



Что нам может
сказать наука

Леса России и изменение климата

Пекка Лескинен, Маркус Линднер, Петер-Йохан Веркерк, Герт-Ян Набуурс,
Йо ван Брусселен, Елена Куликова, Мариана Хассегава и Бас Леринк (редкол.)



Что нам может сказать наука

Свен Вундер, главный редактор
Георг Винкель, заместитель редактора
Пекка Лескинен, заместитель редактора
Минна Корхонен, ответственный редактор
С редакцией можно связаться по адресу
publications@efi.int

Макет: Grano Oy

Рекомендуемое цитирование:

Лескинен П., Линднер М., Веркерк П.Й., Набуурс Г.Я., Ван Брусселен Й., Куликова Е., Хассегава М. и Леринк Б. (ред.)
2020. Леса России и изменение климата. Что нам может
сказать наука 11. Европейский институт леса.

ISBN 978-952-7426-03-6 (печатная версия)

ISBN 978-952-7426-04-3 (pdf)

ISSN 2342-9518 (печатная версия)

ISSN 2342-9526 (pdf)

<https://doi.org/10.36333/wsctu11>



EUROPEAN FOREST
INSTITUTE

При поддержке:



Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation
and Nuclear Safety

of the Federal Republic of Germany

Данная публикация была подготовлена при финансовой поддержке Института партнерства Европейского Союза и немецкого Федерального министерства окружающей среды, охраны природы и радиационной безопасности (BMU) в рамках Международной климатической инициативы (IKI). Содержание этой публикации находится в сфере ответственности исключительно Европейского института леса и не обязательно отражает точку зрения спонсоров.

Что нам может
сказать наука

Леса России и изменение климата

Пекка Лескинен, Маркус Линднер, Петер-Йохан Веркерк,
Герт-Ян Набуурс, Йо ван Брусселен, Елена Куликова,
Мариана Хассегава и Бас Леринк (редкол.)

Содержание

Авторы	7
Благодарности.....	9
Краткий обзор	11
1. Введение	13
<i>Риккардо Валентини, Пекка Лескинен, Петер-Йохан Веркерк, Герт-Ян Набуурс, Георгий Сафонов и Елена Куликова</i>	
2. Состояние лесов и лесного хозяйства России	17
<i>Дмитрий Замолодчиков, Анатолий Швиденко, Сергей Барталев, Елена Куликова, Александр Хелд, Риккардо Валентини и Маркус Линднер</i>	
2.1 Основные характеристики лесов России	17
2.2 Природные нарушения лесов.....	21
2.3 Лесоуправление и лесопользование	26
2.4 Экосистемные функции и услуги лесов России.....	29
2.5 Основные проблемы управления лесными ресурсами	36
2.6 Ключевые тезисы	39
3. Изменение климата в России: прошлое, настоящее и будущее	45
<i>Риккардо Валентини, Дмитрий Замолодчиков, Кристофер Рейер, Сержио Ночи, Мониа Сантини и Маркус Линднер</i>	
3.1 Наблюдаемые изменения климата России за последние десятилетия.....	45
3.2 Сценарии изменения климата	48
3.3 Ключевые тезисы	51
4. Изменение климата и леса России: последствия, уязвимость и потребности в адаптации	53
<i>Кристофер Рейер, Маркус Линднер, Дмитрий Замолодчиков, Анатолий Швиденко, Мартин Гуч и Сергей Барталев</i>	
4.1 Наблюдаемые воздействия изменения климата	53
4.2 Прогнозируемые воздействия.....	56
4.3 Оценка уязвимости	61
4.4 Потребности в адаптации	64
4.5 Ключевые тезисы	68

5. Климатически оптимизированное ведение лесного хозяйства в России и потенциальные выгоды от смягчения последствий изменения климата 73

Бас Леринк, Мариана Хассегава, Александр Крышень, Антон Ковалев, Эльдар Курбанов, Герт-Ян Набуурс, Сергей Мошников и Питер Йоханнес Веркерк

5.1 Введение	73
5.2 Подход и общие исходные предпосылки	75
5.3 Анализ конкретного примера: Республика Карелия	79
5.4 Анализ конкретного примера: Республика Марий Эл	86
5.5 Анализ конкретного примера: Приангарский макрорайон (Красноярский край)	93
5.6 Заключительные замечания, обсуждение и выводы	100
5.7 Ключевые тезисы	104

6. Роль биоэкономики в смягчении последствий изменения климата в России 107

Пекка Лескинен, Йо ван Брусселен, Мариана Хассегава, Александр Алексеев, Наталья Лукина, Ольга Ракитова, Георгий Сафонов, Елена Куликова и Михаил Сафонов

6.1 Введение	107
6.2 Концепция биоэкономики в России	108
6.3 Связь между биоэкономикой и смягчением последствий изменения климата	109
6.4 Состояние лесной промышленности России и потенциал биоэкономики	113
6.5 Отраслевое развитие и перспективы лесной биоэкономики	115
6.6 Резюме и выводы: возможности и проблемы развития биоэкономики в России	125
6.7 Ключевые тезисы	127

7. Заключение..... 133

Пекка Лескинен, Йо ван Брусселен, Маркус Линднер, Герт-Ян Набуурс, Петер-Йохан Веркерк, Наталья Лукина, Сергей Барталев и Елена Куликова

7.1 Лесные ресурсы	133
7.2 Воздействие климатических изменений, адаптация и смягчение последствий изменения климата	134
7.3 Управление лесами	135
7.4 Создание благоприятной среды для биоэкономики	137
7.5 Комплексный подход	138
7.6 Ключевые выводы и следующие шаги	139

Авторы

Александр Алексеев, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет (Россия)

Сергей Барталев, Институт космических исследований Российской академии наук (РАН) (Россия)

Мартин Гутч, Потсдамский институт изучения климатических изменений, член Ассоциации Лейбница (Германия)

Мариана Хассегава, программа «Биоэкономика» Европейского института леса

Александр Хелд, программа «Устойчивость лесов» Европейского института леса

Антон Ковалев, Красноярский научный центр Сибирского отделения РАН (Россия)

Александр Крышень, Институт леса Карельского научного центра РАН (Россия)

Елена Куликова, программа «Биоэкономика» Европейского института леса

Эльдар Курбанов, Поволжский государственный технологический университет (Россия)

Бас Леринк, Вагенингенский университет и научно-исследовательский центр (Нидерланды)

Пекка Лескинен, программа «Биоэкономика» Европейского института леса

Маркус Линднер, программа «Устойчивость лесов» Европейского института леса

Наталья Лукина, Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (Россия)

Сергей Мошников, Институт леса Карельского научного центра РАН (Россия)

Герт-Ян Набуурс, Вагенингенский университет и научно-исследовательский центр (Нидерланды)

Сержио Ночи, Европейско-средиземноморский центр по проблемам изменения климата (Италия)

Ольга Ракитова, Российская Национальная Биотопливная Ассоциация (Россия)

Кристофер Рейер, Потсдамский институт изучения климатических изменений, член Ассоциации Лейбница (Германия)

Георгий Сафонов, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (Россия)

Михаил Сафонов, Калифорнийский университет в Ирвайне — UCI (США)

Мониа Сантини, Европейско-средиземноморский центр по проблемам изменения климата (Италия)

Анатолий Швиденко, Международный институт прикладного системного анализа (Австрия)

Риккардо Валентини, Тосканский университет (Италия); РУДН (Россия)

Йо ван Брусселен, программа «Биоэкономика» Европейского института леса

Петер-Йохан Веркерк, программа «Биоэкономика» Европейского института леса

Дмитрий Замолодчиков, Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (Россия)

Благодарности

Данный доклад был подготовлен при финансовой поддержке Европейского инструмента партнерства и Федерального министерства окружающей среды, охраны природы и ядерной безопасности Германии (BMU) в контексте Международной климатической инициативы (IKI). Авторы выражают благодарность за оказанную поддержку. Благодарим директора Европейского института леса (ЕИЛ) Марка Палаи за ценные советы на разных этапах проведения исследования, а также Джинфэна Чана, Филиппа Сизэ, Себастьяна Остберга и Сибиллу Шаппхофф за выполнение расчетов с использованием моделей ORCHIDEE и LPJmL в рамках проекта Intersectoral Impact Model Intercomparison Project (ISIMIP). Кроме того, мы благодарны за конструктивные замечания и предложения, полученные от следующих рецензентов: Евгения Ваганова и Антона Пыжева (Сибирский федеральный университет), Джакомо Грасси (Объединенный исследовательский центр при Европейской комиссии) и Тобиаса Штерна (Грацский университет имени Карла и Франца). Наконец, мы хотели бы поблагодарить Свена Вундера и Сару Федер из ЕИЛ за ценные комментарии в процессе подготовки публикации.

Краткий обзор

Основная цель данного доклада — показать, каким образом лесной сектор может способствовать Российской Федерации в достижении целей Парижского соглашения, и в то же время показать, каким образом этот сектор может внести свой вклад в развитие экономики. Это подразумевает построение инновационной стратегии устойчивого лесопользования, направленной на сохранение и повышение продуктивности лесов, с учетом государственного курса на низкоуглеродное развитие общества, стимулирование инвестиций в продукцию лесного сектора и внедрение технических инноваций биоэкономики, представленных новыми перспективными видами продукции на основе древесины.

Мы приводим анализ лесных ресурсов Российской Федерации, их потенциала для связывания углерода и вклада в достижение целей Парижского соглашения, влияния последствий изменения климата, а также рисков, связанных с биотическими и абиотическими факторами. Используя методику климатически оптимизированного ведения лесного хозяйства (Climate Smart Forestry, CSF) на основе данных трех российских регионов, мы также представляем примеры с различными вариантами возможностей и решений по связыванию углерода как для сохранения лесных ресурсов и обеспечения экосистемных услуг лесов, так и для использования продукции на основе древесины. Кроме того, мы рассматриваем потенциал смягчения последствий изменения климата и возникающие возможности, в связи с развитием лесной биоэкономики и переходом России к низкоуглеродному развитию, включая инновационные решения в различных секторах промышленности для использования новых видов продукции на основе древесины.

В данном докладе обобщены современные научные представления о лесах России и изменении климата, а также определены возможности и проблемы, связанные с адаптацией к изменению климата, смягчением его последствий и развитием биоэкономики. Основные выводы и рекомендации в отношении последующих шагов можно обобщить следующим образом:

- В настоящее время леса России представляют собой крупный поглотитель углерода, но существуют также и большие площади на севере и востоке России, которые выступают в качестве источника углерода. Эти территории обычно расположены либо в зоне вечной мерзлоты, либо в лесах, подвергшихся нарушениям. Однако возникающие на протяжении нескольких лет крупномасштабные лесные пожары с последовательно возрастающим уровнем усыхания древостоев могут привести к значительному сокращению площади лесов, выступающих как поглотитель углерода.
- Последствия природных нарушений (лесные пожары, вредители и др.) играют критически важную роль для будущего лесов: следует уделять внимание их предотвращению, а также усилению мер по лесовосстановлению. Воздействие изменения климата представляет серьезную угрозу для лесного сектора. Потенциал достижения целей Парижского соглашения за счет значительного вклада биоэкономики не может быть реализован без активного лесопользования, направленного прежде всего на предупреждение природных нарушений и повышение устойчивости лесов.

- Необходимы инвестиции в устойчивое и климатически оптимизированное лесоправление, которые должны быть направлены на достижение долгосрочных целей, вместо заключения краткосрочных договоров аренды, а также на совершенствование инфраструктуры, особенно в доступных для освоения лесах. Без активного, климатически оптимизированного лесоправления невозможно реализовать потенциал биоэкономики. Иными словами, инвестиции в биоэкономику позволят обеспечить финансирование для более рационального лесопользования и совершенствования инфраструктуры, что в дальнейшем будет способствовать сохранению биоразнообразия и обеспечению экосистемных услуг лесов.
- Еще одним важным направлением является лесовосстановление, поскольку и в будущем также возможны крупномасштабные природные нарушения. Для того чтобы сохранить и даже увеличить вклад лесного сектора в смягчение последствий изменения климата, потребуется активная поддержка для крупномасштабного лесовосстановления.
- При разработке планов действий следует учитывать региональные различия.
- Для эффективного смягчения последствий изменения климата и адаптации к ним, а также для сохранения биологического разнообразия лесов необходим целостный подход. Предлагается использовать климатически оптимизированные методы ведения лесного хозяйства для объединения мер по смягчению последствий изменения климата с мерами по адаптации к ним, что позволит повышать устойчивость лесов России и обеспечить баланс между экосистемными услугами, а также удовлетворять потребности общества.
- Успешное развитие рынков биоэкономики, связанных с экономикой замкнутого цикла, может создать новую экономическую основу для замены линейной экономики, основанной на использовании ископаемого сырья.
- Важной задачей будет внедрение в практику результатов научных исследований, а успешное использование лесных ресурсов в будущем будет в значительной степени зависеть от совершенствования лесоправления. Потенциальные выгоды от такой концепции, как «Климатически оптимизированные методы ведения лесного хозяйства», требуют серьезных изменений в административной ответственности. Предлагаются следующие темы для дальнейшего рассмотрения и внедрения:
 - Совершенствование лесной политики с учетом развития лесной биоэкономики замкнутого цикла и эффективного смягчения последствий изменения климата и адаптации к ним.
 - Разработка национальной стратегии, а также национальных и региональных планов действий по развитию лесной биоэкономики замкнутого цикла.
 - Совершенствование национальной системы инвентаризации и мониторинга лесов с учетом интеграции современных наземных методов измерения и возможностей дистанционного зондирования.
 - Развитие управления лесным хозяйством на заброшенных сельскохозяйственных землях в целях предотвращения природных нарушений, а также в целях увеличения производства древесины и связывания углерода.
 - Учет возможностей новых секторов биоэкономики, таких как использование древесины в строительстве, текстильной промышленности и производстве биотоплива, с точки зрения задач экономического развития и целей декарбонизации.

Введение

**Риккардо Валентини, Пекка Лескинен, Петер-Йохан Веркерк,
Гер-Ян Набуурс, Георгий Сафонов и Елена Куликова**

Российская Федерация обладает обширными лесными ресурсами и нуждается в экономических преобразованиях, направленных на декарбонизацию в соответствии с целями глобальной экологической политики в области устойчивого развития. Уделяя особое внимание роли лесного сектора в адаптации к изменению климата и смягчении его последствий, а также новым возможностям, открывающимся в связи с формированием лесной биоэкономики, Российская Федерация может играть важную роль в глобальной климатической политике.

Для реализации целей Парижского соглашения — удержания прироста глобальной средней температуры намного ниже 2 °C сверх доиндустриальных показателей при приложении усилий в целях ограничения роста температуры до 1,5 °C — требуются серьезные социальные и экономические реформы. В недавнем Докладе о разрыве в уровнях выбросов (2019) Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) содержится предупреждение о том, что при нынешней политике и планах будет невозможно сохранить целевой показатель 1,5 °C и крайне маловероятно, что будет достигнут целевой показатель 2 °C. Чтобы приблизиться к целевому показателю 1,5 °C, в период с 2020 по 2030 гг. потребуется ежегодное снижение глобальных выбросов парниковых газов на 7,6 %.

В дополнение к Парижскому соглашению борьба с изменением климата является частью более всеобъемлющей задачи, которая основана на Повестке дня на период до 2030 года и ее преобразующем подходе к устойчивому развитию. В частности, цели в области устойчивого развития (ЦУР) представляют собой комплекс универсальных целей, отвечающих неотложным экологическим, политическим и экономическим задачам, стоящим перед мировым сообществом.

Леса и лесной сектор могут играть значительную роль в достижении ЦУР и осуществлении программ климатической политики по снижению концентрации углекислого газа в атмосфере, ускорению декарбонизации мировой экономики, улучшению социально-экономических условий сельского населения и защите окружающей среды. Другими словами, инвестиции в лесной сектор могут способствовать достижению многих отдельных ЦУР и привести к синергии и взаимовыгодным решениям с одновременным достижением нескольких целей. Это делает лесной сектор важным в аспекте реализации новой политики.

В контексте изменения климата, в то время как сокращение обезлесения и деградации лесов снижает выбросы парниковых газов, практика лесоправления может поддерживать или увеличивать поглощение и запасаание углерода в лесах. Лесоматериалы могут сохранять углерод в среднесрочной и долгосрочной перспективе, а также замещать эмиссионно-интенсивные материалы, такие как бетон и сталь, в строительном секторе (IPCC, 2018). Кроме того, поглощение углерода в лесах можно усилить, чтобы компенсировать другие антропогенные выбросы, например,

выбросы, энергетического и транспортного секторов. В докладе ЮНЕП о разрыве в уровнях выбросов 2017 года отмечалось, что сельскохозяйственный и лесной секторы являются одними из наиболее экономически эффективных и, следовательно, привлекательных средств для преодоления разрыва в амбициях по достижению цели Парижского соглашения по температуре. В настоящее время ожидается, что сектор землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства (ЗИЗЛХ) внесет примерно четверть объявленных глобальных сокращений выбросов в виде определяемых на национальном уровне вкладов (NDC) (Grassi et al., 2017).

Россия настойчиво и довольно успешно продвигала роль лесов на переговорах по Парижскому соглашению. Как указано в определяемом на национальном уровне вкладе (INDC), Российская Федерация обязалась к 2030 году ограничить выбросы парниковых газов до показателя в 70–75% выбросов 1990 года к 2030 году, при условии максимально возможного учета поглощающей способности лесов. Общая цель Парижского соглашения по достижению климатической нейтральности в XXI веке требует амбициозных целей по смягчению последствий изменения климата, в которых поглощение углерода лесами может играть значительную роль. Поэтому важно четко понимать, какие возможности и проблемы могут возникнуть в связи с ролью российских лесов в реализации Парижского соглашения. Это справедливо и в отношении дальнейшего развития лесных экосистем и лесопользования, а также необходимой трансформации общества и его декарбонизации. В итоге цель заключается в обеспечении устойчивости предоставления лесами экосистемных услуг и в то же время в поддержании экономических возможностей и благосостояния.

«Природные климатические решения» (Griscom et al., 2017) были предложены в качестве важного средства смягчения последствий изменения климата, которое может обеспечить до 37 % (экв. 23,8 Пг CO₂ в год) требуемого сокращения глобальных выбросов к 2030 году. Примерно две трети общего потенциала смягчения последствий изменения климата с использованием этих природных климатических решений могут быть достигнуты за счет накопления углерода в лесных экосистемах (Griscom et al., 2017; Roe et al., 2019), а остальная часть — за счет замещения материалов. Однако леса, которые являются основным источником непродовольственных и некормовых возобновляемых биологических ресурсов во всем мире, подвергаются беспрецедентному давлению со стороны экстремальных климатических условий, о чем свидетельствует увеличение числа лесных пожаров, а также повреждений, вызванных штормовыми ветрами и массовым размножением вредителей. Ожидается, что изменение климата еще более усугубит эти нарушения наряду с другими последствиями воздействия на леса и почвы, такими как изменение продуктивности, изменение породного состава, таяние вечной мерзлоты и т. д. Таким образом, помимо смягчения воздействия изменения климата необходимо адаптироваться к его последствиям. Адаптация необходима для обеспечения климатической устойчивости лесов и дальнейшего предоставления ими экосистемных услуг обществу. Поскольку Россия обладает столь обширными и часто отдаленными лесными ресурсами, важно не только смягчить последствия изменения климата, но и уменьшить или предотвратить связанные с этим нарушения, которые могут сдвинуть общий углеродный баланс российских лесов как стока углерода к источнику его выбросов. К сожалению, смягчение последствий изменения климата и адаптация часто не рассматриваются вместе в национальных стратегиях реализации действий в соответствии с Парижским соглашением (т. е. NDC).

Существует необходимость в новых, более эффективных подходах к ведению лесного хозяйства, лесопользованию и планированию. Методика климатически оптимизированного ведения лесного хозяйства (CSF) (Nabuurs et al., 2017; Verkerk et al., 2020) могла бы стать полезным подходом для совмещения действий по смягчению последствий изменения климата с мерами по адаптации, повышению устойчивости лесов и обеспечению ими экосистемных услуг, удовлетворению потребностей растущего населения и повышению благосостояния общества. Методика CSF

основана на концепции устойчивого лесопользования с упором на вопросы климата и обеспечения лесных экосистемных услуг. Она базируется на трех взаимодействующих элементах:

- увеличение накопления углерода в лесах и продукции из древесины в сочетании с обеспечением других экосистемных услуг лесов с учетом соответствующих климатических и антропогенных факторов уязвимости;
- улучшение состояния и климатической устойчивости лесов на основе адаптивного лесопользования; и
- устойчивое использование древесины с целью замещения невозобновляемых углеродоемких материалов.

Развитие биоэкономики может сыграть чрезвычайно важную роль в глубокой декарбонизации российской экономики. Биотопливо на основе древесины (твердое, жидкое и газообразное) может заменить значительную долю внутреннего потребления ископаемого топлива и стать весьма востребованной экспортной продукцией для российского бизнеса; биотекстильное производство — это низкоуглеродная альтернатива традиционному текстилю с широкими перспективами на мировых рынках; биопластики и многие другие продукты, в производстве которых используется древесная биомасса с низким углеродным следом, потенциально являются масштабными факторами, преобразующими рынок в новой низкоуглеродной экономике, где Россия имеет возможность стать мировым лидером. Страна располагает природными и людскими ресурсами для расширения секторов биоэкономики и, тем самым, достижения национальных целей модернизации, внедрения инноваций и повышения эффективности.

Основная цель данного доклада — показать, как лесной сектор может помочь России в достижении целей Парижского соглашения и каким образом он может внести свой вклад в развитие экономики. Это подразумевает построение инновационной стратегии устойчивого развития лесного сектора, направленной на сохранение и повышение продуктивности лесов, с учетом государственного курса на низкоуглеродное развитие общества, стимулирование инвестиций в продукцию лесного сектора и внедрение технических инноваций биоэкономики, представленных новыми перспективными видами продукции на основе древесины.

Этот доклад состоит из семи основных глав. Глава 1 – введение. Главы 2–4 посвящены систематическому анализу лесных ресурсов Российской Федерации, их потенциалу для связывания углерода и вклада в достижение целей Парижского соглашения, влиянию последствий изменения климата, а также рискам, связанным с биотическими и абиотическими нарушениями. В главе 5 с использованием методики климатически оптимизированного ведения лесного хозяйства на основе анализа трех российских регионов представлены примеры различных возможностей и решений по связыванию углерода как для сохранения лесных ресурсов и расширения экосистемных услуг лесов, так и для использования продукции на основе древесины. В главе 6 рассматривается потенциал смягчения последствий изменения климата и возникающие возможности в связи с развитием лесной биоэкономики и переходом России к низкоуглеродному развитию, включая инновационные решения в различных секторах промышленности для использования новой продукции на основе древесины. Наконец, в главе 7 кратко изложены основные общие выводы доклада.

Использованная литература

Grassi, G., House, J., Dentener, F., Federici, S., den Elzen, M. and Penman, J. 2017. The key role of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation. *Nature Climate Change* 7, 220–226. <https://doi.org/10.1038/nclimate3227>.

- Griscom, B.W., Adams, J., Ellis, P.W., Houghton, R.A., Lomax, G., Miteva, D.A., Schlesinger, W.H., Shoch, D., Siikamäki, J.V., Smith, P., Woodbury, P., Zganjar, C., Blackman, A., Campari, J., Conant, R.T., Delgado, C., Elias, P., Gopalakrishna, T., Hamsik, M.R., Herrero, M., Kiesecker, J., Landis, E., Laestadius, L., Leavitt, S.M., Minnemeyer, S., Polasky, S., Potapov, P., Putz, F.E., Sanderman, J., Silvius, M., Wollenberg, E., Fargione, J. 2017. Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114, 11645–11650. <https://doi.org/10.1073/pnas.1710465114>.
- IPCC 2018: Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.
- Nabuurs, G.J., Delacote, P., Ellison, D., Hanewinkel, M., Hetemäki, L. and Lindner, M. 2017. By 2050 the Mitigation Effects of EU Forests Could Nearly Double through Climate Smart Forestry. *Forests*, 8, 484. <https://doi.org/10.3390/f8120484>.
- Roe, S., Streck, C., Obersteiner, M. et al. 2019. Contribution of the land sector to a 1.5 °C world. *Nat. Clim. Chang.* 9, 817–828. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0591-9>
- UNEP 2017. The Emissions Gap Report 2017. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi. <http://www.unenvironment.org/resources/emissions-gap-report>
- UNEP 2019. Emissions Gap Report 2019. Executive summary. United Nations Environment Programme, Nairobi. <https://www.unenvironment.org/resources/emissions-gap-report-2019>
- Verkerk, P.J., Costanza, R., Hetemäki, L., Kubiszewski, I., Leskinen, P., Nabuurs, G.J., Potočník, J. and Palahí, M. 2020. Climate-Smart Forestry: the missing link *J. Forest Econ.*, 115. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102164>

Состояние лесов и лесного хозяйства России

Дмитрий Замолодчиков, Анатолий Швиденко,
Сергей Барталев, Елена Куликова, Александр Хелд, Риккардо
Валентини и Маркус Линднер

2.1 Основные характеристики лесов России

Дмитрий Замолодчиков, Анатолий Швиденко и Сергей Барталев

Термин «лесные ресурсы» имеет различные толкования в российской литературе по лесному хозяйству. В узкоспециальном смысле лесные ресурсы включают в себя запас древесины на корню и недревесной продукции в лесах и на прочих землях, покрытых древесной и кустарниковой растительностью (Moiseev, 1974). В более широком смысле под лесными ресурсами понимаются лесопокрытые площади, включающие все наземные биотические компоненты (растения, животные, грибы, микроорганизмы), вместе с множеством экосистемных функций, создающие лесную среду и широкий спектр продуктов и услуг (Sheingauz and Sapozhnikov, 1983).

Как показано на рис.1, российская система классификации лесных земель достаточно сложна. Важно понимать, что официальные данные учета лесов в своей полноте относятся только к землям лесного фонда, находящимся в ведении государственного органа управления лесным хозяйством (см. вставку 1). Естественные сукцессии на заброшенных землях могут привести к образованию лесного покрова и на других территориях. Такие территории могут соответствовать требованиям национального определения леса, но на данный момент они не включены в официальные данные учета лесов. Однако в оценках лесных ресурсов, основанных на данных дистанционного зондирования из космоса, различия между землями лесного фонда и другими землями с лесным покровом не идентифицируются, что может объяснить значительные различия в ссылках на площади лесов между официальной информацией и другими оценками.

Россия имеет самую большую площадь лесов в мире. В таблице 1 представлена подборка статистических данных по лесам, включенным в Государственный лесной реестр.

В площади табл. 1 не включены покрытые лесом земли, не учитываемые государственной лесной статистикой как лес. После социально-экономических реформ,

Вставка 2. Определения основных категорий лесных земель

Лесной фонд — все земли, находящиеся в ведении государственных органов управления лесным хозяйством

- лесные земли — земли, предназначенные для произрастания лесов
- нелесные земли — земли, непригодные для роста лесов или предназначенные для других целей, связанных с лесным хозяйством.

Лесные земли далее делятся на:

- земли, покрытые лесной растительностью — лесные земли, покрытые лесом на момент инвентаризации (согласно национальному определению леса *), и
- земли, не покрытые лесной растительностью — земли, предназначенные для выращивания леса, но временно лишенные лесного покрова, включая лесные гари и погибшие насаждения, сплошные вырубки, естественные редины, пустыри и прогалины, а также несомкнувшиеся лесные культуры

* Национальное определение леса в России (по материалам Лесоустроительной инструкции, 2018): К лесным землям, покрытым лесной растительностью, относятся: i) земли, занятые лесными насаждениями естественного и искусственного происхождения с полнотой 0,4 доли единицы и выше в возрасте молодняков и с полнотой 0,3 доли единицы и выше в возрасте, превышающем возраст молодняков; ii) земли, занятые кустарниками, на которых в силу естественно-географических условий не могут произрастать древесные породы или на которых специально организуются кустарниковые хозяйства (ив, орехоплодных, технических культур); iii) плантации лесных древесных пород, предназначенные для ускоренного выращивания лесных насаждений с целью получения целевых сортиментов или древесной массы для последующей переработки.



Рисунок 1. Распределение лесов России по категориям земель. Закрашенные прямоугольники обозначают лесные территории, соответствующие национальному определению лесов и отраженные в официальной статистике (см. вставку 1). Леса на заброшенных сельскохозяйственных землях включают в себя участки, не охваченные официальной лесной статистикой, но они могут определяться как лес с помощью дистанционных методов наблюдения.

Таблица 1. Площадь основных категорий лесных земель России, млн га (ср. рис. 1). Источник: Russian Ministry of Ecology and Natural Resources, 2015.

Категории лесных земель Российской Федерации, учитываемые в официальной статистике	Площадь лесов, млн га				
	Всего	Лесные земли	Земли, покрытые лесной растительностью		
			Всего	Включая леса с преобладанием пород	
				хвойных	лиственных
Земли лесного фонда	1146,30	864,54	770,12	524,69	18,24
Леса на землях населенных пунктов	1,44	1,20	1,13	0,39	0,97
Леса на землях особо охраняемых природных территорий	26,68	17,77	16,76	11,14	0,76
Леса на землях иных категорий	8,76	7,34	6,51	2,34	0,51
Итого	1183,2	890,86	794,51	538,56	19,61

начавшихся в начале 1990-х годов, 48–56 млн га сельскохозяйственных земель были заброшены (Kotlyakov and Luri, 2012). Естественные сукцессии и возможное увеличение площадей древесно-кустарникового покрова (Lyuri et al., 2010) происходят на 39,1 млн га заброшенных сельскохозяйственных угодий, согласно последним оценкам дистанционного зондирования Земли (Lesiv et al., 2018). По последним оценкам, лесопокрытая площадь на заброшенных пахотных землях (то есть площадь с древесным покровом, отвечающим определению леса) составляет около 18 млн га (Schepaschenko et al., 2015a).

Данные Государственного лесного реестра (ГЛР) следует использовать с осторожностью, поскольку значительная часть данных устарела и имеет систематические погрешности неизвестной величины. По официальным данным ГЛР, лесоучетные работы для почти 50 % российских лесов в последний раз проводилась около 30 лет назад. Недавно было опубликовано несколько достаточно надежных оценок площади российских лесов средствами дистанционного зондирования земли из космоса. При пространственном разрешении 150 м, общая лесопокрытая площадь составила 757,7 млн га (Schepaschenko et al., 2015a) в сравнении с 794,5 млн га на 2015 год, указанными в ГЛР. При этом значительно меньшие лесопокрытые площади были обнаружены на севере Азиатской части страны. Еще более низкая оценка площади лесов — 725,5 млн га была дана Bartalev et al. (2016). Однако, она не включала территории редин и кустарников, произрастающих в маргинальных условиях, которые включаются в ГЛР в качестве лесопокрытых площадей.

Средняя лесистость территории России в последние десятилетия была достаточно стабильной. В настоящее время она составляет 46,5 % (IIASA, неопубликованные данные). Однако лесистость сильно варьируется в зависимости от региона и биоклиматической зоны: от 0,2 % (Республика Калмыкия) до 82,5 % (Иркутская область). Около двух третей всех лесов в Российской Федерации произрастает на вечной мерзлоте, которая занимает обширные территории Сибири и Дальнего Востока. За последние три столетия большие площади лесов были преобразованы в сельскохозяйственные и другие категории земель, что привело к относительно низким значениям лесистости в густонаселенных центральных районах европейской части России.

Лесопокрытая площадь на душу населения велика: 5,30 га для всей территории России и колеблется от 0,03 га (Ставропольский край) до 162,2 га (Республика Саха) (рис. 2). Это самый высокий показатель на северо-востоке России (Республика Саха,

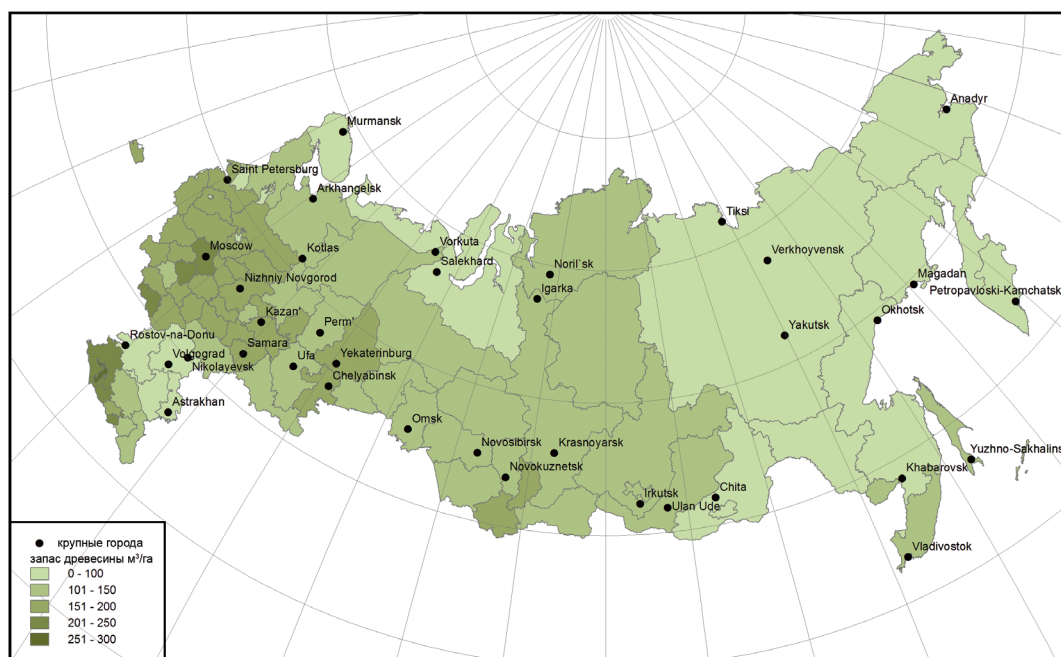


Рисунок 2. Запас древесины на единицу площади по административным регионам Российской Федерации. На карте использованы данные с сайта www.fedstat.ru, 2019.

Чукотский автономный округ, Магаданская область и Камчатский край) из-за очень низкой плотности населения. В целом, регионы с высокой плотностью населения отличаются более низкой обеспеченностью лесными ресурсами. Самые низкие значения — в южной половине европейской части России. Наиболее важным показателем лесных ресурсов является запас древесины на корню (GSV). По данным ГЛР за 2016 г., общий запас древесины в российских лесах составил 82,8 млрд м³, из которых 79,7 млрд м³ приходилось на леса лесного фонда (www.fedstat.ru, 2019). Эти значения не включают в себя запас лесов на заброшенных сельскохозяйственных землях. Республика Саха и другие регионы северо-востока России имеют относительно низкий средний запас (56,0 м³/га; рис. 2). Более высокие средние значения запаса (160–210 м³/га) характерны для лесов Центрального и Северо-Западного федеральных округов. Самые высокие средние показатели древесного запаса наблюдаются в горных районах Южного федерального округа, например в Республике Адыгея (289 м³/га) и в Краснодарском крае (229 м³/га).

В ряде исследований сообщается, что запас древесины в российских лесах был занижен в ходе наземной инвентаризации лесов как минимум на 10–20 % (Shvidenko et al., 2007; Vyvadtsev et al., 2003). Экспертная система, разработанная в Международном институте прикладного системного анализа (IIASA) для коррекции устаревших результатов государственной инвентаризации лесов, определила общий запас лесов России в 94,3 млрд м³ на 2014 год, что – по среднему запасу на 1 га – на 19,0 % превышает соответствующий показатель ГЛР (Shvidenko et al., 2019). Несколько более высокие средние значения запаса за 2014 год были получены с помощью методов дистанционного зондирования Земли (S. Bartalev, 2020; личное общение).

Природные нарушения лесов

Сергей Барталев, Анатолий Швиденко и Александр Хелд

2.2.1 Основные природные нарушения лесов и климатические взаимосвязи

Различные природные нарушения оказывают серьезное влияние на динамику российских лесов. По данным государственной статистики (Rosstat, 2018), в 2014–2017 гг. повреждения¹ в лесах России были вызваны лесными пожарами (63 %), вредными насекомыми (15 %), воздействием неблагоприятных погодных условий (11 %), болезнями (10 %) и другими факторами, такими как промышленное загрязнение (~1 %). Несмотря на ограниченную достоверность лесной статистики в абсолютных цифрах, эти показатели, тем не менее, отражают соответствующее воздействие различных нарушений. В этой главе основное внимание уделяется оценке природных нарушений в лесах России с использованием хорошо зарекомендовавших себя методов дистанционного зондирования. Однако отнесение обнаруженных изменений в лесах к различным нарушающим факторам часто нельзя осуществить только на основе данных дистанционного зондирования. Поэтому мы сосредоточили анализ на нарушениях лесов, вызванных пожарами, ветром, а также сочетанием биотических факторов, которые трудно разделить с использованием имеющихся данных.

Различные нарушения лесов часто взаимосвязаны и могут иметь тесную связь с климатическими факторами и деятельностью человека. Например, засуха часто вызывает вспышки массового размножения насекомых в дополнение к ее непосредственному воздействию на леса, и оба фактора могут привести к увеличению количества лесных горючих материалов и повышению риска возникновения пожаров. Сами нарушения леса также подвержены влиянию со стороны изменения климата. Человек влияет на их естественный режим как непосредственно (вызывая и/или подавляя пожары, вспышки размножения насекомых и т. д.), так и косвенно, изменяя условия окружающей среды.

2.2.2 Лесные пожары

По сравнению с общемировой тенденцией сокращения площадей, пройденных лесными пожарами, за последние два десятилетия (Andela et al., 2017), в российских лесах отмечается увеличение скорости распространения, частоты и тяжести лесных пожаров, а также и других природных нарушений, таких как вспышки массового размножения насекомых. Этому есть целый ряд причин, в том числе: 1) преобладание обладающих повышенной горимостью хвойных лесов; 2) повышение риска пожаров, вызванных грозowymi разрядами, особенно на малонаселенных отдаленных территориях; 3) неудовлетворительная защита лесов от пожаров и биогенных нарушений; 4) общее снижение уровня лесопользования.

¹ Под площадью поврежденных лесов понимается объем ущерба, произошедшего в отчетном году. В отчетности леса рассматриваются как «погибшие насаждения», когда по крайней мере 2/3 деревьев в древостое дефолированы или когда полнота живой части древостоя ниже порога 0,3.

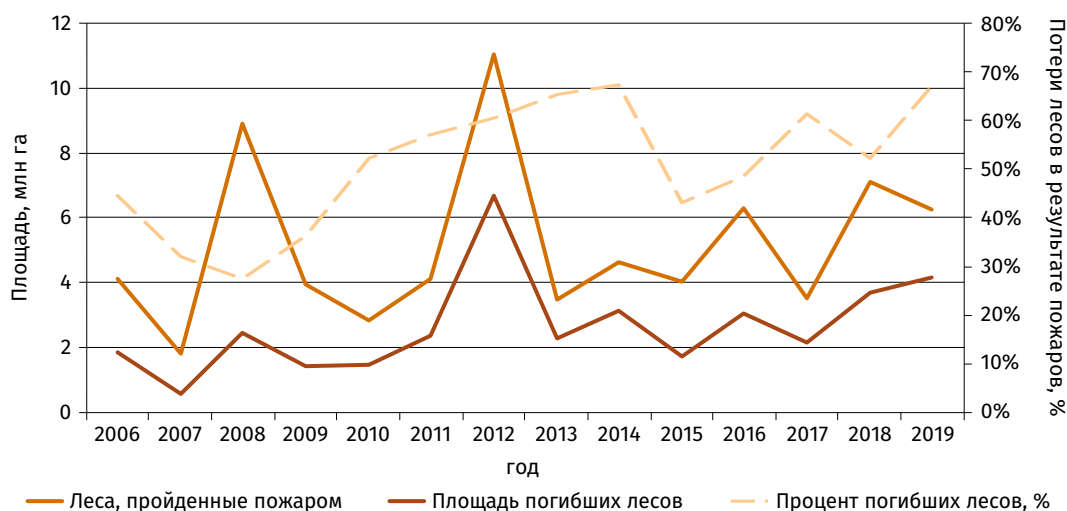


Рисунок 3. Многолетняя динамика площади пройденных пожарами и погибших лесов по данным MODIS.

В 2001–2019 гг. датчики MODIS ежегодно регистрировали от 8000 до 20 000 лесных пожаров (Loupian et al., 2017; Loupian et al., 2019), затрагивающих лесопокрытую площадь от 2 до 11 млн га (рис. 3), в среднем около 5,6 млн га (Bartalev et al., 2015; Bartalev, личное общение). Несмотря на то, что существует большая изменчивость от года к году, отмечается **статистически** значимая положительная тенденция площадей пожаров. Временной ряд заканчивается двумя годами чрезвычайной пожарной опасности подряд: 2018 и 2019. Это уникальное явление, поскольку последовательные годы с высоким уровнем пожарного воздействия никогда ранее не были зафиксированы в России.

Средняя площадь лесных пожаров (рис.4) также увеличилась с 2007 года по данным, полученным по методике Bartalev et al. (2013). Кроме того, площади, пройденные чрезвычайно крупными пожарами, часто называемыми мегапожарами (Tedim et al., 2018), особенно велики в экстремальные годы, такие как 2012, 2016, 2018 и 2019. Катастрофические пожары, охватывающие площади в десятки и сотни тысяч гектаров, приводят к деградации лесов с негативными последствиями для биоразнообразия, экономики и условий жизни (Bowman et al., 2017).

Распределение показателей пожаров по стране далеко не однородно. Частота пожаров выше в населенных районах европейской части России, Южной Сибири и Дальнего Востока. Однако площади, пройденные пожаром, значительно выше в малонаселенной Центральной Сибири и на севере Дальнего Востока, где уровень противопожарной охраны ниже. Эти регионы имеют значительно более высокие показатели среднего размера пожаров по сравнению с остальной частью российских лесов, особенно в Западной Сибири и европейской части России.

Воздействие пожаров на усыхание деревьев зависит от многих факторов, включая типы пожаров (верховые, низовые или почвенные) и их интенсивность, породный состав и возраст насаждений, возникновение пожаров в течение определенного времени года и метеорологические условия. С 1950-х годов в среднем по стране доля наземных пожаров составляла 77 %, из них 22 % — верховые пожары и 1 % — торфяные пожары (Korovin, 1996). Согласно оценкам MODIS, площадь пожаров со сменой пород (рис. 3) варьировалась от 0,6 до 6,7 млн га с 2006 по 2019 год с тенденцией к увеличению (Bartalev et al., 2015; Bartalev, личное общение).

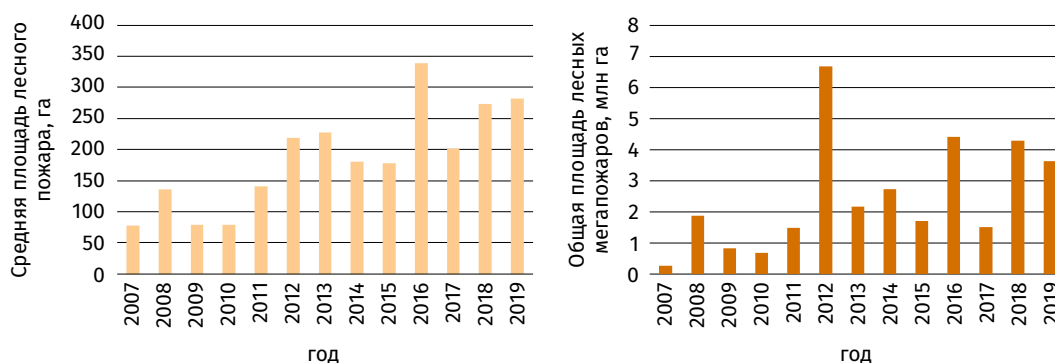


Рисунок 4. Последние тенденции в показателях а) средней площади лесных пожаров (левая панель) и б) площадей, пройденных масштабными лесными пожарами, охватывающими более 10 000 га (правая панель).

Важно отметить, что хотя лесные пожары обычно считаются естественным явлением в бореальных лесах, большинство возгораний в России вызваны деятельностью человека. Анализ зарегистрированных пожаров за 1981–2001 гг. показывает, что в зоне охраны лесов (занимающей около 2/3 площади Государственного лесного фонда) около 81,1 % пожаров были отнесены к антропогенным, 12,1 % — к возгораниям от грозových разрядов, а остальные пожары не имеют приписываемой причины (Korovin and Zukkert, 2003). Доля антропогенных и естественных причин варьируется в разные годы. В некоторые годы, например 1989–1992 гг., количество пожаров, вызванных грозowymi разрядами, превысило 25 % по всей стране. В европейско-уральской части России доля антропогенных пожаров выше (93,5 %), а в азиатской части их доля оценивается в 77 % по сравнению с 19 % возгораний от грозových разрядов. Средняя площадь пожаров, вызванных грозowymi разрядами, примерно в три раза выше, чем антропогенных, а доля пожаров, вызванных грозowymi разрядами в зоне охраны лесов, составляет около 40 %.

За последние 50 лет из-за лесных мегапожаров площадь гибели лесов увеличилась до 20 млн га, в основном на севере азиатской части России (Yefremov, Shvidenko, 2004). Эти пожары могут превратить леса в бесплодные земли с отложенным лесовозобновлением на неопределенно длительный период (так называемое «зеленое опустынивание»). Восстановить эти территории можно только путем дорогостоящей мелиорации, а для естественного лесовозобновления могут потребоваться сотни лет.

Прямые эмиссии углерода при пожарах оцениваются в 40–90 Мт С/год (Shvidenko et al. 2013a, Shvidenko and Schepaschenko 2014). Средний состав продуктов горения в 2000–2012 гг.: CO_2 — 84,6 %, CO — 8,2 %, CH_4 — 1,1 %, неметановые углеводороды — 1,2 %, органический углерод 1,2 %, и черный углерод — 0,1 %. Наибольшее содержание CH_4 и CO в продуктах горения наблюдается в эмиссиях от торфяных пожаров (Shvidenko et al., 2011). Значительные эмиссии наблюдаются также из-за усыхания лесов после пожаров без смены пород, которое может продолжаться от 2 до 8 лет. Согласно оценкам, в среднем послепожарные эмиссии из-за разложения погибших деревьев близки к прямым выбросам в ходе пожаров.

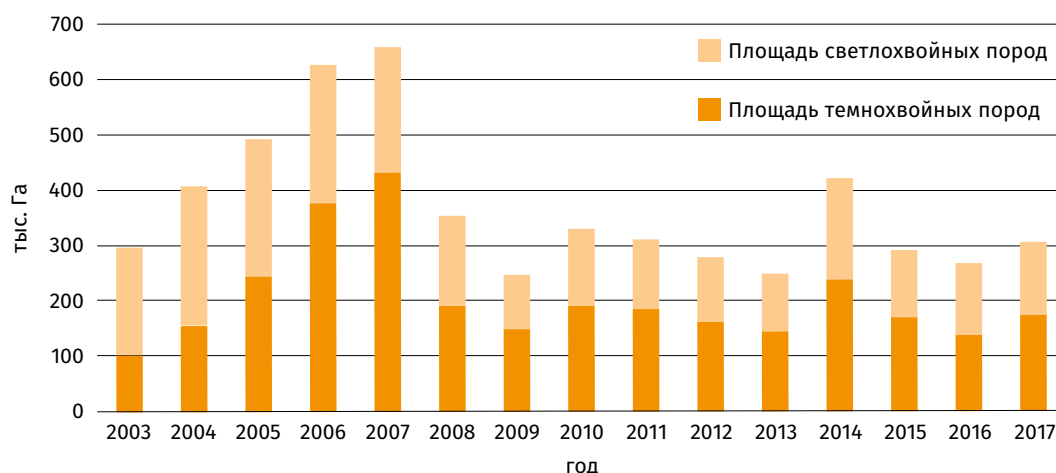


Рисунок 5. Площади усыхания вечнозеленых хвойных лесов в России в результате сочетания воздействия биотических и абиотических факторов (без воздействия пожаров) в 2003–2017 гг. Темнохвойные породы — ель, пихта и сосна сибирская кедровая, светлых пород — другие виды сосен. Источник: Bartalev et al., личное сообщение.

2.2.3 Нарушения биотического характера

Российские леса подвергаются массовому воздействию неблагоприятных факторов биотического характера, которые могут вызывать нарушение устойчивости лесов на миллионах гектаров, вспышки массового размножения насекомых и очаги развития болезней вызываются сочетанием благоприятных условий погоды и лесной среды каждые 15–25 лет (Im et al., 2007). Суровые климатические условия ограничили эти вспышки районами ниже 60 градусов северной широты. Однако с потеплением климата вспышки могут возникать в лесах к северу от этой линии.

В период с 1880 по 1969 год около 13 млн га лесов Восточной Сибири были уничтожены сибирским шелкопрядом (*Dendrolimus sibiricus*), что привело к потере 2 млрд м³ запаса древесины (Shvidenko et al., 2013b). Вспышки его массового размножения нанесли серьезный ущерб на более 1 млн га в середине 1990-х годов и затронули площадь более 10 млн га северных лиственничных лесов в 2000–2001 гг. в широтах, где это насекомое ранее наблюдалось редко (Shvidenko et al., 2013b).

Некоторые исследования указывают на то, что более теплый и сухой климат может вызвать крупномасштабные вспышки размножения филлофагов (например, Pleshakov, 1982). Например, явное смещение к северу распространения сибирского шелкопряда и непарного шелкопряда (*Limantria dispar*) достигло территорий, где такие вспышки никогда ранее не наблюдались (FAFMR, 2010). Сообщается о других масштабных нарушениях, вызванных сочетанием биотических и абиотических факторов, для разных регионов. Несколько волн усыхания насаждений наблюдалось в дальневосточных елово-пихтовых лесах во второй половине 1960-х годов, в 1970–1980 гг. и в 1989–1993 гг., но общепринятого объяснения этому не было найдено (Manko, Gladkova, 2001). Темнохвойные леса оказались уязвимы к вторжению уссурийского полиграфа (*Polygraphus proximus*), завезенного с Дальнего Востока, распространение которого охватило за последние 10–15 лет около трети площади пихты сибирской (Bystrov, Antonov, 2019).

По данным MODIS об усыхании вечнозеленых хвойных лесов в 2003–2017 гг., общая их площадь оценивается примерно в 5,54 млн га (Bartalev et al., личное сообщение, рисунок 5). Площадь поврежденных лесов в результате усыхания ели, пихты и сосны сибирской колеблется в разные годы от 0,25 до 0,65 млн га.

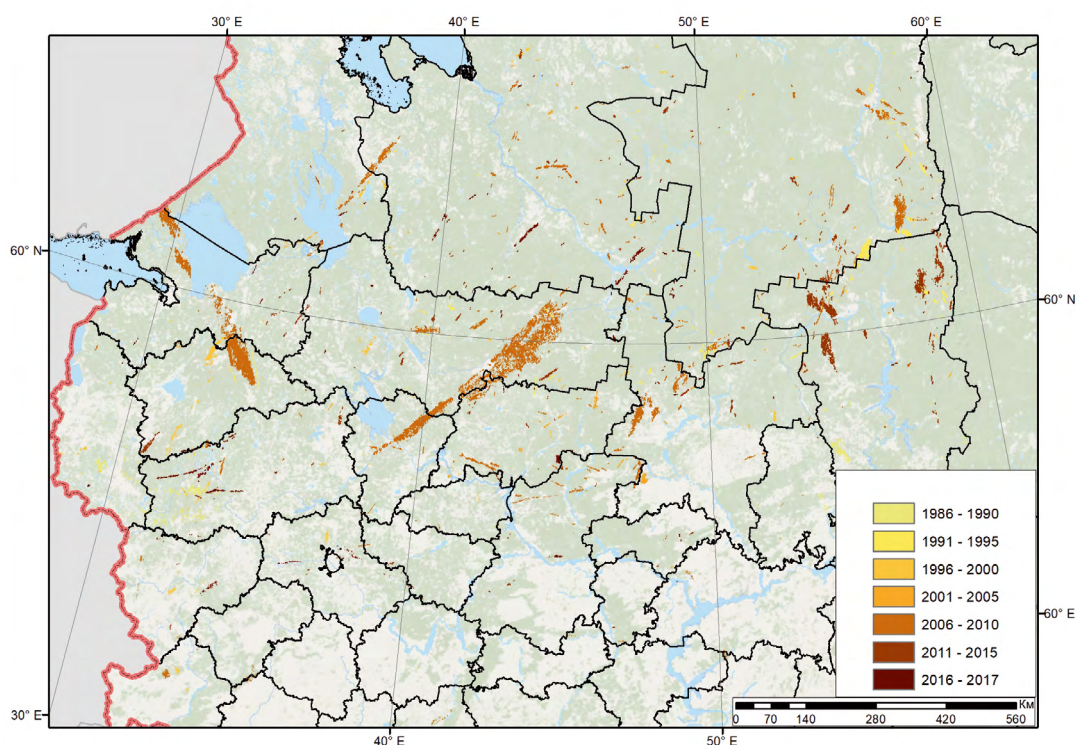


Рисунок 6. Нарушения лесов, связанные с воздействием ветра в европейской части России в 1986–2017 гг. Долгосрочная тенденция выявленных случаев повреждения лесов ветровалом показывает многократный рост за период с 1986 года, при этом чрезвычайно масштабные повреждения наблюдались в 2010, 2012 и 2017 годах. На карте использованы данные Shikhov и Chernokulsky, 2018.

2.2.4 Последствия воздействия ветра

Данные наблюдения Земли являются ценным источником информации для изучения ущерба, причиненного лесам ветром: на основе данных Landsat их можно оценить на больших площадях на региональном уровне (Shikhov, 2013) и на территории всей страны (Krylov et al., 2012). Репрезентативная база данных о повреждениях лесов европейской части России в результате воздействия ветра была создана за 1986–2017 годы (Shikhov, Chernokulsky, 2018) на основе анализа данных Landsat и Глобальной карты изменения лесов Hansen et al. (2013) (рис. 6). В 2010 году площадь лесов, поврежденных ветром, достигла исторического максимума за весь период наблюдений с 1986 года и составила около 128 000 га. В другие годы площадь повреждений составляла от 300 до 27 100 га.

Лесоправление и лесопользование

Елена Куликова и Анатолий Швиденко

2.3.1 Категории лесопользования

В соответствии с Лесным кодексом (2006 г.) леса, расположенные на землях лесного фонда, по своему целевому назначению подразделяются на три вида. *Эксплуатационные леса* (51 % земель лесного фонда) — это леса, которые подлежат освоению, в т.ч. доступные для промышленной рубки. *Защитные леса* (26 %) включают леса, которые выполняют многочисленные защитные и регулирующие функции. К таким лесам относятся, например, леса, расположенные на особо охраняемых природных территориях, леса, расположенные в водоохранных зонах, городские леса и др. *Резервные леса* (23 %) включают отдаленные леса, в которых в течение 20 лет не планируется осуществлять заготовку древесины, за исключением заготовки древесины гражданами для собственных нужд. Две трети резервных лесов расположены на Крайнем Севере, где они являются основой жизнеобеспечения значительной части местного населения. Учитывая недостаточное развитие инфраструктуры в обширных отдаленных районах Сибири и Дальнего Востока, они не могут считаться управляемыми — в них не ведется экономической деятельности и не осуществляются формальные меры защиты и охраны.

Виды лесопользования согласно Лесному кодексу (2006 г.) в основном относятся к использованию ресурсов леса (таких как древесина и недревесная продукция), инфраструктуры для разработки полезных ископаемых, рекреации и т.д. Гораздо меньше внимания уделяется вопросам сохранения лесов и их воспроизводства (Petrov et al., 2018). Выполнение защитных функций является руководящей целью управления лесами в водоохранных зонах, защитных лесополосах, лесных экотонах и др. Всего определено около 20 различных защитных функций. Сохранение биоразнообразия в основном предусматривается в защитных лесах, отнесенных к категории особо охраняемых природных территорий, таких как государственные природные заповедники, национальные парки, природные парки, памятники природы и другие особо охраняемые природные территории, установленные федеральным законодательством. Специальный статус имеют особо защитные участки лесов, которые могут быть созданы во всех типах лесов, включая эксплуатационные леса, например, для защиты мест обитания редких и находящихся под угрозой исчезновения диких видов растений и животных.

Использование древесины возможно как в эксплуатационных, так и в защитных лесах, но лесоправление должно обеспечивать сохранение целевого назначения защитных лесов и выполняемых ими полезных функций. В большинстве защитных лесов сплошные рубки запрещены; в некоторых категориях также может быть ограничена интенсивность выборочных рубок.

2.3.2 Организация управления лесами

Лесной кодекс Российской Федерации (Federal Law of the RF No 119-FZ) является основным нормативным документом, регулирующим отношения в лесном хозяйстве России. Федеральное лесное законодательство за последние 25 лет несколько раз менялось, включая внесение более 40 наборов поправок в Лесной кодекс 2006 г. Широкий круг заинтересованных сторон в лесном секторе призывает к принятию нового Лесного кодекса для усиления учета интересов сохранения и использования лесов и развития лесного хозяйства по сравнению с интересами лесной промышленности (Otvetstvennost, 2019; Lesopromishlennii, 2019).

Государственное управление лесами на федеральном уровне осуществляется Министерством природных ресурсов и экологии и его подведомственным органом — Федеральным агентством лесного хозяйства Российской Федерации. Лесоправление децентрализовано, федеральные полномочия в сфере лесных отношений на региональном уровне реализуются через департаменты лесного хозяйства в восьми федеральных округах, включающих 85 административных регионов (субъектов Российской Федерации).

Федеральное агентство лесного хозяйства предоставляет следующие услуги: (1) государственная инвентаризация лесов и лесостроительство; (2) лесопатологический мониторинг; (3) семеноводство; (4) проведение авиационных работ по охране лесов от пожаров; (5) проведение научных исследований; (6) дополнительное профессиональное образование. Названные услуги предоставляются либо учреждениями и предприятиями Федерального агентства лесного хозяйства, либо через торги на основе государственных закупок (ФАО, 2012). Агентству лесного хозяйства подчиняются департаменты лесного хозяйства в восьми федеральных округах, которые осуществляют работу на региональном уровне.

Органам государственной власти субъектов Российской Федерации (регионов) переданы следующие полномочия: (1) разработка и утверждение лесных планов субъектов Российской Федерации, лесохозяйственных регламентов, проведение государственной экспертизы проектов освоения лесов; (2) предоставление лесных участков в пользование, аренду, заключение договоров купли-продажи насаждений, организация и проведение лесных аукционов; (3) выдача разрешений на выполнение геологических работ на землях лесного фонда; (4) организация использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов; (5) ведение государственного лесного реестра; (6) осуществление федерального лесного надзора; (7) установление перечня должностных лиц, осуществляющих федеральный лесной надзор. (ФАО, 2012). Эти полномочия реализуются государственными структурами в рамках органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации. На местном уровне эти структуры представлены 1650 государственными лесохозяйственными предприятиями (*лесничествами*) (ФАО, 2012).

Заготовка древесины осуществляется на основании договоров аренды лесных участков, права постоянного (бессрочного) пользования и договоров купли-продажи лесных насаждений. Наиболее распространенной правовой формой лесопользования являются договоры аренды леса (контракты), которые заключаются на срок до 49 лет. В 2016 г. действовало около 80 000 договоров аренды лесных участков, площадь которых составляла 27,5% от общей площади земель лесного фонда (без учета резервных лесов). В среднем на аукционах ежегодно заключается более 600 000 договоров купли-продажи лесонасаждений (срок действия до 1 года; без аренды лесных участков). В основном они направлены на использование лесов для местных нужд и удовлетворение потребностей местного сельского населения в древесине. Права на заключение договоров приобретаются юридическими и физическими лицами на лесных аукционах. Арендаторы осуществляют лесохозяйственные операции на арендованных землях, на долю которых приходится более 14 % земель лесного фонда. Уполномоченные унитарные предприятия и автономные образования

осуществляют лесохозяйственные работы на не арендованных землях (FAO, 2012).

К числу действующих в настоящее время стратегических документов лесной политики относятся: «Основы государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года» (2014), Лесной кодекс (2006), «Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 г.» (2018 г.) и Государственная программа Российской Федерации «Развитие лесного хозяйства на 2013–2020 гг.» (2013).

Экосистемные функции и услуги лесов России

Анатолий Швиденко, Дмитрий Замолодчиков, Риккардо Валентини и Маркус Линднер

Российские леса предоставляют многочисленные экосистемные услуги, которые жизненно важны для общества и национальной экономики. Они регулируют климат путем воздействия на основные биогеохимические циклы; поставляют сотни миллионов кубометров высококачественной древесины и другой лесной продукции; предотвращают и смягчают ущерб от катастрофических погодных явлений (штормов, засух, наводнений); регулируют гидрологический режим в различных масштабах; очищают воду; способствуют созданию и поддержанию запасов воды в реках, озерах, водоносных горизонтах; формируют почву и защищают ее от разрушения; регулируют круговорот веществ; играют важную роль в процессах опыления и биологической защиты растений от болезней; служат местом обитания более чем для половины известных видов растений и животных Северной Евразии; и др. (Isaev, 2012).

2.4.1 Обзор экосистемных услуг лесов России

Комплексный обзор всего многообразия экосистемных функций и услуг российских лесов выходит за рамки данной публикации. Поэтому мы уделяем особое внимание вопросам разнообразия пород деревьев в лесах и предлагаем выборочную информацию об обеспечивающих и защитных экосистемных услугах лесов.

2.4.2 Разнообразие древесных пород

Более 90 % лесов России составляют бореальные леса (рис.7): это подразумевает относительно простую структуру и породный состав лесов, но в то же время огромное разнообразие условий произрастания и типов леса. Российская система инвентаризации лесов разделяет все лесопокрываемые площади на таковые с преобладанием основных лесообразующих пород (ОЛП), прочих пород и кустарников, которые учитываются как покрытые лесом земли на территориях, где «высокие леса» не могут расти из-за суровых климатических условий. ОЛП преобладают на 90 % лесопокрываемой площади, на которой проведена инвентаризация лесов, при этом леса с преобладанием хвойных пород деревьев составляют 68,0%, твердолиственных 2,4% и мягколиственных 19,6%. К коренным хвойным относятся четыре рода: лиственница (35,7 %), ель (10,1 %), пихта (1,9 %) и сосна, которая включает два подрода – с двумя хвоинками в пучке (в основном сосна обыкновенная, 15,5 %) и пятью (сосна кедровая сибирская и корейская, 5,1 %) сосен. Преобладающими мягколиственными породами являются береза (15,3 %) и осина (3,1 %). Твердолиственные породы составляют лишь небольшую долю, но включают значительное количество ценных пород (дуб, ясень, бук, клен и др.).



Рисунок 7. Растительность России с указанием основных лесообразующих пород. Источник: Shvidenko and Schepaschenko, 2014.

Видовое разнообразие на породном уровне значительно. Например, род *Pinus* включает в себя 8 аборигенных и более 20 интродуцированных видов. Лиственница — наиболее представленная доминирующая порода в России, формирующая коренные леса на восточноевропейском севере и во всех таежных районах азиатской части (рис. 7). Два вида — *Larix gmelinii* и *L. kajaneri* — произрастают в самых северных регионах на вечной мерзлоте при средней годовой температуре до -15°C . Помимо крайнего севера (лесотундра и северная тайга), в северо европейской части и таежных районах Сибири и Дальнего Востока преобладают ель и сосна. *Picea ajanensis* занимает большие площади на Дальнем Востоке России. Пионерные виды березы, часто с осиной, занимают обширные площади во всех биоклиматических зонах России, доминируя на ранних стадиях сукцессий со сменой пород после нарушений древостоя (рубки, пожары) в коренных хвойных лесах.

Увеличение видового разнообразия лесов бореального биома наблюдается с севера на юг. Zyryanova et al. (2010) были изучены пространственные градиенты видового разнообразия растений наземных экосистем (включая сосудистые растения, мхи и лишайники) Сибири на 13 экспериментальных территориях, расположенных вдоль меридиана 108° в. д. на протяженности 2120 км — от верховьев р. Лены до самых северных островных лесов мира в зоне арктической тундры ($72^{\circ} 30' \text{N}$, $102^{\circ} 30' \text{E}$). Южнотаежные леса характеризуются наибольшим видовым разнообразием (472 вида), тогда как минимальное (180 видов) обнаружено в подзоне северной тундры.

Российская система инвентаризации лесов классифицирует древостои по возрастным группам: молодняки (разделенные на два первых класса возраста), средневозрастные, приспевающие, спелые и перестойные леса. Возрастные диапазоны для каждой группы зависят от преобладающих пород деревьев, географической зоны и условий произрастания, уровня продуктивности и основного назначения лесов (защитные vs эксплуатационные). Естественно, что распределение площадей лесов по возрастным группам со временем меняется. В 2015 году лесопокрытая площадь лесного фонда ОЛП состояла из молодняков (17,2 %), средневозрастных (25,6 %), приспевающих (10,6 %), спелых и перестойных (46,6 %) лесов.

Леса в России в основном восстанавливаются естественным путем, и деревья разного возраста часто смешаны. Около 60 % припевающих, спелых и перестойных таежных лесов России являются разновозрастными.

2.4.3 Обеспечивающие услуги лесов — древесина и древесные продукты

Расчетная лесосека (РЛ) определяет официальную норму неистощительной заготовки древесины. В 2016 году она составила 703 млн м³/год (Strategy of development, 2018), что составляет 0,85 % от общего объема запаса древесины на корню, указанного в ГЛР. За последние 15 лет размер РЛ варьировал от 690 до 750 млн м³/год. Поскольку способ расчета РЛ не учитывает экономическую доступность лесов, многие ученые утверждают, что официальная РЛ завышает реальный неистощительный уровень заготовки древесины примерно в два раза (Yaroshenko, 2014; Sokolov, Baginsky, 2014).

Исторически объем заготавливаемой древесины менялся в зависимости от политических, социальных и экономических изменений в России (Felling in Russian Federation, 1996; www.fedstat.ru, 2019). Как показано на рис. 8, во время восстановления страны после Второй мировой войны (1945–1960 гг.) был период значительного роста (примерно со 160 до 350 млн м³/год); относительно стабильная заготовка древесины в объеме около 350–370 млн м³/год в 1960–1990-е годы; спад в конце 1990-х до 150–160 млн м³/год из-за развала советской лесной промышленности; и последующий медленный рост с явной интенсификацией в последние годы (238,6 млн м³/год в 2018 году, или 32,7 % от официальной РЛ). Экстенсивная эксплуатационная модель использования лесных ресурсов привела к существенным переубам и обеднению лесов в экономически развитых регионах. Это стало причиной переноса части лесозаготовительных предприятий в азиатскую часть страны.

В настоящее время общий объем заготовки древесины в европейской и азиатской частях России сопоставим. Средний уровень запаса древесины на корню в европейской части примерно в 1,5 раза выше, чем в азиатской. Однако площади лесозаготовок в азиатской части сосредоточены в южных регионах, особенно в горах Южной Сибири и Дальнего Востока с довольно высоким средним запасом в спелых древостоях. Часто приводимая интенсивность рубок, оцениваемая по заготовленным

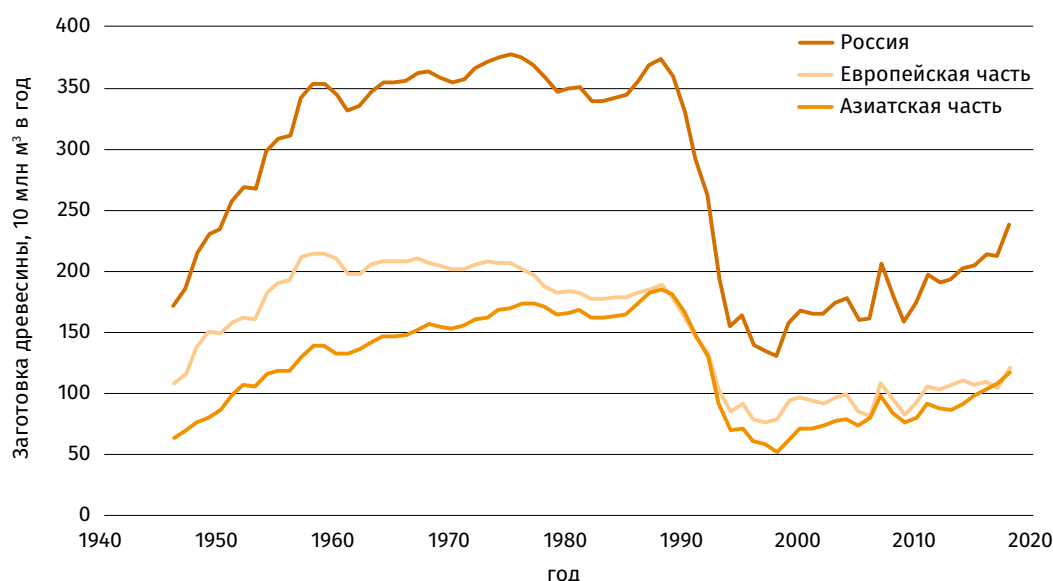


Рисунок 8. Динамика заготовки древесины в Российской Федерации в 1946–2019 гг. Источник данных: Official state statistics.

м³ на 1000 м³ запаса древостоя в крупных административных районах, существенно выше в регионах европейской части России (6–10 м³/1000 м³) по сравнению с Северной Сибирью и Дальним Востоком (1–4 м³/1000 м³).

2.4.4 Водоохранная, водорегулирующая и почвозащитная роль лесов

Защитная роль российских лесов многообразна. Из 17 категорий защитных лесов, занимающих площадь 278,3 млн га (ГЛР, 2014), три категории непосредственно предназначены для охраны и регулирования водных ресурсов: нерестоохранные полосы (56,8 млн га), водоохранные зоны (11,1 млн га) и защитные полосы вдоль водных объектов (28,0 млн га) с особым режимом ведения лесного хозяйства для поддержания и улучшения гидрологического режима водных потоков. Однако последние изменения, внесенные в Лесной кодекс 2019 году, могут негативно сказаться на защитных функциях российских лесов. Например, ширина нерестоохранных полос была уменьшена с 1 км и более всего лишь до 20–200 м (Kobyakov et al., 2018).

Наиболее негативное воздействие на основные функции водоохранных лесов оказывают лесные пожары и неконтролируемые рубки (Sokolova, Verkhoturov, 2015). Площадь горных районов России — около 430 млн га. Горные леса играют важнейшую роль в регулировании водного режима, а также в предотвращении наводнений и эрозионных процессов. Лес поддерживает устойчивость горных ландшафтов и защищает от лавин и оползней. Потери почвы на обширных лесных гарях и вырубках в горных лесах в десятки-сотни раз выше, чем в не подвергшихся нарушениям лесах (Krasnoschekov, 2004). Роль лесов и защитных лесополос в предохранении почвы от ветровой и водной эрозии особенно важна для агролесоводства. Сегодня в стране имеется около 15 млн га противозерозионных лесов, а также значительные площади сельскохозяйственных земель на южных территориях с очень низкой лесистостью.

2.4.5 Углеродный бюджет России в прошлом и настоящем

Официальный кадастровый углеродный баланс российских лесов

Официальная инвентаризация углеродного баланса российских лесов представлена в национальных докладах о выбросах и абсорбции парниковых газов, которые выпускаются ежегодно и доступны на сайте РКИК ООН. Процедуры инвентаризации углерода лесного сектора разработаны в полном соответствии с руководящими принципами МГЭИК (Международная группа экспертов по изменению климата) (Penman et al., 2003) и опубликованы в научных работах (Zamolodchikov et al., 2011, 2013a, 2013b) и в ряде национальных докладов об учете (Russian Federation, 2019 г. и ранее). Система расчета основана на методе баланса потоков. Государственный лесной реестр (ГЛР) предоставляет исходную информацию о лесных площадях и запасах древесины, дифференцированную по породам деревьев, возрастным группам и регионам. Коэффициенты пересчета используются для расчета углеродных пулов в фитомассе и древесном детрите, а также типичных значений углерода на единицу площади для подстилки и почвы. Представление информации по возрастным группам в ГЛР (от молодняков до перестойных лесов) используется для расчета прироста количества углерода на единицу площади во всех углеродных пулах. На основе данных о площади лесов по возрастным группам, породам и регионам оценивается поглощение углерода в результате роста лесов. Потери углерода происходят в результате лесозаготовок, лесных пожаров и других нарушений, уничтожающих древостой. Они оцениваются с использованием информации о площадях сплошных рубок, лесных гарей и погибших древостоев, зафиксированных в ГЛР, с учетом периода лесовосстановления после нарушений. Такой подход, во-первых,

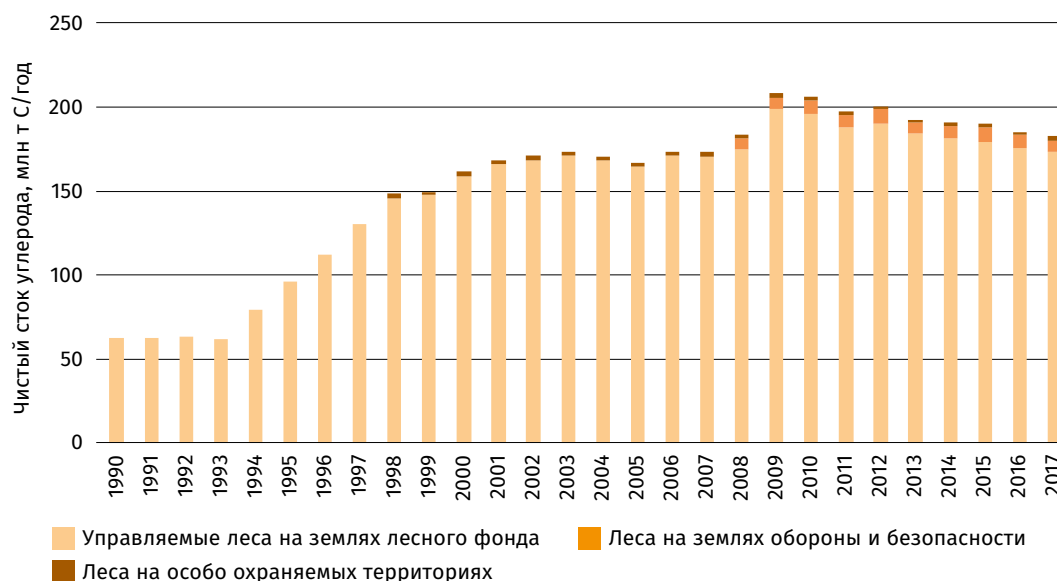


Рисунок 9. Чистый сток углерода в леса России (без учета выбросов CH_4 и N_2O от пожаров и осушения органических почв) по данным Национального доклада об учете (2019).

позволяет плавно рассчитать межгодовые вариации потерь углерода, во-вторых, избежать использования официальных статистических данных о лесных пожарах, существенно занижающих влияние пожаров в ретроспективе. Описанная система используется в национальных докладах об эмиссиях и поглощениях парниковых газов с 2011 года и ежегодно проверяется экспертами РКИК ООН вместе с другими процедурами, используемыми в Национальном кадастре парниковых газов.

Национальный доклад об инвентаризации парниковых газов содержит данные по управляемым лесам России, в том числе по лесам на землях лесного фонда (кроме резервных лесов), лесам, расположенным на землях обороны и безопасности, на особо охраняемых природных территориях. Чистый сток углерода управляемых лесов в России составлял 55 Мт С/год в 1990 году, увеличился примерно до 200 Мт С/год в 2010 году, а затем снизился до нынешних 175 Мт С/год (рис. 9). Как описано в главе 2.4.1, основным драйвером динамики стока углерода является уровень лесозаготовок.

Углеродный бюджет лесных экосистем России по оценкам различных научных методов

Официальная отчетность секретариата РКИК ООН по углеродному бюджету лесов почти полностью основана на данных инвентаризации лесов ГЛР (см. выше) и полностью соответствует руководящим принципам МГЭИК. Однако существует потенциал для повышения доверия к оценке углеродного бюджета с помощью рекомендаций МГЭИК о целесообразности применения методологий более высокого уровня, основанных на научных данных. Другие методы изучения углеродного цикла лесных экосистем включают разнообразные модели процессного типа (глобальные динамические модели растительности, модели сукцессии и нарушений лесных ландшафтов и т.д.); метод вихревых ковариаций; обратное моделирование; применение средств дистанционного зондирования. Все эти методы так или иначе используют или подход, основанный на изменении запасов, или подход, основанный на потоках, или на сочетании указанных методов.

Международный институт прикладного системного анализа (IIASA) разработал прототип методологии полного учета углеродного бюджета лесных экосистем

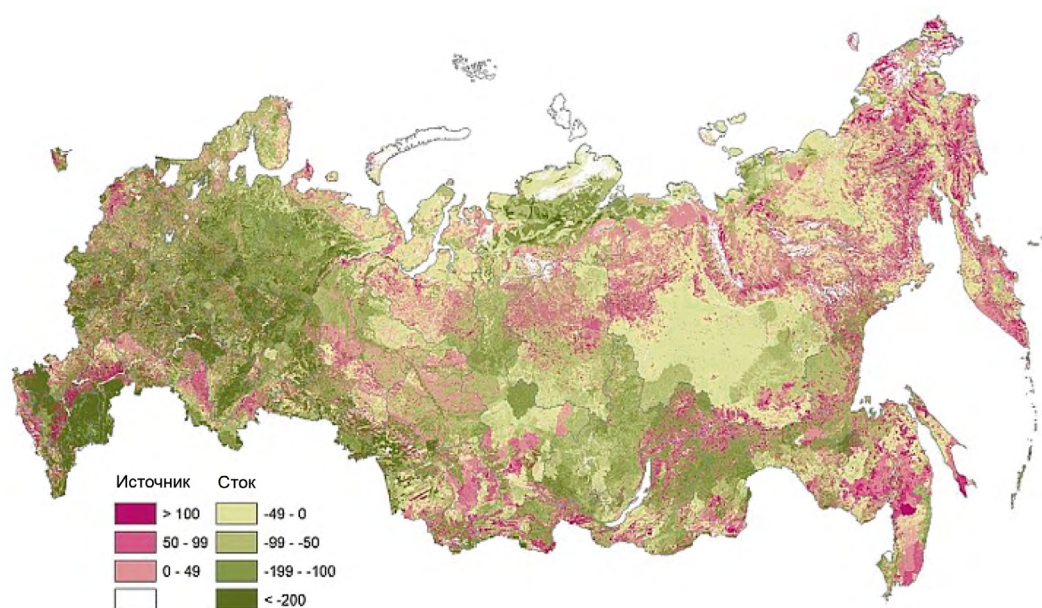


Рисунок 10. Углеродный бюджет наземных экосистем России на 2014 год, рассчитанный по методике IIASA (г С/м² /год). В целом российские леса являются значительным поглотителем углерода, но существуют большие региональные различия. Источником углерода служат значительные площади (показаны розовым цветом), расположенные либо на вечной мерзлоте, либо в лесах, подвергшихся нарушениям. Источник: Shvidenko and Schepaschenko, 2014 г.

с использованием интегральной земельной информационной системы, которая включает гибридный земельный покров и многочисленные базы атрибутивных данных с использованием продуктов дистанционного зондирования, географически взвешенных регрессий, и инструментария Geo-Wiki (Shvidenko et al., 2010, 2015a, 2019; Schepaschenko et al., 2015b). Ландшафтно-экосистемный подход определяет структуру исследуемой системы с пространственно распределенной информацией об экосистемах и ландшафтах, необходимую для полного учета эмиссий и поглощений парниковых газов лесами. Данные о лесах, содержащиеся в ГЛР, были актуализированы за период, прошедший после года последнего учета, с использованием комбинации наземной информации и данных дистанционного зондирования. В процессе оценивания определяются основные потоки углерода (чистая первичная продуктивность; гетеротрофное дыхание; потоки, обусловленные нарушениями и разложением крупных древесных остатков и др.). Потоки, вызванные нарушениями (рубка, пожар, биотические нарушения и т. д.), оцениваются по наборам регионально распределенных моделей. С использованием этой методики чистый сток углерода российских лесов оценивался для различных базовых периодов в 690 ± 246 Мт С/год в 2000–2012 гг. (Dolman et al., 2012), 546 ± 120 Мт С/год в 2007–2009 гг. (Shvidenko, Schepaschenko, 2014) и 642 ± 141 Мт С/год в 2000–2015 гг. (Shvidenko et al., 2019). На рис. 10 представлен углеродный баланс наземных экосистем России за 2014 год.

Углеродный бюджет российских лесов оценивался с использованием различных методик. Официальные национальные сообщения для РКИК ООН основаны на данных Государственного лесного реестра. По этим данным сток углерода составляет 150–200 Мт С/год, что ниже, чем большинство других оценок. Применение этого подхода ко всем российским лесам, а не только к управляемым, привело к оценке поглощения углерода в диапазоне 206–230 Мт С/год (Zamolodchikov et al., 2017). Сходный результат — 260 Мт С/год был получен с использованием канадской модели CBM-CFS3 с данными государственного лесного реестра (Zamolodchikov et al., 2014). Другие оценки, основанные на инвентаризации с непосредственным

использованием официальных данных инвентаризации лесов России, показали, что сток углерода составляет от 400 до 650 Мт С/год (Filipchuk et al., 2017; Russian Ministry of Ecology and Natural Resources, 2015). Многочисленные исследования с использованием обратного моделирования показали сток углерода на суше примерно в объеме 600–720 Мт С/год (Sitch et al. 2015; Shvidenko, Schepaschenko 2014); измерения потоков по методике вихревых ковариаций на 15 участках показали сток углерода в диапазоне 760–960 Мт С/год (Dolman et al., 2012), а оценки динамических моделей растительности (DGVM) прогнозируют сток приблизительно в объеме 200 Мт С/год (Dolman et al., 2012).

Также отмечается, что погрешность оценки углерода в почве высока (Pan et al., 2011), а моделирование с помощью почвенной модели показало, что колебания уровня грунтовых вод в бореальных лесах могут играть ключевую роль в определении поведения наземных экосистем как источника или поглотителя углерода в углеродном балансе экосистемы (Kurbatova et al., 2008).

Интерпретация различных оценок углеродного бюджета

В значительной мере различия между опубликованными оценками углеродного бюджета российских лесов могут объясняться методологическими различиями и противоречивыми исходными данными. Например, официальная отчетность РКИК ООН, основанная на данных ГЛР, охватывает лишь около 75% общей площади российских лесов (т.е. только управляемые леса). Атмосферные инверсии охватывают все участки земли и не могут отделить лесной сток углерода от других видов землепользования. Измерения с микрометеорологических вышек также охватывают различные виды землепользования и могут показывать в расчетах более высокие показатели поглощения углерода, чем другие методы, поскольку не учитываются последствия управления и природных нарушений. Дальнейшие различия связаны с представлением важных экосистемных процессов и нарушений. Многие исследования пренебрегают динамикой почвенного углерода, и данные о воздействии нарушений часто являются неполными. Оценки воздействия биогенных нарушений крайне неопределенны и часто полностью отсутствуют.

С высокой вероятностью в последние десятилетия российские леса служили значительным поглотителем углерода. Временная и пространственная изменчивость стока углерода высока, особенно для отдельных регионов страны. Временная изменчивость главным образом обусловлена межгодовой изменчивостью сезонной погоды и, в связи с этим, природными нарушениями, такими как пожары и вспышки массового размножения насекомых. Несмотря на высокое среднее значение стока, существуют обширные территории, в основном в нарушенных лесах и на многолетней мерзлоте, которые выступали в качестве источника углерода или находились в состоянии близком к нейтральному (рис. 10).

На региональные различия влияют варьирование продуктивности лесов и режимы нарушений, а также лежащие в их основе различия в плотности населения и связанные с ними факторы, такие как интенсивность управления, инфраструктура и доступность, а также противопожарная защита, как это обсуждается в главах 2.1 и 2.2. В последнее десятилетие наблюдалась слабая тенденция снижения стока углерода из-за частых и масштабных нарушений, особенно крупных пожаров. Более детальный анализ показывает, что в течение текущего столетия динамика стока углерода в российских лесах не имела статистически значимой тенденции вплоть до 2017 года. Но нарушения в 2018, 2019 и 2020 годах достигли беспрецедентного уровня, и как только эти годы будут включены в анализ, они, вероятно, приведут к существенному снижению значения стока углерода в российских лесах. Наблюдения Службы мониторинга атмосферы Copernicus (2020) показали, что выбросы CO₂, связанные с лесными пожарами, для арктического цикла в период с января по август 2020 года уже превысили предыдущий рекорд годовых выбросов, установленный в 2019 году, в основном из-за исключительно крупных лесных пожаров в Республике Саха на северо-востоке России.

Основные проблемы управления лесными ресурсами

Анатолий Швиденко, Елена Куликова и Маркус Линднер

Гигантские масштабы российских лесов, занимающих площадь почти 800 млн га, наличие огромных малонаселенных отдаленных лесных территорий, отсутствие инфраструктуры и отношение населения, привыкшего к тому, что лесные богатства неисчерпаемы, порождают значительные трудности и проблемы (Shvidenko et al., 2017). Ресурсная роль лесов доминирует над другими экосистемными услугами, обеспечиваемыми лесами. В целом государство недооценивает роль лесного сектора (Pisarenko, Strakhov, 2016), а парадигма устойчивого управления лесами слабо реализуется в практическом лесоуправлении (Pappila, 2012). Современные наиболее важные проблемы управления лесами были определены в ходе серии научных дебатов, проведенных в 2015–2019 гг. Российской академией наук с широким привлечением заинтересованных сторон (Russian Academy of Science, 2019a). В ходе дискуссий рассматривался целый ряд тем, которые будут обсуждаться далее.

Наиболее фундаментальной проблемой в российском лесном хозяйстве является необходимость замены экстенсивного эксплуатационного характера лесопользования на *модель устойчивого интенсивного лесоуправления* (см. вставку 2). Это позволит достичь более высокой экономической эффективности лесного сектора за счет увеличения продуктивности лесов и объемов лесозаготовок на территориях с развитой социальной и транспортной инфраструктурой при одновременном сохранении защитных лесов, особо охраняемых и малонарушенных природных территорий (Russian Academy of Science, 2019a).

Другая важная проблема заключается в том, что политические, социальные и экономические изменения в России привели к *ухудшению управления* российскими лесами с конца 1990-х годов. Многочисленные реформы отразились на уровне и специфике лесоуправления в России с его недостаточно развитым законодательством и неудачами в последовавших преобразованиях в лесном хозяйстве. Наиболее важные из них:

- Ликвидирована наземная лесная охрана, что негативно сказалось на обеспечении функций государственного лесного контроля, а также на выполнении мероприятий по охране и защите лесов на всей территории страны, включая, например, пресечение незаконных лесозаготовок. Согласно отчетам Всемирного банка и неправительственных организаций, объемы незаконных рубок составляют около 20–30 % от объемов официально заготовленной древесины, в то время как официальные оценки составляют около 1 % (FAO, 2012; Russian Academy of Science, 2019b).
- Ухудшились экономические и организационные условия работы лесопожарных служб, постепенно сократилось количество авиационных подразделений и пожарно-химических станций. Эффективность оставшихся подразделений авиалесоохраны снижается из-за их удаленности, изолированности, недостаточности оснащенности и финансирования (Korshunov et al., 2019).

- Система защиты лесов от вредителей и болезней сильно ослаблена, объем мероприятий по локализации и ликвидации очагов вредных организмов в России за 2007–2013 годы сократился почти в 10 раз (Doklad, 2013; Selikhovkin, Smirnov, 2015).
- Значительно снизился уровень информационного обеспечения лесного хозяйства и управления лесами России. Федеральная система учета лесов передана на региональный уровень и заменена упрощенной инвентаризацией при существенном сокращении финансирования. Прежние информационно обоснованные и комплексные *проекты организации и ведения лесного хозяйства* были заменены *нормативными актами по лесоуправлению*, не обеспечивающими ни обоснованной методологической базы, ни адекватно финансируемых лесохозяйственных мероприятий, ни инструментов контроля качества лесоправления в арендованных лесах (Vashchuk, 2016; Account Chamber, 2020). Основные источники информации о лесах в настоящее время базируются на устаревших и необъективных сведениях, поскольку значительная часть данных по учету лесов не обновлялась в течение многих десятилетий.
- Экономика лесных отношений сталкивается с многочисленными нерешенными проблемами. Например, стратегия аренды лесов, принятая Лесным кодексом (2006), не дала ожидаемого эффекта (Petrinin, 2019) и не соответствует стратегическим целям перехода к устойчивому управлению лесами. Необходимые экономические и институциональные реформы не проведены.

В Прогнозе развития лесного сектора России до 2030 года с приведенными в нем сценариями (FAO, 2012) подчеркивается необходимость новой лесной политики и значительных инвестиций в российский лесной сектор, а также содержится призыв к коренной реорганизации существующего и созданию нового лесного сектора в России, соответствующего вызовам XXI века.

Вставка 2. Необходимость перехода от экстенсивной эксплуатационной модели к интенсивному устойчивому управлению лесами России

В промышленном лесопользовании с советских времен преобладала экстенсивная эксплуатационная модель имеющая целью получение максимального дохода при ограниченных затратах на ведение лесного хозяйства (Konzeptia, 2015). Система подразумевает проведение сплошных рубок с освоением все новых и новых лесных массивов и характеризуется заготовкой древесины в наиболее продуктивных и доступных лесах, неполным использованием низкосортной древесины и древесины менее ценных пород деревьев, естественным восстановлением лесов без мер содействия и отсутствием ухода за молодняками. Рубки ухода или, скорее, выборочные рубки в молодых и средневозрастных насаждениях проводилась неудовлетворительно и в недостаточном объеме. Это привело к ухудшению качественных характеристик лесов, нежелательным изменениям породного состава и уменьшению объемов экономически доступных лесных ресурсов (Knize, Romanuk, 2004; Konzeptia, 2015). Официальные данные свидетельствуют о том, что в 1961–2016 гг. доля хвойных пород уменьшилась, а доля мягколиственных пород существенно возросла на лесопокрытой площади (Государственный учет лесного фонда за 1961–2007 гг; Государственный лесной реестр за 2008–2016 гг.). Объемы заготовки древесины были намного выше в густонаселенных регионах страны, для которых характерен высокий уровень спроса на ценные лесоматериалы, в т.ч. хвойных пород. Например, доля хвойных лесов за этот период снизилась с 89,8 до 76,3 % в Архангельской области (северо-запад европейской части) и с 86,5 до 70,8 % в Амурской области (Дальний Восток). Еще более резким является сокращение площади экономически доступных спелых лесов (Sokolov, Baginsky, 2014). В Северо-Западном федеральном округе, например, лесосырьевая база может полностью истощиться в течение ближайших 20 лет (Moiseev, 2008). *Соотношение площадей лесовосстановления к площадям финальной рубки снизилось со 147 % в 2000 г. до 74 % в 2016 г. (Strategy, 2018)*, это означает, что после проведения лесозаготовок работы по лесовосстановлению все чаще откладываются или даже отсутствуют.

На этом фоне становится все более очевидным, что существует необходимость в новых разработках и инновационных решениях для практики лесного хозяйства. В последние пятнадцать лет *концепция интенсивного лесопользования* все чаще обсуждается отечественными экспертами, представляющими науку, бизнес-сообщество и экологические организации. В 2015 году «Концепция интенсивного использования и воспроизводства лесов» была утверждена Федеральным агентством лесного хозяйства и начала реализовываться в пилотных регионах северо-запада России и Восточной Сибири (Konzeptia, 2015). Интенсивная модель предполагает устойчивое лесопользование и обеспечивает сохранение биологических функций лесов за счет эффективного лесовосстановления, ухода за молодняками и регулярного проведения рубок ухода.

Ключевые тезисы

- В России почти 800 млн га лесов, которые обеспечивают разнообразные экосистемные услуги, жизненно важные для человечества на глобальном и национальном уровнях. При учете лесов в России используются различные классификации. Согласно оценкам, 18 млн га заброшенных пахотных земель имеют лесной покров, соответствующий определению леса, но они не включены в официальные данные инвентаризации лесов.
- Гигантские масштабы российских лесов, наличие обширных малонаселенных удаленных территорий и отсутствие инфраструктуры создают значительные проблемы. Объемы заготовки и использования древесины намного выше в густонаселенных регионах страны, что привело здесь к ухудшению качественных характеристик лесов, нежелательным изменениям породного состава и уменьшению площади лесов, пригодных для эксплуатации.
- В последние десятилетия российские леса выполняли существенную роль поглотителя углерода с высокой временной и пространственной изменчивостью, в основном вызванной влиянием межгодовой изменчивости сезонной погоды и природных нарушений. Количественные оценки стока углерода колеблются от 150–200 Мт С/год в официальной отчетности РКИК ООН до более чем 600 Мт С в независимых научных оценках, при этом разница объясняется различиями в привязках к площади суши, а также различиями в отображении экосистемных процессов и нарушений. Несмотря на усредненное понимание роли лесов России как поглотителя, существуют обширные территории, в основном в нарушенных лесах и на многолетней мерзлоте, которые временно выступают в качестве источника углерода.
- В текущем столетии динамика стока углерода в российские леса не имела статистически значимого тренда до 2017 года, но исключительно высокий уровень нарушений в 2018–2020 гг. вероятно приведет к существенному сокращению стока углерода.
- Природные нарушения представляют наиболее серьезную угрозу для лесов России, площадь поврежденных ими насаждений составляет ежегодно около 10–15 млн. га, при этом лесные пожары являются основным фактором природных нарушений.
- Фундаментальной проблемой российского лесного хозяйства является необходимость замены экстенсивной эксплуатационной модели использования лесов моделью интенсивного устойчивого лесопользования в ответ на ухудшение состояния лесных ресурсов.
- Для преобразования лесного сектора России необходимо совершенствование управления лесами на основе новой лесной политики и содействие привлечению значительных инвестиций.

Использованная литература

- Account Chamber of the Russian Federation. 2020. Proverka effektivnosti organizatsii rabot i raskhodovaniya sredstv na provedenie lesoustroistva, vydelennykh iz budzhetov Rossiiskoi Federatsii i inyykh istochnikov v 2015–2019 godakh [Verification of the effectiveness of the organization of work and expenditure of funds for forest inventory allocated from the budgets of the budget system of the Russian Federation and other sources in 2015–2019] <https://ach.gov.ru/upload/iblock/f1e/f1eeca690699c189ed2eda14fff7413.pdf>
- Andela, N., Morton, D. C., Giglio, L., Chen, Y., Van Der Werf, G. R., Kasibhatla, P. S., Defries, R. S., Collatz, G. J., Hantson, S., Kloster, S., Bachelet, D., Forrest, M., Lasslop, G., Li, F., Mangeon, S., Melton, J. R., Yue, C., and Randerson, J. T. 2017. A human driven decline in global burned area, *Science*, 356, 1356–1362. <https://doi.org/10.1126/science.aal4108>.
- Bartalev S.A., Egorov V.A., Efremov V. Yu., Flitman E.V., Loupian E.A. and Stytsenko F.V. 2013. Assessment of Burned Forest Areas over the Russian Federation from MODIS and Landsat-TM/ETM+ Imagery. In F. Achard & M.C. Hansen (Eds.) *Global Forest Monitoring from Earth Observation*, CRC Press, Taylor & Francis Group, 259–286.
- Bartalev, S.A., Stytsenko, F.V., Egorov, V.A., and Lupyan, E.A. 2015. Satellite based assessment of post fire mortality of Russian forests. *Lesovedenie*, 2, 83–94.
- Bartalev S., Egorov V., Zharko V., Loupian E., Plotnikov D., Khvostikov S. and Shabanov N. 2016. Land cover mapping over Russia using Earth observation data. Moscow. Russian Academy of Sciences' Space Research Institute, 208 p.
- Bowman, D. M. J. S., Williamson, G. J., Abatzoglou, J. T., Kolden, C. A., Cochrane, M. A., and Smith, A. M. S. 2017. Human exposure and sensitivity to globally extreme wildfire events, *Nat. Ecol. Evol.* 1 (3), 58. <https://doi.org/10.1038/s41559-016-0058>
- Bystrov S. O., Antonov I. A. 2019. Pervaya nakhodka ussuriyskogo poligrafa *Polygraphus proximus* Blandford, 1894 (Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae) v Irkutskoy oblasti [First Record of the Four-Eyed Fir Bark Beetle *Polygraphus proximus* Blandford, 1894 (Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae) from Irkutsk Province, Russia]. *Entomological Review*, 98 (1), 91–93. <https://doi.org/10.1134/S0367144519010088>
- Copernicus Atmosphere Monitoring Service. 2020. Copernicus reveals summer 2020's Arctic wildfires set new emission records. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Press release 03/09/2020. <https://atmosphere.copernicus.eu/copernicus-reveals-summer-2020s-arctic-wildfires-set-new-emission-records>. Webpage last accessed on 12. October 2020.
- Doklad o povyshenii effektivnosti lesnogo kompleksa Rossiiskoi Federatsii. 2013. [Report on increasing efficiency and design the development of the forest sector] Prezidium Gosudarstvennogo Soveta Rossiiskoi Federatsii, 194 p.
- Dolman, A. J., Shvidenko, A., Schepaschenko, D., Ciais, P., Tchebakova, N., Chen, T., van der Molen, M. K., Beletti Marchesini, L., Maximov, T. C., Maksyutov, S. and Schulze, E.-D. 2012. An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory based, eddy covariance and inversion methods. *Biogeosciences* 9, 5323–5340. <https://doi.org/10.5194/bg-9-5323-2012>.
- FAFMRF, 2010. Obzor sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya lesov na zemlyakh lesnogo fonda Rossijskoj Federatsii za 2009 god [Report on forest pathological monitoring in forest fund of the Russian Federation in 2009]. Federal Agency of Forest Management of the Russian Federation, Moscow, 86 p
- FAO, 2012. The Russian Federation Forest Sector Outlook Study to 2030. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome. 84 p.
- www.fedstat.ru, 2019. Edinaya mezhvedomstvennaya informatzionno-statisticheskaya Sistema (EMISS) [Unified interdepartmental information and statistical system] <https://www.fedstat.ru/organizations/>
- Felling in Russian Federation in 1946–1992. 1996. [Lesopolzovznie v Rossijskoj Federatsii v 1946–1992 g.] Moscow, Federal forestry service of Russia, 313 p.
- Filipchuk A.N., Moiseev B.N. and Yugov A.N. 2017. Sravnitel'naya otzhenka statisticheskikh dannykh o zapasakh drevostoev v lesakh Rossijskoj Federatsii [Comparative estimation of statistical data on growing stock volume in stands of the Russian Federation forests]. *Forest Management Information*, 2, 16–25.
- Fundamentals of state policy in the field of use, guard, protection and reproduction of forests in the Russian Federation for the period up to 2030. 2014. [Osnovy gosudarstvennoj politiki v oblasti ispol'zovaniya, okhrany, zaschity i vosproizvodstva lesov na period do 2030 goda] Approved by the Governmental Order 26.09.2013 № 1724-p. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70361820/>

- Forest Code of the Russian Federation. 2006. Federal Law No 119-FZ from 6 December 2006. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/
- Im S. T., Kharuk V. I., Ranson K. J. and Soldatov V. V. 2007. S'emka SPOT-Vegetation v analize dinamiki povrezhdeniya gorno-taezhnykh lesov sibirskim shelkopryadom [SPOT-Vegetation Data in Dynamics Analysis of Mountain Taiga Forest Damage Inflicted by Siberian Silkmoth]. *Issledovanie Zemli iz Kosmosa* 1, 74–80.
- Isaev A.S. (ed.) 2012. Raznoobrazie i dinamika lesnykh ekosistem Rossii [Diversity and dynamics of forest ecosystems in Russia] CEPL RAN 460 p.
- Knize A.A. and Romahuk B.D. 2005 O dvuh tochkah zreniya na rossiiski les I lesnoe hozyaistvo [About two views on Russian forest and forestry] WWF Russia, 16 p.
- Kobyakov K., Shmatkov N. and Tugov K. 2018. Novy zakon o zaschitnykh lesakh: vozmozhnye negativnye posledstviya [A new law on protective forests: potential negative consequences]. *Sustainable forest use*, 2 (68), 29–31.
- Konzeptia intensivnogo ispolzovaniya i vosproizvodstva lesov. 2015. [Concept of intensive use and reproduction of forests] SPb: FBU "SPbNIILH": 16 pp. https://spb-niilh.ru/pdf/Rosleshoz_booklet.pdf
- Korovin, G.N. 1996. Analysis of the Distribution of Forest Fires in Russia. In: Goldammer J.G., Furyaev V.V. (eds) *Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia*. Forestry Sciences, vol 48. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-015-8737-2_8
- Korovin, G.N. and Zukkert N.V. 2003. Climatic change impact of forest fires in Russia. In: V.I. Danilov-Danilyan (Ed.), *Climatic Change: View from Russia*, Moscow, TEIS Publ., 69–98.
- Korshunov, N.A., Savchenkova, V.A., Perminov, A.V. and Kalinin, M.S. 2019 Ozenka sostoyaniya lesopozharnoi sistemi strani [Assessment of Forest Fire System of the Country] *Lesohoz. Inform. Electronic recourse*: 3, 82–83. <http://dx.doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.3.07>
- Kotlyakov, V.M. and Luri, D.I. (ed.) 2012 *Izmenenie prirodnoy sredy Rossii v XX veke* [Changing the natural environment of Russia in the XX century] Russian Academy of Science, Geography Institute: 402 p.
- Krasnoshchekov, Yu. N. 2004. Pochvozaschitnaya rol' gornyykh lesov basseyna ozera Baikal [Soil protection role of mountain forests in the lake Baikal basin] Novosibirsk, SO RAN, 224 p.
- Krylov, A.M., Malahova, E.G. and Vladimirova, N.A. 2012. Vyyavlenie i otzhenks ploshchadey katastroficheskikh vetrovalov 2009-2010 gg. Po dannym kosmicheskoy s'emki [Identification and assessment of forest areas damaged by windfalls in 2009-2010 by means of remote sensing] *SPb-SFTA* 200, 197–207.
- Kurbatova, J., Li, C., Varlagin, A., Xiao, X. and Vygodskaya, N. 2008. Modeling carbon dynamics in two adjacent spruce forests with different soil conditions in Russia. *Biogeosciences* 5, 969–980.
- Lesiv, M., Schepaschenko D., Moltchanova E., Bun R., Dürauer M., Prishchepov A., Schierhorn F., Estel S., Kuemmerle T., Alcántara C., Kussul N., Shchepashchenko M., Kutovaya O., Martynenko O., Karminov A., Shvidenko F., Havlik P., Kraxner F., See L. and Fritz S. 2018. Spatial distribution of arable and abandoned land across former Soviet Union countries. *Sci. Data* 5:180056.
- Lesoustroitel'naya Instrukcija. 2018. [Forest Inventory and Planning Manual] *Minprirody of the RF*. Approved by the Ministry of Natural Resources and Ecology of the RF on 29.03.2018 No 122. Available at <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293737/4293737742.htm>
- Lesopromishlennii kompleks zhdet peremen: novii Lesnoi Kodeks. 2019. [Forest industry complex waits for changes: new Forest Code] Internet resource Proderevo: <https://proderevo.net/analytics/main-analytics/lesopromyshlennyj-kompleks-zhdet-peremen-novyy-lesnoj-kodeks.html>
- Loupian, E.A., Bartalev, S.A., Balashov, I.V., Egorov, V.A., Ershov, D.V., Kobets, D.A., Senko, K.S., Stytsenko, F.V. and Sychugov, I.G. 2017. Sputnikovy monitoring lesnykh pozharov d 21 veke na territorii Rossijskoj Federatzii (tzifry i fakty po dannym detektirovaniya aktivnogo goreniya) [Satellite monitoring of forest fires in the 21st century in the territory of the Russian Federation (facts and figures based on active fires detection)] *Sovrem. Probl. Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*, 14 (6), 158–175. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-6-158-175>
- Loupian, E.A., Balashov, I.V., Bartalev, S.A., Burtsev, M.A., Dmitriev, V.V., Senko, K.S. and Krashe-ninnikova, Yu.S. 2019. Lesnye pozhary na territorii Rossii: osobennosti pozharopasnogo sezona 2019. [Forest fires in Russia: specifics of the 2019 fire season] *Sovrem. Probl. Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*, 16 (5), 356–363. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-5-356-363>
- Lyuri, D.I., Goryachkin, S.V., Karavaeva, N.A., Denisenko, E.A. and Nefedova, T.G. 2010. Dinamika sel'skokhozyaystvennykh zemel' Rossii v XX veke i postagrogennoe vosstanovlenie rastitel'nosti i pochv [Dynamics of agricultural lands in Russia in XX century and postagrogenic restoration of vegetation and soils] Moscow, GEOS, 416 p.

- Manko, U.I. and Gladkova, G.A. 2001. Usykhaniye eli v svete global'nogo ykhudsheniya temnokhvojnykh lesov [Drying of spruce in the context of global degradation of dark coniferous forest]. Vladivostok, Dalnauka, 231 p.
- MEA (Millenium Ecosystem Assessement) 2005. Ecosystems and Human Well-being - Synthesis. Millenium Ecosystem Assessment Synthesis Report. Washington, World Resources Institute, 155 p.
- Moiseev, N.A. 1974. Osnovy prognozirovaniya ispolzovaniya i vosproizvodstva lesnykh resursov [Basics of forecasting the use and reproduction of forest resources] Moscow, Lesnaya promyshlennost', 224 p.
- Moiseev, B.N. 2008. Problemi ustoichivogo ispolzovaniya lesov na Severo-Zapade Rossii [Problems of sustainable forest management in North-West Russia] VNIILM, Lesohozaystvennaya informazia, 1–2, 10–13. <http://lhi.vniilm.ru/index.php/ru/referativnaya-informatsiya-str-03-34>
- Otvetstvennost' bez radical'nyh mer: kakim budet novii Lesnoi kodeks 2019. [Responsibility without drastic measures: what will the new Forest code look like] Parlamentskaya gazeta: <https://www.pnp.ru/economics/otvetstvennost-bez-radikalnykh-mer-kakim-budet-novyy-lesnoy-kodeks.html>
- Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A., Phillips, O.L., Shvidenko, A., Lewis, S.L., Canadell, J.G., Ciais, P., Jackson, R.B., Pacala, S., McGuire, A.D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S. and Hayes, D. 2011. A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. Science 333 (6045), 988–993. <https://doi.org/10.1126/science.1201609>
- Pappila, M. 2012. Russian forest regulation and the integration of sustainable forest management: University of Turku https://www.researchgate.net/publication/290587946_Russian_forest_regulation_and_the_integration_of_sustainable_forest_management
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. and Wagner, F. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Hayama, Kanagawa, Japan, 599 p.
- Petrov, V., Katkova, T. and Karvinen S. 2018. Sravnitel'ny analiz ekonomicheskikh pokazatelej lesnogo khozajstva Rossii i Finlyandii [Comparative Analysis of Forestry Economic Indicators of Russia and Finland] HSE Economic Journal, 22(2), 294–319. <https://ej.hse.ru/data/2018/06/21/1152500836/%D0%9F%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B2.pdf>
- Petrinin, N.A. 2019. Razvitie arendnykh otnoshenii v lesnom sektore ekonomiki RF i ih vliyanie na dohodnost' lesnoi otrasli [Development of lease relations in the forest sector of the Russian economy and their impact on the profitability of the forest industry] Trudi Sankt-Peterburgskogo NII lesnogo hozaystva 1, 68–69. <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2019.1.68>
- Pisarenko, A.I. and Strakhov V.V. 2016 Lesnoe hozaistvo i lesnoi kompleks Rossii na pereputye [Forestry and the forest complex of Russia at a crossroads] Priroda Rossii. <http://www.priroda.ru/reviews/detail.php?ID=11454>
- Pleshanov, A.S. 1982. Nasekomye-defolianty listvennykh lesov Vostochoy Sibiri [Insects-Defoliators of Larch Forests in East Siberia] Novosibirsk, Nauka, 209 p.
- Quegan, S., Beer, C., Shvidenko, A., McCallum, I., Handoh, I. C., Peylin, P., Rödenbeck, C., Lucht, W., Nilsson, S., and Schmullius, C. 2011. Estimating the carbon balance of central Siberia using landscape-ecosystem approach, atmospheric inversion and dynamic global vegetation models, Glob. Change Biol., 17, 351–365. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02275.x>
- Rosttat 2018. Okhrana okruzhayushchej sredy v Rossii [Protection of environment in Russia] 2018. Statistical reference. Moscow. Rosstat. 125 p.
- Russian Academy of Science. 2019a. Kak reshat' problemy lesnogo khozaystva Rossii? Vzgl'yad ekspertov [How to solve the problems of forestry in Russia? The opinion of experts]. Resolution of the scientific debates. Russian Academy of Science, Moscow, Tzifrovichok, 96 p. http://rbf-ras.ru/wp-content/uploads/2020/05/Резолюции-научных-дебатов_брошюра.pdf
- Russian Academy of Science. 2019b. Analiticheskaya zapiska "Sostoyaniye ohrani lesov ot nezakonnykh rubok" [Analytical note "State of protection of forests from illegal logging"] Russian Academy of Science, CEPL, 16 p. http://cepl.rssi.ru/wp-content/uploads/2019/01/1_Аналитическая-записка-по-незаконным-рубкам.pdf
- Russian Federation 2019. The net carbon sink in Russian forests UNFCCC Russian Federation. 2019 National Inventory Report (NIR) <https://unfccc.int/documents/194838>
- Russian Ministry of Ecology and Natural Resources. 2015. Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii lesov Rossijskoj Federatzii za 2015 god [Report on the state and use of forests in the Russian Federation for 2015]. http://www.forestforum.ru/info/forests_2015.pdf

- Schepaschenko, D.G., Shvidenko, A.Z., Lesiv, M.Y., Kraxner, F., Ontikov, P.V. and Shchepashchenko, M.V. 2015a Ploschad' lesov Rossii i ee dinamika na osnove sinteza produktov distanzionnogo zondirovaniya [Area of Russia's forests and its dynamics based on remote sensing products] *Lesovedenie*, 3, 163–171.
- Schepaschenko, D.G., Shvidenko, A.Z., Lesiv, M.Yu. et al. 2015b. Estimation of forest area and its dynamics in Russia based on synthesis of remote sensing products. *Contemporary Problems of Ecology*, 8 (7), 811–817.
- Selikhovkin, A.V. and Smirnov, A.P. 2015 Lesnie pozhari, vrediteli i bolezni lesa: problemy i reshenia [Forest fires, pests and diseases: problems and solutions] *Journal Biosphere* 7 (3), 315–320.
- SFR 2014. Gosudarstvennij lesnoy reestr 2013 god. [State Forest Register for the year 2013] Statistical reference book. Moscow, Rosleskhoz, 690 p. http://www.forestforum.ru/info/glr_2014.pdf
- Sheingauz, A.S. and Sapozhnikov, A.P. 1983. Klassifikatsiya funktsij lesnykh resursov [Classification of forest resources functions] *Lesovedenie* 4, 3–8.
- Shikhov, A.N. 2013. Issledovanie posledstviy sil'nykh shkvalov i smerchej v Permskom krae s primeneniem dannykh distanzionnogo zondirovaniya Zemli [The study of impacts of severe convective storms in Perm Region, using Earth remote sensing data]. *Geograficheskij vestnik* 1, 78–87.
- Shikhov, A. and Chemokulsky, A. 2018. A satellite-derived climatology of unreported tornadoes in forested regions of northeast Europe. *Remote Sensing of Environment* 204, 553–567. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.10.002>
- Shvidenko, A.Z., Schepaschenko, D.G. and Nilsson S. 2007. Materials for understanding current productivity of forest ecosystems of Russia. Proceedings of int. seminar “Basic problems of transition to sustainable forest management of Russian forests”, 6–7 December 2007, Institute of Forests, Siberian Branch of RAS, Krasnoyarsk, Russia, pp 5–35 (in Russian).
- Shvidenko, A., Schepaschenko, D., McCallum, I. and Nilsson S. 2010. Can the uncertainty of full carbon accounting of forest ecosystems be make acceptable to policy makers? *Climatic Change*, 103 (1–2), 137–157.
- Shvidenko, A.Z., Schepaschenko, D.G., Vaganov, E.A., Sukhinin, A.I., Mksyutob, Sh., McCallum, I. and Lakyda P.I. 2011. Impact of wildfire in Russia between 1998–2010 on ecosystems and the global carbon budget. *Doklady Earth Sciences*, 411 (2), 1678–1682.
- Shvidenko, A. et al. 2013a. Climate change and wildfires in Russia. *Contemporary Problems of Ecology*, 6, 683–692.
- Shvidenko, A. and Schepaschenko, D. Climate change and wildfires in Russia. *Contemporary Problems of Ecology*, 6 (7): 683–692. <https://doi.org/10.1134/S199542551307010X>.
- Shvidenko, A.Z., Gustafson, E., McGuire, A.D., Kharuk, V.I., Schepaschenko, D.G., Shugart, H.H., et al. 2013b. Terrestrial ecosystems and their change. In: Groisman, P. Ya. and Gutman, G. (Eds.), *Regional Environmental Changes in Siberia and their Global Consequences*. Springer, 171–249.
- Shvidenko, A. and Schepaschenko, D. 2014. Uglerodny budzhet lesov Rossii [Carbon budget of Russian forests] *Siberian Journal of Forest Science*, 1, 69–92.
- Shvidenko, A., Schepaschenko, D., Fuss, S., Kraxner, F. and Obersteiner M. 2015a. Evaluation of carbon sequestration service of forests – A Russian case-study. Paper presented at XIV World Forestry Congress, Durban, South Africa, 7–11 September 2015. <http://foris.fao.org/wfc2015/api/file/5547887fef8e6e56ffdc9d/contents/f567bf8e-087b-43c4-acf0-e188679e2c01.pdf>
- Shvidenko, A., Shchepashchenko, D., Kraxner, F. and Onuchin A.A. 2017. Perehod k ustoichivomu upravleniu lesami Rossii: teoretiko-metodicheskie predposilki [Transition to sustainable forest management in Russia: scientific and methodological background] *Sibirskiy lesnoy zhurnal*, 6, 1–27. <https://doi.org/10.15372/SJFS20170601>
- Shvidenko, A., Shchepashchenko, D. and Kraxner, F. 2019. Uglerodny budzhet lesov kak nechetkaya Sistema: informatzionnye i metodologicheskie osobennosti [The carbon budget of forests as a fuzzy system: information and methodological features] *Forest ecosystems of the boreal zone: biodiversity, bioeconomics, environmental risks*. Proceedings of All-Russia Conf. with int. participation, Krasnoyarsk, Aug 26–31, 2019, 504–510.
- Sitch, S., Friedlingstein, P., Gruber, N., Jones, S. D., Murray Tortarolo, G., Ahlström, A., Doney, S. C., Graven, H., Heinze, C., Huntingford, C., Levis, S., Levy, P. E., Lomas, M., Poulter, B., Viovy, N., Zaehle, S., Zeng, N., Arneth, A., Bonan, G., Bopp, L., Canadell, J. G., Chevallier, F., Ciais, P., Ellis, R., Gloor, M., Peylin, P., Piao, S. L., Le Quéré, C., Smith, B., Zhu, Z., and Myneni, R. 2015. Recent trends and drivers of regional sources and sinks of carbon dioxide. *Biogeosciences*, 12, 653–679. <https://doi.org/10.5194/bg-12-653-2015>

- Sokolov, V.A. and Baginsky, V.F. 2014. O metodike ischisleniya raschetnykh lesosek [About method of calculation of allowable cuts] Siberian Forest Magazine, 5, 9–15. <https://xn--80abmehbaib-gnewcmzjeef0c.xn--p1ai/articles/archive/arkhiv-2014/sokolov-v-a-baginskiy-v-f-o-metodike-ischisleniya-raschetnykh-lesosek/>
- Sokolova, G.V. and Verkhoturov, A.L. 2015. Vliyaniye pozharov i rubok na vodnij rezhim rek basseina srednego i nizhnego Amura [Impact of fires and harvests on water regime of the Middle and Low Amur river basin] . Regional problems ,18 (4), 83–90
- State program of the Russian Federation. 2013. Forestry development for 2013–2020. Version by 15 April 2014. http://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_programmy/130042/
- Strategy for the development of the Russian Federation's forest sector until 2030. 2018. Approved by order of Government of Russian Federation by 20 of September 2018 r. No 1989-r. Moscow, 102 p. <http://static.government.ru/media/files/cA4eYSe0MObgNpm5hSavTdIxID77KCTL.pdf>
- Tedim, F., Leone, V., Amraoui, M., Bouillon, C., Coughlan, M., Delogu, G. et al. 2018. Defining Extreme Wildfire Events: Difficulties, Challenges, and Impacts. Fire, 1 (1), 9.
- Vashchuk, L. N. 2016. O dostovernosti svedenii gosudarstvennogo lesnogo reestra, izuchennosti les-ov i putyah ustraneniya viyavlenih nedostatkov [On reliability of the state forest register data of the forests studied and ways to eliminate defects] Sibirskij Lesnoj Zurnal (Siberian Journal of Forest Science) 4, 26–38. <https://doi.org/10.15372/SJFS20160403>
- Vyvodtsev, N.V., Ryabukhin, P.B. and Shmelev, G.S. 2003. Ekologo-economicheskie kharakteristiki lesnogo fonda Khabarovskogo kraia [Ecologic-economic characteristics of forest fund in Khabarovsk kray]. Voprosy sov.techn.i oborud.v lesopr.kompl.i stroit. 2, 11–17.
- Yaroshenko, A. Yu. 2014. Glavnyy vrug lesovoda – raschetnaya lesoseka [Main enemy of forester – allowable cuts]. Sustainable forestry 3 (40), 2–4.
- Yefremov, D. and Shvidenko, A. 2004. Long-term impacts of catastrophic forest fires in Russia's Far East and their contribution to global processes. International Fire News (IFFN) 32, July–December, 43–49 <https://gfmc.online/wp-content/uploads/06-Yefremov-2.pdf>
- Zamolodchikov, D.G., Grabovskii, V.I. and Kraev, G.N. 2011. A 20 year retrospective on the forest carbon dynamics in Russia. Contemp. Probl. Ecol, 4, 706–715.
- Zamolodchikov, D.G., Grabovskii, V.I., Gitarskii, M.L., Blinov, V.G., Dmitriev, V.V., Kurz, W.A. and Korovin G.N. 2013. Byudzhet ugleroda upravlyaemykh lesov Rossijskoj Federatzii v 1990-2050: retrospektivnaya otzhenka i prognoz [Carbon budget of managed forests of the Russian Federation in 1990-2050: retrospective estimate and forecast]. Meteorology and Hydrology, 10, 73–92.
- Zamolodchikov, D.G., Grabovskii, V.I. and Kurz W.A. 2014. Upravlenie balansom ugleroda lesov Rossii: proshloe, nastoyashee i budushee [Forest carbon balance management in Russia: past, present and future] Sustainable forestry, 2, 23–31.
- Zamolodchikov, D.G., Grabovsky, V.I., Shulyak, P.P. and Chestnykh O.V. 2017. Recent Decrease in Carbon Sink to Russian Forests . Doklady Biological Sciences, 476, 200–202. <https://doi.org/10.1134/S0012496617050064>
- Zyryanova, O.A., Abaimov, A. P., Daimaru, H. and Matsuura, Y. 2010. Floristic diversity and its geographical background in Central Siberia. In: Osawa, A., Zyryanova, O.A., Matsuura, Y., Kajimoto, T. and Wein, T. (eds) Permafrost Ecosystems, Ecological Studies, Vol. 209, Springer-Verlag, p. 17-40. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9693-8_2

Изменение климата в России: прошлое, настоящее и будущее

Риккардо Валентини, Дмитрий Замолодчиков, Кристофер Рейер, Сержио Ночи, Мониа Сантини и Маркус Линднер

В данной главе собраны сведения о прошлом, настоящем и будущем изменения климата в Российской Федерации на физико-географической основе. Глава 4 посвящена анализу влияния изменений физического климата на лесной сектор.

3.1 Наблюдаемые изменения климата России за последние десятилетия

Дмитрий Замолодчиков и Риккардо Валентини

Документально подтвержденные наукой изменения климата оказывают влияние на все климатические характеристики, включая температуру, осадки, ветер и облачность. Региональные изменения могут отличаться от глобальных тенденций, и Россия является хорошим примером этого, поскольку среднегодовая аномалия температуры в целом по стране достигла около $1,6^{\circ}\text{C}$, что значительно выше глобальной аномалии в $0,9^{\circ}\text{C}$ по сравнению с доиндустриальным периодом (Allen et al., 2018). Повышение линейного тренда годовой температуры в 1976–2018 годах в целом по Российской Федерации (рис. 11) составило $0,47^{\circ}\text{C}$ за десятилетие (Roshydromet, 2019), что в 2,5 раза больше глобального повышения температуры за тот же период ($0,18^{\circ}\text{C}$ за десятилетие). Зарегистрированные температуры повышались во все времена года, с наибольшим увеличением весной ($0,61^{\circ}\text{C}$ за десятилетие) и заметным ростом летом и осенью ($0,41^{\circ}\text{C}$ и $0,46^{\circ}\text{C}$ за десятилетие соответственно). Зимой изменения были самыми низкими и статистически незначимыми ($0,39^{\circ}\text{C}$ за десятилетие).

Пространственный анализ годовых изменений температуры в России представлен на рис. 12. Наиболее быстрое повышение температуры наблюдалось в арктических районах Сибири и Дальнего Востока, где линейный тренд температуры в период



Рисунок 11. Среднегодовые температурные аномалии в России, рассчитанные как отклонения от средних значений 1961–1990 гг. Источник: Roshydromet, 2019

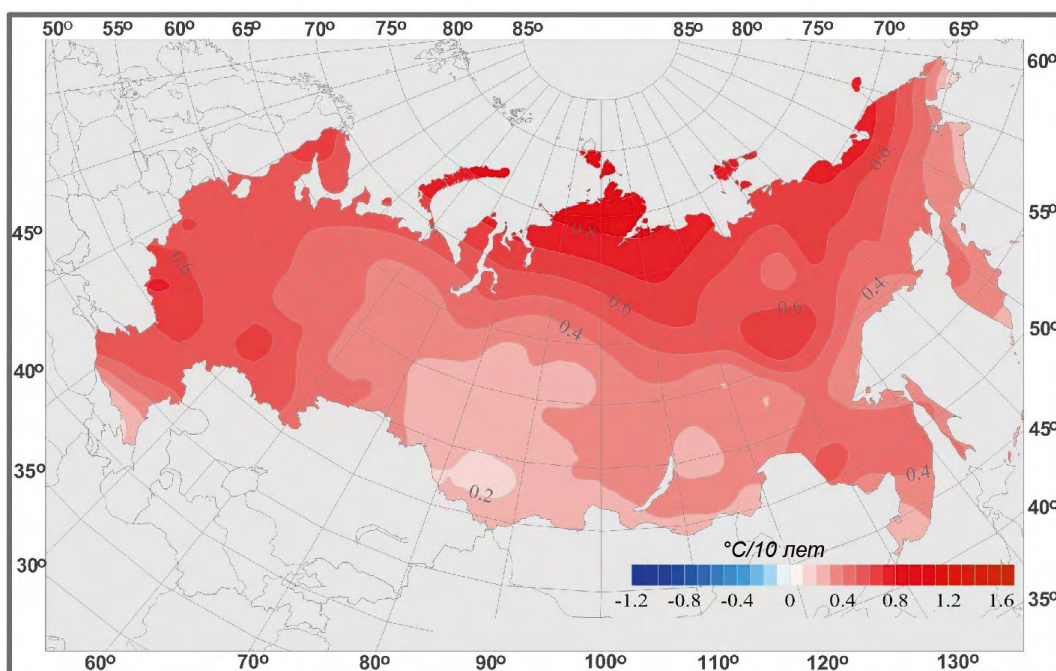


Рисунок 12. Тренды годовых температур за период 1976–2013 гг. на территории России (изменение температуры за 42-летний период, выраженное в градусах/10 лет). Источник: Roshydromet, 2014

1976–2013 гг. составил более чем на 0,8–1,0 °C за десятилетие (рис. 12). Это явление известно в глобальном масштабе как «потепление Арктики» (Cohen et al., 2014). Еще одна горячая точка роста температуры — это запад европейской части России, где тренд составил около 0,6 °C за десятилетие. Минимальный тренд роста температуры наблюдался в южной части Западной Сибири (0,2–0,3 °C за десятилетие).

В России годовая сумма осадков увеличивалась в 1940–1960 гг., уменьшалась в 1960–1980 гг. и увеличивалась с 1980 года (рис. 13). Линейный тренд за период 1976–2018 гг. составляет +2,2 мм/месяц за десятилетие. Максимальный прирост осадков в этот период наблюдался весной (+5,9 мм/мес. за десятилетие), в то время как летом прирост был меньше и изменение не было статистически значимым (+0,7 мм/мес. за десятилетие). Пространственное распределение изменений среднегодовых осадков за десятилетие за период 1976–2013 гг. показывает увеличение почти во всех регионах России (рис. 14).

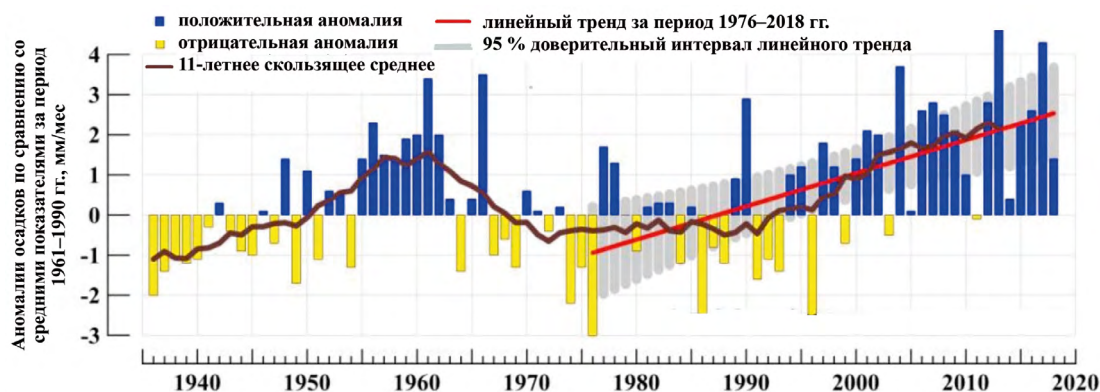


Рисунок 13. Аномалии осадков с 1937 по 2018 гг. по отношению к среднегодовым осадкам 1961–1990 гг. в России. Источник: Roshydromet, 2019

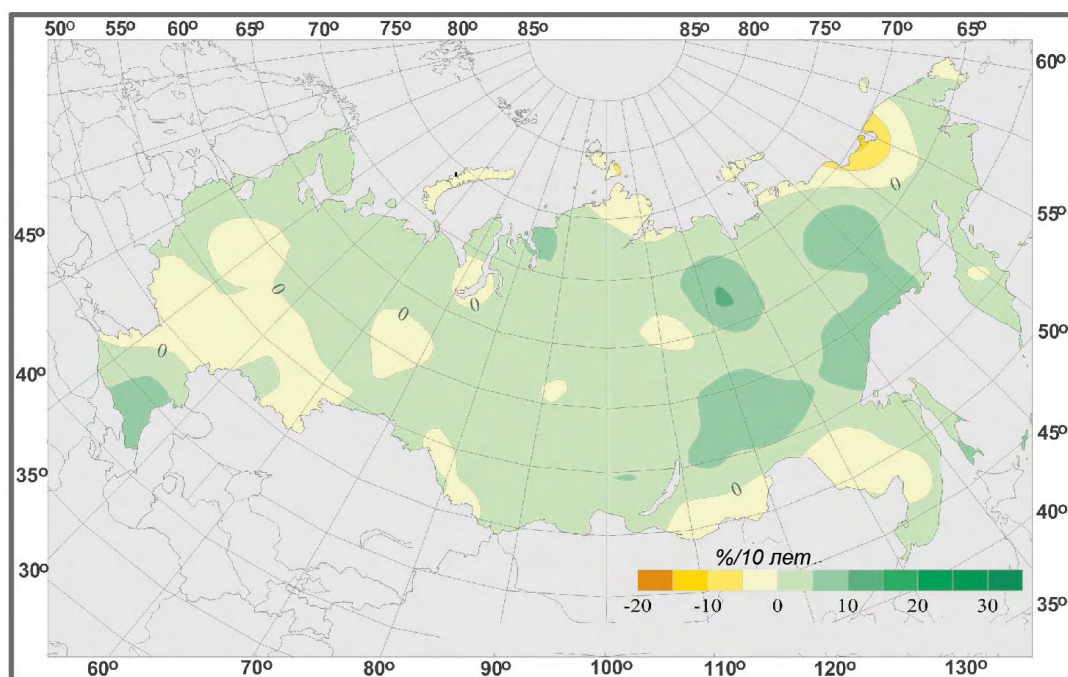


Рисунок 14. Тренды изменения годового количества осадков в России по декадам за период 1976–2013 гг., выраженные в процентах. Источник: Roshydromet, 2014

Максимальный рост осадков отмечается в некоторых центральных районах Дальнего Востока (до 15–20 % за 10 лет). Некоторое снижение наблюдалось в центре и на юге европейской части России. Явное уменьшение годового количества осадков произошло на севере Дальнего Востока (Чукотский автономный округ). Уменьшение количества летних осадков заметно для всей европейской части России. Это уменьшение количества летних осадков вместе с повышением температуры часто приводит к недостатку воды для растительности, в том числе и древесной.

Еще одним важным гидрометеорологическим фактором в России является снежный покров, поскольку многие российские регионы имеют устойчивый снежный покров в течение 6 месяцев и более, что серьезно влияет на лесной сектор. Хотя повышение температуры сокращает период снежного покрова, увеличение количества осадков в регионах может привести к увеличению его высоты (Roshydromet, 2019).

Сценарии изменения климата

**Риккардо Валентини, Кристофер Рейер, Сержио Ночи,
Мониа Сантини и Маркус Линднер**

В данной главе представлены сценарии изменения климата для Российской Федерации с указанием аномалий среднегодовых температур и суммарного количества годовых осадков с учетом хронологических данных². Временной интервал хронологических данных охватывает 1960–1999 гг. Прогнозы на будущее представляют как аномалии, так и неопределенности наборов хронологических данных, полученные на основе ансамблевого анализа нескольких моделей общей циркуляции (МОЦ)³.

Представленные сценарии соответствуют репрезентативным траекториям концентраций (РТК) 2.6, 4.5, 6.0, 8.5 по терминологии МГЭИК, где каждый сценарий представляет разную степень радиационного воздействия. Данные МОЦ были загружены из базы данных ISIMIP2b и рассчитано среднее значение и стандартное отклонение по ансамблю из 4 МОЦ (5МОЦ для РТК8.5).

Временные срезы для климатических сценариев состоят из исторического (1960–1999 гг.), среднесрочного прогноза (2036–2065 гг.) и долгосрочного прогноза (2070–2099 гг.). Прогнозы можно рассматривать как характеризующие среднюю климатическую ситуацию в 2050 и 2085 годах соответственно. Температурные аномалии демонстрируют тенденцию, аналогичную наблюдавшейся в недавнем прошлом с потеплением в северных и восточных регионах России и в некоторой степени в Юго-Западной Сибири (рис.15). Все сценарии радиационного воздействия приводят к существенному потеплению уже в среднесрочной перспективе (2036–2065 гг.). Температурный тренд уже отчетливо проявляется в историческом периоде наблюдений, и в ряде российских регионов среднегодовое повышение температуры превышает целевой показатель Парижского соглашения на 1,5°C даже при наиболее низком радиационном воздействии (РТК2. 6).

На рис.16 показано историческое среднее годовое количество осадков (в центре) и аномалии как среднее значение по различным моделям. Годовые аномалии осадков изменчивы по регионам, что свидетельствует о значимом влиянии рельефа на гидрологический цикл земной поверхности и взаимодействие с атмосферой. Консенсус между моделями относительно ниже, чем для изменения температуры, что также связано с региональными различиями. В частности, в центральной и северо-западной частях России наблюдается меньший консенсус для наиболее негативного сценария РТК8.5. Однако общая тенденция усиления гидрологического цикла наблюдается на всей территории России, за исключением юга Европейской части, где водообеспеченность может стать лимитирующим фактором.

² Исторические данные взяты из массива данных (WFD) проекта анализа водных ресурсов и воздействия глобальных изменений (WATCH). WFD — это массив метеорологических данных XX века на базе реанализа Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF)(ERA-40) (Uppala et al., 2005), интерполированный в широтно-долготную сетку с разрешением $0,5 \times 0,5^\circ$, с последовательной поправкой на высоту приземных метеорологических переменных плюс ежемесячной поправкой из массива данных наблюдений с привязкой к координатной сетке Отдела климатических исследований (CRU) (Piani et al., 2010; Weeden et al., 2011).

³ Были включены следующие модели МОЦ: GFDL_ESM2M, HADGEM2_ES, IPSL_CM5A_LR, MIROC5 и CMCC-CESM (последняя включена только для сценария РТК8.5).

Помимо годовых температур и осадков, экстремальные погодные условия играют фундаментальную роль в формировании реакции лесного сектора на изменение климата. В специальном отчете МГЭИК по экстремальным климатическим явлениям как для европейских, так и для азиатских регионов России зафиксировано увеличение изменчивости климата в отношении количества жарких дней и усиление экстремальных гидрологических явлений с увеличением интенсивности дождевых осадков, особенно в центральных и дальневосточных регионах (Seneviratne et al., 2012)

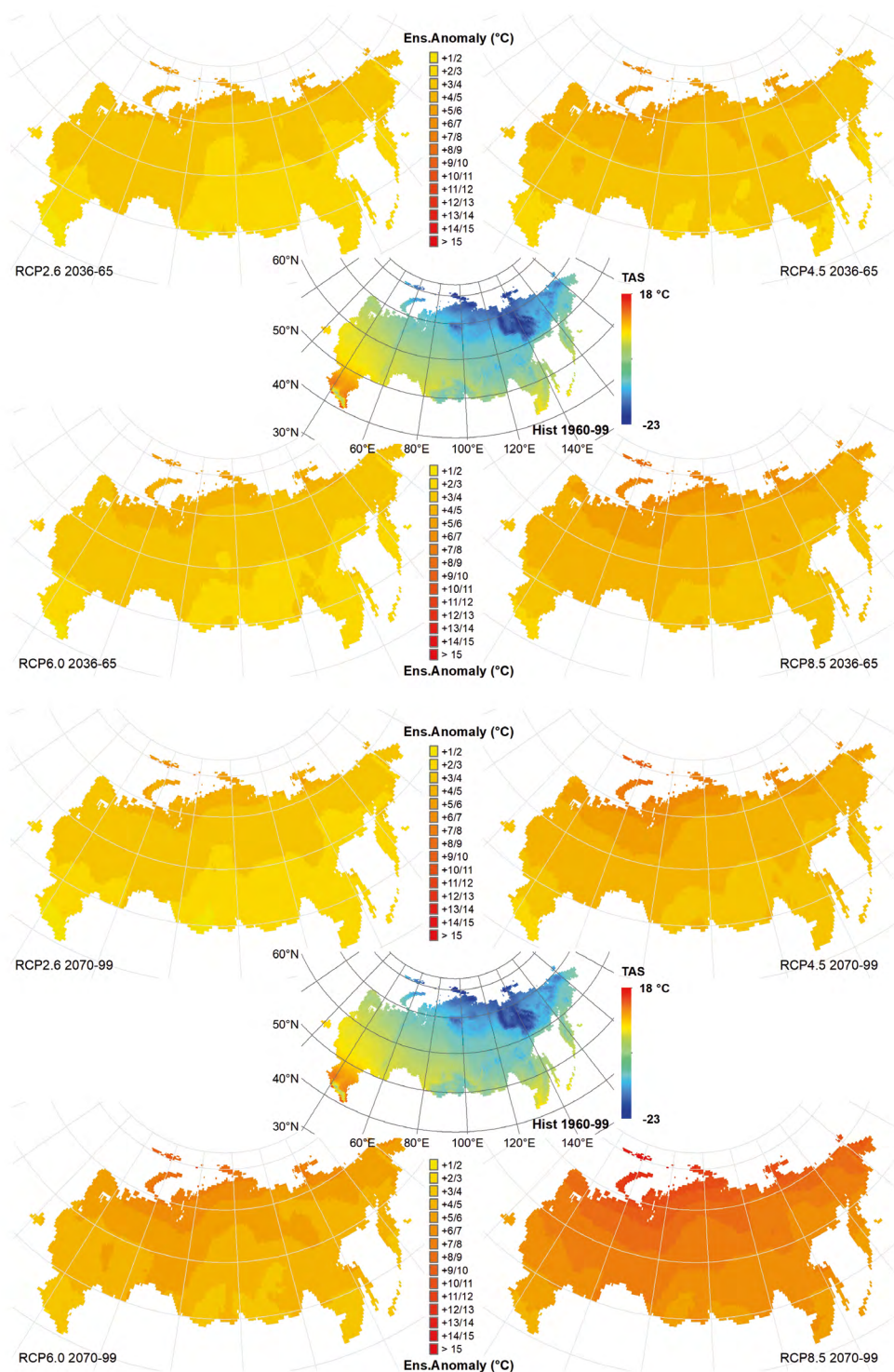


Рисунок 15. Среднегодовые температуры за периоды 2036–2065 гг. и 2070–2099 гг. для сценариев климатических воздействий РТК2.6, РТК4.5, РТК6.0 и РТК8.5.

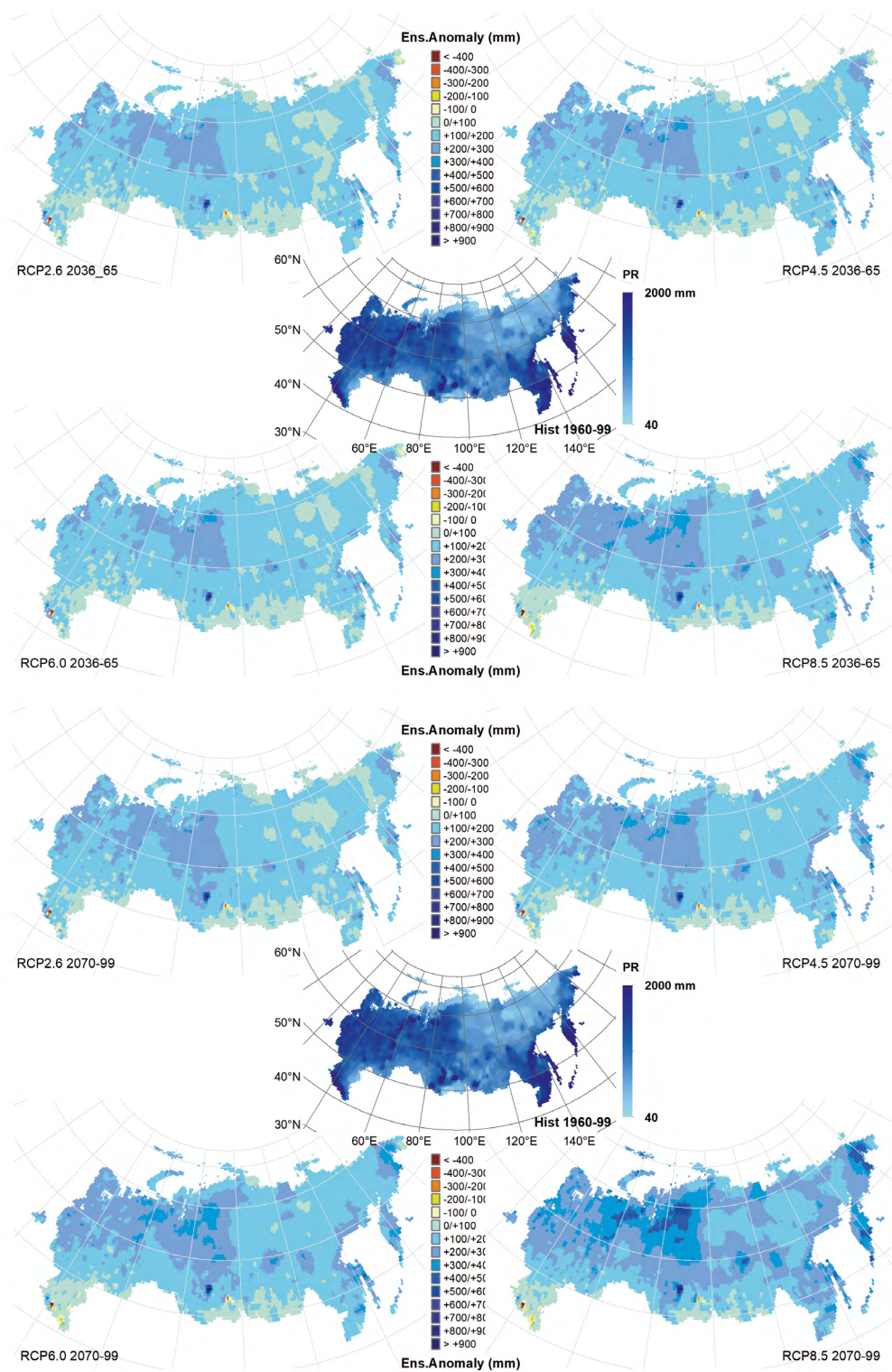


Рисунок 16. Кумулятивные годовые осадки за периоды 2036-2065 и 2070-2099 годов для сценариев климатических воздействий РТК2.6, РТК4.5, РТК6.0 и РТК8.5.

Ключевые тезисы

Риккардо Валентини и Маркус Линднер

- В течение последних 40 лет в России наблюдалась общая тенденция потепления климата со средним десятилетним увеличением на 0,61°C, что примерно в 2,5 раза превышает среднемировой рост.
- В то же время по всей России наблюдается общее усиление гидрологического цикла с увеличением количества осадков (+2,2мм в месяц за десятилетие), особенно в центральной части Дальнего Востока. Незначительное уменьшение количества осадков наблюдалось в центре и на юге европейской части России. Количественно экстремальные явления и гидрологические угрозы возросли почти в 3 раза в период с 2000 по 2018 гг.
- Прогнозы изменения климата показывают для всех сценариев как в среднесрочном (2036–2065), так и долгосрочном (2070–2099) аспектах продолжение наблюдаемых прошлых тенденций потепления с хорошим согласованием по моделям.
- Кумулятивные осадки продолжают увеличиваться в среднем по России с более сильным повышением в Сибири и уменьшением на юге Европейской части России. При этом прогнозируется, что изменчивость климата и связанные с ней экстремальные явления будут усиливаться, особенно в центральных и дальневосточных регионах России.

Использованная литература

- Allen, M.R., Dube, O.P., Solecki, W., Aragón-Durand, F., Cramer, W., Humphreys, S. et al. 2018. Framing and Context. In: Masson-Delmotte et al. (eds.) Global Warming of 1.5 °C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, 49–91.
- Cohen, J. , Screen, J. A. , Furtado, J. C. , Barlow, M. , Whittleston, D. , Coumou, D. , Francis, J. , Dethloff, K. , Entekhabi, D. , Overland, J. and Jones, J. 2014. Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather. *Nature Geoscience*. <https://doi.org/10.1038/NGEO2234>
- Piani, C., Weedon, G.P., Best, M., Gomes, S.M., Viterbo, P., Hagemann, S. and Haerter, J.O. 2010. Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and temperature for the application of hydrological models. *Journal of Hydrology*, 395 (3–4), 199–215. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.10.024>
- Roshydromet 2014. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2013 год [Report on climate features in territory of Russian Federation in 2013]. Moscow, 110 p. <http://www.meteorf.ru/upload/iblock/7ce/ob-osobennostyakh-klimata-RF-2013.pdf>
- Roshydromet 2019. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 год [Report on climate features in territory of Russian Federation in 2018]. Moscow, 76 p. http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/o-klimata-rf-2018.pdf

- Seneviratne, S.I., Nicholls, N., Easterling, D., Goodess, C.M., Kanae, S., Kossin, J., Luo, Y., Marengo, J., McInnes, K., Rahimi, M., Reichstein, M., Sorteberg, A., Vera, C. and Zhang, X. 2012. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 109–230.
- Uppala, S.M., Kållberg, P.W., Simmons, A.J., Andrae, U., da Costa Bechtold, V., Fiorino, M., Gibson, J.K., Haseler, J., Hernandez, A., Kelly, G.A., Li, X., Onogi, K., Saarinen, S., Sokka, N., Allan, R.P., Andersson, E., Arpe, K., Balmaseda, M.A., Beljaars, A.C.M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Caires, S., Chevallier, F., Dethof, A., Dragosavac, M., Fisher, M., Fuentes, M., Hagemann, S., Hólm, E., Hoskins, B.J., Isaksen, I., Janssen, P.A.E.M., Jenne, R., McNally, A.P., Mahfouf, J.-F., Morcrette, J.-J., Rayner, N.A., Saunders, R.W., Simon, P., Sterl, A., Trenberth, K.E., Untch, A., Vasiljevic, D., Viterbo, P. and Woollen, J. 2005. The ERA-40 re-analysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 131 (612), 2961–3012. <https://doi.org/10.1256/qj.04.176>
- Weedon, G.P., Gomes, S., Viterbo, P., Shuttleworth, W.J., Blyth, E., Österle, H., Adam, J.C., Bellouin, N., Boucher, O. and Best, M. 2011 Creation of the WATCH forcing data and its use to assess global and regional reference crop evaporation over land during the twentieth century. *Journal of Hydrometeorology*, 12 (5), 823–848. <https://doi.org/10.1175/2011JHM1369.1> http://www.eu-watch.org/data_availability

Изменение климата и леса России: последствия, уязвимость и потребности в адаптации

Кристофер Рейер, Маркус Линднер, Дмитрий Замолодчиков,
Анатолий Швиденко, Мартин Гуч и Сергей Барталев

4.1 Наблюдаемые воздействия изменения климата

Дмитрий Замолодчиков и Кристофер Рейер

В данной главе рассматриваются существующие сведения о воздействии изменения климата на леса России. Воздействие может быть постепенным и скачкообразным. Постепенные воздействия определяются тенденциями изменения температуры, осадков и других климатических параметров, тогда как скачкообразные воздействия связаны с повышенной вероятностью экстремальных погодных явлений, таких как засухи, ураганы или наводнения, которые приводят к быстрым нарушениям или гибели лесов.

4.1.1 Наблюдаемые изменения в видовых ареалах

Видовые ареалы очень чувствительны к изменениям климата. Продвижение северной границы леса в тундру наблюдалось на 30% экспериментальных площадей в дельте реки Оби (Западная Сибирь), тогда как 5% лесных участков превратились в заболоченные земли (Rees et al., 2002). Продвижение границы леса в горную тундру также наблюдалось на Полярном Урале с горизонтальным смещением на 3,2–5,8 м в год и вертикальным смещением на 0,3–0,4 м в год (Shiyatov et al., 2007). На

Южном Урале как сомкнутые еловые леса, так и редкостойные елово-березовые леса поднялись на 14 м в период 1973–2006 гг. (Kapralov et al., 2007). На южной границе леса наблюдаются разнонаправленные тенденции, в том числе продвижение молодых еловых лесов в степные экосистемы на южных склонах гор Хамар-Дабан, где количество осадков увеличилось (Glyzin et al., 2005), и уменьшение площади дубрав на 5–25% за 1988–2009 гг. в лесостепной и степной зонах европейской части России (Zamolodchikov, 2011).

На протяжении XX века породный состав лесов Полярного Урала и Среднесибирского плоскогорья сместился от доминирования лиственницы к увеличению доли вечнозеленых хвойных пород (Kharuk et al., 2005a; Moiseev et al., 2010). На юге Восточной Сибири повышенные осенние температуры и более частые экстремальные погодные условия подавляют восстановление хвойных пород, которые сменяются лиственными (Soja et al., 2007).

4.1.2 Наблюдаемые изменения нарушений лесов

Географическое распространение многих вредителей (см. Главу 2.2) ограничено низкими зимними температурами. Повышение температуры позволяет этим вредителям расширить свой ареал на север и вверх по склонам гор. В соответствии с наблюдаемым потеплением зона вспышек массового размножения сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus*), одного из самых опасных бореальных насекомых-вредителей, сместилась на север. Вспышка массового размножения 2014 года в кедрово-пихтовых насаждениях Енисейской равнины нанесла ущерб на значительных площадях леса к северу от исторического ареала распространения сибирского шелкопряда (Kharuk et al., 2017b). Другой пример — уссурийский полиграф (*Polygraphus proximus*), который является причиной усыхания сибирских пихтовых лесов, в Томской области, например, им повреждено около 40 % пихтовых лесов (Krivets et al., 2018; Debkov et al., 2019).

На протяжении XX века повторяемость засух в России возрастала (Groisman et al., 2007), а в 2005–2008 гг. произошло массовое усыхание сосновых и еловых насаждений вблизи южной границы леса (Allen et al., 2010). В Среднем Поволжье произошло крупномасштабное усыхание дубрав за счет повреждений, вызванных погодными условиями, и последующих вспышек массового размножения насекомых-вредителей в 1991–1994 гг. (Yakovlev, Yakovlev, 1999). Снижение уровня влажности почвы было основной причиной массового усыхания ельников в Архангельской области в 1990–2000 гг. (Aakala, Kuuluvainen, 2011). Аналогичные процессы усыхания пихтовых древостоев в Красноярском крае, вызванные сильной засухой с последующей вспышкой массового размножения уссурийского полиграфа, ранее не наблюдавшегося в регионе, происходили с 2010 г. (Kharuk et al., 2019).

Несмотря на четкие общие тенденции роста лесных пожаров, представленные в Главе 2.2, существует лишь несколько исследований, которые связывают пожары с климатическими изменениями. Пожароопасность, оцененная по метеорологическим данным, снижалась на Русской равнине в период 1935–2000 гг. и повышалась в азиатской части России на протяжении всего XX века (Groisman et al., 2007). Дендрохронологический анализ показал увеличение частоты пожаров на Среднесибирском плоскогорье со снижением среднего интервала без пожаров со 100 лет до 65 на протяжении XIX–XX веков (Kharuk et al., 2005b).

4.1.3 Наблюдаемые изменения фенологии, роста лесов и продуктивности

Изменение климата продлевает активный вегетационный период в бореальной и умеренной зонах. В Северной Евразии спутниковые наблюдения за динамикой спектральных свойств растительности (нормализованный относительный индекс растительности, NDVI) показали его увеличение на 14–22 дня в период 1981–1999 гг. в основном за счет более длительного сохранения листвы на деревьях (Zhou et al., 2001). В Амурской области тенденции повышения температуры привели к задержке периода опадения листвы у осины и некоторых видов березы (Parilova et al., 2006).

Динамика прироста по диаметру менее ясна и размыта циклическими колебаниями. Был обнаружен возрастающий прирост по диаметру в период 1914–2004 гг. в лиственных насаждениях Полярного Урала (Shiyatov, Mazepa, 2007). В ельниках Республики Марий Эл наблюдались волнообразные изменения прироста с понижением до 1973г. и последующей фазой увеличения (Демаков и др., 2009). В настоящее время наблюдаются депрессии роста в дубравах на территории Шипова леса (Воронежская область) (Milenin, 2012) и в сосновых древостоях лесостепной зоны Европейской части России (Matveev, 2014).

Тренды продуктивности лесных насаждений можно оценить по данным дистанционных наблюдений за NDVI как косвенного показателя фотосинтетической активности растений. NDVI увеличился на 12,4% в период 1982–1999гг. в хвойных и смешанных лесах между 40–70° северной широты Северной Евразии, в то же время в некоторых регионах северо-востока России наблюдалось снижение NDVI на 5% (Zhou et al., 2001). Еще одним показателем продуктивности является сомкнутость лесных насаждений, которая увеличивалась в лиственных древостоях Северной Сибири с 1960 по 2000 год (Kharuk et al., 2004). Высокие темпы роста сомкнутости отмечены также для березовых и еловых древостоев юга России (Kapralov et al., 2007) и на 50% исследованных участках в дельте реки Оби (Rees et al., 2002).

Прогнозируемые воздействия

Кристофер Рейер, Мартин Гуч и Дмитрий Замолодчиков

4.2.1 Прогнозируемые изменения в видовых ареалах

В ходе последней работы по моделированию пространственного распространения видов на территории России, проведенной Noce et al. (2019), для прогнозирования изменений в видовых ареалах было использовано 9 различных типов моделей распределения видов в сочетании со сценариями изменения климата в соответствии со сценариями РТК4.5 и РТК8.5 для периодов 2040–2079 и 2060–2099 гг. из шести климатических моделей. Согласно этим прогнозам, подходящие площади для березы, сосны и лиственницы сокращаются, в то время как для осины и пихты они увеличиваются, а для кедра и ели остаются более или менее постоянными. В целом соответствующие видовые ареалы смещаются на север и в меньшей степени на восток. Прогнозируется, что к концу века изменения будут намного значительнее.

Согласно прогнозам, вегетационный период в конце столетия (2090–2099 гг.) увеличится в среднем на 25 и 41 день по России по сравнению с периодом 1990–1999 гг. по сценариям РТК4.5 и РТК8.5 соответственно, что приведет к сокращению доли хвойных и увеличению доли лиственных пород (Torzhkov et al., 2019). Однако сдвиги в пространственном распределении древесных пород могут быть скорректированы за счет изменений в землепользовании, поскольку увеличение площади бореальных лесов на север и восток в тундру (от 7 до 12% в зависимости от сценария) может быть компенсировано постепенным продвижением конкурирующих типов землепользования, таких как сельскохозяйственные или биоэнергетические культуры, на лесопокрываемые площади (Kicklighter et al., 2014). Наконец, изменения видовых ареалов, вызванные изменением климата, также могут в свою очередь влиять на климат. Деревья в северных широтах частично маскируют высокую отражающую способность снега (Bonan et al., 1992) и, следовательно, дальнейшее смещение древесных пород на север приводит к более высоким региональным зимним температурам по сравнению с ситуацией отсутствия деревьев, что усиливает последствия изменения климата.

4.2.2 Прогнозируемые изменения нарушений лесов

Недавние сезоны масштабных пожаров и вспышек массового размножения насекомых (см. главу 2.2) продемонстрировали важную роль, которую природные нарушения могут сыграть для будущего лесов (Seidl et al., 2017). Прямые климатические эффекты проявляются, например, когда повышение температуры снижает влажность лесных горючих материалов и, таким образом, увеличивает риск возникновения пожаров, тогда как косвенные эффекты возникают, например, когда вызванные климатом изменения в составе растительности или продуктивности увеличивают доступность или воспламеняемость горючих материалов. В частности, бореальные леса могут столкнуться с более сильным воздействием прямых и косвенных нарушений (Seidl et al., 2017). Неопределенность прогнозов будущих изменений осадков остается большой, и это имеет важное значение. В то время как в более теплых и влажных условиях интенсивность засух и пожаров может быть частично снижена,

более теплые и засушливые условия, несомненно, увеличивают риск возникновения пожаров, усыхания древостоев и всплеск массового размножения насекомых в лесах Европы и Азии.

Прогнозы изменения риска нарушений в России редки и обычно учитывают только пожарную опасность. Sherstyukov и Sherstyukov (2014) проанализировали, как изменяется пожарная опасность, вычисленная по индексу Нестерова, согласно сценариям РТК4.5 и РТК8.5. по ансамблю из 31 климатической модели. Согласно прогнозам, продолжительность сезона пожарной опасности увеличится на 10–20 дней по всей стране в период 2041–2060 годов по сравнению с 1980–2000 годами, а в конце века (2080–2090 гг.) как минимум еще на 20 дней пожарной опасности (и локально до 50 дней) для Европейской части России, Западной Сибири, а также юга и средних широт Восточной Сибири. Недавнее исследование с помощью набора региональных климатических моделей подтвердило общее увеличение риска пожаров в условиях изменения климата, но показало, что, особенно в рамках РТК4.5, климатический риск пожаров может частично снизиться на региональном уровне в Центральной Сибири из-за увеличения количества осадков (Torzhkov et al., 2019).

В сочетании, вызванные изменением климата сдвиги видовых ареалов и нарушения лесов могут повлиять на динамику и функционирование лесов в большей степени, чем отмечается в исследовании отдельных авторов. Бореальные леса северного полушария были определены как ключевой элемент глобальной климатической системы (Lenton et al., 2008). Высокий уровень гибели деревьев, вызванный засухами, в сочетании с увеличением интенсивности всплеск массового размножения насекомых и пожаров, может еще больше повысить подверженность лесов крупномасштабному отмиранию при уровне глобального потепления выше 3°C (Lenton et al., 2008; Schellnhuber et al., 2016). Неясно, может ли прогнозируемая динамика нарушений, обсуждаемая в данной главе, привести к необратимому исчезновению лесов. Однако ситуация с нарушениями явно выходит за рамки прошлого опыта, увеличивая риск беспрецедентных неблагоприятных воздействий на леса. Более того, анализ спутниковых данных показывает, что бореальная зона включает экосистемы с множественностью устойчивых состояний, а это означает, что изменения растительности, обусловленные климатом, могут быть резкими, а не плавными, и леса могут внезапно перейти в состояние экосистемы с разреженной растительностью либо наоборот (Scheffer et al., 2012). Этот переход к разреженной растительности будет иметь важные последствия для глобального углеродного цикла и других взаимосвязей между климатом и растительностью за счет сокращения запасов углерода в экосистемах, увеличения шероховатости земной поверхности и снижения отражающей способности. Однако влияние на углеродный цикл и климатические обратные связи таких изменений растительного покрова еще предстоит оценить. В частности, зарастание лесом заболоченных земель и торфяников может усилить потепление (Moore et al., 2018). В целом, свидетельства достижения критического момента в бореальных лесах (Lenton et al., 2008) неоднозначны, но имеющиеся данные скорее указывают на усиление воздействия нарушений, дестабилизирующих леса, с меньшим количеством свидетельств, подтверждающих увеличение лесного покрова.

4.2.3 Прогнозируемые изменения продуктивности лесов и углеродного баланса в условиях изменения климата

Моделирование с использованием двух глобальных моделей растительности (LPJmL и ORCHIDEE-MICT, Reyer et al. 2019) показывает последовательное увеличение чистой первичной продуктивности (NPP) в рамках сценариев РТК2.6 и РТК8.5 в 2036–2065 гг. по сравнению с уровнями 1961–1990 гг. Только в наиболее юго-западных и западных частях страны наблюдается небольшое снижение NPP (рис.17, средние панели). Этот

вариант изменений NPP останется в основном стабильным в период 2070–2099 гг. в рамках сценариев РТК2.6 и РТК8.5 для западных регионов страны, следовательно, дальнейшее увеличение NPP не прогнозируется. Однако период 2070–2099 гг. в рамках сценария РТК8.5 отмечен гораздо более выраженным увеличением NPP в центральной и восточной частях Сибири по сравнению с уровнями 1961–1990 гг. (рис. 17, нижняя правая панель). Эти результаты согласуются с прогнозами региональных исследований и более крупных наборов глобальных моделей растительности, которые также показывают в основном увеличение NPP в бореальных регионах даже при высоких уровнях глобального потепления (Kurbatova, Tarko, 2017; Friend et al., 2014; Ito et al. 2020). Тем не менее, несмотря на то, что эти тенденции частично совпадают с найденными по результатам наблюдений для бореальной зоны (Exbrayat et al., 2018), неопределенность прогнозов остается высокой (Friend et al., 2014; Ito et al., 2020).

Один из основных вопросов заключается в том, реалистично ли моделируемое повышение продуктивности, которое можно в значительной степени объяснить очень сильной реакцией продуктивности растительности на повышение уровней атмосферного CO_2 в моделях. В последнее время натурные и модельные исследования оспаривают непрерывные повсеместные эффекты удобрения растительности повышенными концентрациями атмосферного CO_2 (Hickler et al., 2015; Jiang et al., 2020). С учетом этой неопределенности на рисунке 18 представлен анализ чувствительности прогнозируемых изменений NPP в соответствии с РТК8.5 на период 2036–2065 и 2070–2099 гг. к отсутствию учета дальнейшего положительного эффекта CO_2 . В этих имитациях прогнозируемые изменения NPP демонстрируют гораздо более ярко выраженную картину: NPP по-прежнему увеличивается в Центральной и Восточной Сибири, тогда как в южных и западных регионах России она значительно снижается (рис. 18, нижняя правая панель). Другая проблема заключается в том, что модели лишь в очень ограниченной степени учитывают крупномасштабные нарушения лесов, такие как пожары или повреждение насекомыми. Несмотря на то, что влияние пожаров в некоторой степени учитывается, ни одна из моделей не включает динамическое моделирование повреждений от насекомых или ветров. Однако даже с этими недостатками модели имитируют большие изменения во времени пребывания углерода в атмосфере, что по существу означает более быстрый оборот растительности из-за более высокого коэффициента гибели вследствие засухи и других факторов (Friend et al., 2014). Наконец, модели не включают влияние лесопользования и не предусматривают его воздействие на фактическое распределение древесных пород. Прогнозируемое увеличение NPP следует рассматривать в контексте этих ограниченных представлений о динамике лесов и управления ими. Следовательно, даже несмотря на то, что модели адекватно представляют изменения в продуктивности лесов в соответствии с экологической теорией, важно отметить, что модели в значительной степени игнорируют влияние управления лесами и природных нарушений на продуктивность, биомассу и запасы углерода.

Другая группа имитационных лесных моделей учитывает изменения в лесопользовании и позволяет изучать различные сценарии лесопользования. Однако они обычно не принимают во внимание влияние изменения климата на продуктивность. Zamolodchikov et al. (2013, 2014) применили модель CBM-CFS3 и ряд сценариев лесопользования, включая сценарии «без увеличения объема лесозаготовок», с «умеренным» увеличением до 157% к 2050 году по сравнению с уровнями 2010 года и с «интенсивным» увеличением до 314% к 2050 году по сравнению с уровнями 2010 года. «Интенсивный» сценарий предполагает рост лесозаготовок до тех пор, пока не будет достигнут объем расчетной лесосеки для отдельных административных регионов России, и предполагается, что меры по лесовозобновлению будут пропорциональны увеличению объема лесозаготовок. Результаты показали значительное влияние лесозаготовок на сток углерода в лесах. В зависимости от интенсивности лесозаготовок сток углерода в лесах снизился с 270 Мт С в год в 2010 году до 80–90 Мт С в год и 30–40 Мт С в год в 2050 году при умеренном и интенсивном сценарии соответственно. Моделирование влияния глобального спроса на древесину с использованием

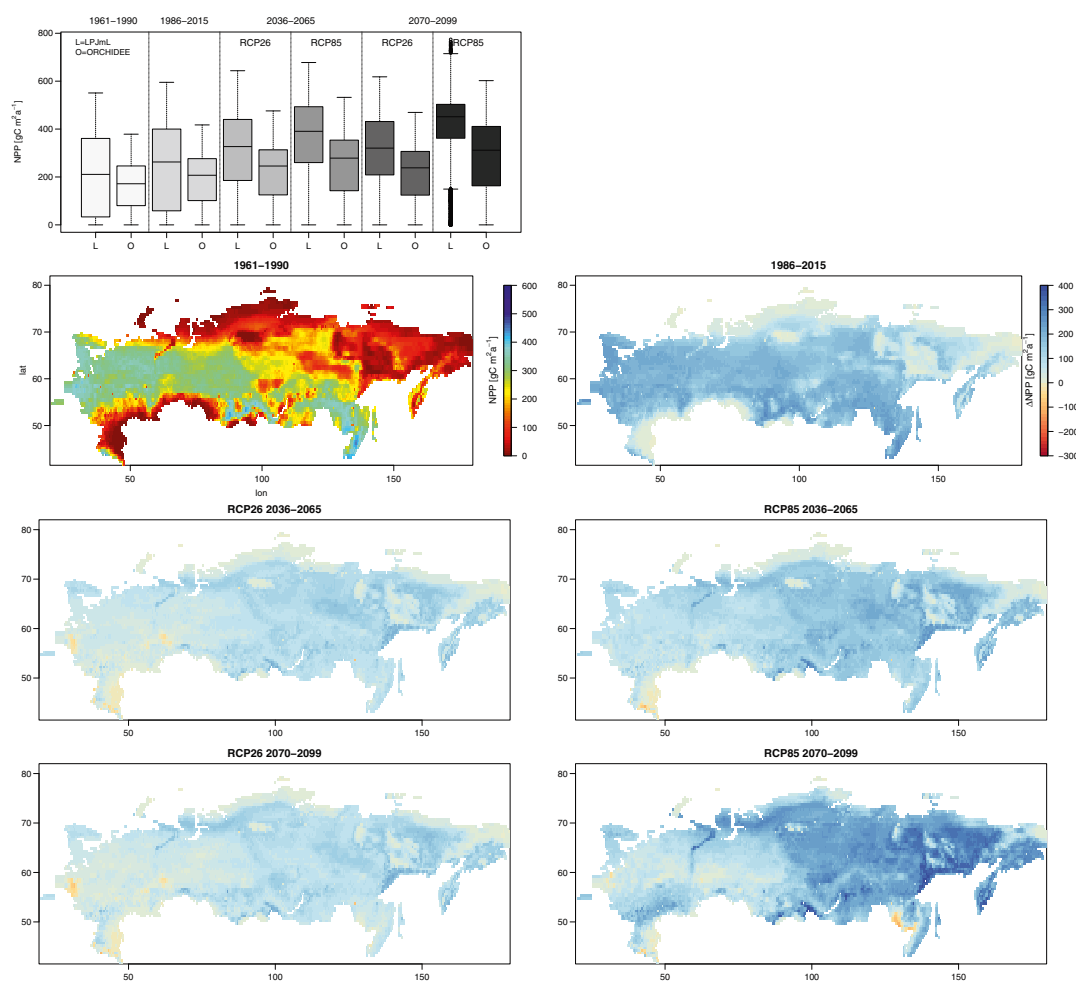


Рисунок 17. Воздействие климатических изменений на NPP лесов Российской Федерации. Коробчатые диаграммы показывают абсолютные значения NPP на территории России для двух различных глобальных динамических моделей растительного покрова (ORCH= ORCHIDEE и LPJmI) за четыре различных периода (1961–1990; 1986–2015; 2036–2065; 2070–2099). На карте вверху слева показано многомодельное среднее значение NPP за 1961–1990 гг., полученное с использованием двух глобальных динамических моделей растительного покрова (DGVM) при различных хронологических воздействиях четырех моделей общей циркуляции (МОЦ). На карте вверху справа, а также на картах в середине и внизу, показаны изменения многомодельного среднего значения за период 1961–1990 гг. при использовании набора из двух DGVM и четырех МОЦ, управляемых сценариями выбросов RCP2.6 и RCP8.5 за периоды (1986–2015; 2036–2065; 2070–2099).

глобальной модели лесоматериалов (Sohngen et al., 2005) показало, что российские леса могут превратиться из поглотителя углерода в источник углерода с уровнем выбросов до $-30,5$ Мт С в 2030 году. Снижение стока в основном было вызвано изменением спроса и цен, что привело к более ранней рубке лесных насаждений. Во второй половине века сток снова увеличился, когда лесные насаждения возобновились на местах вырубок. Углерод древесной продукции (но без эффекта замещения; более подробную информацию о замещении см. в главах 5 и 6 данного отчета), учтенный в этом анализе, представлял собой лишь небольшой запас, который не мог уравновесить возрастающие потери углерода в результате разложения.

Torzhkov et al. (2019) рассматривали сценарии заготовки древесины (Zamolodchikov et al., 2013, 2014) и изменения климата. Прогнозируемый сток углерода составляет $187\text{--}251$ Мт С в год, поскольку влияние изменения климата компенсирует увеличение объемов лесозаготовок. Izrael et al. (1997) дали прогноз углеродного баланса лесов России в зависимости от интенсивности рубки леса и изменения климата. Стартовая оценка поглощения углерода лесами составила 150 Мт С в год в 1995 году. Использование трех различных сценариев заготовки древесины, предполагающих

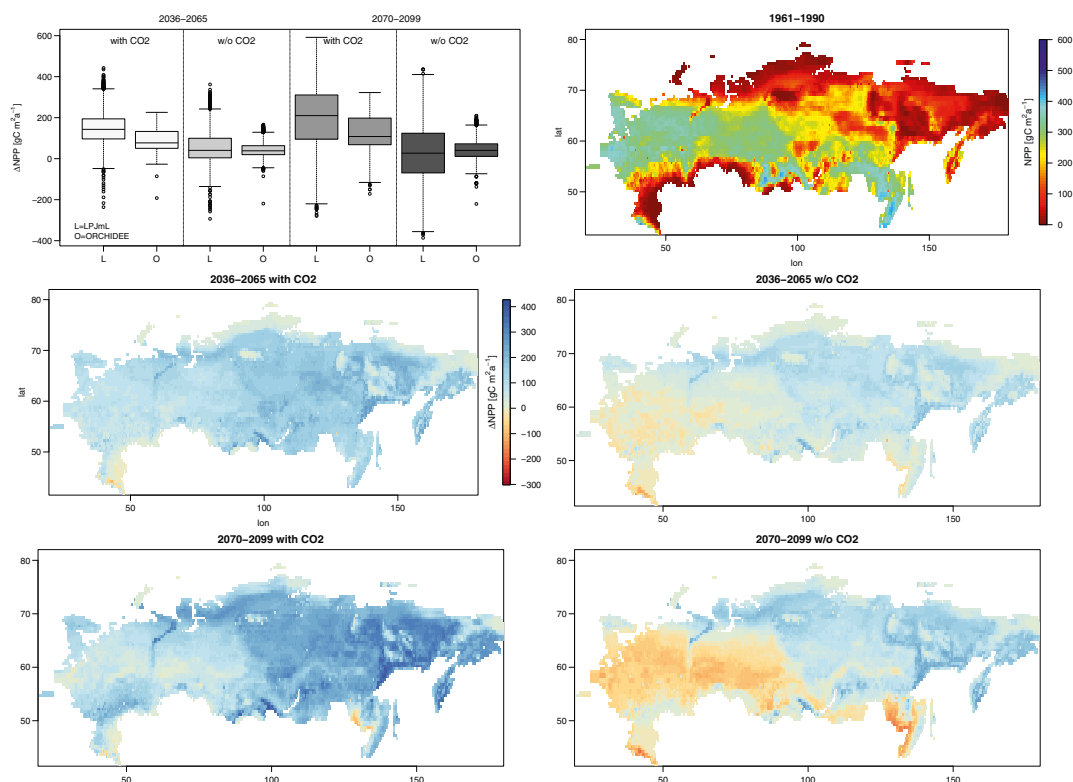


Рисунок 18. Чувствительность воздействия изменения климата на NPP лесов относительно изменений концентрации CO_2 в атмосфере. Коробчатые диаграммы показывают абсолютное изменение NPP на территории России для двух разных DGVM (ORCH = ORCHIDEE и LPJml) за два разных периода (2036–2065; 2070–2099) относительно периода 1961–1990 гг., включая и не включая влияние повышения уровней CO_2 в моделях («с и без CO_2 » при постоянном значении концентрации CO_2 на уровне 2005 г.). На карте сверху справа показано многомодельное среднее значение NPP за 1961–1990 гг., полученное с использованием двух глобальных динамических моделей растительного покрова (DGVM) при различных хронологических воздействиях четырех моделей общей циркуляции (МОЦ). Карты в среднем и нижнем ряду показывают изменения многомодельного среднего значения NPP относительно периода 1961–1990 гг. по ансамблю из 2 DGVM и 4 МОЦ, основанных на сценарии выбросов РТК8.5, для периодов 2036–2065 (средний ряд) и 2070–2099 (нижний ряд). Левые панели в этих рядах показывают будущие изменения включая влияние увеличения выбросов CO_2 , в то время как правые панели показывают изменения, при которых концентрация CO_2 остается неизменной на уровне 2005 года.

увеличение объемов заготовки с 206 млн. м^3 в 1996 году до 420, 488 и 608 млн. м^3 в 2040 году, привело к стабильному стоку (150–160 Мт С в год), уменьшенному стоку (100 Мт С в год) и значительно уменьшенному стоку (40 Мт С в год) в 2040 году, соответственно. Дальнейшее региональное моделирование с использованием модели леса в Костромской области к северу от Москвы, включая подробные мероприятия по лесопроизводству, показало, что лесопроизводство оказывает более сильное влияние на динамику углерода в лесах, чем климат (Shanin et al., 2011). Было также обнаружено увеличение продуктивности лесов в результате изменения климата, которое, однако, может быть компенсировано за счет увеличения ущерба от пожаров.

В целом, различные свидетельства этих прогнозных модельных исследований можно обобщить следующим образом. В то время как изменение климата улучшает условия произрастания лесов на большей части страны при всех сценариях потепления в среднесрочной перспективе, неопределенность в отношении роли эффектов удобрения повышенным CO_2 и крупномасштабных нарушений доминирует в прогнозах на вторую половину XXI века. Существует риск снижения продуктивности лесов, вызванного изменением климата, наряду с изменением видовых ареалов. Прогнозы, включающие различные сценарии управления, подтверждают значительную роль лесопроизводства в накоплении углерода в лесах, даже в случае возможного превращения леса из поглотителя в источник углерода.

Оценка уязвимости

Анатолий Швиденко и Кристофер Рейер

По определению IPCC (2014), уязвимость — это «склонность или предрасположенность к неблагоприятному воздействию». Понятие уязвимости «включает в себя самые разные концепции и элементы, включая чувствительность или восприимчивость к нанесению ущерба и отсутствие способности справляться с проблемой и адаптироваться». Знания об уязвимости лесов, национальных системах лесопользования, населении лесных регионов и связанных с ними отраслях экономики являются ключевыми для выявления рисков и адекватных вариантов адаптации (FAO, CIFOR 2019). Огромная площадь и разнообразие лесов России отражает сходное разнообразие текущего и прогнозируемого климата, а также связанных с этим факторов стресса и рисков. Уровень уязвимости в значительной степени зависит от интенсивности воздействия изменения климата: хотя будущий климат в соответствии с Парижским соглашением (РПК2.6) может в среднем иметь благоприятные последствия для российских лесов лишь с ограниченными изменениями в текущей уязвимости лесного сектора, сценарии с ограниченным сокращением выбросов (например, РПК 6.0 и РПК8.5) прогнозируют критические условия для роста лесов, которые угрожают выживанию основных лесных видов в обширных регионах (Tchebakova et al., 2009; Gauthier et al., 2014, 2015).

Уязвимость экосистем бореальных лесов зависит от их адаптивной способности, которая считается относительно высокой из-за их огромных генетических популяций, высокой фертильности, высокого уровня генетического и экосистемного разнообразия, а также исторически сложившихся механизмов устойчивости к природным нарушениям (Aitken et al., 2008). С другой стороны, бореальные леса эволюционно сформировались в условиях холодного климата и чувствительны к потеплению из-за характера их ландшафтов и почв с широким распространением болот и вечной мерзлоты. Высокая частота и прогнозируемое увеличение степени нарушений, таких как пожары и вспышки массового размножения насекомых, являются еще одним важным фактором уязвимости, влияющим на лесной сектор в условиях изменения климата.

Риски для лесов будут самыми высокими в «горячих точках», подверженных действию основных прямых (высокая летняя температура, водный стресс) и косвенных (сопутствующие нарушения) факторов. Наибольшие риски для выживаемости лесов ожидаются в переходных зонах между лесами и безлесными территориями на северных и особенно южных границах лесной зоны. Леса в зоне южной тайги и в экотонах лесостепи средних широт особенно уязвимы из-за водного стресса (Tchebakova et al., 2009) и подвержены особому риску с точки зрения сохранения биоразнообразия, дикой фауны и обеспечения средств к существованию местного населения (например, Tchebakova et al., 2009; Kharuk et al., 2017a). Сдвиг ареалов распространения видов (см. главы 4.1 и 4.2) существенно повышает уязвимость лесов из-за несоответствия между скоростью естественной миграции деревьев в высоких широтах — менее 100 м в год (Aitken et al., 2008), по сравнению с изменением климатических условий в северном направлении, которое в 10–50 раз быстрее (Thuiller, 2007). Принимая во внимание наличие естественных препятствий в Северной Азии (рек, горных хребтов в высокоширотных районах), реальные темпы миграции могут

быть еще ниже. Российские леса в зоне многолетней мерзлоты площадью более 500 млн га представляют собой обширную «горячую точку», так как заключают в себе огромное количество углерода. Таяние многолетней мерзлоты в сочетании с повышенной засушливостью гидрологического режима на сотнях миллионов гектаров может вызвать резкое возрастание риска возникновения пожаров и выброс огромного количества парниковых газов, что представляет собой переломный момент в системе Земли (Lenton et al., 2008).

Уязвимость лесов также оказывает влияние на людей. В России проживает около 260 000 человек, принадлежащих к 39 коренным малочисленным народам, образ жизни многих из них напрямую зависит от лесов. Кроме того, социальные и экономические изменения в России после реформ 1990-х годов привели к медленному вымиранию нескольких тысяч таежных деревень, расположенных вокруг бывших промышленных структур. Оставшееся население этих населенных пунктов почти полностью зависит от леса. Более того, большая часть населения в лесных регионах уязвима к экстремальным погодным явлениям и сопутствующим катастрофическим нарушениям из-за несовершенной системы охраны от лесных пожаров, низкого потенциала и уровня готовности к управлению рисками, связанными с нарушениями. Это может привести к критическим последствиям для здоровья, преждевременной смертности тысяч людей и большим экономическим потерям (Bastos et al., 2014; Shvidenko et al., 2020).

Уязвимость лесов России, связанная с природными нарушениями, представляет собой наибольшую опасность в настоящем и особенно в будущем. Прогнозируется усиление режимов нарушений на региональном уровне по мере значительного увеличения масштабов, частоты и силы лесных пожаров, а также вспышек массового размножения опасных насекомых и распространения патогенов. Весьма вероятно, что уязвимость лесов в средних широтах Евразии будет значительно повышаться под воздействием со стороны различных опасных биотических агентов, включая воздействие чужеродных насекомых и патогенов. Хотя локальные причины наблюдаемого снижения устойчивости и гибели лесов различаются (например, периоды сильной засухи, вспышки массового размножения насекомых и распространения патогенов, изменение гидрологического режима, лесовосстановление в неподходящих условиях, неудовлетворительный уровень управления лесами), появляется все больше свидетельств того, что на все эти процессы прямо или косвенно повлияло изменение климата и окружающей среды (Shvidenko et al., 2017). Следовательно, переломный момент для бореальных лесов может быть достигнут при более низких уровнях потепления, чем предполагалось ранее (Lenton et al., 2019). Опыт последних лет ставит под сомнение способность существующих национальных систем управления лесами, включая законодательство и руководящие документы, институциональную структуру и потенциал охраны и защиты лесов, решать проблемы быстро меняющегося мира.

Уязвимость лесов ведет к высокой уязвимости российской лесной промышленности. Наиболее ценными породами деревьев для лесной промышленности России являются сосна и ель, которые также очень уязвимы к изменению климата. Катастрофические пожары и вспышки массового размножения насекомых в последние десятилетия полностью уничтожили высокопродуктивные леса на сотнях тысяч гектаров, которые затем восстанавливались ранними сукцессионными видами, имеющими меньшую экономическую ценность. Серьезной проблемой для лесного сектора России является слабая транспортная инфраструктура, особенно отсутствие всесезонных дорог (Goltsev et al., 2011). В большинстве регионов с богатыми лесными ресурсами лесозаготовительные компании могут получить доступ к удаленным лесным районам только в зимнее время. Заготовка и транспортировка древесины сильно зависят от погодных условий. В теплые декабрьские периоды 2006, 2007, 2011, 2019 и 2020 гг. лесозаготовители испытывали существенные трудности с вывозкой древесины (Prokopyev et al., 2018; Lebedeva, 2020). Согласно

приводимым оценкам, теплые зимы снизили объем заготовки, вывозки и переработки древесины примерно на 30 %. Это может привести к росту цен на лесоматериалы на 15–20 % (Fomicheva, 2020).

Способность российского лесного хозяйства и лесоправления обеспечивать устойчивый рост целевых пород деревьев высокой продуктивности является непременным условием перехода России к устойчивому лесоправлению. Этого будет особенно сложно достигать, учитывая повышенную уязвимость и разнообразные угрозы, которые изменение климата несет российским лесам. В исследовании Прогноз развития лесного сектора России до 2030 года (FAO, 2012), сделан вывод о том, что сектор находится в критическом состоянии, а реальное управление не удовлетворяет требованиям устойчивого и защищенного от рисков лесоправления. В этом исследовании проанализированы три сценария развития лесного сектора России до 2030 года и установлено, что лесной сектор России требует радикальной реорганизации, иначе это отрицательно скажется на его устойчивом функционировании и поставках древесины для национальной экономики. Без этого российское лесоправление не сможет противостоять вызовам, связанным с существенным изменением климата. Несмотря на многочисленные исследования о влиянии глобальных изменений климата на российские леса, многие экологические процессы и тенденции остаются малоизученными, а степень неопределенности климатических и социально-экономических прогнозов остается высокой. Эти неопределенности создают особые трудности для разработки будущих стратегий совместной эволюции человека и лесов в высоких широтах.

Потребности в адаптации

Дмитрий Замолотчиков, Маркус Линднер и Сергей Барталев

Информация, представленная в предыдущих главах, показывает масштабы прогнозируемых климатических изменений в Российской Федерации и их воздействие на государственный лесной сектор. В этой связи чрезвычайно важна разработка и реализация адаптационных программ, снижающих негативные последствия изменения климата и опирающихся на выгоды от положительных эффектов. Учитывая процессы изменения климата, в 2017 году российские органы управления лесами внесли изменения в нормативы планирования ведения лесного хозяйства, когда

Таблица 2. Перечень адаптационных мероприятий согласно типовой форме лесного плана субъекта Российской Федерации. Источник: Order of the Ministry, 2017.

Риск, вызванный климатическими изменениями	Адаптационная мера
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
	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	Ориентация на выращивание разновозрастных смешанных насаждений
	Использование в процессах лесовосстановления и лесоразведения, адаптированных к прогнозируемым климатическим изменениям видов древесных пород
	Формирование особо охраняемых природных территорий с целью консервации уязвимых видов и местообитаний
	Выявление и контроль численности инвазивных видов древесных пород
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
	Корректировка планов тушения лесных пожаров в связи с увеличением частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами
Увеличение частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах	Совершенствование системы лесопатологического обследования
	Совершенствование мер по предупреждению распространения вредных организмов
Увеличение частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах	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

лесные планы для всех регионов России были дополнены разделом «Информация о планируемых мерах по сохранению экологического потенциала лесов, адаптации к изменению климата и повышению устойчивости лесов» (Order of the Ministry, 2017). Приложение к типовой форме лесного планирования содержит список стандартных мер адаптации, сгруппированных по рискам, вызванным климатическими изменениями (таблица 2).

Требование разработки мер адаптации в лесных планах — прогрессивный шаг в лесном хозяйстве России. Однако анализ новых лесных планов, принятых в регионах Российской Федерации в 2018 г., показал, что меры адаптации не соответствуют серьезности и опасности возможных последствий изменения климата (Grigoriev et al., 2019). Общей проблемой новых планов является то, что меры по защите лесов от пожаров или вспышек массового размножения вредителей разрабатываются без учета изменения климата из-за отсутствия систематических и последовательных прогнозов изменения климата и его воздействия на леса на региональном уровне в Российской Федерации.

Изменение климата уже приводит к изменению режимов нарушений (см. главу 4.1.2), включая все более катастрофические пожары по всей стране. Срочно необходима программа адаптации российских лесов к будущим режимам нарушений. Потенциальные стратегии снижения уязвимости предполагают переход к адаптивному лесному управлению, устойчивому к рискам, направленному на снижение факторов стресса, смягчение чувствительности и повышение адаптивного потенциала лесного сектора и лесных экосистем. Снижение уязвимости и адаптация лесного управления требуют включения управления рисками в процессы планирования, выбора надежных, диверсифицированных и беспроигрышных адаптационных действий, а также принятия соответствующей институциональной базы. Углубление знаний и оперативный мониторинг имеют важнейшее значение для внедрения адаптивного лесного управления (Gauthier et al. 2014, 2015, FAO 2012, Shvidenko et al., 2017).

При увеличении масштабов и интенсивности лесных пожаров меры адаптации должны выходить за рамки обычных мер пожарной безопасности и профилактики пожаров. Элементы новой системы охраны лесов от пожаров должны включать анализ существующих и будущих региональных пожарных режимов, а также разработку и внедрение более эффективных концепций защиты от лесных пожаров. Для этого требуется соответствующая адаптация лесных ландшафтов к будущим климатическим условиям (адаптированный породный состав, растительный покров и структура леса, контроль количества лесных горючих материалов и т.д.), разработка эффективных систем пожаротушения и создание мобильных систем пожаротушения, совершенствование законодательства и институциональные структуры лесного управления, а также расширение международного сотрудничества (Mokhov et al., 2006; Malevsky-Malevich et al., 2008; Shvidenko, Schepaschenko, 2013). Точно так же функционированию леса угрожают изменения в распространении вредителей леса. Современные научные подходы позволяют обнаруживать и прогнозировать вспышки массового размножения вредителей. Необходимо усилить кадровый состав и материально-техническое обеспечение лесопатологических служб и развивать биологические методы борьбы с вредителями (например, применение вирусных препаратов для борьбы с насекомыми-вредителями). Общая проблема существующих лесных планов заключается в том, что меры по защите лесов от нарушений или их последующему восстановлению разрабатываются без учета их осуществимости с учетом масштабов и размеров российских лесов. Все планы должны учитывать этот масштаб и, вместе с тем, ограниченность лесной инфраструктуры, а также ресурсов для реализации этих планов. Следовательно, меры часто должны опираться на поддержку авиации и методы, которые могут охватить большие площади за относительно короткое время. Посев семян деревьев с самолетов (аэро-сев) может быть инструментом, также как и использование воздушного зажигания для крупномасштабного контролируемого выжигания, позволяющего уменьшить

доступный запас лесных горючих материалов перед сезоном пожаров. Хорошо зарекомендовавшая себя технология выжигания, так называемые «противопожарные разрывы открытого типа» с использованием зажигания с воздуха, была разработана в Австралии и Южной Африке (de Bruno Austin et al., 2011). Потребуется исследование, чтобы адаптировать такие методы и инструменты к российским условиям для создания стратегически расположенных больших противопожарных разрывов и буферных зон в обширных российских лесах. Это легче декларировать, чем реализовать, и потребуются серьезная подготовка, чтобы создать и предоставить возможность руководителям пожарной службы умело использовать огонь.

Огромная территория России и пространственные особенности воздействия изменения климата требуют разработки региональных адаптационных мер. В более холодных регионах с положительной тенденцией выпадения осадков и увеличением темпов роста лесов можно было бы сократить период ротации и увеличить расчетную площадь лесозаготовок. В районах с отрицательными тенденциями выпадения осадков, близких к южной границе, меры адаптивного управления могут быть направлены на снижение потерь продуктивности и повышенного риска засух путем изменения режимов рубок ухода. Рубки ухода сокращают потребление воды и могут способствовать изменению породного состава и структуры лесов. Необходимы новые лесоводственные стратегии для поддержания преобладающих древесных пород в условиях изменения климата с учетом опыта выбора соответствующих генетических ресурсов (Galdina et al., 2012; Nakvasina et al., 2018). «Содействие миграции» лесных пород может способствовать смене пород в масштабах от местного до континентального (например, Aitken et al., 2008). Лесной промышленности регионов необходимо предвидеть возможные изменения в ассортименте древесины. Более того, планы по объемам и качеству заготавливаемой древесины могут быть модифицированы в связи с усилением режимов природных нарушений.

Успех адаптационных мер во многом зависит от совершенствования технологий лесовосстановления. Восстановление лесов должно быть направлено на создание более устойчивых к изменению климата насаждений со сниженными рисками лесных пожаров. Земли лесного фонда, временно не покрытые лесной растительностью после рубок или природных нарушений (пожары, вредители, болезни и т.д.), в основном восстанавливаются естественным путем. По данным инвентаризации лесов, в России лесовосстановление требуется на территории более 30 млн га, а проводимое ежегодно искусственное лесовосстановление составляет менее 1% этой площади (Proderevo, 2018). Естественное восстановление во многих случаях приводит к смене хвойных вечнозеленых пород (ель, пихта) лиственными породами (береза, осина). При восстановлении лесов необходимы более активные усилия для сохранения или увеличения доли пород, востребованных лесным сектором для производства древесины.

Недостаточно развитая инфраструктура лесного сектора России в настоящее время препятствует устойчивому управлению лесами, использованию и охране лесов. Ожидается, что на лесозаготовительную и транспортную инфраструктуру негативно повлияют более теплые зимы с ограниченной продолжительностью использования зимних дорог. Инвестиции в круглогодичные сети дорог имеют решающее значение для обеспечения доступности ресурсов во многих лесных регионах России, что оказывает положительное побочное влияние в плане улучшения охраны лесов и снижения рисков нарушений. Эффективная реализация мер адаптации требует изменения многочисленных нормативных документов. Предлагается вносить оперативные изменения в руководства по лесопользованию, правила рубок ухода, лесовосстановления и т.д. Необходимо провести ревизию всех нормативных документов на федеральном уровне, чтобы выявить и отредактировать разделы, которые наиболее важны для обеспечения мер климатической адаптации.

Существует острая необходимость в совершенствовании мониторинга состояния лесов и предоставляемых ими экосистемных услуг как информационной основы

для действий по смягчению последствий изменения климата и для принятия решений по лесоуправлению в условиях изменения климата. Система поддержки принятия решений для лесного сектора России могла бы стать важным инструментом решения вопросов управления рисками и экономическими возможностями в связи с государственной и региональной политикой развития лесного сектора.

Кроме того, стратегический подход к адаптации также требует изменения системы подготовки кадров для лесного хозяйства. Существующие образовательные стандарты и программы высшего образования в сфере лесного хозяйства, а также курсы переподготовки нынешних работников лесного хозяйства должны быть дополнены разделами о влиянии изменения климата на различные сферы лесного хозяйства.

Ключевые тезисы

Кристофер Рейер, Маркус Линднер и Дмитрий Замолодчиков

- Прогнозы указывают, что в результате потепления в основном увеличивается чистая первичная продуктивность, продолжительность вегетационного периода и эффект CO_2 -удобрения (из-за повышения содержания CO_2 в атмосфере). Однако остается высокой неопределенность в отношении того, будет ли повышение продуктивности, вызванное повышенным CO_2 , продолжительным и в какой степени перечисленным тенденциям могут противодействовать природные нарушения.
- В текущем столетии таяние многолетней мерзлоты в условиях усиливающегося потепления существенно повлияет на гидрологические режимы обширных территорий в высоких широтах, дестабилизируя тесную взаимосвязь лесов и многолетней мерзлоты. Чтобы предотвратить дальнейшее снижение устойчивости таких лесов, необходимо проведение целевых научных исследований и содействие в лесоправлении.
- Режимы природных нарушений в будущем будут характеризоваться повышенным риском и более высокой интенсивностью повреждений лесов с последующими эмиссиями и нарушением устойчивого потока углерода в лесах. Поэтому адаптация к рискам нарушений имеет большое значение для лесов и лесного сектора России, необходимы также дополнительные усилия по восстановлению лесов после нарушений.
- Природные нарушения могут ускорить изменение характеристик лесов и, следовательно, открыть возможности для адаптации к изменяющемуся климату (например, модификация породного состава).
- Уменьшение площади продуктивных лесов и влияние природных нарушений на качество и количество заготавливаемой древесины, а также недостаточность или отсутствие мер по лесовосстановлению коммерчески ценных пород, являются ключевыми факторами, влияющими на лесной сектор России.
- Существующая система управления лесами требует существенного улучшения в части более надежной и оперативной системы инвентаризации и мониторинга лесов, а также более эффективной охраны и защиты лесов от будущих режимов нарушений.
- Региональная специфика воздействий изменения климата требует различных мер адаптации с учетом местных условий. Особой угрозе подвергается южный экотон между лесной и аридной зонами.
- Стратегический подход к адаптации также требует изменения системы лесного образования. Информация об изменении климата и мерах по адаптации к ним лесного сектора должна быть частью обучения в системе высшего образования и переподготовки кадров в области лесного хозяйства.

Использованная литература

- Aakala, T. and Kuuluvainen, T. 2011. Summer droughts depress radial growth of *Picea abies* in pristine taiga of the Arkhangelsk province, northwestern Russia. *Dendrochronologia*, 29 (2), 67–75.
- Aitken, S.N., Yeaman, S., Holiday, J.A., Wang, T. and Curtis-McLane, S. 2008. Adaptation, mitigation or extirpation: climate change outcomes for tree population. *Ecol. Appl.* 1, 95–111.
- Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D.D., Hogg, E.H.(T.), Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J.-H., Allard, G., Running, S.W., Semerci, A. and Cobb, N. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree-mortality reveals emerging climate change risks to forests. *Forest Ecology and Management*, 259 (4), 660–684.
- Bastos, A., Gouvenia, C.V. and Trog, R.M. 2014. Analyzing the spatio-temporal impacts of 2003 and 2010 extreme heatwaves on plant productivity in Europe. *Biogeosciences*, 11, 3421–3435.
- Bonan, G. B., Pollard, D. and Thompson, S. L. 1992. Effects of Boreal Forests Vegetation on Global Climate, *Nature* 359: 716–718.
- Debkov, N.M., Aleinikov, A.A., Gradel, A., Bocharov, A.Yu., Klimova, N.V. and Pudzha, G.I. 2019. Impacts of the invasive four eyed fir bark beetle (*Polygraphus proximus* Blandf.) on siberian fir (*Abies sibirica* Ledeb.) forests in southern Siberia. *Geography, Environment, Sustainability* 12(3): 79–97.
- Demakov, Yu.P., Safin, M.G. and Snykov, A.E. 2009. *Izmenenie klimata i sostoyaniya lesov respubliki Marij El v XX stoletii* [Change of climate and forest condition in Mari El Republic during XX century]. *Herald of Mari State Technical University* 2: 40–48
- Exbrayat, J.-F., Bloom, A.A., Falloon, P., Ito, A., Smallman, T. L. and Williams, M. 2018. Reliability ensemble averaging of 21st century projections of terrestrial net primary productivity reduces global and regional uncertainties. *Earth System Dynamics* 9(1):153–165 DOI: 10.5194/ESD-9-153-2018
- FAO 2012. The Russian Federation forest sector outlook study to 2030. FAO of the UN, Rome. 84 pp. Available at <http://www.fao.org/3/i3020e/i3020e00.pdf> (visit of 29.05. 2020)
- Fomicheva, E. 2020. Desyatki kompanij v Lenoblasti mogut razorit'sya iz-za teploj zimy [Tens companies in Leningrad region can go broke due to warm winter] RBC newspaper. https://www.rbc.ru/spb_sz/14/02/2020/5e46af019a79475ecda1eaf7
- Friend, A. D., Lucht, W., Rademacher, T. T., Keribin, R., Betts, R., Cadule, P. and Woodward, F. 2014. Carbon residence time dominates uncertainty in terrestrial vegetation responses to future climate and atmospheric CO₂. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111: 3280–3285. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222477110>
- Galdina, T.E., Romanova, M.M. and Sitnikov, K.S. 2012. Geograficheskie kul'tury – instrument sokhraneniya bioraznobraziya sosny obyknovnoy v usloviyakh tsentral'noj lesostepi [Geographic cultures - an instrument for the conservation of biodiversity of Scots pine in the conditions of the Central forest-steppe] *Lesotechnicheskij Journal* 1: 85–95
- Gauthier, S., Bernier, P., Burton, P.J., Edwards, J., Isaac, K., Isabel, N., Jayden, K., Le Goff, H. and Nelson, E.A. 2014. Climate change vulnerability and adaptation in the managed Canadian boreal forests. *Environ. Rev.* 22 (3): 256–285
- Gauthier, S., Bernier, P., Kuuluvainen, T., Shvidenko, A.Z. and Schepaschenko D.G. 2015. Boreal forest health and global change. *Science* 349: 819–822
- Glyzin, A.V., Razmahnina, T.B. and Korsunov V.M. 2005. Dendrokhtonologicheskie issledovaniya v kontaktnoj zone les-step' kak istochnik informatzii o eje dinamike na territorii Buryatii [Dendrochronological research in contact zone “forest-steppe” as source of information about its dynamics on the Buryatia territory. *Siberian Ecological Journal* 1: 79–83
- Goltsev, V., Tolonen, T., Syunev, 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>
- Grigoriev, A., Shchegolev, A., Lugovaya, D. 2019. Global'noe izmenenie klimata i adaptazija k nemu lesnogo kompleksa Severo-Zapadnogo federal'nogo okruga Rossii: ispolzovanie opyta Shevezii i Finlyandii [Global climate change and adaptation to it of the forest complex of the North-Western Federal District of Russia: using the experience of Sweden and Finland]. *Journal Sustainable Forest Management* 2 (58): 28-33
- Groisman, P.Ya., Sherstyukov, B.G., Razuvaev, V.N., Knight, R.W., Enloe, J.G., Stroumentova, N.S., Whitfield, P.H., Førland, E., Hannsen-Bauer, I., Tuomenvirta, H., Aleksandersson, H., Mescherskaya, A.V. and Karl, T.R. 2007. Potential forest fire danger over Northern Eurasia: Changes during the 20th century. *Global and Planetary Change* 56(3–4): 371–386. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2006.07.029

- Hickler, T., Rammig, A. and Werner, C. 2015. Modelling CO₂ Impacts on Forest Productivity. *Current Forestry Reports* 1 (2): 69–80.
- IPCC, 2014. Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1–32 <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>
- Ito, G., Romanou, A., Kiang, N.Y., Faluvegi, G., Aleinov, I., Ruedy, R., Russell, G., Lerner, P., Kelley, M. and Lo, K., 2020. Global carbon cycle and climate feedbacks in the NASA GISS ModelE2.1. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, submitted 2020.
- Izrael, Yu. A., Nazarov, I.M., Karaban, R.T., Kljucharev, A.L., Kokorin, A.O., et al. 1997. Russian Federation Climate Change Country Study. Volume 4. Mitigation Analysis. Moscow: Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring.
- Jiang, M., Medlyn, B.E. and Ellsworth, D.S. 2020. The fate of carbon in a mature forest under carbon dioxide enrichment. *Nature* 580: 227–231. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2128-9>
- Kapralov, D.S., Shiyatov, S.G., Fomin, V.V. and Shalaumova, Yu. V. 2007. Prostranstvenno-vremennaya dinamika verkhnei granitzy lesa na Yuzhnom Urale [Spatial-temporal dynamics of upper tree line in South Ural] *News of Saint-Petersburg Forestry Academy* 180: 59–68
- Kharuk, V.I., Im, S.T., Naurzbaev, M.M. and Ranson, K.J. 2004. Vremennaya dinamika listvennitzi v ecotone lesotundry [Temporal dynamics of larch in the forest-tundra ecotone] *Doklady Akademii Nauk* 398(3): 404–408
- Kharuk, V. I., Dvinskaya, M. L., Ranson, K. J. and Im, S. T. 2005a. Expansion of evergreen conifers to the larch-dominated zone and climatic trends. *Russian Journal of Ecology* 36: 164–170.
- Kharuk, V. I., Dvinskaya, M. L. and Ranson, K. J. 2005b The Spatiotemporal Pattern of Fires in Northern Taiga Larch Forests of Central Siberia. *Russian Journal of Ecology* 36: 302–311.
- Kharuk, V.I., Im, S.T., Petrov, I.A., Golyukov, A.S., Ranson, K.J. and Yagunov, M.N. 2017a Climate-induced mortality of Siberian pine and fir in the Lake Biakal watershed. *For. Ecol. Manag.* 384: 191–199. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.050>.
- Kharuk, V.I., Im, S.T., Ranson, J.K. and Yagunov, M.N. 2017b Climate-induced northerly expansion of Siberian silkmoth range. *Forests* 8(8): 301.
- Kharuk, V. I., Shushpanov, A. S., Petrov, I. A., Demidko, D. A., Im, S. T. and Knorre, A. A. 2019. Fir (*Abies sibirica* Ledeb.) mortality in mountain forests of the Eastern Sayan Ridge, Siberia. *Contemporary Problems of Ecology* 12: 299–309.
- Kicklighter, DW., Cai, Y., Zhuang, Q., Parfenova, E.I., Paltsev, S., Sokolov, A.P., Melillo J.M., Reilly J.M., Tchepakova N.M. and Lu, X. 2014. Potential influence of climate-induced vegetation shifts on future land use and associated land carbon fluxes in Northern Eurasia. *Environmental Research Letters*, 9(3): Article No. 035004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/3/035004>
- Krivets, S.A., Kerchev, I.A., Bisirova, E.M. and Debkov, N.M. 2018. Sovremennoe rasprostraneniye i prognoz rasshireniya invazionnogo areala ussurijskogo poligrafa *Polygraphus proximus* Blandford, 1894 v Tomskoj oblasti (Zapadnaya Sibir') [Current distribution and forecasted invasive area expansion of the four-eyed fir bark beetle *Polygraphus proximus* Blandford, 1894 in Tomskaya Oblast' (Western Siberia)] *Euroasian Entomological Journal*. 17(1): 53–60
- Kurbatova, A.I. and Tarko, A.M. 2017. Prostranstvenno-vremennaya dinamika ugleroda v nativnykh i narushennykh ekosistemakh mira [Spatio-temporal dynamics of carbon in native and disturbed ecosystems of the world] Moscow. RUDN: 230 pp.
- Lebedeva, M. 2020. Zima zabludilas'. Lesnaya otrasl' okazalas' v krizisnoj situatsii iz-za anomal'no teploj pogody [Winter got lost. Forest industry became in crisis situation due to extreme warm weather] *Rossiyskaya gazeta* 16 (8070). <https://rg.ru/2020/01/28/reg-szfo/lesnaia-otrasl-okazalas-na-grani-krizisa-iz-za-teploj-zimy.html>
- Lenton, T. M., Held, H., Kriegler, E., Hall, J. W., Lucht, W., Rahmstorf, S., and Schellnhuber, H. J. 2008. Tipping elements in the Earth's climate system. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105: 1786–1793 <https://doi.org/10.1073/pnas.0705414105>
- Lenton, T.M., Rockström, J., Gaffney, O., Rahmstorf, S., Richardson, K., Steffen, W. and Schellnhuber, H.J. 2019. Climate tipping points - too risky to bet against. *Nature* 575, 592–595.
- Malevsky-Malevich, S.P., Molkentin, E.K., Nadyozhina, E.D. and Shklyarevich, O.V. 2008. An assessment of potential change in wildfire activity in the Russian boreal zone induced by climate warming during the twenty-first century. *Clim. Change* 86: 463–474.

- Matveev, S.M. 2014. Tziklichnost' v dinamike radial'nogo prirosta estestvennykh i iskusstvennykh osnovnykh drevostoev v borakh tzentralnoj lesostepi [Cycling in dynamics of radial increment in natural and artificial pine stands in central steppe-forest] Voronezh. Forest. Tech. Univ., Forest herald 5: 110–116.
- Milenin, A.I. 2012. Vliyanie temperatury vozdukha na radial'nyj prirost duba chereshchatogo v Shipovom lesu [Temperature effect on radial increment of English oak in Shipov forest]. Lesotechnichesky Journal 2: 65–69.
- Moiseev, P. A., Bartysh, A. A. and Nagimov, Z. Ya. 2010. Izmeneniya klimata i dinamika drevostoev na verkhnem predele ikh proizrastaniya v gorakh Severnogo Urala [Climate changes and tree stand dynamics at the upper limit of their growth in the North Ural mountains] Ecology 6: 486–497.
- Mokhov I.I., Chernokulsky A.V., Shkolnik I.M. 2006. Regional model assessments of fire risks under global climate changes. Doklady Earth Sci., 314: 1130–1132.
- Moomaw W.R.; Chmura G.L.; Davies G.T.; Finlayson C.M.; Middleton B.A., Natali S.M., Perry J.E., Roulet N., Sutton-Grier A.R. 2018. Wetlands in a Changing Climate: Science, Policy and Management. Wetlands 38 (2): 183–205. <https://doi.org/10.1007/s13157-018-1023-8>
- Nakvasina E.N., Prozherina N.A., Chuprov A.V., Belyaev V.V. 2018. Reaktsiya rosta sosny obyknovnoy na klimaticheskie izmeneniya v shirotnom gradient [The reaction of the growth of Scots pine to climatic changes in a latitudinal gradient] News of Highschools. Forest magazine 5 (365): 82–93
- Noce, S., Caporaso, L., and Santini, M. 2019. Climate change and geographic ranges: the implications for Russian forests. Frontiers in Ecology and Evolution, 7, 57.
- Order of Ministry and Natural Resources and Ecology of Russian Federation on December 20, 2017 N 692. On the approval of the standard form and composition of the forest plan of the subject of the Russian Federation, the procedure for its preparation and amendment.
- Parilova, T.A., Kastrikin, V.A. and Bondar, E.A. 2006. Mnogoletnie tendentsii srokov nastupleniya fenofaz rastenij v usloviyakh potepleniya klimata (Khinganskij zapovednik, Srednee Priamur'e) [Long term trends of dates of vegetation phenophases during climate warming (Hingan Natural Reserve, Middle Amur region) Influence of climate change on ecosystems of basin of Amur river. Moscow: WWF Russia: 47–51.
- Proderevo 2018. Lesnoe khozyajstvo Rossii: obzor na nachalo 2017 goda [Forestry in Russia: an overview at the beginning of 2017] Internet source: <https://proderevo.net/industries/forestry/lesnoe-khozyajstvo-rossii-obzor-na-nachalo-2017-goda.html>
- Prokopyev, E.A., Ryazantsev, P.A., Roslyakova, N.A. and Trapeznikov, V.A. 2018. Otzenka vliyaniya izmeneniya klimata na sezonnyy transportnyy infrastrukturu (na promere lesozagotovok v respublike Kareliya) [Climate change impact assessment on the temporary transport infrastructure (in the case of Republic of Karelia)] Herald of Novosibirsk State University of Economics and Management 2: 108–122
- Rees, G., Brown, I., Mikkola, K., Virtanen, T. and Werkman, B. 2002. How can the dynamics of the tundra-taiga boundary be remotely monitored? Ambio 31. Special issue 12: 56–62.
- Reyer, C.P.O., Chang, J., Chen, M., Forrest, M., François, L., Henrot, A.J., Hickler, T., Ito, A., Nishina, K., Ostberg, S., Schaphoff, S., Seneviratne, S.L., Shi, H., Steinkamp, J., Thiery, W., Tian, V., Zhao, F., Büchner, M. and Ciais, P. 2019. ISIMIP2b Simulation Data from Biomes Sector. GFZ Data Services. <https://doi.org/10.5880/PIK.2019.012>
- Schaphoff, S., Reyher, C.P.O., Schepaschenko, D., Gerten, D. and Shvidenko, A. 2016. Tamm review: observed and projected climate change impacts on Russia's forests and its carbon balance. For. Ecol. Manag. 361: 432–444. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.11.043>.
- Scheffer, M., Carpenter, S. R., Lenton, T. M., Bascompte, J., Brock, W., Dakos, V., ... Vandermeer, J. 2012. Anticipating critical transitions. Science, 338(6105): 344–348. <https://doi.org/10.1126/science.1225244>
- Schellnhuber, H.J., Rahmstorf, S. and Winkelman, R. 2016. Why the right climate target was agreed in Paris. Nature Climate Change 6: 649–653
- Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., Wild, J., Ascoli, D., Petr, M., Honkaniemi, J., Lexer, M.J., Trotsiuk, V., Mairota, P., Svoboda, M., Fabrika, M., Nagel, T.A. and Reyher, C.P.O., 2017. Forest disturbances under climate change. Nat. Clim. Chang. 7: 395–402. <https://doi.org/10.1038/nclimate3303>.
- Shanin, V. N., Komarov, A. S., Mikhailov, A. V. and Bykhovets, S. S. 2011. Modelling carbon and nitrogen dynamics in forest ecosystems of central Russia under different climate change scenarios and forest management regimes. Ecological Modelling 222(14): 2262–2275 <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.11.009>

- Sherstyukov, B. G. and Sherstyukov, A. B. 2014. Assessment of increase in forest fire risk in Russia till the late 21st century based on scenario experiments with fifth-generation climate models. *Russian Meteorology and Hydrology* 39(5): 292–301.
- Shiyatov, S.G. and Mazepa, V.S. 2007. Klimatogennaya dinamika lesotundrovoi rastitel'nosti na Pol'yarnom Urale [Climatogenic dynamics of forest-tundra vegetation in the Polar Urals] *Lesovedenie* 6: 11–22.
- Shiyatov, S.G., Terent'ev, M.M. and Fomin, V.V. 2007. 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*. 38(4): 223–227.
- Shvidenko, A.Z. and Schepaschenko, D.G. 2013. Climate change and wildfires in Russia. *Contemporary Problems of Ecology* 6(7): 683–692.
- Shvidenko, A., Schepaschenko, D., Kraxner, F. and Fritz, S. 2015. Full verified carbon account of forests as a fuzzy system: An attempt to assess uncertainty. In: 4th International Workshop on Uncertainty in Atmospheric Emissions, 7–9 October 2015, Krakow, Poland, pp. 1–8.
- Shvidenko, A., Buksha, I., Krakovska, S. and Lakyda, P. 2017. Vulnerability of Ukrainian forests to climate change. *Sustainability* 9(7): 1152. <https://doi.org/10.3390/su9071152>.
- Shvidenko, A.Z., Schepaschenko, D.G. and Kraxner, F. (2019). Uglernodnii byudjet lesov kak nechetkaya sistema: informazionnie i metodologichskie osobennosti. [Carbon budget of forest as a fuzzy system: Information and methodological backgrounds]. *Proceedings of the All-Russian Conf. with Int. Participation "Forest Ecosystems of Boreal Zone: Biodiversity, Bioeconomy, Ecological Risk, Krasnoyarsk, 26–31 August 2019*, pp. 504–51072 [in Russian]
- Shvidenko, A., Schepaschenko, D., Vaganov, E., Krasovskiy, A. and Platov, A. 2020. Net and gross growth of Russian forests in a changing environment. *Doklady Earth Sciences* (in review).
- Sohngen, B., Andrasko, K., Gytarsky, M., Korovin, G., Laestadius, L., Murray, B., Utkin, A. and Zamolodchikov, D. 2005. Carbon Inventory and Mitigation Potential of the Russian Forest and Land Base. *World Resources Institute Washington*: 52 pp.
- Soja, A.J., Tchebakova, N.M., French, N.H.F., Flannigan, M.D., Shugart, H.H., Stocks, B.J., Sukhinin, A.I., Parfenova, E.I., Chapin, III F.S. and Stackhouse, Jr. P.W. 2007. Climate-induced boreal forest change: Predictions versus current observations. *Global and Planetary Change* 56(3–4): 274–296.
- Tchebakova, N.M., Parfenova, E.I. and Soja, A.J. 2009. The effects of climate, permafrost and fire on vegetation change in Siberia in a changing climate. *Environ. Res. Lett.* 4(4): 045013. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/4/4/045013>
- Thuiller, W. 2007. Biodiversity: climate change and ecologist. *Nature* 448, 550–552.
- Torzhkov, I.O., Kushnir, E.A., Konstantinov, A.V., Koroleva, T.S., Efimov, S.V. and Shkolnik, I.M. 2019. The economic consequences of future climate change in the forest sector of Russia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 226 (2019) 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/226/1/012032>
- Yakovlev, A.S. and Yakovlev, I.A. 1999. Dubravy Srednego Povolzhya [Oak stands of the Middle Volga Region]. Yoshkar-ola: Mari State Technical University: 351 pp.
- Zamolodchikov, D.G. 2011. An estimate of climate related changes in tree species diversity based on the results of forest fund inventory // *Biology Bulletin Reviews*. Vol. 2, No. 2. P. 154–163.
- Zamolodchikov, D.G., Grabovskii, V.I., Korovin et al. 2013. Byudzhety ugleroda upravlyaemykh lesov Rossijskoj Federatzii v 1990–2050: retrospektivnaya otzhenka i prognoz [Carbon budget of managed forests of the Russian Federation in 1990–2050: retrospective estimate and forecast]. *Meteorology and Hydrology* 10: 73–92
- Zamolodchikov, D.G., Grabovskii, V.I. and Kurz, W.A. 2014. Upravlenie balansom ugleroda lesov Rossii : proshloe, nastoyashee, budushee [Forest carbon balance management in Russia: past, present and future] *Sustainable forestry* 2: 23–31.
- Zhou, L., Tucker, C.J., Kaufmann, R.K., Slayback, D., Shabanov and N.V., Myneni, R.B. 2001. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999. *Journal of Geophysical Research* 106 (D17): 20069–20083.

Климатически оптимизированное ведение лесного хозяйства в России и потенциальные выгоды от смягчения последствий изменения климата

Бас Леринк, Мариана Хассегава, Александр Крышень,
Антон Ковалев, Эльдар Курбанов, Герт-Ян Набуурс,
Сергей Мошников и Питер Йоханнес Веркерк

5.1 Введение

В качестве комплексного подхода к управлению лесами в условиях изменения климата предложен подход климатически оптимизированного ведения лесного хозяйства (Climate Smart Forestry - CSF) (Nabuurs et al., 2017; Bowditch et al., 2020). Его цель - связать меры по смягчению последствий изменения климата с адаптационными мероприятиями, содействовать повышению климатической устойчивости лесов и обеспечению ими экосистемных услуг, а также удовлетворению потребностей растущего населения. Подход CSF основан на концепции устойчивого управления лесами с фокусом на вопросы климата и обеспечения лесами экосистемных услуг и включает три взаимодополняющих элемента (Verkerk et al., 2020), которые используются с учетом особенностей территориально разнообразных стратегий лесоправления:

- увеличение накопления углерода в лесах и продукции из древесины в сочетании с обеспечением других экосистемных услуг;
- улучшение состояния и климатической устойчивости лесов на основе адаптивного лесоправления; и
- устойчивое использование древесины с целью замещения невозобновляемых углеродоемких материалов.

В данной главе мы применили подход CSF, чтобы получить представление о потенциале смягчения последствий изменения климата (и других воздействий) в рамках альтернативных стратегий реализации CSF в России. В связи с существенным различием региональных условий мы попытались проиллюстрировать этот подход на трех региональных примерах.

Подход и общие исходные предпосылки

5.2.1 Анализ региональных примеров

Чтобы понять, как и в какой степени CSF может обеспечить климатические преимущества на всей территории России, мы разработали портфель мер для трех анализируемых регионов (рис. 19). Основные характеристики и тенденции для каждого из этих регионов подробно описаны в главах 5.3–5.5.

5.2.2 Стратегии CSF

Чтобы изучить влияние CSF на смягчение последствий изменения климата, мы приняли сценарный подход для оценки того, что может произойти, если будут реализованы определенные управленческие меры в отношении увеличения потенциала смягчения последствий изменения климата (или уменьшения потерь от природных нарушений), уделяя при этом внимание аспектам адаптации и, где это возможно, увеличению продуктивности возобновляемых ресурсов. В ходе анализа проводилось различие между осуществлением краткосрочных и среднесрочных мер по

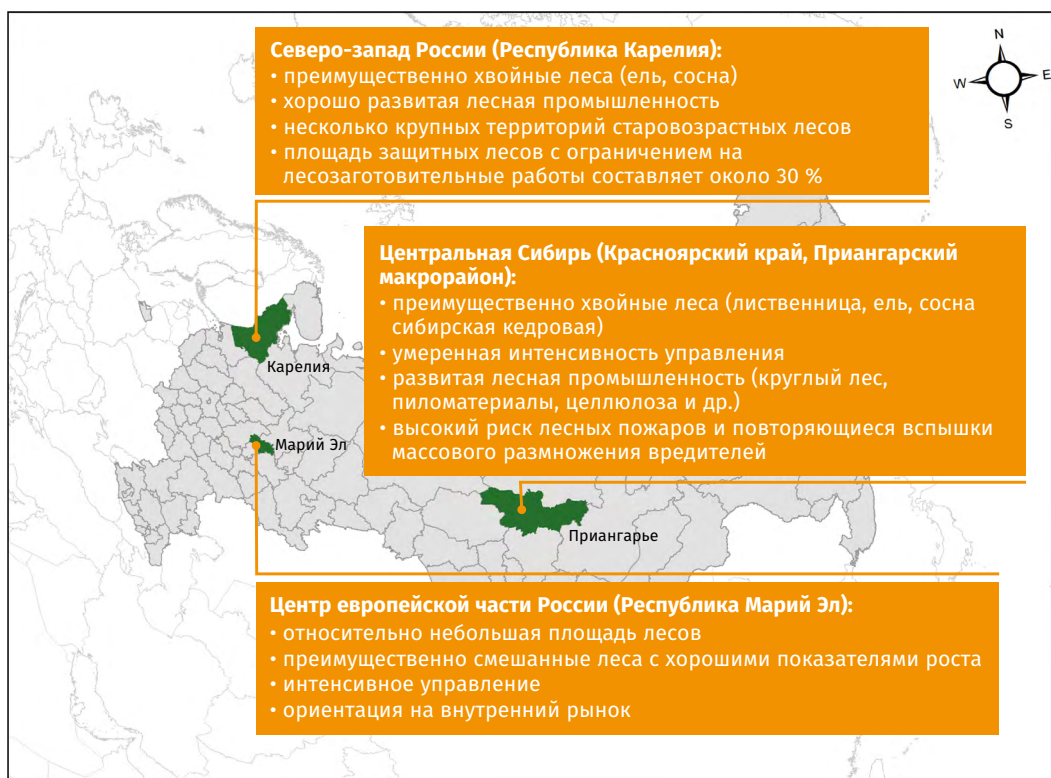


Рисунок 19. Обзор трех анализируемых регионов.

Таблица 3. Обзор потенциальных вариантов климатически оптимизированного лесного хозяйства (CSF) для каждого из трех анализируемых регионов, определенных в ходе экспертного семинара в июне 2019 года.

Тема	Республика Карелия	Республика Марий Эл	Приангарский макрорегион (Красноярский край)
Увеличение площади лесов	-	Лесоразведение на заброшенных сельскохозяйственных землях	-
Лесовосстановление	Выбор пород, лучше адаптированных к условиям местообитания		
	Лесовосстановление с помощью улучшенного селекционного материала		
Режимы заготовки леса и рубки ухода	Увеличение доли рубок ухода в общем объеме заготовки		
	Тщательный выбор типов рубок во избежание заболачивания	-	-
Природные нарушения	Сокращение эмиссий от лесных пожаров и вспышек массового размножения насекомых путем проведения профилактических мероприятий	Сокращение эмиссий от лесных пожаров и вспышек массового размножения насекомых	Сокращение эмиссий от лесных пожаров и вспышек массового размножения насекомых
	Улучшение инфраструктуры для поддержки эффективного лесовосстановления, тушения и предотвращения лесных пожаров	Увеличение доли широколиственных пород для снижения пожароопасности	Улучшение инфраструктуры пожаротушения и предотвращения лесных пожаров
Использование древесины	Расширенное использование древесины и порубочных остатков (текстиль, лесохимия)	Расширенное использование древесины (строительство, изготовление мебели)	Увеличение доли древесины в строительстве (высокоэтажное строительство в городской местности)
Планирование	Совершенствование пространственного планирования (логистика, лесозаготовка, защита леса)		

смягчению последствий изменения климата и их долгосрочным потенциалом на следующие 50 лет. Рассмотренные варианты перечислены в таблице 3.

На следующем этапе варианты были уточнены, чтобы сосредоточиться на мерах, которые могли бы обеспечить климатические выгоды. Окончательный набор вариантов CSF для каждого анализируемого примера описан в главах 5.3–5.5.

5.2.3 Оценка влияния на смягчение последствий изменения климата

Масштаб климатических выгод от осуществления мер CSF оценивался за период в 50 лет путем сравнения накопления углерода в соответствии со сценарием CSF в сравнении с базовым сценарием, в котором текущие (т.е. за последние 10 лет) методы управления лесами и использование древесины продолжают осуществляться без каких-либо дополнительных мер по смягчению последствий изменения климата или адаптации к ним (Business as usual – BAU).

Мы включили в анализ балансы углерода лесной биомассы (над и под землей), заготовленной древесины (Harvested Wood Products – HWP) и замещения материалов. Мы исключили воздействие почв, из-за множества неопределенностей (например, почвенные модели обычно фокусируются на минеральных почвах и не очень

Таблица 4. Наборы данных, используемые в модели EFISCEN в трех региональных исследованиях.

Данные	Республика Карелия	Республика Марий Эл	Приангарский макрорайон
Площадь лесов и запас древесины по видам и классам возраста	- Лесной план Республики Карелия на 2019–2028 годы - Громцев и др., 2019	- Лесной план Республики Марий Эл на 2019–2028 годы — Йошкар-Ола, 2018 г. - Стратегия социально-экономического развития Республики Марий Эл на период до 2030 года. – Йошкар-Ола. -2018.	- Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Красноярского края в 2017 году. - Лесной план Красноярского края на 2018 г. - Стратегия развития лесного комплекса Красноярского края до 2030 года - Лесохозяйственные регламенты на 2018 год (для всех лесничеств Приангарского макрорайона)
Годовой прирост (чистый или брутто)*	Kazimirov et al., 1990; 1991	Shvidenko et al., 2008	Shvidenko et al., 2008
Потери лесных ресурсов/Ежегодный отпад	- Zagreev et al., 1992 - Krankina, Harmon, 1995	Лесной план Республики Марий Эл на 2019–2028 годы — Йошкар-Ола, 2018 г.	- Zagreev et al., 1992 - Krankina, Harmon, 1995 (3 %/5 лет от запаса древесины)
Параметры лесоправления	Региональная продолжительность ротации (данные предоставлены экспертом)	Региональная продолжительность ротации (данные предоставлены экспертом)	Региональная продолжительность ротации (данные предоставлены экспертом)
Плотность сухой древесины	Плотность древесины в зависимости от породы (т сухого вещества/м³ свежей древесины) (IPCC, 2003)		
Возрастные, видоспецифичные функции распределения биомассы	Schepaschenko et al., 2018		

* Обратите внимание, что понятия годового прироста различаются в лесном хозяйстве России и Западной Европы (Pisarenko et al., 2000). Для моделирования мы использовали определение чистого годового прироста, который можно определить как среднегодовой объем валового прироста за вычетом естественных потерь за отчетный период для всех деревьев, измеренных до минимального диаметра 0 см на высоте груди (UNECE-FAO, 2000).

хорошо отражают динамику углерода в органических почвах в т.ч. торфяниках). Мы также исключили биоэнергетический компонент, поскольку в рассматриваемых регионах практически отсутствует использование коммерческих типов биоэнергии (например, пеллет).

Формирование углеродного пула биомассы оценивалось с помощью версии 4.2 Европейской лесной информационной модели SCENario (EFISCEN) (Sallnäs, 1990; European Forest Institute, 2016; Verkerk et al., 2017). EFISCEN — это крупномасштабная модель, с помощью которой можно прогнозировать развитие лесных ресурсов. Модель использует данные национальной инвентаризации лесов в качестве основного источника входных данных. На основе этой информации модель может спрогнозировать развитие лесных ресурсов в зависимости от особенностей их роста и действий по лесоправлению (например, выбор пород деревьев, рубки ухода, рубки главного пользования), а также изменений площади лесов. Данные, используемые

в EFISCEN, описаны в таблице 4. Общий период моделирования составил 50 лет.

Балансы углерода для HWP были рассчитаны только для древесины, заготовленной сверх базового сценария. Балансы углерода для HWP от заготовленной древесины в базовом сценарии, не могли быть рассчитаны из-за отсутствия подробной информации об использовании древесины в прошлом в каждом региональном примере. Чтобы оценить будущие эмиссии от HWP, мы следовали подходу Уровня 2 Приложения КП МГЭИК 2013 года (IPCC, 2014). Предполагается, что время полураспада по умолчанию составляет 35, 25 и 2 года для оценки распада/разложения пиломатериалов, древесных панелей, бумаги и картона соответственно (IPCC, 2014). Время полураспада текстильных волокон в Приложение КП не включено, и мы предположили, что период полураспада составляет 3 года. Для оценки замещающего эффекта увеличения производства текстиля на основе древесины (на примере Республики Карелия) мы использовали информацию об эмиссиях в ходе жизненного цикла производства лиоцелловых волокон. Shen et al. (2010) сообщают о таких оценках замещения, как 2,75 и 4,05 т CO_2 /т волокна, когда лиоцелл замещает волокна на нефтяной основе. Исходя из этого, мы использовали средний коэффициент замещения 3,40 т CO_2 /т волокна. Фактор замещения 2,4 т CO_2 экв/т продукции из древесины был принят для конструкций для строительства на примере Республики Марий Эл и Приангарского макрорайона (Leskinen et al., 2018).

Анализ конкретного примера: Республика Карелия

5.3.1 Тенденции и проблемы

Описание лесных ресурсов

Карелия расположена в таежной зоне на северо-западе европейской части России. Протяженность региона — 672 км с севера на юг и 424 км с запада на восток (на широте Кеми). Его общая площадь составляет 180 500 км². Линия, проходящая через город Медвежьегорск и пос. Поросозеро, делит территорию на две растительные подзоны: северной тайги и средней тайги. Большая часть территории Карелии находится в подзоне северной тайги. Лето в Карелии короткое и прохладное, а зима продолжительная, но обычно без экстремально низких температур. Облачная погода обычна, как и высокая относительная влажность воздуха. Годовое количество осадков — 400–650 мм/год. Средняя годовая температура воздуха составляет около 1°С и колеблется от 0,5°С в северной части Карелии до 2,2°С — в южной. Минимальные температуры воздуха наблюдаются в феврале, а максимальные — в июле. Вегетационный период в северной Карелии почти на месяц короче, чем на юге, и условия произрастания древесных растений постепенно ухудшаются при перемещении с юга на север.

Лесной фонд Республики Карелия составляет 9,5 млн га. Общий запас древесины составляет 1023 млн м³, из которых 87 % — хвойные породы (сосна (*Pinus sylvestris*) и ель (*Picea abies*)) и 13 % — лиственные (береза (*Betula pendula* и *B. pubescens*), осина (*Populus tremula*), ольха (*Alnus incana*)). В среднем запас древесины на корню составляет 107 м³/га, а общий годовой прирост запасов древесины 14,8 млн м³. Лесистость территории Карелии составляет 54 %. Сосна занимает 64 %, ель — 24 %, береза — 11 %, осина — 0,7 %, серая ольха — 0,2 % лесопокрытой площади. Лиственница сибирская (*Larix sibirica*) естественным образом произрастает только на территории Водлозерского национального парка на границе с Архангельской областью.

В карельских лесах сравнительно высока доля молодых и перестойных хвойных лесов (рис. 21), что во многом объясняется распространением, начиная с 1950-х годов, сплошных рубок с возрастающей интенсивностью. До этого наиболее распространенной практикой была выборочная лесозаготовка. Большая доля лесов старше 100 лет в регионе связана с широким распространением защитных лесов, а также с наличием низкопродуктивных лесов, непривлекательных для заготовки древесины в том числе и из-за труднодоступности. Высокая доля средневозрастных лиственных лесов объясняется отсутствием эффективного восстановления хвойных лесов в 1990-е годы, в результате чего сосна обыкновенная и ель европейская уступили место лиственным породам (как правило, березе). Наличие спелых лиственных лесов старше 60 лет возможно также связано с большими площадями заброшенных в 1940–1950-х гг. сельскохозяйственных земель.

Лесные пожары являются основной причиной природно-антропогенных нарушений лесов. За период 2009–2018 гг. было повреждено 21 595 га леса (0,02 % в год) и 13 578 га уничтожено пожарами. Другие нарушения оказали относительно незначительное воздействие.

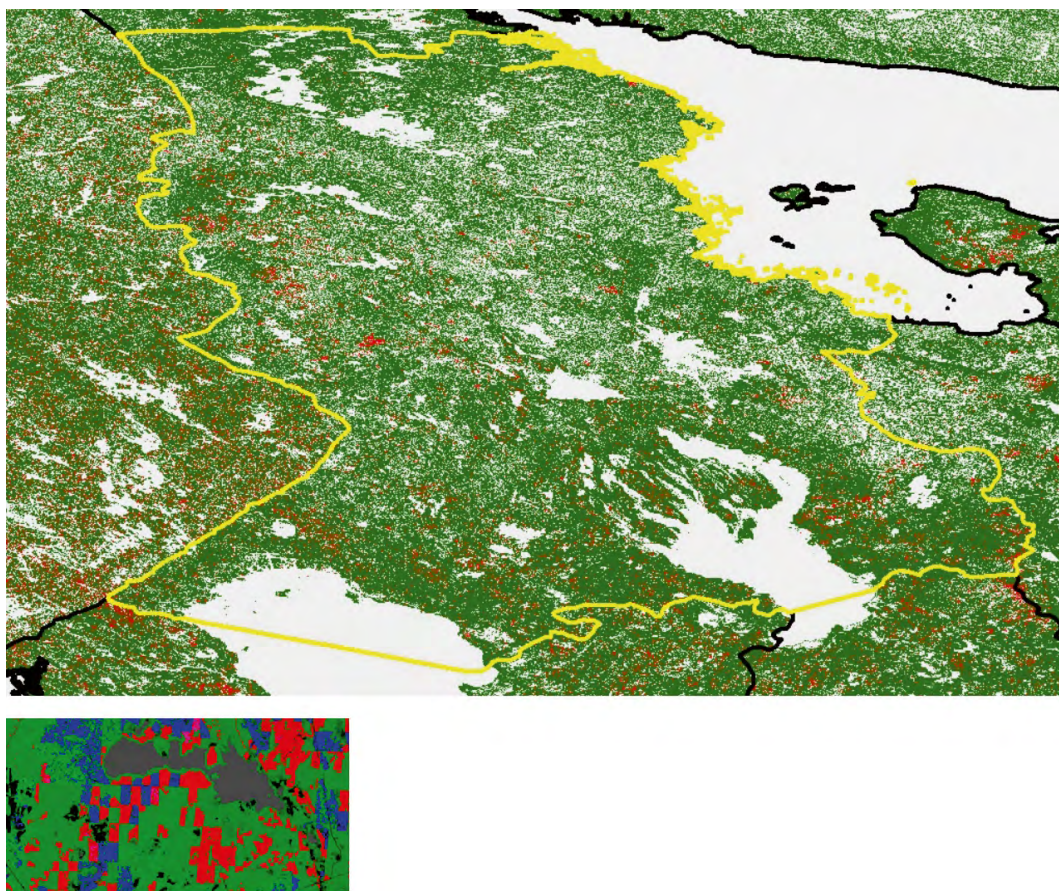


Рисунок 20. Изменение лесного покрова в Республике Карелия (границы обозначены желтым цветом) за период 2000–2018 гг. Зеленым цветом показан современный лесной покров, красным — потери лесного покрова (лесозаготовки и нарушения в период с 2000 по 2018 гг.), синим — восстановление лесного покрова (Hansen et al., 2013). Большая часть лесозаготовок проводилась в южной и средней части Карелии с применением традиционных сплошных рубок, расположенных в шахматном порядке (см. вставку). Граница с Финляндией выделяется более плотными лесозаготовками и четкой их схемой к западу от границы.

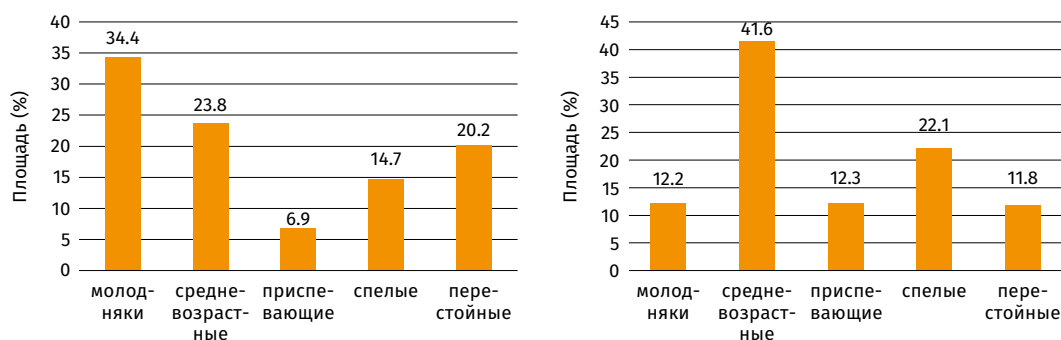


Рисунок 21. Возрастная структура хвойных (слева) и лиственных (справа) лесов Карелии.

Описание лесного сектора и видов использования древесины

Годовой объем заготовки древесины постепенно увеличивался с 5,7 млн м³ в 1997 г. до 7,2 млн м³ в 2018 году. Древесина в основном используется для производства пиломатериалов и целлюлозы. В последнее время лесной сектор Республики Карелия был нацелен на модернизацию бумажной промышленности, что объясняет структуру экспорта — около 20 % производимых круглых лесоматериалов, 90 % товарной целлюлозы, 90 % пиломатериалов и 80 % бумаги – в Германию, Финляндию и Турцию и др.. Более подробная статистика недоступна из-за вопросов конфиденциальности. Лесозаготовка ведется преимущественно методом сплошных рубок относительно крупными блоками (500 x 300 м; рис. 20), что приводит к увеличению площадей, занимаемых пионерными видами (березой и осиной) в подзоне средней тайги.

5.3.2 Сценарии

Сценарий «хозяйственная деятельность без изменения» (Business as usual – BAU):

Суть сценария BAU заключается в том, что существующие тенденции в основном сохраняются и никаких дополнительных усилий по изменению методов управления лесами в качестве мер по смягчению последствий изменения климата или для повышения климаторегулирующей функции и устойчивости карельских лесов не предпринимается. В частности, предполагается следующее:

- Объем заготовки древесины будет следовать среднему росту, характерному для периода с 2007 по 2018 год, в течение следующих 50 лет (т. е. продолжение тенденции) и после этого стабилизируется (т. е. увеличится с нынешних 7,2 млн м³/год до 12,7 млн м³/год через 50 лет).
- Доля рубок ухода в общем объеме заготовки древесины (7 %) останется неизменной.
- Текущая эффективность лесозаготовительных работ (вывозится 85% от объема всей заготовленной древесины; Obersteiner, 1999) останется постоянной.
- Текущая тенденция естественного возобновления осиной на части площадей сплошных рубок в сосновых и еловых лесах сохраняется. Предполагается, что в южной части республики после сплошных рубок в сосновых и еловых лесах 30% площадей вырубек естественным образом возобновляются осиной.

Общее обоснование сценариев CSF заключается в том, что дополнительные усилия прилагаются к инвестициям в лесное хозяйство для уменьшения эмиссий CO₂ в других секторах. В частности, предполагаются следующие сценарии и действия:

Сценарий CSF1:

- Объем заготовок будет стабильно расти, но ненамного быстрее, чем в сценарии BAU, достигнув 14,4 млн м³/год через 50 лет.
- Эффективность лесозаготовительных работ повысится (соотношение вывозки древесины с лесосек от объемов заготовки увеличено до 90 %).
- Доля рубок ухода в общем объеме заготовки древесины увеличится до 50 %.
- Вырубки после лесозаготовок в лесах с преобладанием сосны, ели и березы восстанавливаются с использованием улучшенного селекционного материала тех же пород, скорость роста которых на 25 % выше.
- Вся дополнительно заготовленная древесина направляется непосредственно на производство текстиля на основе древесины.

Сценарий CSF2:

- Основная цель CSF2 — защитить и сохранить старовозрастные леса на всей территории: заготовка древесины из защитных лесов снижена с 36 % от объема рубок до 18 %. Древесина, которая больше не заготавливается в защитных лесах, поступает из эксплуатационных лесов, но ее общий объем составляет 12,7 млн м³/год, как в сценарии BAU.
- Леса после заготовки восстанавливаются теми же породами и той же продуктивности, что и в древостое до рубки.
- Другие виды деятельности и общий объем необходимых рубок такие же, как и в сценарии BAU.

Сценарий CSF3:

- Здесь основная задача состоит в том, чтобы сосредоточиться на накоплении углерода в лесах подзоны северной тайги и защитных лесах, но при том же общем объеме производства древесины. Поэтому леса в подзоне средней тайги используются более интенсивно.
- Другие виды деятельности те же, что и в сценарии CSF1.

5.3.3 Результаты

В ходе моделирования оценивались баланс эмиссии и стока CO₂ для древесной биомассы, заготовленной древесины (HWP), а также эффекты замещения продукции для сценариев BAU и CSF. Оценки зависели от роста леса с учетом стратегий лесопользования и количества заготавливаемой древесины (рис.22).

Сценарии CSF 1 и 3 оказывают значительное влияние на увеличение запаса древесины, прирост и общую заготовку древесины по сравнению со сценарием BAU. Положительное влияние на запас древесины и прирост в основном обусловлено большей долей рубок ухода в общем объеме заготовки древесины и применением улучшенного селекционного материала в обоих сценариях. Режимы в сценариях CSF 1 и 3 аналогичны с точки зрения общего объема заготовки в единицу времени, но CSF3 учитывает различные ее объемы для каждой лесорастительной зоны. Интенсивность рубок увеличена на 50 % в средней тайге и уменьшена на 50 % в северной тайге. Это видно на рис. 22с, где объемы заготовки древесины для обоих сценариев развиваются одинаково до тех пор, пока спрос на заготовки древесины в CSF3 не прекращает удовлетворяться в период 2056–2066 гг. Естественное возобновление осины на площадях сплошных рубок сосны и ели по сценарию BAU приводит к увеличению площади осины с 52 000 га в 2016 году до 137 000 га в 2066 году. В сценариях CSF восстановление пройденных рубками хвойных лесов осуществляется хвойными породами.

Основным результатом моделирования в лесах Карелии является то, что несмотря на гораздо более высокий уровень заготовки древесины в CSF1, чем в BAU, прирост поддерживается на значительно более высоком уровне (дополнительно около 0,5 м³/га/год) и, следовательно, запасы древесины даже увеличиваются. Режимы заготовки BAU и CSF2 одинаковы с точки зрения общего объема за единицу времени, но CSF2 определяет относительно меньший объем заготовки в защитных лесах и относительно больший объем – в эксплуатационных лесах. Эффект CSF2 в основном виден на рис. 22d. Площадь лесов старше 150 лет на защитных участках за 50-летний период времени значительно увеличится по сравнению с BAU. Это будет способствовать сохранению биоразнообразия, но практически не повлияет на баланс углерода на всей территории лесов республики.

Основываясь на принципах разных стратегий управления, был рассчитан баланс эмиссии и стока для биомассы деревьев, HWP и эффектов замещения материалов для оценки сценариев BAU и CSF (рис. 23 и 24). Баланс углерода для HWP

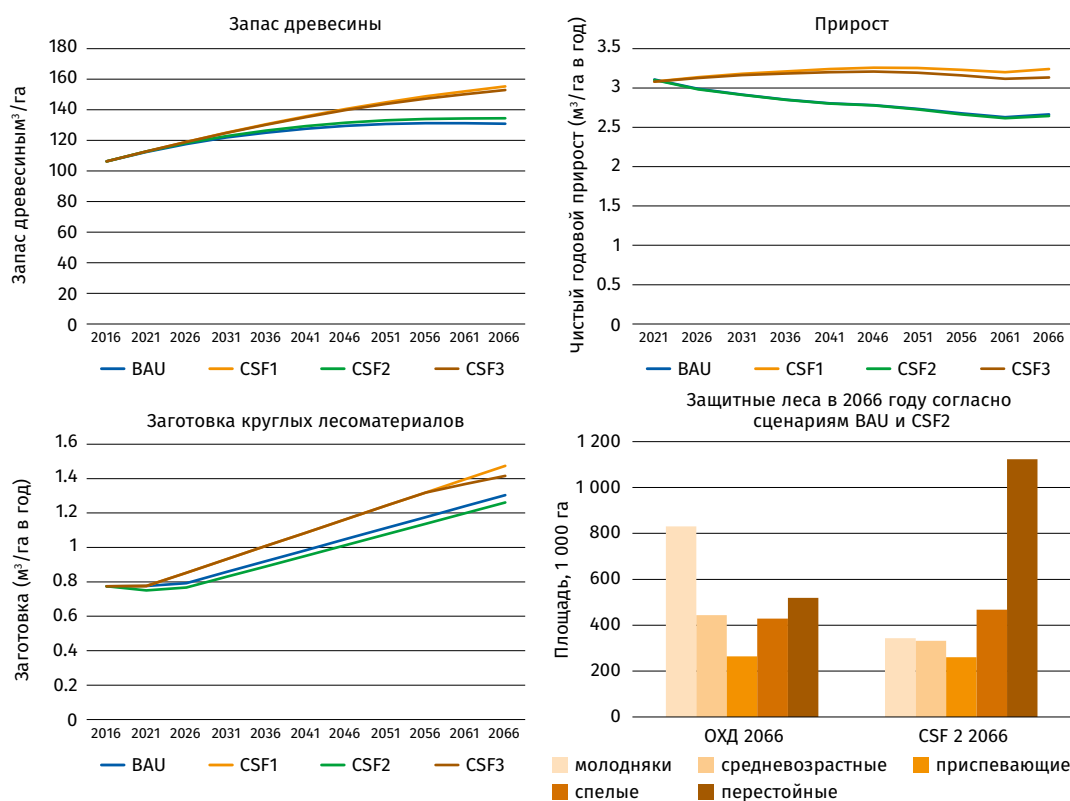


Рисунок 22. Прогнозируемое развитие для (а) запаса древесины, (б) годового прироста и (в) заготовки круглых лесоматериалов в Карелии в рамках BAU и трех альтернатив (BAU аналогичен CSF2). Кроме того, на графике (д) показана возрастная структура защитных лесов в 2066 году для сценариев BAU и CSF2.

и эффектов замещения материалов оценивался только для древесины, заготовленной дополнительно, по сравнению со сценарием BAU, что означает, что никакие эффекты замещения не предполагаются для древесины, которая заготавливалась бы без мер, предусмотренных в CSF.

Согласно прогнозам, леса Карелии будут обеспечивать сток углерода в течение всего периода по сценариям CSF1 и 3, в то время как в сценариях BAU и CSF2 они превратятся в источник углерода около 2060 года. Увеличение доли рубок ухода и применение улучшенного селекционного материала в сценариях CSF 1 и 3 поддерживают состояние лесного покрова и стимулируют годовой прирост древесины, достаточный для компенсации увеличившегося потребления (по сравнению со сценарием BAU).

5.3.4 Основные выводы

При условии увеличения инвестиций в лесовосстановление, Карелия, с ее 9,5 млн га относительно продуктивных лесов, может увеличить заготовку древесины с нынешних 7,2 млн м³/год до 14,4 млн. м³/год. Леса при этом продолжают обеспечивать сток CO₂, хотя и в меньшем количестве.

В сценариях CSF 1 и 3 сохраняется показатель стока углерода карельских лесов на прогнозируемый период, хотя и снижается с нынешних 15 Мт CO₂ до 5 Мт CO₂. BAU и CSF2 характеризуются быстро сокращающимся объемом стока CO₂.

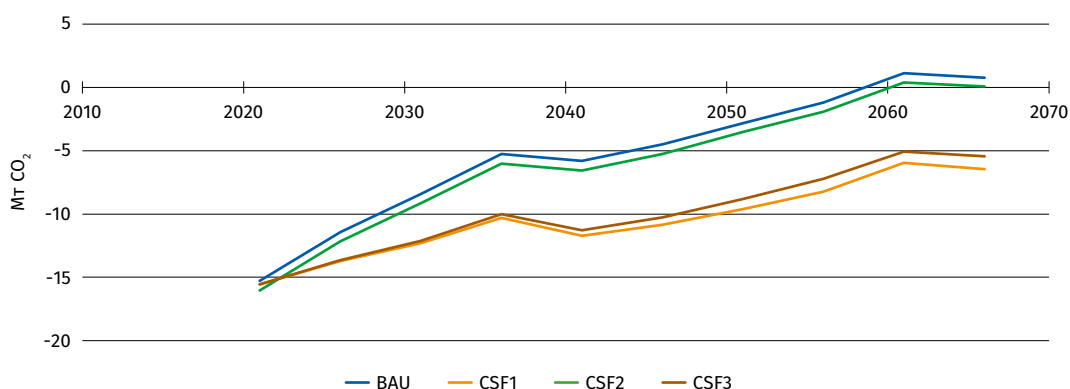


Рисунок 23. Углеродный баланс в живой биомассе деревьев согласно сценариям BAU и CSF для Карелии. Положительные значения — это эмиссия, а отрицательные — поглощение CO_2 .

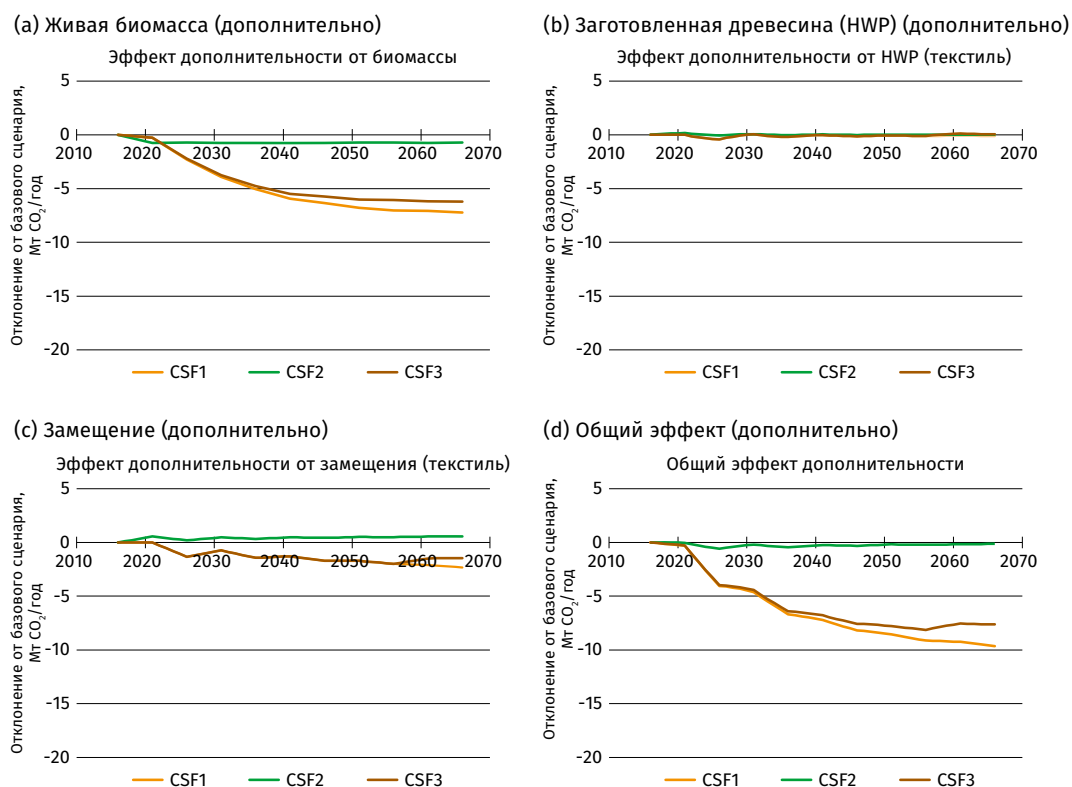


Рисунок 24. Прогнозируемые выбросы (положительные значения) и поглощение (отрицательные значения) CO_2 согласно сценариям BAU и CSF для Карелии. Результаты показывают разницу между сценариями CSF и BAU только по дополнительному эффекту для лесной биомассы (а), заготовленной древесины (HWP) (b), эффекта замещения (с) и общий эффект (d).

который превращается в источник примерно через 30 лет и заканчивается с показателем выделения в атмосферу 5 $\text{Mt CO}_2/\text{год}$ через 50 лет.

Сценарии CSF 1 и 3 удовлетворяют более высоким требованиям к объемам заготовок древесины, чем BAU, и создают более высокий эффект замещения из-за использования древесины в текстильных изделиях. Спрос на заготовку в сценарии

CSF 3 удовлетворяется до 2061 года. После 2061 года существует небольшой разрыв между реализованной древесиной и спросом на ее заготовку.

Сценарий CSF 2 стимулирует увеличение площади старовозрастных и сохранение защитных лесов по сравнению с BAU, поддерживает сохранение биоразнообразия и относительно высокий запас на охраняемых территориях. Однако сценарий CSF2 практически не обеспечивает смягчения последствий изменения климата по сравнению с BAU, поскольку общий объем заготовки остается неизменным (т. е. он должен обеспечиваться за счет других лесных территорий). Кроме того, необходимо учитывать, что в CSF2 на больших площадях перестойных лесов отмечается сниженный общий прирост древесины.

Анализ конкретного примера: Республика Марий Эл

5.4.1 Тенденции и проблемы

Описание лесных ресурсов

В Республике Марий Эл имеется 18 лесничеств, специализированное государственное автономное учреждение «Авиалесоохрана» (воздушная служба охраны леса) и более 200 арендаторов лесных участков. Площадь земель лесного фонда Марий Эл составляет 1,1 млн га (54 % от площади республики), общий запас древесины – 187 млн м³, общий годовой прирост запаса древесины составляет 4,4 млн м³. С одной стороны, возрастная и породная структура лесов и ее динамика демонстрируют нежелательную тенденцию замещения хвойных насаждений лиственными, менее экономически ценными породами. С другой стороны, значительный запас приспевающих лиственных насаждений предполагает увеличение объемов расчетной лесосеки в ближайшие годы. Защитные леса занимают 46% от общей площади лесного фонда, эксплуатационные – 54%. Доля насаждений искусственного происхождения 16%.

На долю хвойных пород приходится 44 % от площади земель, занятых лесными насаждениями, лиственных – 56 %. В лесном фонде преобладают средневозрастные насаждения, которые занимают 37 % лесопокрытой площади, молодняки занимают 22,8 %, приспевающие насаждения – 18,4 %, а спелые и перестойные – 21,7 %. Береза занимает 40 %, сосна – 36 %, ель – 8 %, липа – 6 %, осина – 6 % лесопокрытой площади, доля других пород – 4 %.

Более высокая доля лиственных пород обусловлена, прежде всего, увеличением площадей березовых насаждений на гарях после лесных пожаров 1921, 1972 и 2010 годов. За последнее десятилетие в связи с проведением лесовосстановительных работ площадь покрытых лесом земель увеличилась с 953 400 га до 1 168 800 га. Средний запас древостоев незначительно увеличился со 165 м³/га до 167 м³/га так как произошло увеличение возраста насаждений. Вследствие зарастания гарей после лесных пожаров 2010 года произошло увеличение среднего прироста по запасу с 3,0 м³/га до 3,3 м³/га. Вследствие засухи 2010 - 2012 годов в некоторых лесничествах проведены санитарные рубки в еловых насаждениях, из-за чего произошла смена пород.

Основными причинами повреждения лесов Марий Эл являются погодные условия и почвенно-климатические факторы (46 % от от общей площади поврежденных лесов за период 2007–2018 гг.) (таблица 5). Среди прочих причин повреждения также вредители, болезни и лесные пожары (27 %, 20 % и 7 % соответственно). Основными причинами гибели лесов являются погодные условия и почвенно-климатические факторы (42 %), а в качестве других причин упоминаются лесные пожары (26 %), вредители (20 %) и болезни (11 %).

Описание лесного сектора и видов использования древесины

Лесное хозяйство в Республике Марий Эл ведется достаточно интенсивно. В частности, процент освоения расчетной лесосеки является одним из самых высоких в Российской Федерации; за период 2009–2017 гг. расчетная лесосека осваивалась на 82%.

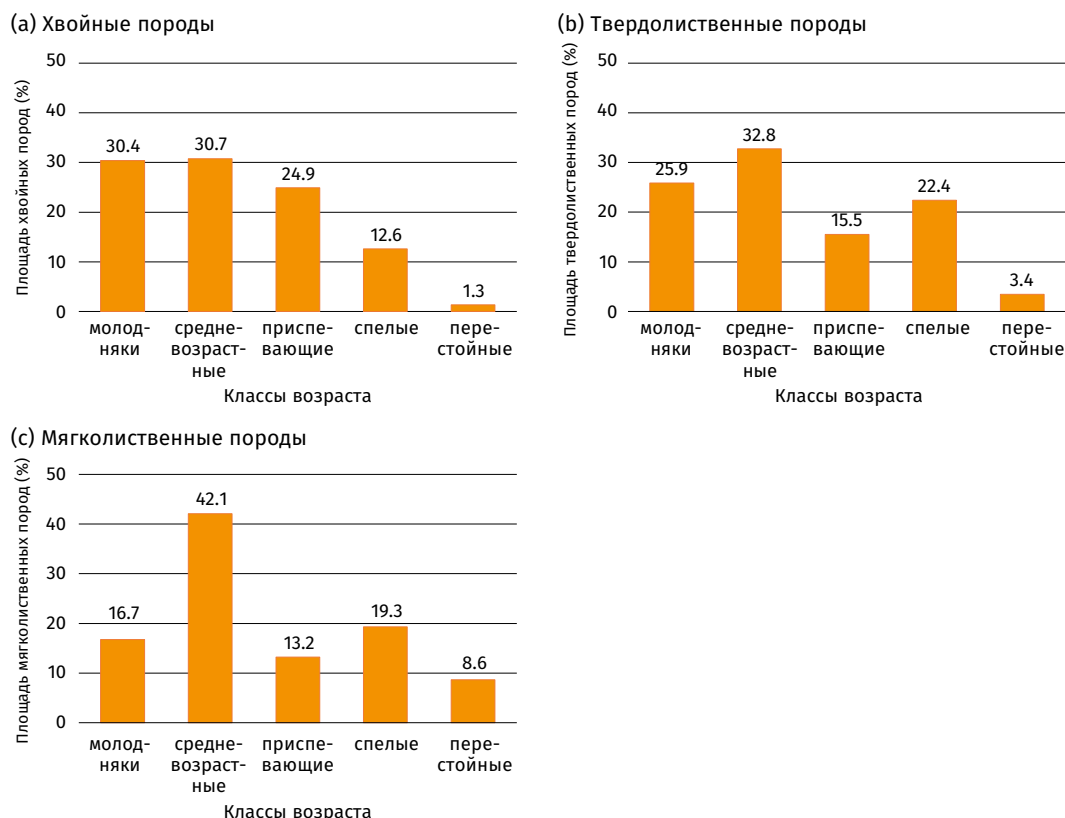


Рисунок 25. Возрастная структура (а) хвойных, (б) твердолиственных и (в) мягколиственных пород в Марий Эл.

Таблица 5. Площади поврежденных и погибших лесов Марий Эл в период 2007–2018 гг.

Причины	Поврежденные леса (га)			Погибшие леса (га)
	2007–2018	Степень повреждения		2007–2018
		10–40 %	> 40 %	
Лесные пожары	418,3	12,8	399,3	372,4
Ущерб от насекомых	1540,2	830,8	471,2	288,8
Погода и почвенные условия	2682,4	1320,7	835,2	589,9
Болезни леса	1166,3	580,4	232,6	160,5
Антропогенные факторы	1,5	-	1,5	1,5
Итого	5808,7	2777,7	1939,8	1413,1

В Марий Эл объем перерабатываемой древесины примерно в два раза превышает объем заготавливаемой. Чтобы удовлетворить спрос, круглые лесоматериалы и пиломатериалы завозятся из соседних регионов, таких как Кировская область, Республика Коми, Удмуртская Республика и Пермский край. Вместе с сокращением числа лесозаготовительных предприятий объемы производства круглых лесоматериалов сократились на 5 % в год. Отмечается повышенный спрос на хвойные породы. Изменение породного состава и расчетной лесосеки способствовало снижению объема заготовки лиственных пород более быстрыми темпами по сравнению с хвойными.

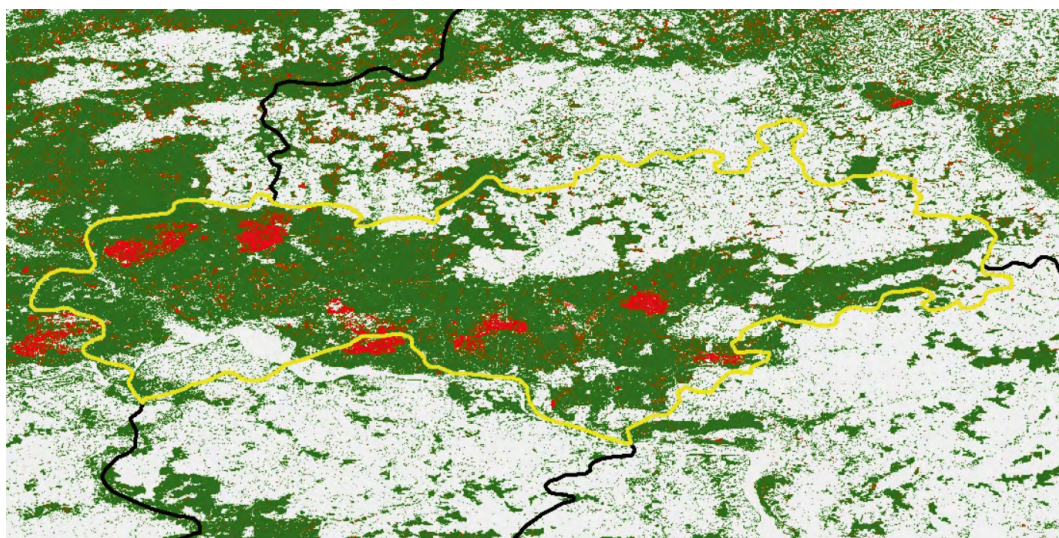


Рисунок 26. Изменения лесного покрова в Республике Марий Эл (границы обозначены желтым цветом) за период 2000–2018 гг. Зеленым цветом показан современный лесной покров, красным — потери лесного покрова (лесозаготовки и нарушения), белым — сельскохозяйственные земли. Источник: Hansen et al., 2013

В ближайшие годы в регионе планируется создание новых лесоперерабатывающих предприятий, что, скорее всего, усилит конкуренцию за сырье. Основными видами продукции из древесины, производимой в Марий Эл, являются пиломатериалы, шпон, щепка, двери и окна, древесные пеллеты для котельных, древесноволокнистые плиты, бумага и картон. В последние несколько лет наблюдается снижение производства дверей и окон, но ожидается, что спрос будет расти с развитием деревянного домостроения в регионе. Что касается использования древесины в энергетике, то активная газификация муниципальных территорий региона способствует снижению спроса на древесину для этих целей.

5.4.2 Сценарии

Суть сценария BAU заключается в том, что существующие тенденции в основном сохраняются, и никаких дополнительных усилий по изменению методов управления лесами в качестве мер по смягчению последствий изменения климата или для повышения климаторегулирующей функции и устойчивости лесов не предпринимается. В частности, предполагается следующее:

Сценарий BAU:

- Объем заготовки древесины (т.е. 1,2 млн м³/год), останется неизменным в течение следующих 50 лет на его нынешнем уровне, так как текущий уровень производства круглых лесоматериалов высокий, расчетная лесосека уже осваивается на 82%.
- Доля рубок ухода в общем объеме заготовки древесины составит 20 % и останется неизменной в течение следующих 50 лет.
- Текущая эффективность лесозаготовительных работ (вывозится 85% от объема всей заготовленной древесины, Obersteiner, 1999) останется постоянной.
- Продолжительность оборота конкретных пород и периодичность рубок ухода, основаны на существующих рекомендациях по лесопроизводству и, как предполагается, не изменяются.

Сценарий CSF:

- Срок, в течение которого можно было бы проводить рубки ухода, продлевается до возраста насаждений, когда остается 10 лет до времени проведения финальной рубки.
- Объем заготовки увеличивается на 5 % по сравнению со сценарием BAU.
- Эффективность лесозаготовительных работ повышается (соотношение вывозки древесины с лесосек от объемов заготовки увеличено до 90 %).
- Доля рубок ухода в общем объеме заготовки древесины увеличится до 33 %.
- Вырубки после лесозаготовок в лесах с преобладанием сосны, лиственницы, ели и дуба восстанавливаются с использованием улучшенного селекционного материала тех же пород, скорость роста которых на 25 % выше.
- Для снижения риска лесных пожаров увеличивается доля лиственных пород: после проведения сплошных рубок в сосновых, лиственничных, еловых и пихтовых древостоях 30% их площадей преобразуется в леса с преобладанием дуба, березы и липы.
- Естественное зарощивание лесом на 25 % заброшенных сельскохозяйственных земель включено в сценарий CSF и включает в себя 123 776 га молодняков лиственных пород (50 % березы и 50 % осины) и 52 557 га сосны. Примечание: учитывая, что это естественное зарощивание лесом началось в 1990-е годы, указанные площади лесов разделены поровну между возрастными классами 0–10, 11–20 и 21–30 лет.
- Дальнейшее производство круглых лесоматериалов и другие управленческие действия такие же, как в сценарии BAU.
- Вся дополнительно заготовленная древесина направляется на производство конструкционных лесоматериалов для строительства.

5.4.3 Результаты

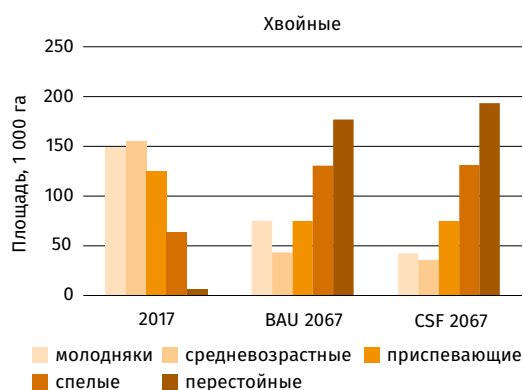
Одним из требований, определенных для сценария CSF, было увеличение доли лиственных пород в качестве стратегии, способствующей снижению риска возникновения лесных пожаров.

Площадь лиственных пород (которые подразделяются на твёрдолиственные и мягколиственные) немного увеличивается с 2017 по 2067 гг. в сценарии CSF по сравнению с BAU (рис. 27). Это также является одной из причин того, что в 2067 году по сценарию CSF в самых молодых возрастных классах будет меньше хвойных пород (сосна, лиственница, ель и пихта), так как 30 % площадей рубок с преобладанием хвойных пород восстанавливаются определенными видами выбранных лиственных пород.

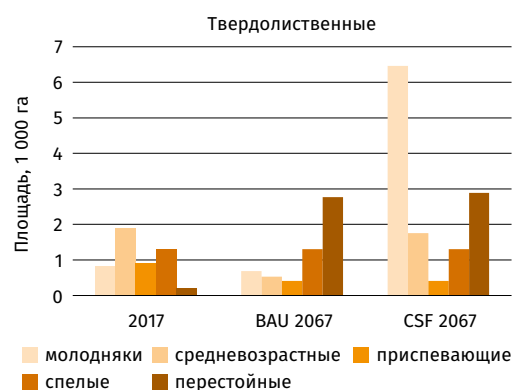
Согласно сценарию BAU, годовой прирост снижается с течением времени (рис. 28b), что, вероятно, определяется увеличением возраста лесов, как показано на рис. 27. Если предполагаемый уровень заготовки остается ниже годового прироста, это приведет к увеличению запаса древесины (рис. 28a). Однако темпы этого увеличения замедляются, что приводит к постепенному снижению стока в лесах Марий Эл в течение следующих 50 лет.

Варианты управления в сценарии CSF приводят к увеличению запаса и годового прироста по сравнению со сценарием BAU. Это является результатом комбинированного эффекта от увеличения периода проведения рубок ухода, увеличения доли древесины, заготовленной в ходе рубок ухода, в общем объеме заготовки древесины, повышения эффективности лесозаготовительных работ и стимулирования восстановления хвойных и дубовых насаждений с использованием улучшенного селекционного материала.

(а) Хвойные породы



(b) Твердолиственные породы



(c) Мягколиственные породы

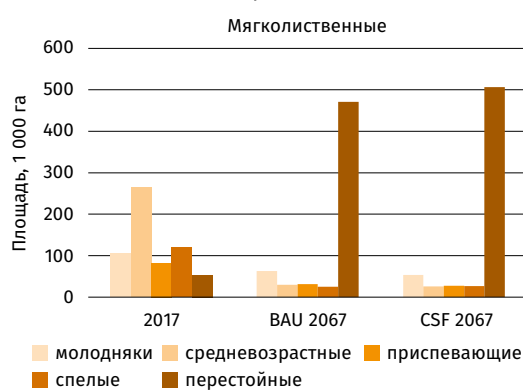
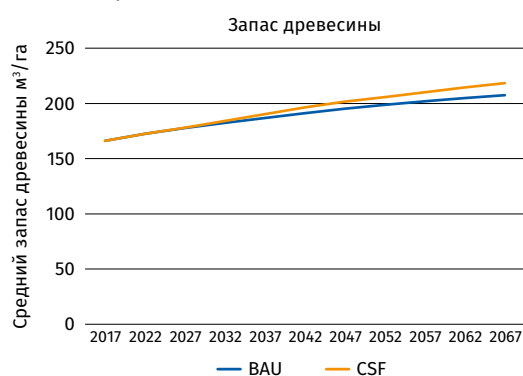


Рисунок 27. Распределение по группам возраста (а) хвойных, (b) твердолиственных и (c) мягколиственных пород в 2017 и 2067 гг. согласно сценариям BAU и CSF. Примечание. Классы возраста хвойных: молодняки: 1–40 лет; средневозрастные: 41–60 лет; приспевающие: 61–80 лет; спелые: 81–100 лет; перестойные: > 100 лет. Классы возраста лиственных: молодняки: 1–20 лет; средневозрастные: 21–30 лет; приспевающие: 31–40 лет; спелые: 41–50 лет; перестойные: > 50 лет.

(а) Запас древесины



(b) Годовой прирост

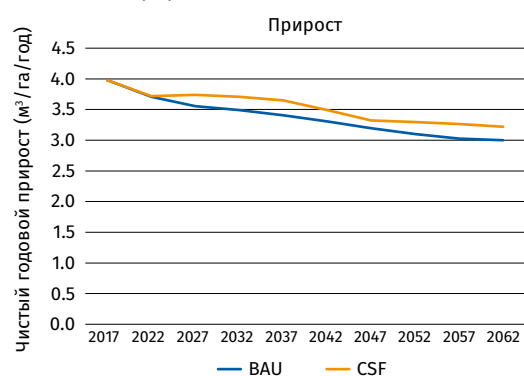


Рисунок 28. Прогнозируемое изменение (а) запаса древесины и (b) годового прироста (включая заготовку древесины) в Марий Эл.

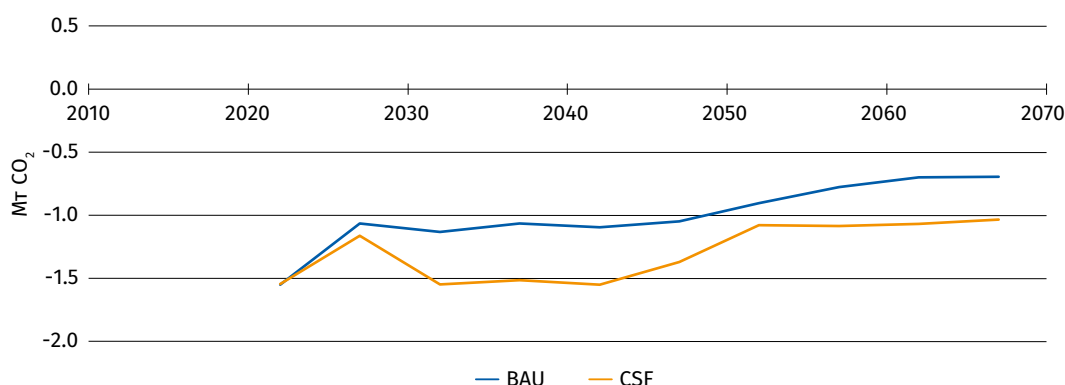
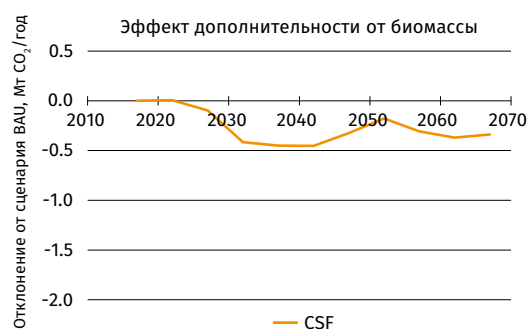
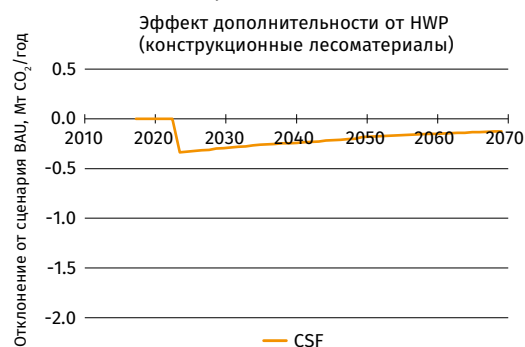


Рисунок 29. Углеродный баланс в живой биомассе деревьев согласно сценариям BAU и CSF для Марий Эл. Положительные значения — эмиссия, а отрицательные — поглощение CO₂.

(а) Живая биомасса (дополнительно)



(б) Заготовленная древесина (НWP) (дополнительно)



(с) Замещение (дополнительно)



(д) Общий эффект (дополнительно)

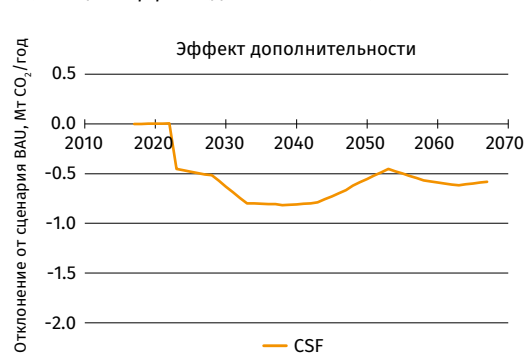


Рисунок 30. Прогнозируемые выбросы (положительные значения) и поглощение (отрицательные значения) CO₂ согласно сценариям BAU и CSF для Марий Эл. Результаты показывают разницу между сценариями CSF и BAU по эффекту дополнительности для лесной биомассы (а), заготовленной древесины (НWP) (б), эффекта замещения (с) и суммарный эффект (д).

В ходе моделирования был рассчитан баланс эмиссий и стока для биомассы деревьев для оценки сценариев BAU и CSF. Эти оценки зависели от влияния стратегий управления на рост лесов (рис. 29).

Меры, принятые в сценарии CSF, приводят к увеличению стока в лесах по сравнению со сценарием BAU при одновременном увеличении объемов заготовки древесины (рис. 30а). Предполагалось, что дополнительно заготовленная древесина будет

использоваться для производства конструкционных материалов для строительства, что приведет к дополнительному сохранению углерода в лесоматериалах (рис. 30b) и обеспечит преимущества замещения (рис. 30c). В целом меры, предусмотренные в сценарии CSF, приводят к поглощению в объеме 28,4 млн т CO₂ через 50 лет.

5.4.4 Основные выводы

Стратегии управления CSF, принятые для Марий Эл, приводят к некоторому увеличению средних значений запаса древесины и годового прироста при одновременном увеличении объемов лесозаготовок на 5 % по сравнению со сценарием BAU: в конце 50-летнего периода средний запас древесины на 5 % больше, а годовой прирост на 7 % выше в сценарии CSF по сравнению со сценарием BAU.

Леса Марий Эл уже изначально обеспечивали сток CO₂ и продолжают его обеспечивать (хотя и в меньшем количестве) в течение прогнозируемого периода времени; сценарий CSF призван увеличить поглощение углерода по сравнению с BAU. Благодаря принятию стратегий лесопользования на основе подхода CSF за анализируемый период общий объем эмиссий CO₂ живой биомассы деревьев сокращается.

Анализ конкретного примера: Приангарский макрорайон (Красноярский край)

5.5.1 Тенденции и проблемы

Описание лесных ресурсов

Приангарский макрорайон включает в себя 26,4 млн га леса (24 % от общей площади лесов Красноярского края). Леса характеризуются довольно большой долей спелых и перестойных насаждений (рис. 31). Площадь лесов со для промышленного освоения ставляет 13,7 млн га. Только промышленно-осваиваемые эксплуатационные леса были включены в наше моделирование. Для инициализации используемых в этой работе модели EFISCEN не имелось достаточно подробной информации о некоторых параметрах, например, о лесных площадях, пройденных выборочными рубками, а также о лесных охраняемых территориях.

В таблице 6 и на рисунке 32 отражены причины и масштабы нарушений в различных районах Приангарского макрорайона в 2018 году. Вспышки массового размножения насекомых и лесные пожары являются наиболее существенными факторами повреждений на площади 1,1 млн га и 278 687 га соответственно. Однако в 2019 году в Красноярском крае лесными пожарами была пройдена еще большая площадь.

Таблица 6. Причины и масштабы нарушений лесов (га) в 2018 году в различных районах Приангарского макрорайона.

Муниципальный район (в Приангарском макрорайоне)	Причины ослабления (гибели)						Всего
	Антропогенные факторы	Болезни леса	Лесные пожары	Непатогенные факторы	Насекомые-вредители	Погодные условия и почвенно-климатические факторы	
Богучанский	3090	10 562	111 646	594	28 585	22 785	185 263
Енисейский	354	2541	27 118	-	843 073	773	873 858
Казачинский	-	-	78	-	7681	-	7759
Кежемский	9930	2610	53 243	-	8249	425	75 184
Мотыгинский	20	4321	36 421	-	16 254	429	57 444
Питовский	555	2042	514	28	23 362	725	27 225
Северо-Енисейский	-	1400	41 667	-	178 357	8249	229 673
Итого	13 949	23 475	278 687	622	1 106 287	33 386	1 456 407

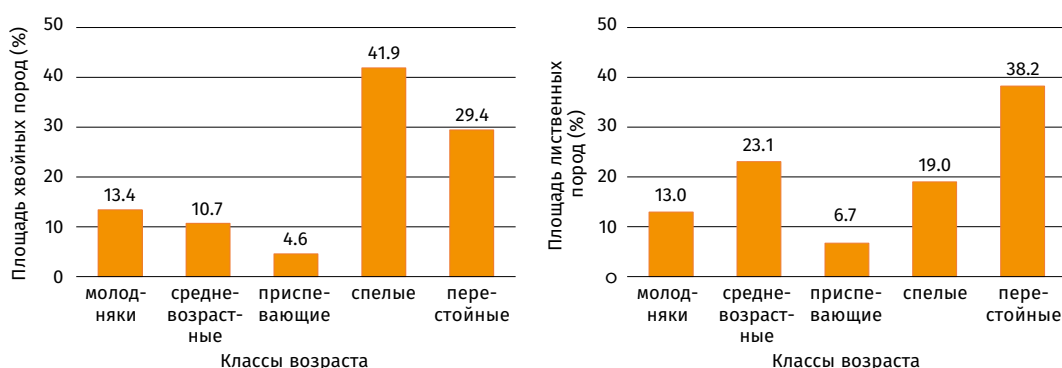


Рисунок 31. Возрастная структура хвойных (слева) и лиственных (справа) пород в Приангарском макрорайоне на общей площади 13,6 млн. га.

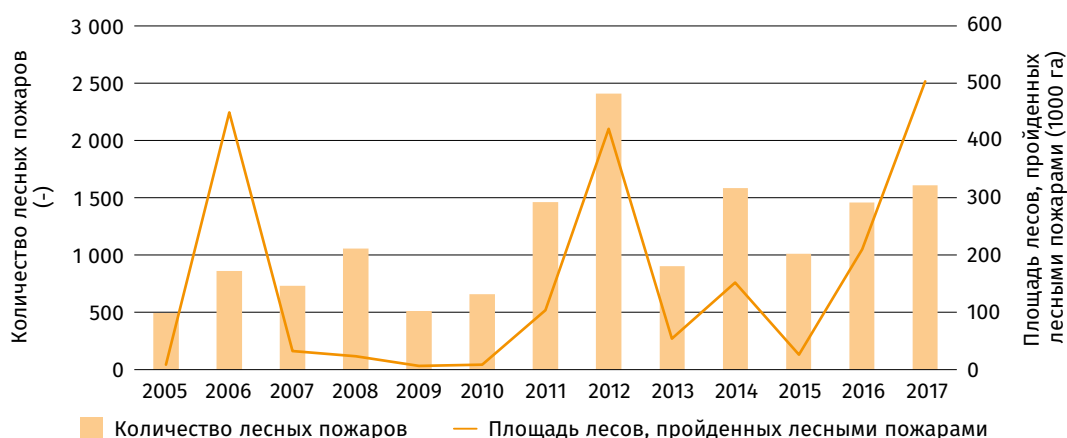


Рисунок 32. Динамика лесных пожаров в Красноярском крае за 2005–2017 гг.

5.5.1.2 Описание лесного сектора и видов использования древесины

Большинство районов региона с богатыми запасами древесины находятся на значительном удалении от дорожной сети и, следовательно, отличаются низким уровнем использования лесных ресурсов. Около 20 % от общего объема производимой в Российской Федерации древесины приходится на Красноярский край. Объем лесозаготовок в Красноярском крае резко вырос за последние годы — приблизительно с 14 млн м³ в 2010–2013 гг. до почти 29 млн м³ в 2018 г., из которых 57 % приходится на Приангарский макрорайон.

Основная продукция лесного комплекса на этой территории — круглые лесоматериалы, пиломатериалы, древесноволокнистые плиты, пеллеты, брикеты, деревянные панели. Производство древесноволокнистых плит, пеллет и деревянных панелей в основном осуществляется крупными компаниями лесного комплекса Красноярского края (от 99 % до 100 %). На их долю приходится 25,7 % объема лесозаготовок, 26,4 % производства круглых лесоматериалов, 53 % производства пиломатериалов. Остальная часть продукции поступает от мелких частных производителей. Общий объем инвестиций, освоенных на конец 2018 года, составил 430 млн долларов США, а средний процент освоения средств, запланированных на этот период, составил 23 % (1,9 млрд долларов США). Согласно открытым данным, опубликованным Федеральной таможенной службой, в 2017 году экспорт необработанной древесины составил 1,3 млн м³ при аналогичном объеме экспорта переработанной древесины.

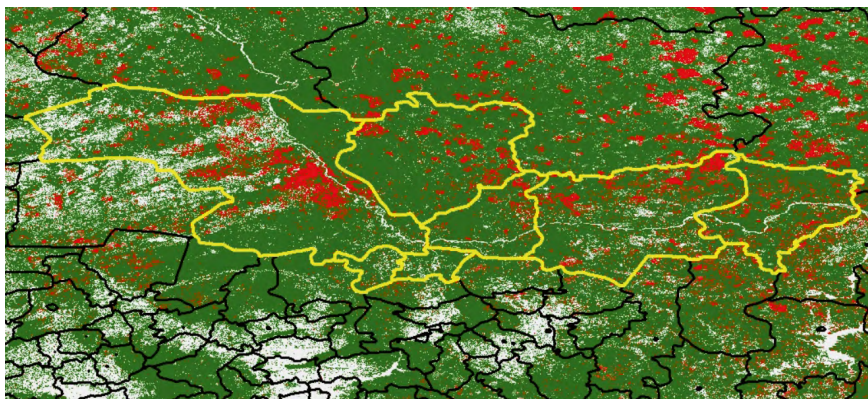


Рисунок 33. Изменение лесного покрова в Приангарском макрорайоне (границы обозначены желтым цветом). Зеленым цветом показан современный лесной покров, красным — потери лесного покрова (лесозаготовки и нарушения), белым — сельскохозяйственные и др. типы земель. Источник: Hansen et al., 2013



Рисунок 34. Сплошная рубка с шахматным прилеганием лесосек. Показан один блок сплошной рубки. Фото: Центр защиты леса Красноярского края.



Рисунок 35. Типичный участок леса средней тайги, смешанные елово-березовые насаждения. Фото: Центр защиты леса Красноярского края.

5.5.2 Сценарии

Суть сценария ВАУ заключается в том, что существующие тенденции в основном сохраняются, и никаких дополнительных усилий по изменению методов управления лесами в качестве мер по смягчению последствий изменения климата или для повышения климаторегулирующей функции и устойчивости лесов в Приангарском макрорайоне не предпринимается. В частности, предполагается следующее:

Сценарий ВАУ:

- Объем заготовки древесины останется стабильным на абсолютном уровне объема заготовки в 2018 году, то есть всего 16 млн м³/год от рубок ухода и финальных рубок.
- Текущий породный состав деревьев сохраняется.
- 10 % от общего объема заготовки приходится на рубки ухода.
- Текущая эффективность лесозаготовительных работ (вывозится 85% от объема всей заготовленной древесины (Obersteiner, 1999) останется постоянной.
- Продолжительность оборота конкретных пород и периодичность проведения рубок ухода, основаны на текущих рекомендациях по лесопроизводству и, как предполагается, не изменяется.

Сценарий CSF:

- Уровень заготовки древесины снизится до уровня, поддерживающего существующий запас древесины, т. е. общий объем 12 млн м³/год от рубок ухода и финальных рубок.
- Эффективность лесозаготовительных работ повысится (соотношение вывозки древесины с лесосек от объемов заготовки увеличено до 90 %).
- Доля рубок ухода в общем объеме заготовки древесины увеличится до 50 %.
- После финальной рубки в насаждениях сосны и лиственницы 30 % площадей вырубков преобразованы в леса с преобладанием березы, чтобы снизить риск лесных пожаров, а 70 % восстанавливаются с использованием улучшенного селекционного материала тех же пород, скорость роста которых на 25 % выше.

Меры CSF также должны затрагивать риски, связанные с лесными пожарами, но эти эффекты нельзя смоделировать.

5.5.3 Результаты

В ходе моделирования оценивался баланс эмиссий для стока живой биомассы, НWP и эффекты замещения материалов для сценариев ВАУ и CSF. Эти оценки зависели от влияния стратегий управления на рост лесов и объемов заготовки древесины (рис. 36).

Сценарий CSF оказывает значительное влияние на запас и прирост по сравнению со сценарием ВАУ. Чтобы поддержать запас древесины в лесах на стабильном уровне, объем заготовки в лесах Приангарского макрорайона в сценарии CSF был снижен, поэтому более низкий объем заготовки (по сравнению со сценарием ВАУ) приводит к небольшому увеличению запаса древесины. Эта мера была скомпенсирована с увеличением доли рубок ухода и лесовосстановлением с использованием улучшенного селекционного материала. Прирост в сценарии CSF увеличивается более высокими темпами, чем в сценарии ВАУ, в первую очередь, за счет применения улучшенного селекционного материала и увеличения объема заготовленной древесины, в результате рубок ухода. Меры, предусмотренные в сценарии

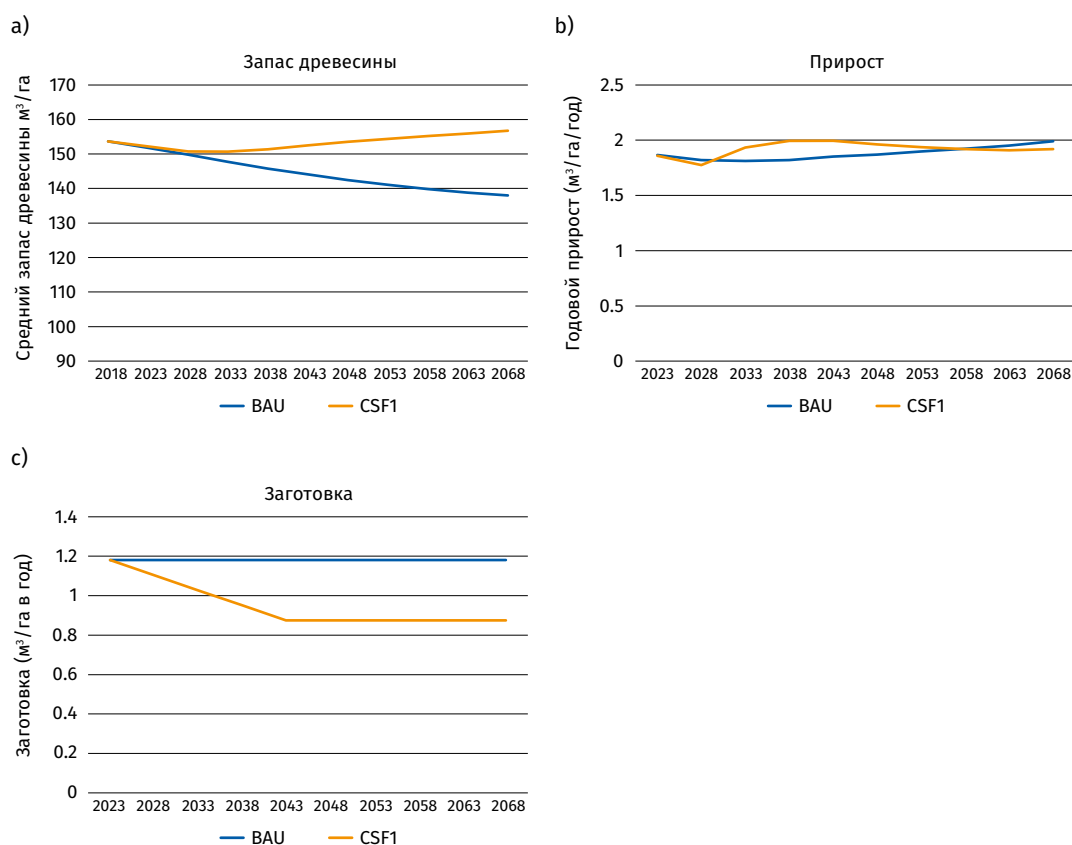


Рисунок 36. Прогнозируемое изменение а) запаса древесины, б) ежегодного прироста и в) заготовки круглого леса в Приангарском макрорайоне по сценарию BAU и одному альтернативному сценарию CFM.

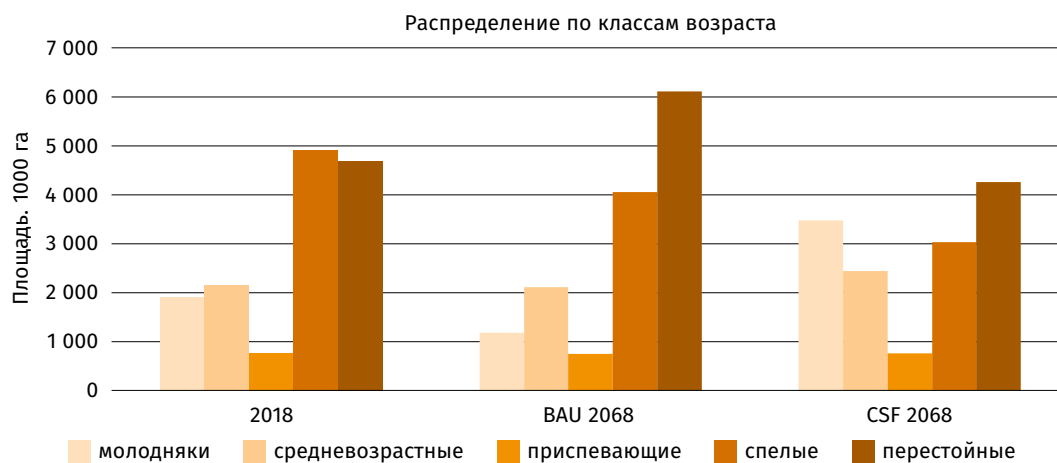


Рисунок 37. Возрастное распределение для сценариев BAU в 2018 г., для BAU и CSF через 50 лет.

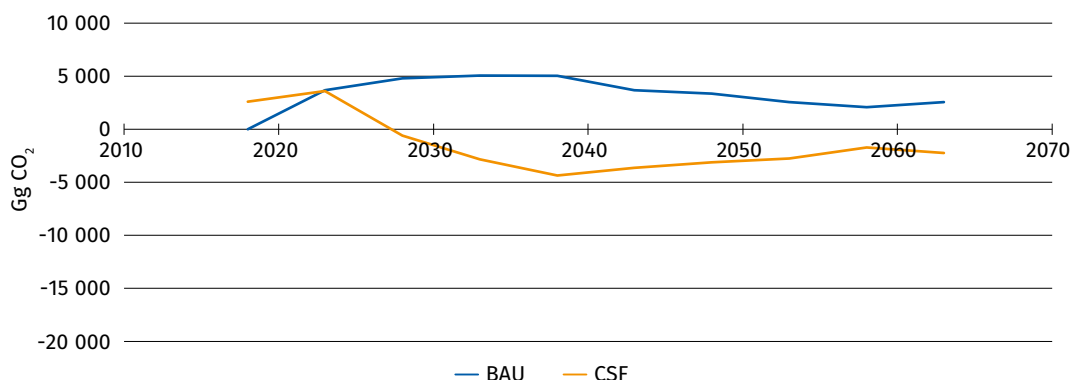


Рисунок 38. Углеродный баланс в живой биомассе деревьев согласно сценариям BAU и CSF для Приангарского макрорегиона. Положительные значения — эмиссия, а отрицательные — поглощение CO₂.

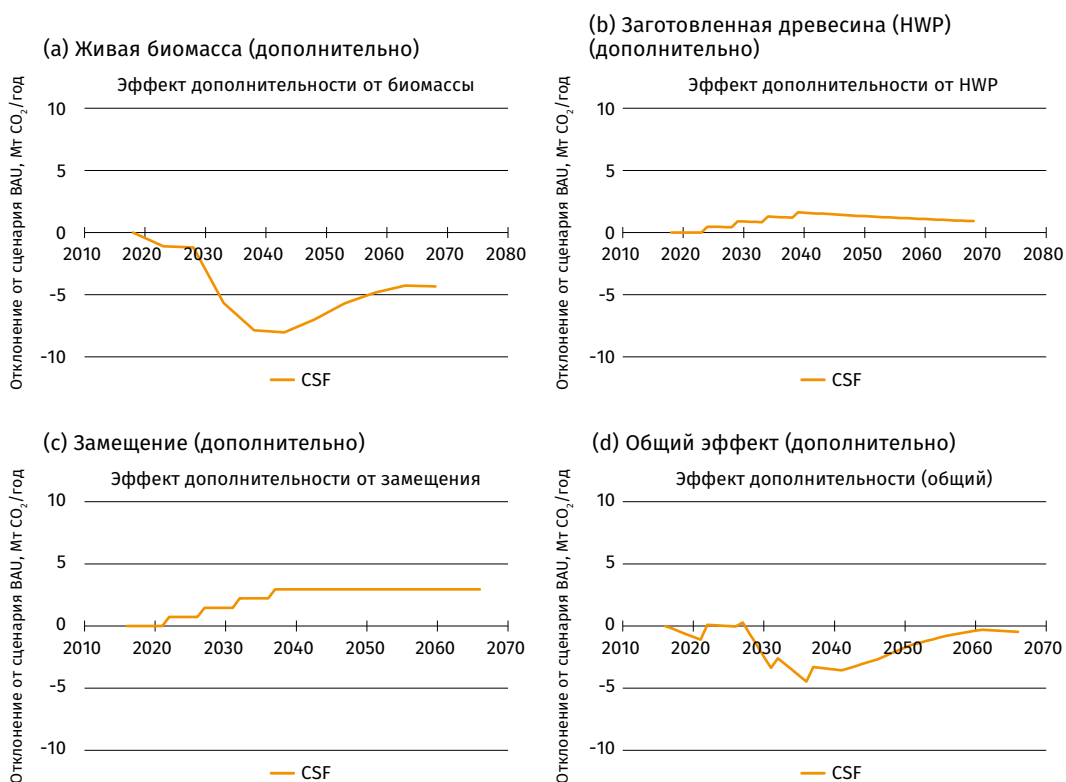


Рисунок 39. Прогнозируемые дополнительные выбросы (положительные значения) или поглощение (отрицательные значения) CO₂ для сценариев BAU и CSF в Приангарском макрорайоне. Результаты показывают разницу между сценариями CSF и BAU для эффекта дополнительности в отношении живой лесной биомассы (а), заготовленной древесины (HWP) (б), эффекта замещения (с) и общий эффект (д).

CSF приводят к более сбалансированной возрастной структуре по сравнению со сценарием BAU (см. рис. 37).

Анализ углеродного баланса для биомассы деревьев показывает леса Приангарского макрорайона как источник углерода во всех сценариях в начале моделирования (рис. 38 и 39). Этот эффект обусловлен высоким уровнем заготовки древесины в сравнении с объемами прироста. Леса начинают обеспечивать сток углерода по сценарию CSF через 25 лет.

Чтобы сохранить запасы древесины в лесах на стабильном уровне, в сценарии CSF для Приангарского макрорайона был снижен уровень лесозаготовок. Это означает также и снижение объемов древесины для HWP и, следовательно, влияет на дополнительные эмиссии как от собственно HWP, так и на эффект замещения.

5.5.4 Основные выводы

В последние годы объемы лесозаготовки в Приангарском макрорайоне резко возросли, при этом большая часть древесины заготавливается в ходе финальных (сплошных) рубок. Наши расчеты показывают, что этот уровень заготовки не может быть устойчивым в течение более длительного периода времени. Сток в перестойных (старовозрастных) лесах характеризуется очень невысоким уровнем ежегодного прироста (приблизительно $1,7 \text{ м}^3/\text{га}/\text{год}$), поэтому прогнозируется, что при текущем уровне заготовки запас будет быстро сокращаться – с $153 \text{ м}^3/\text{га}$ до $138 \text{ м}^3/\text{га}$ через 50 лет.

Следовательно, по сценарию BAU леса выступают в качестве источника CO_2 с объемами примерно в 5 млн Т $\text{CO}_2/\text{год}$ через 20 лет, с постепенным снижением до примерно 2 млн Т $\text{CO}_2/\text{год}$ через 50 лет. Согласно же сценарию CSF источник постепенно превращается в сток. Леса начинают обеспечивать сток CO_2 по сценарию CSF через 25 лет.

Вместе с тем, из-за более низкого уровня заготовки по сценарию CSF происходит уменьшение производства HWP, что приводит к нетто-эмиссии от HWP и процессов замещения (т. е. предполагается, что продукция из древесины, которая больше не производится, заменяется углеродоемкими материалами на основе ископаемых ресурсов).

Лесные пожары являются основной причиной природных нарушений в Приангарском макрорайоне. Однако риски лесных пожаров нельзя смоделировать при использовании модели EFISCEN, хотя вместе с тем были смоделированы меры по снижению рисков лесных пожаров. Например, может быть увеличена доля лиственных пород, менее подверженных пожарам. Эта мера была реализована в сценарии CSF путем планирования лесовосстановления с использованием березы на 30 % площадей вырубок после сплошных рубок сосны и лиственницы.

Меры по улучшению инфраструктуры путем строительства дорог также нельзя смоделировать с помощью EFISCEN. Влияние улучшения инфраструктуры на лесные пожары также не ясно. Усовершенствованная инфраструктура может облегчить доступ пожарных к территориям для тушения лесных пожаров, но также способна увеличить риск возникновения антропогенных лесных пожаров. С другой стороны, строительство дорог может способствовать увеличению заготовки леса и/или может быть необходимым условием для совершенствования управления лесным хозяйством (Niskanen et al., 2003).

Заключительные замечания, обсуждение и выводы

В этой главе мы применили подход CSF к условиям трех регионов в России, чтобы дать представление о потенциале альтернативных стратегий смягчения последствий изменения климата, предложив варианты для лесного сектора. В связи со значительными различиями региональных условий по всей России мы проанализировали портфель мер CSF, которые были специфичны для каждого рассматриваемого региона и в совокупности обеспечивали климатические преимущества. Наши результаты дополняют исследование Nabuurs et al. (2018) по CSF в трех европейских странах. Мы не следовали общепринятым правилам климатических учетов. Вместо этого мы суммировали воздействие лесов и лесного сектора на снижение выбросов CO₂ «с точки зрения» атмосферы. Если выбросы сокращаются, то по этим сокращенным выбросам, в соответствии с действующими правилами отчетности по выбросам, отчитываются другие сектора (например, энергетический), но в нашем исследовании мы отнесли эффекты замещения лесной продукции к лесному сектору. Мы не включали в рассмотрение биоэнергетику, т.к. крупномасштабное производство пеллет в трех регионах еще не началось.

Мы не рассматривали все возможные меры по смягчению последствий изменения климата, не оптимизировали и не максимизировали их. Вместо этого мы попытались разработать меры по смягчению последствий изменения климата с учетом местных условий и инфраструктуры и проанализировали их воздействие, рассмотрев все углеродные пулы и эффекты замещения. Эти меры могут включать увеличение объемов лесозаготовок с целью повышения климатической устойчивости лесов. Радикальные, но необходимые преобразования, которые могут временно заставить лесные экосистемы действовать в качестве источника эмиссий, также могут быть частью долгосрочной стратегии смягчения последствий изменения климата.

Все меры CSF реализуются в сроки, которые можно считать реалистичными, но все же с дополнительными усилиями по смягчению последствий изменения климата по сравнению с практикой нынешнего управления. Мы суммируем воздействие всех мер по смягчению последствий изменения климата для каждого регионального примера в таблице 7. Во всех трех региональных исследованиях мы считали, что в сценариях CSF леса, в которых преобладают хвойные породы (сосна, ель и лиственница), будут восстанавливаться с применением улучшенного селекционного посадочного материала тех же пород с более высокими темпами роста – до 25%. Эти темпы роста достаточно велики, но соответствуют ожидаемым темпам роста, которые считаются достижимыми в странах Балтии и Северной Европы (Rytter et al., 2016). Использование более адаптированных древесных пород и улучшенного селекционного посадочного материала может быть достигнуто главным образом путем искусственного лесовосстановления. Однако в настоящее время доминирующим методом восстановления лесов в трех региональных примерах является естественное лесовосстановление. Это приводит к увеличению площадей, занимаемых березой и осиной, из которых только береза имеет определенную коммерческую ценность. Поэтому необходимы изменения в том, как в настоящее время осуществляются процессы восстановления лесов и управления ими. В больших лесных регионах это потребует больших усилий и существенных инвестиций, даже если это будет происходить в постепенном темпе, как это моделируется здесь.

Таблица 7. Обзор среднегодового дополнительного эффекта действий по смягчению последствий изменения климата за 50-летний период при использовании подходов CSF (Мт CO₂/год). Отрицательное значение означает дополнительный эффект смягчения последствий изменения климата по сравнению с BAU.

Анализ регионального примера		Республика Карелия			Республика Марий Эл	Приангарский макрорайон (Красноярский край)
Сценарий		CSF1	CSF2	CSF3	CSF	CSF
Рассматриваемая площадь лесов (млн га)		9,3			1,4	13,6
Сценарий		CSF1	CSF2	CSF3	CSF	CSF
Дополнительный эффект смягчения в пулах	Живая биомасса	-4,81	-0,69	-4,33	-0,27	-4,83
	HWP	-0,10	0,03	-0,07	-0,19	1,00
Замещение материалов		-1,34	0,43	-1,23	-0,10	2,21
Общий эффект смягчения для всего региона (Мт CO ₂ /год)		-6,25	-0,24	-5,63	-0,56	-1,44
Общий эффект смягчения (Мг CO ₂ /га/год)		-0,67	-0,03	-0,61	-0,51	-0,11

Аналогично, во всех трех региональных исследованиях мы предлагали увеличение доли рубок ухода. Это может не соответствовать действующим рекомендациям и практике. Рубки ухода в настоящее время выполняются в очень ограниченной степени. Увеличение доли древесины, получаемой в результате проведения рубок ухода, может привести к значительному увеличению накопления углерода в биомассе, поскольку лесной покров при их проведении сохраняется, качество насаждений улучшается, из заготовленной древесины можно производить лесоматериалы более высокого качества. Увеличение объемов рубок ухода не окажет негативного влияния на общие объемы производства круглого леса, как это видно из результатов по Карелии и Марий Эл. Таким образом, для реализации мер CSF на практике необходимы соответствующие изменения в практике управления лесами.

Предполагаемые климатические выгоды от CSF варьируют от региона к региону в зависимости от условий базового управления (BAU), которое мы считаем продолжением существующей практики. Как показано в таблице 7, сценарии CSF привели во всех трех регионах к улучшенному балансу CO₂ (дополнительный сток и/или замещение), хотя собственно эффекты относительно невелики (в этих медленнорастущих лесных экосистемах) с максимальной дополнительной выгодой ~ 0,7 Мт CO₂/га/год.

В этой главе представлены результаты анализа сценариев на основе моделей. Эти сценарии следует понимать не как то, что произойдет или что, скорее всего, произойдет в будущем, а как то, что может произойти, если определенные меры будут приняты в определенные сроки и если другие предпосылки останутся неизменными.

Очевидно, что существует множество неопределенностей (например, изменение управления лесами в будущем, развитие рынков лесной продукции, изменение климата и т. д.), влияющих на развитие лесных ресурсов России в перспективе. Изменение климата, вероятно, повлияет на ареалы древесных пород, продуктивность лесов и режим природных нарушений (см. главы 3 и 4). Хотя в наших сценариях мы предвидели последствия изменения климата, формулируя варианты управления для повышения устойчивости лесов к изменению климата (например, изменение породного состава), мы не рассматривали последствия изменения климата как таковые с

точки зрения вероятных изменений скорости роста. Кроме того, нарушения не могли быть включены в анализ из-за отсутствия подробных данных для региональных примеров и трудности моделирования их последствий. Поэтому количественно оценить их влияние на будущее развитие лесных ресурсов и углеродный баланс лесов не представлялось возможным. Однако игнорируя возможные последствия изменения климата, можно недооценить вероятные выгоды, которые может обеспечивать CSF.

Результаты представленных сценариев во многом зависят от качества данных, использовавшихся как основа для моделирования. Во-первых, мы пытались использовать как можно более надежные российские данные из открытого доступа, но не все необходимые данные были доступны. Например, для прогноза прироста нам пришлось использовать таблицы хода роста, а не данные учета лесов. Основная причина этого заключалась в том, что в российском и западноевропейском лесном хозяйстве отличаются понятия о годовом приросте (Pisarenko et al., 2000). Для моделирования нам требовался чистый годовой прирост, который включает прирост деревьев, вырубленных в течение контрольного периода, но исключает деревья, погибшие в течение контрольного периода (UNECE-FAO, 2000). Однако прирост, отраженный в российских данных по учету лесов, относится к оставшемуся запасу древесины и, таким образом, исключает рост вырубленных деревьев.

Во-вторых, заготовка древесины является ключевым фактором, определяющим развитие лесных ресурсов и связанным с ними углеродным балансом. Данные по заготовке древесины обычно связаны с неопределенностью, и это также применимо к российским условиям. Такая неопределенность может быть связана с учетом объемов и сортиментов древесины, вырубленной и вывезенной из лесов, потерями древесины во время заготовки и транспортировки, а также потреблением топливной древесины населением (см. Obersteiner, 1999).

В-третьих, мы включили углеродные пулы лесной биомассы и HWP и рассмотрели эффекты замещения, но исключили влияние углеродного пула почвы. Хотя этот углеродный пул считается очень важным для России, мы не смогли оценить влияние сценариев на него, поскольку данные о его исходном состоянии слишком неопределенны и поскольку текущее функционирование системы «сток/источник» в условиях многолетней мерзлоты слишком неопределенно. Обычно почвы промерзают на срок 4–6 месяцев, что позволяет технике работать на заготовке, но есть свидетельства того, что с изменением климата становится все труднее заготавливать древесину в зимний период (Global Wood Markets Info, 2020). В нынешних условиях, когда почвы не промораживаются, их повреждение будет более существенным, что приведет к большим потерям почвенного углерода. Более того, в большинстве почвенных моделей рассматриваются только минеральные почвы, а не торфяные, которые очень распространены в России. Однако можно предположить, что снижение объемов сплошных рубок, предусматриваемое в сценариях CSF, может обеспечить преимущества для связывания углерода почвой.

В нашем анализе мы сосредоточились на воздействии, которое оказывает лесоправление, но есть и другие меры, связанные с лесным хозяйством, способные обеспечить смягчающие изменение климата преимущества. Считается, что Российская Федерация обладает большим потенциалом для процессов облесения, лесоразведения и восстановления лесов: например, согласно оценкам Bastin et al. (2019), можно было бы восстановить 151 млн га, что обеспечит потенциал смягчения последствий изменения климата в объеме до 351 Мт CO₂/год (Griscom et al., 2017). В наших конкретных примерах мы не фокусировались на облесении или лесоразведении, главным образом потому, что три наших региональных примера в основном представляют собой лесные регионы с ограниченными возможностями для дополнительного лесоразведения. Однако лесоразведение может быть очень актуальным для других регионов России.

В целом, полученные нами результаты показывают, что более активные меры лесоправления способны повлиять на увеличение стока углерода в лесной биомассе

в ближайшие десятилетия. Для всех трех региональных примеров мы показываем, что большая доля рубок ухода, восстановление с использованием улучшенного селекционного материала, повышение эффективности заготовки и другие меры могут увеличить поглощение углерода в лесах. Для примеров Марий Эл и Карелии баланс HWP также улучшается по сравнению с развитием ситуации без применения таких мер. В Приангарском макрорайоне для достижения устойчивого уровня пришлось предложить снижение объема лесозаготовок. Наряду с другими мерами это улучшает баланс углерода в лесной биомассе, но ухудшает баланс HWP и замещения. Конкретный эффект замещения будет зависеть от типа лесной продукции, типа замещаемого недревесного материала и судьбы древесины после ее использования (Leskinen et al., 2018). Надлежащий учет последствий замещения — и их отношение к лесному сектору — имеет решающее значение для определения оптимальных (лесохозяйственных) стратегий смягчения последствий изменения климата.

В целом результаты наших трех региональных исследований показывают возможности и ограничения лесного хозяйства в России. Ограниченная продуктивность лесов России в целом, требуемые темпы внедрения (например, быстрое лесовосстановление после сплошных рубок), трудности реализации передовых практик на местах, удаленность многих районов в сочетании с ограниченной транспортной сетью и большими расстояниями перевозки, значительно осложняют практическое осуществление описанных здесь сценариев. Разработка региональных планов действий, включая необходимое инвестиционное финансирование, является необходимым первым шагом.

Ключевые тезисы

- Климатически оптимизированное ведение лесного хозяйства помогает повысить как продуктивность лесов, так и объемы лесозаготовки, поддерживая объемы стока углерода на более высоком уровне
- Искусственное лесовосстановление — это мера, позволяющая внедрять более адаптированные породы и климатотипы деревьев с использованием улучшенного селекционного материала. Использование более приспособленных к местным условиям пород и высококачественных лесных генетических ресурсов может повысить продуктивность лесов и снизить их восприимчивость к нарушениям
- Увеличение доли рубок ухода в общем объеме заготовки древесины поддерживает лесной покров и позволяет улучшать качественные характеристики древостоев. Увеличение доли рубок ухода способствует поддержанию высокого уровня стока углерода в лесах
- Увеличение площади охраняемых лесных территорий в Российской Федерации будет способствовать сохранению запасов углерода в биомассе деревьев и одновременно поможет целенаправленно инвестировать в устойчивое управление в других областях.
- Превращение большей части заготовленной в лесах древесины в долговечные лесоматериалы, способные замещать углеродоемкие недревесные материалы, увеличивает выгоды от использования сценариев CSF для смягчения последствий изменения климата.

Использованная литература

- Bastin, J.-F., Finegold, Y., Garcia, C., Mollicone, D., Rezende, M., Routh, D., Zohner, C.M., Crowther, T.W., 2019. The global tree restoration potential. *Science* 365, 76. DOI: 10.1126/science.aax0848.
- Bowditch, E., Santopuoli, G., Binder, F., del Río, M., La Porta, N., Kluvankova, T., Lesinski, J., Motta, R., Pach, M., Panzacchi, P., Pretzsch, H., Temperli, C., Tonon, G., Smith, M., Velikova, V., Weatherall, A. and Tognetti, R. 2020. What is Climate-Smart Forestry? A definition from a multinational collaborative process focused on mountain regions of Europe. *Ecosystem Services* 43, 101113. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101113>.
- European Forest Institute, 2016. EFISCEN: European Forest Information SCENario model, version 4.2. European Forest Institute, Joensuu, Finland. <http://efiscen.efi.int>.
- Global Wood Markets Info, 2020. <https://www.globalwoodmarketsinfo.com/crisis-russian-forest-industry-due-abnormally-warm-weather/>
- Government of the Republic of Mari El, 2018. Strategiya socialno-ekonomicheskogo razvitiya Respubliki Mari El na period do 2030 goda [Strategy for the socio-economic development of the Mari El Republic for the period until 2030] <http://mari-el.gov.ru/strategy/DocLib5/171003072020.pdf>
- Griscom, B.W., Adams, J., Ellis, P.W., Houghton, R.A., Lomax, G., Miteva, D.A., Schlesinger, W.H., Shoch, D., Siikamäki, J.V., Smith, P., Woodbury, P., Zganjar, C., Blackman, A., Campari, J., Conant, R.T., Delgado, C., Elias, P., Gopalakrishna, T., Hamsik, M.R., Herrero, M., Kiesecker, J., Landis, E., Laestadius, L., Leavitt, S.M., Minnemeyer, S., Polasky, S., Potapov, P., Putz, F.E., Sanderman, J., Silvius, M., Wollenberg, E. and Fargione, J. 2017. Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114, 11645–11650. DOI: 10.1073/pnas.1710465114.
- Gromtsev, A. N., Kuznetsov, O. L. and Shkiperova, G. T. 2019. State report on the environment of the Republic of Karelia in 2018. Ministry of natural resources and ecology of the Republic of Karelia, Petrozavodsk. 314 p. <https://minprirody.karelia.ru/assets/page-files/1/81/Gosdoklad-2018.pdf>

- Hansen, M.C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S.A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S.V., Goetz, S.J., Loveland, T.R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C.O. and Townshend, J.R.G. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* 342, 850-853.
- IPCC, 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. IPCC national greenhouse gas inventories programme. In: Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Wagner, F. (Eds.). Institute for Global Environmental strategies for the IPCC, Hayama, Kanagawa.
- IPCC, 2014. 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol. In: Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., Troxler, T.G. (Eds.). IPCC, Switzerland.
- Kazimirov N.I., Liadinskii A.G., Presnuhin Iu.V., Gorbunova T.M., Dmitrieva I.A. 1990. Productivity of pine stands by forest type (environmental standards). Scientific recommendation. Petrozavodsk. <http://elibrary.krc.karelia.ru/767/>.
- Kazimirov N.I., Presnuhin Iu.V., Erofeevskaia S.L., Zhivotovskii V.V., Gorbunova T.M., Kostin N.V. 1991. Productivity of spruce stands by forest type (environmental standards). Scientific recommendation. Petrozavodsk. <http://elibrary.krc.karelia.ru/768/>.
- Krankina O.N., Harmon M.E. 1995. Dynamics of the dead wood carbon pool in northwestern Russian boreal forests. *Water, Air, and Soil Pollution* 82 (1-2), 227-238. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01182836>
- Leskinen, P., Cardellini, G., González-García, S., Hurmekoski, E., Sathre, R., Seppälä, J., Smyth, C., Stern, T. and Verkerk, P.J., 2018. Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation. From Science to Policy 7. European Forest Institute.
- Ministry of Natural Resources, Ecology and Environmental Protection of the Republic of Mari El, 2018. Lesnoj plan Respubliki Mari El na 2019-2028 [Forest Plan of the Republic of Mari El for 2019-2028] <http://docs.cntd.ru/document/553107163>
- Ministry of Ecology and Environmental Management of the Krasnoyarsk Krai, 2017. Gosudarstvenny doklad O sostoyanii i okhrane okruzhayushej sredy v Krasnoyarskom krae v 2017 godu [State report about environmental condition and protection in the Krasnoyarsk Krai in 2017]. <http://mpr.krskstate.ru/dat/File/3/doklad%202017..pdf>.
- Ministry of Forestry of the Krasnoyarsk Krai, 2018a. Lesnoj plan Krasnoyarskogo kraya, 2018 god [Forest Plan of the Krasnoyarsk Krai 2018]. http://mlx.krskstate.ru/dat/File/57/proekt_les_plan/Lesnoj%20plan%2026.11.2018.zip
- Ministry of Forestry of the Krasnoyarsk Krai, 2018b. Lesnye reglamenti lesnichestv, 2018 [Forestry regulations of local division of forestry by 2018] Includes those for Angara macro-district: Boguchansky, Gremuchinsky, Manzensky Nevonsky, Teryansky, Khrebtovsky, Khrebtovsky, Chunksky, Yeniseisky, NijneYeniseysky, Kazachinsky, Kodinsky, Motyginysky, Pirovsky, Taejinsky, SeveroYeniseisky) <http://www.krskstate.ru/docs>
- Ministry of Forestry of the Krasnoyarsk Krai, 2020. Strategia razvitiya lesnogo kompleksa Krasnoyarskogo kraya do 2030 goda [Strategy for the Development of the Forestry Complex of the Krasnoyarsk krai until 2030] <http://docs.cntd.ru/document/570796302>
- Ministry of Natural Resources and Environment of the Republic of Karelia (2018). Forest plan for the Republic of Karelia: 2019-2028. Approved by order of head of the Republic of Karelia dated December 24, 2018 No. 731-r. 222 p.
- Nabuurs, G.-J., Delacote, P., Ellison, D., Hanewinkel, M., Hetemäki, L., Lindner, M. and Ollikainen, M. 2017. By 2050 the Mitigation Effects of EU Forests Could Nearly Double through Climate Smart Forestry. *Forests* 8, 484.
- Nabuurs, G.J., Verkerk, P.J., Schelhaas, M.J., González Olabarria, J.R., Trasobares, A. and Cienciala, E. 2018. Climate-Smart Forestry: mitigation impacts in three European regions. From Science to Policy 6. European Forest Institute.
- Niskanen, A., Filiushkina, G. and Saramäki, K. (Eds.). Economic accessibility of forest resources in NorthWest Russia. EFI proceedings 48. European Forest Institute, Joensuu.
- Obersteiner, M. 1999. Carbon Budget of the Forest Industry of the Russian Federation: 1928-2012. IIASA Interim report IR-99-033.
- Pisarenko, A.I., Strakhov, V.V., Päivinen, R., Kuusela, K., Dyakun, F.A. and Sdobnova, V.V. 2000. Development of Forest Resources in the European Part of the Russian Federation. EFI Research Report 11. Brill: Leiden, Boston, Köln.

- Rytter, L., Ingerslev, M., Kilpeläinen, A., Torssonen, P., Lazdina, D., Löf, M., Madsen, P., Muiste, P. and Stener, L.-G. 2016. Increased forest biomass production in the Nordic and Baltic countries – a review on current and future opportunities. *Silva Fennica* 50, 33 pp.
- Sallnäs, O., 1990. A matrix model of the Swedish forest. *Studia Forestalia Suecica* 183, 23.
- Schepaschenko, D., Moltchanova, E., Shvidenko, A., Blyshchyk, V., Dmitriev, E., Martynenko, O., See, L. and Kraxner, F. 2018. Improved Estimates of Biomass Expansion Factors for Russian Forests. *Forests* 9, 312.
- Shen, L., Worrell, E. and Patel, M.K. 2010. Environmental impact assessment of man-made cellulose fibres. *Resources, Conservation and Recycling* 55, 260–274.
- Shvidenko, A., Schepaschenko, D., Nilsson, S. and Buluy, Y.I. 2008. *Tablitzы i modeli khoda rosta i produktivnosti nasazhdeniy osnovnykh lesoobrazuyuschikh porod Severnoy Evrazii (normativno-spravochnye materialy [Tables and models of growth and productivity of forests of major forest forming species of Northern Eurasia (standard and reference materials)]*. Second edition, supplemented. Federal Agency of Forest Management. Moscow, Russia. http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest_cdrom/Articles/THR.pdf
- UNECE-FAO, 2000. Forest Resources of Europe, CIS, North America, Australia, Japan and New Zealand. Contribution to the Global Forest Resources Assessment 2000. UN, New York and Geneva.
- Verkerk, P.J., Schelhaas, M.J., Immonen, V., Hengeveld, G., Kiljunen, J., Lindner, M., Nabuurs, G.J., Suominen and T., Zudin, S. 2017. Manual for the European Forest Information Scenario model (EFISCEN 4.1). EFI Technical Report 99. European Forest Institute.
- Zagreev, V.V., Suchich, V.I., Shvidenko, A.Z., Gusev, N.N. and Moshkalev, A.G. 1992. *Obshhesojuznye normativy dlja taksacii lesov: Spravochnik (All-Union regulations for forest taxation: a Handbook)*. Kolos, Moscow, 495 pp.

Роль биоэкономики в смягчении последствий изменения климата в России

Пекка Лескинен, Йо ван Брусселен, Мариана Хассегава,
Александр Алексеев, Наталья Лукина, Ольга Ракитова, Георгий
Сафонов, Елена Куликова и Михаил Сафонов

6.1 Введение

Как обсуждалось в предыдущих главах, российские леса являются крупным хранилищем и поглотителем углерода. Кроме того, есть целый ряд способов, с помощью которых продукция на основе древесины может способствовать сокращению нетто-эмиссий углерода. Во-первых, это сохранение углерода в материалах из древесины. Чем долговечнее материалы, тем дольше они сохраняют углерод. Во-вторых, сокращению нетто-эмиссий углерода может быть достигнуто путем замещения невозобновляемых ископаемых материалов возобновляемыми биоматериалами, в т.ч. на основе древесины. Эти составляющие отражают потенциальные выгоды от снижения эмиссий углерода в течение жизненного цикла различных продуктов и производственных систем.

В последующих разделах будут представлены политические предпосылки и современное определение концепции биоэкономики в России, потенциальный вклад устойчивой биоэкономики в достижение целей Парижского соглашения и возможности сокращения выбросов углерода, которые могут быть достигнуты за счет расширения масштабов биоиндустрии в России.

Концепция биоэкономики в России

С 2010 года в России продвигается развитие биотехнологий и некоторых аспектов биоэкономики (Osmakova et al., 2017) — концепции, которая в настоящее время в России в основном ассоциируется с биотехнологиями. Для модернизации экономики страны была разработана Государственная программа развития биотехнологий (БИО-2020), поскольку Россия отставала в развитии и реализации этого направления (Government of the Russian Federation, 2012). В то время доля рынка биотехнологической продукции составляла менее 0,1 %, а доля биоразлагаемых материалов и биотоплива была незначительной (Vassilieva, 2012). Чтобы способствовать развитию биотехнологии в разных областях, программа БИО-2020 установила целевые показатели, которые должны быть достигнуты к 2020 году. В рамках программы, технологические платформы объединили государственные, частные, научные и гражданские институты для сотрудничества в области инноваций. Из первых 25 утвержденных российских технологических платформ целый ряд может быть отнесен к лесной биоэкономике, например биоэнергетическая платформа и российская лесная технологическая платформа (Ministry of Economic Development, 2011). Технологическая платформа «Биоиндустрия и биоресурсы» (BioTech2030) была создана для реализации научно-технической и инновационной политики, направленной на стимулирование развития биоиндустрии. Ожидаемыми результатами этих усилий было увеличение доли биотехнологического сектора в ВВП до уровня около 1 % ВВП к 2020 году и ее увеличение по крайней мере до 3 % ВВП к 2030 году (Burghardt et al., 2015). Кроме того, Научный совет по лесу Российской академии наук недавно разработал Концепцию лесной биоэкономики замкнутого цикла в России (подробнее см. Lukina, 2020).

Связь между биоэкономикой и смягчением последствий изменения климата

6.3.1 Парижское соглашение как стимул для развития российской биоэкономики

Цели адаптации к изменению климата и смягчения его последствий были приняты Россией в ряде политических обязательств высокого уровня, включая принятие Парижского соглашения по климату в сентябре 2019 года.⁴ Парижское соглашение РКИК ООН активизировало широкие дискуссии о возможностях глубокой декарбонизации мировой экономики. Термин «декарбонизация» означает сокращение нетто-эмиссий углерода, обеспечивающее баланс между факторами его накопления и изъятия. Недавние исследования в области экономического моделирования (SDSN-IDDRI, 2014) подтвердили, что значительное сокращение выбросов углерода возможно во всех крупнейших экономиках.

В то время как российская экономика в значительной мере зависит от ископаемого топлива, существует большой неиспользованный потенциал для повышения энергоэффективности и перехода на источники энергии с низким или нейтральным уровнем выбросов. Леса рассматриваются как одно из ключевых решений для России по сокращению выбросов углекислого газа более чем на 80 % к 2050 году (SDSN-IDDRI, 2014).

Для поддержки амбициозной политики смягчения последствий изменения климата в отношении российских лесов важны две основные цели:

- 1) Увеличить поглощение углерода лесными экосистемами (подробнее см. главу 2.4.5).
- 2) Увеличить потребление биотоплива, использование строительных материалов из древесины и других биопродуктов, которые могли бы заместить ископаемое топливо и углеродоемкие материалы.

Увеличение затрат на углеродные кредиты и изъятие инвестиций из углеродоемких секторов еще больше стимулирует достижение последней из указанных целей. В среднем за 2019 год цены на углерод в системе торговли выбросами ЕС составляли около 25 евро/т в экв. CO₂ (27 долларов США/т в экв. CO₂), в калифорнийской программе компенсации соответствия требованиям — выше 14 долларов США/т CO₂ и в Южной Корее — около 33 долларов США за тонну эквивалента CO₂ (World Bank, 2020). Ожидается, что со временем цены на углеродные кредиты значительно возрастут, что снизит конкурентоспособность — и привлекательность для инвесторов и потребителей — углеродоемких секторов. К 2019 году уже 11 триллионов

⁴ Другие обязательства высокого уровня включают: Климатическую доктрину Российской Федерации (Government of the Russian Federation, 2009); Указ Президента Российской Федерации о сокращении выбросов парниковых газов (Government of the Russian Federation, 2013) и план его реализации (Government of the Russian Federation, 2014); Национальный план адаптации (2019) и другие отраслевые и промышленные планы и программы

долларов США были направлены на вывод средств из компаний, работающих на ископаемом топливе, по всему миру (350.org, 2019). Продажа активов стала реальностью и в России после того, как шведские и норвежские пенсионные фонды продали свои акции Газпрома и Татнефти в 2018–2019 гг. Поэтому низкоуглеродные альтернативы, связанные с секвестрацией углерода в лесах и развитием биоэкономики, должны быть привлекательными для России.

6.3.2 Контекст национальной энергетической политики

Национальный целевой показатель в отношении выбросов парниковых газов в настоящее время определяется как 70–75 % от уровня 1990 года к 2030 году. Долгосрочные цели пока официально не определены, хотя стратегия низкоуглеродного развития, разработанная Минэкономразвития (в марте 2020 года), предполагает аналогичные уровни к 2050 году.

Энергетическая стратегия России на период до 2035 года (Government, 2020) была принята правительством в июне 2020 года. Энергетическая стратегия предусматривает стабильный сегмент рынка в 19 млн тонн в год для таких видов топлива, как торф и дрова, до 2035 года. Это будет представлять собой предельную долю – максимум в 3 % в год от общего объема первичной энергии к 2035 году. Политические приоритеты четко определены в пользу ископаемых видов топлива (нефть, газ, уголь), атомных и крупных гидроэлектростанций, в то время как биологические возобновляемые источники энергии, по прогнозам, будут играть ограниченную роль в текущей рамочной концепции. В то же время доктрина энергетической безопасности Российской Федерации (2019) рассматривает в качестве приоритетного вызова национальной энергетической безопасности «расширение доли возобновляемых источников энергии в мировом энергетическом балансе» (ст. 9е), а также «международные усилия по реализации климатической политики и быстрому переходу к зеленой экономике» (ст. 10).

В отсутствие ощутимых действий и достаточных бюджетов на национальном уровне региональная и местная политика и программы играют более важную роль в признании и продвижении потенциала инициатив в области устойчивой энергетики и адаптации новых тенденций и размещении новых разработок в рамках существующих экономических структур (Pristupa et al., 2015).

6.3.3 Целевые показатели выбросов парниковых газов

За период 1990–2017 гг. выбросы парниковых газов в России сократились на 49 % — с 3,1 до 1,6 млрд тонн в CO_2 -эквиваленте. На это главным образом повлияло снижение промышленной активности после распада СССР в 1991 году. Общий объем выбросов в энергетике и промышленности сократился на 50 %, в сельском хозяйстве — на 54 %, а поглощение углерода в секторе «землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство» (ЗИЗЛХ) увеличилось почти в шесть раз (рис. 40). Однако внутреннее потребление энергии по-прежнему в основном базируется на ископаемом топливе (52 % от общего спроса на энергию приходится на природный газ, 12 % — на уголь и 35 % — на нефть). Суммарная доля возобновляемых источников энергии составляет менее 1 % от общего объема первичной энергии.

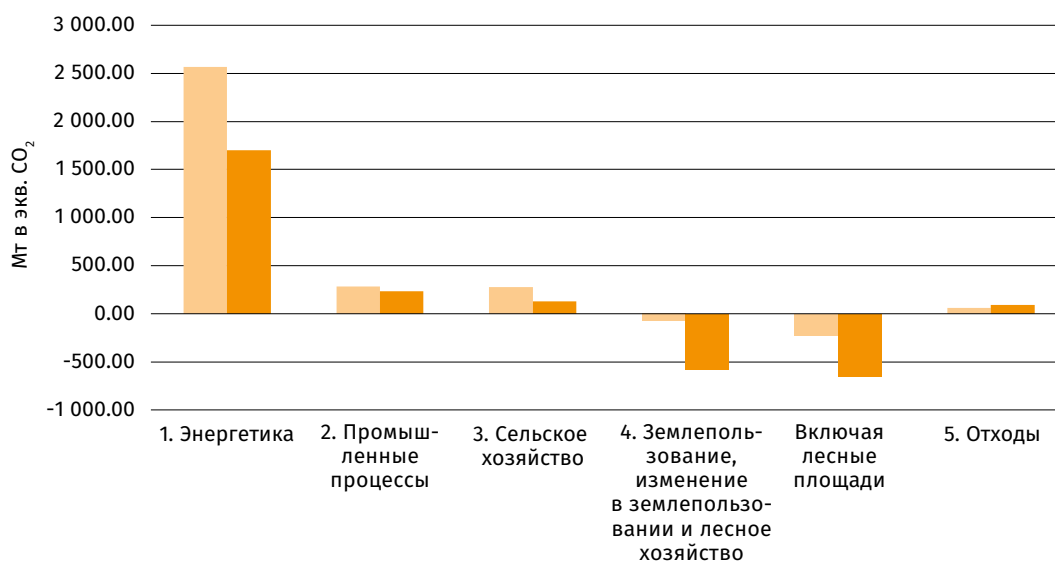


Рисунок 40. Динамика выбросов парниковых газов в России за период 1990–2017 гг. (Мт в экв. CO₂)
 Источник: Документы российского Национального доклада об учете парниковых газов (United Nations Climate Change, 2019) <https://unfccc.int/documents/194822>

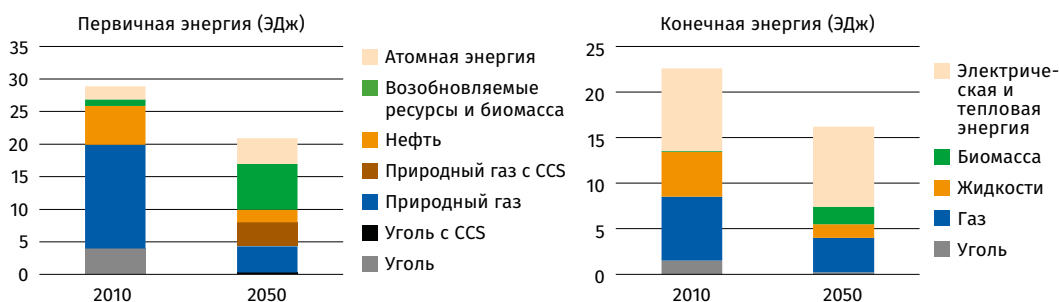


Рисунок 41. Прогнозируемый общий объем первичного энергоснабжения («первичной энергии») и конечного энергопотребления («конечной энергии») в России по сценарию глубокой декарбонизации на период 2010–2050 гг. Один эксаджоуль (ЭДж) равен 1018 джоулям. Источник: SDSN-IDDRI (2014)

6.3.4 Сценарии глубокого сокращения выбросов парниковых газов к 2050 году

Сценарии глубокого сокращения выбросов парниковых газов в российской экономике были проанализированы с использованием модели TIMES-Россия⁵ (SDSN-IDDRI, 2014) на основе показателей социально-экономического развития из официальных стратегий (Ministry of Economic Development of the Russian Federation, 2008), отчетов международных организаций и отраслевых экспертных оценок⁶. Центральным сценарием глубокой декарбонизации (Deep Decarbonization - DD), направленный на 85 % сокращение выбросов CO₂ в российской энергетике в течение 2010–2050 гг., был

⁵ TIMES — это модель частичного равновесия для репрезентативной энергетической системы, разработанная программой ETSAP Международного энергетического агентства. <https://iea-etsap.org/index.php/etsap-tools/model-generators/times>

⁶ См., например, WB/IFC (2014) Energy Efficiency in Russia: Untapped Reserves. <http://documents.worldbank.org/curated/en/750871468307169609/Energy-efficiency-in-Russia-untapped-reserves>

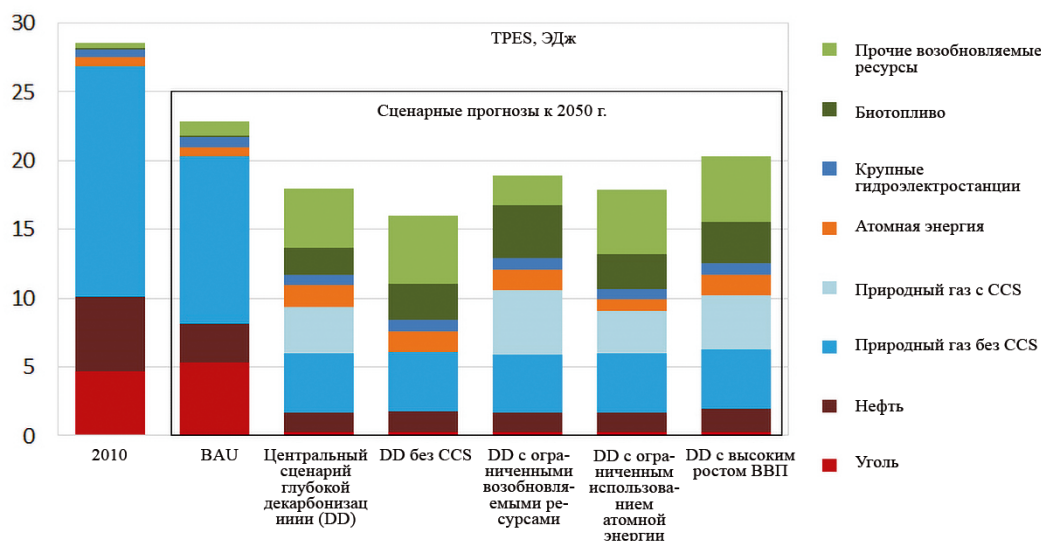


Рисунок 42. Совокупное первичное энергоснабжение (TPES) в альтернативных сценариях глубокой декарбонизации (DD) в России к 2050 году. Источник: Safonov et al., 2016

смоделирован с учетом цели Парижского соглашения по удержанию прироста глобальной средней температуры ниже 2°C сверх доиндустриальных уровней. Такое амбициозное сокращение выбросов парниковых газов может быть достигнуто, если к 2050 году общее первичное энергоснабжение сократится на 27% при значительных изменениях в структуре производства энергии и ее конечного потребления (рис.41).

Однако предположения о наличии коммерчески доступных технологий улавливания и хранения углерода в России к 2050 году, рост производства атомной энергии, рост ВВП и некоторые другие факторы могут существенно варьировать. Было смоделировано несколько альтернативных сценариев глубокой декарбонизации с общей целью сокращения выбросов на 85% к 2050 году, в то время как общее первичное энергоснабжение варьируется в зависимости от допущений сценария (рис.42).

В сценариях глубокой декарбонизации потребление жидкого топлива для транспорта, как ожидается, снизится в течение 2010-2050 годов, а доля жидкого биотоплива, как ожидается, существенно возрастет — почти с нуля в 2010—2020 гг. до 1 ЭДж/год (или 24 Мт/год) в 2050 году (рис. 42). Этот объем жидкого биотоплива может быть получен из древесной биомассы в качестве биотоплива второго поколения (с использованием экспериментальных технологий, описанных в следующей главе), а также из биомассы сельскохозяйственных культур.

Прогнозируемое потребление биотоплива во всех сценариях глубокой декарбонизации находится в диапазоне 3–7 ЭДж / год (или 72–167 Мт/год). Это количество биотоплива может быть получено из лесного сектора (древесные отходы, низкосортная древесина, древесные пеллеты и т. д.) и сельскохозяйственного сектора (органическая биомасса, отходы, остатки и т. д.). Исходя из теплотворной способности, объемы биотоплива, необходимые для глубокой декарбонизации, могут быть эквивалентны 100–200 млн тонн древесной биомассы в год.

Потенциальные последствия развития ориентированных на биоэкономику отраслей промышленности могли бы быть более широко рассмотрены в будущих оценках единой системы моделирования, которая также рассматривала бы последствия замещения ископаемых ресурсов (будь то нефть, уголь, газ, цемент) материалами на био-основе, например, в в области строительства, производства текстиля, пластмасс и др.

Состояние лесной промышленности России и потенциал биоэкономики

6.4.1 Производство

Доминирующими направлениями российской лесной промышленности являются лесозаготовка, целлюлозно-бумажная промышленность, производство пиломатериалов, древесных плит, фанеры, мебели, биотоплива, деревянное домостроение и лесная химия (производство канифоли, таллового масла и др.) (Government, 2018). Общая выручка лесной отрасли России в 2016 году составила почти 20 млрд долларов США, доля в ВВП составила 0,5 %, доля в промышленном производстве — около 4 %, а в экспорте — 2,4 %, численность занятых — 500 тыс. человек (0,8 % от занятых в экономике) (Government, 2018).

В настоящее время вклад лесного сектора в российскую экономику значительно ниже расчетного потенциала. Такая ситуация является результатом ориентации отечественных производителей в основном на низкомаржинальные сегменты — круглые лесоматериалы, пиломатериалы и фанеру (рис. 43), а также недостаточного использования экспортного потенциала (Government, 2018). Лесной сектор испытывает ряд проблем, таких как нехватка квалифицированных рабочих из-за низкой заработной платы в секторе, отсутствие законодательных механизмов стимулирования строительства и эксплуатации лесных дорог, низкая инвестиционная привлекательность новых отраслей переработки древесины и слабая консолидация лесозаготовительной отрасли (Ernst & Young, 2018). Однако после коллапса в 1990-х гг. объем выпуска основных видов лесной продукции неуклонно рос по большинству показателей.

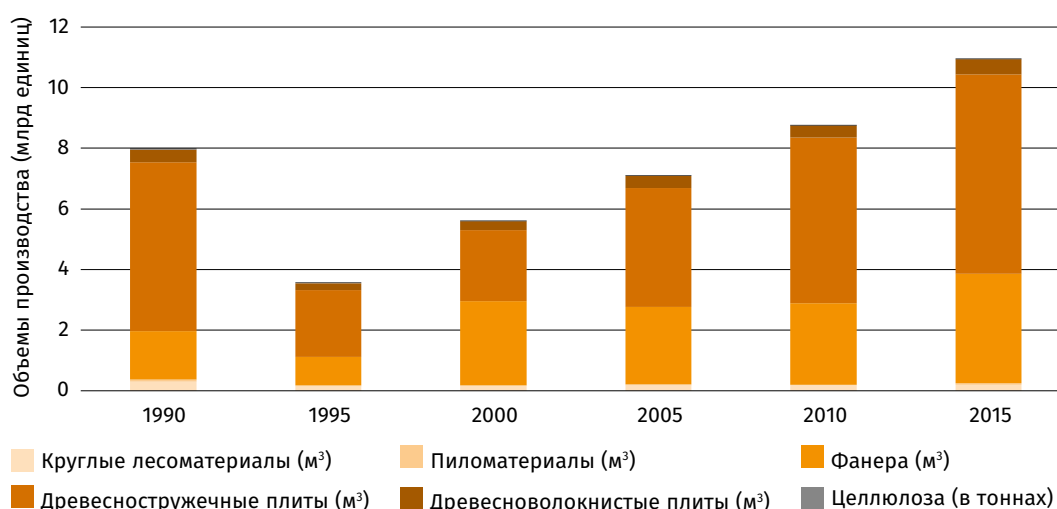


Рисунок 43. Основные виды лесоматериалов в Российской Федерации, 1990–2015. Источник: Government, 2018; FAO, 2012; IndexBox, 2016.

Внутренний спрос на многие виды лесной продукции сдерживается относительно низкими доходами и низкой покупательной способностью населения в целом, особенно в сельских районах (FAO, 2012). Таким образом, российский внутренний рынок мог бы стать хорошей отправной точкой для российских производителей, но он значительно меньше рынков ЕС, Китая и США, и даже с учетом перспектив его роста он недостаточен для создания новых высокотехнологичных производств (Government, 2018). Однако недавний опрос Ernst & Young (2018), основанный на мнении деловых кругов, выявил следующие наиболее перспективные сегменты отрасли в России: пиломатериалы, пеллеты, санитарно-гигиеническая бумага, упаковочные материалы (бумага/картон), древесностружечные плиты, древесноволокнистые плиты средней плотности, древесноволокнистые плиты высокой плотности и фанера.

Перспектива развития лесного сектора сегодня занимает важное место в повестке дня государства, и в соответствии со Стратегией развития лесного комплекса России до 2030 года (Government, 2018) планируется значительно увеличить его вклад в экономику страны. Стратегия не затрагивает вопросы развития биотехнологии или биоэкономики, это увеличение будет происходить главным образом за счет развития более традиционных направлений и продуктов, включая целлюлозу, картон, средства гигиены, пиломатериалы, деревянные панели, мебель и деревянное домостроение.

6.4.2 Торговля

В 2019 году Россия экспортировала лесоматериалы⁷ на общую сумму 12,8 млрд долларов США (trademap.org, 2020). Торговый баланс был явно положительным и составил 9,2 млрд долларов США. В первую тройку экспортируемых товаров (в стоимостном выражении) вошли пиломатериалы⁸ (4,5 млрд долларов США), фанера⁹ (1,1 млрд долларов США) и необработанные лесоматериалы¹⁰ (1,1 млрд долларов США). Основным торговым партнером в сегменте пиломатериалов был Китай, доля которого в стоимостном объеме российского экспорта составляет 56 %. Тримя основными торговыми партнерами в сегменте фанеры были США, Египет и Германия, их доли в стоимости российского экспорта составили 14 %, 12 % и 10 % соответственно. Тримя основными торговыми партнерами в сегменте необработанной древесины были Китай, Финляндия и Швеция, их доли в стоимости российского экспорта этого вида товара составила 70 %, 22 % и 2 % соответственно.

⁷ Включает товары, включенные в торговую классификацию Гармонизированной системы, см. главы 44, 47, 48 и 49.

⁸ Здесь «пиломатериалы» включают товары категории 4407 Гармонизированной системы: «древесина, пиленая или колотая по длине, нарезанная или очищенная, строганная, шлифованная или с торцевыми соединениями, толщиной более 6 мм».

⁹ Здесь «фанера» включает товары категории 4412 Гармонизированной системы: «фанера, шпонируемые панели и аналогичный ламинат».

¹⁰ Здесь «необработанные лесоматериалы» включают товары категории 4403 Гармонизированной системы: «необработанные лесоматериалы очищенные или неочищенные от коры или заболони или грубой квадратной формы».

Отраслевое развитие и перспективы лесной биоэкономики

В следующих разделах представлены идеи о возможностях развития продукции и рынков для ключевых производственных сегментов лесного сектора России с точки зрения формирующейся лесной биоэкономики. Рассматриваются политические стимулирующие факторы, текущая отраслевая ситуация и перспективы развития. Кроме того, чтобы проиллюстрировать потенциал смягчения последствий изменения климата в двух ключевых сегментах — деревянном домостроении и производстве текстиля на основе древесины, мы привели гипотетические примеры расчетов, которые учитывают так называемое «замещение» (или факторы замещения) на уровне определенного продукта и показывают потенциальные объемы, которых могла бы достичь продукция из этих двух сегментов.

6.5.1 Биоэнергетика

Доля биомассы в производстве энергии в России

В настоящее время основным видом топлива в российской энергетике является газ — на его долю приходится 74 % общего объема производства энергии. Доля твердого топлива составляет 21,5 % (в основном это уголь, а доля древесины и торфа составляет 1–1,6 %). Количество твердотопливных котельных в России ежегодно сокращается на 3–4 %, а количество газовых — ежегодно увеличивается на 4 %. Количество мазутных котельных ежегодно уменьшается на 11–12 % в связи с переходом на другие виды топлива. В то время как газ кажется предпочтительным заменителем мазута, по крайней мере половину объема нефти можно заместить также биомассой — например, пеллетами. В России в настоящее время годовое производство пеллет составляет 1,6–1,9 млн т, брикетов 0,2–0,3 млн т, щепы 1,1 млн т (Rosstat, 2019). Ожидается, что эти показатели будут удваиваться каждые десять лет (Rakitova, 2020).

В целом Россия обладает относительно ограниченными возможностями в области биоэнергетики, за исключением некоторых регионов и городов, например, Архангельска, Ярославля и Томска. На рис. 44 показано использование биоэнергии в различных регионах России, наиболее развитое в северо-западных и центральных регионах. В некоторых регионах также реализуются биогазовые проекты и используются пеллетные котельные. Подобная практика также развивается в регионах Сибири и Дальнего Востока, но они уступают по количеству котельных и мощности.

Твердое биотопливо: пеллеты, брикеты, древесная щепа и биоуголь

Пеллеты производятся в России с 2000 года благодаря спросу со стороны Швеции и Дании. Данные Росстата показывают, что российское производство пеллет продолжает расти приблизительно на 5 % в год, в то же время внутреннее потребление остается ограниченным. Производимые пеллеты экспортируются в Европу (90 %) и в Южную Корею (10 %) (trademap.org, 2020). Ожидается, что экспорт пеллет увеличится, что окажет давление на доступность пеллет на внутреннем рынке.

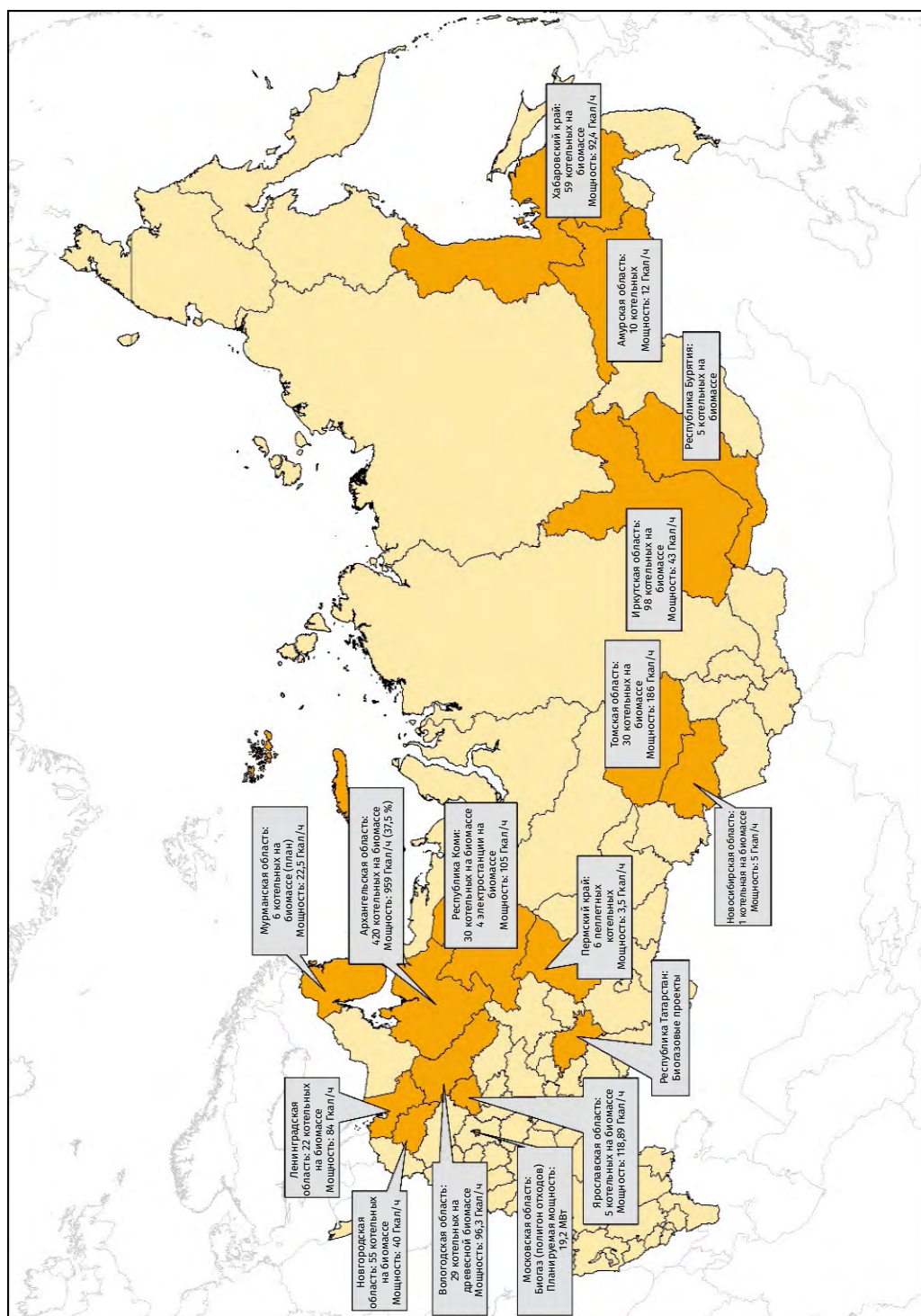


Рисунок 44. Использование биоэнергетики в различных регионах России — по результатам опроса, проведенного в рамках проекта Riforclim. Количество котельных на биомассе колеблется от 5 до 420, а их мощность — от 3,5 до 959 Гкал/ч. Наиболее развитыми регионами в этом отношении являются Архангельская область и Республика Коми.

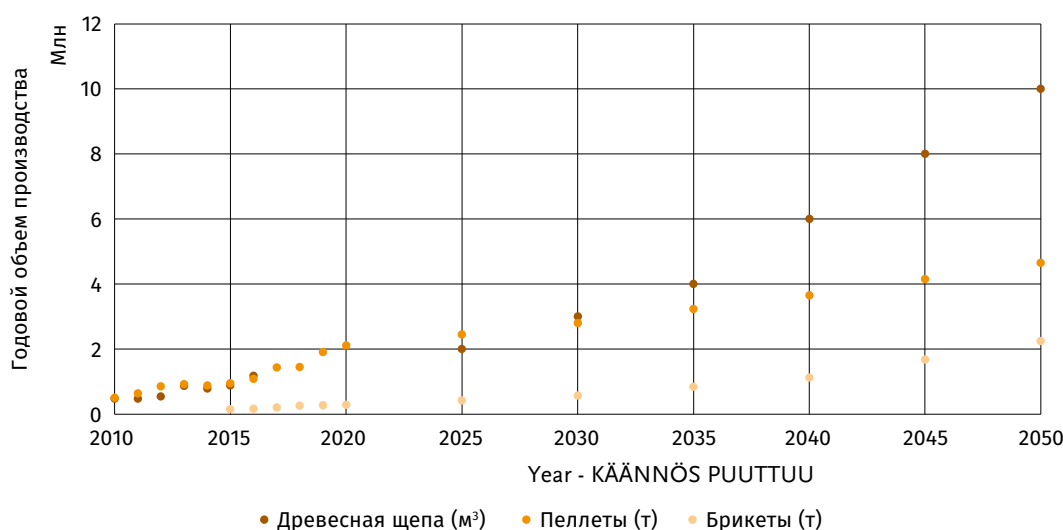


Рисунок 45. Производство древесной щепы, пеллет и брикетов в России (Rosstat, 2019; The Bioenergy International, 2019; Nikolskaya, 2016 и экспертная оценка). Данные, начиная с 2019 года, являются прогнозом.

Производство брикетов из древесных отходов растет в регионах, где местные власти штрафуют компании, оставляющие древесные отходы необработанными (Рисунок 45).

Производство древесной щепы зависит от ряда факторов, таких как способ лесозаготовки или, например, российское законодательство, согласно которому при очистке лесосек компании должны сжигать порубочные остатки. Согласно оценкам, производство топливной щепы в России удваивается каждые 10 лет (см. рис. 45).

Несколько российских компаний разработали технологию промышленного производства древесного угля из отходов древесины и других органических материалов. Его можно использовать в качестве замены ископаемого угля в существующих угольных котельных и на электростанциях без каких-либо технологических изменений. Его теплотворная способность сопоставима с ископаемым углем. Спрос на древесный уголь в Европе, особенно в Польше, высок из-за высоких затрат на модернизацию и проекты по замещению топлива на существующих электростанциях, работающих на ископаемом угле.

Жидкое биотопливо второго поколения

Существуют различные технологии получения жидкого топлива из альтернативного сырья, включая биомассу. Самый известный процесс — синтез Фишера-Тропша. Кроме того, имеется отечественное ноу-хау для производства жидкого биотоплива (например, образец Центра «Цеосит» Сибирского отделения Российской академии наук).

Производство биобензина и местные затраты на него оцениваются в 30–40 % от текущей цены обычного бензина в России. Пилотный проект, инициированный в Алтайском крае, предполагает переработку 450 000 т древесной биомассы для производства 70 000 т жидкого биотоплива¹¹. При реализации таких проектов остается еще много проблем, связанных с высокими капитальными затратами, поставками сырья (древесных отходов), правовым статусом налога на добавленную стоимость топлива, отсутствием поощрения за производство биотоплива и т. д. Однако в перспективе такие технологии могут способствовать сокращению выбросов парниковых газов.

¹¹ Сметы из проектной документации компании «АлтайАгромаш».

6.5.2 Жилищное строительство и перспективы деревянного домостроения

Развитие жилищного строительства

Правительство России принимает ряд мер по увеличению объемов строительства, например, государственного социального жилищного строительства в соответствии с национальным проектом «Жилье и городская среда» (Government, 2019), путем развития инфраструктуры земельных участков и осуществления ряда социально-экономических мер. Еще один важный документ — «Стратегия развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года» (Government, 2016) — поддерживает развитие производства строительных материалов.

Ежегодно устаревает около 20 млн м² жилья, а более 250 млн м² требуют замены или капитального ремонта. За счет господдержки ежегодно вводятся в эксплуатацию 40–45 млн м², в которых доля деревянного домостроения не превышает 20 % (JBI, 2020). В 2018 году общий объем жилищного строительства составил 75,7 млн м², из которых 42,9 % было профинансировано физическими лицами (Federal State Statistics Service, 2019). Более 80 % жилищного строительства приходилось на европейскую часть Российской Федерации.

Годовая динамика жилищного строительства малоэтажных и высотных зданий показана на рис. 7. В настоящее время чуть менее половины жилого строительства в России приходится на малоэтажные здания.

Прогнозы в сфере жилищного строительства

По данным «Прогноза развития лесного сектора Российской Федерации до 2030 года» (FAO, 2012), общий объем жилищного строительства в России к 2030 году может составить 170 млн м², или более 1 м² на человека (см. в таблице 8), что соответствует показателям развитых европейских стран. Доля малоэтажных деревянных домов к 2030 году составит около 41 % от общего объема жилищного строительства.

Деревянное домостроение в России

Деревянное домостроение в России характеризуется низкими объемами. Доля зданий с деревянными стенами составляет около 10 % от общего числа (Federal State Statistic Service, 2019). Как показано в таблице 47, производство сборных деревянных зданий в России демонстрировало устойчивый рост в 2005–2011 гг. и более медленный рост вплоть до 2017 г.

Прогнозы в сфере деревянного домостроения

В таблице 8 представлены четыре возможных сценария развития деревянного домостроения в России. В первом и втором сценариях доля деревянного домостроения в общем объеме жилищного строительства приводится на основании данных из таблицы 9. Первый сценарий — это экстраполяция тенденции роста с 2030 на 2050 год, представленной в «Прогнозе развития лесного сектора Российской Федерации» (FAO, 2012). Во втором сценарии предполагается, что темпы роста будут составлять 5 % после уровня 2030 года, указанного в том же прогнозе развития. В третьем сценарии предполагались те же темпы роста (5 %), что и во втором сценарии, но только в отношении сборных деревянных домов (см. рис. 47).

Прогнозы, представленные в таблице 9 на 2050 год, сильно варьируются по размерам жилой площади — от 36,1 до 183 млн м²/год. Такой большой разброс свидетельствует о том, что деревянное домостроение переживает переломный момент и может продемонстрировать быстрый рост в перспективе.

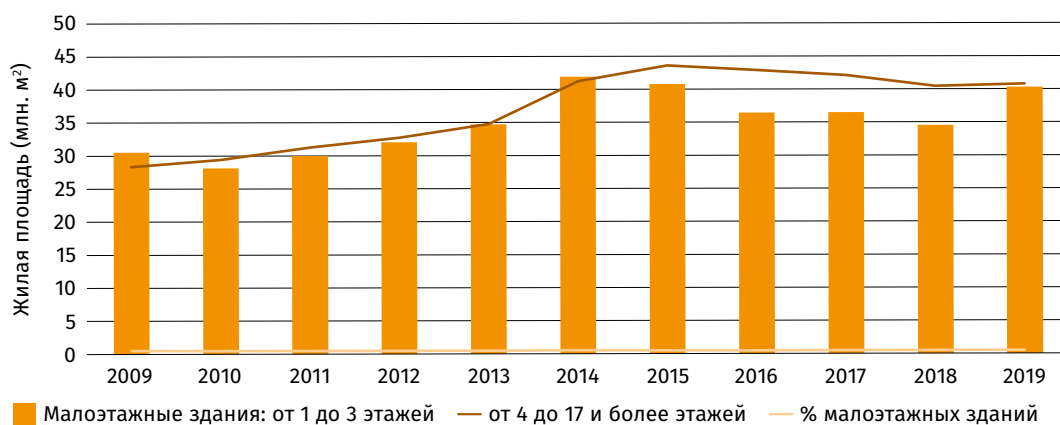


Рисунок 46. Жилищное строительство по этажности. Источник: Federal State Statistic Service, 2019.

Таблица 8. Жилищное строительство в России, прогноз. Источник: FAO, 2012.

	2010	2015	2020	2025	2030
Жилищное строительство в целом (млн м²)	58,4	90,3	120,0	145,0	170,0
Малоэтажные здания (млн м²)	25,5	47,0	85,5	95,0	105,0
Малоэтажные деревянные здания (млн м²)	8,0	17,8	32,8	50,0	69,0

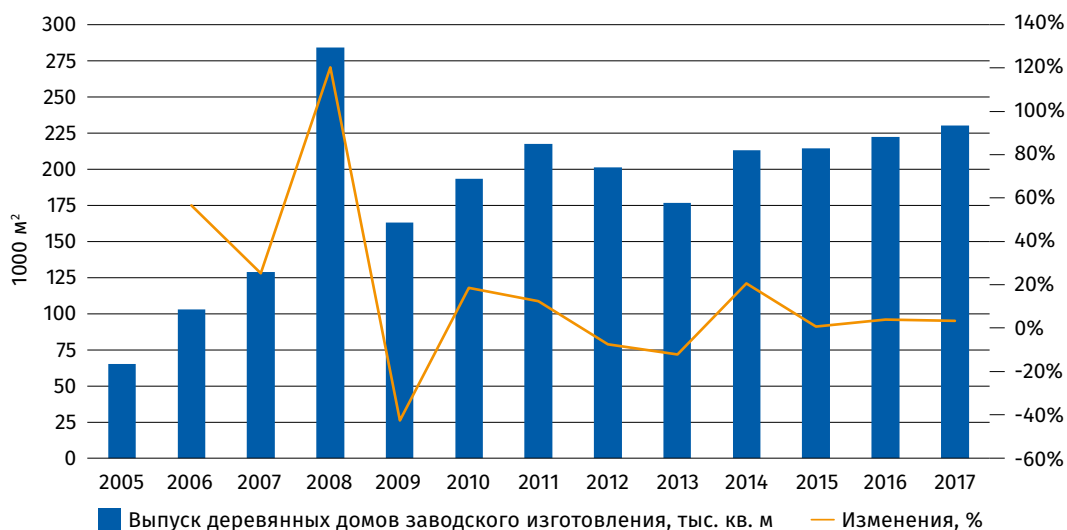


Рисунок 47. Выпуск деревянных домов заводского изготовления. Источник: Nikolskaya, 2017

Таблица 9. Сценарии развития деревянного домостроения с расчетом жилой площади (млн м²/год) в России.

Источник информации и сценарий прогноза	2030	2050
Деревянное домостроение на базе Прогноза развития лесного сектора Российской Федерации до 2030 года и экстраполяция тенденции роста к 2050 году	69,0	128,0
Деревянное домостроение на базе Прогноза развития лесного сектора Российской Федерации до 2030 года и рост после 2030 года со скоростью 5 % в год	69,0	183,1
Деревянное домостроение на базе Стратегии развития лесного сектора до 2030 года и рост после 2030 года со скоростью 5 % в год	13,6	36,1

Вставка 3. Развитие многоэтажного деревянного домостроения в России

Одной из основных проблем высотного деревянного домостроения является законодательная база, связанная с получением разрешения на строительство и правилами техники безопасности. В процессе планирования строительства многоэтажного деревянного здания в Москве девелоперская компания «Эталон» столкнулась с нормативными актами, по которым до начала 2020 года деревянные здания не могут быть выше трех этажей (Code of rules, 2002). В апреле 2020 года были приняты два нормативных документа («Здания общественные с применением деревянных конструкций. Правила проектирования» (Ministry of construction, 2019a) и «Здания жилые многоквартирные с применением деревянных конструкций. Правила проектирования» (Ministry of construction, 2019b), разрешающие строительство деревянных зданий высотой до 28 метров (около 8 этажей).

«Эталон» сотрудничает с Segezha Group, которая налаживает производство CLT-панелей в Вологодской области. Ожидается, что первые тестовые CLT панели будут выпущены в конце 2020 года, а выход на рынок планируется вскоре после этого. Объем инвестиций в новое производство завода составляет более 42 млн долларов США, а мощность — 250 000 м² продукции в год (Kommersant, 2019).

Потенциал современного деревянного домостроения в области смягчения последствий изменения климата

Объем выбросов парниковых газов, которого можно было бы избежать, если бы вместо аналогичного продукта, изготовленного из альтернативного материала с сопоставимой функциональностью, использовался продукт на основе древесины, измеряется с помощью так называемого фактора замещения (displacement factor — DF) (например, Leskinen et al., 2018). По сути, DF — это показатель, который позволяет сравнивать выбросы двух альтернативных систем производства на основе оценки жизненного цикла (LCA). Затем DF на уровне продукта комбинируется с данными о потенциальном развитии рынков деревянного домостроения. Это позволяет получить приблизительные оценки возможного потенциала смягчения последствий изменения климата на рыночном уровне при переходе (замещении) с продуктов не из древесины на продукты из древесины. Однако важно помнить, что эти расчеты носят иллюстративный характер и содержат несколько допущений и источников неопределенности.

С помощью технологии промышленной префабрикации компании Stora Enso Industrial для строительства квартир из CLT-панелей, можно построить квартиру для 3 человек, использовав 22 м³ CLT для квартиры площадью 80 м². Исходя из количества строительного материала, использованного в 7-этажном жилом доме в Векшё (Швеция), примерно 28 м³ древесины было использовано для строительства квартиры площадью около 125 м².

Таблица 10. Ежегодное накопление углерода и потенциал замещения углерода в соответствии с различными коэффициентами использования древесины (низкий и высокий коэффициент использования CLT) и различными прогнозными сценариями ежегодных потребностей в деревянном жилищном строительстве на 2050 год.

Источник информации и сценарии прогноза	Площадь (млн м²)	Углерода в продукте (млн. т)		Предотвращенные выбросы в CO ₂ -эквиваленте (млн. т)		Требуемый эквивалент промышленных круглых лесоматериалов (RWE)	
		Низк. коэфф. исп. CLT	Выс. коэфф. исп. CLT	Низк. коэфф. исп. CLT	Выс. коэфф. исп. CLT	Низк. коэфф. исп. CLT	Выс. коэфф. исп. CLT
Прогноз развития лесного сектора Российской Федерации до 2030 года и экстраполяция тенденции роста к 2050 году	128,0	9,2	7,9	43,9	37,7	114,7	98,6
Прогноз развития лесного сектора Российской Федерации до 2030 года и рост после 2030 года со скоростью 5 % в год	183,1	13,2	11,3	62,8	54,0	164,0	141,0
Стратегия развития лесного сектора до 2030 года и рост после 2030 года со скоростью 5 % в год для быстровозводимого деревянного жилья, т. е. сегмента сектора деревянного домостроения	36,1	2,6	2,2	12,4	10,6	32,3	27,8

Предположим, что параметры строительства домов с использованием CLT будут выглядеть следующим образом: 38 млн м² жилой площади; 0,275 м³ CLT на м²; плотность круглых лесоматериалов 0,45 т/м³; доля углерода в сухом веществе 0,5 т С / т сух. Осуществление такой гипотезы привело бы к сохранению 2,35 млн т С в строениях. Использование фактора замещения 1,3 (т. е. средний эффект замещения т С/т С для несущей конструкции; см. Leskinen et al. (2018)), привело бы к замещению 11,20 млн т CO₂-эквивалента, основываясь на следующих допущениях: 2,35 т углерода в здании; средний эффект замещения 1,3 т С/т С древесного продукта из древесины; 3,664 коэффициент пересчета из тонн С в тонны CO₂. В этом случае общий объем требуемых круглых лесоматериалов составит 29 млн м³, что основано на следующих допущениях: 0,275 м³ CLT на м² жилой площади; 2,8 м³ круглых лесоматериалов на м³ CLT; 38 млн м² жилой площади.

Описанный выше подход был применен для различных сценариев деревянного домостроения, приведенных в главе 6.4.2. Результаты приведены в таблице 10.

6.5.3 Производство текстиля на основе древесины

Такие волокна как полиэстер и нейлон, производятся из ископаемых невозобновляемых сырьевых материалов, их производство требует большого объема энергии, оно вызывает значительный объем выбросов парниковых газов, может способствовать загрязнению воды, выделяя не поддающиеся биологическому разложению микропластики при промывке (Muthu, 2017). Традиционное производство хлопка также связано с экологическими проблемами, поскольку оно требует использования большого количества воды, пестицидов, удобрений и энергии (Kooistra et al., 2006).

Разрабатываются новые технологии для использования древесного целлюлозного волокна, продуктов побочных потоков промышленного производства и отходов сельского хозяйства в качестве сырья, а также для снижения уровня потребления воды и использования вредных химикатов в ходе производства. Большинство из этих

новых технологий пока еще не осуществимы в больших масштабах, но они представляют собой более устойчивую альтернативу нынешнему производству текстиля.

В России наибольшими объемами производства характеризуются три вида текстиля: хлопок, синтетические волокна и шелк (Wittmann, 2017). Несмотря на то, что синтетические волокна, такие как полиэстер, по-прежнему предпочтительны в промышленности из-за их цены и более однородных характеристик, существует интерес к возобновлению использования натуральных волокон для производства текстиля. Годовой темп роста потребления натуральных волокон и нитей в период 2012–2017 гг. составил около 5 %, в то время как для синтетических волокон 13–15 % (Gerden, 2018a).

В последние годы специализированные отрасли, такие как производство технического текстиля, смогли удовлетворить лишь 30 % внутреннего годового спроса, что свидетельствует о наличии перспектив роста (Gerden, 2018b). Несколько компаний инвестировали средства в новые производственные предприятия, а для поддержки разработки и реализации проектов развития промышленности по производству технического текстиля правительством Российской Федерации был создан специальный Фонд развития промышленности. Производство текстиля в целом по России с 2016 по 2017 год выросло на 6,2 %, и многие швейные компании планируют запустить производственные линии в стране (Wittmann, 2017).

Основными проблемами в текстильной промышленности России по-прежнему остаются устаревшие производственные мощности, а также нехватка квалифицированных рабочих кадров и торговых партнеров. Таким образом, успешная реализация государственной программы развития текстильной промышленности России имеет решающее значение для преодоления этих проблем (Wittmann, 2017).

Что касается производства текстиля на основе древесины, то в 1980-е годы Россия была ведущей страной по производству растворимой целлюлозы для вискозы (Skrpnikov, 2017; Eisenstein and Klepikov, 2018). Вместе с тем, в 2014 году Россия производила только 1 % растворимой целлюлозы для вискозы от мировых объемов ее производства (Statista, 2014).

Поскольку традиционные методы получения вискозы считаются экологически вредными из-за химических веществ, используемых в производственном процессе, и разрабатываются усовершенствованные технологии производства, для России было бы важно инвестировать в производство текстиля, получаемого более экологически чистыми способами. В дополнение к усовершенствованным технологиям производства, связанным с выпуском вискозы, существуют новые технологии, такие как Spinnova и Iocell-F. Производство новых волокон на основе использования древесины связано с меньшими объемами выбросов CO₂, чем производство хлопковых и синтетических волокон, и, соответственно, замещение производства последних является несомненным преимуществом в контексте изменения климата в (Leskinen et al., 2018).

Текстильные волокна на биологической основе и потенциал смягчения последствий изменения климата

В настоящее время мировое производство текстиля оценивается примерно в 93 млн тонн в год, из которых ежегодно около 53 млн тонн производятся для изготовления одежды (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Поскольку для производства одной тонны текстильного волокна по технологии Spinnova требуется около 2,4 м³ древесины, значит, 127 млн м³ будет достаточно для удовлетворения глобального годового спроса на производство волокна для одежды. При использовании более высокой «альтернативной оценки» требуется около 4 м³ древесины на производство тонны волокна, что даст объем в 212 млн м³ для удовлетворения годового спроса на волокно для одежды. Последнее значение основано на оценке, приведенной Uusiruu (2017), согласно которой потребуется 10 млн м³ для замещения 10 % мировых рынков хлопка, которые оцениваются в 25 млн тонн (OECD/FAO, 2019).

Таблица 11. Глобальный спрос на искусственные целлюлозные волокна, необходимый промышленный эквивалент круглых лесоматериалов (RWE), потенциал сохранения углерода в материалах и эквивалент замещения CO₂ на основе норм использования древесины по технологии Spinnova на 2030 год (Hämmerle, 2011) и 2050 год (экстраполяция Hämmerle, 2011). Коэффициент замещения по данным Shen et al., 2010.

Год	Глобальный годовой спрос на искусственные целлюлозные волокна (млн. т)	Эквивалент промышленного RWE (млн м ³)	Вес круглых лесоматериалов (млн. т)	Сод. углерода в продукте (млн. т)	Замещение углерода (млн. т) [Шен, 2010]	Замещение CO ₂ (млн. т) [Шен, 2010]
2030	19	44	20	10	18	65
2050	36	84	38	18	33	122

Возможно, более реалистичной оценкой будет то, что производство искусственного целлюлозного волокна составляет около 14% от объема производимых в мире волокон, поэтому оно не заменило бы хлопок, производство которого в 2015 г достигло возможного максимального уровня – около 25 млн. тонн (Hämmerle, 2011). Следовательно, следует рассуждать скорее о замещении синтетических волокон на нефтяной основе, для которых средняя величина замещения составляет 3,4 т CO₂ на тонну волокна.

Объединив эти допущения с прогнозом развития мирового спроса на текстиль, мы получили данные, приведенные в таблице 11, иллюстрирующие потенциал замещения в текстильной промышленности.

6.5.4 Продукция лесохимии

В последние десятилетия возрос спрос на продукцию, произведенную с использованием ископаемого сырья, такую, как топливо, смолы и полимеры. Проблемы, связанные с их производством – выбросы парниковых газов, образование неразлагаемых отходов, истощение ископаемых ресурсов – стимулировали разработку новых продуктов с использованием биологического сырья. Одним из химических соединений, которое демонстрирует большой потенциал для замещения веществ на основе ископаемых ресурсов, является лигнин. Это второй по распространенности природный полимер после целлюлозы. Несмотря на то, что лигнин играет важную структурную функцию в составе древесины и является одним из наиболее важных химических компонентов с точки зрения объема, он все еще рассматривается в качестве отходов процесса варки целлюлозы и в основном используется для производства энергии. Лигнин можно разделить на компоненты, т.н. «строительные блоки», которые могут быть использованы для производства целого ряда продуктов с добавленной стоимостью. Поскольку лигнин является очень стабильной молекулой, его фракционирование — или разделение на более мелкие молекулы — может быть затруднено. Несмотря на это, за последние несколько лет в этой области отмечено много достижений, и производство лигнина в качестве предшественника нескольких видов продукции с добавленной стоимостью стало перспективным. Типы лигнина варьируют в зависимости от исходного сырья и производственного процесса. Наиболее распространенным типом являются лигносульфонаты — побочные продукты производства древесной массы с использованием сульфитной варки. Основная часть этих коммерческих лигнинов используется в качестве пластификаторов для бетона, диспергаторов, связующих и пищевых добавок (таких как ванилин) (Berlin, Balakshin, 2014). Согласно оценкам, ежегодно в мире производится около 1 млн тонн лигносульфонатов (Bajpai, 2018), примерно из 10 млн м³ RWE (Ervasti, 2016).

Лигнин как прекурсор химических веществ

Высокоочищенный лигнин считается базовым химическим веществом, являясь прекурсором других веществ, таких как ванилина, а также ароматических бензола, толуола и ксилола (BTX) (University of Bologna and Fraunhofer ISI, 2018). Он также может быть использован в производстве клеевых связующих, смол, покрытий, пленок, пластмасс, пенополиуретанов и углеродных волокон. Его можно получить из черного щелока, то есть остатка или побочного продукта процесса варки крафт-целлюлозы. Уровень технологической готовности для выделения высокоочищенного лигнина в настоящее время составляет 5, но несколько сфер его потенциального применения и коммерческий интерес могут подтолкнуть развитие этой технологии. Ожидается, что к 2022 году мировой рыночный спрос на лигнин вырастет на 4,9 % по сравнению с показателями 2015 года. На долю BTX приходится примерно 60 % всех ароматических веществ, и ожидается, что к 2022 году объем спроса на ароматические вещества вырастет на 5,7% в год по сравнению с показателями 2015 года.

Производство лигнина в России не является чем-то чуждым (Plaksin et al., 2001). В Советском Союзе лигнин вырабатывался в виде остатков от процессов производства этанола и кормовых дрожжей. Это был также остаток от производства растворителя фурфурола. Этот лигнин не имел коммерческого применения, его утилизировали как отходы. Трансформация и использование лигнина могли бы получить дальнейшее развитие в России, поскольку уже существуют базовые знания по этой теме (Abdrakhmanova et al., 2016). Общая стоимость продуктов лесохимии, произведенных в России, составила 2797 млн рублей (примерно 34,5 млн евро) в 2016 году, как указывается в Стратегии развития лесного комплекса России до 2030 года (Government, 2018).

6.5.5 Биопластики

Несколько типов биопластиков были разработаны в качестве попытки уменьшить загрязнение почвы и воды, вызываемое пластиками на основе невозобновляемых ископаемых ресурсов. Однако не все биопластики поддаются биологическому разложению. Промышленный сектор ищет решения для преодоления этой проблемы, и в настоящее время в этой сфере разрабатываются и тестируются некоторые новые биопродукты. Большинство биопластиков в настоящее время производится с использованием кукурузного крахмала, растительных масел и соломы в качестве сырья. Но технология производства некоторых видов биопластиков на основе древесины уже доступна в промышленных масштабах.

Одним из успешных примеров является производство пластикового покрытия на основе древесины для картонных упаковок для напитков. Такой пластик является замещением для пластика на основе ископаемого сырья, но с тем преимуществом, что он перерабатывается вместе с картоном. Данный тип пластика на основе древесины можно изготовить с использованием таллового масла, получаемого в процессе варки целлюлозы. Согласно оценкам, в 2019 году в Финляндии было использовано более 40 миллионов упаковок молока и йогурта с покрытием из биопластика, что сократило потребность в пластике на основе ископаемых материалов на 180 000 кг в год.

В последние годы многие российские компании проявляют интерес к разработке и производству биоразлагаемой упаковки. Однако отрасль биопластиков в России все еще находится на ранней стадии развития. Существуют некоторые препятствия для развития индустрии биопластиков: ограниченная платежеспособность компаний и потенциальных потребителей, отсутствие жестких правил по сокращению использования ископаемых материалов, а также отсутствие интереса к разработке технологий с длительными сроками окупаемости со стороны инвесторов и компаний (Volchok et al., 2018).

Резюме и выводы: возможности и проблемы развития биоэкономики в России

Понятие биоэкономики является относительно новым и недостаточно используемым в России, поскольку в стране преобладает концепция развития биотехнологий. Максимальное использование потенциала продукции на основе древесины в таких областях, как многоэтажное деревянное домостроение и производство текстиля, может иметь важное значение для российской экономики и принести ощутимые дополнительные выгоды по смягчению последствий изменения климата.

Дополнительная биомасса для обеспечения лесной биоэкономики может быть получена за счет увеличения объемов лесозаготовок, а также за счет повышения эффективности лесоуправления и использования промышленных ресурсов, включая использование отходов и промышленных побочных потоков. Представленные в главе 6.2.3 сценарии, имеющие целью сокращение выбросов парниковых газов на 85 %, показывают, что необходимы значительные усилия для снижения потребления энергии и отказа от использования ископаемых ресурсов в производстве энергии. Эти сценарии еще не включают в себя потенциал, который может появиться в результате развития биоэкономики, например, в области деревянного домостроения или производства текстиля на основе древесины. Развитие биоэнергетики и производства продукции на основе древесины не могут решить эти задачи сами по себе, но они могут внести в значительный вклад в их решение.

Чтобы лучше понять возможности лесной биоэкономики на отраслевом уровне, мы более детально проанализировали возможности лесной биоэнергетики, деревянного домостроения и производства некоторых новых продуктов, таких как текстиль на основе древесины.

Как указано в главе 6.4.1, в настоящее время основным видом топлива в российской энергетике является газ — его доля составляет 74 %. А доля твердого топлива составляет 22 %. В основном это ископаемый уголь. Общая доля производства энергии из биомассы невелика, но есть возможности увеличить ее долю в структуре энергопотребления. Несмотря на то, что пеллеты производятся в России с 2000 года, большая часть этой продукции в настоящее время экспортируется, в основном в Европу. В целом, существует потенциал роста производства пеллет, а также их внутреннего использования в структуре энергопотребления. Аналогичным образом, древесные брикеты обладают потенциалом роста производства и внутреннего потребления. Также ожидается, что производство топливной щепы будет иметь потенциал роста за счет внутреннего потребления.

Объемы жилищного строительства в России несколько снизились с 2015 года (см. главу 6.4.2): в настоящее время общий объем жилищного строительства составляет около 76 млн м² в год. Общий объем деревянного домостроения в России невелик, а производство быстровозводимых деревянных зданий за последние годы не показало значительного роста. Несмотря на это, правительство России приняло ряд мер по увеличению общих объемов строительства с тем, чтобы общий объем жилищного строительства в 2030 году достиг 170 млн м² в год. Это может обеспечить значительный потенциал роста для современных технологий деревянного домостроения, таких как производство и использование CLT. Ожидается, что первая

опытная партия CLT-панелей будет произведена в России в конце 2020 года и вскоре после этого данная технология будет широко использоваться. Согласно оптимистичному сценарию, к 2050 году объем ежегодного деревянного домостроения может составить 183 млн м². Если принять во внимание различия между методами строительства, то для достижения этой цели потребовались бы круглые лесоматериалы в объеме до 164 млн м³. Объем предотвращенных выбросов CO₂ составил бы 63 млн тонн.

Текстиль на основе древесины относится к новым и развивающимся видам продукции, которые могут принести России дополнительные преимущества в будущем. В основном современная текстильная промышленность России производит синтетические волокна, что обусловлено большими запасами нефти в стране и хорошо развитой химической отраслью. Несмотря на то, что синтетические волокна, такие как полиэстер, по-прежнему предпочтительны в промышленности из-за их цены и более однородных характеристик, существует интерес к возобновлению использования некоторых видов натуральных волокон для производства текстиля. Что касается текстиля на основе древесины, то в 1980-е годы Россия была ведущей страной по выпуску растворимой целлюлозы для производства вискозы, но в настоящее время Россия производит только около 1 % от мирового производства растворимой целлюлозы. В этом контексте текстиль на основе древесины стал бы крупной возможностью, поскольку мировые объемы производства текстиля для одежды составляют около 53 млн т в год, и ожидается, что этот показатель значительно увеличится. К 2030 году мировой спрос на искусственные целлюлозные волокна может составить около 19 млн т. При ресурсоэффективной технологии производства на это потребуется около 44 млн м³ круглого леса, при этом количество предотвращенных выбросов CO₂ составит около 65 млн т. К 2050 году эти цифры почти удвоятся по сравнению с 2030 годом.

Мы показали, что лесная биоэкономика обладает серьезным потенциалом роста, который может быть важен для России в период глобального перехода к сокращению выбросов. Увеличение использования древесины в многоэтажном строительстве и текстильном производстве может принести значительные выгоды по смягчению последствий изменения климата при осуществлении стратегии замещения в производстве таких материалов, как бетон, сталь, полиэстер и нейлон, производимых на основе использования ископаемого сырья.

Такое развитие биоэкономики потребует сильной политической воли, соответствующего законодательства, новых инвестиций в лесную промышленность и повышения осведомленности потребителей. Кроме того, разработке соответствующего законодательства должна предшествовать разработка стратегии лесной биоэкономики замкнутого цикла, одобренная всеми заинтересованными сторонами.

Ключевые тезисы

- Через осуществление более эффективного управления лесами, более ресурсоэффективных производственных процессов и более широкого использования продуктов побочных потоков промышленных процессов и отходов Российская Федерация может задействовать огромный ресурсный потенциал для развития собственной лесной биоэкономики замкнутого цикла и каскадного использования биомассы.
- Потребление энергии в Российской Федерации в основном зависит от ископаемого угля и газа. В то время как биомасса составляет лишь небольшую долю от общего объема твердого топлива, постепенный отказ от старых мазутных котельных открывает возможности для роста производства и внутреннего потребления биоэнергии.
- Жилищное деревянное домостроение сейчас находится на переломном этапе и может продемонстрировать быстрый рост в будущем. Недавно разработаны нормативные акты и технологии, позволяющие строить жилые высотные здания на основе лесоматериалов. В зависимости от сильно варьирующих прогнозных сценариев ежегодной потребности в жилищном деревянном домостроении к 2050 году, предотвращенные выбросы благодаря использованию древесины вместо стали или бетона могут составить от 11 до 63 млн тонн в CO_2 -эквиваленте.
- Российская Федерация, которая являлась мировым лидером по производству вискозы в 1980-е годы, в настоящее время производит лишь 1 % растворимой целлюлозы от мирового объема ее производства. Поскольку ожидается значительный рост глобального спроса на швейный текстиль и мировое производство хлопка будет оставаться стабильным или сократится, ожидается значительный потенциал роста для производства текстиля на основе древесины. Это подразумевает возможности роста для таких стран, как Россия.
- Включение целевых показателей, связанных с развитием биоэнергетики, деревянного домостроения и производством текстиля на основе древесины в сценарии сокращения выбросов на российском уровне в рамках единой системы моделирования является темой будущих исследований.

Использованная литература

- 350.org, 2019. A new fossil free milestone: \$11 trillion has been committed to divest from fossil fuels. <https://350.org/11-trillion-divested/>
- Abdrakhmanova, G. et al. 2016. Russia 2030: Science and Technology Foresight. In: Gokhberg, L. (Ed.). Ministry of Education and Science of the Russian Federation; National Research University Higher School of Economics. Moscow: HSE. 232 p.
- Bajpai, P. 2018. Biermann's Handbook of Pulp and Paper. Volume 1: Raw material and pulp making. 3rd ed. Elsevier. 668 p. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-00513-X>.
- Berlin, A. and Balakshin, M. 2014. Industrial lignins: analysis, properties, and applications. In: Gupta, V.K., Tuohy, M.G., Kubicek, C.P., Saddler, J., and Xu, F. (eds.). Bioenergy Research: advances and applications. Elsevier. Pp. 31–336. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59561-4.00018-8>.
- Burghardt, N., Osmakova, A., and Abramychcheva, I. 2015. Industrial biotechnology in Russia: waking up from its winter sleep. Life Sciences Series V.6, 01, 60–61. http://biotech2030.ru/wp-content/uploads/2015/04/Industrial_Biotechnology_1_2015.pdf
- Code of rules for design and construction. 2002. Proektirovanie i stroitelstvo energoeffektivnykh odnokvartirnykh domov s derevyannym karkasom [Design and construction of energy-efficient wooden-frame houses] SP 31-105-2002. Official edition. Gosstroj Rossii. Moscow. 74 p. <http://www.gostrof.com/normadata/1/4294846/4294846938.pdf>
- Eisenstein, E.M. and Klepikov, D.N. 2018. Otechestvennaya promyshlennost' khimicheskikh volokon v 2017 g. i mirovye tendentsii v sozdanii umnogo tekstilya [Domestic chemical fiber industry in 2017 and global trends in the creation of "smart textiles"]. Bulletin of the Chemical Industry 2(101), 24–30. <http://vestkhimprom.ru/posts/author/567-ayzenshteynemklepikovdn>
- Ellen MacArthur Foundation. 2017. A new textiles economy: redesigning fashion's future. Report. 148 p. <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>
- Energy Security Doctrine of the Russian Federation. 2019. Doctrina energeticheskoy bezopasnosti Rossijskoj Federatsii. approved by decree of the President of the Russian Federation No. 216 of May 13, 2019. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72140884/>
- Ernst & Young. 2018. Russian Forest Sector Overview 2018-2019. Ernst & Young with assistance from the Association of Specialists of the Pulp and Paper Industry. 48 p. Visited on 20200415: [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-russian-forest-sector-overview-2018-19-en/\\$FILE/ey-russian-forest-sector-overview-2018-19-en.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-russian-forest-sector-overview-2018-19-en/$FILE/ey-russian-forest-sector-overview-2018-19-en.pdf)
- Ervasti, I. 2016. Wood fiber contents of different materials in the paper industry material chain expressed in roundwood equivalents (RWEs). Silva Fennica, 50(4), id 1611, 1–22. <https://doi.org/10.14214/sf.1611>
- Evtukhov, V. 2019. Prepyatstviya dlya mnogoetazhnogo derevyannogo domostroeniya net [Obstacles for multi-story wooden housing are absent] Rossijskaya gazeta – Special editorial project for the Far Eastern Economic Forum, September 4–6, 2019. Vladivostok. <https://rg.ru/2019/09/06/reg-dfo/evtukhov-prepyatstviya-dlya-mnogoetazhnogo-derevyannogo-domostroeniya-net.html>
- Federal State Statistics Service, 2019. Zhilishchnoe stroitelstvo v Rossijskoj Federatsii [Residential construction in the Russian Federation]. Rosstat. Visited on 20200423: <https://www.gks.ru/folder/14458>
- Gerden, E. 2018a. Russia to reintroduce hemp for technical textiles. Innovation in textiles. Expert Opinion. Accessed on 23 August 2019. <https://www.innovationintextiles.com/russia-to-reintroduce-hemp-for-technical-textiles/>
- Gerden, E. 2018b. Russia to double technical fibres production by 2020. Expert Opinion. Accessed on 23 August 2019. <https://www.innovationintextiles.com/russia-to-double-technical-fibres-production-by-2020/>
- Government 2009. Klimaticheskaya doktrina Rossijskoj Federatsii [Climate Doctrine of the Russian Federation]. Government of the Russian Federation, Moscow. <http://kremlin.ru/events/president/news/6365>
- Government 2012. State coordination program for the development of biotechnology in the Russian Federation until 2020 "BIO2020": summary. Government of the Russian Federation, Ministry of Economic Development of the Russian Federation, Lomonosov Moscow State University. [http://bio-economy.ru/upload/BIO2020%20\(eng\)%20-%20short.pdf](http://bio-economy.ru/upload/BIO2020%20(eng)%20-%20short.pdf)
- Government 2013. O sokrashchenii vybrosov parnikovyykh gazov [Decree on reducing greenhouse gas emissions] Decree 30.09.2013 г. № 752 President of the Russian Federation, Moscow. <http://kremlin.ru/acts/bank/37646>

- Government 2014. Plan meropriyatij po obespecheniyu k 2020 godu sokrashcheniya ob'emov vybrosov parnikovykh gazov do urovnya ne bolee 75 protsentov ob'ema ukazannykh vybrosov v 1990 godu [Plan of measures to ensure the reduction of greenhouse gas emissions by 2020 to no more than 75 per cent of these emissions in 1990] Government of the Russian Federation, Moscow. No. 504-r. 6 p. <http://government.ru/media/files/41d4d0082f8b65aa993d.pdf>
- Government 2016. Strategiya razvitiya promyshlennosti stroitel'nykh materialov na period do 2020 goda i dal'nejshuyu perspektivu do 2030 goda [Strategy for developing the building materials industry until 2020 and on following period by 2030] 2016. Government of Russian Federation Order of May 10, 2016, № 868-p. 64 p. <http://static.government.ru/media/files/RnBfAw072e3tm-mykU2lrh1LI1HaHeG0q.pdf>
- Government 2018. Strategiya razvitiya lesnogo kompleksa Rossijskoj Federatsii do 2030 goda [Strategy for the development of the forest complex of the Russian Federation until 2030] September 20, 2018 No. 1989-r, Moscow, 102 p. <http://static.government.ru/media/files/cA4eYSe0MOObgNpm5hSavTdIXID77KCTL.pdf>
- Government 2019. Passport natsional'nogo proekta "Zhil'e i gorodskaya sreda" [Passport of the national project "Housing and urban environment"] 466 p. Visited on 20200310, http://www.minstroyrf.ru/upload/iblock/426/Pasport-natsionalnogo-proekta-_ZHile-i-gorodskaya-sreda_.pdf
- Hämmerle, F.M. 2011. The Cellulose gap (the future of cellulose fibers). *Lenzinger Berichte* 89, 12–21.
- IndexBox, 2016. Rynok tzellulozy v Rossii: po itogam 2015 proizvodstvo vyroslo na 10,7% [Pulp market in Russia: at the end of 2015 production increased by 10.7%] IndexBox, Pulp and paper, 16 Feb 2016 <https://www.indexbox.ru/news/po-itogam-2015-goda-roizvodstvo-tovarnoy-celulozy-vyroslo/>
- JBİ (Journal of Business Ideas), 2020. Derevyannoe domostroenie v Rossii: perspektivy i paradoksy [Wooden housing construction in Russia: prospects and paradoxes]. https://vproizvodstvo.ru/analitika_rynok/derevyannoe_domostroenie_v_rossii_perspektivy/ (visited on 20200310)
- Kommersant. 2019. Segezha Group vlozhitsya v CLT paneli [Segezha Group will invest to CLT-panels] newspaper Kommersant 22.05.2019 <https://www.kommersant.ru/doc/3976831>
- Kooistra, K.J., Pyburn, R. and Termorshuizen, A.J. 2006. The sustainability of cotton. Consequences for man and environment, Wetenschapswinkel Wageningen Universiteit en Reseachcentrum. Rapport No. 223.
- Leskinen, P., Cardellini, G., González-García, S., Hurmekoski, E., Sathre, S., Seppälä, J., Smyth, C., Stern, T. and Verkerk, P.J. 2018. Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation. *From Science to Policy* 7. European Forest Institute. <https://doi.org/10.36333/fs07>
- Lesprom. 2019. Mnogoetazhnye derevyannye zdanija v Moskve nachnut stroit' v 2020 godu [Construction of a multi-story wooden building in Moscow will begin in 2020]. 31.10.2019. <https://programlesprom.ru/mnogoe-tazhnoe-derevyanna-zdanie-v-moskve-nachnut-stroit-v-2020-godu>
- Lukina, N.V. 2020. Globalnye vyzovy i lesnye ekosistemy [Global challenges and forest ecosystems] *Herald of the Russian Academy of Sciences*. T.90 No.6. , p.28 – 32.
- Ministry of Economic Development of the Russian Federation. 2008. Kontseptsiya dolgosrochnogo socialno-economicheskogo razvitiya Rossijskoj Federatsii do 2020 goda [Concept of long-term socio-economic development of the Russian Federation until 2020]. Ministry of Economic Development of Russia, Government of the Russian Federation Decree on approval № 1662-p on 17.11.2008, 197 p. <http://government.ru/info/6217/>
- Ministry of Economic Development of the Russian Federation. 2011. Perechen' tekhnologicheskikh platform [List of Technology Platforms] 15 p.[cited 2014 Aug 12]. <http://www.economy.gov.ru/wps/wcm/connect/economylib4/en/home/docs/doc20111018> OR http://www.bio-economy.ru/tekhnologicheskie_platformy/rossiyskie_tp/Perechn%20RTP.pdf
- Ministry of Construction of the Russian Federation 2019a. Zdanija zhilye mnogokvartirnye s primeneniem derevyannykh konstrukcij. Pravila proektirovaniya [Multicompartment residential buildings with wooden structures. Design rules] SP 451.1325800.2019. Valid since 2020–04–29. Minstroy 53p. <https://www.minstroyrf.ru/docs/57864/>
- Ministry of Construction of the Russian Federation 2019b. Zdanija obshchestvennye s primeneniem derevyannykh konstrukcij. Pravila proektirovaniya [Public buildings with wooden structures. Design rules] SP 452.1325800.2019 Minstroy Valid since 2020–04–23. <https://www.minstroyrf.ru/docs/57862/>
- Muthu, S.S. 2017. Sustainable Fibres and Textiles. The Textile Institute Book Series, Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102041-8.09001-6>.

- Nikolskaya, V. 2016. Tekhnologicheskaya shchepa – vostrebovanny product. [Technological chips - a product in demand.] ABARUS Market Research, Lesprominform 8-2016 <https://lesprominform.ru/articles.html?id=4547>
- Nikolskaya, V. 2017. Serijnoe derevyannoe domostroenie: medlennaya i dorogaya kontseptsiya dlya bystrogo i deshevoogo zhil'ya [Serial wooden housing: low speed and expensive state concept for a fast and cheap housing construction] Lesprominform, 7, 128–134. <https://lesprominform.ru/articles.html?id=4835>
- OECD/FAO, 2019. OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028. URL on 20200129: <http://www.agri-outlook.org/commodities/Cotton.pdf>
- Osmakova, A., Kirpichnikov, M., and Popov, V. 2017. Recent biotechnology developments and trends in the Russian Federation. N. Biotechnol. 40, (Pt A), 76–81. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2017.06.001>
- Plaksin, G.V. et al. 2001. Microporous sorbents produced by pyrolysis and gasification of hydrolytic lignin. In: Bridgewater, A.V. (ed.). Progress in thermochemical biomass conversion, <https://doi.org/10.1002/9780470694954.ch124>.
- Pristupa, A.O. and Mol, A.P.J. 2015. Renewable Energy in Russia: The Take off in Solid Bioenergy? Renewable and Sustainable Energy Reviews, 50 (October), 315–324.
- Rakitova, O. et al. 2009. Wood pellets production and trade in Russia, Belarus & Ukraine. Pellets-atlas: market research report WP. 6 25 p. https://www.researchgate.net/publication/273256481_Wood_Pellets_Production_and_Trade_in_Russia_Belarus_Ukraine
- Rakitova, O. 2020 Rastuschaya pelletnaya otrasl trebuyet novye sklady [New warehouses are required by growing pellet industry]. The Bioenergy International, 1(54), 12–15 <http://www.biointernational.ru/product4790.html>
- Rosstat (Federal State Statistic Service), 2019. Data on the industrial production of fuel pellets from woodwaste. https://gks.ru/bgd/free/B04_03/IssWWW.exe/Stg/d05/10.htm
- Safonov, G. et al. 2016. Low carbon development strategy for Russia: opportunities and benefits of switching from fossil fuels to “green” energy sources. Publisher: TEIS, Moscow State University. https://www.researchgate.net/publication/305472171_Low_carbon_development_strategy_for_Russia_opportunities_and_benefits_of_switching_from_fossil_fuels_to_green_energy_sources
- SDSN-IDDRI 2014. Pathways for Deep Decarbonization, 2014 Report, Paris. http://deepdecarbonization.org/wp-content/uploads/2015/06/DDPP_Digit.pdf
- Shen, L., Worrell, E. and Patel, M.K. 2010. Environmental impact assessment of man-made cellulose fibres. Resources, Conservation and Recycling 55 (2010), 260–274.
- Skripnikov, N. 2017. Perspektivy rynka proizvodstva promyshlennoj ztellozozy [Prospects of industrial pulp production market] SBO-PAPER.RU Internet portal. Engineering Corporation “Institute of industrial construction”. http://sbo-paper.ru/publications/PPI/industrialpulp_outlook/
- Statista 2014. Distribution of viscose dissolving pulp production worldwide as of 2014, by country. <https://www.statista.com/statistics/546234/viscose-dissolving-pulp-production-worldwide-by-country-share/>
- The Bioenergy International, 2019. Proizvodstvo i eksport drevesnykh toplivnykh briketov v Rossii rastet [Production and export of wood fuel briquettes in Russia is growing] Magazine of Information and Analytical Agency “infobio”. <http://www.infobio.ru/news/4648.html>
- trademap.org, 2020. Trade statistics for international business development. International Trade Centre, Geneva. https://www.trademap.org/Country_SelProduct_TS.aspx
- United Nations Climate Change. 2019. Russian national GHG inventory. 2019 Common Reporting Format (CRF) Table. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). <https://unfccc.int/documents/194822>.
- University of Bologna and Fraunhofer ISI. 2018. Top 20 innovative bio-based products. Task 3 of “Study on Support to R&I Policy in the Area of Bio-based Products and Services”. Directorate-General for Research and Innovation. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2777/85805>.
- Uusipuu, 2017. Ympäristöystävällinen vaihtoehto puuvillalle. <http://www.uusipuu.fi/ratkaisu/ymparistoystavallinen-vaihtoehto-puuvillalle> In: Hetemäki, L., Hanewinkel, M., Muys, B., Ollikainen, M., Palahí, M. and Trasobares, A. 2017. Leading the way to a European circular bioeconomy strategy. From Science to Policy 5. European Forest Institute. <https://doi.org/10.36333/fs05>
- Vassilieva, Y. 2012. Program on development of biotechnology in Russia through 2020. USDA Foreign Agricultural Service. Report number RS1239.
- Volchok, A., Shapovalova, E. and Osmakova, A. 2018 Perspective for the Development of the Bioplastics Market in Russia: Key Products and Technologies. European Research Studies Journal, XXI (Special Issue 2), 744–753. <https://doi.org/10.35808/ersj/>

- Wittmann, H.-J. 2017. Russia's apparel and textile industry is booming. <https://textination.de/sites/default/files/2017-09/Textination%20Newsline%2019.09.2017gb.pdf>
- World Bank, 2020. State and Trends of Carbon Pricing 2020 (May), World Bank, Washington, DC. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1586-7>. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO

Заключение

**Пекка Лескинен, Йо ван Брусселен, Маркус Линднер,
Герт-Ян Набуурс, Петер-Йохан Веркерк, Наталья Лукина,
Сергей Барталев и Елена Куликова**

7.1 Лесные ресурсы

Нет сомнений в глобальном значении лесов Российской Федерации с точки зрения их площади, запасов углерода, влияния на глобальный климат, потенциала в качестве возобновляемого ресурса, а также с точки зрения сохранения биоразнообразия. В России самые большие площади первичных бореальных лесов в мире, и лишь относительно небольшая часть лесных ресурсов используется в хозяйственных целях.

Однако изобилие ресурсов не означает, что леса находятся в оптимальном состоянии. Например, из-за недостатков в управлении лесами средний запас древесины на гектар намного ниже, чем можно было бы достичь при использовании подходов устойчивого управления лесами, хотя состояние лесов значительно варьирует от региона к региону. Некоторые регионы имеют высокий уровень запасов древесины, в то время как другие испытывают дефицит в результате чрезмерной эксплуатации лесов или, например, в результате воздействия сильных лесных пожаров. Объемы заготовки древесины значительно выше в густонаселенных регионах, кроме того, может наблюдаться нехватка высокосортной древесины в регионах с высоким спросом. Из-за экстенсивной модели лесопользования, во многом базирующейся на проведении сплошных рубок и недостаточности мер по лесовосстановлению, леса в основном восстанавливаются осиной и березой – породами, которые мало используются в хозяйстве. Имеются проблемы со строительством лесных дорог, довольно быстро увеличивается дальность перевозки заготовленной древесины. Одной из проблем являются зарастающие лесом заброшенные сельскохозяйственные угодья, а также миграция людей из сельских районов в городские. Поскольку регионы различаются между собой, невозможно использовать единый подход, который подходил бы всем. Поэтому необходимо дальнейшее развитие региональных лесных планов лесопользования с более глубоким учетом конкретной региональной специфики.

Существует также необходимость в совершенствовании систем учета и мониторинга лесов за счет более эффективной интеграции наблюдений на местах, данных дистанционного зондирования и моделей потоков данных. Следует лучше отслеживать тренды, связанные с нарушениями лесов, в том числе такие, как последствия лесных пожаров. Достоверные данные о прогнозируемом воздействии изменения климата на лесные ресурсы и лесные почвы имеют решающее значение для учета различных реакций роста лесов в различных регионах, таких как, например, потенциальное усиление роста на севере и снижение роста на юге, изменение приспособляемости видов, различия в интенсивности и частоте природных нарушений и т. д.

Воздействие климатических изменений, адаптация и смягчение последствий изменения климата

Изменение климата оказывает влияние на текущую и будущую динамику роста лесов, их гибели и степени воздействия природных нарушений, ожидается значительное увеличение количества и интенсивности лесных пожаров, штормовых ветров и всплеск массового размножения вредителей. Например, в настоящее время площадь лесов, пройденных лесными пожарами, колеблется уже от 4 до 7 млн гектаров в год, что выражается в виде многолетнего тренда. Важно то, что ожидаются еще более серьезные природные нарушения, но при этом отсутствует система усиленных мер их профилактики. Это может иметь далеко идущие последствия для глобального климата и более локально – для региональных экосистем и благосостояния людей. Таяние вечной мерзлоты, приводящее к большим объемам выбросов метана, является еще одним серьезным риском.

Для обеспечения устойчивости лесов и лесного сектора России очень важны действия по смягчению последствий изменения климата и снижению связанных с этим рисков нарушений. Восстановление лесов после нарушений природной среды также требует повышенного внимания.

Текущий сток углерода российских лесов значителен, но определение его объемов содержит неопределенности, а его будущая динамика еще более неясна. Однако в условиях продолжающегося изменения климата разнообразные процессы, например, удлинение вегетационного периода и усиление роста растений, в сопоставлении с процессами таяния вечной мерзлоты и усиления режима природных нарушений могут частично компенсировать друг друга. В какой степени это это может происходить и каков соответствующий чистый баланс, неясно, хотя снижение стока представляется вероятным.

Изменение климата и его влияние на продуктивность лесов, ареалы видов и режимы нарушений представляет угрозу для лесов и обеспечения ими экосистемных услуг на обширных территориях. Однако природные нарушения открывают также и возможности для изменения практики, например, по адаптации породного состава к изменяющемуся климату или работ в направлении обеспечения необходимых условий на участках для выращивания лесов в будущем.

Управление лесами

Леса могут способствовать достижению целей смягчения последствий изменения климата и, в то же время, практика использования лесов также может стать более эффективной. Для достижения полного потенциала смягчения последствий изменения климата с использованием лесов и лесного сектора потребуется комплекс мер, который одновременно должен принимать во внимание как вопросы функционирования лесных экосистем, так и вопросы использования древесины. Такое сочетание будет включать в себя активизацию и совершенствование лесопользования в доступных лесах и, вместе с тем, защиту первичных лесов и других лесов с высоким уровнем биоразнообразия.

Из общей площади эксплуатационных лесов (около 600 млн. га) только около половины в настоящее время являются доступными. Системы лесопользования в доступных лесах должны быть пересмотрены для достижения цели активизации управления ими с долгосрочными целями. Существующая система краткосрочных договоров аренды и экстенсивной эксплуатации («добыча древесины») без надлежащего лесовосстановления приводит к деградации лесных ресурсов, а также к увеличению дальности транспортировки заготовленной древесины.

Необходимо улучшать лесопользование для смягчения последствий изменения климата и адаптации к его воздействиям, особенно в европейской части России и южных зонах остальной части России. Важной управленческой мерой, которая может принести преимущества в контексте изменения климата, является увеличение доли древесины, получаемой в результате рубок ухода в общем объеме заготовки древесины. Увеличение доли древесины, получаемой в результате рубок ухода, позволило бы улучшить характеристики насаждений, сократить объемы заготовки в ходе финальных рубок и снизить риски возникновения лесных пожаров.

Еще одной важной мерой является отбор и более эффективное использование высококачественных лесных генетических ресурсов. Многие леса в России в настоящее время восстанавливаются естественным путем, но применение искусственного лесовосстановления (или восстановления лесов, сочетающего элементы естественного и искусственного) позволяет вводить климатипы и селекционный материал, лучше адаптированный к будущим климатическим условиям. Результаты селекции в странах Балтии и Северной Европы также свидетельствуют о том, что можно добиться значительного увеличения показателей роста. Инвестиции в селекцию древесных пород и в совершенствование методов лесовосстановления могут принести пользу в плане смягчения последствий изменения климата и адаптации к ним.

Наконец, увеличение видового разнообразия древесных пород, особенно за счет увеличения доли широколиственных пород, также является важной мерой, которую следует учитывать. Эта мера способствует повышению устойчивости лесов к нарушениям, связанным с лесными пожарами, повреждениями ветром и массовым размножением вредителей. Чтобы облегчить реализацию такой меры, важно поощрять развитие новых технологий, которые стимулируют использование более широкого набора древесных пород.

Вместе с тем важно принимать во внимание региональные различия российских лесов. Региональные примеры сценариев, разработанных по методике климатически оптимизированного лесного хозяйства (CSF) привели к различным результатам в зависимости от характера лесопользования, реализуемого в настоящее время в рассмотренных регионах – BAU. В двух регионах сценарий CSF привел к

улучшению баланса CO_2 (дополнительный сток и замещение) на уровне ~0,6 тонны $\text{CO}_2/\text{га}/\text{год}$. Однако в одном регионе, где в настоящее время отмечается чрезмерный объем лесозаготовок, в соответствии со сценариями CSF он снижается. Это приводит к дополнительному смягчающему эффекту по лесной биомассе в размере 0,4 тонны $\text{CO}_2/\text{га}/\text{год}$, но из-за негативного эффекта замещения общий улучшенный чистый эффект составил всего 0,1 тонны $\text{CO}_2/\text{га}/\text{год}$.

Создание благоприятной среды для биоэкономики

Для осуществления целей Парижского соглашения необходима сильная, амбициозная и эффективная климатическая политика и политические инструменты и они должны быть реализованы в срочном порядке. Потенциал российских лесов можно раскрыть только за счет инвестиций в совершенствование практики лесопользования и лесопользования, мобилизацию древесины и промышленное развитие, а также в научные исследования, развитие технологий и инновации. Инвестиции в лесопользование и биоэкономику могли бы начаться в рамках отраслевых инновационных циклов и кооперации между ними, что, в свою очередь, позволило бы возвращать средства для совершенствования лесопользования, инфраструктуры и обеспечения экосистемных услуг лесов, включая сохранение биоразнообразия. Крайне важна ясно выраженная заинтересованность в обеспечении устойчивого управления лесами.

Развитие новых/формирующихся рынков биоэкономики и инвестиции в новые экологически чистые продукты из древесины, полученной из устойчиво управляемых лесов, должны поддерживаться путем повышения осведомленности и подготовленности глобальных потребителей, а также с помощью поощрений, включая государственные стимулы. Если глобальная осведомленность, а также правительственная политика, приведут к выполнению целей Парижского соглашения, отрасли, ориентированные на ископаемые источники энергии и материалы, могут потерпеть крах в следующие десятилетия из-за отсутствия рыночного спроса. Поэтому такие страны как Россия должны срочно начать поиск новых возможностей экономического развития, и лесная биоэкономика может быть одним из вариантов. Основные области новой/формирующейся биоэкономики с точки зрения экологических, экономических и социальных последствий включают следующее:

- Большой потенциал роста существует у новых технологий деревянного домостроения, таких как использование панелей CLT: например, если к 2050 году площадь зданий, построенных из CLT-панелей в России, составит 128 млн м², это может привести к предотвращению выбросов CO₂ в объеме 43,9 млн тонн в год.
- Широкие возможности текстиля на основе древесины на мировых текстильных рынках: например, если глобальный годовой спрос на искусственные целлюлозные волокна составит 36 млн тонн к 2050 году, удовлетворение этой потребности может помочь предотвратить выбросы CO₂ в объеме 122 млн тонн в год. В будущем Россия может стать важным производителем текстиля на основе древесины для глобальных рынков.
- Значительное количество древесных отходов в России может быть использовано для замещения ископаемого угля в производстве энергии.

Комплексный подход

Комплексный подход к принятию решений в лесном секторе учитывает воздействие как на экосистему, так и на техносистему одновременно. Отсутствие целостного подхода приводит к неоптимальным решениям.

Россия обладает мощным потенциалом для развития лесной биоэкономики, исходя из предположения, что устойчивое развитие лесных ресурсов в условиях изменения климата будет обеспечиваться соответствующими адаптационными и смягчающими изменение климата мерами, учитывающими также вопросы сохранения биоразнообразия и обеспечения экосистемных услуг. Кроме того, повышение доступности лесных ресурсов потребует инвестиций в улучшение инфраструктуры. Однако также важно помнить, что в некоторых регионах уже имеют место чрезмерные объемы заготовки древесины и крупномасштабные природные нарушения лесов.

Увеличение частоты и степени воздействия природных нарушений в лесах представляет собой серьезную проблему для дальнейшего использования лесных ресурсов и, как следствие, для потенциала устойчивой биоэкономики. Инвестиции и совершенствование лесоправления необходимы для повышения смягчающего последствия изменения климата потенциала российских лесов и их устойчивости. Однако также существуют дополнительные возможности для повышения эффективности, такие как более ресурсоэффективное снабжение древесиной (охватывающее заготовку, хранение и транспортировку) и более эффективные производственные процессы, например, в энергетике. Эти возможности могут привести к значительному повышению эффективности использования заготавливаемого сырья. Это также касается более широкого использования продуктов побочных потоков промышленных процессов, которые в прошлом утилизировались как отходы.

Ключевые выводы и следующие шаги

В данной публикации обобщены современные научные представления о лесах России и изменении климата, а также определены возможности и проблемы, связанные с адаптацией к изменению климата, смягчением его последствий и развитием биоэкономики. Основные выводы и рекомендации в отношении последующих шагов можно обобщить следующим образом:

- 1) В настоящее время леса России представляют собой крупный поглотитель углерода, но существуют также и большие площади на севере и востоке России, которые выступают в качестве источника углерода. Эти территории обычно расположены либо в зоне многолетней мерзлоты, либо в лесах, подвергшихся повреждениям. Возникающие на протяжении нескольких лет крупномасштабные лесные пожары с последовательно возрастающим уровнем усыхания насаждений могут привести к значительному сокращению площади лесов, выступающих как поглотитель углерода.
- 2) Последствия природных нарушений (лесные пожары, массовое размножение вредителей и др.) в будущем могут иметь критическое значение: следует уделять внимание их предотвращению, а также вопросам совершенствования лесовосстановления. Воздействие изменения климата представляет серьезную угрозу для лесного сектора. Потенциал достижения целей Парижского соглашения за счет значительного вклада биоэкономики не может быть реализован без активного управления лесами, направленного прежде всего на предупреждение природных нарушений и повышение климатической устойчивости лесов.
- 3) Необходимы инвестиции в устойчивое и климатически оптимизированное управление лесами, которые должны быть направлены на достижение долгосрочных целей, вместо практики заключения краткосрочных договоров аренды, а также на совершенствование инфраструктуры, особенно в доступных для освоения лесах. Без активного, климатически оптимизированного управления лесами невозможно реализовать амбициозные цели биоэкономики. Иными словами, инвестиции в биоэкономику позволят обеспечить финансирование для совершенствования лесопользования и инфраструктуры, что может, в свою очередь, содействовать сохранению биологического разнообразия и обеспечению экосистемных услуг лесов.
- 4) Еще одним важным направлением является лесовосстановление, поскольку и в будущем также возможны крупномасштабные природные нарушения. Для того, чтобы сохранить и даже увеличить вклад лесного сектора в смягчение последствий изменения климата, потребуются активная поддержка крупномасштабного лесовосстановления.
- 5) При разработке планов действий следует учитывать региональные различия.
- 6) Для эффективного смягчения последствий изменения климата и адаптации к ним, а также для сохранения биологического разнообразия лесов необходим целостный подход. Предлагается использовать климатически оптимизированные методы ведения лесного хозяйства для объединения мер

по смягчению последствий изменения климата с мерами по адаптации к ним, что позволит повышать климатическую устойчивость лесов России и обеспечивать баланс между экосистемными услугами лесов, а также удовлетворять потребности общества.

- 7) Успешное развитие рынков биоэкономики, связанных с экономикой замкнутого цикла, может создать новую экономическую основу для замены линейной экономики, основанной на использовании ископаемого сырья.
- 8) Внедрение в практику результатов научно-исследовательских работ - это еще одна важная задача, а успешное использование лесных ресурсов в будущем будет в значительной степени зависеть от совершенствования практики лесоуправления и лесопользования. Потенциальные выгоды от таких концепций, как климатически оптимизированные методы ведения лесного хозяйства, требуют серьезных изменений в области административной ответственности. Предлагаются следующие темы для дальнейшего рассмотрения и внедрения:
 - Совершенствование лесной политики с учетом развития лесной биоэкономики замкнутого цикла и эффективного смягчения последствий изменения климата и адаптации к ним.
 - Разработка национальной стратегии, а также национальных и региональных планов действий по развитию лесной биоэкономики замкнутого цикла.
 - Совершенствование национальной системы учета и мониторинга лесов с учетом интеграции современных наземных методов измерения и возможностей дистанционного зондирования.
 - Совершенствование управления лесами в целом, а также на заброшенных сельскохозяйственных землях в целях предотвращения воздействия природных нарушений, а также в целях увеличения производства древесины и связывания углерода.
 - Учет возможностей новых секторов биоэкономики, таких как использование древесины в строительстве, текстильной промышленности и производстве биотоплива, с точки зрения задач экономического развития и целей декарбонизации

Что нам может сказать наука



Мы живем в сложной и меняющейся среде, где существует тесная взаимосвязь между экосистемами, обществом, экономикой и окружающей средой. Серия ЕИЛ «Что нам может сказать наука» основана на коллективных научных экспертных обзорах, предоставляющих междисциплинарную справочную информацию по ключевым и сложным вопросам, связанным с проблемами лесов, для лиц, определяющих политику и принимающих решения, граждан и общества в целом.



EUROPEAN FOREST
INSTITUTE

Yliopistokatu 6B, FI-80100 Joensuu, Финляндия
Тел. +358 10 773 4300
www.efi.int

Европейский институт леса (ЕИЛ) — это международная организация, учрежденная европейскими государствами. ЕИЛ проводит исследования и предоставляет рекомендации по вопросам, связанным с лесами. Он содействует созданию исследовательских сетей, связанных с лесами, а также предоставлению объективной и актуальной информации о лесах и лесном хозяйстве для принятия управленческих решений. Он также выступает за проведение научных исследований в области лесов и за предоставление научно обоснованной информации в качестве основы для разработки политики в отношении лесов.