

## АСПЕКТЫ УЧАСТИЯ ЛЕСНОГО СЕКТОРА В ГЛОБАЛЬНОМ ЦИКЛЕ УГЛЕРОДА

Dynamic of carbon in forest sector pools, with pinetum pleuroziosum as sample, from point of view of reduction carbon dioxide deposition in atmosphere is discussed in this article. It is shown that most optimal strategy is rational and thrifty exfoliation of forest resources, but not conservation of organic carbon in reserve forests.

Планетарный цикл углерода на протяжении уже многих лет привлекает к себе внимание в связи с проблемой глобального изменения климата. Специалистами установлено, что с накоплением в атмосфере оптически активного углекислого газа в значительной мере связано потепление поверхности Земли [1]. Источник накопления углекислого газа в атмосфере — дисбаланс в цикле углерода, вызванный хозяйственной деятельностью человека. В результате сжигания ископаемого топлива, изменения характера землепользования (замена лесных земель сельскохозяйственными или урбанизированными) в атмосферу дополнительно выбрасывается 7,5 Гт  $\text{CO}_2$  в год. Естественными стоками углекислого газа являются наземная биота и океан, по современным оценкам они способны поглотить до 4 Гт  $\text{CO}_2$  в год. Разница между этими цифрами накапливается в атмосфере.

Лесные биогеоценозы по ряду причин (широкому распространению на поверхности Земли, высокой эффективности фотосинтеза, большим запасом живой и мертвой органической массы, относительно доступной управляемости и др.) уже давно привлекают к себе внимание как потенциальный инструмент регулирования глобального цикла углерода. По различным оценкам лесами ежегодно поглощается 0,5–0,8 Гт углерода в год, в то же время из-за нерационального использования лесных ресурсов и сведения лесов в атмосферу поступает 0,6–2,4 млрд. т углерода в год [2, 3]. Исходя из этого, есть реальная возможность снизить поступление углекислого газа в атмосферу за счет рациональных изменений в лесном секторе.

В результате обобщения многолетних наблюдений за ростом сосновых насаждений нами построена компьютерная модель накопления углерода в древесных компонентах [4]. На вход модели поступает информация о начальном состоянии насаждения (распределение деревьев по диаметрам, возраст, густота), условиях окружающей среды (бонитет как показатель пригодности среды для роста данной древесной породы, динамика средних за вегетационный период и период покоя температур, динамика содержания углекислого газа в атмосфере). На выходе модели снимается информация о распределении запасов углерода

как в живой (растущей), так и в различных пулах мертвой древесины, в том числе в изделиях из древесины.

В качестве примера в дальнейшем рассматриваются особенности накопления углерода в древесных компонентах сосняка мшистого как наиболее распространенного типа сосновых лесов в лесном фонде республики. В качестве начальных условий выбрано: бонитет насаждения II, густота создания культур 7 тыс. шт./га, текущие климатические условия оставлены без изменений.

Согласно результатам моделирования, в насаждении при условии отсутствия лесохозяйственного вмешательства к 100-летнему возрасту накопится около 180 т/га углерода в органических веществах древесных компонентов (рис. 1).



Рис. 1. Накопление углерода в древесных компонентах сосняка мшистого без лесохозяйственного вмешательства

На мертвую древесину приходится 15% общего запаса, а на ствольную — около половины. Исходя из этого, каждый новый гектар земель, засаженный лесом, в течение первых 100 лет будет ежегодно поглощать из атмосферы дополнительные 1,8 т углерода, что эквивалентно 6,6 т углекислого газа. Следует сказать, что углерод накапливается не только в древесных компонентах, но и в подпологовой растительности и почве, однако, как это показано нами [5], скорость накопления углерода в этих пулах не столь

значительная и ею в данном анализе можно пренебречь.

Со временем процессы поглощения углекислого газа насаждением практически уравниваются его выделением в результате разложения отмершего органического вещества и углеродный баланс такого участка леса становится равным нулю. После наступления этого состояния лес перестает выполнять углероддепонирующую функцию.

Если же на лесном участке ведутся рубки промежуточного и главного пользования, то запас углерода изменяется волнообразно, убывая сразу после проведения рубки и постепенно нарастая к моменту проведения следующей (рис. 2).

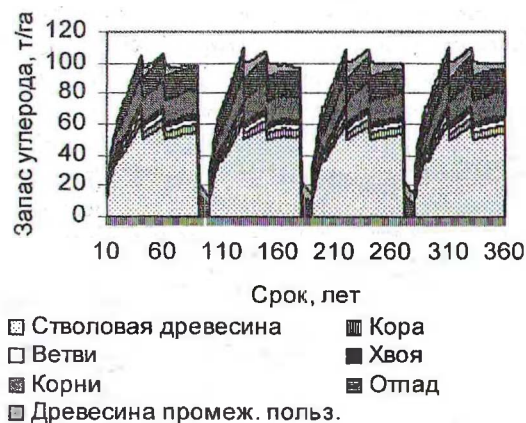


Рис. 2. Накопление углерода в лесном секторе с учетом эксплуатации продуктов из древесины

Если предположить, что имеется достаточное количество таких участков с равномерным распределением по возрастам насаждений, то через 1–2 цикла лесовыращивания запас углерода, накопленный на них, станет равным произведению общей площади на средний запас углерода за оборот рубки (около 65 т/га).

После достижения динамического равновесия в балансе углерода на лесных участках дополнительное поглощение углерода невозможно без увеличения площади, занятой лесами, как в первом, так и во втором случае. Причем в варианте без лесохозяйственного вмешательства произошедшее поглощение углекислого газа из атмосферы окажется выше.

Однако следует учесть, что углерод, накопленный в биомассе, после рубки не поступает напрямую в атмосферу в составе углекислого газа, а более или менее продолжительный срок удерживается в продуктах, изготовленных из древесины, и отходах. Таким образом, к естественному большому (геологическому) и малому (биологическому) циклу углерода добавляется антропогенный, формируемый

хозяйственной деятельностью человека. Антропогенный круговорот веществ можно подразделить на ряд составных частей:

1) заготовка – здесь происходит изъятие материи из биологического или геологического круговорота и преобразование ее в форму, пригодную для использования в различных отраслях промышленности;

2) использование – непосредственное нахождение материи в эксплуатации в различных отраслях народного хозяйства или в быту. Срок нахождения материи в этом блоке может варьироваться от года и менее до нескольких десяти- и даже столетий;

3) отходы – материя, эксплуатация которой завершена, но она еще не приобрела форму, в какой возможно ее включение в естественный круговорот веществ.

Существующий подход к расчету национальных балансов углерода основывается на том допущении, что углерод из вырубленных деревьев сразу же оказывается в атмосфере [6]. Нелогичность такого подхода очевидна с первого взгляда, но у него есть огромное преимущество – простота расчетов. Вместе с тем необходимо сказать, что Киотский протокол допускает принятие «...условий, правил и руководящих принципов, касающихся того, как и какие дополнительные виды деятельности человека, связанные с изменениями в выбросах из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов в категориях изменений в использовании сельскохозяйственных земель и землепользовании и лесного хозяйства, прибавляя к количествам, установленным для Сторон, включенных в приложение I, или вычитаются из них...» [7, ст. 3.4] и сегодня ведутся исследования по возможности включения дополнительного хранения углерода в древесной продукции в расчет национального баланса парниковых газов [8, 9].

Согласно методическим рекомендациям IPCC, изделия из древесины по продолжительности эксплуатации подразделяются на 4 категории: короткоживущие со сроком полужизни<sup>1</sup> 4 года (бумага упаковочная, газетная и пр.); среднекороткоживущие со сроком полужизни 13 лет (высококачественная бумага, плиты и др.); среднедолгоживущие со сроком полужизни 30 лет (пиломатериалы, фанера и пр.); долгоживущие со сроком полужизни 65 лет (крупномерные пиломатериалы, фанера, строительный лес и пр.). Исходя из этого логично предположить, что чем крупнее было спиленное дерево, тем более долгоживущие изделия будут из него изготов-

<sup>1</sup> Срок, через который половина изделий данной категории поступит в отходы [8].

лены. Если принять срок полужизни продуктов из древесины, изложенный выше, то, согласно результатам моделирования, доля углерода, депонированного в изделиях из древесины, составит до 50% от среднего запаса углерода в биомассе (рис. 3).

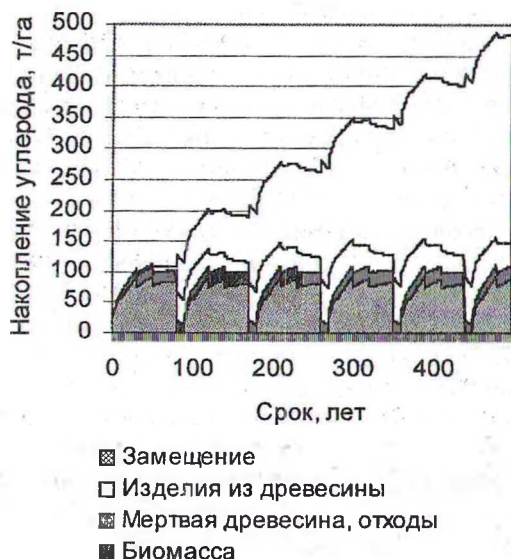


Рис. 3. Суммарное предотвращение поступления углерода углекислого газа в атмосферу при рациональной эксплуатации 1 га сосняка мшистого

Есть и еще одна составляющая баланса углерода, характерная именно для антропогенного цикла, — это так называемое замещение. Например, предположим, у нас есть выбор: получить тепловую энергию или за счет сжигания невозобновимого ископаемого топлива, или за счет сжигания возобновимого ресурса — биомассы. При сжигании ископаемого топлива углерод, содержащийся в нем, безвозвратно теряется из земной коры и происходит его избыточное накопление в атмосфере и частично в океане и наземной биоте. Если же сжигается биомасса, то поступивший в атмосферу углекислый газ со временем вновь поглотится растительностью в процессе фотосинтеза, в результате избыточного накопления углекислого газа в атмосфере не произойдет. Таким образом, если вместо сжигания угля или газонефтепродуктов для получения тепловой энергии использовать биомассу, произойдет косвенное снижение поступления парниковых газов в атмосферу. Аналогичная картина: если заменить энергоемкие или выделяющие углекислый газ при своем производстве (цемент) материалы древесиной, то суммарное поступление углекислого газа в атмосферу снизится. Значит, замещая биомассой ископаемое топливо или материалы, при

производстве которых выделяются значительные количества парниковых газов, мы косвенно снижаем суммарное поступление углекислого газа в атмосферу. Необходимо только помнить, что должно быть действительно замещение, т. е. производство из биомассы энергии или материалов, которые при других обстоятельствах не производились бы из нее.

Так, А. Petersen и В. Solberg [10] показали, что замена 1 т продуктов из стали на деревянные продукты предотвратит выбросы 56–530 кг углекислого газа, а 1 т бетонных конструкций на деревянные — 93–1062 кг углекислого газа при условии, что древесина не будет законсервирована после использования. Кроме того, замена бетонных и стальных конструкций деревянными приводит к снижению выбросов, загрязняющих атмосферу токсических веществ, в частности  $SO_2$ .

Если принять во внимание расчеты А. Petersen и В. Solberg и предположить, что около 20% заготавливаемой древесины будет использовано для целей замещения, а 25% древесных отходов будут сожжены для получения энергии, ранее получаемой сжиганием ископаемого топлива, то уже после первого оборота рубки на одном гектаре будет предотвращено поступление в атмосферу более 60 т углерода, после пяти оборотов рубки эта цифра увеличится до 325 т, что значительно превышает сложившийся к тому времени запас углерода в биомассе, мертвой древесине и изделиях из древесины (см. рис. 3).

Средняя скорость постоянного накопления углерода в лесном секторе с учетом рассмотренных выше статей баланса углерода за 500-летний срок моделирования составит около 0,95 т/га в год. Таким образом, в долгосрочной перспективе ключевым моментом участия лесного сектора в глобальном углеродном цикле является замещение ископаемого топлива и энергоемких материалов древесными продуктами. Расширенное воспроизводство лесных ресурсов с целью замещения продуктов из энергоемких материалов и ископаемого топлива должно привести к значительному увеличению предотвращения поступления углекислого газа в атмосферу.

В связи с этим очевидно, что увеличение депонирования углерода в лесном секторе возможно не только через управление непосредственно процессом лесовыращивания, но и через управление эксплуатацией продуктов, изготовленных из древесины: повышение безотходности производства и реутилизацию изделий, сжигание отходов с целью получения энергии и др.

На основании вышеприведенного анализа можно сделать заключение о том, что наиболее отвечающими требованиям депонирования

углерода являются не «заповедные» леса, в которых накопление углерода практически прекращается после прохождения возраста спелости, а рационально эксплуатируемые насаждения. Повышение производительности, устойчивости, товарности древостоев, увеличение выхода «долгоживущих» сортиментов способствует усилению углероддепонирующей функции лесного сектора.

Существенное влияние на снижение поступления дополнительных количеств углекислого газа в атмосферу может оказать внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий в производство и эксплуатация изделий из древесины.

Необходима разработка прозрачных репрезентативных одобренных международным сообществом методов расчета национальных балансов углерода с учетом нахождения связанного углерода в изделиях из древесины и замещения древесиной ископаемого топлива и энергоемких материалов. Только в этом случае возможна правильная оценка участия лесного сектора в формировании баланса углерода.

#### Литература

1. Парниковый эффект, изменение климата и экосистемы: Пер. с англ. / Болин Б., Десс Б., Ягер Дж., Уоррик Р. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 560 с.

2. Уткин А. И. Углеродный цикл и лесоводство // Лесоведение. – 1995. – № 5. – С. 3–20.

3. Brown S. Present and potential roles of forests in the global climate change debate // *Un-sylva*. – 1996. – Vol. – 47. – № 185. – P. 3–10.

4. Никитин А. Н. Имитационная модель накопления углерода древесными компонентами сосновых насаждений искусственного происхождения // Материалы Междунар. науч. конф. «Мониторинг и оценка состояния растительного покрова». – Мн., 2003. – С. 78–80.

5. Никитин А. Н. Формирование запасов углерода в сосновых биогеоценозах // *Веснік Мазырскага дзяржаўнага педагагічнага ўніверсітэта*. – 2004. – № 1 (10). – С. 31–33.

6. MacDicken K. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. – Winrock: WIPAD, 1997. – 91 p.

7. Киотский протокол к Рамочной конвенции ООН об изменении климата (протокол ООН от 11 декабря 1997 г.) / База данных «Гарант». – 2003. – 20 с.

8. Land Use, Land-Use Change and Forestry (A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change) / Edited by R. Watson, I. Noble, B. Bolin et al. – IPCC, 2000. – 29 p.

9. Pöyry J. Analysis of wood product accounting options for the National Carbon Accounting System. – Canberra: Australian Greenhouse Office, 2000. – 35 p.

10. Petersen A., Solberg B. Environmental and economic impacts of substitution between wood products and alternative materials: a review of micro-level analyses from Norway and Sweden // *Forest Policy and Economics*. – 2005. – № 3. – Vol. 7. – P. 249–259.