры воздуха через 0 °С в холодный сезон в 2050 – 2059 по отношению к 1990 – 1999 гг., медианная оценка (по Катцов и др., 2019). Границы Республики Коми выделены красным пунктиром.

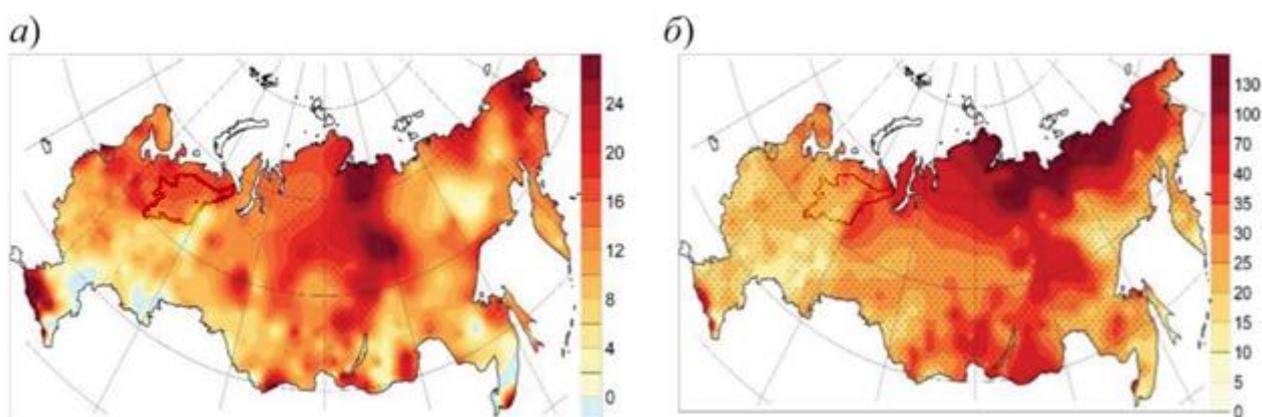


Рис. 4.8. Географическое распределение изменения сезонных максимумов суточных сумм осадков (%) в 2050 – 2059 гг. по отношению к 1990 – 1999 гг. для теплого (а) и холодного (б) сезонов (цит. по Катцов и др., 2019). Границы Республики Коми выделены красным пунктиром.

5. Адаптация лесного сектора Республики Коми к изменениям климата

Изменения климата носят глобальный характер, но региональные проявления этого процесса могут значительно различаться. Примером может служить вспышка размножения горного соснового лубоеда (Mountain pine beetle) в провинции Британская Колумбия (Канада). Площадь вспышки превысила 10 млн га, она развивалась постепенно. Пик вспышки пришелся на 2006–2007 годы. Затем она пошла на спад. В пораженных лесах возникла необходимость масштабных санитарных рубок для утилизации древесины, лесовосстановительных работ, профилактики лесных пожаров и эффективного реагирования при их возникновении, а также контроля распространения соснового лубоеда (рис 5.1.). Вследствие резкого снижения качества древесины в лесосырьевых базах закрылись десятки предприятий, существование лесных поселков оказалось под угрозой.



Рис. 5.1. Массовое усыхание сосновых лесов в результате вспышки горного соснового лубоеда в канадской провинции Британская Колумбия (<https://opentextbc.ca/geography/chapter/7-6-case-study/>)

В 2012–2013 годах в провинции Квебек (центре лесной промышленности на востоке Канады) также резко (до 6 млн га) увеличилась площадь поражения елово-пихтовых

насаждений американской еловой листоверткой (Forest tent caterpillar). В последующие годы площадь этой вспышки постепенно уменьшалась, но до сих сохраняется угроза распространения вредителя в соседних провинциях (Шматков и др., 2019).

В России примерами регионального проявления влияния глобальных изменений климата на леса и лесное хозяйство являются вспышки размножения сибирского шелкопряда в Западной Сибири, короеда-типографа в Подмосковье в 2010-2014 г. и др.

5.1. Стратегия адаптации лесного хозяйства



В этой ситуации Правительства разных стран разрабатывают стратегии адаптации лесного хозяйства к изменениям климата с учетом региональных особенностей. В качестве примера приведена Стратегия для Республики Беларусь. Как видно из приведенной схемы, она учитывает не только традиционные для лесного хозяйства разделы, такие как лесопользование, лесовосстановление и лесоразведение, охрана и защита леса, но также включает лесоустройство, подготовку кадров.

Для России необходимость учета изменений климата и адаптации к ним включена в Стратегию развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года, утвержденную распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 сентября 2018 года № 1989р. В тексте этого документа неоднократно упоминаются изменение климата и его последствия, необходимость адаптации. В главе IV «Лесное хозяйство» изменениям климата и адаптации к ним посвящен специальный раздел 6 «Климатическая политика».

В типовой форме и составе лесного плана, утвержденных приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 20 декабря 2017 года № 692, появился новый раздел 4.2 «Информация о планируемых мероприятиях по сохранению экологического потенциала лесов, адаптации к изменениям климата и повышению устойчивости лесов». В приложении 21 к типовой форме лесного плана содержится перечень рисков (табл. 5.1).

Таблица 5.1.

Перечень рисков и адаптационных мероприятий согласно типовой форме лесного плана субъекта Российской Федерации (Разъяснения..., 2018)

Риск, вызванный климатическими изменениями	Адаптационная мера:
Изменение продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадающих осадков.	<ul style="list-style-type: none"> • корректировка длительности цикла лесоразведения и правил ухода за лесами с учетом продуктивности лесов; • корректировка перечня пород, используемых в процессах лесовосстановления и лесоразведения; • принятие мер по использованию запасов древесины погибших и поврежденных насаждений; • диверсификация целей лесопользования для получения лесных продуктов и услуг
Изменения в видовом (породном) составе лесов	<ul style="list-style-type: none"> • ориентация на выращивание разновозрастных смешанных насаждений; • использование в процессах лесовосстановления и лесоразведения адаптируемых к прогнозируемым климатическим изменениям видов древесных пород;

	<ul style="list-style-type: none"> • формирование особо охраняемых природных территорий с целью консервации уязвимых видов и местообитаний; • выявление и контроль численности инвазивных видов древесных пород.
Увеличение частоты возникновения пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами.	<ul style="list-style-type: none"> • повышение мер пожарной безопасности в лесах, в том числе предупреждения лесных пожаров, мониторинга пожарной опасности в лесах и лесных пожаров; • корректировка планов тушения лесных пожаров в связи с увеличением частоты возникновения (лесных) пожаров и площадей, пройденных лесными пожарами.
Увеличение частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах.	<ul style="list-style-type: none"> • совершенствование системы лесопатологического обследования; • совершенствование мер по предупреждению распространения вредных организмов.
Увеличение частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах.	<ul style="list-style-type: none"> • корректировка длительности цикла лесоразведения с целью минимизации рисков ветровала и бурелома в лесах; • совершенствование технологий заготовки древесины для минимизации рисков ветровала и бурелома в лесах; • формирование разновозрастных смешанных и многоярусных насаждений.

В Лесном плане Республики Коми на 2019 -2029 г. планируемые мероприятия по сохранению экологического потенциала лесов, адаптации к изменениям климата и повышению устойчивости лесов приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Лесной план Республики Коми на 2019 – 2029 г.

Планируемые мероприятия по сохранению экологического потенциала лесов, адаптации к изменениям климата и повышению устойчивости лесов

Риск, вызванный климатическими изменениями	Адаптационная мера	Наименование мероприятий	Объем ежегодных необходимых мероприятий	Прогнозная стоимость работ, тыс. рублей
Изменение продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадаемых осадков	Корректировка длительности цикла лесоразведения и правил ухода за лесами с учетом продуктивности лесов	Мероприятия в рамках концепции интенсификации использования и воспроизводства лесов	-	-
	Корректировка перечня пород, используемых в процессах лесовосстановления и лесоразведения	Специальных мероприятий настоящим Лесным планом не предусмотрено	-	-
	Принятие мер по использованию запасов древесины погибших и поврежденных насаждений	Проведение сплошных и выборочных санитарных рубок	212,1 га	1421,3
	Диверсификация целей лесопользования для получения лесных продуктов и услуг	Развитие многоцелевого использования лесов на основе анализа развития территорий и предпринимательских инициатив	-	-
Изменения в видовом (породном) составе лесов	Ориентация на выращивание разновозрастных смешанных насаждений	Соблюдение лесоводственных принципов при проведении рубок ухода в течение всего периода лесовосстановления. Проведение	1686,2 га	90803,6

Риск, вызванный климатическими изменениями	Адаптационная мера	Наименование мероприятий	Объем ежегодных необходимых мероприятий	Прогнозная стоимость работ, тыс. рублей
		выборочных рубок в защитных лесах		
	Использование в процессах лесовосстановления и лесоразведения, адаптированных к прогнозируемым климатическим изменениям видов древесных пород	Максимальное использование возможностей для проведения рубок с предварительным лесовосстановлением с целью обеспечения сохранения подроста лесных насаждений хвойных пород	40410 га	16325,6
	Формирование особо охраняемых природных территорий с целью консервации уязвимых видов и местообитаний	Специальных мероприятий настоящим лесным планом не предусмотрено	-	-
	Выявление и контроль численности инвазивных видов древесных пород	Специальных мероприятий настоящим лесным планом не предусмотрено	-	-
Увеличение частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами	Повышение эффективности мер пожарной безопасности в лесах, в том числе предупреждения лесных пожаров, мониторинга пожарной опасности в лесах и лесных пожаров	Профилактические мероприятия по работе с населением (установка объявлений (аншлагов) и других знаков и указателей, содержащих информацию о мерах пожарной безопасности в лесах)	500 шт.	2139,0
		Авиационной мониторинг пожарной опасности в лесах и лесных пожаров	36271810 га	176123,0
		Уход за минерализованными полосами	650,0 км	1425,9
	Корректировка планов тушения лесных пожаров в связи с увеличением частоты возникновения (лесных) пожаров	Разработка организационных планов поэтапного привлечения для тушения пожаров мобильных групп, сил и средств	35 шт.	-

Риск, вызванный климатическими изменениями	Адаптационная мера	Наименование мероприятий	Объем ежегодных необходимых мероприятий	Прогнозная стоимость работ, тыс. рублей
	в лесах и площадях, пройденных пожарами	арендаторов, муниципальных органов, областных резервов		
Увеличение частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах	Совершенствование системы лесопатологического обследования	Регулярные обследования древостоев, нарушенных пожарами, ветровалом, рубками или другими факторами	3200 га	3200,0
	Совершенствование мер по предупреждению распространения вредных организмов	Своевременное проведение мероприятий по уборке неликвидной древесины	3,0 га	21,3
Увеличение частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах	Корректировка длительности цикла лесоразведения с целью минимизации рисков ветровала и бурелома в лесах	Анализ устойчивости наиболее производительных искусственных насаждений и предложений по корректировке планируемых мероприятий	-	-
	Совершенствование технологий заготовки древесины для минимизации рисков ветровала и бурелома в лесах	Мероприятия в рамках концепции интенсификации использования и воспроизводства лесов	-	-
	Формирование разновозрастных смешанных и многоярусных насаждений	Проведение выборочных рубок в защитных лесах	1686,2 га	90803,6

Анализ представленных материалов показывает, что каких-либо инновационных подходов к ведению лесного хозяйства в условиях изменения климата Лесной план Республики Коми не предусматривает. Как отмечают эксперты (Григорьев, 2019), общая проблема существующих региональных Лесных планов заключается в том, что меры по защите лесов от нарушений или их последующему восстановлению являются декларативными, т.е. разрабатываются без учета возможности их реализации при существующих масштабах российских лесов, ограниченности лесной инфраструктуры, а также финансовых, материальных и кадровых ресурсов для реализации этих планов.

СПбНИИЛХ проведена оценка воздействий климатических изменений, рассчитанных на основе региональной климатической модели, на леса Северо-Западного федерального округа России. Авторами рассчитана уязвимость лесных экосистем к таким основным факторам воздействия климатических изменений, как природные пожары, болезни и вредители леса, а также экстремальные погодные явления **по данным учета лесного фонда Северо-Западного федерального округа за последние 30-40 лет**. Сделан вывод о текущем высоком уровне устойчивости лесов СЗФО в целом (Королева и др., 2017).

Другого мнения придерживаются специалисты ФБУ «Рослесозащита». Для северной и средней тайги европейского севера России был проведен анализ прогнозных показателей температуры воздуха, суммы температур, продолжительности вегетационного периода, гидротермических коэффициентов. В результате с середины XXI века ожидается превышение отдельных климатических показателей, характерных для ареала еловых лесов. Оно повлечет за собой ухудшение санитарного состояния, высокую подверженность лесов любым негативным влияниям (снеголом, снеговал, ветровал, повреждение насекомыми, болезни леса, изменение уровня грунтовых вод), а также существенный рост пожарной опасности. Все это выразится в росте площади погибших лесов, в первую очередь от пожаров, неблагоприятных погодных условий и почвенно-климатических факторов.

По мнению финских исследователей, из хвойных пород ель является наиболее ценной и одновременно уязвимой породой на Европейском Севере в условиях меняющегося климата (Kellomaki et al., 2005). В Республике Коми главной лесообразующей породой является ель. Ареал ее распространения связан с рядом климатических характеристик, за пределами которых она не произрастает. Особенностью ели является преимущественно поверхностное распространение корневой системы, что делает ее чувствительной к перепадам водно-воздушного режима почвы. В свою очередь величина стока, уровень грунтовых вод, влажность почвы, глубина распространения корневой системы и пр. во многом связаны с климатическими характеристиками места произрастания. Например, массовые очаги

усыхания спелых и перестойных ельников в Удорском районе Республики Коми были отмечены после двух подряд засушливых летних сезонов 2010 и 2011 г., вызвавших сильный стресс и последующее ослабление деревьев ели на дренированных почвах, особенно в первом ярусе древостоев.

Характер воздействий изменений климата на леса (отрицательный, положительный, нейтральный) оценивается на основе приоритетов сохранения биоразнообразия, эффективности функционирования лесов и сохранения лесных ресурсов. Основная цель адаптационных мер – предотвратить гибель или снижение продуктивности лесов на значительных территориях. Одновременно леса могут использоваться для адаптации к изменениям климата, выполняя защитные и регулирующие функции при неблагоприятных погодно-климатических воздействиях. Леса эффективны для поддержания гидрологического режима, защиты от наводнений, снижения скорости ветра, защиты от эрозии, пыльных бурь и последствий воздействия волн жары. Для эффективного использования лесов в качестве меры адаптации необходимо адаптировать сами леса. В Лесном кодексе Российской Федерации адаптация к изменениям климата не отражена, но ряд категорий защитных лесов оказывают соответствующие экосистемные услуги. Целесообразно выделить новую категорию защитных лесов – “адаптационные леса”. (Липка и др., 2021).

Для скандинавских стран в рамках проекта по адаптации лесов разработаны более детальные рекомендации (табл. 5.3). Они учитывают, как уже наблюдаемые изменения лесных экосистем Скандинавии, так и долговременные прогнозируемые нарушения лесов на среднесрочную перспективу в связи с меняющимся климатом. Для Республики Коми эти рекомендации исполнимы лишь частично, т.к. уровень развития лесного хозяйства и лесной инфраструктуры в Скандинавии и в бореальной зоне России не сопоставим.

В ситуации неопределенности климатических изменений и вызванных ими изменений в лесных ландшафтах важнейшей мерой адаптации является сохранение и повышение биологического и структурного разнообразия лесов. По мнению международной группы исследователей, авторов издания «Леса России и изменение климата» (2020), необходимо ориентироваться на следующие методы адаптации лесов и лесного хозяйства:

- Переход от сплошно-лесосечной формы хозяйства к методу «retention forestry» - лесное хозяйство с постоянным сохранением лесной среды.
- Отказ от сплошных рубок и монокультур.

- Восстановление видового и структурного разнообразия лесов.
- Восстановление и сохранение разнообразия местообитаний, включая сохранение части сухостоя, валежа, необходимых для жизни грибов, разных групп беспозвоночных, насекомых-опылителей, птиц и млекопитающих (Storch et al., 2019; Augustynczyk et al., 2020; Gustafsson et al., 2020).

Для реализации этого подхода предлагается внедрение следующих лесохозяйственных мероприятий:

- группово-выборочные и котловинные рубки,
- ориентация на естественное возобновление леса,
- создание многовидовых лесных культур,
- полишахматное размещение посадочного материала,
- регулярные рубки ухода для формирования состава и регулирования густоты насаждений,
- в очагах усыхания – санитарные рубки с сохранением подроста хвойных и лиственных пород,
- создание сети особо охраняемых природных территорий с целью консервации уязвимых видов и местообитаний.

Таблица 5.3.

Адаптационные меры для снижения чувствительности/уязвимости к изменениям климата в бореальных лесах Северной Европы (Kellomaki et al., 2005, Рабочий документ FINADAPT)

Изменения климата	Чувствительность / Уязвимость	Меры по адаптации
<ul style="list-style-type: none"> • Более высокая температура • Увеличение количества осадков • Повышение риска засухи • Удлинение вегетационного периода • Повышение концентрации CO₂ • Сокращение сезона промерзания грунтов • Пониженная несущая способность грунтов • Усиление скорости ветра в условиях незамерзшего грунта 	<ul style="list-style-type: none"> • Повышение урожайности семян и возможностей для естественного лесовозобновления • Увеличение общего прироста лесов • Повышенные риски, связанные с повреждением ветром, снегом, засухой, вспышками размножения насекомых-вредителей, распространением грибных болезней и иных патогенов • Ослабление ели обыкновенной на юге, особенно на почвах с низкой влагоудерживающей способностью • Усиление конкуренции растительности напочвенного покрова для возобновления деревьев 	<p><u>Управление лесовосстановлением</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Использовать правильные методы подготовки почвы • Предпочитать естественное лесовосстановление на соответствующих участках • Использовать улучшенный семенной материал и саженцы при искусственном лесовосстановлении • Учитывать соответствие плодородия участка культивируемым видам • Своевременный уход за лесными культурами и молодняками • Предпочитать выращивание смешанных насаждений • Поддерживать надлежащий запас питательных веществ (удобрение леса) <p><u>Сократить оборот рубки</u></p>

	<ul style="list-style-type: none"> • - Нехватка азота и/или других питательных элементов по отношению к потенциалу роста 	<ul style="list-style-type: none"> • Пересмотреть руководящие принципы управления для повышения устойчивости лесов к различным абиотическим и биотическим повреждениям <p><u>Планирование лесоуправления</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Избегать сплошных рубок по краям спелых насаждений и выборочных рубок, примыкающих к вырубкам, чтобы учесть риски повреждения ветром <p><u>Руководство по управлению генотипом</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Изменение зон заготовки семян • Подбор устойчивых климатипов <p><u>Технологии и инфраструктура</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Улучшить инфраструктуру для заготовки и транспортировки древесины
--	---	---

5.2. Развитие лесной инфраструктуры.

В условиях потепления климата учащение оттепелей, сокращение периода промерзания почвы становится серьезной проблемой для организации лесопользования. В Республике Коми 70% древесины заготавливается в зимнее время года. Кроме сокращения сроков зимней заготовки и вывозки древесины, дополнительным негативным фактором является непредсказуемость сроков начала зимних лесозаготовок и их окончания. Стратегическое решение этой проблемы – строительство дорог постоянного действия и переход на круглогодичную заготовку древесины. Фактически это означает переход к интенсивной модели лесопользования. Однако в существующей системе лесных отношений в России, основанной на передаче лесных массивов в долгосрочную аренду бизнес-компаниям, при абсолютном доминировании экстенсивной формы лесопользования, ожидать повсеместного перехода к интенсивной модели лесного хозяйства по скандинавскому образцу не приходится (рис 5.2.). Более того, для удаленных малонаселенных северных регионов с низко-продуктивными лесами, к каковым относится Республика Коми, скандинавская модель экономически не оправдана. В Финляндии и Швеции леса с приростом менее 1 кубм в год считаются не продуктивными и не подлежат освоению. В России в расчетную лесосеку входят все леса с запасом от 80 кубм/га. Таким образом, в среднесрочной перспективе российскому лесному бизнесу придется учитывать многочисленные риски, связанные с использованием зимних снежно-ледовых дорог – «зимников».

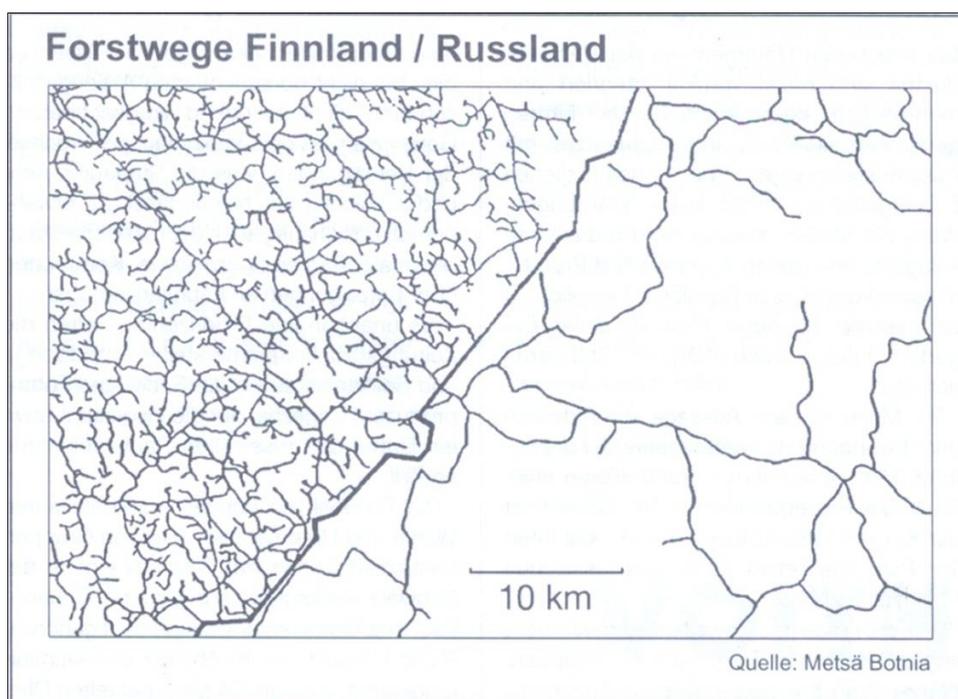


Рис 5.2.

Сравнение густоты дорожной сети в Финляндии и в Карелии

Согласно оценочному докладу Росгидромета (2014), к середине XXI столетия в нашей стране ожидается сокращение пригодной территории для экономически целесообразной эксплуатации зимников на 1 млн км². Специальных исследований по данной проблеме в Республике Коми не проводилось, поэтому приведем примеры из других регионов.

Финскими исследователями на примере Тихвинского района Ленинградской области с помощью ГИС-технологий были определены леса, доступные для освоения только в зимний период. Далее на основе имеющихся характеристик для них были вычислены запас древесины и объем допустимого ежегодного изъятия. Было сделано допущение, что зимники начинают использовать после того, как температура воздуха упадет ниже $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и продержится более 5 дней, а заканчивают, когда температура воздуха превысит $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ более 5 дней подряд. Исследователи приходят к выводу, что к середине текущего столетия сроки работы зимников сократятся на две недели по сравнению с 2006 г., но, поскольку перемены будут происходить постепенно, лесозаготовители успеют к ним приспособиться (Goltsev et al, 2013). К сожалению, предложенная модель не оправдалась, и в теплую зиму 2019-2020 г.г. тихвинские лесопользователи вообще не смогли зайти на зимние делянки и обеспечить свои предприятия необходимым объемом древесины.

В исследованиях по Республике Карелия помимо температуры (сумма отрицательных температур после перехода через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ должна достигнуть диапазона от -100 до $-130\text{ }^{\circ}\text{C}$) в технические параметры начала работы зимника входит наличие снежного покрова высотой не менее 10 см (Щеголева и др., 2008). При прогнозируемом сокращении морозного сезона авторы предлагают переход на круглосуточную вывозку древесины по зимникам и приостановку вывозки в период оттепелей для сохранения зимников.

Прогнозируемое количество дней в год для Швеции второй половины XXI века с глубиной промерзания почвы более 20 см и/или глубиной снега более 40 см, обеспечивающее достаточную несущую способность почвы для лесозаготовительных работ, сократится на 30 дней для модели RCP4.5 и 60 дней для модели RCP8.5 (Lehtonen et al. 2018.).

Исходя из указанных примеров, проблема развития лесной инфраструктуры в северных регионах, в том числе в Республике Коми, при существующей системе лесных отношений не имеет удовлетворительного решения.

6. Заключение

Представленные в докладе материалы убедительно свидетельствуют о том, что глобальные изменения климата являются серьезным вызовом для лесов и лесного хозяйства России и Республики Коми на ближайшую и среднесрочную перспективу. При этом приходится констатировать отсутствие достаточного понимания серьезности надвигающихся проблем и их последствий среди специалистов лесного хозяйства и лесного бизнеса.

Очевидно также, что главная ответственность по разработке и внедрению механизмов адаптации лесного хозяйства к изменениям климата лежит на владельце леса. В России единственным владельцем лесов является государство, которое уже продекларировало необходимость разработки мер адаптации лесов к изменениям климата. Более того, задекларированные меры внесены в 10-летние Лесные планы регионов – субъектов Российской Федерации, однако эти меры не подкреплены среднесрочными программами и планами соответствующих мероприятий, а главное соответствующим финансированием и кадровым обеспечением этих программ и планов. Свидетельством тому является тот факт, что последние несколько лет подряд масштабы лесных и ландшафтных пожаров в лесах России, особенно в Сибири и на Дальнем Востоке, таковы, что в них сгорает запас древесины равный или больший запасу древесины, ежегодно вырубаемому всеми видами рубок. Однако государство в лице Минприроды, Рослесхоза и МЧС до сих пор не смогли предложить и реализовать достаточных мер для снижения опасности и последствий таких ежегодных лесопожарных катастроф.

Предлагаемые российскими и зарубежными учеными сценарии климатически оптимизированного лесного хозяйства (Leskinen et al., 2021) требуют кардинальной реформы существующей системы лесопользования в России, ориентированной на экстенсивную модель лесопользования. Для проведения такой реформы лесопользования необходима соответствующая политическая воля и запрос общества, который пока не сформирован. Поэтому не приходится ожидать существенных изменений в реакции государственных органов управления лесами и лесопромышленного бизнеса на очевидные вызовы, связанные с глобальными и региональными изменениями климата и их влиянием на лесные ландшафты в Республике Коми и в Российской Федерации в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cleary M.R., Arhipova N., Morrison D.J., Thomsen I.M., Sturrock R.N., Vasaitis R., Gaitnieks T., Stenlid J. Stump removal to control root disease in Canada and Scandinavia: A synthesis of results from long-term trials // *Forest Ecology and Management*. 2013. V. 290. P. 5 – 14.
2. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V. and Midgley P.M. (eds.). - Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 1535 pp. (Изменение климата, 2013 г. Физическая научная основа, резюме для политиков, техническое резюме и часто задаваемые вопросы / Ред. Стокер Т.Ф. и др. МГЭИК, 2013.)
3. Ellison D, Morris CE, Locatelli B, Sheil D, Cohen J, Murdiyarso D, Gutierrez V, Noordwijk M, Creed IF, Pokorny J, Gaveau D, Spracklen DV, Tobella AB, Ilstedt U, Teuling AJ, Gebrehiwot SG, Sands DC, Muys B, Verbist B, Springgay E, Sugandi Y, Sullivan CA (2017) Trees, forests and water: cool insights for a hot world. *Glob Environ Chang* 43:51–61. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002>
4. Goltsev, V., Tolonen, T., Syuney, V., Dahlin, D. and Gerasimov Y. 2011. Wood harvesting and logistics in Russia – focus on research and business opportunities – Final report of the research project. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp210.pdf>
5. Goltsev V., Lopatin E. The impact of climate change on the technical accessibility of forests in the Tikhvin District of the Leningrad Region of Russia // *International Journal of Forest Engineering*. 2013. 24:2. P. 148–160.
6. Heli Peltola, Sergei Senko; Lars Andersson, Hillevi Eriksson; Andrey Shegolev. Climate change and its impacts on forest growth, timber supply, and biotic and abiotic risks in boreal forestry / Семинар "Оценка вероятного воздействия изменения климата на лес и лесное хозяйство Северо-Запада России" г.Петрозаводск, 4 октября 2018 г.
7. Kellomäki, S., Peltola, H., Nuutinen, T., Korhonen, K.T., Strandman, H. 2008. Sensitivity of managed boreal forests in Finland to climate change, with implications for adaptive management. *Phil. Trans. R. Soc. B* 363, 2341–2351. doi:10.1098/rstb.2007.2204.
8. Kellomäki, S., Strandman, H., Nuutinen, T., Peltola, H., Korhonen, K.T. and Väisänen, H. 2005. Adaptation of forest ecosystems, forests and forestry to climate change. FINADAPT Working Paper 4, Finnish Environment Institute Mimeographs 334, Helsinki, 44 pp.
9. Kirkup K. Climate Change Impacting Vital Winter Roads For First Nations. [Электронный ресурс] / HUFFPOST. URL: http://www.huffingtonpost.ca/2016/01/03/climate-change-affecting-vital-winter-roads-for-first-nations-leaders_n_8907798.html
10. Lehtonen, I., Kämäräinen, M., Gregow, H., Venäläinen, A., and Peltola, H.: Heavy snow loads in Finnish forests respond regionally asymmetrically to projected climate change (FORBIO

project) // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2016. 16. P. 2259–2271. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-2259-2016>.

11. Leskinen, P., Lindner, M., Verkerk, P. J., Nabuurs, G. J., Van Brusselen, J., Kulikova, E., Hasegawa, M. and Lerink, B. (eds.). 2020. Российские леса и изменение климата. What Science Can Tell Us 11. European Forest Institute. <https://doi.org/10.36333/wsctu11>

12. Li Ying Wang, Jing Zhang, Igor Drobyshev, Michelle Cleary, Jonas Rönnberg. Incidence and impact of root infection by *Heterobasidion* spp., and the justification for preventative silvicultural measures on Scots pine trees: A case study in southern Sweden // *Forest Ecology and Management*. 2014. Vol. 315. P. 153-159.

13. Mullan D. et al. Climate change and the long-term viability of the World's busiest heavy haul ice road // *Theoretical and Applied Climatology*. 2017. Vol. 129. № 3-4. P. 1089–1108.

14. Prowse T.D. et al. Implications of Climate Change for Economic Development in Northern Canada: Energy, Resource, and Transportation Sectors // *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 2009. Vol. 38. № 5. P. 272–281.

15. Romanovskaya A.A., Korotkov V.N., Polumieva P.D., Trunov A.A., Vertyankina V.Y., Karaban R.T. Greenhouse gas fluxes and mitigation potential for managed lands in the Russian Federation // *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 2020. T. 25. № 4. C. 661-687. <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09885-2>

16. Romashkin, I., Neuvonen, S. and Tikkanen, O.-P. Northward shift in temperature sum isoclines may favour *Ips typographus* outbreaks in European Russia // *Agricultural and Forest Entomology*, 2020. Vol.22, Issue 3. P. 238-249. <https://doi.org/10.1111/afe.12377>

17. Saikkonen T., Vahtera V., Koponen S., Suominen O. Effects of reindeer grazing and recovery after cessation of grazing on the ground-dwelling spider assemblage in Finnish Lapland // *PeerJ*. 2019. Vol. 7. P. e7330.

18. Sawyer D. The Economic Implications of Climate Change on Transportation Assets: An analysis framework August 2014. [Электронный ресурс] / International Institute for Sustainable Development. URL: http://www.iisd.org/sites/default/files/publications/climate_change_transportation_assets.pdf

19. Storch D., Bohdalkova E., Okie J. The more-individuals hypothesis revisited: the role of community abundance in species richness regulation and the productivity–diversity relationship // *Ecology Letters*. 2018. Vol. 21. No. 6. P. 920-937.

20. Taylor S., Parry J.-E. Enhancing the Resilience of Manitoba's Winter Roads System. [Электронный ресурс] / International Institute for Sustainable Development. 2014. URL: http://www.iisd.org/sites/default/files/publications/winter_roads.pdf

21. Transportation & Climate Change in Manitoba – Proceedings. [Электронный ресурс] / University of Manitoba Transport Institute. 2003. URL: <http://umanitoba.ca/faculties/management/ti/media/docs/climate.pdf>

22. Trishkin M., Lopatin E., Gavrilova O. The potential impact of climate change and forest management practices on *Heterobasidion* spp. infection distribution in northwestern Russia – a

case study in the Republic of Karelia // Journal of Forest Science, 62, 2016 (11): 529–536. doi: 10.17221/90/2016-JFS

23. Williamson Tim B, Johnston Mark H., Nelson Harry W., and Edwards Jason E. Adapting to climate change in Canadian forest management: Past, present and future. The Forestry Chronicle. 2019. 95(02): 76-90. <https://doi.org/10.5558/tfc2019-015>

24. Алябьев В.И., Грехов Г.Ф., Ильин Б.А., Кувалдин Б.И. Сухопутный транспорт леса. Учеб. для вузов по специальности "Лесоинж. дело" М. : Лесн. пром-сть, 1990.

25. Большаков Н.М., Жиделева В.В., Пахучий В.В. Эколого-экономические основы организации лесного хозяйства в восточных районах Европейского Севера России в условиях изменения климата // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2015. №5 (347). С.77-91.

26. Григорьев А., Щеголев А., Луговая Д. Глобальное изменение климата и адаптация к нему лесного комплекса Северо-Западного федерального округа России: использование опыта Швеции и Финляндии // Устойчивое лесопользование № 2 (58) 2019. С. 28-33.

27. Елсаков В.В. Визуализация данных климатических изменений растительных сообществ Мезенской и Канинской тундр по материалам спутниковых съёмок // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 1. С. 83-86.

28. Елсаков В.В. Пространственная и межгодовая неоднородность изменений растительного покрова тундровой зоны Евразии по материалам съёмки MODIS 2000-2016 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 56-72.

29. Елсаков В.В., Марущак И.О. Спектрзональные спутниковые изображения в выявлении трендов климатических изменений лесных фитоценозов западных склонов Приполярного Урала // Компьютерная оптика. 2011. Т. 35. № 2. С. 281-286.

30. Жежкун А.Н. Повреждение березовых насаждений навалами снега // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2003. № 5. С. 37-46.

31. Загидуллина А., Дробышев И. Сохранение и имитация естественного динамического разнообразия лесного покрова: обзор концепций и методических подходов // Устойчивое лесопользование. 2017. Т. 50. № 2. С. 22-31.

32. Катцов В.М., Школьник И.М., Павлова В.Н., Хлебникова Е.И., Ефимов С.В., Константинов А.В., Павлова Т.В., Пикалева А.А., Рудакова Ю.А., Салль И.А., Байдин А.В., Задворных В.А. Развитие технологии вероятностного прогнозирования регионального климата на территории России и построение на ее основе сценарных прогнозов изменения климатических воздействий на секторы экономики. Часть 2: оценки климатических воздействий // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2019. № 593. С. 6-52.

33. Ковалев А. В., Суховольский В. Г., Суховольский А. А., Волков В. Е. Риски возникновения вспышек массового размножения лесных насекомых: оценки по данным дистанционного зондирования / Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах (XI Чтения памяти О.А. Катаева). Мат. Конф. (СПб., 2020 г.). Под ред. Д. Л. Мусолина, Н. И. Кириченко и А. В. Селиховкина. СПб, 2021 С. 176-177.

34. Королева Т.С., Константинов А.В., Кушнир Е.А., Торжков И.О. Результаты стандартизированной оценки уязвимости лесного сектора Российской Федерации в условиях наблюдаемых эффектов климатической изменчивости // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2017. № 3. С. 13-22.

35. Коротков В.Н. Восстановление природных разновозрастных лесов // Современные концепции экологии биосистем и их роль в решении проблем сохранения природы и природопользования. 2016. С. 373-376.

36. Коротков В.Н. Основные концепции и методы восстановления природных лесов Восточной Европы // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2017. Vol. 2. No. 1. DOI:10.21685/2500-0578-2017-1-1.

37. Котельников Р.В., Лупян Е.А., Барталев С.А., Ершов Д.В. Космический мониторинг лесных пожаров: история создания и развития ИСДМ-Рослесхоз // Лесоведение. 2020. № 5. С. 399-409.

38. Липка О., Корзухин М., Замолодчиков Д. Г., Добролюбов Н., Крыленко С., Богданович А., Семенов С. Роль лесов в адаптации природных систем к изменениям климата // Лесоведение. 2021. № 5. С. 531-546.

39. Лукина Н.В., Гераськина А.П., Горнов А.В., Шевченко Н.Е., Куприн А.В., Чернов Т.И., Чумаченко С.И., Шанин В.Н., Кузнецова А.И., Тебенкова Д.Н., Горнова. М.В. Биоразнообразие и климаторегулирующие функции лесов: актуальные вопросы и перспективы исследований // Вопросы лесной науки, Т. 3. № 4. 2020. DOI 10.31509/2658-607x-2020-3-4-1-90

40. Лупян Е.А., Балашов И.В., Сенько К.С. Причины возникновения природных пожаров и потенциальные возможности влияния на них на труднодоступных территориях (результаты анализа спутниковых данных за период с 2001 по 2021 годы) / Лесные климатические проекты в России. Научные дебаты 19 окт. 2021 г. Москва, ЦЭПЛ РАН.

41. Малышева Н.В., Золина Т.А., Кинигопуло П.С. Лесохозяйственные мероприятия – инструмент управления углеродным циклом в лесных экосистемах. Опыт Канады // Лесохозяйственная информация, №2. 2015. С.70-94.

42. Николаев Д.К., Глазунов Ю.Б. Особенности повреждения снеголомом древостоев сосны и ели // Лесной вестник. 2010. № 3. с. 157-464.

43. ПРИКАЗ МИНПРИРОДЫ РОССИИ ОТ 20.12.2017 N 692 "ОБ УТВЕРЖДЕНИИ ТИПОВОЙ ФОРМЫ И СОСТАВА ЛЕСНОГО ПЛАНА СУБЪЕКТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПОРЯДКА ЕГО ПОДГОТОВКИ И ВНЕСЕНИЯ В НЕГО ИЗМЕНЕНИЙ"
<https://rulings.ru/acts/Prikaz-Minprirody-Rossii-ot-20.12.2017-N-692/>

44. Прокопьев Е.А., Рязанцев П.А., Рослякова Н.А. Оценка влияния изменения климата на сезонную транспортную инфраструктуру (на примере лесозаготовок в Республике Карелия). / Вестник НГУЭУ. 2018. № 2. С. 108-122.

45. РАЗЪЯСНЕНИЯ ПО ПОРЯДКУ ПОДГОТОВКИ РАЗДЕЛОВ 3.11 И 4.2 ТИПОВОЙ ФОРМЫ И СОСТАВА ЛЕСНОГО ПЛАНА СУБЪЕКТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,

УТВЕРЖДЕННОЙ ПРИКАЗОМ МИНПРИРОДЫ РОССИИ ОТ 20.12.2017 Г. N 692.
<https://rulings.ru/acts/Informatsiya-Rosleshoza-solt-budbgfgb/>

46. Распоряжение Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 30 сентября 2021 г. N 38-р "Об утверждении Плана адаптации к изменениям климата в сфере природопользования"

http://www.mnr.gov.ru/docs/ofitsialnye_dokumenty/rasporyazhenie_minprirody_rossii_ot_30_09_2021_39_r_ob_utverzhenii_plana_adaptatsii_k_izmeneniyam_k/

47. Рожков А.А., Козак В.Т. Устойчивость лесов. М.: Агропромиздат, 1989. 239 с.

48. РОСГИДРОМЕТ 2014. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. М.: Росгидромет, 2014. 1009 с.
<https://cc.voeikovmgo.ru/ru/publikatsii/2016-03-21-16-23-52>

49. Сурина Е.А., Сеньков А.О. Перспективные способы и технологии восстановления нарушенных лесных экосистем, улучшение качества и повышение продуктивности лесов европейского севера РФ / Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2020. – № 56. – С. 147-149. <https://elibrary.ru/item.asp?id=42819693>

50. Сурина Е.А., Сеньков А.О. Проектирование адаптационных лесохозяйственных мероприятий в связи с изменением климата в лесах северной и средней тайги европейской территории России // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2016. С.47-50.

51. Сурина Е.А., Сеньков А.О. Разработка предложений по системе мер по совершенствованию использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в различных лесорастительных условиях северо-таежного лесного района Европейской части Российской Федерации / Актуальные проблемы лесного комплекса. 2020. № 58. С. 54-57. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44172897>

52. Сурина Е.А., Сеньков А.О. Учет роли лесов в условиях меняющегося климата при формировании прогнозных сценариев развития лесного сектора // Биосферное хозяйство: теория и практика. 2018. № 3 (6). С. 19-21.

53. Сурина Е.А., Тараканов А.М., Сеньков А.О., Дворяшин А.В. О лесохозяйственных мероприятиях по адаптации лесов к изменению климата / В сборнике: Наука - лесному хозяйству Севера. Сборник научных трудов ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства». Ответственный редактор: Н.А. Демидова. Архангельск, 2019. С. 51-55.

54. Суховольский В.Г., Иванова Ю.Д., Ковалев А.В., Тарасова О.В. Лесной климатический проект: оценка влияния погодных факторов на развитие вспышек массового размножения лесных насекомых в таежных лесах и риски изменения частоты и зон вспышек при возможных климатических сдвигах / Лесные климатические проекты в России. Научные дебаты 19 окт. 2021 г. Москва, ЦЭПЛ РАН.

55. Тараканов А.М., Сурина Е.А., Сеньков А.О. Лесохозяйственные мероприятия по адаптации растительности к изменению климата // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2017.

56. Титкова Т.Б., Китаев Л.М., Виноградова В.В. Короткопериодная изменчивость сроков залегания снежного покрова по данным MODIS на севере Евразии в условиях современного климата // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 5. С. 223–238.

57. Торжков И.О., Королева Т.С., Константинов А.В., Кушнир Е.А. Анализ комплекса адаптационных мер к ожидаемым изменениям климата в лесном секторе Российской Федерации / Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2017. № 4. С. 64-77.

58. Цепелев В.Ю., Паниди Е.А., Торлопова Н.В., Бобков А.А. Использование характеристик растительного покрова таежной зоны для мониторинга климатических изменений XXI в. // Ученые записки РГГМУ. 2015. № 40. С.221-235.

59. Чугункова А.В. Исследование влияния глобального изменения климата на потенциальную продолжительность лесозаготовительного сезона // Исследования молодых ученых: экономическая теория, социология, отраслевая и региональная экономика. 2016. С. 297–301.

60. Шабанов Н.В., Marshall G., Барталев С.А., Тутубалина О.В., Rees G. Изменение фенологии растительного покрова севера России под влиянием климата на основе анализа временных рядов MODIS LAI за период 2000-2019 гг / В книге: Материалы 18-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Электронный сборник материалов конференции. Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2020. С. 190. <http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=174&thesis=8398>

61. Шварц Е.А., Ярошенко А.Ю., Замолодчиков Д.Г., Шматков Н.М. О новой стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года // Устойчивое лесопользование. 2021. № 1 (65). С. 2-6.

62. Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г. Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение. 2013. № 5. С. 50-61.

63. Шегельман И.Р., Лукашевич В.М. Оценка сезонности при подготовке лесозаготовительного производства // Фундаментальные исследования. 2011. № 12-3. С. 599-603.

64. Шматков Н., Луговая Д., Григорьев А. Лесной сектор Канады // ЛесПромИнформ №4 (142), 2019. <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=5361>.

65. Щеголева Л.В. и др. Оценка транспортного освоения лесных ресурсов с учетом сезонности: методические указания / Петрозаводск: ПетрГУ, 2008. 40 с.

66. Якушева Т.В. Комплексная оценка доступности лесных ресурсов с учетом развития лесной транспортной инфраструктуры на территории Северо-Западного Федерального округа // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2014. № 5. С. 113–117.