



# Использовать или охранять? Бореальные леса и изменение климата<sup>1</sup>

Р. Олссон, журналист и популяризатор

Эта статья описывает взаимосвязи между бореальными лесами, лесным хозяйством и изменением климата. Она посвящена в основном именно климатическим аспектам, но это не означает, что социальные и экономические факторы, а также биоразнообразие менее важны, однако для ясности изложения необходимо сосредоточиться на одной теме. Главным допущением статьи является то, что повышение средней температуры на планете на 2 °С является критическим порогом климатических изменений и что в ближайшие десятилетия необходимо существенно сократить выбросы парниковых газов для того, чтобы не перейти этот порог. Таким образом, анализ значения бореальных лесов и последствий при разных сценариях развития не должны ограничиваться долгосрочной перспективой (100 лет и более).

Бореальные леса депонируют больше углерода, чем любая иная наземная экосистема, и почти вдвое больше, чем тропические леса. Это делает бореальные леса ключевым фактором влияния на климат в будущем. Примерно половина бореальных лесов мира являются старовозрастными, практически ненарушенными лесохозяйственной деятельностью. Именно такими лесами депонируется значительная часть углерода. Старовозрастные леса способны служить стоками углерода веками. Тем не менее продолжающееся потепление климата может превратить их в источник углерода, что будет вызвано такими природными катастрофами, как лесные пожары и массовое размножение насекомых-вредителей. Уже сейчас наблюдается движение в этом направлении. В том случае, если глобальное потепление превысит определенный критический уровень (предположительно, 3–5 °С), жара и дефицит влаги могут вызвать массовое отмирание лесов в бореальной зоне. В результате значительная доля углерода окажется в атмосфере, что приведет к дальнейшей эскалации глобального потепления, способного стать необратимым и устойчивым.

Преобразование старовозрастных малонарушенных бореальных лесов в управляемые негативно воздействует на климат как в кратко-, так и в среднесрочной перспективе, поскольку в результате рубок значительная часть накопленного углерода выбрасывается в атмосферу. Длительный срок



(100 лет и более) требуется новому лесу для того, чтобы депонировать такое же количество углерода. В краткосрочной перспективе это означает, что рубка старовозрастных лесов еще больше ускоряет процесс глобального потепления.

В управляемых бореальных лесах существуют большие возможности воздействия на баланс парниковых газов теми или иными лесохозяйственными мероприятиями и тем или иным использованием заготовленной биомассы. При этом необходимо обратить внимание на важнейшую задачу сокращения эмиссий, если мы взвешиваем «за» или «против» при принятии того или иного решения в сфере управления лесами. Решение, которое представляется оптимальным в перспективе 100 или 200 лет, может оказаться контрпродуктивным в свете того, что мы получим в результате его принятия в ближайшие десятилетия.

Более интенсивное лесное хозяйство, при котором благодаря, например, широкому использованию удобрений можно увеличить производительность и урожай древесины, создает риски с точки зрения климатических изменений. Так, корчевание пней на лесосеках для получения большего количества топливной древесины может привести к сокращению запасов углерода в лесах, т. е. это негативное мероприятие с точки зрения изменения климата по крайней мере на 30-летнюю перспективу.

Тем не менее лесохозяйственные мероприятия, не сводящиеся только к максимизации извлечения древесной биомассы, могут иметь позитивный климатический эффект. Например, доказано, что увеличение сроков ротации в скандинавских лесах производит позитивный климатический эффект, особенно в еловых насаждениях. Это происходит главным образом благодаря увеличению выхода пилочника, который является стоком углерода в краткосрочной перспективе. Запрет сплошных рубок также позитивно скажется на климате в краткосрочной перспективе, поскольку при сплошных рубках происходит интенсивная эмиссия углерода.

Одним из климатических недостатков продолжительных ротационных периодов и запрещения сплошных рубок является снижение доступности древесных остатков — основного сырья для биоэнергетики. При этом сокращаются возможности для замены ископаемого топлива. Важнейшая роль управляемых лесов для климата состоит именно в возможности замены ископаемого топлива древесной биомассой. Лесоматериалы могут заменить ископаемое топливо как

<sup>1</sup> Источник: [www.airclim.org](http://www.airclim.org). Исследование подготовлено при участии экспертов WWF Швеции, Шведского общества по охране природы и НПО «AirClim» (Швеция). Предыдущую статью Роджера Олссона, посвященную бореальным лесам и изменению климата, читайте в № 3 (28) нашего журнала за 2011 год. Материал публикуется в рамках проекта «Интенсивное и устойчивое лесопользование в России», который осуществляется при поддержке Агентства США по международному развитию (USAID).





непосредственно для выработки энергии путем сжигания, так и опосредованно путем замены материалов, для производства которых требуется значительное количество энергии (сталь и бетон). В долгосрочной перспективе такая замена скажется на климате позитивным образом, но в краткосрочной (несколько десятилетий) позитивное ее воздействие на климат сомнительно, поскольку интенсивное лесное хозяйство означает увеличение инвестиций и более интенсивную рубку.

При изучении возможностей перехода от ископаемого топлива к древесной биомассе зачастую допускается, что дополнительно произведенная древесина будет использована для производства топлива или замены энергоемких материалов. Тем не менее это не имеет ничего общего с реальной ситуацией, в частности, в Швеции, где менее  $\frac{1}{5}$  объема заготовленной древесины идет на производство стройматериалов с длительным жизненным циклом и около  $\frac{1}{2}$  — на производство бумаги. Производство и использование бумаги в целом негативно воздействует на климат (хотя такое воздействие может быть разным и зависеть от вида бумажной продукции). Сокращение потребления бумаги и использование большей доли древесины для производства пиломатериалов и топлива позитивно скажется на климате. Также важно иметь в виду, что климатические эффекты, возникающие при замене одних материалов другими, являются лишь теоретическими: их существование основано на допущении, что если на рынок поставляется дополнительное количество древесной продукции, то пропорционально ему сокращается использование других материалов.

На практике рост производства древесной продукции может стимулировать рост производства и потребления других материалов. Ни одно из исследований, использованных при подготовке данной статьи, не принимает во внимание данный рыночный эффект.

## 1. Глобальное потепление

На Земле становится теплее. Уровень концентрации углекислого газа и других парниковых газов возрастает в основном вследствие эмиссий в результате сжигания ископаемого топлива. Средняя температура на планете увеличилась на  $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  по сравнению с концом 1800-х годов [8, 11]. Степень и скорость потепления в будущем зависит от того, насколько успешной будет борьба с эмиссиями парниковых газов. Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) описаны различные сценарии при повышении среднегодовой температуры на планете к концу этого столетия на  $1,1\text{--}6,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  в зависимости от динамики эмиссий парниковых газов. Согласно этим сценариям для того, чтобы ограничить повышение температуры не более чем на  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , необходимо не допустить превышения концентрации углекислого газа  $400\text{ ppm}$  (промилле — частей на миллион). Сегодня концентрация углекислого газа в атмосфере уже составляет около  $380\text{ ppm}$  [11]. Согласно Четвертому оценочному докладу МГЭИК 2007 года, глобальное потепление не должно превысить порог в  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , иначе с его последствиями обществу будет сложно справиться. Последующие исследования подтвердили этот вывод. Более того, некоторые из них оценивают пороговое значение глобального потепления в меньшую величину [7]. При превышении этого порогового значения даже незначительное повышение температуры может спровоцировать существенные и необратимые изменения, способные превратить глобальное потепление в устойчивый процесс. Группа ведущих специалистов назвала десять критических событий, которые произойдут по причине глобального потепления уже до конца нашего столетия, в том числе таяние льдов в Северном Ледовитом океа-

не, таяние вечной мерзлоты, гибель лесов в Амазонии и бореальных лесов. Указанные события могут случиться уже в ближайшие десятилетия. Таяние вечной мерзлоты и усыхание бореальных лесов спровоцируют дальнейшее глобальное потепление, поскольку их результатом станут эмиссии в атмосферу значительных объемов парниковых газов [17]. Дальнейшие исследования подтвердили вывод о том, что глобальное потепление свыше порогового значения в  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  может спровоцировать стремительные и необратимые изменения на планете, результатом которых будет дальнейшее потепление [28].

Для того чтобы удержать потепление ниже порогового значения в  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , согласно оценкам МГЭИК, эмиссии парниковых газов должны начать снижаться к 2015 году и к 2050 году быть сокращены на  $50\text{--}85\%$  (по сравнению с уровнем 1990-х годов) [12]. Последние исследования подтверждают, что для появления хоть каких-то шансов удержания глобального потепления ниже этого порога промышленные страны должны существенно снизить эмиссии углекислого газа от сжигания ископаемого топлива к 2030 году [29].

Тем не менее, анализируя климатические обязательства, пока взятые на себя странами, можно сделать вывод о том, что в ближайшие десятилетия рост эмиссий продолжится [12]. Если эта тенденция не изменится, к концу столетия повышение средней температуры на планете превысит  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, быстрое и резкое снижение эмиссий парниковых газов жизненно необходимо.

### Изменение климата в бореальной зоне

Согласно практически всем климатическим моделям потепление в арктической зоне (севернее  $60\text{-й}$  широты) намного интенсивнее, чем в среднем по планете. Это подтверждается и наблюдениями [26]. В последние столетия средняя температура в Арктике увеличивается в 2 раза быстрее средней температуры на планете [11]. Если средняя глобальная температура поднимется на  $2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  к 2100 году, то на значительной территории Арктики потепление составит  $4\text{--}5\text{ }^{\circ}\text{C}$  [12]. Если сохранится современная тенденция эмиссий и средняя температура на планете возрастет на  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , на севере Скандинавии повышение средней температуры может составить  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В некоторых районах арктической части Канады и Азии рост среднегодовой температуры может составить  $10\text{--}12\text{ }^{\circ}\text{C}$  [34].

Подсчитано, что при глобальном потеплении на чуть выше  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  среднегодовая температура в Швеции повысится на  $2\text{--}4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , причем больше на севере страны, чем на юге, и в зимнее время, чем в летнее. Зима станет теплее, а лето — жарче. Весна будет приходиться раньше, а осень — позже. Предполагается, что количество осадков возрастет на  $10\text{--}20\%$  и в основном в зимние месяцы. Участились выпадение аномального количества осадков (ливни и сильные снегопады). Тем не менее на юго-востоке страны возможен дефицит воды, поскольку с повышением температуры возрастет испарение. Снизится глубина снежного покрова и сократится продолжительность периода со снежным покровом. По климатическим моделям невозможно достоверно определить, как изменится направление ветров, но в целом они будут несколько сильнее. Частота штормов будет, возможно, меньше, а их сила — больше [23, 27]. Согласно некоторым климатическим моделям к 2100 году средняя скорость ветра в Скандинавии в зимний период и максимальная сила ветра увеличатся на  $7\text{--}13\%$  [6].

## 2. Бореальные леса

Бореальными лесами покрыто около  $14\%$  поверхности Земли (исключая льды и полярные пустыни). Они представляют собой крупнейшую взаимосвязанную наземную эко-



систему и образуют зеленый пояс различной ширины по всему северному полушарию, приблизительно между 45 и 70° с. ш. (рис. 1). Пояс бореальных лесов занимает 1,4 млрд га, что составляет около 38 % общей площади лесов Земли [31]. Более половины площади бореальных лесов сосредоточено в России, 6 % — в Скандинавии [24]. На севере бореальные леса примыкают к безлесной тундре. На юге граница лесов менее выражена, там бореальный лес переходит в смешанный, а затем — в умеренный лиственный.

В бореальных лесах доминируют хвойные породы и присутствуют лиственные, такие как береза и осина. Суровый климат является важнейшим экологическим фактором, определяющим существование бореальных лесов. Частично бореальные леса, особенно в Сибири, произрастают на вечной мерзлоте, к югу от этой зоны почва подвергается периодическому замерзанию. Снежный покров в зимний период играет важную роль в экологии бореальных лесов, поскольку снег защищает почву от морозов и позволяет выживать многим видам растений и животных [33].

Крупные природные катастрофы играют важную роль в динамике ненарушенных экосистем бореальных лесов. Регулярные лесные пожары, массовое размножение насекомых и ветровалы обуславливают гибель лесов на определенных участках и их смену новым поколением [14]. В дикой природе лесные пожары возникают от молний, частота их возникновения на одном и том же участке колеблется от 50 до 200 лет, пожар может охватить десятки тысяч гектаров [33].

В управляемых лесах основным катастрофическим явлением для лесной экосистемы является заготовка древесины и другие хозяйственные мероприятия. Изменения в хозяйственных мероприятиях могут повлиять как на подверженность лесов климатическим изменениям, так и на сам климат [14]. Примерно половина бореальных лесов мира в настоящее время не подвержена существенному воздействию хозяйственной деятельности. На севере бореальной зоны крупные массивы старовозрастных малонарушенных лесов практически не населены и находятся вне зоны экономической доступности [3]. Более половины их произрастает в Канаде и России (рис. 1) [14]. В Скандинавии практически все леса подвержены воздействию хозяйственной деятельности и освоены в результате промышленных лесозаготовок в основном во второй половине прошлого века. В Швеции старовозрастные и старовозрастные малонарушенные леса практически не встречаются вне особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Точная площадь таких лесов вне ООПТ неизвестна. В целом их доля в Швеции, скорее всего, не превышает 10 % от общей площади лесов, причем в основном такие лесные массивы невелики по площади и в той или иной мере подвержены воздействию хозяйственных мероприятий, проводящихся в окружающих управляемых лесах [5].

При анализе взаимосвязи между бореальными лесами, лесоуправлением и изменением климата очень важно различать старовозрастные малонарушенные леса, для которых характерна естественная экологическая динамика, и управляемые леса, на экологию которых в основном влияет хозяйственная деятельность. Это отличие весьма существенно в контексте климатической роли лесов, а также воздействия на них климата.

Глобальное потепление уже сейчас оказывает значительное влияние на наземные экосистемы планеты, и это влияние будет нарастать по мере потепления. При увеличении среднегодовой температуры планеты даже на 1,5–2,5 °C существует риск крупномасштабной трансформации бореальных лесов в безлесные пространства.

Воздействие изменения климата на бореальные леса будет особенно существенным, поскольку потепление в северных широтах будет интенсивнее, чем в среднем по планете.



■ Старовозрастные леса  
■ Управляемые леса

Рис. 1. Пояс бореальных лесов. Схематично показаны старовозрастные малонарушенные (девственные) и управляемые леса (по [3]).

Как и большинство других экосистем, бореальные леса реагируют на изменение экологических факторов нелинейным образом. Это означает, что изменения в них не будут постепенными и пропорциональными повышению температуры. Скорее всего, эти изменения будут происходить скачкообразно после того, как повышение температуры превысит определенный порог [13]

Кроме того, температура является критическим фактором существования бореальных лесов [11].

### 3. Взаимовлияние леса и климата

Баланс парниковых газов в экосистеме (в нашем случае — в экосистеме леса) — это баланс эмиссии и депонирования таких парниковых газов, как углекислый ( $\text{CO}_2$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ) и диоксид азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ), между экосистемой и атмосферой. По объему и воздействию на климат углекислый газ имеет важнейшее значение. Метан и диоксид углерода — весьма эффективные парниковые газы в том смысле, что даже сравнительное небольшое их количество существенно воздействует на климат. Углекислый газ и метан содержат углерод и включаются в его глобальный цикл.

#### Цикл углерода

Цикл углерода является своего рода химическим двигателем, благодаря которому большинство живых организмов на Земле получают вещества для строительства своих тел и энергию. Цикл углерода очень важен для поддержания стабильного химического состава атмосферы, а значит, и климата.

#### Потоки в цикле углерода

Зеленые растения поглощают углекислый газ из атмосферы в процессе фотосинтеза и с использованием энергии солнца превращают его в углеводы. Часть углеводов потреб-





ляется растением в ходе дыхания для выработки энергии, что приводит к выделению в атмосферу углекислого газа. Этот процесс называется автотрофной респирацией.

Чистый баланс (чистая первичная продукция) — это количество углерода, которое используется растениями для строительства собственной биомассы побегов, корней, листьев и т. д.<sup>1</sup>

Растения и их части поедаются травоядными животными или в конечном итоге умирают и разлагаются микроорганизмами. Травоядные и микроорганизмы используют углеводы в качестве источника энергии. Таким образом, углевод переходит в пищевую цепочку, большая часть его возвращается в атмосферу через дыхание животных или после того, как они умирают и разлагаются. Этот процесс называется гетеротрофной респирацией (рис. 2). Катастрофические нарушения природной среды, такие как пожары, массовое размножение насекомых-вредителей и заготовка древесины, увеличивают гетеротрофную респирацию. Это, как правило, усиливает потепление климата.

Часть углерода, который поглощается растениями из атмосферы, аккумулируется почвой в виде мертвой органики. Этот поток углерода невелик и сокращается по мере старения насаждения, тем не менее постепенно он ведет к накоплению значительного количества углерода. Пожары играют важнейшую роль в цикле углерода: их воздействие

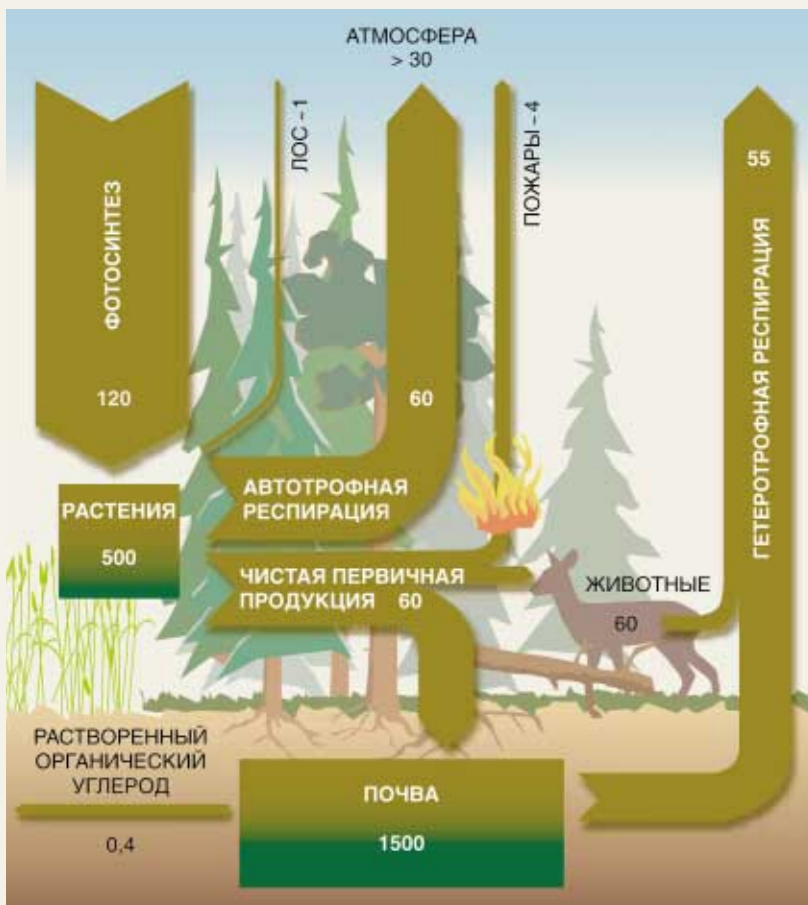


Рис. 2. Углеродный цикл наземной экосистемы.

Доля углерода, депонированного в почве и растительности бореальных лесов, отмечена темно-зеленым цветом в прямоугольниках. На диаграмме показаны потоки углерода в естественных условиях, за исключением воздействия хозяйственной деятельности.

Запас углерода измеряется в Гт, потоки углерода — в Гт/год (1 Гт = 1 млрд т). Естественные потоки углерода, представленные на диаграмме, можно сопоставить с эмиссией углекислого газа в результате промышленной деятельности и сжигания ископаемого топлива. Они составляют 8 Гт в год [30] (по [32])

## Измерения и единицы измерений

Депонированный углерод и потоки углерода в этой статье измеряются в Мг (мегатонны) или Гт (гигатонны).

1 Мт = 1 млн т ( $10^6$  т)

1 Гт = 1 млрд т ( $10^9$  т)

1 Гт = 1 000 Мт

Как правило, потоки углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) оцениваются измерением углерода (С). 1 кг С эквивалентен 3,7 кг  $\text{CO}_2$ . Следовательно, 1 кг  $\text{CO}_2$  содержит 0,27 кг С.

1 м<sup>3</sup> древесины содержит примерно 0,2 т С.

$\text{CO}_2$ -эквивалент ( $\text{CO}_2$ -экв.) — это единица измерения общего парникового эффекта от эмиссии нескольких парниковых газов. Например,  $\text{CH}_4$  оказывает парниковый эффект в 23 раза сильнее, чем  $\text{CO}_2$ . Это значит, что 1 кг  $\text{CH}_4$  обладает таким же климатическим эффектом, что и 23 кг  $\text{CO}_2$ . Эмиссия 1 кг С и 1 кг  $\text{CH}_4$ , следовательно, равна  $1 + 23 = 24$  кг  $\text{CO}_2$ -экв.

некоторым образом схоже с респирацией живых организмов, разлагающей растительное органическое вещество и возвращающей углерод в атмосферу. Такие экосистемы, как тропические саванны и бореальные леса, адаптировались к периодическому воздействию пожаров. Пожары на их территории ежегодно приводят к выбросу в атмосферу от 2 до 5 Гт С [30]. В дополнение к процессам, описанным выше, в цикле углерода имеется и ряд других, менее значительных цепочек. Мы рассмотрим три из них: летучие органические соединения, метан и растворенный органический углерод.

Летучие органические соединения (ЛОС) — это «зонтичный» термин, объединяющий летучие органические вещества, например монотерпены. Растения выделяют в атмосферу много разных подобных веществ, как правило, в небольших количествах [30]. С усилением фотосинтеза эмиссия таких веществ в бореальных лесах возрастает, поскольку их образование напрямую связано с этим процессом [4]. ЛОС конденсируются в атмосфере в аэрозольные частицы и усиливают поглощение тепла атмосферой. Эти частицы также становятся центрами конденсации и участвуют в образовании облаков, что влияет на стабильность облачности, и на поглощение облаками тепловой энергии. Данные аэрозольные вещества являются одним из наиболее существенных факторов неопределенности при оценках воздействия разных факторов на изменение климата [16].

Эмиссия метана связана с разложением органических веществ в бескислородной среде или с обедненным содержанием кислорода (например, в болотах, на свалках, в желудочно-кишечном тракте крупного рогатого скота) [30]. Метан в 23 раза сильнее воздействует на климат, чем углекислый газ. Это означает, что одна молекула метана в атмосфере увеличивает потепление так, как 23 молекулы углекислого газа [20]. Будет ли выделяться из почвы метан или разлагаться, зависит от ее химического состава и степени увлажнения [21]. В лесах метан

<sup>1</sup> Подробнее о запасах и потоках углерода в лесах читайте в статье Д. Замолодчикова «Системы оценки и прогноза запасов углерода в лесных экосистемах», опубликованной в № 4 (29) нашего журнала за прошлый год.

**Запасы, источники и стоки углерода**

Запас углерода — это количество углерода в определенной системе, например в лесной экосистеме. Величина запаса углерода не есть постоянная величина, ее изменение зависит от потока углерода.

Сток углерода — система, которая поглощает из атмосферы больше углерода, чем выделяет (при этом запас углерода в ней возрастает).

Депонирование углерода — это поглощение углерода из атмосферы и накопление в стоке.

Источник углерода — это система, которая выделяет в атмосферу больше углерода, чем поглощает (запас снижается).

Баланс углерода или баланс парниковых газов — это чистая сумма всех учтенных потоков углерода или парниковых газов в систему и из нее. Если сумма всех потоков углерода из атмосферы в лесную экосистему равна всем потокам из нее, то углеродный баланс равен нулю. Значение баланса углерода может изменяться.

выделяют главным образом торфяники, и их осушение может серьезно сказаться на эмиссии метана [2] (см. раздел 6).

И метан, и ЛОС в атмосфере постепенно превращаются в углекислый газ. Иногда это приводит к образованию еще одного парникового газа — тропосферного озона [30].

Растворенный органический углерод (РОУ) представляет собой полуразложившиеся органические соединения, которые могут переноситься водой из верхнего слоя почвы, где они образуются. Часть РОУ переносится грунтовыми водами в озера и ручьи, но в бореальных лесных экосистемах он в основном остается в почве и представляет собой достаточно стабильный сток. В лесах Швеции значительная часть почвенного углерода депонируется в минеральных слоях, куда он приносится с грунтовыми водами в виде РОУ [20].

**Запасы углерода**

Запасы углерода, находящиеся в живой биомассе Земли, составляют около 500 Гт, что немного по сравнению с его запасами в океанах и ископаемых отложениях (нефть и газ). Тем не менее запасы углерода в растениях важны, поскольку их величина может резко колебаться при климатических изменениях или изменении практик управления лесами либо сельскохозяйственными землями.

Общий запас углерода в почвах наземных экосистем планеты оценивается в 1500–2000 Гт, что в 3 раза превышает запасы углерода в живой биомассе и в 50 раз — в атмосфере. Значительная доля (по меньшей мере, 40 %) этого углерода находится в бореальных лесах [30].

**Потоки углерода и запасы в бореальных лесах****В мире**

Согласно оценкам МГЭИК в бореальных лесах (в почве и растительности) депонировано 550 Гт С, что составляет 30 % всего углерода наземных экосистем. Бореальные леса ежегодно дополнительно депонируют 1 Гт С [11].

Данные, представленные в табл. 1, получены из других источников, поэтому отличаются от упомянутых выше. Однако они также позволяют сравнить запасы и депонирование углерода в основных лесных регионах мира.

Независимо от того, какие оценки используются, количество углерода, депонированного в экосистемах бореальных лесов, больше, чем в любых других наземных экосистемах, и почти в 2 раза больше, чем в тропических лесах [15]. С учетом площади бореальные леса депонируют в 2 раза

Таблица 1. Углерод в почве и растительной биомассе лесов мира, Гт (Научно-исследовательский центр «Вудс Хол»)

Биом	Площадь, млн га	Почва	Растительная биомасса	Всего
Бореальные леса	1509	625	78	703
Тропические леса	1756	216	159	375
Умеренные леса	1040	100	21	121

больше углерода, чем тропические (МГЭИК, 2002) [35]. Основной причиной этих отличий является климат. В большинстве лесных экосистем жаркого климата основная доля углерода находится в живой растительной биомассе. Там мертвая органика разлагается быстро и углерод не успевает накапливаться в почве. Напротив, в бореальных лесах полуразложившаяся органика со временем накапливается в почве, поскольку низкие температуры замедляют разложение. Малонарушенные бореальные леса постепенно накапливают углерод в почве столетиями и тысячелетиями.

Количество углерода, депонированного на единицу площади, выше в естественных малонарушенных лесах, чем в управляемых, из которых при рубках изымается древесина. В старовозрастных лесах Швеции (где никогда не проводились сплошные рубки и не происходили существенные антропогенные нарушения по крайней мере на протяжении двух столетий) запасы древесины в 3–4 раза больше, чем в среднем управляемом лесу, это означает, что запас депонированного углерода во столько же раз больше. Также в почве старовозрастных малонарушенных лесов больше углерода, чем в управляемых, причем в малонарушенных лесах с течением времени запас углерода возрастает, хотя и медленно, до тех пор, пока лес остается ненарушенным. С другой стороны, молодые и средневозрастные леса депонируют на единицу площади больше углерода, чем старые, поскольку растут быстрее [22].

Огромное количество депонированного в почве и растительности углерода обуславливает значительную роль бореальных лесов при формировании климата будущего, так как эти леса очень чувствительны к изменению температуры и быстро реагируют на ее увеличение, что негативным образом сказывается на цикле углерода и концентрации парниковых газов в атмосфере. Эти изменения, как будет показано далее, уже наблюдаются.

**В Швеции**

Количество углерода, депонированного в живой растительной биомассе лесов Швеции, оценивается в 1 Гт, в лесных почвах — в 1,9 Гт [22]. Кроме того, в осушенных торфяниках на территории продуктивных лесов депонировано еще 0,6 Гт С [1]. Количество углерода, депонированного на единицу площади в биомассе и почве гораздо выше на юге Швеции, чем на севере, при этом различия достигают больших значений в зависимости от типа почв [20].

Согласно официальным отчетам Швеции в Рамочную конвенцию ООН об изменении климата (UNFCCC), сектор землепользования в 2009 году депонировал 0,04 Гт CO<sub>2</sub>-экв. (данные Шведского агентства по охране окружающей среды, 2011), что примерно соответствует 0,01 Гт С. Этот сток практически полностью обеспечили леса и лесное хозяйство. Значение сопоставимо с общей эмиссией парниковых газов, составляющей около 0,06 Гт CO<sub>2</sub>-экв. (данные Шведского агентства по охране окружающей среды, 2011). Необходимо учитывать, что отчетность в UNFCCC не всегда соответствует научным подходам, но во многом определяется подходами и правилами Конвенции (см. раздел 9).

