

ЭКОЛОГИЯ, ЛЕСОВОДСТВО И ОХОТНИЧЬЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*:161.32:630*907.3

Л. Н. Рожков, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (БГТУ)

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ РАСЧЕТА УГЛЕРОДНЫХ ПУЛОВ В ЛЕСАХ БЕЛАРУСИ

Выполнен анализ возможных методических подходов для производства расчетов депонирования углерода в лесах, применяемых международной группой экспертов по изменениям климата (МГЭИК), национальной системой инвентаризации парниковых газов, различными белорусскими и российскими учеными. Разработаны новые методические подходы к оценке депонирования углерода древостоем и другими компонентами лесного насаждения, органического углерода почвы, лесной подстилки и валежной древесины с использованием материалов государственного учета лесного фонда, лесного кадастра, лесного мониторинга и выделительного банка данных «Лесной фонд Республики Беларусь».

Исследование согласуется с Марракешскими договоренностями (29 октября – 10 ноября 2001 г.), предполагающими ведение учета углеродных пулов в лесах по желанию стран на принципах надежных научных знаний и последовательных методологий при оценке абсорбции и эмиссии углекислого газа.

The analysis of the possible methodics approaches for calculation of deposit of carbon in forests used by the International Panel on Climate Change (IPCC) National Greenhouse Gas Inventory System, and various Belarusian and Russian scientists. Develop new methodics approaches to estimate carbon sequestration of stand and other components of forest plantations, soil organic carbon, forest covering and windfallen wood from the use of materials of state assessment of forest fund, forest cadastre, forest monitoring and subcompartment bank of data «Forest Fund of the Republic of Belarus».

The study is consistent with the Marrakesh Accords (October 29 – November 10, 2001), which provides accounting of carbon pools in forests at the request of the countries on the principles of sound science and consistent methodologies for estimate of absorption and emission of carbon dioxide.

Введение. По решению саммита Большой восьмерки (2009 г.), к 2050 г. объем выбросов парниковых газов необходимо сократить на 50% в целях замедления темпов глобального потепления климата. Республика Беларусь активно включилась в реализацию решений Киотского протокола, что предполагает поддержку нашей страной новой инициативы стран Большой восьмерки. Сегодня углеродный баланс Беларуси составляет 55–60 млн. т CO₂ в пользу «стока атмосферного углерода». На перспективу при предполагаемых новых обязательствах углеродный баланс окажется равным нулю, т. е. потоки «стока» атмосферного углерода и его «эмиссии» в атмосферу уравниваются. Тем самым снижаются возможности Беларуси получать финансовую выгоду при торговле свободными квотами годовичного депонирования углерода.

Выбросы парниковых газов приходятся на энергетический сектор, промышленность, сельское хозяйство, отходы. Поглощение диоксида углерода происходит за счет сектора «землепользование и лесное хозяйство», причем лес-

ная экосистема Беларуси обеспечивает сегодня, по разным оценкам, годовичное депонирование CO₂ от 10 до 23 млн. т. Следует заметить, что углеродный баланс лесов не является стабильным во временном аспекте, что связано с динамикой древесных запасов. За послевоенный период наблюдалась положительная их динамика, обусловленная расширенным лесоразведением (рост лесистости почти в 2 раза), преобладанием молодняков и средневозрастных лесов, отличающихся кульминацией текущего прироста и относительно невысоким размером древесинопользования.

На перспективу вполне ожидаемо замедление прироста древесных запасов и в целом фитомассы в лесах Беларуси по причинам: а) сокращения прироста площадей лесных земель; б) сдвига возрастной структуры лесов в сторону увеличения площадей приспевающих и спелых лесов и существенного снижения их текущего прироста; в) увеличения лесозаготовок за счет рубок главного пользования. При этом реально ожидать изменение углеродного баланса,

когда уменьшение фитомассы лесной экосистемы изменяет направление нетто-потока углерода на противоположное и приводит к притоку атмосферного углерода. Отрицательный углеродный баланс лесной экосистемы Беларуси в условиях возрастающего в мире напряжения по выбросам в атмосферу парниковых газов может оказаться неприятной проблемой лесохозяйственной отрасли страны.

Настоящая статья подготовлена по результатам выполнения задания 2.27 государственной научно-технической программы «Управление лесами и рациональное лесопользование» (2006–2010 гг.), в исполнении которого принимали участие сотрудники РУП «Белгослес» М. Ю. Абрамович, В. Л. Красовский и М. В. Кузьменков.

Адаптация международных подходов в разрабатываемой методике. В сводном отчете о лесных ресурсах, подготовленном Европейской экономической комиссией ЕЭК ФАО ООН [1], в последующем известном как методика МГЭИК (2003 г.) [2, 3], углеродному балансу в лесах посвящена специальная глава, в том числе специалистами ЕЭК выполнены расчеты по лесам Беларуси. Исходными посылками для балансовых расчетов углеродных потоков в лесах по методике ЕЭК ФАО ООН приняты следующие.

- Признание, что леса обладают значительным потенциалом, чтобы оказать существенное воздействие на величину и направление потоков углерода в глобальном углеродном круговороте. В частности, отмечается, что леса сегодня связывают углерод в количестве около 60% депонированного растительностью и около 50% – почвами планеты.

- Увеличение фитомассы лесной экосистемы приводит к нетто-потоку (net flux) углерода от атмосферы в лес и соответственно его стоку из атмосферы. Уменьшение фитомассы изменяет направление нетто-потока на противоположное и приводит к притоку атмосферного углерода.

- Лесная статистика располагает относительно достоверными данными по древесным запасам. В отдельных случаях можно получить данные о запасе или массе корней, ветвей, вегетативных органов, других компонентов (травяно-мохово-кустарничковый ярус, подрост) лесной экосистемы.

- Для расчета углеродных балансов требуется преобразование запасов (массы) стволовой древесины и других частей фитомассы в сухое органическое вещество с определением в нем углерода. В расчетах ЕЭК ФАО ООН содержание углерода (С) в сухой фитомассе лесной экосистемы принималось равным 50%.

- Для определения сухой массы в расчетах ЕЭК ФАО ООН приняты следующие соотно-

шения: плотность стволовой древесины хвойных насаждений равна $0,52 \text{ т/м}^3$ (т. е. масса в сухом состоянии 1 м^3 древесины равна 520 кг) и лиственных – $0,66 \text{ т/м}^3$; корней, включая пень, – $0,12 \text{ т/м}^3$.

Углеродный баланс лесов рассчитывался таким образом. Вначале определяется, пользуясь таксационной терминологией, текущее изменение древесного запаса как разность между годичным приростом (первичная нетто-продукция («net primary productivity» NPP) и суммой годичного древесинопользования (рубки), естественного отпада и прочих потерь древесины (гибель насаждений, пожары и др.)

Затем определяются другие части древесного запаса, их масса в сухом состоянии и содержание углерода, пользуясь вышеуказанными коэффициентами.

В Руководящих принципах МГЭИК [3] излагаются методологии для оценки изменений накопления углерода в двух основных пулах углерода: биомассе и органическом углероде почвы. В них упоминается мертвое органическое вещество как фактор, который следует учитывать в будущей работе по методам составления кадастров. В Марракешских договоренностях конкретно указывается, что должна представляться информация об изменении накопления углерода в пяти пулах: надземная биомасса, подземная биомасса, подстилка, валежная древесина и органический углерод почвы. Уменьшения объема в одном пуле должны компенсироваться увеличениями в другом, например, пулы биомассы уменьшаются после возмущений, однако пулы подстилки и валежной древесины могут увеличиться. Таким образом, изменение в рамках одного пула может быть более значительным по сравнению с результирующим изменением в совокупности пулов.

После проведения оценки отдельных пулов и сообщения информации о них по конкретной территории осуществляется расчет суммарного значения увеличений или уменьшений накопления углерода в пяти пулах. Любое результирующее уменьшение в накоплениях углерода преобразуется в эквивалент выброса CO_2 . Углерод, хранящийся в заготовленных лесоматериалах, не включается в представляемую информацию, поскольку он не фигурирует в качестве пула, охватываемого Марракешскими договоренностями. Если в силу национальных обстоятельств требуются изменения этих определений, должны быть представлены обоснование и документация по этим изменениям, а также по критериям, используемым для проведения различия между пулами углерода. Эффективная практика заключается в представлении подобной информации как по отдельным

пулам, включенным в представляемую информацию, так и по общему изменению накопления углерода в пяти пулах.

Леса Республики Беларусь подвергаются базовому лесоустройству по I разряду лесоустройства с 10-летней периодичностью. Ежегодно вносятся текущие изменения и обновляется повыведельный банк данных «Лесной фонд Республики Беларусь». Каждые пять лет выполняется Государственный учет лесного фонда. Ежегодно составляется Государственный лесной кадастр Республики Беларусь. Это позволяет считать объективно обоснованным введение расчета углеродных бюджетов в лесах с использованием запасов насаждений (т. е. запасов стволовой древесины), определяемых по материалам учета лесного фонда.

Для расчета депонирования углерода фитомассой приемлемо рекомендованное МГЭИК (2003) уравнение [2, 4], в основу которого положен «метод расчета по изменению запаса», а именно:

$$C = VD\text{BEF}_2(1 + R)CF \quad (1)$$

и

$$\Delta C_{\text{FFLB}} = (C_2 - C_1) / (t_2 - t_1), \quad (2)$$

где V – общий запас насаждений по материалам государственного учета лесного фонда (или Лесного кадастра) Республики Беларусь, м^3 ; D – объемно-взвешенная средняя плотность древесины, тонны абсолютно сухой древесины, $\text{т}/\text{м}^3$; BEF_2 – коэффициент фитомассы для перевода общего запаса насаждений (т. е. объема стволовой древесины) в величину фитомассы всех компонентов надземной части древостоя, безразмерная величина; R – соотношение массы корней, включая пень, и стволовой древесины, безразмерная величина; CF – доля углерода в сухом веществе; ΔC_{FFLB} – годовое изменение в углеродных стоках на покрытых лесом землях, тонны C в год; C_2 и C_1 – общее количество углерода в фитомассе лесных насаждений, подсчитанное в момент времени соответственно t_2 и t_1 , тС .

Данные о плотности древесины можно получить из местных источников. Долю углерода в сухой фитомассе, при отсутствии местных данных, методикой МГЭИК (2003) допускается принять равной 0,5. Коэффициенты BEF – «коэффициенты разрастания биомассы (отношение объемов ветвей, побегов, листьев, корней к объему стволовой древесины)» – методика МГЭИК рекомендует определять непосредственным способом на пробных площадях или воспользоваться имеющимися ресурсами для выведения местных аллометрических уравнений.

Для расчета депонирования углерода компонентами лесного насаждения, кроме древесной массы, были установлены на основе проб-

ных площадей и соответствующих литературных данных коэффициенты перевода от запаса стволовой древесины к запасу (массе) подроста, подлеска, живого напочвенного покрова в насаждениях основных лесобразующих пород, преобладающих типов леса и современной возрастной структуры лесов Беларуси.

Накопление углерода почвы рассчитывалось с использованием уравнения, рекомендованного Программой МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов [3, с. 4, 123].

Для определения массы лесной подстилки и содержания органического углерода в ней использовались материалы повыведельного банка данных «Лесной фонд Республики Беларусь» и данные анализа образцов лесной подстилки, выполненных РУП «Белгослес» на 410 постоянных пунктах учета при проведении мониторинга состояния лесов в 2001–2009 гг.

Сведения о запасах лежащей (валеж) и стоящей (сухостой) древесины отображаются в повыведельном банке данных «Лесной фонд Республики Беларусь». Величины показателей плотности и концентрации углерода для валежной древесины и сухостоя предложены по результатам анализа материалов исследований Ждановича С. А. и Пугачевского А. В. [5].

Содержательная часть разрабатываемой методики. Расчет общего количества углерода, содержащегося в фитомассе лесов Беларуси, производится в разрезе лесобразующих древесных видов (преобладающих пород) и может быть сведен в таблицу по форме 1.

Общий запас насаждений V устанавливается по материалам Государственного учета лесного фонда или Лесного кадастра Республики Беларусь на расчетный год.

Фитомасса компонентов насаждения, приходящаяся на единицу запаса в разрезе преобладающих пород, установлена из послылки наличия связи между различными фракциями древесной фитомассы (ствол, ветви, сучья, хвоя, листья, пень, корни). Плотность сухой фитомассы, доленое содержание углерода в стволовой древесине и фракциях преобладающих пород, равно как и аналогичное в подросте, подлеске и живом напочвенном покрове, представленные в виде конверсионных коэффициентов CV , получены с использованием материалов собственных пробных площадей и данных из работ ЕЭК ФАО ООН [6], МГЭИК [3], С. В. Белова [7], В. В. Смирнова [8], А. А. Молчанова [9], Л. П. Смоляка, А. И. Русаленко и Е. Г. Петрова [10], И. Д. Юркевича и Э. П. Ярошевич [11], Н. А. Взнуздаева, О. В. Шаховой и В. И. Стукаловой [12], В. А. Усольцева и С. В. Залесова [13], Н. И. Базилевича [14], Д. Г. Замолдчикова и А. И. Уткина [15], А. И. Уткина, Д. Г. Замолдчикова и А. А. Пряжникова [16].

Таблица 1

Алгоритм расчета депонирования углерода фитомассой лесов Беларуси

| Наименование показателя | Лесобразующий древесный вид | | | | | | | Общее количество углерода (пулы) в компонентах насаждений |
|---|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---|
| | сосна | ель | дуб | береза | ольха черная | осина | прочие | |
| Общий запас насаждений, тыс. м ³ | V_1 | V_2 | V_3 | V_4 | V_5 | V_6 | V_7 | – |
| Доля углерода в компонентах насаждения, приходящаяся на единицу запаса CV , тС/м ³ : | | | | | | | | |
| стволовой древесины | C_1V_1 | C_1V_2 | C_1V_3 | C_1V_4 | C_1V_5 | C_1V_6 | C_1V_7 | |
| сучьев и ветвей | C_2V_1 | C_2V_2 | C_2V_3 | C_2V_4 | C_2V_5 | C_2V_6 | C_2V_7 | |
| хвои (листьев) | C_3V_1 | C_3V_2 | C_3V_3 | C_3V_4 | C_3V_5 | C_3V_6 | C_3V_7 | |
| корней и пней | C_4V_1 | C_4V_2 | C_4V_3 | C_4V_4 | C_4V_5 | C_4V_6 | C_4V_7 | |
| Общее количество углерода в компонентах насаждения C , тыс. тС: | | | | | | | | |
| стволовая древесина | V_1C_1V | V_2C_1V | V_3C_1V | V_4C_1V | V_5C_1V | V_6C_1V | V_7C_1V | ΣV_nC_1V Пул 8 |
| сучья и ветви | V_1C_2V | V_2C_2V | V_3C_2V | V_4C_2V | V_5C_2V | V_6C_2V | V_7C_2V | ΣV_nC_2V пул 9 |
| хвоя или листья | V_1C_3V | V_2C_3V | V_3C_3V | V_4C_3V | V_5C_3V | V_6C_3V | V_7C_3V | ΣV_nC_3V пул 10 |
| корни и пни | V_1C_4V | V_2C_4V | V_3C_4V | V_4C_4V | V_5C_4V | V_6C_4V | V_7C_4V | ΣV_nC_4V пул 11 |
| подрост и подлесок | V_1C_5V | V_2C_5V | V_3C_5V | V_4C_5V | V_5C_5V | V_6C_5V | V_7C_5V | ΣV_nC_5V пул 12 |
| живой напочвенный покров | V_1C_6V | V_2C_6V | V_3C_6V | V_4C_6V | V_5C_6V | V_6C_6V | V_7C_6V | ΣV_nC_6V пул 13 |
| Общее количество углерода (пулы) в фитомассе насаждений преобладающих пород, тыс. тС: | ΣCV_1 пул 1 | ΣCV_2 пул 2 | ΣCV_3 пул 3 | ΣCV_4 пул 4 | ΣCV_5 пул 5 | ΣCV_6 пул 6 | ΣCV_7 пул 7 | ΣCV пул 14 |

Полученные на основании этих данных конверсионные коэффициенты CV приведены в табл. 2.

Накопление углерода почвы на единицу площади в эквиваленте объема рассчитывается с использованием уравнения, рекомендованного Программой МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов [3, с. 4, 123], следующим образом:

$$SOC = [SOC] \times \text{Объемная плотность} \times \text{Глубина} \times \text{Грубые фрагменты} \times 10, \quad (3)$$

где SOC – накопление органического углерода почвы в представляющей интерес почве, МгС/га; [SOC] – концентрация органического углерода почвы в данной почве, гС/кг почвы (из лабораторных анализов); Объемная плотность – масса почвы на объем пробы, мг/м³; Глубина –

глубина взятия пробы, толщина или почвенный слой, м; Грубые фрагменты – 1 – (процент объема грубых фрагментов / 100); 10 – конечный множитель, вводится для преобразования единиц в МгС/га.

Величины вышеизложенных показателей устанавливаются по материалам почвенно-лесотипологического обследования лесных земель Беларуси, корректируются данными результатов анализов (один раз в 10 лет) почвенных образцов, отбираемых в процессе мониторинга лесов Беларуси.

Содержание углерода, объемная плотность почвы, доля грубых фрагментов (фракция > 1 мм) определены по результатам анализов 367 профилейных и смешанных почвенных образцов, отобранных в лесном фонде Республики Беларусь специалистами РУП «Белгослес» в 2001–2009 гг.

Таблица 2

**Доля углерода в компонентах насаждения, приходящаяся на единицу запаса,
в разрезе преобладающих древесных пород, КС [тС/м³]**

| Преобладающая древесная порода | Конверсионные коэффициенты CV, тС/м ³ запаса | | | | | |
|-----------------------------------|---|------------------|--------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------------|
| | стволовая древесина | сучья и ветви | хвоя или листья | корни и пень | подрост и подлесок | живой напочвенный покров |
| Сосна | 0,268 | 0,050 | 0,012 | 0,046 | 0,0005 | 0,004 |
| Ель | 0,235 | 0,034 | 0,038 | 0,044 | 0,0005 | 0,001 |
| Дуб | 0,343 | 0,142 | 0,027 | 0,072 | 0,0005 | 0,006 |
| Береза | 0,300 | 0,047 | 0,024 | 0,050 | 0,0005 | 0,005 |
| Ольха (ч) | 0,275 | 0,060 | 0,025 | 0,047 | 0,0005 | 0,001 |
| Осина | 0,224 | 0,027 | 0,018 | 0,045 | 0,0005 | 0,005 |
| Прочие | 0,138 | 0,037 | 0,016 | 0,020 | 0,0005 | 0,008 |

Лабораторные анализы выполнены для почвенных горизонтов, охватывающих 30-сантиметровый слой почвы в центральной лаборатории Минлесхоза (РУП «Белгослес»), аккредитованной Национальным органом по аккредитации (Госстандарт Республики Беларусь). При этом концентрация органического углерода в почве определялась по методу

Тюрина в модификации ЦИНАО. Полученные значения сгруппированы по сериям типов леса и представлены в виде средних величин.

Установленные среднеарифметические показатели для расчета органического углерода почвы в лесных землях Беларуси по состоянию на 01.01.2010 г. приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Исходные данные для расчета органического углерода
в верхнем 30-сантиметровом слое почвы лесных земель Беларуси**

| Серии типов леса | $K_{\text{пч}}$ – концентрация органического углерода в почве, гС/кг | $P_{\text{пч}}$ – объемная плотность почвы, г/см ³ | $S_{\text{пч}}$ – грубые фрагменты почвы (фракции > 1 мм), % |
|---------------------|--|---|--|
| Вересковая | 6,0 | 0,95 | 1,05 |
| Брусничная | 6,2 | 1,0 | 1,05 |
| Мшистая | 9,5 | 1,10 | 1,10 |
| Орляковая | 11,4 | 1,20 | 1,20 |
| Кисличная | 16,0 | 1,30 | 1,30 |
| Черничная | 23,6 | 1,25 | 1,20 |
| Долгомошная | 293,5 | 0,30 | 1,00 |
| Багульниковая | 365,8 | 0,25 | – |
| Осоковая | 313,4 | 0,25 | – |
| Осоково-сфагновая | 338,9 | 0,25 | – |
| Снытевая | 36,3 | 1,35 | 1,50 |
| Крапивная | 203,9 | 0,80 | – |
| Папоротниковая | 305,0 | 0,25 | – |
| Приручейно-травяная | 349,8 | 0,25 | – |
| Злаково-пойменная | 17,1 | 1,30 | – |

Общий вид уравнения для расчета органического углерода в верхнем 30-сантиметровом слое почвы лесных земель Беларуси будет следующим:

$$C_{пч} = KC_{пч}P_{пч}(1 - S_{пч} / 100)3, \quad (4)$$

где $C_{пч}$ (Пул 15) – накопление органического углерода в верхнем 30-сантиметровом слое почвы лесных земель Беларуси, тС; $KC_{пч}$ – концентрация органического углерода в верхнем 30-сантиметровом слое почвы лесных земель Беларуси, гС/кг; $P_{пч}$ – объемная плотность верхнего 30-сантиметрового слоя почвы лесных земель Беларуси, г/см³; $S_{пч}$ – доля грубых фрагментов (фракции > 1 мм) в верхнем 30-сантиметровом слое почвы лесных земель Беларуси, %; 3 – конечный множитель для преобразования массы углерода в т/га, 10 тсм³.

В общей форме уравнение для расчета накопления углерода лесной подстилкой имеет следующий вид:

$$C_{пд} = M_{пд}KC_{пд}, \quad (5)$$

где $C_{пд}$ – накопление органического углерода лесной подстилкой, тС; $M_{пд}$ – масса лесной подстилки в абсолютно сухом состоянии, т; $KC_{пд}$ – долевое содержание углерода в сухой массе лесной подстилки, безразмерная величина.

Масса лесной подстилки зависит от видового состава лесного насаждения, его компонентной структуры (древостой, подрост, подлесок, живой напочвенный покров), возраста и полноты древостоя, почвенно-лесотипологических условий, влияющих на интенсивность разложения лесного опада.

Массу подстилки предлагается определять по формуле

$$M_{пд} = V_{сд}KM_{пд}, \quad (6)$$

где $V_{сд}$ – запас стволовой древесины, м³/га; $KM_{пд}$ – масса в сухом состоянии лесной подстилки в насаждении, приходящаяся на 1 м³ стволовой древесины, т/м³.

Запас стволовой древесины может быть получен в повыдельном банке данных «Лесной фонд Республики Беларусь» или других лесо-строительных материалах.

Для определения конверсионных коэффициентов $KM_{пд}$ были использованы данные из широкого круга литературных источников [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16], материалы собственных пробных площадей и заложенных сотрудниками кафедры лесоводства и студентами-дипломниками кафедры лесоводства. Таким же образом установлено долевое содержание углерода в лесной подстилке. Значения этих показателей приведены в разрезе лесных формаций (преобладающих пород) для средних по состоянию на 01.01.2010 г. лесоводственно-таксационных характеристик формаций (табл. 4).

Общий вид уравнения для расчета накопления органического углерода лесной подстилкой в насаждениях Беларуси будет следующим, тС/га:

$$C_{пд} \text{ (пул 16)} = V_{сд}KM_{пд}KC_{пд}. \quad (7)$$

Валежная древесина подразделяется на лежащую (валеж) и стоящую (сухостой). Сведения о запасах валежной древесины устанавливаются при лесоустройстве и вносятся в повыдельный банк данных «Лесной фонд Республики Беларусь». По состоянию на 01.01.2010 г. объемы валежа в лесах Беларуси составляли – 5644,5 тыс. м³, сухостоя – 8556,8 тыс. м³.

Таблица 4

Исходные данные для расчета органического углерода в лесной подстилке насаждений Беларуси

| Преобладающая древесная порода (лесная формация) | $V_{сд}$ – запас стволовой древесины, м ³ | $KM_{пд}$ – масса лесной подстилки в сухом состоянии, приходящаяся на 1 м ³ стволовой древесины, т/м ³ | $KC_{пд}$ – долевое содержание углерода в сухой массе лесной подстилки | $C_{пд}$ – накопление органического углерода в лесной подстилке, тС |
|--|--|--|--|---|
| Сосна | Берется из повыдельного банка данных «Лесной фонд Республики Беларусь» | 0,100 | 0,460 | Определяется по уравнению (7) |
| Ель | | 0,095 | 0,432 | |
| Дуб | | 0,030 | 0,433 | |
| Береза | | 0,010 | 0,400 | |
| Ольга (ч) | | 0,010 | 0,400 | |
| Осина | | 0,006 | 0,500 | |
| Прочие | | 0,037 | 0486 | |

Для расчета содержания органического углерода в валежной древесине предлагаются уравнения:

$$C_{\text{влд}} (\text{Пул 17}) = V_{\text{влд}} KM_{\text{влд}} KC_{\text{влд}}; \quad (8)$$

$$C_{\text{всд}} (\text{Пул 18}) = V_{\text{всд}} KM_{\text{всд}} KC_{\text{всд}}, \quad (9)$$

где $C_{\text{влд}}$ – накопление органического углерода валежной лежащей древесиной (валежом), тС; $V_{\text{влд}}$ – объем валежа, м³, берется из поведельной базы данных; $KM_{\text{влд}}$ – объемная плотность валежа в сухом состоянии, т/м³; $KC_{\text{влд}}$ – долевое содержание углерода в сухом валеже; $C_{\text{всд}}$ – накопление органического углерода валежной сухостойной древесиной (сухостоем), тС; $V_{\text{всд}}$ – объем сухостоя, м³, берется из поведельной базы данных; $KM_{\text{всд}}$ – объемная плотность сухостоя в сухом состоянии, т/м³; $KC_{\text{всд}}$ – долевое содержание углерода в сухостое.

Величины показателей плотности и концентрации углерода для валежной древесины предложены следующие [5]:

$$\begin{aligned} KM_{\text{влд}} &= 0,3 \text{ т/м}^3, & KM_{\text{всд}} &= 0,5, \\ KC_{\text{влд}} &= 0,5 \text{ т/м}^3, & KC_{\text{всд}} &= 0,5. \end{aligned}$$

Годичное или среднепериодическое депонирование углерода в лесах в общем виде определяется по уравнению

$$\pm \Delta C_t = (C_{t_2} - C_{t_1}) / (t_2 - t_1), \quad (10)$$

где $\pm \Delta C_t$ – годичный или среднепериодический годичный поток углерода, тыс. тС/год; C_{t_2} – общее депонирование углерода лесами в момент времени t_2 , тыс. тС; C_{t_1} – общее депонирование углерода лесами в момент времени t_1 , тыс. тС; t_2 – календарный год производства расчета (например, 2010 г.); t_1 – календарный год предыдущего периода (например, 2005 г.).

При значении $+\Delta C_t$ имеет место «сток» (абсорбция) атмосферного углерода. При значении $-\Delta C_t$ имеет место «эмиссия» (выброс) углерода в атмосферу.

В информационных таблицах (сообщениях) годовые величины потока углерода (увеличение или уменьшение накоплений углерода в пулах) преобразуются в эквивалент CO_2 . Стехиометрическое соотношение CO_2 и углерода (С) составляет 44/12.

Пример расчета: 150 тС соответствует 550 т CO_2 ($150 \cdot 44/12$).

Расчет годичного (или среднепериодического) потока углерода может быть сведен в форме табл. 5 и 6.

Заключение. Вступление в силу Киотского протокола после его подписания Россией и начало торгов углеродными квотами в Европейском Союзе с 01.01.2005 положило начало формированию нового глобального рынка – рынка эмиссионных углеродных активов.

Как и любой рынок, рынок эмиссионных углеродных активов определяется балансом спроса и предложения.

Спрос формируется в результате законодательного ограничения количества выбросов парниковых газов (ПГ) в атмосферу промышленными предприятиями и обязательством стран, подписавших Киотский протокол по сокращению выбросов ПГ.

Промышленные предприятия могут добиться сокращения выбросов ПГ путем внедрения энергосберегающих технологий и переходом на экологически более чистые источники энергии. Однако этот путь во многих случаях требует существенных капитальных затрат, времени и технической экспертизы.

Киотский протокол предусматривает другой путь выполнения предприятиями и странами своих обязательств по сокращению выбросов ПГ – покупку необходимого количества углеродных квот (условно выраженных в 1 т CO_2) на рынке.

Это создает основу для формирования устойчивого спроса на эмиссионные углеродные активы. С учетом обязательств по Киотскому протоколу и дополнительных ограничений, принятых Европейским Союзом, общий объем рынка оценивается в 2 млрд. т CO_2 на период 2005–2008 гг. В период 2008–2012 гг. вводятся более жесткие ограничения на выброс ПГ, а также расширяются действия этих ограничений на транспортные и химические предприятия. Это приведет к дальнейшему росту спроса на эмиссионные углеродные активы и общего объема рынка. Эмиссионный углеродный рынок в 2008–2012 гг. оценивается в 6 млрд. т [17].

Таблица 5

Расчет годичных потоков углерода в разрезе преобладающих древесных пород

| Показатели | Пулы углерода в разрезе преобладающих пород, тыс. тС | | | | | | | пул 14 содержание углерода в фитомассе лесов, тыс. тС |
|--------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|---|
| | пул 1 сосна | пул 2 ель | пул 3 дуб | пул 4 береза | пул 5 ольха черная | пул 6 осина | пул 7 прочие | |
| C_{t_2} | CV_{1t_2} | CV_{2t_2} | CV_{3t_2} | CV_{4t_2} | CV_{5t_2} | CV_{6t_2} | CV_{7t_2} | CV_{t_2} |
| C_{t_1} | CV_{1t_1} | CV_{2t_1} | CV_{3t_1} | CV_{4t_1} | CV_{5t_1} | CV_{6t_1} | CV_{7t_1} | CV_{t_1} |
| ΔC_t | ΔC_{1t} | ΔC_{2t} | ΔC_{3t} | ΔC_{4t} | ΔC_{5t} | ΔC_{6t} | ΔC_{7t} | ΔC_{t_1} |

Таблица 6

Расчет годовых потоков углерода в разрезе компонентов лесных насаждений

| Показатели | Пулы углерода в разрезе компонентов лесных насаждений, тыс. тС | | | | | | пул 14 содержание углерода в фитомассе лесов, тыс. тС |
|--------------|--|---------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------------|--|---|
| | пул 8 стволовая древесина | пул 9 сучья и ветви | пул 10 хвоя или листья | пул 11 корни и пень | пул 12 подрост и подлесок | пул 13 живой напочвенный покров | |
| C_{t_2} | $V_n C_1 V_{t_2}$ | $V_n C_2 V_{t_2}$ | $V_n C_3 V_{t_2}$ | $V_n C_4 V_{t_2}$ | $V_n C_5 V_{t_2}$ | $V_n C_6 V_{t_2}$ | $C V_{t_2}$ |
| C_{t_1} | $V_n C_1 V_{t_1}$ | $V_n C_2 V_{t_1}$ | $V_n C_3 V_{t_1}$ | $V_n C_4 V_{t_1}$ | $V_n C_5 V_{t_1}$ | $V_n C_6 V_{t_1}$ | $C V_{t_1}$ |
| ΔC_t | ΔC_{8t} | ΔC_{9t} | ΔC_{10t} | ΔC_{11t} | ΔC_{12t} | ΔC_{13t} | $\Delta C V_t$ |

Эмиссионные углеродные активы могут поставляться на рынок двумя путями.

Первый путь – промышленные предприятия и страны, которые сократили объем выбросов ПГ более, чем предусматривалось их обязательствами, могут продавать излишки углеродных активов на рынке. Согласно так называемым рыночным механизмам Киотского протокола, сокращение выбросов ПГ, достигнутое в результате инвестиций в проекты и технологии, приводящие к сокращению выбросов ПГ в развивающихся странах, а также странах с переходной экономикой (Россия), может быть при надлежащем оформлении переведено к углеродные активы (ERUs), которые затем могут быть проданы на углеродном рынке.

Второй путь – проекты по формированию эмиссионных углеродных активов – представляется привлекательным бизнес-проектом с точки зрения инвестиционной эффективности, состояния и перспектив развития рынка.

По состоянию на июль 2005 г. цена 1 т CO₂ достигла 29 €/т, в то время как торги в январе начались с уровня 5 €/т CO₂. Создаются многочисленные специализированные инвестиционные фонды, нацеленные на покупку углеродных активов. На сегодняшний день цена покупки углеродных квот, образуемых в результате проектов по сокращению выбросов в развивающихся странах, составляет около 6 €/т CO₂ (разброс цен связан с инвестиционными и техническими рисками, возникающими в результате перевода этого объема сокращенных выбросов в стандартизированные углеродные квоты). Это происходит на фоне существенного превышения спроса на углеродные активы над предложением и недостатком проектов, их формирующих.

Согласно существующим оценкам предприятия Европы, Канады и Японии в 2008–2012 гг. для выполнения своих обязательств по сокращению выбросов ПГ должны будут

сократить выбросы или купить на рынке около 3,5 млрд. тCO₂ [17].

В Республике Беларусь предусматривается создание внутреннего рынка углеродных единиц, который бы стимулировал внедрение технологий по сокращению выбросов парниковых газов. Этот рынок может быть создан с введением закона Республики Беларусь об охране климата. Концепция данного Закона была недавно одобрена правительством [18, с. 105].

Литература

1. ECE / TIM / SP / 17 – 2000. Forest Resources, Main Report, UN-ECE / FAO. – New York and Geneva, 2000. – 445 p.
2. Global Forest Resources Assessment 2005 / FAO UN. – Rome, 2006. – 322 p. (10. IPCC Good Practice Guidance for LULUCF, 2003).
3. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК). Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов / МГЭИК, 2003. – 152 с.
4. Моисеев, Н. Б. (ВНИИЛМ). Методика МГЭИК для расчетов годовичного депонирования углерода и оценка ее применимости для лесов России / Н. Б. Моисеев // Лесоведение и лесоводство. – 2009. – № 4. – С. 11–13.
5. Жданович, С. А. Топливо-энергетическая характеристика крупного древесного дегрита различной степени разложения в лесах Беларуси // С. А. Жданович, А. В. Пугачевский // Лесное и охотничье хоз-во. – 2010. – № 4. – С. 21–25.
6. Forest Resources of Europe, CIS, North America, Australia, Japan and New Zeland. Main report / UN-ECE / FAO Contribution to the Global Forest Resources Assessment 2000. – New York and Geneva: United Nations, 2000. – P. 137–226.

7. Белов, С. В. Количественная оценка гигиенической роли леса и нормы лесов зеленых зон: метод. пособие / С. В. Белов. – Л.: ВЗЛТИ, 1964. – 65 с.

8. Смирнов, В. В. Фитомасса в еловых древостоях / В. В. Смирнов // Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. – М.: Наука (Ленинград. отд.), 1971. – С. 47–52.

9. Молчанов, А. А. Продуктивность органической массы в лесах различных зон / А. А. Молчанов. – М.: Наука, 1971. – 275 с.

10. Смоляк, Л. П. Таблицы запасов надземной фитомассы сосняков БССР / Л. П. Смоляк, А. И. Русаленко, Е. Г. Петров // Лесное хоз-во. – 1977. – № 2. – С. 68–71.

11. Юркевич, И. Д. Биологическая продуктивность типов и ассоциаций сосновых лесов (по исследованиям в БССР) / И. Д. Юркевич, Э. П. Ярошевич. – Минск: Наука и техника, 1974. – 194 с.

12. Взнуздаев, Н. А. Запас органического вещества осинников в зависимости от формового разнообразия осины / Н. А. Взнуздаев, О. В. Шахова, В. И. Стукалова // Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. – М.: Наука (Ленинград. отд.), 1971. – С. 53–58.

13. Усольцев, В. А. Депонирование углерода в насаждениях некоторых экотонных и на ле-

сопокровных площадях Уральского федерального округа: монография / В. А. Усольцев, С. В. Залесов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2005. – 223 с.

14. Базилевич, Н. И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии / Н. И. Базилевич. – М.: Наука, 1993. – 293 с.

15. Замолотчиков, Д. Г. Система конверсионных отношений для расчета чистой первичной продукции лесных экосистем по запасам насаждений / Д. Г. Замолотчиков, А. И. Уткин // Лесоведение. – 2000. – № 6. – С. 54–63.

16. Уткин, А. И. Методы определения депонирования углерода фитомассы и неттопродуктивности лесов (на примере Республики Беларусь) / А. И. Уткин, Д. Г. Замолотчиков, А. А. Прыжников // Лесоведение. – 2003. – № 1. – С. 48–57.

17. Углеродный фонд технологий и инвестиций [Электронный ресурс] / Carbon Fund of Technologies and Investment // Режим доступа: <http://cfti.ru/>. – Дата доступа: 12.10.2010 г.

18. Пятое национальное сообщение Республики Беларусь в соответствии с обязательствами по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. – Минск: РУП «БелНИЦ “Экология”», 2010. – 196 с.

Поступила 16.02.2011