

Лесохозяйственные мероприятия – инструмент управления углеродным циклом в лесных экосистемах. Опыт Канады

Н. В. Малышева – Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, кандидат географических наук, зав. сектором

Т. А. Золина – Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, старший научный сотрудник

П. С. Кинигопуло – Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, научный сотрудник

По литературным источникам выполнен анализ многолетних исследований влияния лесоправления на изменение углеродного баланса в лесных экосистемах Канады. Дана аналитическая оценка лесохозяйственным мероприятиям, которые вносят существенный вклад в увеличение запасов углерода, предотвращение и снижение эмиссий парниковых газов в атмосферу.

Ключевые слова: изменение климата, баланс углерода, депонирование углерода лесами, эмиссии углерода, запас углерода, лесохозяйственные мероприятия.

Государственная политика в области климата, цели которой изложены в Климатической доктрине, утвержденной Президентом Российской Федерации, направлена на концентрацию усилий по снижению выбросов парниковых газов в атмосферу и увеличению их абсорбции поглотителями и накопителями. В рамках доктрины предусматривается реализация мер по защите и повышению качества поглотителей и накопителей парниковых газов, включая рациональное ведение лесного хозяйства, облесение и лесовозобновление на устойчивой основе [1].

Адаптация лесов к климатическим изменениям и усиление углерододепонирующей способности лесов является актуальной задачей лесного хозяйства, однако адаптивный потенциал лесов в региональном аспекте и оценка лесохозяйственных мероприятий как инструмента предотвращения и смягчения парникового эффекта изучены недостаточно.

Согласно Киотскому протоколу (1997), в лесном хозяйстве прямые результаты деятельности человека по накоплению углерода связаны с лесовосстановлением и лесоразведением. Кроме этого, существенный вклад в увеличение стоков и снижение эмиссий парниковых газов могут вносить хозяйственные мероприятия, направленные на повышение продуктивности лесов, улучшение охраны их от пожаров и защиты от вредных насекомых и болезней. Все эти мероприятия могут рассматриваться как деятельность по организации устойчивого управления лесами, а увеличение углерододепонирующей способности лесов – как позитивный результат такого управления. Увеличение запасов углерода не только способствует снижению накопления атмосферных парниковых газов, но и служит индикатором усиления способности лесов поддерживать экологическую, экономическую и социально значимую деятельность.

Многолетние исследования проблемы влияния лесопользования на изменение углеродного цикла проводятся в Канаде. На леса Канады приходится 7,7 % лесов планеты, при этом 75 % ее лесов относится к бореальным (для сравнения: леса России – около 20,1 % площади лесов плане-

ты, 67 % из них бореальные леса) [<http://www.fao.org/forestry/fra/fra2010/en>].

Бореальная зона в Канаде простирается от Юкона и северной части Британской Колумбии на западе до Ньюфаундленда и Лабрадора на востоке страны. Более половины (54 %) лесов бореальной зоны относится к управляемым, депонирование углерода в них оценивается в 28 Мт [<http://www.nrcan.gc.ca/forests/boreal/13071>].

При различных сценариях моделирования повышения температуры на планете в результате глобального потепления будут наблюдаться региональные различия. При этом наиболее существенное повышение температуры прогнозируется в Восточной Канаде и Центральной России – до 10–12 °C [2]. В связи с этим канадский опыт изучения влияния лесопользования на цикл углерода для нас наиболее интересен. Кроме того, типы растительных сообществ, которые распространены в Канаде и России, а также объемы лесохозяйственных мероприятий во многом схожи. В обеих странах доминируют бореальные и хвойно-широколиственные леса. Важной особенностью является сохранность на огромных территориях естественных лесных экосистем, мало подверженных антропогенному воздействию. Нормы использования лесов в Канаде устанавливаются законодательными и подзаконными актами провинций, в компетенции которых находятся и вопросы планирования [3–5]. Значительная часть лесохозяйственных мероприятий финансируется из бюджетов провинций. Провинция Онтарио, по мнению неправительственных экологических организаций [6], может служить примером ведения научно обоснованного, интенсивного, экологически ориентированного лесного хозяйства в бореальной зоне.

Цель настоящей работы – проанализировать канадский опыт применения систем лесохозяйственных мероприятий для управления углеродным циклом в лесных экосистемах регионального уровня. На примере канадской провинции Онтарио, где выполнен большой объем исследований в этом направлении, мы рассмотрим основные факторы, влияющие на углерододепонирующую способность лесов бореальной зоны, и роль лесохоз-

зяйственных мероприятий в увеличении накопления углерода лесными экосистемами.

За последние два десятилетия оценке углеродного бюджета лесов посвящены десятки тысяч работ разных научных коллективов [7]. Несмотря на различие методических подходов и используемых информационных источников, все региональные оценки получены расчетным путем и базируются на моделировании.

Для расчета углеродного бюджета в Канаде повсеместно применяется модель Углеродного бюджета канадского лесного сектора (CBM-CFS) [8], которая опробована и для инвентаризации запасов углерода в лесах России [9]. Модель CBM-CFS считается национальным стандартом Канады, протестирована в 45 странах мира, прошла экспертизу РКИК ООН¹ и признана пригодной для инвентаризации и прогноза депонирования углерода лесами [10]. Работы по моделированию углеродного баланса в лесах провинции Онтарио выполнены на основе этой модели.

В обзоре, подготовленном научным коллективом Института исследований леса провинции Онтарио [11], рассматривается 10 видов деятельности по управлению лесами, которые оказывают влияние на цикл углерода. Они объединены в 4 группы:

- ✓ защита лесов (от пожаров, повреждений вредителями и болезнями);
- ✓ заготовка древесины (сокращение площадей, нарушенных рубками, контроль площади, занятой лесовозными дорогами, трелевочными волоками и нижними складами);
- ✓ формирование насаждений (подготовка лесного участка, посадка леса, управление фитоценозами);
- ✓ повышение продуктивности (рубки ухода – прореживание, внесение удобрений, улучшение генетических качеств древостоя).

Оценка влияния мероприятий, связанных с управлением лесами, подкреплена результатами моделирования с использованием программного комплекса CBM-CFS. Расчеты выполнены на ос-

нове упрощенного допущения о продуктивности лесов и составе пород на повыдельном уровне. Переход от повыдельного уровня к уровню провинции (региональному) осуществлен с использованием статистических данных о площадях, на которых проведены различные виды лесохозяйственных мероприятий с 1990 г., базового согласно Киотскому протоколу. Результаты моделирования стоков и источников углерода по экорегионам Канады и стране в целом подробно описаны в работе [12].

Потенциальное предотвращение эмиссий углерода связано с усилением охраны лесов от пожаров и защиты от вредителей и болезней.

В оценках разных исследователей существуют большие расхождения углеродных эмиссий от лесных пожаров. Это связано с различными методами определения площадей, пройденных лесными пожарами, в том числе и в России, разными источниками данных, используемыми для подсчета площадей, сложностью оценки и неопределенностью полученных результатов. Мировая практика подтверждает, что использование универсальных средств сбора данных о распространении пожаров (например, дистанционного зондирования) не решает проблему, так как связь интенсивности пожара со сгоревшей при пожаре фитомассой и коэффициенты пересчета углерода в живой фитомассе при переходе в мертвое органическое вещество имеют очень высокую степень неопределенности [13].

Превентивные противопожарные мероприятия снижают риск возникновения лесных пожаров, а эффективные меры по их ликвидации предотвращают прямые эмиссии углерода в атмосферу. Вероятность возникновения пожаров зависит от погодных условий, возраста насаждений, характеристик лесных горючих материалов, типа леса, успешности обнаружения очагов пожаров и эффективности предпринимаемых мер по борьбе с пожарами.

В провинции Онтарио большинство лесных пожаров приходится на бореальные леса. В сред-

¹ Рамочная конвенция ООН об изменении климата – международное соглашение по проблеме изменения глобального климата.

нем каждый год происходит 1 480 пожаров, при которых погибает 1,4 млн га лесов. За период наблюдений (с 1917 по 2000 г.) отмечено 20 лет с сильными пожарами, при которых сгорело более 2,8 млн га лесов, что вдвое превышает среднее многолетнее значение [11].

Временные и пространственные изменения в пуле лесного углерода, которые наблюдаются после повреждения насаждений огнем, обусловлены интенсивностью лесных пожаров. Прямые эмиссии возникают из-за горения фитомассы, с соответствующими потерями углерода в напочвенном покрове, наземной растительности и верхнем ярусе, увеличиваясь в зависимости от интенсивности горения. В бореальных лесах во время пожара уничтожается 40–60 % подлеска и живого напочвенного покрова. Крупный древесный материал – растущие и сухостойные стволы верхнего яруса, крупные ветви – обычно сгорают при пожаре только частично, до 80 % фитомассы верхнего яруса может сохраниться после пожара. Прямые потери углерода при пожарных эмиссиях варьируют от 7 до 22,5 т/га, что составляет приблизительно 9–12 % углерода (C) в смешанных и твердолиственных лесах и от 20 до 28 % C в хвойных лесах [14]. Службой охраны от природных пожаров Канады общие ежегодные прямые эмиссии углерода с 1959 по 1999 г. оценивались в 13 т/га. Отечественные исследователи приводят следующие оценки [15]: при лесных пожарах в сосняках эмиссия углерода составляет от 4,8 до 15,4 т/га в зависимости от интенсивности горения, что в 3–12 раз больше, чем высвобождается при естественном процессе разложения в течение года, и экосистема переходит в состояние источника (эмиттера) углерода.

Послепожарные потери углерода от разложения органического вещества значительно превосходят его накопление за счет зарастания гари на первом этапе восстановления насаждения, при этом насаждение в целом «работает» как источник углерода минимум 20–30 лет. Снижение затенения полога и толщины теплоизоляционных органических слоев напочвенного покрова, почернение земной поверхности на участках гарей поднимает поверхностную температуру и

усиливает скорость разложения. В северных лесах общие потери углерода после пожара от разложения равны или намного превышают потери от горения, составляя 40–80 % продуцируемого углерода.

Различия в горимости насаждений приводят к тому, что пожары по-разному воздействуют на сток и эмиссии углерода в лесах разного породного состава. Пожары в твердолиственных и смешанных хвойно-твердолиственных лесах Канады меньше распространены, менее разрушительны и углеродные эмиссии в таких лесах ниже, чем в хвойных. Из-за большего накопления лесных горючих материалов в хвойных лесах значительно возрастает опасность возникновения пожара. Скорость воспламенения и распространения низового пожара в Онтарио и северо-западном Квебеке увеличивается от лиственных к смешанным и чистым хвойным лесам из-за большей горимости поверхностных горючих материалов в хвойном лесу и пространственной приуроченности. В смешанных и твердолиственных насаждениях опасность возникновения пожара снижается и увеличивается накопление углерода в границах ландшафта [11].

Проблема значительных изменений пожарного режима, в связи с деятельностью человека или под воздействием изменения климата, реально существует. Е. Кашишке с соавторами [16], моделируя влияние потенциального глобального потепления на углеродный баланс бореальных лесов, прогнозируют значительное воздействие изменений межпожарного интервала на средний запас углерода в бореальных экосистемах. Удвоение межпожарного интервала, например с 50 до 100 лет, может привести к росту запасов углерода на 20–30 %. Согласно этой модели, максимальный запас углерода прогнозируется при межпожарном интервале свыше 300–400 лет, а наибольшая его чувствительность к изменениям – при интервале 20–150 лет (это близкий к естественному диапазон для бореальных экосистем в настоящее время). Данные, приведенные по Онтарио, позволяют сделать вывод о 89 %-м снижении ежегодно выгорающей площади (увеличение межпожарных интервалов с 65 до 580 лет)

благодаря своевременному тушению пожаров [14, 17]. Таким образом, увеличение межпожарного интервала в результате профилактических противопожарных мероприятий может значительно повлиять на уровень накопления углерода в бореальных экосистемах в глобальном масштабе [15].

Охрана лесов от пожаров в провинции Онтарио

В провинции Онтарио на общей площади 77,9 млн га² выделены 3 зоны – экстенсивная, интенсивная и регулируемая, – которые, согласно законодательному акту провинции, имеют различный уровень охраны лесов от пожаров. Ежегодные расходы на противопожарную охрану составляют 85 млн долл. США (по состоянию на 2000 г.). Севернее 52° с. ш., где в лесах не проводятся коммерческие лесозаготовки, а плотность населения невелика и населенные пункты малочисленны и разрежены, находится экстенсивная зона управления охраной лесов от пожаров площадью около 26,6 млн га. Здесь лесные пожары продолжают играть естественно-экологическую роль, а борьба с ними проводится только тогда, когда необходимо обеспечить защиту общин и инфраструктуры (линий электропередачи, месторождений полезных ископаемых и т. д.). Зона интенсивной охраны лесов от пожаров расположена на севере и в центральном Онтарио, там, где сосредоточено основное население, рекреационные территории и леса, используе-

мые для коммерческих лесозаготовок. Выявление очагов пожаров и активная борьба с ними в интенсивной зоне, занимающей 40,3 млн га, направлены на сокращение до минимума площадей, повреждаемых пожаром, и негативного воздействия на общественные ценности. Узкая полоса в 11,1 млн га, на которой осуществляется регулируемая охрана, разделяет экстенсивную и интенсивную зоны. В этой зоне используется интенсивное тушение пожаров по мере того как очаг обнаружен. Однако если предприняты максимальные усилия по тушению пожара, а сделать это не удастся, то дальнейшие попытки потушить пожар оцениваются исходя из ресурсов и необходимости защиты населения.

Средние характеристики горимости лесов в интенсивной, регулируемой и экстенсивной зонах провинции Онтарио с 1990 по 2001 г. приведены в табл. 1. В зонах интенсивной и регулируемой охраны наблюдается большее число пожаров малой площади, чем в зоне экстенсивной охраны (см. табл. 1). Усиление охраны лесов от пожаров приведет к снижению как общей площади гарей, так и средней площади отдельной гари, а также к изменению количества очагов пожаров. По оценкам канадских исследователей [11], осуществление на практике интенсивной охраны лесов от пожаров на территориях, расположенных в зонах экстенсивной и регулируемой охраны, может снизить поврежденные огнем площади до 92 тыс. и 20 тыс. га в год соответственно, или на 112 тыс. га в год для общей площади (77,9 млн га), охраняемой от пожаров, в провинции. Применение интенсивной охраны лесов

Таблица 1. Количество и общие площади лесов, ежегодно повреждаемые пожарами по зонам охраны в провинции Онтарио

Зона	Площадь, млн га	Количество пожаров в среднем за год, шт.	Площадь, повреждаемая огнем, за год, га	Средняя площадь гари, га
Экстенсивная	26,6	92	123 932	1 345
Регулируемая	11,1	135	33 816	251
Интенсивная	40,3	1 225	48 123	39

² Общая площадь земель провинции Онтарио составляет 91,7 млн га. Приведенные площади лесных земель, охраняемых от пожаров, сопоставимы с территорией Хабаровского края Российской Федерации (77,5 млн га) или Иркутской обл. (77,4 млн га) [<https://ru.wikipedia.org/wiki/%CE%ED%F2%E0%F0%E8%E8>].

от пожаров в регулируемой зоне могло бы снизить площади, ежегодно повреждаемые огнем, на 40 %.

Используя данные табл. 1 и модель CBM-CFS3 для II класса бонитета насаждений ели черной, канадскими учеными сделан расчет прогнозного воздействия улучшения охраны лесов от пожаров на углеродный баланс (С). В этом эксперименте принято допущение, что возраст насаждений, которые выгорели, составляет 100 лет, и они возобновляются после пожара естественным путем, а несгоревшие насаждения остаются ненарушенными в течение этого же времени. С 2008 по 2012 г. расширение зоны интенсивной охраны за счет 11,1 млн га зоны регулируемой охраны приведет к дополнительному накоплению около 4,1 Мт С. Увеличение затрат на охрану лесов, применение интенсивной охраны лесов для больших площадей будет способствовать росту их продуктивности и накоплению углерода [11].

Несмотря на увеличение расходов и совершенствование технологий борьбы с лесными пожарами, небольшую часть пожаров не удается потушить оперативно, и они ежегодно повреждают очень большие площади. С 1990 по 2000 г. в зоне интенсивной охраны в провинции Онтарио произошло около 13 тыс. пожаров. Из них менее 2 % – крупные пожары площадью более 1 тыс. га, которые не удалось потушить оперативно. Как следствие, их доля составила около 97 % общей площади гарей за весь период наблюдений. По мнению канадских экспертов, дополнительное вложение средств в охрану лесов не окажет большого влияния на вероятность возникновения таких крупных разрушительных пожаров. Более того, даже если будет возможно улучшить охрану лесов от пожаров для увеличения накопления углерода в бореальных лесах, этот подход может быть оспорен как практически нереальный, чрезмерно дорогой и экологически нежелательный [16]. Был оценен альтернативный превентивный подход к охране лесов от пожаров, который снижает риск их возникновения. Наиболее важной характеристикой этого подхода является управление накоплением лес-

ных горючих материалов. Противопожарные и лесохозяйственные мероприятия – предварительный отжиг, уборка захламленности, прорубка просек, рубки ухода и т.д. – способствуют снижению скорости распространения и интенсивности пожара. Эти подходы предпочтительно использовать на небольших площадях, чтобы защитить эксплуатационные леса, лесные участки, показательные по уровню управления, или имеющие особое значение, чтобы продемонстрировать потенциальные возможности сокращения пожарной опасности на уровне провинции.

Проведение противопожарных мероприятий, при которых можно избежать развития лесного пожара до стадии катастрофического, поможет сохранить углерод, депонированный как лесами, так и болотами. В болотах скорость его накопления меньше, чем в лесах, но сохраняется он гораздо дольше – несколько тысячелетий. Как отмечают исследователи [18], сокращение площади пожаров на 1 га в год, по сравнению с существующим состоянием, эквивалентно для углеродного баланса атмосферы дополнительному созданию 5 га углерододепонирующих лесных насаждений.

Чтобы снизить риски возникновения природных пожаров высокой интенсивности в лесах России, вероятность которых возрастает с изменением климата, и предотвратить масштабные эмиссии, исследователи предлагают разработать новую доктрину охраны лесов от пожаров и выделить для этого необходимые ресурсы [19]. Канадские исследователи имеют на этот счет другую точку зрения [20]. При потеплении климата пожарные режимы будут более напряженными, они будут сопровождаться увеличением количества очагов лесных пожаров, вероятности возникновения катастрофических пожаров и возрастанием площади выгоревших лесов. В зоне интенсивной охраны лесов от пожаров потребуются ресурсы и определенные усилия, чтобы сохранить прежний уровень пожарной безопасности. До сих пор не изучены экологические последствия роста пожаров на торфяных болотах, чтобы разработать стратегию управления торфяными пожарами. Усиление противопожарной

охраны лесов может быть предложено как инструмент решения проблем с эмиссиями парниковых газов, но этот инструмент дорогостоящий и требующий больших затрат, особенно, если расширять зону интенсивной и регулируемой охраны от лесных пожаров далеко на север страны. Кроме того, существует конфликт между сторонниками усиления действенности противопожарных мероприятий и сторонниками поддержки естественных природных режимов на севере и целостности экосистем в зоне экстенсивной охраны лесов.

Канада решила не включать управление лесами в расчеты по Киотскому протоколу на период действия с 2008 по 2012 г., основываясь, прежде всего, на неопределенности воздействия нарушения на накопление и эмиссию углерода в управляемых лесах. На международных переговорах по изменению климата Канада аргументировала свою позицию, заключающуюся в том, что эмиссии под влиянием природных факторов должны быть вынесены «за рамки», т.е. исключены из расчетов углеродного баланса, как доходной части, так и расходной. При таком подходе при усилении или возрастании эффективности охраны лесов от пожаров никаких преимуществ в отношении эмиссионных кредитов начисляться не будет. Повышение качества противопожарной охраны как средства сохранения накопленного лесами углерода, может рассматриваться как желанная цель со стороны общественности и управления охраной природы, даже если не принесет выгод от прямых углеродных кредитов.

Вопрос огромной важности связан с концепцией усиления пожарной охраны как для управляемых лесов, так и для лесов экстенсивной зоны крайнего севера Канады. Эксперты считают [20, 21], что стоимость охраны будет очень велика, а возможность реализации очень неопределенна. В настоящее время пожары на крайнем севере способствуют природному функционированию экосистем, сохраняют биоразнообразие и поддерживают местообитания животных. Ценность углерода по сравнению с другими полезностями, которые необходимо было бы защитить с помощью противопожарных мероприятий, сле-

дует тщательно взвесить и ранжировать. Несмотря на реализацию дорогостоящих современных программ по управлению лесными пожарами, от них регулярно повреждаются большие площади управляемых лесов Канады. Расширение охраны, даже при увеличении ресурсов, эту тенденцию не изменит. Несмотря на то что противопожарные мероприятия могут отсрочить потери от пожаров, они не устранят их полностью. Поэтому предлагается поддерживать естественные природные режимы экосистем крайнего севера Канады, для которых пожары необходимы. Парадоксальная ситуация может возникнуть тогда, когда потепление климата приведет к резкому росту количества очагов пожаров и площади повреждений. В этом случае темпы климатических изменений пожарного режима могут превосходить темпы адаптации экосистем настолько, что пожары будут нарушать баланс экосистем. Такой поворот событий может привести к нарушению фитоценозов и их экосистемных функций. В любой ситуации взаимосвязь пожаров и экосистемной динамики будет меняться. Леса Канады в течение длительного времени поддерживают углеродный баланс. В связи с вышеизложенным возникает вопрос: столь ли необходимы инвестиции в пожарную охрану, чтобы снизить эмиссии углерода от пожаров, может лучше более эффективно их вложить в снижение углеродных эмиссий от других секторов экономики? [20].

Для обеспечения интенсивной охраны лесов от пожаров предлагаются стратегические решения по улучшению зонирования территории Канады, совершенствованию лесного планирования с учетом ландшафтных принципов, интеграции лесохозяйственного и лесопожарного планирования, использованию природных барьеров и созданию защитных буферов из растительности, которые снизят опасность распространения природных пожаров высокой интенсивности. Следует увеличить использование управляемых пожаров для содействия лесовосстановлению, поддержания и восстановления продуктивности лесов и содействия защите лесов. Управление природными ресурсами потребует лучшего понимания

преимуществ от использования пожаров как средства сохранения природных экосистем в противовес сегодняшней потребности тушения пожаров для безопасности общественности и защиты ресурсов [20, 21].

Защита лесов от вредителей и болезней леса в провинции Онтарио

Площадь повреждений лесов в результате вспышек численности насекомых в Канаде превышает площади лесов, поврежденных огнем³. Листовертка-почкоед еловый является самым опасным насекомым-вредителем хвойных лесов Северной Америки. Например, в Восточном Онтарио с 1941 по 1996 г. листоверткой-почкоедом еловым (*Choristoneura fumiferana*) повреждено лесов в 20 раз больше, чем огнем [22]. В Британской Колумбии беспрецедентная вспышка численности соснового лубоеда (*Dendroctonus ponderosae*) затронула 3,7 млн га бореальных лесов [23]. Она связана с экстремальными погодными условиями – несколькими последовательными годами с теплым и сухим летом. Резкое повышение численности этого вида вызвано тем, что при высоких летних температурах насекомые успевают пройти полный жизненный цикл за год, а не за два, как при обычных погодных условиях [22]. Воздействие климатических изменений на жизненный цикл этого вида – основной фактор, влияющий на частоту и интенсивность вспышек численности вредителя.

Вспышки численности насекомых, приводящие к гибели насаждений, являются серьезным фактором, который может существенно снизить способность бореальных лесов депонировать углерод и, одновременно, увеличить эмиссии вследствие разложения опада. Вспышка численности соснового лубоеда в Британской Колумбии превратила 3,7 млн га лесов из стока углерода в эмиттер, причем эмиссия углерода не пре-

кращается и после затухания самой вспышки. В один из наиболее тяжелых годов, с точки зрения размножения насекомых, объем эмиссии углерода с данной территории доходил до 75 % объема среднегодовой эмиссии углерода вследствие пожаров на всей территории Канады с 1959 по 1999 г. Кумулятивный эффект от вспышки массового размножения соснового лубоеда с 2000 по 2020 г. прогнозируется в этой провинции Канады в размере 270 Мт углерода, или 36 г/см² в год, для лесов на площади более 3,7 млн га [23]. Это свидетельствует, что усилия по сохранению баланса атмосферного углерода с помощью лесохозяйственных мероприятий могут быть сведены к нулю в результате природных аномалий, причем это относится не только к Канаде, но и к другим странам [24–26].

Насекомые-вредители и болезни – более опасные факторы, вызывающие нарушенность лесов провинции Онтарио, чем природные пожары и лесозаготовки. Ежегодно, с 1975 по 2002 г., вредители вызывали среднюю и сильную дефолиацию на площади около 15 млн га, при этом восточный еловый лубоед (основной вредитель) повреждал в среднем почти 8 млн га в год. Для сравнения: в течение упомянутого периода ежегодная средняя площадь, пройденная пожарами, – 215 тыс. га, а пройденная рубкой – 212 тыс. га. Потери древесины от вредителей и болезней варьируют в среднем от 1/2 до 2/3 объема ежегодно заготавливаемой в провинции Онтарио древесины. В период высокой численности популяции елового лубоеда (с 1982 по 1987 г.) общие потери эксплуатационного запаса древесины от вредителей и болезней составили беспрецедентно большую величину – около 32 млн м³. Из них почти половина потерь запаса обусловлена воздействием насекомых-вредителей, от 20 до 27 % – разрушением стволовой древесины болезнями леса и более 26 % – корневыми гнилями [11]. Для справки: в среднем объем ежегодно заготавливаемой древесины в провинции этот же период составлял 22,4 млн м³.

³ Это также может свидетельствовать о недостаточном уровне защиты лесов от вредителей и болезней по сравнению с охраной лесов от пожаров в Канаде.

Управление лесами с целью предотвращения повреждения лесов вредителями и болезнями в провинции Онтарио

По мнению канадских исследователей [11], поскольку подверженность к повреждениям вредными организмами увеличивается с возрастом насаждений, при выборе оборота рубки нужно учитывать лесопатологическое состояние насаждений для данного типа леса. Это – один из способов ограничить потери. Повреждение патогенами они предлагают снизить путем профилактической подготовки участка. Например, повреждение корневой губкой в культурах молодых хвойных пород можно предотвратить посредством удаления пней и сгребания корней на делянке после рубки, чтобы уменьшить количество инфицированных древесных остатков, которые служат посевным материалом. Рубки ухода (прореживание) помогут уменьшить подверженность повреждению некоторыми видами вредителей (такими, как: сосновый короед, листовёртка-почкоед сосны Банкса) или увеличить потенциал дерева-хозяина по восстановлению после дефолиации, вызванной вредителями (такими, как: еловый почкоед, непарный шелкопряд).

Подверженность лесных насаждений повреждению некоторыми патогенами предложено снизить путем изменения состава пород древостоя. Так, увеличение доли твердолиственных пород и снижение доли пихты бальзамической в составе лесов провинции Онтарио позволит сократить степень повреждения насаждений и частоту возникновения очагов елового лубоеда. Подобным образом повреждения корневыми гнилями предложено уменьшить путем создания лесных культур из более устойчивых древесных пород и проведения мероприятий по прореживанию насаждений на ранних стадиях развития. Однопородные плантации (монокультуры) с генетически однородным посадочным материалом уязвимы к повреждениям насекомыми-вредителями, которые распространяются очень быстро, поэтому в них необходимо избегать создания однопородных культур на больших площадях, отдавая

предпочтение разновозрастным культурам смешанного породного состава. В настоящее время монокультуры не распространены в провинции Онтарио, представляя собой форму экстенсивного ведения лесного хозяйства. Однако в будущем увеличение объемов лесоразведения, интенсивное управление лесами и создание плантаций для биоэнергетики и смягчения климатических изменений могут потребовать увеличения площадей монокультур.

Насаждения естественного происхождения более устойчивы к повреждению насекомыми-вредителями, поскольку им присуще большее биоразнообразие и в них выше численность энтомофагов, чем в лесных культурах. Потери от корневых гнилей, как правило, более высоки в лесных культурах, чем в насаждениях естественного происхождения. Использование здорового посадочного материала и современных технологий выращивания древесных пород, соответствующих условиям местопроизрастания, позволит избежать экстремальных потерь от корневых гнилей.

Влияние управления лесами на способность противостоять возникновению очагов вредителей проиллюстрировано на примере елового лубоеда в бореальных лесах. В XX в. частота возникновения очагов елового лубоеда и степень опасности в восточных частях Канады возросли из-за усиления борьбы с лесными пожарами, увеличения заготовок древесины и распространения посадок ели белой. По иронии судьбы, использование инсектицидов для контроля за очагами лубоеда в 1950 г. внесло свой вклад в увеличение размеров очагов в 1970 г. из-за роста площадей спелых и перестойных насаждений с преобладанием пихты бальзамической, т. е. тех, в которых развиваются очаги лубоеда [27, 28]. После проведения лесозаготовок произошла смена елово-пихтовых лесов на смешанные в результате естественного возобновления самосевом. Замещение елей черной и белой смешанными лесами снизило их уязвимость к возникновению долговременных, незатухающих, больших по площади очагов. Вместе с тем, снижение уязвимости к повреждению еловым лубоедом в результате увеличения смешанных насаждений

– кратковременное явление, так как под пологом осины канадской, восстановившейся на месте хвойных, после рубки стал развиваться густой подрост пихты бальзамической. Такие насаждения устойчивы к еловому лубоеду до тех пор, пока присутствует верхний ярус, а после того как осину или вырубают, или она усыхает естественным образом, а пихта бальзамическая замещает ее в верхнем ярусе, новые насаждения становятся уязвимы к повреждению еловым лубоедом. Сплошное усыхание насаждений осины канадской в северо-восточном Онтарио, следовавшее за вспышкой массового размножения гусениц коконопряда, привело к такому же результату. По-видимому, преобразование чистых хвойных лесов в смешанные с участием твердолиственных пород в сочетании с борьбой с лесными пожарами делает леса провинции Онтарио более устойчивыми к возникновению очагов массового размножения елового лубоеда.

В бореальных лесах Северной Америки для подавления вспышек массового размножения насекомых-вредителей и болезней леса применяют инсектициды. В последние годы в Канаде мероприятия по защите лесов от вредителей направлены на борьбу с двумя видами – еловым лубоедом и пяденицей, повреждающей тсугу канадскую (хемлок). Из 5,9 млн га, обработанных инсектицидами с 1988 по 2003 г., 66 % площади были обработаны биологическими препаратами, 31 % – фенитротилоном, а остальные – тебуфенозидом, карбарилом или другими инсектицидами. В одной только провинции Онтарио биологические препараты были использованы для защиты почти 400 тыс. га лесов. В последние несколько лет применение химических инсектицидов для защиты лесов ничтожно мало.

Наиболее хорошо описанным примером защиты лесов Онтарио от вредителей в последние несколько десятилетий было аэроопрыскивание инсектицидами площадей, поврежденных еловым лубоедом, с 1968 по 1987 г. Это мероприятие было направлено на противодействие дефолиации высокопродуктивных насаждений, представляющих коммерческий интерес, а также на защиту парков, питомников для выращивания посадочного мате-

риала и прилегающих площадей лесов, уязвимых к повреждению насекомыми. С 1996 г. в Онтарио мероприятия по защите лесов от елового лубоеда были приостановлены. Это обусловлено, с одной стороны, низкой численностью популяции елового лубоеда, а с другой – негативной реакцией общественности на опрыскивание пестицидами. Реакция общественности привела к законодательным ограничениям на опрыскивание насаждений для защиты от насекомых-вредителей. Ограничения не коснулись подавления вспышек в эпицентрах очагов, в лесах с действующими очагами, в ценных и эксплуатационных лесах. Мероприятия по подавлению численности елового лубоеда значаю, прежде всего, в тех насаждениях, где предполагается заготовка древесины в течение ближайших 10 лет, в составе которых ель и пихта бальзамическая превышают 40 % эксплуатационного запаса и которые играют существенную роль в поставках древесины для местных нужд. Однако в некоторых случаях на практике попытки уменьшить повреждение лубоедом с использованием инсектицидов увеличивают продолжительность вспышки и снижают интервалы между вспышками [28].

Несмотря на то что площади, подвергшиеся повреждению еловым лубоедом, значительны, общественность активно противодействует использованию даже сравнительно безопасных биологических препаратов для контроля численности вредителей, поэтому опрыскивания назначают только для предотвращения усыхания особо ценных насаждений при повторной дефолиации. Поскольку общественность обеспокоена применением в лесном хозяйстве методов биологического и химического контроля, лесоуправление в провинции Онтарио ориентируется на использование лесоводственных приемов, а не мероприятий по защите лесов. Лесоводственные приемы включают формирование смешанных насаждений из древесных пород, устойчивых к повреждению, и разновозрастных древостоев.

В последнее время интерес к выращиванию разновозрастных насаждений возрос. Такой лесоводственный прием используется в центральной Европе и Северной Америке. Считается, что он

уместен там, где в естественных условиях произрастают теневыносливые породы деревьев (например, пихта и бук) и где обилие осадков поддерживает необходимую для естественного возобновления влажность [29]. Однако этот способ пока не получил распространения и не стал преобладающим даже в странах центральной Европы, где он зародился, и тому есть объективные экономические причины. По мнению финских лесоводов, выборочное ведение хозяйства или выращивание разновозрастных древостоев является альтернативой современному методу ведения хозяйства по хозсекциям. Сохранение разновозрастной структуры древостоев неизбежно приведет к снижению объемов изъятия древесины. Даже выращивание смешанных древостоев представляет проблему, так как требует больше знаний, опыта и навыков, чем уход за лесными культурами [29].

Количественная оценка потерь эксплуатационной древесины и углерода от вредителей и болезней

Потери запаса древесины и влияние повреждений, вызванных насекомыми-вредителями, на стоки углерода в лесных насаждениях провинции Онтарио проиллюстрированы на примере воздействия елового лубоеда за последние 65 лет. Согласно лесопатологическому районированию, в провинции выделены 3 зоны: северо-западная, север центральной и северо-восточная. По наступлению дефолиации они незначительно сдвинуты по фазе развития вредителя. Так, например, вспышки массового размножения на северо-востоке Онтарио зарегистрированы в 1970 г., на севере центральной и в северо-западной части Онтарио – в 1980 г. и, по прогнозам, ожидаются в 2015 г. [11].

Потери древесины от усыхания и снижение прироста от ослабления еловым лубоедом на северо-западе Онтарио в 1940–1950-х гг. зафиксированы на площади 42,6 тыс. га и составили более

62 млн м³ эксплуатационного запаса, в том числе: 28 млн м³ бальзамической пихты, 18 млн м³ ели белой и 16 млн м³ ели черной. При пересчете общие потери углерода в фитомассе насаждений достигали 34,7 Мт⁴. В северо-восточном Онтарио во время вспышки численности елового лубоеда в начале 1966 г. также наблюдались большие потери древесины. Ко времени окончания этой вспышки, в конце 1980 г., потери насчитывали 126 млн м³ эксплуатационного запаса (или 69,3 Мт углерода в фитомассе насаждений), из них 85 % из-за гибели насаждений и 15 % из-за потери прироста. Для сравнения: потери эксплуатационного запаса от елового лубоеда в период низкой численности популяции с 1994 по 1999 г. варьировались от 3,92 млн до 11,23 млн м³ (или от 2,16 до 6,18 Мт С в фитомассе насаждений), а ежегодные площади повреждения – от 0,5 млн до 4,3 млн га. Потери эксплуатационного запаса от лубоеда в течение этого времени суммарно оценивались в 47,9 млн м³, или приблизительно в 26,4 Мт С в фитомассе насаждений. В это же время снижение эксплуатационного запаса и углерода в фитомассе насаждений вследствие трех других видов насекомых-вредителей суммарно составило 2,7 млн м³ и 1,5 Мт углерода соответственно.

Значительные потери эксплуатационной древесины и запаса углерода в насаждениях провинции Онтарио наблюдаются из-за болезней леса. Так, потери эксплуатационного запаса стволовой древесины от болезней в провинции Онтарио с 1982 по 1987 г. оцениваются почти в 16,3 млн м³ в год, с соответствующей потерей углерода в фитомассе около 9 Мт С в год. Гниение стволовой древесины осины пересчитано в потери 2,3 Мт С (26 % всех потерь от болезней), а гниение древесины березы и клена дало дополнительно 0,52 Мт С (6 % всех потерь от болезней). Для сравнения: ежегодные потери от гниения хвойных составляли 1,4 Мт/С, или 15 % всех потерь углерода в фитомассе насаждений. Ежегодные потери от корневых гнилей в хвойных насаждениях с 1982 по 1987 г. в среднем состави-

⁴ При пересчете эксплуатационного запаса в запас углерода в насаждении использован конверсионный коэффициент 0,55 С/запас.

ли 4,8 Мт С, что в количественном отношении соответствовало почти 53 % общих потерь углерода от болезней. Ежегодные потери от стволовых гнилей хвойных суммарно составляют 1,4 Мт С. Потери углерода в фитомассе от корневых гнилей были самыми значительными у ели черной (3,0 Мт С), пихты бальзамической (1,1 Мт) и всех видов сосны (0,4 Мт). В этот период общие потери углерода в фитомассе из-за гнили стволов и корневых гнилей составили 4,2 и 4,8 Мт соответственно.

Увеличение накопления углерода в результате мероприятий по защите лесов

Снижение потерь прироста древостоев и усыхания от вредителей и болезней – это один из способов увеличения эксплуатационных запасов древесины и накопления углерода в лесах и лесной продукции [27]. Потери прироста из-за дефолиации, вызванной вредителями, временно снижают скорость накопления углерода в фитомассе. Гибель насаждений от насекомых-вредителей перераспределяет углерод из пула живой фитомассы в пул мертвой – отпад. В провинции Онтарио санитарные рубки практически не проводят, т.е. погибшие от вредителей насаждения не утилизируют, тогда углерод перераспределяется в пул мертвой древесины таким же образом, как и в сгоревших при пожаре насаждениях.

По оценкам исследователей [11], средняя и сильная дефолиация, вызванная еловым лубоедом, снижает прирост на 22 % после одного года и на 78 % после 7 лет повторных дефолиаций елей черной и белой, а для пихты бальзамической в течение того же периода – от 0 до 100 %. При максимальных темпах роста насаждений ели черной 40–60-летнего возраста II класса бонитета накопление углерода в фитомассе составляет, согласно моделированию, приблизительно 1 т С на га в год. Для каждого последующего года после сильного повреждения еловым лубоедом запас снижается с 1,0 т С на 1 га до 0,78; 0,69; 0,60; 0,50 и 0,40 т С на 1 га в год. Если однократ-

ная обработка инсектицидами ели черной предотвратит развитие дефолиации от средней до сильной за 5 лет, тогда дополнительное депонирование углерода составит 0,22, 0,31, 0,40, 0,50 и 0,60 т на 1 га. Таким образом, в среднем насаждения ели черной 40–60-летнего возраста II класса бонитета, в которых проведены превентивные мероприятия по защите от сильного повреждения еловым лубоедом в течение 5 лет, будут депонировать дополнительно 2,03 т С на 1 га в фитомассе по сравнению с насаждениями с многократно повторяющейся сильной дефолиацией.

Если во время гипотетического очага площадью 60 тыс. га (на такой площади были проведены лесозащитные мероприятия в Онтарио в 1990-х гг.) насаждения ели черной обрабатывать инсектицидом каждый год (с 2008 по 2012 г.) и однократно обрабатывать для предотвращения возможных последствий повторной дефолиации после 5 лет, тогда кумулятивное накопление к концу 2012 г. составит 311 400 т С.

На уровне провинции снижение гибели древостоев и потерь прироста от повреждения вредителями и болезнями позволило бы заготовить тот же объем древесины, но с меньшей площади, и увеличить общее накопление углерода лесами Онтарио. Снижение степени повреждения и опасности возникновения очагов елового лубоеда может также уменьшить опасность возникновения лесных пожаров, которую провоцирует накопление сухостоя после вспышки вредителей [30], что приведет к еще большему увеличению накопления углерода. Если предпринимаются действия по уменьшению на 10 % потерь прироста, вызванного повреждением вредителями и болезнями, тогда рост накопления углерода в лесах Онтарио по сравнению с базовым 1990 г., когда уровень воздействия вредителей был сравнительно низким, составит приблизительно 2,5 млн м³ эксплуатационного запаса и 1,4 Мт С ежегодно.

Для России, при условии сохранения существующего уровня защиты лесов от вредителей и болезней, их влияние на динамику углеродного баланса оценивается рядом авторов как ничтожное [31]. Этот вывод сделан по статистическим

данным о вспышках массового размножения насекомых-дендрофагов с 1953 по 1998 г. по 4-м субъектам Северо-Западного федерального округа. Потери за этот период составили около 2,6 % лесопокрытой площади, тогда как площадь вырубок за эти же 45 лет – 29 % [31]. С точки зрения биосферных процессов эта величина ничтожно мала и, соответственно, влияние насекомых-дендрофагов на баланс углерода несущественно. Несмотря на циклично повторяющиеся вспышки массового размножения насекомых-вредителей в лесах Сибири, при которых повреждаются леса на значительных территориях, площади погибших лесов суммарно дают такую же величину в год – 0,06 %, или 2,7 % за 45 лет. Потери запаса древесины и углерода будут определяться величинами такого же порядка. На локальном уровне вспышки массового размножения могут выступать как существенный фактор нарушенности биоценозов, но в долгосрочной перспективе и для региональных оценок он не повлияет на баланс углерода. Аналогичные выводы сделаны группой ученых разных стран [32]. Этот фактор обычно не принимается в расчет при имитационном моделировании динамики углерода на региональном и континентальном уровне. Он также не включен в национальную отчетность Российской Федерации. Многочисленные исследования, актуальность которых бесспорна не только для лесов Северной Америки, где вспышки массового размножения насекомых-вредителей значительно снижают углерододепонирующую способность лесов, подтверждают множество неопределенностей, которые требуют объяснения и продолжения изучения вопроса [32].

Воздействие лесозаготовок на цикл углерода

При заготовках древесины большие объемы древесной массы вместе с содержащимся в ней углеродом удаляют из леса. Согласно правилам отчетности, в рамках Киотского протокола считается, что углерод, заключенный в древесине, возвращается в атмосферу непосредственно по-

сле рубки, т.е. рубки, особенно сплошные, приводят к эмиссии углерода [33].

Несмотря на то что воздействие лесозаготовок на сокращение углерода в фитомассе очевидно, их влияние на динамику углерода почвы пока исследовано недостаточно. В обзоре [32] показано, что содержание углерода в почве после лесозаготовок снижается с 20 т/га до 5 т/га на протяжении 20 лет после сплошной рубки, что является значительной потерей по сравнению с накоплением углерода в фитомассе лесов в возрасте спелости. Динамика углерода почвы связана с технологией и интенсивностью лесозаготовок, процессом восстановления насаждения до исходной продуктивности. В Канаде практикуется заготовка древесины с оставлением порубочных остатков, в том числе крупных, на делянках. Нормативными документами в провинции Онтарио разрешено проводить рубку лесов в водоохранных зонах, при этом заготовка осуществляется выборочно (отдельными деревьями) [6]. Заготовка отдельными деревьями может вызывать небольшое снижение запасов углерода в почве, тогда как преобладающие способы лесозаготовок с оставлением порубочных остатков на делянках приводят к небольшому увеличению запасов углерода в пуле почвы.

В работе канадских исследователей [34] моделируются 5 различных сценариев интенсивности ведения лесозаготовок в провинции Онтарио – низкий, средний, высокий, максимально возможный и без рубок. При моделировании оценены запасы углерода в 2010 г. и в перспективе до 2100 г. Во все сценарии с лесозаготовками включены запасы углерода, которые сохраняются в конечной лесной продукции. Для всех управляемых лесов в перспективе к 2100 г. снижение этих запасов в лесах, затронутых заготовками, вместе с произведенной из древесины лесной продукцией не превышает 2 % по сравнению со сценарием без рубок. Полученные результаты позволяют говорить о том, что в бореальных лесах при соблюдении ограничений устойчивого лесопользования, в долгосрочной перспективе, воздействие лесозаготовок на сток углерода в лесах и лесной продукции невелико. Однако требуется

время (порядка 100 лет), чтобы достичь равенства абсолютной величины накопленного углерода в бореальных лесах, нарушенных заготовкой, в совокупности с лесной продукцией, и накопленного в лесах, не нарушенных заготовками и естественными факторами. Динамика запасов углерода под влиянием изменения возрастной структуры лесов в этом исследовании совпадает с предыдущими [35], которые продемонстрировали, что тренд запаса углерода зависит от исходной возрастной структуры насаждений: молодые насаждения на уровне ландшафта аккумулируют углерод и увеличивают его запас, а преобладание спелых и перестойных насаждений в ландшафте снижает запас углерода. В проанализированных сценариях темпы лесозаготовок варьировали от 0 до 2 % в год по сравнению с эксплуатационным запасом насаждений, запланированных к рубке. Таким образом, исследование показало, что в долгосрочной перспективе лесозаготовки с учетом накопления углерода в произведенной из древесины лесной продукции не оказывают воздействия на углеродный баланс. Однако авторы не ожидают повторения подобного результата для лесов из медленнорастущих древесных пород на Тихоокеанском побережье или в твердолиственных лесах северо-востока Канады.

Подавляющее большинство исследователей отдает предпочтение выборочным рубкам для получения положительного климатического эффекта. Установлено, что выборочные рубки (прореживание) не меняют «дыхание почв», поскольку прореживание вызывает комплексный эффект снижения «дыхания корней», увеличения в почве органического вещества, изменения температуры и влажности почв. Выборочные рубки (прореживания) – широко распространенный прием в мировой лесоводственной практике, способствующий формированию насаждений с предпочтительным составом пород и товарностью древесины и экосистемных сервисов. Несмотря на то что выборочные рубки широко распространены, их воздействие на бюджет углерода учесть сложно. Трудно использовать технологические модели, чтобы оценить такое воздействие в региональном и мировом масштабе из-за недостаточного

количества данных и нормативно-технических ограничений [13].

Зарубежные исследователи связывают позитивный климатический эффект от накопления углерода в фитомассе насаждений и почве с увеличением оборота рубки (срока ротации – в англоязычной литературе). Оборот рубки, или количество лет между посадкой саженцев и рубкой в управляемых лесах, определяется по времени, необходимому для достижения стадии биологической, или экономической спелости [36].

Сокращению оборота рубки способствует интенсивное ведение лесного хозяйства: создание лесных культур на вырубках, сохранение второго яруса и подроста при лесозаготовках, уход за молодняками, применение удобрений и др. При этом сокращается срок выращивания леса и увеличивается объем заготовки древесины. Оптимальным оборотом рубки считается период, в течение которого насаждения достигнут запаса, обеспечивающего наивысший средний прирост необходимых целевых сортиментов.

В зарубежных публикациях приводятся доводы в пользу того, что неуправляемые леса с естественной цикличностью развития накапливают больше углерода, чем их управляемые аналоги. Прирост углерода после достижения насаждением возраста биологической спелости происходит за счет отпада и опада, которые увеличивают накопление углерода в органическом веществе почвы [37]. По этой причине управляемые леса могут содержать на 25–50 % меньше углерода, чем естественные [37].

Наибольшие потенциальные потери углерода происходят, когда рубка проводится в спелых и перестойных древостоях и затем на их месте выращивают лесные культуры с оборотом рубки намного короче, чем цикличность повреждаемости природными факторами. Например, рубка 450-летних лесов пихтово-хемлоковых насаждений [*Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg.] на Тихоокеанском побережье северо-запада Северной Америки и их преобразование в культуры пихты дугласовой, в которых ведется хозяйство с оборотом рубки в 60 лет, может снизить накопление С на 220–230 % [38].

Результаты моделирования показали, что более длительный оборот рубки может увеличить накопление углерода в управляемых лесах [38, 39]. Периодичность лесозаготовок оказывает большее влияние на запасы углерода, чем интенсивность – площади заготовок, способ утилизации фитомассы и количество валежника, оставленного на делянке. Для определенного периода оборота рубки можно увеличить накопление углерода путем рубки меньшей части деревьев, с более низкой пропорциональной долей надземной фитомассы, оставляя больше валежника на делянке [40].

Однако снижение периодичности лесозаготовок и площадей вырубок без компенсационных действий приведет к экономическим потерям, так как снизит объемы заготовок древесины, необходимой для удовлетворения потребностей в лесной продукции. Наилучший компромисс между накоплением углерода и обеспечением древесиной достигался для оборота рубки в 80–100 лет для насаждений пихты дугласовой, при условии сравнительно низкой интенсивности лесозаготовок и последующей утилизации биомассы, т.е. проведение группово-выборочных рубок, вывозка деревьев с кронами, сохранение подроста и оставление порубочных остатков на делянке [40]. Применение лесоводственных мероприятий компенсирует потери в обеспечении древесиной, которые могут произойти при снижении ежегодной площади лесозаготовок. Например, предлагается сохранить оборот рубки, но при этом увеличить прирост древесной биомассы посредством интенсификации ведения хозяйства и управления [37].

Нарушенность лесов провинции Онтарио заготовками древесины

Заготовки древесины являются наиболее важной формой антропогенного воздействия на леса Онтарио. С 1990 по 2003 г. ежегодно леса вырубали на площади от 180 до 224 тыс. га (в среднем 206 тыс. га в год). С 1996 по 2000 г. объем ежегодно заготавливаемой древесины состав-

лял 22,4 млн м³. Ежегодно 90 % площади и 95 % запаса заготавливаемой древесины приходилось на леса бореальной зоны, около 75 % составляли хвойные породы. Объем заготовки древесины с 1996 г. оставался относительно постоянным. Для сравнения: нарастающий итог площади лесов, нарушенных природными факторами (т. е. пожарами, вредителями), варьирует с течением времени, но как правило, он намного превышает площади, нарушенные лесозаготовками. Запас древесины, которая теряется ежегодно от природных факторов, как в результате гибели, так и от снижения прироста насаждений, может в 2–3 раза превышать объем ежегодно заготавливаемой древесины [11].

В провинции Онтарио широко распространены сплошные рубки, доля которых ежегодно составляет около 88 % в общей площади и более 90 % запаса. Из древесных пород больше всего заготавливают сосну Банкса, ель, березу белую и осину, т.е. древесные породы, адаптированные к сукцессиям вследствие естественной нарушенности пожарами, вредителями и болезнями. В отличие от российских правил заготовки древесины, согласно нормативным актам провинции Онтарио, порубочные остатки, в том числе довольно крупные, остаются на делянках, постепенно перегнивая и пополняя пул углерода почвы. Сплошные рубки в Онтарио предполагают вывозку (трелевку) стволов деревьев, при этом рубка копирует естественную пожарную динамику [6] с сохранением небольших куртин и, как минимум, 25 единичных деревьев на каждом гектаре площади. В провинции не существует нормативов, ограничивающих нарушенность почв на вырубках за счет прокладки дорог, трелевочных волоков и мест складирования древесины и также не ведется учет состояния мест заготовок леса.

По многолетним данным, площадь делянки в хвойных лесах Бореального экорегиона провинции Онтарио составляла в среднем от 39 до 1 986 га, максимально – до 12,5 тыс. га. Для сравнения: площади делянок в хвойно-широколиственных лесах экорегиона Великие озера – Святой Лаврентий (Great Lakes-St. – Lawrence Region) ва-

рыировали в среднем от 5 до 130 га, с максимальным размером 691 га [11].

Выборочные рубки имеют ограниченное распространение в Онтарио и проводятся в лесах из твердолиственных пород на юге и юго-востоке провинции в экорегионе Великие озера – Святой Лаврентий (приблизительно 44 % ежегодно заготавливаемой древесины в этом регионе) на участках, где из-за гибели в результате воздействия неблагоприятных факторов образуются групповые или единичные вывалы или куртины сухостоя.

Лесозаготовки, нарушенность абиотическими (экзогенными) факторами и динамика углерода

Основное отличие воздействия лесозаготовок от природных факторов, вызывающих нарушение лесов, на динамику углерода заключается в различии объемов фитомассы, которая удаляется с участка и пополняет пул мертвой древесины после неблагоприятного воздействия. Нарушенность абиотическими факторами приводит к сравнительно меньшим потерям фитомассы и большему вкладу в отпад, чем лесозаготовки [37]. Например, при сплошных рубках от 70 до 90 % фитомассы удаляется с участка и преобразуется в продукцию из древесины. Обычно пожары истребляют около 50 % подлеска и напочвенного покрова и до 20 % стволов верхнего яруса и ветвей, поскольку этот более крупный древесный материал сгорает только частично [41]. Неполностью сгоревшие стволы вносят значительный вклад в послепожарный пул углерода, пополняя резервуар мертвой древесины и, после разложения, пул органического вещества почвы. Гибель насаждений от повреждения насекомыми длится в течение нескольких лет, при этом большое количество углерода в фитомассе верхнего яруса постепенно преобразуется и существенно пополняет пул углерода в

мертвой древесине. Нарушенность болезнями, ветром, засухой и другими факторами, связанными с неблагоприятными погодными условиями, может вызывать полную или постепенную гибель единичных или большинства деревьев верхнего яруса, увеличивая накопление углерода в мертвой древесине, но в целом большая часть фитомассы верхнего яруса остается на участке.

Рубка отдельных деревьев, которая разрешена в водоохранных зонах провинции Онтарио, приводит к потере большей части надземной фитомассы, чем заготовка сортиментами и хлыстами. Рубка и вывоз деревьев с делянки с кроной удаляет богатые органикой вещества. При проведении рубок отдельных деревьев значительно снижается количество порубочных остатков. А чем меньше порубочных остатков, тем больше вероятность снижения поступления органического вещества от разложения отпада и, соответственно, уменьшения запасов углерода в пуле почвы. Малое количество оставленных порубочных остатков может также снизить количество углерода в почве из-за создания условий на поверхности более предпочтительных для «дыхания» почвы и ускорения процессов разложения. Процесс преобразования углерода в фитомассе в органическое вещество почвы изучен посредством мета-анализа⁵ результатов ряда полевых экспериментов с рубкой отдельных деревьев с заготовкой хлыстами [42]. Подтверждено, что количество почвенного углерода зависит от метода лесозаготовок. Так, рубка отдельных деревьев снижала углерод почвы в среднем на 6 %, а метод лесозаготовок хлыстами увеличивал почвенный углерод до 18 %. Проведенные исследования показали, что воздействие способа заготовок на запасы углерода в почве более выражено на участках, где до рубки произрастали хвойные породы, а на участках, где произрастали твердолиственные и мягколиственные насаждения, почвенный углерод при различных способах заготовки древесины не

⁵ Статистический анализ большой совокупности результатов анализа данных отдельных исследований в целях объединения этих данных.

меняется [42]. Влияние способа заготовки фитомассы на динамику почвенного углерода в бореальных лесах пока исследовано недостаточно, а полученные результаты противоречивы. Например, в другом исследовании, также включающем полевые эксперименты и имитационное моделирование, показано, что рубка отдельных деревьев по воздействию на почвенный углерод не отличается от других способов лесозаготовок [43].

Снижение периодичности заготовки древесины для увеличения запасов углерода в лесах Онтарио

Количество углерода, которое потенциально может быть накоплено в управляемых лесах, путем снижения периодичности заготовки леса зависит от цикличности природных аномалий [40]. Увеличение оборота рубки в насаждениях бореальных лесов для увеличения накопления углерода можно достичь за счет вложения денежных средств в усиление охраны от пожаров и защиты от массового размножения вредителей, что практически невозможно по ряду причин, отмеченных выше. В бореальных лесах Онтарио преобладают быстрорастущие породы, такие, как сосна Банкса (сосна черная) и осина, которые не накапливают таких запасов углерода, как другие типы лесов. Стратегия увеличения запасов углерода в лесах, которая включает увеличение оборота рубки на менее продуктивных участках и для пород с замедленным ростом, таких, как ель черная в низинах, принесет незначительный эффект прироста запасов в сравнении с большим темпом депонирования углерода более быстрорастущими породами на лучших участках. По этим причинам увеличение оборота рубки для возрастания накопления углерода в лесах Онтарио может иметь большее практическое значение для устойчивых лесов из твердолиственных пород или лесов с преобладанием сосен белой и красной, которые меньше подвержены повреждению абиотическими факторами и име-

ют более длительную цикличность естественных смен.

Воздействие снижения периодичности лесозаготовок и увеличения оборота рубки на накопление углерода проиллюстрировано результатами имитационного моделирования с использованием модели CBM-CFS2. Ежегодное снижение заготовки леса на 1 тыс. га (или на 0,5 % общей площади, равной в среднем 200 тыс. га) составит приблизительно около 20 га для каждой территориальной единицы управления провинции. В среднем 100-летние спелые насаждения ели черной содержат 38 т С на 1 га в фитомассе, поэтому 0,5 %-е уменьшение площади заготовок сохранит 1 тыс. га лесов и удержит почти 38 000 т углерода. Снижение площади рубок на 1 тыс. га в год с 2008 по 2012 г. позволит сохранить в общем 190 тыс. т углерода в биомассе, при условии, что насаждения не погибнут от пожаров или других природных факторов [11].

Степень влияния рубок на потоки парниковых газов в значительной степени зависит от способа использования заготовленной древесины. Поскольку часть древесины расходуется, например для строительства домов, углерод, заключенный в такой древесине, остается в ней десятилетиями, прежде чем она сжигается или разлагается. Однако до сих пор отчетность, представляемая странами в рамках Киотского протокола, не учитывает депонирование углерода продукцией из древесины.

Выводы, основанные на моделировании воздействия лесохозяйственной деятельности на накопление углерода лесами провинции Онтарио

Все виды лесохозяйственных мероприятий, за исключением рубок ухода, которые были проанализированы канадскими исследователями, увеличивают накопление углерода в лесах на период оборота рубки. Ниже суммирован эффект от воздействия каждого вида деятельности по управлению лесами на изменение накопления уг-

лерода лесами Онтарио, начиная с базового 1990 г. до расчетного 2012 г., согласно Киотскому протоколу [11].

✓ **Управление лесными пожарами.** Противопожарные мероприятия уменьшают площади, повреждаемые пожарами, и таким образом увеличивают накопление углерода лесами. Применяя на практике интенсивную охрану лесов от пожаров для зоны регулируемой охраны можно снизить площадь лесов, поврежденных огнем более чем на 20 тыс. га при среднестатистическом по горимости годе и сохранить дополнительно 4,1 млн т накопленного углерода в лесах к 2012 г.

✓ **Вредители и болезни.** Обработка инсектицидами для защиты лесов должна предотвратить снижение прироста и гибель деревьев в результате вспышки численности популяции листовертки-почкоеда елового. Программа ежегодной обработки насаждений ели черной на площади 60 тыс. га, которая функционирует с 2008 г., позволяет увеличить накопление углерода приблизительно на 311 тыс. т к 2012 г.

✓ **Нарушенность лесозаготовками.** Снижение площади ежегодных заготовок древесины на 1 тыс. га (снижение на 0,5 % при уровне ежегодных заготовок леса на площади 200 тыс. га) равно снижению заготовок леса в каждой из 47 единиц управления лесами провинции Онтарио немногим более чем на 20 га. Это позволит сохранить около 190 тыс. т С в фитомассе ежегодно к 2012 г.

✓ **Дороги и нижние склады.** Общие потери углерода при строительстве дорог и нижних складов с 1990 по 2012 г. составляют приблизительно 960 тыс. т С и сопоставимы с площадями искусственно восстановленных лесов. Снижение площади новых дорог и нижних складов в управляемых лесах на 10 % с 2005 г. позволит снизить потери углерода почти на 9 тыс. т. Освоение девственных лесов севера Онтарио потребует строительства новых дорог. Если ежегодно с 2005 по 2011 г. осваивать лесозаготовками по 10 тыс. га эксплуатационных лесов на севере, то нарушенность дорожной сетью и нижними складами может снизить накопление углерода приблизительно на 9 тыс. т.

✓ **Посадка леса.** В среднем ежегодно с 1990 по 2000 г. посадка леса проводится на площади около 73 тыс. га, варьируя в диапазоне от 56 тыс. га до 93 тыс. га. Экстраполируя средние площади посадки леса, накопление углерода в 2012 г. составит 1,6 Мт, что значительно больше, чем в результате естественного лесовосстановления.

✓ **Подготовка участка (делянки).** Подготовка участка воздействует на накопление углерода как положительно, так и отрицательно, в зависимости от интенсивности воздействия на поверхность почвы. Уход за участком может снизить накопление углерода, если он проявляется в потере питательных элементов при активном разложении подстилки и высвобождении углерода. И наоборот, подготовка участка, содействуя более быстрому формированию новых насаждений, способствует увеличению депонирования углерода в фитомассе и в лесной подстилке. При любом способе подготовки участка долгосрочный положительный эффект заключается в ускорении формирования насаждений и увеличении накопления углерода, что полностью компенсирует первоначальные потери углерода лесной подстилкой и почвой.

✓ **Управление фитоценозами.** Несвоевременное или несоответствующее нормативам выполнение мероприятий по управлению фитоценозами (т. е. контроль конкурентоспособности деревьев в насаждении) может существенно снизить прирост деревьев в лесных культурах, а жесткая конкуренция может вызвать гибель насаждений, образование прогалин и нарушение условий местопроизрастания. Управление фитоценозами применяют к лесным культурам и как самостоятельное направление, которое дает положительный эффект от накопления углерода, его трудно выделить из целого комплекса мероприятий по восстановлению леса. Увеличение запасов углерода при искусственном восстановлении сопоставимо с накоплением углерода при естественном возобновлении, поэтому включает подсчет эффекта управления фитоценозами в увеличение стока углерода в лесных культурах.

✓ **Рубки ухода.** Регулирование густоты насаждений с помощью рубок ухода увеличива-

ет продуктивность древостоя на период оборота рубки, но не увеличивает запас фитомассы или депонирование углерода на единицу площади. Вместе с тем, оборот рубки для получения пиловочника может быть значительно уменьшен и улучшено качество сортиментов при незначительном положительном вкладе в накопление углерода в древесной продукции с длительным сроком службы. Опосредованное снижение эмиссий CO₂ может проявиться в эффекте замещения произведенной древесной продукцией энергоемких строительных материалов, таких, как сталь, алюминий или бетон, при производстве которых образуются большие выбросы CO₂.

✓ **Внесение удобрений.** Внесение удобрений увеличивает фитомассу деревьев и запас углерода. В провинции Онтарио сосна Банкса (сосна черная) – порода, лучше других реагирующая на внесение удобрений. Однократное применение азотных удобрений в приспевающих насаждениях будет способствовать накоплению углерода в объеме 4,9 т/га в течение 10 лет. Однако парниковые газы, которые выделяются при производстве

неорганических удобрений и их использовании, могут снизить начальное значение приращения накопленного углерода на 5–10 %. Чистое накопление углерода от внесения удобрений на каждые 10 тыс. га насаждений сосны Банкса ежегодно к 2012 г. составило почти 164 тыс. т.

✓ **Улучшение генетических качеств древостоев.** В 2012 г. приращение углерода в фитомассе от всех генетически улучшенных насаждений, высаженных в 1990 г., составило более 76 тыс. т по сравнению с запасом генетически не улучшенных насаждений.

Не все виды мероприятий, которые проанализированы в обзоре канадских исследователей, продуцируют большое увеличение накопления углерода лесами Онтарио с 2008 по 2012 г., первый расчетный период Киотского протокола, но в долгосрочной перспективе приводят к росту запасов углерода и поставок древесины. Лесохозяйственные мероприятия предотвращают, ограничивают и сокращают эмиссии углекислого газа, позволяют наращивать запас углерода в лесах и сохранять его в лесной продукции длительного пользования.

Список литературы

1. Климатическая доктрина. Утверждена распоряжением Президента Российской Федерации от 17.12.2009 № 861-пп.
2. Climate Change and Biodiversity. IPCC Technical Paper V. April. – Administrated by IPCC Working Group II on Climate Change and Forestry, 2002. – 86 p.
3. Малышева, Н. В. Организация использования лесов и ведения лесного хозяйства в зарубежных странах / Н. В. Малышева // Лесхоз. информ. – 2008. – № 102. – С. 78–96.
4. Малышева, Н. В. Организация использования лесов и ведения лесного хозяйства в зарубежных странах / Н. В. Малышева // Лесхоз. информ. – 2008. – № 3–4. – С. 83–96.
5. Малышева, Н. В. Практика управления государственными инвестициями в лесное хозяйство зарубежных стран / Н. В. Малышева // Лесхоз. информ. – 2008. – № 6–7. – С. 3–15.
6. Костенко, А. Об опыте Канады в области устойчивого лесопользования и лесной сертификации / А. Костенко // Устойчивое лесопользование. – 2015. – № 1. – С. 22–24.
7. Замолодчиков, Д. Системы оценки и прогноза запасов углерода в лесных экосистемах / Д. Замолодчиков // Устойчивое лесопользование – 2011. – № 4(29). – С. 15–22.
8. Операционная модель учета углерода Канадского лесного сектора CBM-CFS3 версия 1.0: Руководство пользователя / S. J. Kull, W. A. Kytz, G. J. Rampley, G. E. Banfield, R. K. Schivatcheva and M. J. Apps // Northern Forestry Centre, 2010. – 112 с.

9. Замолодчиков, Д. Управление балансом углерода лесов России: прошлое, настоящее, будущее / Д. Замолодчиков, В. Грабовский, В. Курц // Устойчивое лесопользование. – 2014. – № 2. – С. 23–31.
10. Замолодчиков, Д. Информационная система определения и картирования депонируемого лесами углерода УЛТУ / Д. Замолодчиков // Устойчивое лесопользование. – 2012. – № 1 (30). – С. 41–49.
11. He Effects of Forest Management on Carbon Storage in Ontario's Forests : Climate Change Research Report / S. J. Colombo, W. C. Parker, N. Luckai, Q. Dang, T. Cai. – TCCRR-03, 2005. – 123 p.
12. An inventory-based analysis of Canada's managed forest carbon dynamics, 1990 to 2008 / G. Stinson, W. A. Kurz, C. E. Smith, E. T. Nelson, C. C. Dymond, J. M. Metsaranta, C. Boisvenue, G. J. Rampley, Q. Li, T. M. White, D. Blain // Global Change Biology – 2011. – 17. – P. 2227–2244. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02369.x
13. Simulation the impacts of disturbances on forest carbon cycling in North America: Processes, data, models, and challenges / S. Liu, B. Bond-Lamberty, J. A. Hicke, R. Vargas, S. Zhao, J. Chen, S. Edburg, Y. Hu [etc.] // Journal of Geophysical Research. – 2011. – V. 116. – 22 p. – G00K08, doi:10.1029/2010JG001585.
14. Stocks, B. J. The extent and impact of forest fires in northern circumpolar countries / B. J. Stocks // Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic and Biospheric Implications. The MIT Press Inc. Cambridge, MA, 1991. – p. 197–202.
15. Иванова, Г. А. Зонально-экологические особенности лесных пожаров в сосняках Средней Сибири / Г. А. Иванова : дисс. ... д-ра биол. наук: 06.03.03. – 2005.
16. Kasishche, E. S. 2000 Fire, Climate Change and Carbon Cycling in Boreal Forest / E. S. Kasishche, B. J. Stocks // Springer-Verlag, New York, NY. – 461 p.
17. Impacts of climate change on fire activity and fire management in the circumboreal forest / M. Flannigan [et al.] // Global Change Biology. – 2009. – Vol. 15:3. – P. 549–560.
18. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России / А. С. Исаев, Г. Н. Коровин, В. И. Сухих, С. П. Титов, А. И. Уткин, А. А. Голуб, Д. Г. Замолодчиков, А. А. Пряжников. – М. : Центр экологической политики, 1995. – 156 с.
19. Влияние природных пожаров в России 1998-2010 гг. на экосистемы и глобальный углеродный бюджет / А. З. Швиденко, Д. Г. Щепаченко, Е. А. Ваганов, А. И. Сухинин, Ш. Ш. Максютов, И. МкКаллум, И. П. Лакида // Доклады Академии наук. – 2011. – Т. 441. – № 4. – С. 544–548.
20. Stocks, B. J. Climate change, carbon sequestration, and forest fire protection in Canadian boreal zone. CRR-20 / B. J. Stocks, P. C. Ward. – Ontario Ministry of Natural Resources, 2011. – 26 p.
21. Forest Fires in the Boreal Zone: Climate Change and Carbon Implications // International Forest Fire News (IFFN) – № 31 (July–December 2004). – P. 122–131 <http://www.fire.uni-freiburg.de/iffn/iffn.htm>.
22. Volney, W. J. A. Spruce budworm (*Choristoneura* spp.) biotype reactions to forest and climate characteristics / W. J. A. Volney, R. A. Fleming // Global Change Biology. – 2007. – № 13:8. – P. 1630–1643.
23. Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change / W. A. Kurz, C. C. Dymond, G. Stinson, G. J. Rampley, E. T. Neilson, E. T. Carrol, T. Ebata, L. Safranyik // Nature, 2008. – № 452(7190). – P. 987–990. doi: 10/1038/nature06777
24. Олссон Р. Использовать или охранять? Бореальные леса и изменение климата/ Устойчивое лесопользование. – 2011. – № 3 (28). – С. 23–38.

25. Олссон, Р. Использовать или охранять? Бореальные леса и изменение климата / Р. Олссон // Устойчивое лесопользование. – 2012. – № 3(32). – С. 40–45.
26. Олссон, Р. Использовать или охранять? Бореальные леса и изменение климата / Р. Олссон // Устойчивое лесопользование. – 2013. – №2(35). – С. 36–45.
27. MacLean, D. A. Impact of forest pests and fire on stand growth and timber yield: implication for forest management planning / D. A. MacLean // Can. J. of Forest. Res. – 1990. – 20. – P. 391–404.
28. Blais, J. R. Trends of frequency, extent and severity of spruce budworm outbreaks in eastern Canada / J. R. Blais // Can. J. For. Res. – 1983. – 13. – P. 539–547.
29. Основы лесного хозяйства в Финляндии [пер. с фин.]. – Metsakustannus Oy. : Oy FEG, 2006. – 231 с.
30. Fleming, R. A. Landscape-scale analysis of interactions between insect defoliation and forest fire in central Canada / R. A. Fleming, J.-N. Candau, R. C. McAlpine // Climatic Change. – 2002. – V. 55. – № 1-2. – P. 251–272. <http://www.springerlink.com/content/h210113753745778/>
31. Селиховкин А.В. Могут ли вспышки массового размножения насекомых- дендрофагов оказать существенное влияние на состояние биосферы? // Биосфера. – 2009. – Т. 1. – № 1. – С. 72–81.
32. Simulation the impacts of disturbances on forest carbon cycling in North America: Processes, data, models and challenges / S. Liu, B. Bond-Lamberty, J. A. Hicke, R. Vargas, S. Zhao, Chen S. [etc.] // Journal of Geophysical Research. – 2011. – V. 116. – 22 p. – G00K08, doi:10.1029/2010JG001585.
33. Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. – МГЭИК, 2003.
34. Ter-Mikaelian, M. Effects of Harvesting on Spatial and Temporal Diversity of Carbon Stocks in Boreal Forest Landscape / M. Ter-Mikaelian, S. Colombo, J. Chen // Ecology and Evolution. – 2013. – 3(11). – P. 3738–3750.
35. Bottcher, H. Accounting of forest carbon sinks and sources under a future climate protocol – factoring out past disturbance and management effects on age-class structure / H. Bottcher, W. A. Kurz, A. Freibauer // Environ. Sci. Policy. – 2008. – 11. – P. 669–686.
36. Report to the standing forestry committee. By the standing Forestry Committee Ad hoc Working Group III on Climate Change and Forestry. November. 2010. – 57 p.
37. Krankina, O. N. The impact of intensive forest management on carbon stores in forest ecosystems / O. N. Krankina, M. E. Harmon // World Resources Review. – 1994. – 6. – P. 161–177.
38. Harmon, M. E. Effects on carbon storage of conservation of old-growth forests to young forests / M. E. Harmon, W. K. Ferrell, J. F. Franklin // Science. – 1990. – 247. – P. 699–702.
39. Karjalainen, T. Dynamics and potentials of carbon sequestration in managed stands and wood products in Finland under changing climatic conditions / T. Karjalainen // For. Ecol. Manag. – 1996. – 80. – P. 113–132.
40. Harmon, M. E. Effects of silvicultural practices on carbon stores in Douglas fir-western hemlock forests in Pacific Northwest, USA: Results from a simulation model / M. E. Harmon, B. Marks // Can. J. For. Res. – 2002. – 32. – P. 863–877.
41. Auclair, A.N.D. The forest wildfires as a resent source of CO₂ at northern latitudes / A. N. D. Auclair, T. B. Cartier // Can. J. For. Res. – 1993. – 23. – P. 1528–1536.
42. Johnson, D. V. Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis / D. V. Johnson, P. S. Curtis // Forest Ecol. Manag. – 2001. – 140. – P. 227–238.
43. Bengtsson, J. Effects of whole-tree harvesting on the amount of soil carbon: Model results / J. Bengtsson, F. Wikstrom // N.Z.J. For.Sci. – 1993. – 23. – P. 380–389.

Referens

1. Klimaticheskaya doktrina. Utverzhdena rasporyazheniem Prezidenta Rossijskoj Federaczii ot 17.12.2009. №861-rp.
2. Climate Change and Biodiversity. IPCC Technical Paper V. April. – Administrated by IPCC Working Group II on Climate Change and Forestry, 2002. – 86 p.
3. Malysheva, N. V Organizacziya ispol'zovaniya lesov i vedeniya lesnogo xozyajstva v zarubezhnyx stranax / N. V. Malysheva // Lesoxoz. inform. – 2008. – № 1-2. – S. 78–96.
4. Malysheva, N. V Organizacziya ispol'zovaniya lesov i vedeniya lesnogo xozyajstva v zarubezhnyx stranax / N. V. Malysheva // Lesoxoz. inform. – 2008. – № 3-4. – S. 83-96.
5. Malysheva, N. V. Praktika upravleniya gosudarstvennymi investicziyami v lesnoe xozyajstvo zarubezhnyx stran / N. V. Malysheva // Lesoxoz. inform. – 2008. – № 6–7. – S. 3–15.
6. Kostenko, A. Ob opyte Kanady v oblasti ustojchivogo lesopol'zovaniya i lesnoj sertifikaczii / A. Kostenko // Ustojchivoe lesopol'zovanie. – 2015. – № 1. – S. 22–24.
7. Zamolodchikov, D. Sistemy ocenki i prognoza zapasov ugleroda v lesnyx ekosistemax / D. Zamolodchikov // Ustojchivoe lesopol'zovanie – 2011. – № 4(29). – S. 15-22.
8. Operaczionnaya model' ucheta ugleroda Kanadskogo lesnogo sektora CBM-CFS3 versiya 1.0: Rukovodstvo pol'zovatelya / S. J. Kull, W. A. Kyrz, G. J. Rampley, G. E. Banfield, R. K. Schivatcheva and M. J. Apps // Northern Forestry Centre. – 2010. – 112 s.
9. Zamolodchikov, D. Upravlenie balansom ugleroda lesov Rossii: proshloe, nastoyashhee, budushhee / D. Zamolodchikov, V. Grabovskij, V. Kurcz // Ustojchivoe lesopol'zovanie. – 2014 – № 2. – S. 23–31.
10. Zamolodchikov, D. Informaczionnaya sistema opredeleniya i kartirovaniya deponiruемого lesami ugleroda UGLTU / D. Zamolodchikov // Ustojchivoe lesopol'zovanie. – 2012. – № 1 (30). – S. 41–49.
11. The Effects of Forest Management on Carbon Storage in Ontario's Forests : Climate Change Research Report / S. J. Colombo, W. C. Parker, N. Luckai, Q. Dang, T. Cai. – TCCR-03, 2005. – 123 p.
12. An inventory-based analysis of Canada's managed forest carbon dynamics, 1990 to 2008 / G. Stinson, W. A. Kurz, C. E. Smith, E. T. Nelson, C. C. Dymond, J. M. Metsaranta, C. Boisvenue, G. J. Rampley, Q. Li, T. M. White, D. Blain // Global Change Biology – 2011. – 17. – R.2227–2244. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02369.x
13. Simulation the impacts of disturbances on forest carbon cycling in North America: Processes, data, models, and challenges / S. Liu, V. Bond-Lamberty, J. A. Hicke, R. Vargas, S. Zhao, J. Chen, S. Edburg, Y. Hu [etc.] // Journal of Geophysical Research. – 2011. – V. 116. – 22 p. – G00K08, doi:10.1029/2010JG001585.
14. Stocks, B. J. The extent and impact of forest fires in northern circumpolar countries / B. J. Stocks, // Global Biomass Burning: Atmospheric. Climatic and Biospheric Implications. The MIT Press Inc. Cambridge, MA, 1991. – p. 197-202.
15. Ivanova, G. A. Zonal'no-ekologicheskie osobennosti lesnyx pozharov v sosnyakax Srednej Sibiri / G. A. Ivanova : diss. ... d-ra biol. nauk: 06.03.03. – 2005.
16. Kasishke, E. S. 2000 Fire, Climate Change and Carbon Cycling in Boreal Forest / E. S. Kasishke, B. J. Stocks // Springer-Verlag, New York, NY. – 461 p.
17. Impacts of climate change on fire activity and fire management in the circumboreal forest / M. Flannigan [et al.] // Global Change Biology. – 2009. – Vol. 15:3. – P. 549-560.
18. Ekologicheskie problemy pogloshheniya uglekislogo gaza posredstvom lesovosstanovleniya i lesorazvedeniya v Rossii / A. S. Isaev, G. N. Korovin, V. I. Suxix, S. P. Titov, A. I. Utkin, A. A. Golub, D. G. Zamolodchikov, A. A. Pryazhnikov. – M. : Czentr ekologicheskoy politiki, 1995. – 156 s.

19. Vliyanie prirodnykh pozharov v Rossii 1998-2010 gg. na ekosistemy i global'nyj uglerodnyj byudzhel / A. Z. Shvidenko, D. G. shhepashhenko, E. A. Vaganov, A. I. Suxinin, Sh. Sh. Maksyutov, I. MkKallum, I. P. Lakida // *Doklady Akademii nauk*. – 2011. – T. 441. – № 4. – S. 544-548.
20. Stocks, B. J. Climate change, carbon sequestration, and forest fire protection in Canadian boreal zone. CCRR-20 / B. J. Stocks, P. C. Ward. – Ontario Ministry of Natural Resources, 2011. – 26 p.
21. Forest Fires in the Boreal Zone: Climate Change and Carbon Implications // *International Forest Fire News (IFFN)* – № 31 (July-December 2004. – R. 122 – 131) <http://www.fire.uni-freiburg.de/iffn/iffn.htm>.
22. Volney, W. J. A. Spruce budworm (*Choristoneura* spp.) biotype reactions to forest and climate characteristics / W. J. A. Volney, R. A. Fleming // *Global Change Biology*. – 2007. – № 13:8. – R. 1630–1643.
23. Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change / W. A. Kurz, C. C. Dymond, G. Stinson, G. J. Rampley, E. T. Neilson, E. T. Carrol, T. Ebata, L. Safranyik // *Nature*, 2008. – № 452(7190). – R. 987-990. doi: 10/1038/nature06777
24. Olsson R. Ispol'zovat' ili oxranyat'? Boreal'nye lesa i izmenenie klimata/ *Ustojchivoe lesopol'zovanie*. – 2011. – № 3 (28). – S. 23–38.
25. Olsson, R. Ispol'zovat' ili oxranyat'? Boreal'nye lesa i izmenenie klimata / R. Olsson // *Ustojchivoe lesopol'zovanie*. – 2012. – № 3(32). – S. 40–45.
26. Olsson, R. Ispol'zovat' ili oxranyat'? Boreal'nye lesa i izmenenie klimata / R. Olsson // *Ustojchivoe lesopol'zovanie*. – 2013. – №2(35). ? S. 36-45.
27. MacLean, D. A. Impact of forest pests and fire on stand growth and timber yield: implication for forest management planning / D. A. MacLean // *Can. J. of Forest. Res.* – 1990. – 20. – R. 391–404.
28. Blais, J. R. Trends of frequency, extent and severity of spruce budworm outbreaks in eastern Canada / J. R. Blais // *Can. J. For. Res.* – 1983. – 13. – S. 539–547.
29. Osnovy lesnogo khozyajstva v Finlyandii [per. s fin.]. – Metsakustannus Oy. : Oy FEG, 2006. – 231 s.
30. Fleming, R. A. Landscape-scale analysis of interactions between insect defoliation and forest fire in central Canada / R. A. Fleming, J.-N. Candau, R. C. McAlpine // *Climatic Change*. – 2002. – V. 55. – № 1-2. – P. 251–272. <http://www.springerlink.com/content/h210113753745778/>
31. Selixovkin A.V. Mogut li vspyshki massovogo razmnzheniya nasekomyx- dendrofagov okazat' sushhestvennoe vliyanie na sostoyanie biosfery? // *Biosfera*. – 2009. – T. 1. – № 1. – S. 72–81.
32. Simulation the impacts of disturbances on forest carbon cycling in North America: Processes, data, models and challenges / S. Liu, B. Bond-Lamberty, J. A. Hicke, R. Vargas, S. Zhao, Chen S. [etc.] // *Journal of Geophysical Research*. – 2011. – V. 116. – 22 p. – G00K08, doi:10.1029/2010JG001585.
33. Rukovodyashhie ukazaniya po effektivnoj praktike dlya zemlepol'zovaniya, izmenenij v zemlepol'zovanii i lesnogo khozyajstva. Programma MGEIK po naczional'nykh kadastram parnikovyx gazov. – MGEIK, 2003.
34. Ter-Mikaelian, M. Effects of Harvesting on Spatial and Temporal Diversity of Carbon Stocks in Boreal Forest Landscape / M. Ter-Mikaelian, S. Colombo, J. Chen // *Ecology and Evolution*. – 2013. – 3(11). – R. 3738-3750.
35. Bottcher, H. Accounting of forest carbon sinks and sources under a future climate protocol – factoring out past disturbance and management effects on age-class structure/ Bottcher H., Kurz W.A., Freibauer A. // *Environ. Sci. Policy*. – 2008. – 11. – S. 669–686.

36. Report to the standing forestry committee. By the standing Forestry Committee Ad hoc Working Group III on Climate Change and Forestry. November. 2010. – 57 p.
37. Krankina, O.N. The impact of intensive forest management on carbon stores in forest ecosystems / Krankina O.N., Harmon, M.E. // World Resources Review. – 1994. – 6. – P. 161–177.
38. Harmon M.E. Effects on carbon storage of conservation of old-growth forests to young forests / M. E. Harmon, W. K. Ferrell, J. F. Franklin // Science. – 1990. – 247. – P. 699–702.
39. Karjalainen, T. Dynamics and potentials of carbon sequestration in managed stands and wood products in Finland under changing climatic conditions / T. Karjalainen // For. Ecol. Manag. – 1996. – 80. – R. 113–132.
40. Harmon, M. E. Effects of silvicultural practices on carbon stores in Douglas fir-western hemlock forests in Pacific Northwest, USA: Results from a simulation model / M. E. Harmon, V. Marks // Can. J. For. Res. – 2002. – 32. – R. 863–877.
41. Auclair, A.N.D. The forest wildfires as a resent source of CO₂ at northern latitudes / A. N. D. Auclair, T. B. Cartier // Can. J. For. Res. – 1993. – 23. – P. 1528–1536.
42. Johnson, D. V. Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis / D. V. Johnson, P. S. Curtis // Forest Ecol. Manag. – 2001. – 140. – P. 227–238.
43. Bengtsson, J. Effects of whole-tree harvesting on the amount of soil carbon: Model results / J. Bengtsson, F. Wikstrom // N. Z. J. For. Sci. – 1993. – 23. – P. 380–389.

Forest Management Practices as a Tool for Carbon Cycle Management in Forest Ecosystems. Experience of Canada

N. V. Malysheva – Russian Research Institute for silviculture and mechanization of forestry, the candidate of geographical sciences

T. A. Zolina – Russian Research Institute for silviculture and mechanization of forestry, senior researcher

P. S. Kinigopulo – Russian Research Institute for silviculture and mechanization of forestry, researcher

Key words: *Climate change, carbon balance, carbon sequestration by forests, carbon emissions, carbon stock, forest management practice.*

The adaptive capacity of forests to climate change and assessment of forest management as a tool to prevent and mitigate the greenhouse effect need to be further explored. The analytical evaluation of forest management that makes a substantial contribution to increase the carbon stocks, prevent and reduce the greenhouse gas emissions to the atmosphere is given.

The article summarizes the results of long-term research in Canadian province of Ontario. The main factors influencing on the carbon accumulation capability of boreal forests and the role of forest management to increase the carbon storage in forest ecosystems represented. Analytical studies supported by simulation with CBM–CFS software complex considered the national standard in Canada.

The strengthening the forest fire protection and forest damage prevention from pests and diseases also and gentle ways of logging contribute to prevention and reduction of carbon emissions. Outbreaks of insects in Canadian forests resulted in large-scale biomass losses are at greater risk than natural fires and logging turning the forests into the carbon emitter. Wood losses in forests from pests and diseases vary on average from 3.92 to 11.23 million m³, which is about 2/3 to 1/2 of the annually harvested timber volume in the Ontario.

The forest management focused on the preferential use of silvicultural techniques to prevent the biomass losses in forests since the public impedes to use as chemical and biological agents to control pests. The positive and negative effects of substitution the forest protection activities by silvicultural techniques that include the planting of mixed and uneven-aged stands resistant to damage represented.

Impact of different harvesting scenarios on amount of carbon stored in forests and derived wood products evaluated by computer simulation. This simulation found that impact of logging on carbon sink in boreal forests under the restrictions of sustainable forest management in the long-term perspective (100 years) is negligible. The impact of increasing the harvest rotation length on the accumulation of carbon in forest biomass and the impact of different methods of timber harvesting on carbon flows considered. The mean annual timber losses in forests that allow you to get an idea about the disturbances of the Ontario forests and the actual level of forest management summarized. Simulation results concluded that forest management activities promote to limit and reduce emissions of carbon dioxide in order to increase the carbon stock in forests and wood products.