

ГЛАВА 2

ОБЩИЕ МЕТОДОЛОГИИ, ПРИМЕНИМЫЕ К РАЗЛИЧНЫМ КАТЕГОРИЯМ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

Авторы

Харальд Аалде (Норвегия), Патрик Гонсалес (США), Михаил Гитарский (Российская Федерация), Тельма Круг (Бразилия), Вернер А. Курц (Канада), Родел Д. Ласко (Филиппины), Даниел Л. Мартино (Уругвай), Брайан Д. Макконки (Канада), Стефен Огли (США), Кейт Постиан (США), Джон Рейсон (Австралия), Н.Х.Равиндранат (Индия), Дитер Шон (ФАО), Пит Смит (Соединенное Королевство), Золтан Шомоги (Европейская комиссия/Венгрия), Андре ван Амстел (Нидерланды) и Луи Верчо (ICRAF/США)

Содержание

2	Общие методологии, применимые к различным категориям землепользования	
2.1	Введение	2.6
2.2	Общая схема кадастра	2.6
2.2.1	Анализ оценки изменений запасов углерода.....	2.6
2.2.2	Анализ оценки выбросов иных, чем CO ₂ , газов	2.11
2.2.3	Пересчет изменений запасов углерода в выбросы CO ₂	2.11
2.3	Общие методы для выбросов и поглощений CO ₂	2.11
2.3.1	Изменение в запасах углерода в биомассе (надземная биомасса и подземная биомасса).....	2.12
2.3.1.1	Земли, остающиеся в той же категории землепользования.....	2.12
2.3.1.2	Земли, переустроенные в новые категории землепользования:.....	2.21
2.3.2	Изменение в запасах углерода в мертвом органическом веществе.....	2.23
2.3.2.1	Земли, остающиеся в той же категории землепользования:.....	2.23
2.3.2.2	Переустройство земли в новую категорию землепользования	2.29
2.3.3	Изменение в запасах углерода в почвах.....	2.33
2.3.3.1	Методы оценки углерода почвы (земли, остающиеся в той же категории землепользования, и земли, переустраиваемые в новую категорию землепользования)	2.34
2.4	Выбросы иных, чем CO ₂ , газов.....	2.49
2.5	Дополнительные общие руководящие указания по методам уровня 3	2.59
2.5.1	Кадастры уровня 3, основанные на измерениях.....	2.59
2.5.2	Кадастры уровня 3, основанные на моделях	2.62
	Ссылки	2.64

Уравнения

Уравнение 2.1	Годовые изменения запасов углерода для всего сектора СХЛХДВЗ, оцениваемые как сумма изменений во всех категориях землепользования	2.7
Уравнение 2.2	Годовые изменения запасов углерода для какой-либо категории землепользования как сумма изменений в каждом слое в пределах этой категории	2.7
Уравнение 2.3	Годовые изменения запасов углерода для какого-либо заданного слоя категории землепользования как сумма изменений во всех резервуарах	2.7
Уравнение 2.4	Годовое изменение запасов углерода в заданном резервуаре как функция поступлений и потерь (метод поступлений - потерь)	2.10
Уравнение 2.5	Изменение запасов углерода в заданном резервуаре как среднегодовая разность между оценками для двух моментов времени (метод разности запасов).....	2.10
Уравнение 2.6	Выбросы иных, чем CO ₂ , газов в атмосферу.....	2.11

Уравнение 2.7	Годовое изменение запасов углерода в биомассе на землях, остающихся в той же категории землепользования (метод поступлений – потерь).....	2.13
Уравнение 2.8	Годовое изменение запасов углерода в биомассе на землях, остающихся в той же категории землепользования (метод разности запасов)	2.13
Уравнение 2.9	Годовое увеличение запасов углерода в биомассе в результате приращения биомассы на землях, остающихся в той же категории землепользования.....	2.16
Уравнение 2.10	Среднегодовое приращение биомассы.....	2.16
Уравнение 2.11	Годовое уменьшение запасов углерода вследствие потерь биомассы на землях, остающихся в той же категории землепользования	2.17
Уравнение 2.12	Годовая потеря углерода с биомассой изъятной древесины	2.18
Уравнение 2.13	Годовая потеря углерода с биомассой изъятной топливной древесины	2.19
Уравнение 2.14	Годовые потери углерода в биомассе в результате возмущений.....	2.19
Уравнение 2.15	Годовое изменение в запасах углерода в биомассе на землях, переустроенных в другие категории землепользования (уровень 2).....	2.22
Уравнение 2.16	Начальное изменение в запасах углерода в биомассе на земле, переустроенной в другую категорию	2.22
Уравнение 2.17	Годовое изменение в запасах углерода в мертвом органическом веществе.....	2.24
Уравнение 2.18	Годовое изменение в запасах углерода в валежной древесине и подстилке (метод поступлений-потерь)	2.26
Уравнение 2.19	Годовое изменение в запасах углерода в валежной древесине или подстилке (метод разности запасов)	2.26
Уравнение 2.20	Годовое количество углерода в биомассе, которое переносится к мертвому органическому веществу	2.27
Уравнение 2.21	Годовые потери углерода в биомассе в результате гибели	2.28
Уравнение 2.22	Годовой перенос углерода к лесосечным отходам.....	2.28
Уравнение 2.23	Годовое изменение в запасах углерода в валежной древесине и подстилке в связи с переустройством земель	2.30
Уравнение 2.24	Годовое изменение в запасах углерода в почвах.....	2.34
Уравнение 2.25	Годовое изменение в запасах органического углерода в минеральных почвах	2.35
Уравнение 2.26	Годовые потери углерода из осушенных органических почв (CO ₂).....	2.41
Уравнение 2.27	Оценка выбросов парниковых газов от пожара.....	2.51

Рисунки

Рисунок 2.1	Обобщенный цикл углерода наземных экосистем СХЛХДВЗ, показывающий потоки углерода в заданную систему и из нее, а также между пятью резервуарами углерода в пределах этой системы.	2.8
Рисунок 2.2	Общая схема принятия решений при определении подходящего уровня для оценки изменений в запасах углерода биомассы в какой-либо категории землепользования.	2.15
Рисунок 2.3	Общая схема принятия решений при определении подходящего уровня для оценки изменений в запасах углерода в мертвом органическом веществе для какой-либо категории землепользования	2.25

Рисунок 2.4	Общая схема принятия решений при определении подходящего уровня для оценки изменений в запасах углерода минеральных почв по категориям землепользования.....	2.38
Рисунок 2.5	Общая схема принятия решений при определении подходящего уровня для оценки изменений в запасах углерода органических почв по категориям землепользования.....	2.39
Рисунок 2.6	Общая схема принятия решений при определении подходящего уровня для оценки выбросов парниковых газов от пожара в какой-либо категории землепользования.....	2.53
Рисунок 2.7	Этапы разработки системы оценки для основанного на моделях кадастра уровня 3.....	2.62

Таблицы

Таблица 2.1	Пример простой матрицы (уровень 2) для воздействий возмущений на резервуары углерода.....	2.21
Таблица 2.2	Значения по умолчанию на уровне 1 для запасов углерода подстилки и валежной древесины.....	2.32
Таблица 2.3	Эталонные по умолчанию (при естественной растительности) запасы органического углерода в почве (SOC_{REF}) для минеральных почв.....	2.37
Таблица 2.4	Потребление топливной биомассы (мертвое органическое вещество плюс живая биомасса) для пожаров в диапазоне типов растительности.....	2.54
Таблица 2.5	Коэффициенты выбросов для различных типов сжигания.....	2.56
Таблица 2.6	Значения коэффициентов сгорания (часть потребленной биомассы до выжигания) для выжигания в диапазоне растительности.....	2.57

Блоки

Блок 2.1	Альтернативные формулировки уравнения 2.25 для подхода 1, а также для подхода 2 или 3 к сбору данных о деятельности с переходными матрицами.....	2.40
Блок 2.2	Сравнение между использованием обобщенных статистических данных для подхода 1 и использованием данных о деятельности для подхода 2 и 3 с переходными матрицами.....	2.43

2 ОБЩИЕ МЕТОДОЛОГИИ, ПРИМЕНИМЫЕ К РАЗЛИЧНЫМ КАТЕГОРИЯМ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

2.1 ВВЕДЕНИЕ

Методы оценки выбросов и поглощений парниковых газов в секторе сельского хозяйства, лесного хозяйства и других видов землепользования (СХЛХДВЗ) могут быть разделены на две большие категории: 1) методы, которые могут быть применены схожим образом для любых видов землепользования (т.е. общие методы для лесных площадей, возделываемых земель, пастбищ, водно-болотных угодий, поселений и прочих земель); и 2) методы, которые применимы только к отдельным видам землепользования или которые применимы к обобщенным на национальном уровне данным, без указания землепользования. В главе 2 в основном описываются общие методологии, входящие в категорию (1), для оценки изменений запасов углерода экосистем, а также оценки иных, чем CO_2 , потоков от пожаров. Эти методы могут быть применены к любым шести категориям землепользования. В общую информацию по методам входит:

- общая схема применения методов к конкретным категориям землепользования;
- выбор методов, в том числе уравнений и значений по умолчанию, для методов уровня 1 для оценки изменений запасов углерода и выбросов иных, чем CO_2 , газов;
- общие руководящие указания по применению методов более высоких уровней;
- применение базы данных коэффициентов выбросов (БДКВ); и
- оценка неопределенностей.

Подробные сведения и руководящие указания по применению методов для каждой категории землепользования и переустройства землепользования, включая выбор коэффициентов выбросов, сбор данных о деятельности и оценку неопределенности, приводятся в соответствующих главах, посвященных конкретным категориям землепользования (см. главы с 4 по 9). В руководящих указаниях по расчетам для каждого конкретного вида землепользования, которые необходимы при составлении кадастров, даются ссылки на данную главу в отношении описания общих методов.

2.2 ОБЩАЯ СХЕМА КАДАСТРА

В настоящем разделе представлено общее описание систематического подхода к оценке изменений запасов углерода (и соответствующих выбросов и поглощений CO_2), связанных с биомассой, мертвым органическим веществом и почвами, а также к оценке выбросов иных, чем CO_2 , парниковых газов в результате пожаров. Вслед за общими уравнениями, представляющими уровень категорий землепользования и слоев (страт), дается краткое описание процессов с более подробными уравнениями для изменений запасов углерода в конкретных резервуарах с разбивкой по категориям землепользования. Затем даются принципы, по которым проводится оценка выбросов иных, чем CO_2 , газов, и общие уравнения. В разделах 2.3 и 2.4 даются конкретные рабочие уравнения для оценки выбросов и поглощений по отдельным процессам в пределах какого-либо резервуара и по категориям, которые непосредственно используются при расчетах рабочих формул.

2.2.1 Анализ оценки изменений запасов углерода

Выбросы и поглощения CO_2 для сектора СХЛХДВЗ, основанные на данных изменений запасов углерода экосистем, оцениваются для каждой категории землепользования (включая как земли, остающиеся в какой-либо категории землепользования, так и земли, переустроенные в другие категории землепользования). Итоговые изменения запасов углерода описываются уравнением 2.1.

УРАВНЕНИЕ 2.1
ГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА ДЛЯ ВСЕГО СЕКТОРА СХЛХДВЗ, ОЦЕНИВАЕМЫЕ
КАК СУММА ИЗМЕНЕНИЙ ВО ВСЕХ КАТЕГОРИЯХ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

$$\Delta C_{AFOLU} = \Delta C_{FL} + \Delta C_{CL} + \Delta C_{GL} + \Delta C_{WL} + \Delta C_{SL} + \Delta C_{OL}$$

где:

ΔC = изменение запасов углерода

Индексы обозначают следующие категории землепользования:

СХЛХДВЗ = Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования

FL = Лесные площади

CL = Возделываемые земли

GL = Пастбищные угодья

WL = Водно-болотные угодья

SL = Поселения

OL = Прочие земли

Для каждой категории землепользования изменения запасов углерода оцениваются для всех *слоев (страт)* или подразделений земельной площади (например, по климатической зоне, экотипу, типу почвы, режиму управления и т.д., см. главу 3), выбранных для какой-либо категории землепользования (уравнение 2.2). Изменения запасов углерода в пределах слоя (страты) оцениваются путем учета процессов углеродного цикла между пятью резервуарами углерода, как это определено в таблице 1.1, глава 1. На обобщенной блок-схеме цикла углерода (рисунок 2.1) показаны все пять резервуаров и связанных с ними потоков, включая входные потоки в систему и выходные потоки из нее, а также всевозможные переносы между резервуарами. Общие изменения запасов углерода в пределах слоя (страты) оцениваются путем суммирования изменений по всем резервуарам в уравнении 2.3. Далее изменения запасов углерода в почве могут быть детализированы с указанием изменений запасов углерода в минеральных почвах и выбросов из органических почв. Заготовленные лесоматериалы (ЗЛМ) также учитываются в качестве дополнительного резервуара.

УРАВНЕНИЕ 2.2
ГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА ДЛЯ КАКОЙ-ЛИБО КАТЕГОРИИ
ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ КАК СУММА ИЗМЕНЕНИЙ В КАЖДОМ СЛОЕ В ПРЕДЕЛАХ ЭТОЙ
КАТЕГОРИИ

$$\Delta C_{LU} = \sum_i \Delta C_{LU_i}$$

где:

ΔC_{LU} = изменения запасов углерода для какой-либо категории землепользования (LU), как это определено в уравнении 2.1,

i = обозначает конкретный слой или подразделение в пределах данной категории землепользования (с любой комбинацией видов, климатической зоны, экотипа, режима управления и т.д., см. главу 3), $i = c 1$ по n .

УРАВНЕНИЕ 2.3
ГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА ДЛЯ КАКОГО-ЛИБО ЗАДАННОГО СЛОЯ
КАТЕГОРИИ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ КАК СУММА ИЗМЕНЕНИЙ ВО ВСЕХ РЕЗЕРВУАРАХ

$$\Delta C_{LU_i} = \Delta C_{AB} + \Delta C_{BB} + \Delta C_{DW} + \Delta C_{LI} + \Delta C_{SO} + \Delta C_{HWP}$$

где:

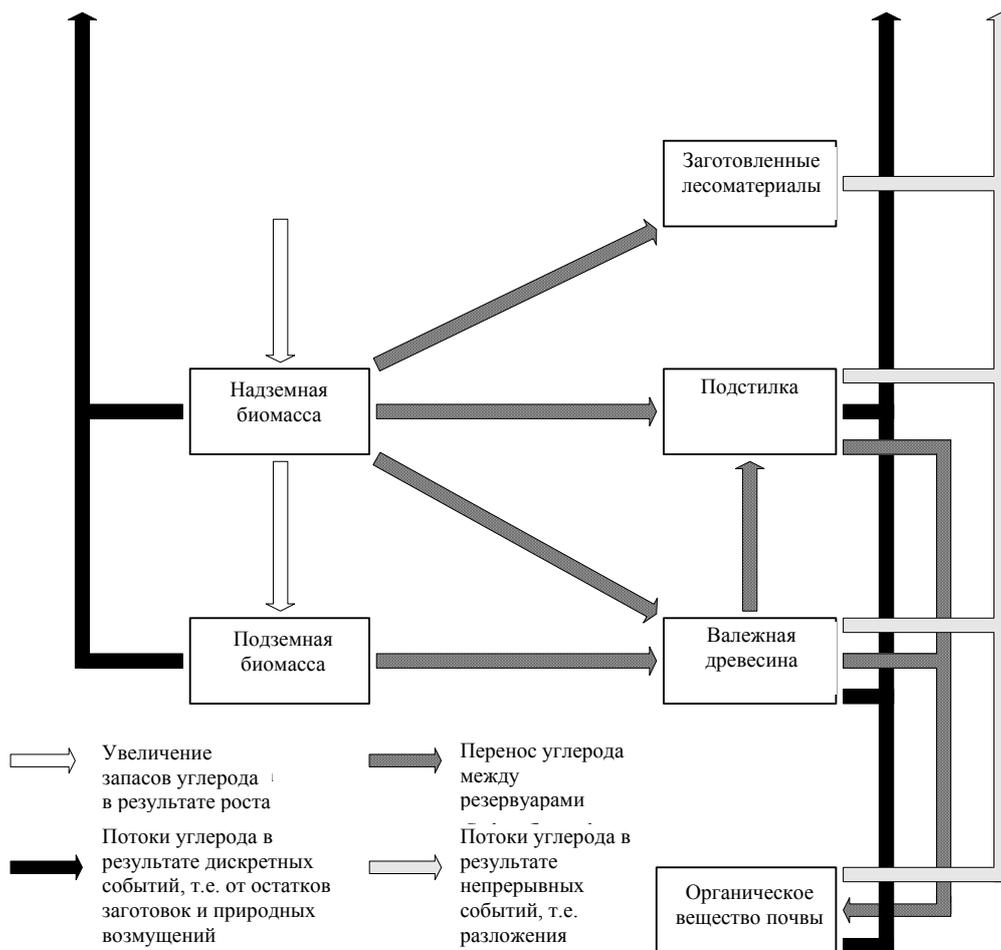
ΔC_{LU_i} = изменения запасов углерода для слоя какой-либо категории землепользования

Нижние индексы обозначают следующие резервуары углерода:

- AB = надземная биомасса
- BB = подземная биомасса
- DW = валежная древесина
- LI = подстилка
- SO = почвы
- HWP = заготовленные лесоматериалы

Оценка изменений в резервуарах углерода и потоках зависит от доступности данных и моделей, а также от ресурсов и возможностей по сбору и анализу дополнительной информации (см. главу 1, раздел 1.3.3 по анализу ключевых категорий). Таблица 1.1 в главе 1 показывает, какие резервуары соответствуют каждой категории землепользования при использовании методов уровня 1, включая перекрестные ссылки на таблицы по отчетности. В зависимости от особенностей страны и выбранного уровня оценка изменений запасов может не охватывать все резервуары, показанные в уравнении 2.3. Вследствие ограничений в отношении получения наборов данных по умолчанию, необходимых для оценки некоторых изменений запасов, методы уровня 1 включают в себя несколько упрощающих допущений.

Рисунок 2.1 Обобщенный цикл углерода наземных экосистем СХЛХДВЗ, показывающий потоки углерода в заданную систему и из нее, а также между пятью резервуарами углерода в пределах этой системы.



- на уровне 1 изменения запасов углерода в подземной биомассе принимаются равными нулю (на уровне 2 для оценки изменений запасов углерода в подземной биомассе могут быть использованы конкретные для страны данные по соотношению подземной и надземной биомасс);
- на уровне 1 резервуары валежной древесины и подстилки часто учитываются вместе как «мертвое органическое вещество» (см. приведенное ниже обсуждение); и
- на уровне 1 для нелесных категорий землепользования запасы мертвого органического вещества принимаются равными нулю. В случае лесных площадей, переустроенных в другие виды землепользования, для оценки запасов углерода в мертвом органическом веществе на уровне 1 предусматриваются значения по умолчанию.

Цикл углерода включает в себя изменения запасов углерода, связанные как с непрерывными процессами (т.е. рост, разложение), так и с отдельными событиями (т.е. возмущения типа заготовки, пожара, нашествия насекомых, изменения в землепользовании и другие события). Непрерывные процессы могут влиять на запасы углерода на всех территориях и каждый год, тогда как дискретные события (т.е. возмущения) приводят к выбросам и перераспределению углерода экосистемы только на определенных территориях (т.е. там, где происходит возмущение) и в год, когда произошло событие.

Возмущения могут иметь также продолжительное действие, как, например, разложение поваленных ветром или сгоревших при пожаре деревьев. Из практических соображений для методов уровня 1 принимается, что все выбросы, происшедшие после возмущений (за вычетом изъятых заготовленных лесоматериалов) оцениваются как часть возмущения, т.е. в год, когда произошло это возмущение. Например, вместо оценки разложения оставшегося после возмущения мертвого органического вещества в течение нескольких лет, все происшедшие после возмущения выбросы оцениваются в год, когда произошло это возмущение.

На уровне 1 предполагается, что средние темпы перехода в мертвое органическое вещество (валежную древесину или подстилку) равны средним темпам перехода из мертвого органического вещества, так что результирующее изменение запасов равно нулю. Это допущение означает, что на уровне 1 запасы углерода в мертвом органическом веществе (включая валежную древесину и подстилку) не подлежат количественной оценке для территорий, остающихся в какой-либо категории землепользования¹. Такой подход объясняется тем, что запасы мертвого органического вещества, в частности валежной древесины, очень изменчивы и специфичны в зависимости типа и возраста леса, истории возмущения и управления. Кроме того, данные о показателях разложения грубых древесных остатков недостаточны, и, таким образом, был сделан вывод о невозможности разработки универсальных коэффициентов по умолчанию и оценок неопределенности. В тех странах, в которых происходят значительные изменения в типах лесов или в режимах возмущений или в хозяйственной деятельности в их лесах, предлагается собрать внутренние данные для оценки воздействия этих изменений с использованием методологий уровня 2 или 3 и готовить отчетность по результирующим изменениям запасов углерода, а также выбросам и поглощениям иных, чем CO₂, газов.

Все оценки изменений запасов углерода, т.е. рост, внутренние переносы и выбросы, должны быть выражены в единицах углерода для обеспечения согласованности расчетов. Данные по запасам углерода, приращением, заготовкам и т.д. первоначально могут быть выражены в единицах сухого вещества, которые необходимо перевести в тонны углерода для всех дальнейших расчетов. Для оценки изменений запасов существуют два фундаментально различающихся, но одинаково верных подхода: 1) подход, основанный на процессах, который оценивает результирующий итог добавок в резервуар углерода и изъятий из него; и 2) подход, основанный на запасах, который оценивает разницу в запасах углерода между двумя моментами времени.

Годовые изменения запасов углерода в любом резервуаре можно оценить, используя основанный на процессах подход в уравнении 2.4, который устанавливает метод поступлений и потерь. Данный метод применим ко всем поступлениям или потерям углерода. Поступления могут быть связаны с ростом (увеличением биомассы) и переносом углерода из другого резервуара (например, перенос углерода из резервуара углерода живой биомассы в резервуар мертвого органического вещества в результате заготовок или природных возмущений). Поступления всегда отмечаются положительным (+) знаком. Потери могут быть связаны с переносами углерода из одного резервуара в другой (например, углерод в лесосечных отходах, образующихся при лесозаготовках, представляет собой потери из резервуара

¹ На уровне 1 выбросы из запасов углерода подстилки учитываются для переустройства лесов в другие землепользования.

надземной биомассы) или с выбросами вследствие разложения, заготовок, сжигания и т.д. Потери всегда отмечаются отрицательным (-) знаком.

УРАВНЕНИЕ 2.4
ГОДОВОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ЗАДАННОМ РЕЗЕРВУАРЕ КАК ФУНКЦИЯ
ПОСТУПЛЕНИЙ И ПОТЕРЬ (МЕТОД ПОСТУПЛЕНИЙ - ПОТЕРЬ)

$$\Delta C = \Delta C_G - \Delta C_L$$

где:

ΔC = годовое изменение запасов углерода в резервуаре; тонны С/год,

ΔC_G = годовые поступления углерода; тонны С/год,

ΔC_L = годовые потери углерода; тонны С/год.

Обратите внимание, что поглощение (абсорбция) CO_2 представляет собой перенос из атмосферы в резервуар, а выбросы CO_2 представляют собой переносы из резервуара в атмосферу. Не все переносы включают в себя выбросы или поглощения, так как любой перенос от одного резервуара к другому представляет собой потерю из донорского резервуара и поступление в равном количестве для принимающего резервуара. Например, перенос из резервуара надземной биомассы в резервуар валежной древесины представляет собой потерю из резервуара надземной биомассы и поступление в равном количестве для резервуара валежной древесины, и это необязательно приводит к немедленному выбросу CO_2 в атмосферу (зависит от используемого уровня).

Используемый в уравнении 2.4 метод называется методом поступлений-потерь, так как он учитывает все процессы, приводящие к изменениям в резервуаре. Альтернативный подход, основанный на запасах, называется методом разности запасов. Этот метод может использоваться в случаях, когда запасы углерода в соответствующих резервуарах измеряются в два момента времени для оценки изменений запасов углерода в соответствии с уравнением 2.5.

УРАВНЕНИЕ 2.5
ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ЗАДАННОМ РЕЗЕРВУАРЕ КАК СРЕДНЕГОДОВАЯ РАЗНОСТЬ
МЕЖДУ ОЦЕНКАМИ ДЛЯ ДВУХ МОМЕНТОВ ВРЕМЕНИ (МЕТОД РАЗНОСТИ ЗАПАСОВ)

$$\Delta C = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)}$$

где:

ΔC = годовое изменение запасов углерода в резервуаре; тонны С/год,

C_{t_1} = запас углерода в резервуаре в момент времени t_1 ; тонны С,

C_{t_2} = запас углерода в резервуаре в момент времени t_2 ; тонны С.

Если изменения запасов углерода оцениваются в расчете на гектар, то полученное значение умножается на общую площадь каждого слоя, чтобы получить оценку общего изменения запаса для данного резервуара. В некоторых случаях данные о деятельности могут быть в форме суммарных данных по стране (например, заготовленная древесина). В этих случаях оценки изменений запасов для заданного резервуара получаются непосредственно на основании данных о деятельности после применения соответствующих коэффициентов для перевода в единицы массы углерода. При использовании метода разности запасов для определенной категории землепользования важно обеспечить, чтобы территория в данной категории в моменты времени t_1 и t_2 была бы одна и та же во избежание путаницы в оценках изменения запасов при изменениях территории.

Основанный на процессах метод сводится к подходам моделирования с использованием коэффициентов, полученных на основании данных практических исследований. Это позволяет сгладить межгодовую изменчивость в большей степени, чем метод изменения запасов, который опирается на разность оценок запасов в два момента времени. Оба метода могут использоваться в той мере, в какой они способны представлять действительные возмущения, а также непрерывно меняющиеся тенденции и могут быть подтверждены сравнением с результатами измерений в натуре.

2.2.2 Анализ оценки выбросов иных, чем CO₂, газов

Выбросы иных, чем CO₂, газов происходят из различных источников, в том числе из почвы, от домашних животных и навоза, а также от горения биомассы, валежной древесины и подстилки. В отличие от способа, каким оцениваются выбросы CO₂ от изменений запасов биомассы, оценка для иных, чем CO₂, парниковых газов обычно учитывает интенсивность выбросов от источника непосредственно в атмосферу. Интенсивность (уравнение 2.6) обычно определяется коэффициентом выбросов для конкретного газа (например, CH₄, N₂O) и категорией источника, а также площадью (например, для почвы или выжигаемой территории), поголовьем (например, для домашних животных) или массой (например, для биомассы или навоза), которые характеризуют источник выбросов.

<p>УРАВНЕНИЕ 2.6 ВЫБРОСЫ ИНЫХ, ЧЕМ CO₂, ГАЗОВ В АТМОСФЕРУ <i>Выбросы = A • EF</i></p>
--

где:

- Выбросы = выбросы иных, чем CO₂, газов; тонны иных, чем CO₂, газов,
 A = данные о деятельности, относящиеся к источнику выбросов (это может быть площадь, количество животных или единица массы, в зависимости от типа источника),
 EF = коэффициент выбросов для конкретного газа и категории источника; тонны / единица A.

Многие выбросы иных, чем CO₂, парниковых газов связаны или с конкретным землепользованием (например, выбросы CH₄ от риса), или обычно оцениваются на основе национальных обобщенных данных (например, выбросы CH₄ от домашних животных и выбросы N₂O из обрабатываемых почв). Если источник выброса связан с одним видом землепользования, то методология для такого выброса описывается в главе, посвященной соответствующей категории землепользования (например, метан от риса обсуждается в главе 5 о возделываемых землях). Выбросы, обычно основанные на обобщенных данных, рассматриваются в отдельных главах (например, в главе 10 о выбросах, связанных с домашними животными, и в главе 11 о выбросах N₂O из обрабатываемых почв и выбросах CO₂ от применения известняка и мочевины). В настоящей главе описываются только методы для оценки иных, чем CO₂ (и CO₂), выбросов от горения биомассы, которое может происходить в ряде различных категорий землепользования.

2.2.3 Пересчет изменений запасов углерода в выбросы CO₂

В целях подготовки отчетности изменения в категориях запасов углерода (сюда входят также переносы в атмосферу) могут быть переведены в единицы выбросов CO₂ путем умножения изменений запасов углерода на 44/12. В случаях, когда значительные количества изменений запасов углерода происходят через выбросы CO и CH₄, эти выбросы иных, чем CO₂, газов должны быть вычтены из оцениваемых значений выбросов или поглощений CO₂ (для оценки этих газов используются предлагаемые методы). При проведении этих оценок составители кадастров должны проверять каждую категорию, чтобы убедиться в том, что соответствующий углерод уже не покрыт допущениями и приближениями, сделанными при оценке выбросов CO₂.

Следует также заметить, что не каждое изменение запасов соответствует выбросу. Перевод углерода в CO₂ основывается на использовании соотношения молекулярных весов (44/12). Изменение знака (-) связано с соглашением о том, что увеличения запасов углерода, т.е. положительные (+) изменения запасов, представляют поглощения (или «отрицательный» выброс) из атмосферы, а уменьшения запасов углерода, т.е. отрицательные (-) изменения запасов, представляют положительный выброс в атмосферу.

2.3 ОБЩИЕ МЕТОДЫ ДЛЯ ВЫБРОСОВ И ПОГЛОЩЕНИЙ CO₂

Как указано в разделе 2.2, выбросы и поглощения CO₂ в пределах сектора СХЛХДВЗ обычно оцениваются на основании изменений в запасах углерода экосистем. Они включают в себя надземную и подземную биомассу, мертвое органическое вещество (т.е. валежную древесину и подстилку), а также органическое вещество почвы. Результирующие потери в общих запасах углерода экосистемы

используются для оценки выбросов CO₂ в атмосферу, а результирующие поступления в общие запасы углерода экосистемы используются для оценки поглощения CO₂ из атмосферы. Переносы между резервуарами могут быть учтены по обстоятельствам. Изменения в запасах углерода могут быть оценены с помощью прямых методов составления кадастров или с помощью моделей процессов. Каждый вид запаса или резервуара углерода может входить в любую из категорий землепользования, поэтому ниже описываются общие особенности методов, применимых к любой категории землепользования. В отдельных случаях потери запасов или резервуаров углерода могут подразумевать выбросы иных, чем CO₂, газов, таких как, например, метан, окись углерода, отличный от метана летучий органический углерод и другие газы. Методы для оценки выбросов этих газов приводятся в разделе 2.4. *Эффективная практика* заключается в проверке полноты охвата выбросов CO₂ и иных, чем CO₂, газов, связанных с потерями в запасах или резервуарах углерода, во избежание упущений или повторного учета. Более подробные сведения, касающиеся применения этих методов в рамках отдельных категорий землепользования приводятся в главах посвященных соответствующему землепользованию (главы 4 – 9).

2.3.1 Изменение в запасах углерода в биомассе (надземная биомасса и подземная биомасса)

Растительная биомасса образует значительную часть запаса углерода во многих экосистемах.

Биомасса представлена надземными и подземными частями многолетних и однолетних растений. Биомасса однолетних и многолетних травянистых растений (т.е. не деревянистых) относительно недолговечна, т.е. она разлагается и восстанавливается ежегодно или через каждые несколько лет.

Таким образом, выбросы от разложения уравниваются поглощением в связи с новым ростом, и это обеспечивает длительную стабильность общих результирующих запасов углерода в биомассе. Таким образом, данные методы сфокусированы на изменениях запасов в биомассе, связанной с деревянистыми растениями и деревьями, которые за время своей жизни могут накапливать огромные количества углерода (до сотен тонн /га). Изменение запасов углерода в биомассе на лесных площадях считается важной подкатегорией вследствие значительных потоков, связанных с управлением и заготовкой, природными возмущениями, естественной гибелью и порослевым лесовозобновлением. Кроме того, переустройство лесных площадей в прочее землепользование часто приводит к существенным потерям углерода из резервуара биомассы. Деревья и деревянистые растения могут встречаться в каждой из шести категорий, хотя обычно самые большие запасы биомассы имеются на лесных площадях. Для целей составления кадастров изменения запаса углерода в биомассе оцениваются для (i) земель, остающихся в той же категории землепользования и (ii) земель, переустроенных в другие категории землепользования. В соответствии с установленным порядком представления отчетности все выбросы и поглощения, связанные с изменением землепользования, указываются в новой категории землепользования.

2.3.1.1 ЗЕМЛИ, ОСТАЮЩИЕСЯ В ТОЙ ЖЕ КАТЕГОРИИ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

Уравнение 2.3 включает в себя пять резервуаров углерода, для которых необходимы оценки изменений запасов. В настоящем разделе представлены методы для оценки приращений (поступлений), потерь и результирующих изменений биомассы. Поступления включают в себя рост надземной и подземной частей биомассы. Потери делятся на потери в результате вырубki леса или лесозаготовки, сбора древесного топлива и потери от природных возмущений на управляемых землях, таких как пожары, нашествия насекомых и экстремальные метеорологические явления (например, ураганы, наводнения). Для оценки изменений запаса углерода в биомассе предлагаются два метода.

Метод поступлений-потерь требует вычитания потерь углерода биомассы из поступления углерода в биомассу (уравнение 2.7). Это служит фундаментом метода уровня 1, для которого в данном томе приводятся значения по умолчанию для расчета приращений и потерь, необходимых при оценке изменений в запасах биомассы. Методы более высоких уровней используют данные по конкретной стране для оценки темпов поступления и потерь. Для всех уровней при расчете этих оценок требуются данные о деятельности по конкретной стране, хотя для уровня 1 эти данные могут быть получены из баз данных, собранных по всему миру (например, статистика ФАО).

УРАВНЕНИЕ 2.7

ГОДОВОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В БИОМАССЕ НА ЗЕМЛЯХ, ОСТАЮЩИХСЯ В ТОЙ
ЖЕ КАТЕГОРИИ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ (МЕТОД ПОСТУПЛЕНИЙ – ПОТЕРЬ)

$$\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L$$

где:

ΔC_B = годовое изменение запасов углерода в биомассе (сумма слагаемых в уравнении 2.3, относящихся к надземной и подземной биомассе) для каждой подкатегории земли с учетом по всей площади; тонны С/год,

ΔC_G = годовое увеличение запасов углерода в результате роста биомассы для каждой подкатегории земли с учетом по всей площади; тонны С/год,

ΔC_L = годовое уменьшение запасов углерода в результате потерь биомассы для каждой подкатегории земли с учетом по всей площади; тонны С/год.

Изменения запаса углерода в биомассе земель, остающихся в той же категории землепользования (например, для *лесных площадей, остающихся лесными площадями*) основываются на оценках годовых поступлений и потерь для запасов биомассы. Страны, использующие любой из трех уровней, могут принять данный метод. Этот метод может использоваться странами, которые не имеют национальных систем ведения кадастров, предназначенных для оценки запасов древесной биомассы. В главах, посвященных отдельным категориям землепользования, приводятся данные по умолчанию для составителей кадастров, не имеющих доступа к конкретным для страны данным. Рабочие формуляры также были разработаны с использованием этих методов и уравнений (приложение 1).

Метод разности запасов требует данных инвентаризации запасов углерода в биомассе на заданной территории в два разных момента времени. Годовое изменение биомассы - это разность между запасами биомассы в момент времени t_2 и в момент времени t_1 , разделенная на количество лет между кадастрами (уравнение 2.8). В некоторых случаях первичные данные по биомассе могут быть в форме данных по объему древесины, полученных, например, на основании лесной съемки (таксации). В этом случае предусматриваются коэффициенты для перевода объема древесины в единицы массы углерода, как показано в уравнении 2.8.b.

УРАВНЕНИЕ 2.8

ГОДОВОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В БИОМАССЕ НА ЗЕМЛЯХ, ОСТАЮЩИХСЯ В ТОЙ
ЖЕ КАТЕГОРИИ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ (МЕТОД РАЗНОСТИ ЗАПАСОВ)

$$\Delta C_B = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)} \quad (a)$$

где:

$$C = \sum_{i,j} \{A_{i,j} \cdot V_{i,j} \cdot BCEF_{S_{i,j}} \cdot (1 + R_{i,j}) \cdot CF_{i,j}\} \quad (b)$$

где:

ΔC_B = годовое изменение запасов углерода в биомассе (сумма слагаемых в уравнении 2.3, относящихся к надземной и подземной биомассе) для земель, остающихся в той же категории (например, для *лесных площадей, остающихся лесными площадями*); тонны С/год,

C_{t_2} = общее количество углерода в биомассе для каждой подкатегории земли в момент времени t_2 ; тонны С,

C_{t_1} = общее количество углерода в биомассе для каждой подкатегории земли в момент времени t_1 ; тонны С,

C = общее количество углерода в биомассе для времени от t_1 до t_2 ,

A = площадь земель, остающихся в той же категории землепользования; га (см. примечание ниже),

V = товарный объем древостоя; м³/га,

i = экологическая зона i ($i = c 1$ по n),

j = климатический домен j (j = от 1 до m),

R = отношение подземной биомассы к надземной биомассе; (тонны сухого вещества подземной биомассы) / (тонна сухого вещества надземной биомассы),

CF = доля углерода в сухом веществе (с.в.); тонны C / (тонна с.в.),

$ВСЕС_s$ = коэффициент преобразования и разрастания биомассы для приведения товарного древостоя к надземной биомассе; тонны надземного роста биомассы / (m^3 древостоя), (см. таблицу 4.5 для информации по лесным площадям). $ВСЕС_s$ преобразует товарный древостой непосредственно в надземную биомассу. Значения $ВСЕС_s$ более удобны в расчетах, так как их можно применить непосредственно к выраженным в единицах объема данным инвентаризации и оперативного учета лесов без необходимости прибегать к плотности абсолютно сухой древесины (D). Наилучшие результаты достигаются, если эти коэффициенты получены с использованием местных данных и непосредственно основаны на товарном объеме. Тем не менее, если значения $ВСЕС_s$ неизвестны, и, если значения коэффициента разрастания биомассы (BEF_s) и D оцениваются отдельно, то может быть использовано следующее преобразование:

$$ВСЕС_s = BEF_s \bullet D$$

При применении *методов поступления-потерь* или *разности запасов* очевидно, что соответствующей площадью является площадь земли, остающейся в той же категории к концу года, для которого производится оценка кадастра. Любые иные земли будут в категории преобразования (см. раздел 2.3.1.2). Продолжительность времени, в течение которого земля остается в категории преобразования после изменения землепользования, по умолчанию составляет 20 лет (период времени, в течение которого запасы углерода должны прийти в равновесие, как принято в *Руководящих принципах МГЭИК 1996 г.* в целях расчета коэффициентов по умолчанию; этот срок сохранен в *ПУЭП-ЗИЗЛХ* и используется также в настоящем документе, хотя на более высоких уровнях могут быть приняты иные сроки в зависимости от конкретных национальных условий). Таким образом, в соответствии с допущениями по умолчанию земля переводится из категории переустройства в категорию «остающихся прежними земель» только после пребывания в данном землепользовании в течение 20 лет. В год переустройства происходят некоторые изменения запасов углерода, но, тем не менее, важно придерживаться указанного периода, в течение которого земля остается в категории переустройства; в противном случае описанные в следующей главе подходы к оценке земельной площади не будут действовать. Изменения запасов, произошедшие в течение 1 года после переустройства, будут относиться к переустраиваемой ежегодно площади и может потребоваться, чтобы соответствующая территория рассматривалась в качестве подкатегории в рамках категории переустройства, но, тем не менее, эта территория должна оставаться в категории переустройства до завершения принятого по умолчанию 20 летнего или иного установленного срока.

Метод разности запасов применим в странах, имеющих национальную систему ведения кадастров для лесов и других категорий землепользования и где периодически измеряются запасы различных резервуаров биомассы. Метод разности запасов требует больше ресурсов, и во многих странах может не быть национальных систем ведения кадастров для лесов и других категорий землепользования. Данный метод подходит для стран, принимающих подход уровня 3, а в некоторых случаях – подход уровня 2, но может не подходить для стран, использующих подход уровня 1, вследствие недостатка данных. Важно обеспечить, чтобы система кадастров генерировала данные о поступлениях и потерях в резервуарах углерода биомассы.

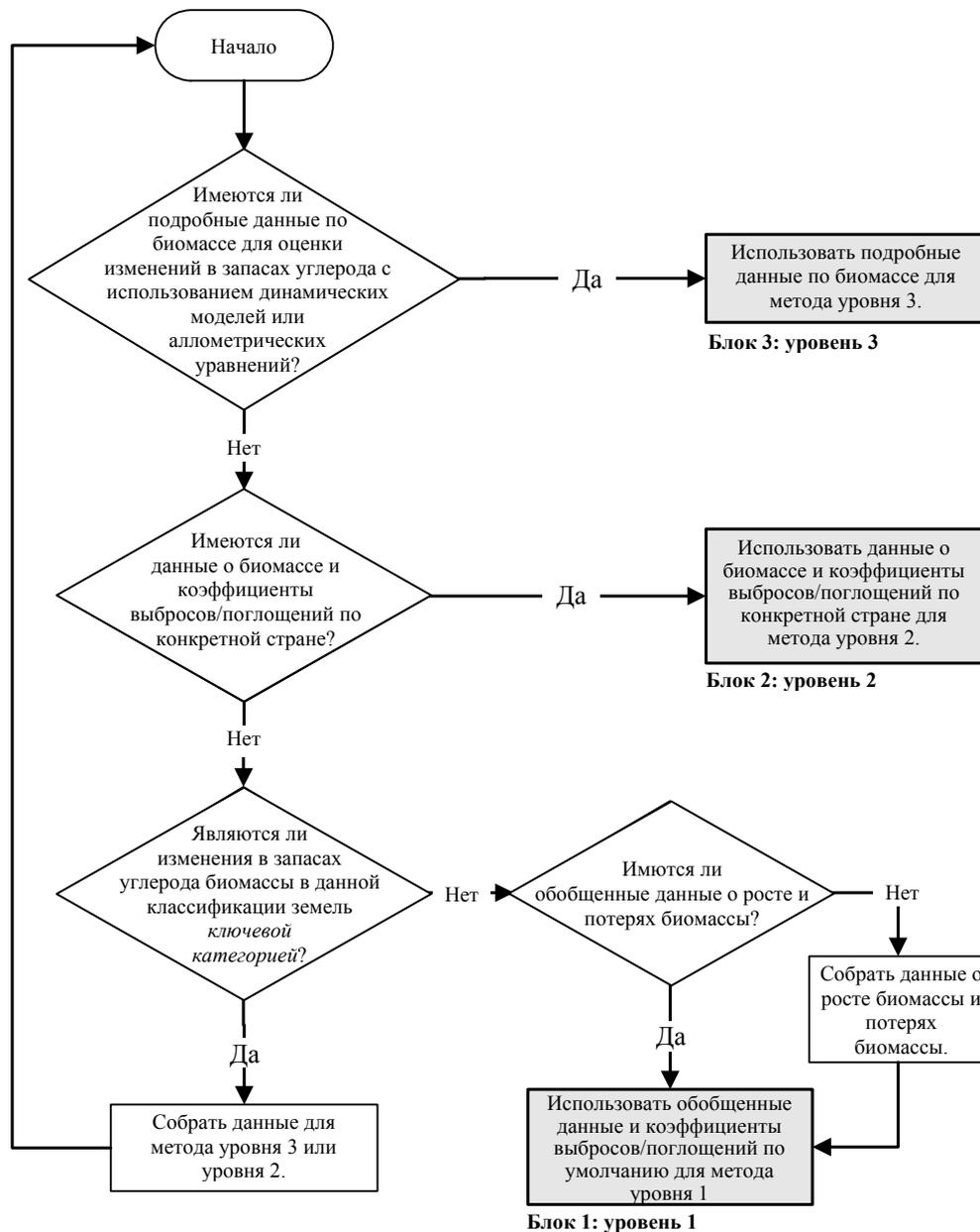
При оценке изменений в резервуарах углерода биомассы можно использовать один из вышеуказанных двух методов для всех категорий земель (например, для *лесных площадей, остающихся лесными площадями; пастбищных угодий, остающихся пастбищными угодьями и возделываемых земель, остающихся возделываемыми землями*), где может присутствовать многолетняя древесная биомасса. Составляющие кадастры учреждения могут использовать рисунок 2.2 при определении подходящего уровня для оценки изменений в запасах углерода биомассы.

Следует отметить, что некоторые потери биомассы могут привести к выбросам углерода в виде иных, чем CO_2 , газов, например, потребление биомассы и выбросы метана (CH_4) термитами и дикими млекопитающими.² Методы уровня 1 по умолчанию для таких источников не разработаны, и страны,

² Потери углерода в виде CO_2 и иных, чем CO_2 , газов, связанные с сжиганием биомассы, оцениваются таким образом, чтобы выбросы углерода не учитывались дважды.

желающие оценить и отразить в отчетности эти выбросы, должны развить и использовать подход уровня 3.

Рисунок 2.2 Общая схема принятия решений при определении подходящего уровня для оценки изменений в запасах углерода биомассы в какой-либо категории землепользования.



Примечание:

1: Обсуждение *ключевых категорий* и применение схемы принятия решений см. в томе 1, глава 4 (Методологический выбор и определение ключевых категорий) (обратить внимание на раздел 4.1.2 об ограниченных ресурсах).

А. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В БИОМАССЕ (ΔC_B)

А.1 Оценка годового увеличения запасов углерода в биомассе (метод поступлений-потерь), ΔC_G

Данный метод уровня 1 в сочетании с данными по умолчанию для темпов роста биомассы позволяет любой стране рассчитать годовое увеличение биомассы, используя оценочные значения площади и среднегодового приращения биомассы для каждого типа землепользования и слоя (например, климатическая зона, экологическая зона, тип растительности) (уравнение 2.9).

УРАВНЕНИЕ 2.9
ГОДОВОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В БИОМАССЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРИРАЩЕНИЯ БИОМАССЫ НА ЗЕМЛЯХ, ОСТАЮЩИХСЯ В ТОЙ ЖЕ КАТЕГОРИИ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

$$\Delta C_G = \sum_{i,j} (A_{i,j} \cdot G_{\text{Общий}_{i,j}} \cdot CF_{i,j})$$

где:

ΔC_G = годовое увеличение в запасах углерода биомассы вследствие приращения биомассы на землях, остающихся в той же категории землепользования, по видам растительности и климатическим зонам, тонны С /год,

A = площадь земель, остающихся в той же категории землепользования; га,

$G_{\text{Общий}}$ = среднегодовой прирост биомассы; тонны сухого вещества / га x год,

i = экологическая зона ($i = c 1$ по n),

j = климатический домен ($j = \text{от } 1 \text{ до } m$),

CF = доля углерода в сухом веществе (с.в.); тонны С / (тонна с.в.).

$G_{\text{Общий}}$ - это общий прирост биомассы, включающий в себя как прирост надземной биомассы (G_w), так и прирост подземной биомассы. В соответствии с методом уровня 1 общий прирост биомассы может быть рассчитан непосредственно с использованием значений G_w по умолчанию для естественно восстанавливаемых деревьев или общих категорий растительности вместе с показателем соотношения между подземной биомассой и надземной биомассой (R), различающимся для различных видов деревянистой растительности. На уровнях 2 и 3 для преобразования валового годового приращения (I_V) в приращение надземной биомассы для каждого вида растительности указанное валовое годовое приращение может быть использовано либо вместе с плотностью абсолютно сухой древесины (D) и коэффициентом разрастания биомассы (BEF_1), либо непосредственно с коэффициентом преобразования и разрастания биомассы ($BCEF_1$). Эта взаимосвязь показана в уравнении 2.10:

УРАВНЕНИЕ 2.10
СРЕДНЕГОДОВОЕ ПРИРАЩЕНИЕ БИОМАССЫ

Уровень 1

$$G_{\text{Общий}} = \sum \{G_w \cdot (1 + R)\} \quad \text{Данные о приращении биомассы (сухое вещество)}$$

используются напрямую

Уровни 2 и 3

$$G_{\text{Общий}} = \sum \{I_V \cdot BCEF_1 \cdot (1 + R)\} \quad \text{Данные валового годового приращения}$$

используются для оценки G_w путем применения коэффициента преобразования и разрастания биомассы

где:

$G_{\text{Общий}}$ = среднегодовое приращение биомассы над землей и под землей; тонны сухого вещества / га x год,

G_w = среднегодовое приращение биомассы над землей для конкретного вида древесной растительности; тонны сухого вещества / га x год,

R = отношение подземной биомассы к надземной биомассе для конкретного вида растительности; (тонны сухого вещества подземной биомассы) / (тонны сухого вещества надземной биомассы). R следует приравнять нулю, если принимаются схемы распределения с отсутствием изменений подземной биомассы (уровень 1).

I_V = среднегодовое валовое приращение для конкретного вида растительности; $m^3 / га \times год$,

$VCEF_1$ = коэффициент преобразования и разрастания биомассы для преобразования валового годового приращения в объеме (включая кору) в рост надземной биомассы для конкретного вида растительности; тонны прироста надземной биомассы / (m^3 валового годового приращения), (см. таблицу 4.5 для информации по лесным площадям). Если значения $VCEF_1$ неизвестны, и, если значения коэффициента разрастания биомассы (BEF) и плотности абсолютно сухой древесины (D) оцениваются отдельно, то может быть использовано следующее преобразование:

$$VCEF_1 = BEF_1 \bullet D$$

Коэффициенты разрастания биомассы (BEF_1)³ увеличивают товарный объем до общего объема надземной биомассы для учета нетоварных компонентов приращения. BEF_1 не имеет размерности.

Оценочные значения $VCEF_1$ для древесной (многолетней) биомассы на нелесных землях таких как, например, пастбищные угодья (саванны), возделываемые земли (агроресомелиорация), плодовые сады, кофейные, чайные и каучуковые плантации могут оказаться недоступными. В этом случае для преобразования товарной биомассы в общую биомассу могут быть использованы значения по умолчанию $VCEF_1$ для одного из видов лесов, который ближе всего к данной нелесной растительности. $VCEF_1$ применим только к многолетней древесной биомассе деревьев, для которой имеются данные по товарной биомассе. Для многолетних кустарников, трав и сельскохозяйственных культур данные приращения биомассы, выраженные в тоннах сухого вещества на гектар, могут быть получены непосредственно, и в этом случае использование уравнения 2.10 не требуется.

А.2 Оценка годового уменьшения запасов углерода в биомассе в связи с потерями (метод поступлений-потерь), ΔC_L

Для расчета изменения запасов углерода в биомассе с использованием *метода поступлений-потерь* необходимы оценки потерь. Следует отметить, что при использовании *метода разности запасов* для оценки переносов биомассы к мертвому органическому веществу и при использовании методов оценки более высоких уровней также необходима оценка потерь (см. ниже). Годовая потеря биомассы - это сумма потерь от изъятия древесины (лесозаготовка), изъятия топливной древесины (не считая топливную древесину, отобранную из древесных остатков) и других потерь в результате различных возмущений, таких как, например, пожары, ураганы, насекомые и болезни. Эта зависимость показана в уравнении 2.11.

УРАВНЕНИЕ 2.11

ГОДОВОЕ УМЕНЬШЕНИЕ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА ВСЛЕДСТВИЕ ПОТЕРЬ БИОМАССЫ НА ЗЕМЛЯХ, ОСТАЮЩИХСЯ В ТОЙ ЖЕ КАТЕГОРИИ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

$$\Delta C_L = L_{\text{древесина-изъятия}} + L_{\text{топл.древесина}} + L_{\text{возмущения}}$$

где:

ΔC_L = годовое уменьшение запасов углерода вследствие потерь биомассы на землях, остающихся в той же категории землепользования; тонны С /год,

$L_{\text{древесина-изъятия}}$ = годовые потери углерода в результате изъятия древесины; тонны С /год (см. уравнение 2.12),

$L_{\text{топл. древесина}}$ = годовая потеря углерода в результате изъятия топливной древесины, тонны С/год (см. уравнение 2.13),

³ В некоторых приложениях коэффициенты BEF используются для приведения сухой массы товарных компонентов или стволовой биомассы до общей биомассы, исключая или включая корни, или преобразования и приведения товарного или стволового объема до надземной или общей биомассы (Somogyi *et al.*, 2006). В данном документе коэффициенты разрастания биомассы всегда преобразуют сухую массу товарных компонентов, включая кору, в надземную биомассу без учета корней.

$L_{\text{возмущения}}$ = годовые потери углерода в результате возмущений, тонны С/год (см. уравнение 2.14).

Уравнение 2.11 и последующие уравнения 2.12 – 2.14 непосредственно применимы к лесным площадям. Эти уравнения (2.11 – 2.14) могут быть также использованы для оценки потерь из возделываемых земель и пастбищных угодий, если для многолетней древесной биомассы доступны количественные данные по изъятию древесины (лесозаготовка), изъятию топливной древесины и потерям в результате возмущений. На интенсивно управляемых, а также сильно деградировавших возделываемых землях и пастбищных угодьях потери многолетней древесной биомассы вероятнее всего небольшие. Для методологии, применяемой к возделываемым землям на уровне 1, приводятся значения потерь по умолчанию углерода биомассы для древесных видов культур (см. таблицу 5.1). Важно отметить, что для обеспечения согласованности используемое в уравнении 2.11 изъятие древесины должно сравниваться с вводимыми количествами для ЗЛМ в главе 12.

Три слагаемых в правой части уравнения 2.11 определяются следующим образом:

Потеря биомассы и углерода в результате изъятия древесины (лесозаготовки), $L_{\text{древесина-изъятия}}$

Метод оценки годовой потери углерода биомассы в результате изъятий древесины представлен в виде уравнения 2.12.

УРАВНЕНИЕ 2.12 **ГОДОВАЯ ПОТЕРЯ УГЛЕРОДА С БИОМАССОЙ ИЗЪЯТОЙ ДРЕВЕСИНЫ**

$$L_{\text{древесина-изъятия}} = \{H \cdot BCEF_R \cdot (1 + R) \cdot CF\}$$

где:

$L_{\text{древесина-изъятия}}$ = годовые потери углерода в результате изъятий биомассы; тонны С /год,

H = изъятый за год объем круглых лесоматериалов; м³/год,

R = отношение подземной биомассы к надземной биомассе; (тонны сухого вещества подземной биомассы) / (тонны сухого вещества надземной биомассы). R следует приравнять нулю, если принимаются схемы распределения с отсутствием изменений подземной биомассы (уровень 1).

CF = доля углерода в сухом веществе (с.в.); тонны С/(тонна с.в.),

$BCEF_R$ = коэффициент преобразования и разрастания биомассы для преобразования изъятий в товарном объеме в изъятия общей биомассы (включая кору); тонны изъятия биомассы / (м³ изъятий), (см. таблицу 4.5 для лесных площадей). Тем не менее, если значения $BCEF_R$ неизвестны, и, если значения коэффициента разрастания для изъятий древесины (BEF_R) и плотности абсолютно сухой древесины (D) оцениваются отдельно, то может быть использовано следующее преобразование:

$$BCEF_R = BEF_R \cdot D$$

Если данные по конкретной стране об изъятиях кругляка отсутствуют, то специалисты по кадастрам должны использовать статистические данные ФАО по заготовке древесины. В статистических данных ФАО по заготовке древесины кора не учитывается. Для преобразования статистических данных ФАО по заготовке древесины без учета коры в изъятия товарной древесины с учетом коры используется коэффициент разрастания, по умолчанию равный 1,15.

Потеря биомассы и углерода в результате изъятия топливной древесины,

$L_{\text{топл. древесина}}$

Изъятие топливной древесины зачастую состоит из двух компонентов. Первый компонент – изъятие в качестве топливной древесины живых деревьев и частей деревьев (в этом случае сами деревья остаются в лесу), например, верхушек и ветвей, уменьшает содержание углерода в биомассе растущего запаса и должно рассматриваться как потеря углерода биомассы. Второй компонент – сбор валежной древесины и порубочных остатков. Это приводит к уменьшению резервуара углерода мертвого органического вещества. По возможности для обеспечения *эффективной практики* следует оценивать эти два компонента по отдельности. Потеря углерода биомассы в результате изъятия в качестве топливной древесины живых деревьев оценивается с помощью уравнения 2.13.

УРАВНЕНИЕ 2.13
ГОДОВАЯ ПОТЕРЯ УГЛЕРОДА С БИОМАССОЙ ИЗЪЯТОЙ ТОПЛИВНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

$$L_{\text{топл. древесина}} = \{FG_{\text{деревья}} \cdot BCEF_R \cdot (1 + R)\} + FG_{\text{часть}} \cdot D \cdot CF$$

где:

$L_{\text{топл. древесина}}$ = годовая потеря углерода в результате заготовки древесного топлива; тонны С /год,

$FG_{\text{деревья}}$ = годовой объем заготовленных в качестве древесного топлива целых деревьев; м³/год,

$FG_{\text{часть}}$ = годовой объем заготовленных в качестве древесного топлива частей деревьев; м³/год,

R = отношение подземной биомассы к надземной биомассе; (тонны с. в. подземной биомассы) / (тонны с. в. надземной биомассы). R следует приравнять к нулю, если принимаются схемы распределения с отсутствием изменений подземной биомассы. (уровень 1).

CF = доля углерода в сухом веществе (с. в.), тонны С /(тонна с. в.),

D = плотность абсолютно сухой древесины; тонны с. в. /м³,

$BCEF_R$ = коэффициент преобразования и разрастания биомассы для преобразования изъятий в товарном объеме в изъятия биомассы (включая кору); тонны изъятия биомассы / (м³ изъятий), (см. таблицу 4.5 для лесных площадей). Если значения $BCEF_R$ неизвестны, и, если значения коэффициента разрастания для изъятий древесины (BEF_R) и плотности абсолютно сухой древесины (D) оцениваются отдельно, то может быть использовано следующее преобразование:

$$BCEF_R = BEF_R \cdot D$$

Коэффициенты разрастания биомассы (BEF_R) увеличивают изъятия товарной древесины до суммарного объема надземной биомассы для учета нетоварных компонентов дерева, насаждения и леса. BEF_R не имеет размерности.

Если данные по конкретной стране об изъятиях кругляка отсутствуют, то специалисты по кадастрам должны использовать статистические данные ФАО по заготовке древесины. Следует отметить, что в статистических данных ФАО по заготовке древесины кора не учитывается. Для преобразования статистических данных ФАО по заготовке древесины без учета коры в изъятия товарной древесины с учетом коры используется коэффициент разрастания, по умолчанию равный 1,15.

Заготовка древесины может включать в себя как изъятия деловой древесины, так и изъятия топливной древесины (т.е. изъятия древесины в уравнении 2.12 могут включать в себя как изъятия деловой древесины, так и изъятия топливной древесины), или изъятия топливной древесины могут указываться в отчете отдельно с использованием обоих уравнений 2.12 и 2.13. *Эффективная практика*, помогающая избежать повторный учет, заключается в проверке того, насколько данные по топливной древесине представлены в стране и в использовании уравнения, которое более всего подходит для национальных условий. Более того, заготовка древесины из лесов становится вкладом в ЗЛМ (глава 12). Поэтому *эффективная практика* предполагает проверку согласованного представления данных по заготовке древесины в уравнениях 2.12 и 2.13 и в соответствующих уравнениях главы 12.

Потеря биомассы и углерода в результате возмущения, $L_{\text{возмущения}}$

Общий подход для оценки количества углерода, потерянного в результате возмущений, представлен в уравнении 2.14. В конкретном случае потерь от пожара на управляемых землях, включая стихийные пожары и управляемые пожары, этот метод следует применять для обеспечения входных данных для методологии, позволяющей оценить выбросы CO₂ и иных, чем CO₂, газов, в ходе пожаров.

УРАВНЕНИЕ 2.14
ГОДОВЫЕ ПОТЕРИ УГЛЕРОДА В БИОМАССЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗМУЩЕНИЙ

$$L_{\text{возмущения}} = \{A_{\text{возмущения}} \cdot B_W \cdot (1 + R) \cdot CF \cdot fd\}$$

где:

$L_{\text{возмущения}}$ = другие годовые потери углерода; тонны С /год (Следует заметить, что это то количество биомассы, которое не учтено в общей биомассе. Разделение на биомассу, которая переносится к мертвому органическому веществу, и биомассу, которая окисляется и выделяется в атмосферу, объясняется в уравнениях 2.15 и 2.16).

$A_{\text{возмущения}}$ = площадь, подвергшаяся воздействиям возмущений; га/год,

B_W = среднее значение надземной биомассы на площадях, подвергшихся воздействиям возмущений; тонны с. в. /га,

R = отношение подземной биомассы к надземной биомассе; (тонны сухого вещества подземной биомассы) / (тонны сухого вещества надземной биомассы). R следует приравнять к нулю, если предполагается отсутствие изменений подземной биомассы (уровень 1).

CF = доля углерода в сухом веществе (с.в.), тонны C/(тонна с.в.),

fd = доля биомассы, потерянная в результате возмущения (см. примечание ниже).

Примечание: Параметр fd определяет долю биомассы, которая теряется из резервуара биомассы: возмущение, приводящее к замене древостоя, губит всю ($fd = 1$) биомассу, тогда как возмущение, связанное с нашествием насекомых, может удалить только часть (например, $fd = 0,3$) средней плотности углерода в биомассе. Уравнение 2.14 не указывает дальнейшую динамику углерода, изъятого из углеродного запаса биомассы. На уровне 1 принято допущение о том, что все потери $L_{\text{возмущения}}$ произошли в год возмущения. Методы более высоких уровней допускают, что часть углерода теряется немедленно, а часть добавляется к резервуарам мертвого органического вещества (валежная древесина, подстилка) или ЗЛМ.

Количества углерода биомассы, переносимые в соответствии с различными конечными назначениями, могут быть определены с помощью матрицы возмущений, которая может быть параметризована для определения воздействий различных видов возмущений (Kurz *et al.*, 1992). *Эффективная практика* состоит (если это возможно) в разработке и использовании матрицы возмущений (таблица 2.1); в этой матрице для каждого резервуара углерода биомассы, мертвого органического вещества и почвы указываются часть углерода, остающаяся в этом резервуаре, и части углерода, переносимые в другие резервуары, в заготовленные лесоматериалы и в атмосферу, во время возмущающего события. Сумма чисел в каждом ряду должна быть равна 1 для обеспечения сохранения общего количества углерода. Величина, указываемая в ячейке A , выражает собой часть надземной биомассы, остающейся после возмущения (или $1 - fd$, где fd определяется в уравнении 2.14). На уровне 1 принято допущение о том, что все потери fd произошли в год возмущения, поэтому в ячейке F указывается fd . Для более высоких уровней в ячейку F заносится только та часть, которая соответствует выбросам в атмосферу в год, когда произошло возмущение; оставшаяся часть заносится в ячейки B и C в случае пожара и B , C и E в случае заготовки. *Эффективная практика* состоит в разработке матрицы возмущения даже на уровне 1, чтобы обеспечить учет всех переносов, хотя предполагается, что весь углерод биомассы переходит в выбросы в год переустройства земли. Важно отметить, что некоторые переносы могут быть небольшими и несущественными.

ТАБЛИЦА 2.1
ПРИМЕР ПРОСТОЙ МАТРИЦЫ (УРОВЕНЬ 2) ДЛЯ ВОЗДЕЙСТВИЙ ВОЗМУЩЕНИЙ НА РЕЗЕРВУАРЫ УГЛЕРОДА

от:\nк:	Надземная биомасса	Подземная биомасса	Валежная древесина	Подстилка	Органическое вещество почвы	Заготовленные лесоматериалы	Атмосфера	Сумма ряда (должна равняться 1)
Надземная биомасса	A		B	C	D	E	F	1
Подземная биомасса								1
Валежная древесина								1
Подстилка								1
Органическое вещество почвы								1

Ввести значение, соответствующее части каждого резервуара в левой стороне матрицы, которая переносится к резервуару, указанному в верху каждого столбца. Все резервуары в левой стороне матрицы должны включать полную популяцию, и сумма значений в каждом ряду должна быть равна 1.

Невозможные переходы зачернены.

Примечание: Для обозначения ячеек используются буквы от А до F; при ссылках на эти ячейки в тексте указываются их буквенные обозначения.

2.3.1.2 ЗЕМЛИ, ПЕРЕУСТРОЕННЫЕ В НОВЫЕ КАТЕГОРИИ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ:

В данном разделе представлены методы оценки выбросов и поглощений углерода при переустройстве землепользования из одной категории в другую. В число возможных переустройств входят переустройства из нелесных в лесные площади, возделываемых земель и лесных площадей в пастбищные угодья и пастбищных угодий и лесных площадей в возделываемые земли.

Выбросы и поглощения CO₂ на землях, переустроенных в новые категории землепользования, включают в себя годовые изменения запасов углерода в надземной и подземной биомассе. Годовые изменения запасов углерода в любом из этих резервуаров можно оценить, используя уравнение 2.4 ($\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L$), где ΔC_G – годовое поступление углерода, а ΔC_L – годовая потеря углерода. ΔC_B может быть оценено отдельно для каждой категории землепользования (например, лесные площади, возделываемые земли, пастбища) и управления (например, естественные леса, лесонасаждения) по конкретным стратам (например, по типу климата или леса).

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В БИОМАССЕ (ΔC_B)

i) Годовое увеличение запасов углерода в живой биомассе, ΔC_G .

Уровень 1: Годовое увеличение запасов углерода в биомассе в результате переустройства земель в другую категорию землепользования можно оценить с помощью уравнения 2.9, приведенного выше для земель, остающихся в какой-либо категории. На уровне 1 используется по умолчанию допущение об отсутствии изменений в начальных запасах углерода биомассы в результате переустройства. Это допущение может применяться, если отсутствуют данные по предыдущим землепользованиям, что может быть в случае, если общие площади земель оцениваются с использованием подходов 1 или 2, описанным в главе 3 (неполные в пространственно-территориальном плане данные о земельной площади). Этот подход предполагает использование параметров по умолчанию в разделе 4.5 (глава 4). Переустроенная земельная площадь может быть категоризирована на основании практик

хозяйствования, например, интенсивно управляемые насаждения и пастбища или экстенсивно управляемые (низкие поступления) насаждения, пастбища или заброшенные возделываемые земли, которые опять становятся лесами, и должна находиться в категории переустройства в течение 20 лет или иного временного интервала. Если известно предыдущее землепользование переустроенной площади, то можно использовать описанный ниже метод уровня 2.

ii) Годовое уменьшение запасов углерода в биомассе в результате потерь,

$$\Delta C_L$$

Уровень 1: Годовое уменьшение запасов углерода в биомассе в результате потерь на переустроенной земле (изъятия древесины или вырубки, сбор топливной древесины и возмущения) может быть оценено с помощью уравнений 2.11 – 2.14). Также как в случае увеличения запасов углерода, на уровне 1 используются допущение по умолчанию об отсутствии изменений в начальных запасах углерода биомассы (оно может применяться для площадей, которые оцениваются с использованием подхода 1 или 2, глава 3), а также параметры по умолчанию, описанные в разделе 4.5.

iii) Более высокие уровни для оценки изменения запасов углерода в биомассе, (ΔC_B)

Уровни 2 и 3: Методы уровня 2 (и 3) используют национальные данные и более разобщенные подходы и (или) модели процессов, которые позволяют выполнять более точные оценки изменений в запасах углерода в биомассе. На уровне 2 уравнение 2.4 замещается уравнением 2.15, в котором изменения в запасе углерода рассчитываются как сумма увеличения запаса углерода вследствие роста биомассы, изменений в связи с фактическим переустройством (разница между запасами биомассы до и после переустройства) и уменьшения запасов углерода вследствие потерь.

УРАВНЕНИЕ 2.15

ГОДОВОЕ ИЗМЕНЕНИЕ В ЗАПАСАХ УГЛЕРОДА В БИОМАССЕ НА ЗЕМЛЯХ, ПЕРЕУСТРОЕННЫХ В ДРУГИЕ КАТЕГОРИИ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ (УРОВЕНЬ 2)

$$\Delta C_B = \Delta C_G + \Delta C_{\text{КОНВЕРСИЯ}} - \Delta C_L$$

где:

ΔC_B = годовое изменение в запасах углерода в биомассе на землях, переустроенных в другие категории землепользования; тонны С/год,

ΔC_G = годовое увеличение в запасах углерода в биомассе в связи с ростом на землях, переустроенных в другие категории землепользования; тонны С/год,

$\Delta C_{\text{КОНВЕРСИЯ}}$ = начальное изменение в запасах углерода в биомассе на землях, переустроенных в другие категории землепользования; тонны С /год,

ΔC_L = ежегодное уменьшение в запасах углерода в биомассе вследствие потерь от лесозаготовок, сбора топливной древесины и возмущений на землях, переустроенных в другие категории землепользования; тонны С /год.

Переустройство в другую категорию земель может сопровождаться изменением запасов биомассы, например, часть биомассы может быть удалена при расчистке земли, повторном накоплении или других видах деятельности человека. Указанные начальные изменения в запасах углерода в биомассе ($\Delta C_{\text{КОНВЕРСИЯ}}$) подсчитываются с помощью уравнения 2.16 нижеследующим образом:

УРАВНЕНИЕ 2.16

НАЧАЛЬНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ В ЗАПАСАХ УГЛЕРОДА В БИОМАССЕ НА ЗЕМЛЕ, ПЕРЕУСТРОЕННОЙ В ДРУГУЮ КАТЕГОРИЮ

$$\Delta C_{\text{КОНВЕРСИЯ}} = \sum_i \{(B_{\text{ПОСЛЕ}_i} - B_{\text{ДО}_i}) \cdot \Delta A_{\text{В_ДРУГИЕ}_i}\} \cdot CF$$

где:

$\Delta C_{\text{КОНВЕРСИЯ}}$ = начальное изменение в запасах углерода в биомассе на земле, переустроенной в другую категорию земли; тонны С /год,

$V_{\text{После}_i}$ = запасы биомассы на типе земель i сразу же после переустройства; тонны с.в. /га,

$V_{\text{До}_i}$ = запасы биомассы на типе земель i до переустройства; тонны с.в. /га,

$\Delta A_{\text{В_ДРУГИЕ}_i}$ = площадь землепользования i , переустроенная в другую категорию землепользования в какой-либо определенный год; га/год,

CF = доля углерода в сухом веществе (с.в.); тонны C / (тонна с.в.),

i = тип землепользования, переустроенного в другую категорию землепользования.

Расчет $\Delta C_{\text{КОНВЕРСИЯ}}$ может быть применен отдельно для оценки запасов углерода, имеющихся на конкретных типах земли (экосистемы, типы участков и т.д.), до их переустройства. $\Delta A_{\text{В_ДРУГИЕ}_i}$ относится к определенному году кадастра, для которого выполняются расчеты, однако земля, подвергшаяся переустройству, должна оставаться в категории переустройства в течение 20 лет или иного периода, используемого в кадастре. В кадастрах, использующих методы более высоких уровней, может устанавливаться матрица возмущений (таблица 2.1) для переустройства землепользования, предназначенная для количественного определения доли каждого резервуара углерода перед переустройством, которая переносится в другие резервуары, выбрасывается в атмосферу (например, при сжигании лесосечных отходов) или изымается иным образом во время заготовки лесоматериалов или расчистки земли.

Благодаря использованию данных по конкретной стране и более детализированных подходов уравнения 2.15 и 2.16 обеспечивают более точные оценки, чем методы уровня 1, в которых используются данные по умолчанию. Дополнительное улучшение или повышение точности может быть достигнуто путем использования национальных данных на площадях с переходами землепользования и определенных для конкретной страны значений запасов углерода. Поэтому подходы уровня 2 и 3 должны включать оценки, в которых используются подробные данные по земельной площади и определенные для конкретной страны значения запасов углерода.

2.3.2 Изменение в запасах углерода в мертвом органическом веществе

Мертвое органическое вещество (МОВ) включает в себя валежную древесину и подстилку. Оценка динамики углерода резервуаров мертвого органического вещества позволяет повысить точность при составлении отчетности о том, где и когда происходят выбросы и поглощения углерода. Например, только часть углерода, содержащаяся в биомассе, которая гибнет при сжигании, выделяется в атмосферу в год пожара. Большая часть биомассы добавляется к резервуарам валежной древесины, подстилки и почвы (тонкие мертвые корни включаются в состав почвы), откуда углерод будет выделяться в течение многих последующих лет и десятилетий по мере разложения мертвого органического вещества. Показатели скорости разложения сильно варьируют по разным регионам: от высоких значений в теплой и влажной окружающей среде до низких значений в холодной и сухой окружающей среде. Хотя динамика углерода резервуаров мертвого органического вещества хорошо понятна в качественном отношении, для некоторых стран получение фактических данных национального уровня по запасам мертвого органического вещества и их динамике может оказаться проблематичным.

В лесных экосистемах резервуары МОВ могут стать самыми крупными в результате возмущений, влияющих на смещение древостоя, так как эти возмущения приводят к добавлению остаточных надземной и подземной (корни) биомасс. В последующие после возмущений годы резервуары МОВ уменьшаются, так как потери углерода в результате разложения превышают темпы добавления углерода через опавшую листву, гибель и оборот биомассы. Позднее, по мере развития древостоя, резервуары МОВ снова увеличиваются. Для представления этой динамики потребуется отдельная оценка зависимых от возраста поступлений и отдач, связанных с динамикой древостоя, а также поступлений и отдач, связанных с возмущениями. Указанные более сложные процедуры оценки потребуют использования методов более высоких уровней.

2.3.2.1 ЗЕМЛИ, ОСТАЮЩИЕСЯ В ТОЙ ЖЕ КАТЕГОРИИ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ:

На уровне 1 принимается допущение для резервуаров валежной древесины и подстилки в любой категории землепользования о том, что их запасы с течением времени не меняются, если земля остается в

той же категории землепользования. Таким образом, принимается допущение, что углерод биомассы, погибшей в результате какого-либо события возмущения или хозяйственной деятельности (за вычетом изъятых заготовленных лесоматериалов), полностью выделяется в атмосферу в год, когда произошло это событие. Это эквивалентно допущению о том, что количество углерода в нетоварных и некоммерческих компонентах, переносимое в мертвое органическое вещество, равно количеству углерода, выделяемого из мертвого органического вещества в атмосферу через разложение и окисление. Для оценки динамики углерода мертвого органического вещества страны могут использовать методы более высоких уровней. В данном разделе описываются методы оценки в случае, если используются методы уровня 2 (или 3).

Страны, использующие методы уровня 1 для оценки резервуаров МОВ в землях, остающихся в той же категории землепользования, указывают в отчетности нулевые изменения в запасах углерода или выбросах углерода из этих резервуаров. Следуя этому правилу, выбросы CO_2 , образующиеся в результате горения мертвого органического вещества при пожаре, не включаются в отчетность, равно как и увеличения запасов углерода мертвого органического вещества в последующие после пожара годы. Тем не менее, выбросы иных, чем CO_2 , газов, образующихся в результате сжигания резервуаров МОВ, указываются в отчетности. Методы уровня 2 для оценки изменений запасов углерода в резервуарах МОВ подсчитывают изменения в резервуарах углерода валежной древесины и подстилки (уравнение 2.17). Могут быть использованы два метода: либо отслеживать поступления и отдачи (метод поступлений-потерь, уравнение 2.18), либо оценить разницу в резервуарах МОВ в два момента времени (метод разности запасов, уравнение 2.19). Для этих оценок требуются либо подробные инвентаризации, которые включают повторные измерения резервуаров валежной древесины и подстилки, либо модели, имитирующие динамику валежной древесины и подстилки. *Эффективная практика* заключается в том, чтобы эти модели были апробированы посредством полевых измерений и задокументированы. На рисунке 2.3 показана схема принятия решений при определении подходящего уровня для оценки изменений в запасах углерода в мертвом органическом веществе.

Уравнение 2.17 представляет итоговый расчет для оценки годовых изменений запасов углерода в резервуарах МОВ:

<p>УРАВНЕНИЕ 2.17</p> <p>ГОДОВОЕ ИЗМЕНЕНИЕ В ЗАПАСАХ УГЛЕРОДА В МЕРТВОМ ОРГАНИЧЕСКОМ ВЕЩЕСТВЕ</p> $\Delta C_{DOM} = \Delta C_{DW} + \Delta C_{LT}$
--

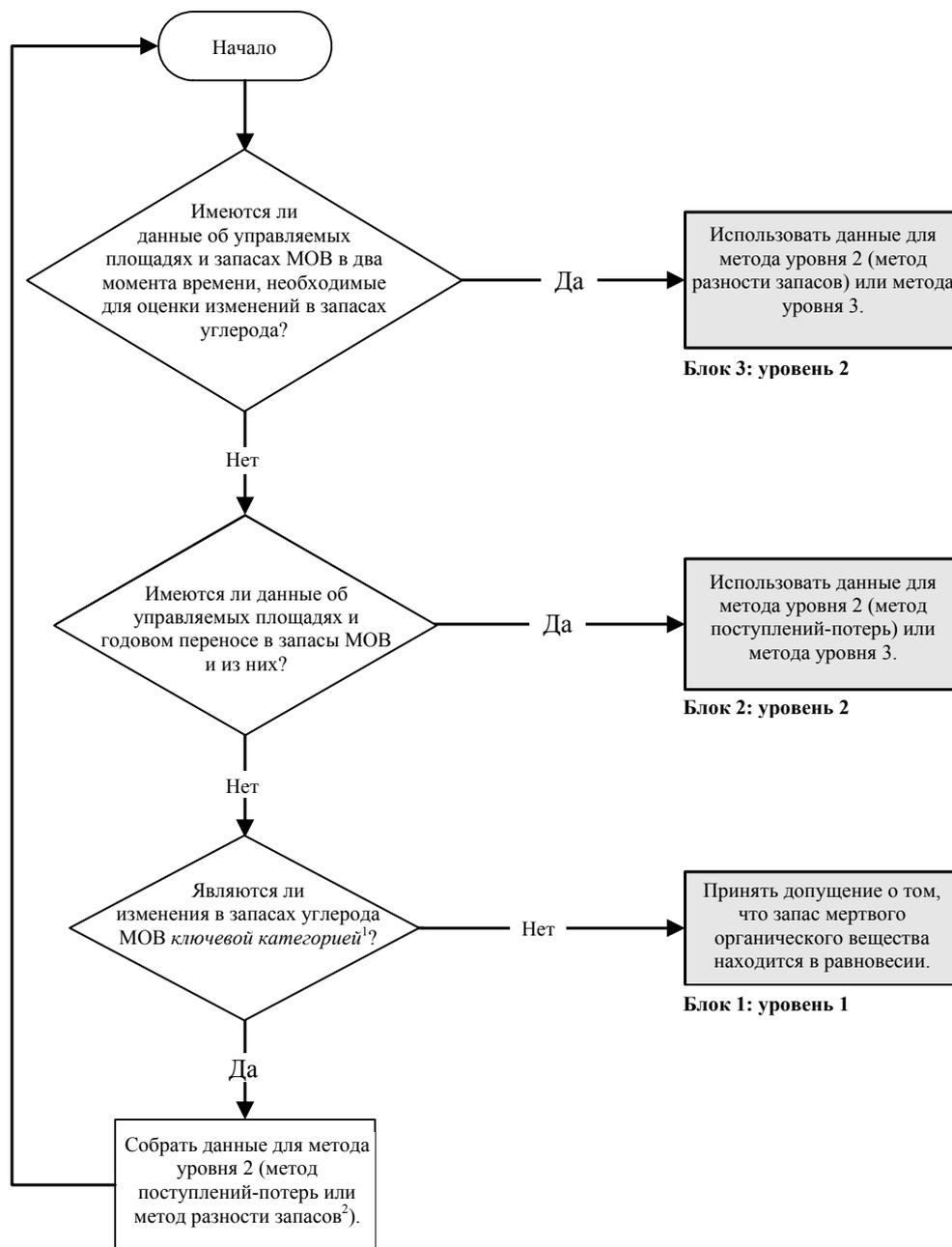
где:

ΔC_{DOM} = годовое изменение в запасах углерода в мертвом органическом веществе (включая валежную древесину и подстилку); тонны С/год,

ΔC_{DW} = изменение в запасах углерода в валежной древесине; тонны С/год,

ΔC_{LT} = изменение в запасах углерода в подстилке; тонны С/год,

Рисунок 2.3 Общая схема принятия решений при определении подходящего уровня для оценки изменений в запасах углерода в мертвом органическом веществе для какой-либо категории землепользования



Примечание:

1: Обсуждение *ключевых категорий* и применение схемы принятия решений см. в томе 1, глава 4 (Методологический выбор и определение ключевых категорий) (обратить внимание на раздел 4.1.2 об ограниченных ресурсах).

2: Эти два метода определены в уравнениях 2.18 и 2.19 соответственно.

Изменения в запасах углерода в резервуарах валежной древесины и подстилки для площади, остающейся в той же категории землепользования, в период между инвентаризациями могут быть оценены с использованием двух методов, описанных в уравнениях 2.18 и 2.19. То же самое уравнение используется для резервуаров валежной древесины и подстилки, но значения для этих резервуаров подсчитываются отдельно.

УРАВНЕНИЕ 2.18
ГОДОВОЕ ИЗМЕНЕНИЕ В ЗАПАСАХ УГЛЕРОДА В ВАЛЕЖНОЙ ДРЕВЕСИНЕ И ПОДСТИЛКЕ
(МЕТОД ПОСТУПЛЕНИЙ-ПОТЕРЬ)

$$\Delta C_{DOM} = A \cdot \{(DOM_{in} - DOM_{out}) \cdot CF\}$$

где:

ΔC_{DOM} = годовое изменение в запасах углерода в резервуарах валежной древесины /подстилки; тонны С /год,

A = площадь управляемых земель; га

DOM_{in} = средний годовой перенос биомассы в резервуар валежной древесины /подстилки в результате происшедших в течение года процессов и возмущений; тонны с.в. /га x год (более подробная информация приводится в следующем разделе).

DOM_{out} = среднегодовые потери углерода в результате разложения и возмущений из резервуара валежной древесины или подстилки; тонны сухого вещества / га x год,

CF = доля углерода в сухом веществе; тонны С / (тонна с. в.).

Расчет результирующего баланса для резервуаров МОВ в соответствии с уравнением 2.18, требует оценки поступлений и отдач от годовых процессов (опадающая листва и разложение) и поступлений и отдач, связанных с возмущениями. Таким образом, на практике подходы уровня 2 и уровня 3 требуют оценки скоростей переноса и разложения, а также данных о деятельности по лесозаготовке, возмущений и их влияния на динамику резервуара МОВ. Следует заметить, что поступления биомассы в резервуары МОВ, использованные в уравнении 2.18, являются частью потерь биомассы, которые оценивались в уравнении 2.7. Потери биомассы в уравнении 2.7 содержат дополнительную биомассу, которая удаляется с участка через лесозаготовки или потери в атмосферу в случае пожара.

Выбранный метод зависит от доступных данных и будет, по-видимому, согласован с методом, выбранным для запасов углерода биомассы. Оценка значений переносов в резервуар валежной древесины или подстилки и переносов из этого резервуара для уравнения 2.18 может оказаться трудным делом. Метод разности запасов, описанный в уравнении 2.19, может быть использован странами с данными лесного кадастра, которые включают информацию о резервуаре МОВ, другие данные обследований, выборка которых проводится в соответствии с принципами, указанными в приложении 2А.3 (Выборка) главы 3, и/или модели, представляющие динамику валежной древесины и подстилки.

УРАВНЕНИЕ 2.19
ГОДОВОЕ ИЗМЕНЕНИЕ В ЗАПАСАХ УГЛЕРОДА В ВАЛЕЖНОЙ ДРЕВЕСИНЕ ИЛИ ПОДСТИЛКЕ
(МЕТОД РАЗНОСТИ ЗАПАСОВ)

$$\Delta C_{DOM} = \left[A \cdot \frac{(DOM_{t_2} - DOM_{t_1})}{T} \right] \cdot CF$$

где:

ΔC_{DOM} = годовое изменение в запасах углерода в валежной древесине или подстилке; тонны С /год,

A = площадь управляемых земель; га,

DOM_{t_1} = запас валежной древесины / подстилки в момент времени t_1 для управляемых земель; тонн с. в. /га,

DOM_{t_2} = запас валежной древесины / подстилки в момент времени t_2 для управляемых земель; тонн с. в. /га,

T = ($t_2 - t_1$) = период времени между второй оценкой запасов и первой оценкой запасов; годы,

CF = доля углерода в сухом веществе (= 0,37 для подстилки по умолчанию); тонна C / (тонна с.в.),

Следует заметить, что при применении метода изменения запаса (например, в уравнении 2.19) площади, использованные в расчетах запасов углерода в моменты времени t_1 и t_2 , должны быть идентичны. Если эти площади неидентичны, то изменения площади исказят оценки запасов углерода и изменений этих запасов. *Эффективная практика* состоит в использовании площади в конце периода кадастра (t_2) для определения площади земель, остающихся в той же категории землепользования. Изменения запасов на всех площадях, которые меняют категорию землепользования в период времени между t_1 и t_2 , оценивают в новой категории землепользования, как описано в разделах по землям, переустроенным в новую категорию земли.

ПОСТУПЛЕНИЕ БИОМАССЫ В МЕРТВОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО

Когда дерево срубают, нетоварные и некоммерческие компоненты (например, верхушечные части, ветви, листва, корни и некоммерческие деревья) остаются лежащими на земле и переносятся к мертвому органическому веществу. Кроме того, годовая гибель может привести к добавке существенных количеств валежной древесины в этот резервуар. Для методов уровня 1 допущение состоит в том, что углерод, содержащийся во всех компонентах биомассы, которые переносятся к резервуарам мертвого органического вещества, будет высвобожден в год переноса независимо от того происходят ли это в результате ежегодных процессов (опавшая листва и гибель деревьев), деятельности по управлению землями, сбора топливной древесины или возмущений. Для процедур оценок, основанных на более высоких уровнях, необходимо оценить количество углерода биомассы, которое переносится к мертвому органическому веществу. Количество биомассы, переносимое к МОВ, оценивается с помощью уравнения 2.20:

УРАВНЕНИЕ 2.20 ГОДОВОЕ КОЛИЧЕСТВО УГЛЕРОДА В БИОМАССЕ, КОТОРОЕ ПЕРЕНОСИТСЯ К МЕРТВОМУ ОРГАНИЧЕСКОМУ ВЕЩЕСТВУ

$$DOM_{in} = \{L_{гибель} + L_{лес.отходы} + (L_{возмущения} \cdot f_{BLol})\}$$

где:

DOM_{in} = общее количество углерода в биомассе, которое переносится к мертвому органическому веществу; тонны C /год,

$L_{гибель}$ = годовой перенос углерода биомассы к МОВ в результате гибели; тонны C /год (см. уравнение 2.21),

$L_{лес.отходы}$ = годовой перенос углерода биомассы к МОВ с лесосечными отходами; тонны C /год (см. уравнение 2.22),

$L_{возмущения}$ = годовая потеря углерода биомассы в результате возмущений; тонны C /год (см. уравнение 2.14),

f_{BLol} = доля биомассы, которая оставлена разлагаться на земле (переносится к мертвому органическому веществу), в связи с потерями при возмущении. Как показано в таблице 2.1, происходящие в результате возмущений потери из резервуара биомассы делятся на отдельные слагаемые, которые добавляются к валежной древесине (ячейка В таблицы 2.1) и подстилке (ячейка С), выделяются в атмосферу при пожарах (ячейка F) и, если вслед за возмущением осуществляются меры по утилизации, переносятся к ЗЛМ (ячейка E).

Примечание: Если в уравнении 2.10 учитываются приращения биомассы корней, то в уравнениях 2.20 и 2.22 должны также учитываться потери биомассы корней .

Слагаемые правой части уравнения 2.20 определяются следующим образом:

Переносы к мертвому органическому веществу в результате гибели, $L_{гибель}$,
Гибель происходит в результате конкуренции в процессе развития древостоя, старения, болезней и других процессов, которые не относятся к возмущениям. При использовании методов оценки более высоких уровней нельзя пренебрегать гибелью. В экстенсивно управляемых древостоях без периодических частичных вырубок гибель от конкуренции на стадии конкурентного исключения может достигать 30-50% общей продуктивности древостоя на протяжении всей его жизни. В древостоях с регулярным уходом добавки к резервуару мертвого органического вещества могут оказаться пренебрежимо малыми, так как частичные рубки удаляют лесную биомассу, которая в противном

случае была бы потеряна вследствие гибели и перенесена к резервуарам мертвого органического вещества. Имеющаяся по приращению информация обычно включает данные валового годового приращения, определяемого как результирующие потери от гибели. Так как в данном документе валовой годовой прирост используется в качестве основы для оценки поступлений биомассы, то нет необходимости опять вычитать данные гибели, в качестве потери из резервуаров биомассы. Тем не менее, для методов уровня 2 и уровня 3 гибель должна учитываться как добавление к резервуару валежной древесины.

Для оценки гибели используется уравнение 2.21:

УРАВНЕНИЕ 2.21
ГОДОВЫЕ ПОТЕРИ УГЛЕРОДА В БИОМАССЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ГИБЕЛИ

$$L_{\text{гибель}} = \sum (A \cdot G_w \cdot CF \cdot m)$$

где:

- $L_{\text{гибель}}$ = годовая потеря углерода биомассы в результате гибели; тонны С /год,
 A = площадь земель, остающихся в той же категории землепользования; га,
 G_w = прирост надземной биомассы; тонны сухого вещества / га x год (см. уравнение 2.10),
 CF = доля углерода в сухом веществе; тонны С / (тонна с. в.),
 m = темпы гибели, выраженные в виде доли прироста надземной биомассы.

Если данные по темпам гибели выражаются в виде долей от объема древостоя, то для оценки связанного с гибелью годового переноса к резервуарам МОВ слагаемое G_w в уравнении 2.21 должно быть заменено объемом древостоя.

Темпы гибели различаются на различных стадиях развития древостоя и достигают максимальных значений на стадии конкурентного исключения. Темпы гибели зависят также от уровня накопления, типа леса, интенсивности управления и истории возмущений. Таким образом, предоставление значений по умолчанию для всей климатической зоны не оправдывается вследствие того, что вариации в пределах зоны бывают более значительными, чем между зонами.

Годовой перенос углерода к лесосечным отходам, $L_{\text{лес. отходы}}$

Соответствующие расчеты включают в себя оценку лесосечных отходов, оставшихся после изъятия лесоматериалов или топливной древесины и переноса биомассы из суммарных годовых потерь углерода в результате заготовки древесины (уравнение 2.12). Оценить порубочные остатки можно с помощью уравнения 2.22, которое получено из уравнения 2.12, как указано ниже:

УРАВНЕНИЕ 2.22
ГОДОВОЙ ПЕРЕНОС УГЛЕРОДА К ЛЕСОСЕЧНЫМ ОТХОДАМ

$$L_{\text{лес. отходы}} = [\{H \cdot BCEF_R \cdot (1 + R)\} - \{H \cdot D\}] \cdot CF$$

где:

- $L_{\text{лес. отходы}}$ = годовой перенос углерода от наземной биомассы к лесосечным отходам, включая мертвые корни; тонны С /год,
 H = годовая заготовка древесины (изъятие лесоматериалов или топливной древесины); м³/год,
 $BCEF_R$ = Коэффициенты преобразования и разрастания биомассы, применимые к изъятиям древесины, которые преобразуют товарный объем изъятия древесины в изъятия надземной биомассы; тонны изъятной биомассы / (м³ изъятий). Если значения $BCEF_R$ неизвестны, и, если значения BEF и плотности оцениваются отдельно, то может быть использовано следующее преобразование:

$$BCEF_R = BEF_R \cdot D$$

- D - это плотность абсолютно сухой древесины, тонны с.в. /м³,
- Коэффициенты разрастания биомассы (BEF_R) увеличивают товарные изъятия древесины до суммарного объема надземной биомассы для учета нетоварных компонентов дерева, древостоя и леса. BEF_R не имеет размерности.

R = отношение подземной биомассы к надземной биомассе; (тонна с. в. подземной биомассы)/(тонна с. в. надземной биомассы). R следует приравнять к нулю, если в уравнении 2.10 (уровень 1) не учитывается приращение биомассы корней.

CF = доля углерода в сухом веществе; тонна C/(тонна с. в.).

Сбор топливной древесины, включающий изъятие живых частей дерева, не приводит к дополнительным поступлениям биомассы к резервуарам мертвого органического вещества и в дальнейшем здесь не рассматривается.

В кадастрах, использующих методы более высоких уровней, может также оцениваться количество порубочных остатков после заготовки посредством определения доли надземной биомассы, которая остается после заготовки (ввести эти доли в ячейки B и C таблицы 2.1 для возмущения заготовки) и использования подхода, определенного в уравнении 2.14. В данном подходе требуются также данные о деятельности для площади, на которой производится заготовка.

2.3.2.2 ПЕРЕУСТРОЙСТВО ЗЕМЛИ В НОВУЮ КАТЕГОРИЮ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

В соответствии с установленным порядком представления отчетности все связанные с изменением землепользования изменения запасов углерода и выбросы иных, чем CO₂, парниковых газов должны указываться в новой категории землепользования. Например, в случае переустройства лесных площадей в возделываемые земли, как изменения запасов углерода, связанные с расчисткой леса, так и любые последующие изменения запасов углерода, произошедшие в результате данного переустройства, должны указываться в категории возделываемых земель.

На уровне 1 принимается допущение, состоящее в том, что резервуары МОВ в нелесных категориях земель после переустройства обнуляются, т.е. эти резервуары не содержат углерода. Для лесных площадей, переустроенных в другие категории землепользования, на уровне 1 принимается допущение, состоящее в том, что все потери углерода МОВ происходят в год переустройства землепользования. И наоборот, переустройство в лесные площади приводит к нарастанию резервуаров углерода подстилки и валежной древесины, начиная с нулевого уровня содержания углерода. На протяжении переходного периода (по умолчанию принимается равным 20 лет) прирост углерода МОВ на землях, переустроенных в лесные площади, происходит линейно, начиная с нуля. Этот период по умолчанию может быть подходящим для запасов углерода подстилки, однако, в умеренных и бореальных регионах указанный период, по-видимому, слишком короток для запасов углерода валежной древесины. Страны, использующие методы более высоких уровней, могут применять более длительные переходные периоды путем подразделения остающейся категории для подбора страт, которые находятся на более поздних стадиях перехода.

Оценка изменений запасов углерода на протяжении следующих за переустройством землепользования переходных периодов требует, чтобы годовые когорты площадей, на которых происходит изменение землепользования, отслеживались на протяжении переходного периода. Например, после переустройства в лесные площади предполагается, что запасы МОВ увеличиваются на протяжении 20 лет. По истечении 20 лет эта переустроенная площадь входит в категорию *лесных площадей, остающихся лесными площадями*, и, если применяется подход уровня 1, то никакие дальнейшие изменения МОВ не предполагаются. На уровнях 2 и 3 период переустройства может варьировать в зависимости от растительности и других факторов, определяющих время, которое необходимо, чтобы резервуары подстилки и валежной древесины достигли устойчивого состояния.

В методах оценки на более высоких уровнях могут использоваться ненулевые оценки резервуаров подстилки и валежной древесины в соответствующих категориях или подкатегориях землепользования. Например, поселения и системы агромелиорации могут содержать некоторые резервуары подстилки и валежной древесины, но так как на размеры резервуаров влияют управление, состояние участка и многие другие факторы, то никакие глобальные значения по умолчанию не могут быть предоставлены здесь. Методы более высоких уровней позволяют помимо прочего более подробно оценить связанные с изменением землепользования поступления и отдачи мертвого органического вещества.

Концептуальный подход к оценке изменений в запасах углерода в резервуарах валежной древесины и подстилки заключается в оценке разницы в запасах углерода для старой и новой категорий землепользования и в применении этой разницы к году переустройства (потери углерода) или в равномерном распределении на протяжении переходного периода (поступления углерода), уравнение 2.23.

УРАВНЕНИЕ 2.23
ГОДОВОЕ ИЗМЕНЕНИЕ В ЗАПАСАХ УГЛЕРОДА В ВАЛЕЖНОЙ ДРЕВЕСИНЕ И ПОДСТИЛКЕ В СВЯЗИ С ПЕРЕУСТРОЙСТВОМ ЗЕМЕЛЬ

$$\Delta C_{DOM} = \frac{(C_n - C_o) \cdot A_{on}}{T_{on}}$$

где:

ΔC_{DOM} = годовое изменение в запасах углерода в валежной древесине или подстилке; тонны С /год,

C_o = запас валежной древесины / подстилки при старой (прежней) категории землепользования; тонны С /га,

C_n = запас валежной древесины /подстилки при новой категории землепользования; тонны С /га,

A_{on} = площадь, переустраиваемая из старой категории в новую категорию землепользования; га,

T_{on} = продолжительность перехода от старой к новой категории землепользования; годы. На уровне 1 по умолчанию принимается 20 лет для возрастания запасов углерода и 1 год для потери углерода.

В кадастрах, использующих метод уровня 1, принимается допущение о том, что весь углерод, содержащийся в погибшей при переустройстве землепользования биомассе (за вычетом заготовленных лесоматериалов, которые изымаются), выбрасывается непосредственно в атмосферу и ничего не добавляется к резервуарам валежной древесины и подстилки. Методы уровня 1 также допускают, что потери углерода из резервуара валежной древесины и подстилки происходят полностью в год перехода.

Страны, использующие методы более высоких уровней, могут модифицировать C_o в уравнении 2.23, прежде всего учитывая очередь немедленные результаты переустройства землепользования в год этого события. В этом случае они должны прибавить к C_o углерод, перенесенный от погибшей биомассы к валежной древесине и подстилке, и вычесть из C_o весь углерод, высвободившийся из резервуаров валежной древесины и подстилки, например, во время сжигания лесосечных отходов. При этом C_o в уравнении 2.23 будет представлять запасы углерода валежной древесины или подстилки непосредственно после переустройства землепользования. C_o перейдет в C_n за время переходного периода с использованием линейной или более сложной динамики. Для учета переходов и выбросов для резервуаров во время переустройства землепользования, включая добавления к C_o и изъятия из C_o можно определить матрицу возмущений (таблица 2.1).

В странах, использующих подход уровня 1, можно применять принятые на уровне 1 оценки запасов углерода по умолчанию для резервуара подстилки и, при наличии соответствующих данных, для резервуара валежной древесины. При этом необходимо помнить, что эти оценки являются грубыми со значительной неопределенностью при использовании на национальном уровне. Таблица 2.2 является неполной вследствие недостаточности опубликованных данных. Анализ литературы выявил несколько проблем. Определения МГЭИК для запасов углерода мертвого органического вещества включают подстилку и валежную древесину. Резервуар подстилки включает в себя всю подстилку плюс тонкие древесные остатки диаметром до 10 см (см. главу 1, таблицу 1.1). Опубликованные данные по подстилке обычно не учитывают компонента с тонкими древесными остатками и, таким образом, приведенные в таблице 2.2 значения для подстилки являются неполными.

Имеются многочисленные опубликованные исследования по грубым древесным остаткам (Harmon and Hua, 1991; Karjalainen and Kuuluvainen, 2002) и несколько обзорных статей (например, Harmon *et al.*, 1986), однако до сих пор только в двух исследованиях представлены оценки резервуаров углерода валежной древесины, основанные на данных по выборочным участкам. Krankina *et al.* (2002) исследовали несколько регионов России и привели для грубых древесных остатков (с диаметром > 10 см) оценки на уровне от 2 до 7 Мг С /га. Cooms *et al.* (2002) сообщили региональные данные по резервуарам углерода, основанные на статистической модели выборки для небольшого региона в Новой Зеландии. Региональные сборы данных для Канады (Shaw *et al.*, 2005) позволили оценить углеродные резервуары

подстилки. Полученные оценки основаны на данных для статистически нерепрезентативных выборочных участков и не включают оценок для резервуаров валежной древесины. В обзорных статьях, таких как Harmon *et al.* (1986) собран ряд оценочных данных из литературы. Например, в указанной выше работе, в таблице 5 указан диапазон значений грубых древесных остатков для лиственных лесов умеренного пояса (11 – 38 Мг сухого вещества /га) и для хвойных лесов умеренного пояса (10 – 511 Мг сухого вещества /га). Тем не менее, с точки зрения статистики будет неправильным производить расчет среднего значения на основании этих собранных данных, так как они не являются репрезентативными выборками резервуаров валежной древесины в регионе.

Хотя в настоящих *Руководящих принципах МГЭИК* выражается намерение предоставить значения по умолчанию для всех используемых в методологиях уровня 1 переменных, в настоящее время не представляется возможным предоставление оценочных региональных значений по умолчанию для углеродных резервуаров подстилки (включая тонкие древесные остатки диаметром < 10 см) и валежной древесины (диаметром > 10 см). Оценки резервуаров подстилки (за исключением тонких древесных остатков) представлены в таблице 2.2. Для методологии уровня 1 требуются только представленные в таблице 2.2 оценки для земель, переустроенных из лесных площадей в любую иную категорию землепользования (потери углерода), а также для земель, переустроенных в лесные площади (поступления углерода). Методы уровня 1 допускают, что во всех нелесных категориях резервуары подстилки и валежной древесины равны нулю, и поэтому переходы между нелесными категориями не сопровождаются изменениями запасов углерода в этих двух резервуарах.

Таблица 2.2 Значения по умолчанию на уровне 1 для запасов углерода подстилки и валежной древесины				
Климат	Тип леса			
	Широко- лиственные лиственные	Хвойные вечнозеленые	Широко- лиственные лиственные	Хвойные вечнозеленые
	Запасы углерода в подстилке зрелых лесов		Запасы углерода в валежной древесине зрелых лесов	
	(тонны С /га)		(тонны С /га)	
Бореальный, сухой	25 (10 - 58)	31 (6 - 86)	^b	n.a
Бореальный, влажный	39 (11 - 117)	55 (7 - 123)		
Холодный умеренный, сухой	28 (23 - 33) ^a	27 (17 - 42) ^a		
Холодный умеренный, увлажненный	16 (5 - 31) ^a	26 (10 - 48) ^a		
Теплый умеренный, сухой	28,2 (23,4 - 33,0) ^a	20,3 (17,3 - 21,1) ^a		
Теплый умеренный, увлажненный	13 (2 - 31) ^a	22 (6 - 42) ^a		
Субтропический	2.8 (2 - 3)	4.1		
Тропический	2.1 (1 - 3)	5.2		
<p>Источник:</p> <p>Подстилка: Необходимо отметить, что эти значения не включают тонкие древесные остатки. Siltanen et al., 1997; и Smith and Heath, 2001; Tremblay et al., 2002; и Vogt et al., 1996; данные преобразованы из массы в углерод путем умножения на коэффициент перевода в 0,37 (Smith and Heath, 2001).</p> <p>Валежная древесина: В настоящее время оценочных данных резервуаров валежной древесины по регионам нет – см. дальнейшие комментарии в тексте.</p> <p>^a а Значения в скобках, обозначенные «а» над цифрами, представляют собой 5-й и 95-й процентиля от моделирования участков, в то время как цифры, указанные без «а», означают весь диапазон.</p> <p>^b n.a. означает «данные не доступны».</p>				

2.3.3 Изменение в запасах углерода в почвах

Хотя в почвах присутствуют как органическая, так и неорганическая формы углерода, землепользование и обработка обычно оказывают большее влияние на органические запасы углерода. Как следствие, методы, представленные в настоящих Руководящих принципах, ориентированы в основном на органический углерод почвы. В целом влияние землепользования и обработки на органический углерод почвы существенно различается для минеральных и органических типов почв. Органические почвы (например, торф и перегной) содержат не менее 12 – 20% органического вещества по массе (см. специальные критерии по классификации органических почв в приложении 3А.5 главы 3) и развиваются в плохо дренируемых условиях водно-болотных угодий (Brady and Weil, 1999). Все прочие почвы классифицируются как почвы минерального типа и обычно содержат относительно небольшие количества органического вещества. Этот тип почвы встречается в умеренно и хорошо дренируемых условиях и преобладает в большинстве экосистем, за исключением водно-болотных угодий. В последующих двух разделах обсуждается влияние землепользования и обработки на эти два различающихся типа почвы.

МИНЕРАЛЬНЫЕ ПОЧВЫ

Минеральные почвы являются углеродным резервуаром, находящимся под влиянием деятельности по землепользованию и управлению. Землепользование может оказывать большое влияние на размер этого резервуара через различные виды деятельности, например, переустройство естественных пастбищ и лесных площадей в возделываемые земли, при котором может быть утеряно 20–40% исходных запасов углерода почвы (Mann, 1986; Davidson and Ackerman, 1993; Ogle *et al.*, 2005). В пределах отдельного типа землепользования различные практики хозяйствования также могут оказывать существенное влияние на запасы органического углерода почвы, в частности, на возделываемых землях и пастбищных угодьях (например, Paustian *et al.*, 1997; Conant *et al.*, 2001; Ogle *et al.*, 2004 и 2005). В принципе запасы органического углерода почвы могут изменяться под действием обработки или возмущений, если меняется результирующий баланс между поступлениями углерода в почву и потерями углерода из почвы. Деятельность по управлению влияет на поступления органического углерода через изменения в практике растениеводства (например, внесение удобрений или ирригация для улучшения роста культур), непосредственную добавку углерода в органические удобрения и оставляемое количество углерода после деятельности по изъятию биомассы, например, после сбора урожая, заготовки древесины, пожара или выпаса. Выбросы углерода в значительной мере зависят от разложения, на которое в свою очередь влияют изменения режимов влажности и температуры, а также уровень возмущения почвы, в результате хозяйственной деятельности. На разложение влияют и другие факторы, такие как климат и эдафические характеристики. Особое влияние различных переустройств землепользования и режимов управления обсуждается в главах, посвященных отдельным видам землепользования (главы 4 – 9).

Изменение землепользования и деятельность по управлению могут также влиять на запасы органического углерода в почве через изменение скорости эрозии и, как следствие, потери углерода из участка; часть эродированного углерода разлагается в процессе переноса и в виде CO₂ возвращается в атмосферу, тогда как остальная часть оседает в других местах. Результирующее влияние изменения эрозии почвы при управлении землями весьма неопределенное, так как неизвестная часть эродированного углерода хранится в погребенных отложениях водно-болотных угодий, озер, речных дельт и прибрежных зон (Smith *et al.*, 2001).

ОРГАНИЧЕСКИЕ ПОЧВЫ

При анаэробных условиях поступления органического вещества могут превысить потери от разложения, что является обычным в неосушенных органических почвах, и со временем могут накапливаться значительные количества органического вещества. Динамика углерода органических почв тесным образом связана с гидрологическими условиями, в том числе с наличием влаги, глубиной уровня грунтовых вод, условиями раскисления-окисления (Clymo, 1984; Thormann *et al.*, 1999). На эту динамику могут влиять также видовой состав и химия подстилки (Yavitt *et al.*, 1997).

Запасенный в органических почвах углерод легко разлагается как только условия становятся аэробными вслед за осушением почв (Armentano and Menges, 1986; Kasimir-Klemetsson *et al.*, 1997). Осушение практикуется в сельском и лесном хозяйстве для создания условий на участке, благоприятствующих росту растений. Интенсивность потерь зависит от климата; при этом осушение в более теплых климатических условиях ведет к ускорению разложения. На потери с CO₂ также влияют глубина дренажа, известкование, плодородность и консистенция органического субстрата и температура (Martikainen *et al.*, 1995). Кадастры парниковых газов учитывают данное влияние управления.

Осушение органических почв обычно приводит к выделению CO_2 в атмосферу (Argentano and Menges, 1986), но при этом возможно также снижение выбросов CH_4 , происходящее на неосушенных органических почвах (Nykänen *et al.*, 1995). Тем не менее, выбросы CH_4 из неосушенных органических почв не рассматриваются в руководящих принципах по кадастрам, за исключением нескольких случаев управления водно-болотными угодьями (см. главу 7, «Водно-болотные угодья»). Аналогичным образом национальные кадастры обычно не оценивают накопления углерода в резервуаре почв, происходящее в результате накопления растительного детрита в неосушенных органических почвах. В целом темпы прироста углерода в условиях водно-болотных угодий с органическими почвами относительно низкие (Gorham, 1991), и любые попытки оценить приросты углерода, даже те, которые создаются при восстановлении водно-болотных угодий, должны также учитывать увеличение выбросов CH_4 . См. дополнительные руководства в главе 7 (Водно-болотные угодья).

2.3.3.1 МЕТОДЫ ОЦЕНКИ УГЛЕРОДА ПОЧВЫ (ЗЕМЛИ, ОСТАЮЩИЕСЯ В ТОЙ ЖЕ КАТЕГОРИИ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ, И ЗЕМЛИ, ПЕРЕУСТРАИВАЕМЫЕ В НОВУЮ КАТЕГОРИЮ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ)

Кадастры углерода почвы включают в себя оценки изменений запасов органического углерода для минеральных почв и выбросов CO_2 из органических почв в связи усиленным микробным разложением в результате осушения и соответствующей хозяйственной деятельности. Кроме того, в кадастрах могут рассматриваться изменения запасов в резервуарах неорганического углерода почв (например, закарбонированные пастбища, которые с течением времени подкисляются), если имеется достаточно информации для использования подхода уровня 3. Приведенное ниже уравнение 2.24 позволяет оценить общее изменение в запасах углерода почвы.

УРАВНЕНИЕ 2.24

ГОДОВОЕ ИЗМЕНЕНИЕ В ЗАПАСАХ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ

$$\Delta C_{\text{Почвы}} = \Delta C_{\text{Минеральные}} - L_{\text{Органические}} + \Delta C_{\text{Неорганические}}$$

где:

$\Delta C_{\text{Почвы}}$ = годовое изменение в запасах углерода в почвах; тонны С /год,

$\Delta C_{\text{Минеральные}}$ = годовое изменение в запасах органического углерода в минеральных почвах; тонны С /год,

$L_{\text{Органические}}$ = годовые потери углерода из осушенных органических почв; тонны С /год,

$\Delta C_{\text{Неорганические}}$ = годовое изменение в запасах неорганического углерода в почвах; тонны С /год (предполагается равным 0, если не используется подход уровня 3).

Для методов уровня 1 и 2 почвенные запасы органического углерода для минеральных почв рассчитываются до глубины 30 см по умолчанию. На уровне 2 при наличии соответствующих данных может быть выбрана большая глубина, однако коэффициенты уровня 1 основаны на использовании глубины 30 см. Запасы углерода остатка/подстилки не учитываются, так как они учитываются при оценке запасов мертвого органического вещества. Изменения запасов в органических почвах основаны на коэффициентах выбросов, которые представляют годовые потери органического углерода по всему профилю вследствие осушения. Для оценки изменения в почвенных запасах неорганического углерода на уровнях 1 и 2 никакие методы не предоставляются. Это связано с ограниченными научными данными, необходимыми для вывода коэффициентов изменений запасов. Поэтому результирующий поток для запасов неорганического углерода принимается равным нулю. Для более точных оценок изменений запасов углерода в минеральных и органических почвах и для резервуаров неорганического углерода почвы могут использоваться методы уровня 3.

Возможно, что в различных странах будут использоваться различные уровни для подготовки оценок для минеральных почв, органических почв и неорганического углерода почвы, при условии наличия соответствующих ресурсов. В этой связи изменения запасов для минеральных и органических почв, а также для резервуаров неорганического углерода (только на уровне 3) рассматриваются отдельно. Составители кадастров могут использовать обобщенные схемы принятия решений, приведенные на

рисунках 2.4 и 2.5, при определении подходящего уровня для оценки изменений запасов углерода соответственно для минеральных и органических почв.

Подход уровня 1: Метод по умолчанию

Минеральные почвы

Для минеральных почв метод по умолчанию основывается на изменениях в запасах углерода почвы в течение некоторого ограниченного периода времени. Это изменение рассчитывается исходя из запаса углерода после изменения управления и по отношению к запасу углерода при эталонных условиях (т.е. естественная растительность, которая не деградировала и не улучшилась). Делаются следующие допущения:

- (i) С течением времени органический углерод почвы достигает пространственно усредненной, устойчивой конкретной величины в зависимости от почвы, климата, землепользования и хозяйственной практики; и
- (ii) Изменение запаса органического углерода почвы (SOC) в течение переходного периода к новому равновесному состоянию происходит линейным образом.

Допущение (i), что при заданном наборе условий по климату и управлению почвы стремятся к некоторому равновесному содержанию углерода, широко принято. Хотя изменения углерода почвы в ответ на изменения в управлении могут, зачастую, лучше всего описываться криволинейной функцией, допущение (ii) существенно упрощает методологию уровня 1 и обеспечивает хорошее приближение на протяжении многолетнего периода кадастра, во время которого происходят изменения в управлении и переустройства землепользования.

С помощью метода по умолчанию производится расчет изменений в запасах углерода почвы на протяжении периода кадастра. Периоды кадастра могут быть установлены на основе годов, когда производится сбор данных о деятельности, например, 1990, 1995, 2000, 2005 и 2010, которым соответствуют периоды: 1990-1995, 1995-2000, 2000-2005, 2005-2010. Для каждого периода кадастра запасы органического углерода почвы оцениваются для первого (SOC_{0-T}) и последнего года (SOC₀) путем умножения эталонных запасов углерода на коэффициенты изменения запасов. Годовые темпы изменения запасов углерода оцениваются как разность запасов в два момента времени, деленная на временной промежуток, соответствующий коэффициентам изменения запасов углерода.

УРАВНЕНИЕ 2.25

ГОДОВОЕ ИЗМЕНЕНИЕ В ЗАПАСАХ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В МИНЕРАЛЬНЫХ ПОЧВАХ

$$\Delta C_{\text{Минеральные}} = \frac{(SOC_0 - SOC_{(0-T)})}{D}$$

$$SOC = \sum_{c,s,i} (SOC_{REF_{c,s,i}} \cdot F_{LU_{c,s,i}} \cdot F_{MG_{c,s,i}} \cdot F_{I_{c,s,i}} \cdot A_{c,s,i})$$

(Примечание: в данном уравнении вместо D используется T, если T ≥ 20 лет, см. примечание ниже)

где:

$\Delta C_{\text{Минеральные}}$ = годовое изменение в запасах углерода в минеральных почвах; тонны С /год,

SOC_0 = запас органического углерода почвы в последний год периода кадастра; тонны С,

$SOC_{(0-T)}$ = запас органического углерода почвы в начале периода кадастра; тонны С,

SOC_0 и $SOC_{(0-T)}$ рассчитываются с помощью уравнения для SOC в рамке, где значения эталонных запасов углерода и коэффициентов изменения запасов задаются в зависимости от землепользования и деятельности по управлению, а также соответствующих площадей для каждого момента времени (момент времени = 0 и момент времени = 0-T),

T = количество лет в одном периоде кадастра; лет,

D = Временной промежуток, соответствующий коэффициентам изменения запасов углерода, который является периодом по умолчанию для перехода между равновесными значениями SOC; лет. Обычно равен 20 годам, но зависит от допущений, сделанных при расчете коэффициентов F_{LU} , F_{MG} и F_I . Если T превышает D, то следует использовать значение T для получения годовой скорости изменения за период кадастра (0-T лет),

c = представляет климатические зоны, s - типы почв, i – комплекс систем управления (хозяйствования), принятый в данной стране.

SOC_{REF} = эталонный запас углерода; тонны С /га (таблица 2.3),

F_{LU} = коэффициент изменения запаса для систем землепользования или подсистемы конкретного землепользования, не имеет размерности,

[Примечание: F_{ND} используется вместо F_{LU} при расчетах углерода в лесных почвах для оценки влияния режимов стихийных возмущений.

F_{MG} = коэффициент изменения запасов для режима управления; не имеет размерности,

F_I = коэффициент изменения запасов для поступления органического вещества; не имеет размерности,

A = площадь земли для оцениваемого слоя (страты), га, Все земли данного слоя (страты) для совместного рассмотрения в аналитических целях должны иметь одинаковые биофизические условия (т.е. климатическую зону и тип почвы) и историю хозяйствования на протяжении периода кадастра.

Расчеты для кадастра основываются на земельных площадях, которые стратифицированы по климатическим зонам (классификацию климата по умолчанию см. в приложении 3А.5 главы 3) и типам почв по умолчанию, как показано в таблице 2.3 (классификацию почв по умолчанию см. в приложении 3А.5, главы 3). Коэффициенты изменения запасов очень широко определены и включают в себя. 1) коэффициент землепользования (F_{LU}), который отражает связанные с типом землепользования изменения запасов углерода, 2) коэффициент управления (F_{MG}), который представляет основную практику управления, характерную для данного сектора землепользования (например, различные практики обработки почвы на возделываемых землях) и 3) коэффициент поступления (F_I), представляющий различные уровни поступления углерода в почву. Как указано выше, F_{ND} используется вместо F_{LU} в случае лесных площадей для учета влияния режимов стихийных возмущений (более подробную информацию см. в разделе 4.2.3 главы 4). Коэффициенты изменения запасов представлены в разделах о почвенном углероде в главах, посвященных землепользованию. Каждый из этих коэффициентов представляет изменение на протяжении указанного количества лет (D), которое может меняться от сектора к сектору, но обычно остается постоянным в пределах отдельного сектора (например, 20 лет для системы возделываемых земель). В некоторых кадастрах период кадастра (T лет) может превышать D и в этом случае годовая скорость изменения запасов углерода может быть получена делением произведения $[(SOC_0 - SOC_{(0-T)}) \bullet A]$ на T , вместо D . Более подробные руководящие указания по применению данного метода приводятся в разделах о почвенном углероде в главах, посвященных землепользованию.

ТАБЛИЦА 2.3 ЭТАЛОННЫЕ ПО УМОЛЧАНИЮ (ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ) ЗАПАСЫ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВЕ (SOC _{REF}) ДЛЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОЧВ (ТОННЫ С /ГА ДЛЯ СЛОЯ 0-30 СМ)						
Климатический регион	Почвы НАС ¹	Почвы LAC ²	Песчаные почвы ³	Сподсолевые почвы ⁴	Вулканические почвы ⁵	Водно-болотные угодья ⁶
Бореальный	68	NA	10 [#]	117	20 [#]	146
Холодный умеренный, сухой	50	33	34	NA	20 [#]	87
Холодный умеренный, увлажненный	95	85	71	115	130	
Теплый умеренный, сухой	38	24	19	NA	70 [#]	88
Теплый умеренный, увлажненный	88	63	34	NA	80	
Тропический, сухой	38	35	31	NA	50 [#]	86
Тропический, увлажненный	65	47	39	NA	70 [#]	
Тропический, влажный	44	60	66	NA	130 [#]	
Тропический, горный	88*	63*	34*	NA	80*	

Примечание: Данные получены из баз данных о почвах, описанных в работах Jobbagy and Jackson (2000) и Bernoux et al. (2002). Показаны средние запасы. Принята оценка номинальной ошибки в ±90% (выражается как двойное среднеквадратическое отклонение в процентах от средней величины) для типов почв-климата. NA означает «неприменимо», поскольку эти почвы обычно не встречаются в некоторых климатических зонах.

[#] Указывает, что там, где данные отсутствуют, сохраняются значения по умолчанию из *Руководящих принципов МГЭИК, 1996 г.*

* Нет данных для непосредственной оценки эталонных запасов углерода для этих типов почв в тропическом горном климате, поэтому эти запасы основаны на оценках для умеренно теплого, увлажненного региона, имеющего схожие среднегодовые температуры и осадки.

¹ Почвы с минералами высокоактивного глинозема (НАС) представляют собой легко-умеренно выветриваемые почвы, которые преобладают в соотношении 2:1 над кремнеземными минералами (в классификации Всемирной справочной базы для почвенных ресурсов) (World Reference Base for Soil Resources (WRB)), к ним относятся лептосоли, вертисоли, каштаноземы, черноземы, фазоземы, лювисоли, алисоли, альбилювисоли, солонцы, известковые почвы, гипсовые почвы, умбрисоли, камбисоли, регосоли; в классификации Министерства сельского хозяйства США включаются молисоли, вертисоли, высокобазисные альфисоли, айридисоли, инсептисоли).

² Почвы с минералами глинозема низкой активности (LAC) представляют собой хорошо выветриваемые почвы, преобладающие в соотношении 1:1 над глиноземными минералами и рыхлыми почвами с содержанием железа и окислов алюминия (в классификации WRB включают акрисоли, ликсисоли, нитисоли, ферралсоли, дурисоли; в классификации Министерства сельского хозяйства США включают ультисоли, оксисоли, кислые альфисоли).

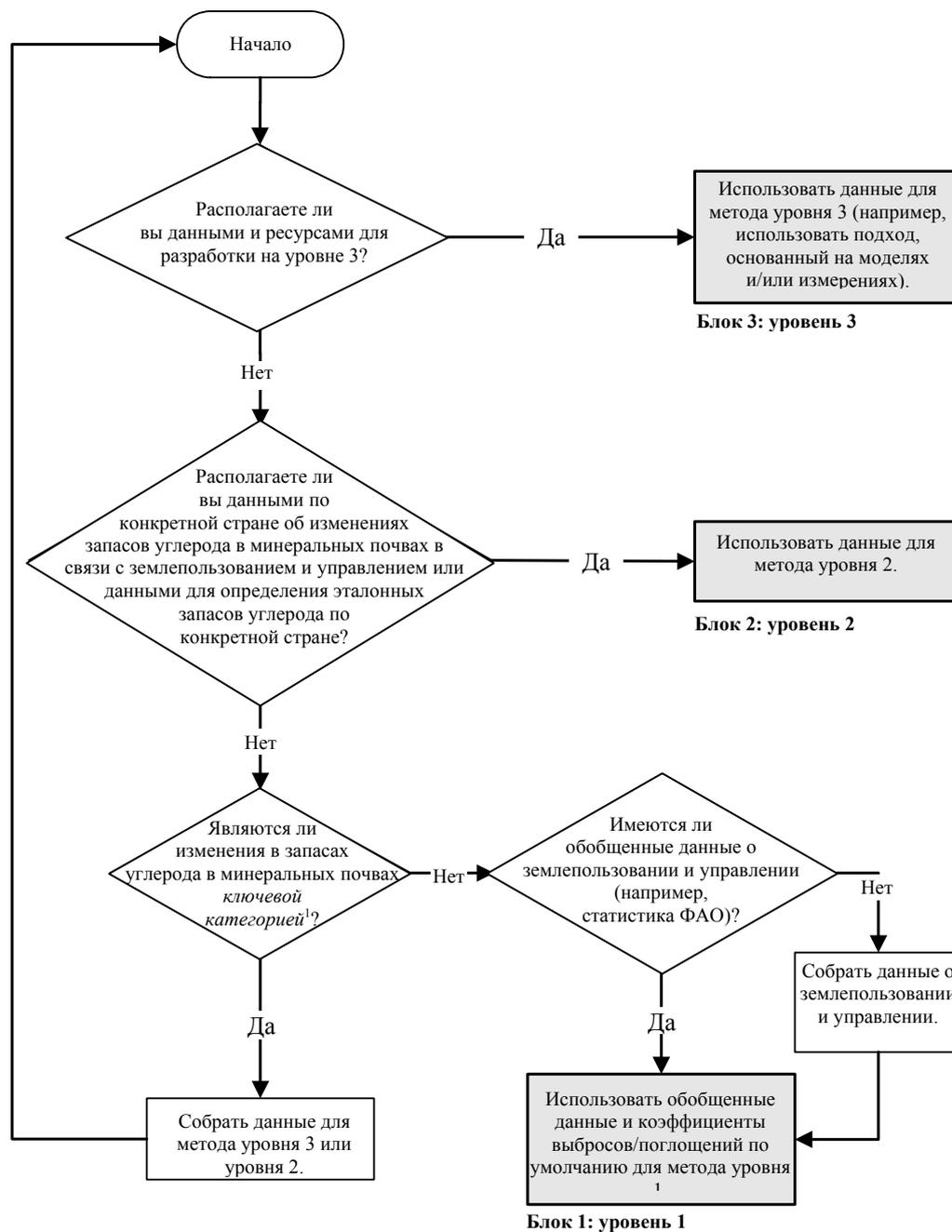
³ Включают все почвы (независимо от таксономической классификации), имеющие > 70% песка и < 8% глины основанные на стандартном анализе состава почвы (в классификации WRB включают ареносоли; в классификации Министерства сельского хозяйства США включают псамментовые почвы).

⁴ Почвы с ярко выраженным подзолом (по классификации WRB включают подзолы; по классификации Министерства сельского хозяйства США - сподосоли).

⁵ Почвы, произошедшие под влиянием вулканического пепла с аллофанной минералогией (по классификации WRB - андосоли; по классификации Министерства сельского хозяйства США-андисоли).

⁶ Почвы с ограниченным дренажем, приводящим к периодическим затоплениям и анаэробным условиям (по классификации WRB - глеевые почвы; по классификации Министерства сельского хозяйства США - гидроморфные подотряды).

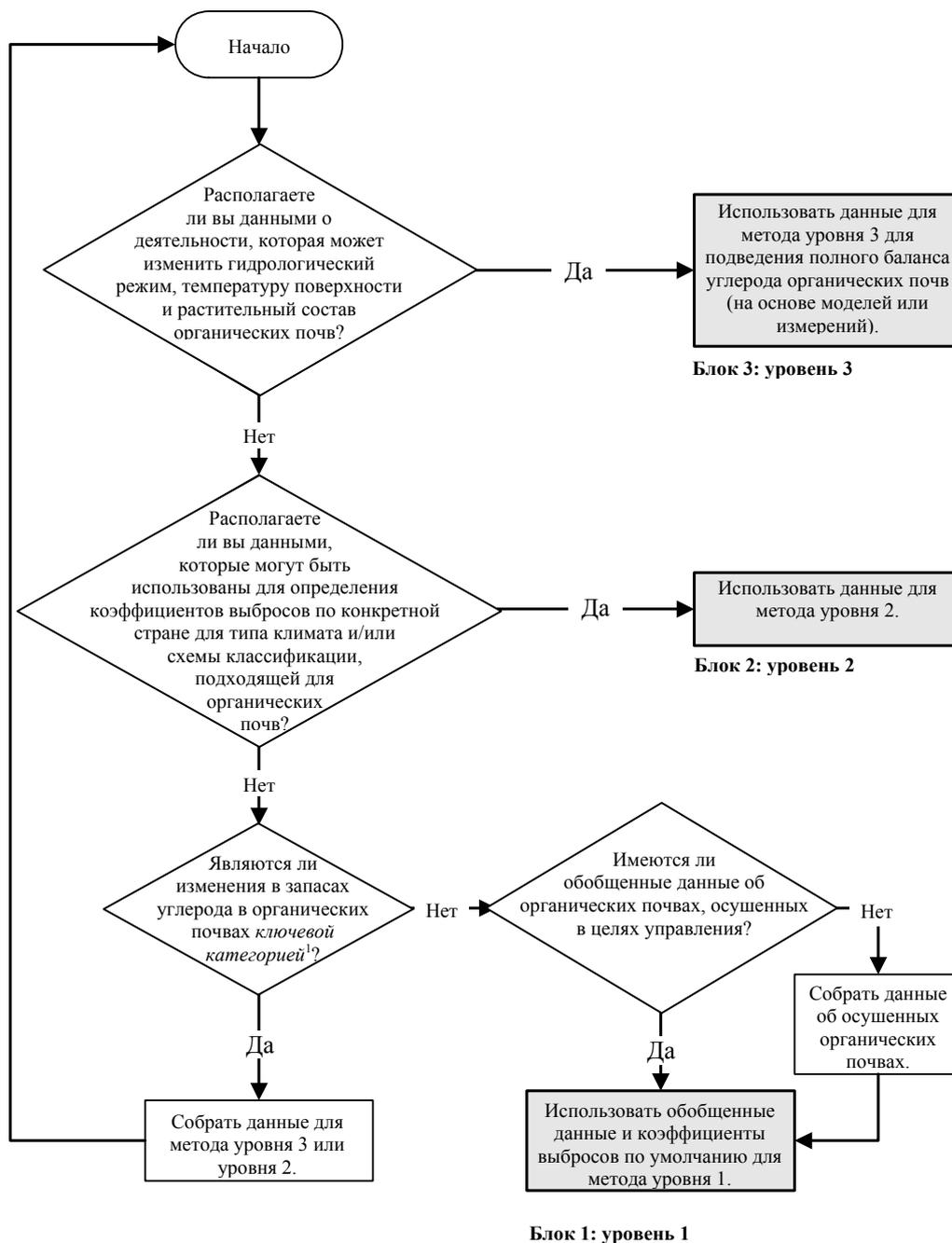
Рисунок 2.4 Общая схема принятия решений при определении подходящего уровня для оценки изменений в запасах углерода минеральных почв по категориям землепользования.



Примечание:

1: Обсуждение *ключевых категорий* и применение схемы принятия решений см. в томе 1, глава 4 (Методологический выбор и определение ключевых категорий) (обратить внимание на раздел 4.1.2 об ограниченных ресурсах).

Рисунок 2.5 Общая схема принятия решений при определении подходящего уровня для оценки изменений в запасах углерода органических почв по категориям землепользования.



Примечание:

1: Обсуждение *ключевых категорий* и применение схемы принятия решений см. в томе 1, глава 4 (Методологический выбор и определение ключевых категорий) (обратить внимание на раздел 4.1.2 об ограниченных ресурсах).

При использовании уравнения 2.25 и применении метода уровня 1 или даже уровня 2 тип землепользования и данные о деятельности по управлению оказывают непосредственное влияние на формулировку уравнения (см. блок 2.1). Данные о деятельности, собранные с помощью подхода 1, подходят к формулировке А, тогда как данные о деятельности, собранные с помощью подхода 2 или 3, подходят к формулировке В (дополнительная информация о подходах для сбора данных приводится в главе 3).

Блок 2.1

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ФОРМУЛИРОВКИ УРАВНЕНИЯ 2.25 ДЛЯ ПОДХОДА 1, А ТАКЖЕ ДЛЯ ПОДХОДА 2 ИЛИ 3 К СБОРУ ДАННЫХ О ДЕЯТЕЛЬНОСТИ С ПЕРЕХОДНЫМИ МАТРИЦАМИ.

В зависимости от используемого подхода к сбору данных о деятельности возможны две альтернативные формулировки уравнения:

Формулировка А (подход 1 для сбора данных о деятельности)

$$\Delta C_{\text{Минерал.}} = \frac{\left[\sum_{c,s,i} \left(SOC_{REF,c,s,i} \cdot F_{LU,c,s,i} \cdot F_{MG,c,s,i} \cdot F_{I,c,s,i} \cdot A_{c,s,i} \right) \right]_0 - \left[\sum_{c,s,i} \left(SOC_{REF,c,s,i} \cdot F_{LU,c,s,i} \cdot F_{MG,c,s,i} \cdot F_{I,c,s,i} \cdot A_{c,s,i} \right) \right]_{(0-T)}}{D}$$

Формулировка В (подходы 2 и 3 для сбора данных о деятельности)

$$\Delta C_{\text{Минерал.}} = \frac{\sum_{c,s,p} \left[\left\{ \left(SOC_{REF,c,s,p} \cdot F_{LU,c,s,p} \cdot F_{MG,c,s,p} \cdot F_{I,c,s,p} \right) \right\}_0 - \left\{ \left(SOC_{REF,c,s,p} \cdot F_{LU,c,s,p} \cdot F_{MG,c,s,p} \cdot F_{I,c,s,p} \right) \right\}_{(0-T)} \right] \cdot A_{c,s,p}}{D}$$

где:

p = участок земли.

См. описание других слагаемых уравнения 2.25.

Данные о деятельности могут быть доступны только, если для сбора данных используется подход 1 (глава 3). В этих данных содержится информация об общей площади в два момента времени для климата, почвы и систем землепользования/управления без указания количеств по конкретным переходам в землепользовании и управлении на протяжении периода кадастра (т.е. известны только обобщенное или результирующее изменение, но не общие изменения в деятельности). При сборе данных с использованием подхода 1 изменения запасов минерального углерода рассчитываются с помощью формулировки А уравнения 2.25. В противоположность этому сбор данных о деятельности может базироваться на обследовании, снимках дистанционного зондирования или других данных с предоставлением информации не только по общим площадям для каждой системы управления землями, но также по конкретным переходам в землепользовании и управлении на протяжении времени на отдельных участках земли. Эти данные считаются данными о деятельности для подхода 2 и 3 (глава 3), и при этом изменения запасов углерода почвы рассчитываются с помощью формулировки В уравнения 2.25. В формулировке В содержится суммирование по участку земли (т.е. " p " представляет земельные участки в формулировке В в противоположность комплексу систем управления " i "), что позволяет составителю кадастра рассчитать изменения в запасах углерода по отдельным земельным участкам.

Необходимы особые соображения при использовании данных о деятельности подхода 1 (см. главу 3) в качестве основы для оценки влияния землепользования и управления на запасы углерода почвы с помощью уравнения 2.25. Данные подхода 1 не отслеживают отдельных переустройств земель, и, таким образом, изменения запасов SOC вычисляются для временных периодов, эквивалентных D или как можно более близких к D, который в методе уровня 1 составляет 20 лет. Например, возделываемые земли могут быть переведены с глубокой вспашки на беспашотную обработку между 1990 и 1995 годами, и формулировка A (см. блок 2.1) позволит оценить поступление углерода в почву в течение этого периода кадастра. Тем не менее, если предположить, что данный участок земли остается на беспашотной технологии обработки с 1995 по 2000 годы, то никакие дополнительные поступления углерода не рассчитываются (т.е. запасы на 1995 год основываются на беспашотной обработке, и они не отличаются от запасов на 2000 год (SOC_0), которые также основываются на беспашотной обработке). При использовании подхода по умолчанию полученная оценка будет содержать ошибку, так как изменение в запасах углерода почвы происходит на протяжении 20 лет (т.е. $D = 20$ лет). Поэтому $SOC_{(0-T)}$ оценивается для самого отдаленного времени, используемого в расчетах для кадастра, вплоть до D лет до последнего года в периодах кадастров (SOC_0). Например, предположив, что D равно 20 и что кадастр основывается на данных о деятельности с 1990, 1995, 2000, 2005 и 2010 гг., $SOC_{(0-T)}$ будет рассчитываться для 1990 года для оценки изменения в органическом углероде почвы за каждые последующие годы (т.е. 1995, 2000, 2005 и 2010 гг.). В данном примере год для оценки $SOC_{(0-T)}$ не изменится до сбора данных о деятельности в 2011 году или позднее (например, расчет изменения запасов углерода для 2011 года будет основываться на самом отдаленном годе, вплоть до D - в данном примере 1995 г.).

При наличии переходных матриц (т.е. данных о деятельности для подхода 2 и 3) можно оценивать изменения с каждым последующим годом. В вышеприведенном примере некоторые земли, обрабатываемые по беспашотной технологии, могут быть возвращены к обработке с использованием глубокой вспашки в период с 1995 по 2000 гг. В этом случае поступления в запасы углерода с 1990 по 1995 гг. должны быть скорректированы и снижены для периода с 1995 по 2000 гг. Более того, для земель, возвращенных к обработке с использованием глубокой вспашки, после 2000 года никакие дополнительные изменения запасов углерода не требуются (если технология обработки почвы не изменится). Только земли, остающиеся на беспашотной технологии, будут получать поступления в запасы углерода вплоть до 2010 года (предполагая, что D равно 20 годам). Таким образом, в случае кадастров, использующих переходные матрицы с данными о деятельности для подходов 2 и 3, необходимо быть внимательнее при работе с временными периодами, за пределами которых поступления или потери SOC подлежат расчету. Дополнительная информация приводится в блоке 2.2. Применение данного подхода к оценке углерода почвы становится намного проще, если используется только обобщенная статистика с данными о деятельности для подхода 1. Тем не менее, *эффективная практика* заключается в использовании странами переходных матриц с данными о деятельности для подходов 2 и 3 (если такая информация доступна), так как более подробные статистические данные позволят улучшить оценку годовых изменений в запасах органического углерода почвы.

Возможны случаи, когда сбор данных о деятельности производится через промежутки времени, превышающие временной промежуток (D), соответствующий коэффициентам изменения запасов углерода, например, через каждые 30 лет при D, равном 20 годам. В этих случаях годовые изменения запасов могут быть оценены непосредственно между каждыми последующими годами сбора данных о деятельности (например, 1990, 2020 и 2050 гг.) без переоценки или недооценки годовой скорости изменения до тех пор, пока в уравнении 2.25 вместо D используется T.

Органические почвы

Базовая методология для оценки выбросов углерода из органических почв (например, образованных на торфяниках) состоит в установлении годового коэффициента выбросов, который оценивает потери углерода вследствие осушения. Осушение стимулирует окисление органического вещества, накопившегося ранее в условиях значительной анаэробной среды. Площадь осушенных и возделываемых органических почв по каждому типу климата умножается на соответствующий коэффициент выбросов с тем, чтобы получить оценку годовых выбросов CO_2 (для источника), как это показано в уравнении 2.26:

УРАВНЕНИЕ 2.26
ГОДОВЫЕ ПОТЕРИ УГЛЕРОДА ИЗ ОСУШЕННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЧВ (CO_2)

$$L_{\text{Органические}} = \sum_c (A \cdot EF)_c$$

где:

$L_{\text{Органические}}$ = годовые потери углерода из осушенных органических почв; тонны С /год,

A = площадь осушенных органических почв в климате типа c ; га,

Примечание: A – это та же площадь (F_{os}), используемая для оценки выбросов N_2O в главе 11, уравнения 11.1 и 11.2.

EF = коэффициент выбросов для климата типа c ; тонны С /га x год.

Подробные руководящие указания по применению данного метода см. в разделах об углероде почв в главах, посвященных землепользованию.

Блок 2.2

СРАВНЕНИЕ МЕЖДУ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБОБЩЕННЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ПОДХОДА 1 И ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ О ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ПОДХОДА 2 И 3 С ПЕРЕХОДНЫМИ МАТРИЦАМИ

Предположим, что имеем страну, где часть земель подвергается изменениям землепользования, как показано в нижеприведенной таблице, в которой каждая строка представляет одну единицу территории площадью 1 Мга (F = лесные площади; C = возделываемые земли; G = пастбищные угодья):

Обозначение единицы территории	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
1	F	C	C	C	C	C	C
2	F	C	C	C	G	G	G
3	G	C	C	C	C	G	G
4	G	G	F	F	F	F	F
5	C	C	C	C	G	G	G
6	C	C	G	G	G	C	C

Для упрощения допускается, что в стране имеется только один тип почвы с значением SOC_{Ref} (0-30 см), равным 77 тонн C /га, что соответствует лесной растительности. Значения F_{LU} составляют 1,00; 1,05 и 0,92 соответственно для F, G и C. F_{MG} и F_I предполагаются равными 1. Временной промежуток, соответствующий коэффициентам изменения запасов углерода (D), равен 20 годам. Наконец, предполагается, что в 1990 г. землепользование находится в равновесии (т.е., в течение 20 лет, предшествующих 1990 г., никаких изменений в землепользовании не происходило). При использовании данных о деятельности подхода 1 (т.е. обобщенных статистических данных) годовые изменения в запасах углерода рассчитываются в соответствии с вышеприведенным уравнением 2.25. В нижеприведенной таблице показаны результаты расчетов:

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
F (Мга)	2	0	1	1	1	1	1
G (Мга)	2	1	1	1	3	3	3
C (Мга)	2	5	4	4	2	2	2
SOC_0 (Мт C)	458	436	442	442	462	462	462
$SOC_{(0-T)}$ (Мт C)	458	458	458	458	458	436	442
$\Delta C_{\text{Минерал.}}$ (Мт C /год)	0	-1,1	-0,8	-0,8	0,2	1,3	1,0

В случае использования данных подхода 2 или 3, для которых известны подробные изменения землепользования, запасы углерода могут быть рассчитаны с учетом исторических изменений для каждой отдельной единицы территории. Общие запасы углерода для всех территорий сравниваются с самым последним предшествующим годом инвентаризации (а не с кадастром за предыдущие 20 лет) для оценки годовых изменений в запасах углерода:

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
SOC_0 (Мт C) для территории 1	77,0	75,5	74,0	72,5	71,0	71,0	71,0
SOC_0 (Мт C) для территории 2	77,0	75,5	74,0	72,5	75,0	77,5	80,0
SOC_0 (Мт C) для территории 3	81,0	78,5	76,0	73,5	71,0	73,5	76,0
SOC_0 (Мт C) для территории 4	81,0	81,0	80,0	79,0	78,0	77,0	77,0
SOC_0 (Мт C) для территории 5	71,0	71,0	71,0	71,0	73,5	76,0	78,5
SOC_0 (Мт C) для территории 6	71,0	71,0	73,5	76,0	78,5	76,0	73,5
SOC_0 (Мт C)	458	453	449	445	447	451	456
$SOC_{(0-T)}$ (Мт C)	458	458	453	449	445	447	451
$\Delta C_{\text{CC Минерал.}}$ (Мт C /год)	0	-1,1	-0,8	-0,8	0,5	0,8	1,0

Оба метода дают различные оценки запасов углерода, причем использование данных подхода 2 или 3 с переходными матрицами дает более точные результаты, чем использование обобщенных статистических данных подхода 1. Тем не менее, оценки годовых изменений запасов углерода обычно не сильно различаются, как показано в данном примере. Влияние подходов, которые соответствуют основополагающим данным, на оценки сказывается в большей степени при неоднократных изменениях в землепользовании на одном и том же участке земли (как на единицах территории 2, 3 и 6 в приведенном выше примере). Необходимо отметить, что данные о деятельности подхода 1, 2 и 3 дают одинаковые изменения в запасах углерода, если система достигает нового состояния равновесия, которое при использовании метода подхода 1 достигается в случае отсутствия изменений в землепользовании и управлении в течение 20-летнего периода. Следовательно, при применении этих методов для данных о деятельности подхода 1, 2 или 3 увеличения или потери запаса углерода не теряются, однако временная динамика в некоторой степени различается, как показано выше.

Неорганический углерод почвы

Влияние землепользования и деятельности по управлению на запасы и потоки неорганического углерода почв связано с гидрологией местности и зависит от особенностей минералогии почв. Дальнейшая точная оценка влияния этих факторов требует отслеживать судьбу выделяемого растворенного неорганического углерода и катионов оснований с управляемых земель, по крайней мере, до того, как они будут полностью захвачены в океанический цикл неорганического углерода. Таким образом, для точной оценки результирующих изменений запасов необходим всеобъемлющий гидрогеохимический анализ, отслеживающий судьбу растворенного CO₂, различных карбонатов и бикарбонатов, а также катионов оснований (например, Ca и Mg), поступающих в управляемые земли, содержащихся в них и выделяющихся из них в течение длительного времени. Такой анализ требует подхода уровня 3.

Подход уровня 2: включение данных по конкретным странам

Подход уровня 2 является естественным продолжением метода уровня 1; он позволяет включать в кадастр данные по конкретным странам при использовании уравнений по умолчанию заданных для минеральных и органических почв. *Эффективная практика* для стран заключается в использовании по возможности подхода уровня 2, даже если они в состоянии определить лучше лишь некоторые компоненты подхода по умолчанию уровня 1. Например, страна может располагать лишь данными для того, чтобы установить конкретные для себя эталонные запасы углерода, которые можно было бы использовать с коэффициентами изменения запасов по умолчанию для оценки изменений в запасах органического углерода минеральных почв.

Минеральные почвы

Данные по конкретной стране могут быть использованы для улучшения четырех компонентов подхода уровня 1 в кадастрах для оценки изменений запасов в минеральных почвах, включая получение конкретных для страны или региона коэффициентов изменения запасов и/или эталонных запасов углерода помимо детализации систем управления и категорий климата или почв (например, Ogle *et al.*, 2003; Vanden Bygaart *et al.*, 2004; Tate *et al.*, 2005). Составители кадастров могут выбрать получение конкретных значений для всех этих компонентов или только ряда значений, которые можно скомбинировать со значениями по умолчанию, предоставленными в методе уровня 1, для завершения расчетов по кадастру с помощью уравнения 2.25. Кроме того, на уровне 2 используются такие же процедурные этапы для расчетов, как и на уровне 1.

1) Определение систем управления. Хотя в кадастре уровня 2 могут использоваться те же системы управления и также как в методе уровня 1, системы по умолчанию могут быть разукрупнены в соответствии с более точной классификацией, которая лучше представляет воздействие управления на запасы органического углерода почвы в конкретной стране на основании эмпирических данных (т.е. коэффициенты изменения запасов значительно варьируют для предлагаемых систем управления). Тем не менее, это возможно только при наличии подробных основополагающих данных, достаточных для классификации земельной площади в соответствии с более точным, детально разработанным спектром систем управления.

2) Климатические зоны и типы почв. Страны, располагающие подробными данными по классификациям почв и климату, имеют возможность разработать собственные классификации. Более того, если новая классификация улучшает определение эталонных запасов углерода и/или коэффициентов изменения запасов, то более точное определение климатических зон и типов почвы в процессе составления кадастра уровня 2 рассматривается как *эффективная практика*. На практике эталонные запасы углерода и/или коэффициенты изменения запасов должны значительно различаться среди климатических зон и типов почвы, предлагаемых на основании эмпирического анализа. Необходимо отметить, что определение новых климатических зон и/или типов почвы требует получения значений эталонных запасов углерода и коэффициентов изменения запасов по конкретной стране. Значения по умолчанию для эталонных запасов углерода и коэффициентов изменения запасов подходят только для кадастров, использующих типы климата и почвы по умолчанию.

3) Эталонные запасы углерода. Получение эталонных запасов углерода (SOC_{Ref}) по конкретной стране представляет собой еще одну возможность улучшения кадастра при использовании подхода уровня 2 (Bernoux *et al.*, 2002). Использование данных по конкретной стране для оценки эталонных запасов позволит получить более точные и репрезентативные значения. Эталонные запасы почвенного углерода по конкретной стране могут быть получены на основании измерений почв, проводимых, например, в рамках деятельности страны по обследованию почв. Важно, чтобы для группирования почв в категории использовались надежные таксономические описания. При получении значений по конкретной стране необходимо учитывать три дополнительных соображения, включая: возможное определение категорий почвы и климатических зон по конкретной стране (т.е. вместо использования классификации МГЭИК по умолчанию), выбор эталонных условий и шага повышения глубины, для которой проводится оценка запасов. Запасы вычисляются путем умножения доли органического углерода (т.е. %C, деленный на 100)

на шаг повышения глубины (по умолчанию равен 30 см), объемную плотность и долю почвы, свободную от крупных частиц (т.е. частицы размером < 2 мм) для данного шага повышения глубины (Ogle *et al.*, 2003). Доля почвы, свободной от крупных частиц, рассчитывается на основе массы (т.е. свободная от крупных частиц масса почвы / общая масса почвы).

Эталонные условия – это категория землепользования/покрова, которая используется для оценки относительного влияния изменения землепользования на количество запасенного в почве углерода (например, относительная разница в запасах углерода между эталонными условиями, как например, неосушенные земли, и другим землепользованием, как например, возделываемые земли, образует основу для F_{LU} в уравнении 2.25). В методе уровня 1 под эталонными условиями понимаются неосушенные земли (т.е. не деградированные и не улучшенные земли, покрытые естественной растительностью) и возможно, что многие страны будут использовать этот же эталон в подходе уровня 2. Тем не менее, в качестве эталонного может быть выбрано иное землепользование, и, если такой выбор обеспечивает более надежную оценку эталонных значений запасов для конкретной страны, то это рассматривается как *эффективная практика*. Эталонные запасы должны быть согласованными по всем категориям землепользования (т.е. лесные площади, возделываемые земли, пастбища, поселения и прочие земли), что требует координации между различными командами, выполняющими инвентаризацию почвенного углерода для сектора СХЛХДВЗ.

Еще одно соображение в отношении получения эталонных запасов углерода по конкретной стране - это возможность оценки запасов углерода на большей глубине почвы (т.е. ниже по профилю почвы). Приведенные в таблице 2.3 запасы по умолчанию учитывают органический углерод в почве в верхнем слое профиля почвы толщиной 30 см. *Эффективная практика* заключается в получении эталонных запасов углерода для как можно большей глубины, если имеется достаточно данных и ясно, что изменение землепользования и обработка играют существенную роль на предполагаемом шаге глубины. При любом изменении глубины для эталонных запасов углерода потребуются получение новых коэффициентов изменения запасов, при условии, что данные по умолчанию также основываются на влиянии до глубины 30 см.

4) Коэффициенты изменения запасов. Важным достижением для подхода уровня 2 является оценка коэффициентов изменения запасов по конкретной стране (F_{LU} , F_{MG} и F_i). Коэффициенты по конкретной стране можно получить с помощью данных, полученных с помощью экспериментов/измерений и компьютерного моделирования. На практике, получение коэффициентов изменения запасов включает в себя оценку коэффициента ответа для каждого исследования или наблюдения (т.е. запасы углерода в различных классах поступлений или управления делятся на соответствующее значение для номинальной практики).

В оптимальном случае коэффициенты изменения запасов основываются на данных экспериментов/измерений в заданной стране или заданном регионе и получаются путем оценки коэффициентов ответа от каждого исследования и последующего анализа этих значений с использованием подходящих статистических методов (например, Ogle *et al.*, 2003 and 2004; VandenBygaert *et al.*, 2004). Результаты исследований могут быть взяты из опубликованной литературы, отчетов и других источников, или составители кадастров могут выбрать вариант проведения новых экспериментов. Несмотря на источник данных, при *эффективной практике* сравниваемые участки должны иметь аналогичную историю и управление, а также аналогичную топографию, физические свойства почв и располагаться вблизи друг от друга. Исследования должны предоставить данные о запасах углерода (масса на единицу площади до указанной глубины) или информацию, необходимую для оценки запасов SOC (т.е. процент содержания органического вещества вместе с объемной плотностью и долей твердых частиц в почве, которая часто рассматривается как фракция с размером частиц более 2 мм, не содержащая по определению органического почвенного углерода). Если сообщается процент органического вещества, а не процент органического углерода, то можно использовать переводной коэффициент 0,58 для оценки содержания углерода. Более того, в рамках *эффективной практики* измерение запасов углерода в почве следует производить на основе эквивалентной массы (например, Ellert *et al.*, 2001; Gifford and Roderick, 2003). Для того, чтобы использовать данный метод, составителю кадастра потребуется определить глубину, до которой производятся измерения запаса углерода, для номинального землепользования или номинальной практики хозяйствования, как например, неосушенные земли или традиционная обработка. Эта глубина должна согласовываться с глубиной, установленной для эталонных запасов углерода. Запас углерода почвы для изменения землепользования или управления измеряется до глубины с эквивалентной массой почвы.

Другая возможность для получения значений по конкретной стране заключается в моделировании коэффициентов изменения запасов с помощью современных моделей (Bhatti *et al.*, 2001). Чтобы продемонстрировать использование современных моделей, можно сравнить смоделированные коэффициенты изменения запасов с полученными из экспериментов измеренными значениями изменений запасов углерода. *Эффективная практика* заключается в указании результатов оценки

модели, цитировании публикаций и/или приведении результатов в отчете о кадастре. Этот метод считается подходом уровня 2, так как он опирается на концепцию коэффициента изменения запасов и метод оценки углерода, разработанный в подходе уровня 1.

Получение по конкретным странам коэффициентов управления (F_{MG}) и коэффициентов поступления (F_I) с помощью эмпирических данных или современных моделей должно согласовываться с классификацией системы управления. Если для кадастра указано большее количество систем, то необходимо получение уникальных коэффициентов, представляющих более точную категорию для какого-либо конкретного землепользования.

Еще одним соображением в получении коэффициентов изменения запасов по конкретной стране является связанный с ними временной промежуток (D в уравнении 2.25), который определяет количество лет, в течение которых происходит основная часть изменений запасов почвенного органического углерода в результате изменения управления. Можно использовать временной промежуток (D) по умолчанию для сектора землепользования (например, 20 лет для возделываемых земель), но этот промежуток может быть изменен при наличии достаточных данных, оправдывающих введение другого периода времени. Помимо прочего данный метод предназначен для использования одного и того же временного промежутка (D) для всех коэффициентов изменения запасов, как представлено в уравнении 2.25. Если для F_{LU} , F_{MG} и F_I выбраны различные периоды, то необходимо будет рассчитать по отдельности влияние землепользования, управления и поступлений и разделить на соответствующий промежуток времени для изменения запасов. Это можно выполнить, модифицировав уравнение 2.25 таким образом, что SOC в моменты T и $0-T$ вычисляется отдельно для каждого из коэффициентов изменения запасов (т.е. SOC рассчитывается отдельно только с F_{LU} , затем рассчитывается с F_{MG} и, наконец, рассчитывается с F_I). Рассчитываются разницы для запасов, связанных с землепользованием, управлением и поступлением, производится деление на соответствующие значения D , а затем суммирование изменений.

Изменения в запасах углерода обычно происходят по нелинейной зависимости, и возможна дальнейшая разработка временного промежутка коэффициентов изменения запасов для отражения этой картины. Для изменений в землепользовании или управлении, которые приводят к снижению содержания углерода в почве, наибольшая скорость изменений наблюдается в первые несколько лет, затем эта скорость постепенно снижается со временем. В противоположность этому, при росте углерода в почве в результате изменения в землепользовании или управлении, зависимость скорости накопления от времени имеет тенденцию к следованию сигмоидальной кривой; при этом скорости изменений вначале небольшие, затем они повышаются и, наконец, снижаются со временем. В случае, если исторические изменения в землепользовании или практике управления ясным образом отслеживаются путем повторного обследования тех же мест (т.е. данные о деятельности подхода 2 или 3, см. главу 3), то может оказаться возможным внедрение метода уровня 2, который учитывает нелинейность изменений в запасах углерода почвы.

Аналогично временному промежутку глубина, до которой производятся измерения, также может отличаться от подхода по умолчанию. Однако важно, чтобы эталонные запасы углерода (SOC_{Ref}) и коэффициенты изменения запасов (F_{LU} , F_{MG} , F_I) определялись на одной и той же глубине, и чтобы они были согласованными по каждому сектору землепользования для возможности переустройства между землепользованиями без искусственного завышения или занижения оценок изменений запасов углерода в почве. *Эффективная практика* заключается в документировании источника информации и основополагающего базиса для новых коэффициентов в процессе подготовки отчетности.

Органические почвы

Подход уровня 2 для выбросов CO_2 , связанных с осушением органических почв, включает в себя информацию в кадастре по конкретной стране для оценки выбросов с помощью уравнения 2.26 (см. предыдущий раздел об уровне 1, где приводится дополнительное обсуждение по общим уравнениям и применению данного метода). Кроме того, на уровне 2 используются такие же процедурные этапы для расчетов, как и на уровне 1. Потенциальные усовершенствования подхода 1 могут включать следующее: 1) получение коэффициентов выбросов по конкретной стране; 2) определение климатических зон, считающихся более подходящими для заданной страны или 3) более точную, подробную классификацию систем управления, относящуюся к какой-либо категории землепользования.

Получение коэффициентов выбросов по конкретной стране является *эффективной практикой* при наличии соответствующих экспериментальных данных. Более того, использование уточненной классификации для климата и систем управления считается *эффективной практикой* при наличии значительных различий в измеренных темпах потерь углерода между предлагаемыми классами. Следует отметить, что любое получение должно сопровождаться достаточными данными о землепользовании, деятельности по управлению и окружающей среде, чтобы представлять предлагаемые климатические

зоны и системы управления на национальном уровне. При разработке кадастра уровня 2 для органических почв актуальны схожие с упоминавшимися для минеральных почв соображения.

Коэффициенты выбросов по конкретной стране для органических почв могут основываться на измерениях годовых уменьшений запасов углерода для всего профиля почвы. Другой альтернативой является использование просадки грунта в качестве суррогатной меры для потерь углерода в результате осушения (например, Armentano and Menges, 1986). Потери углерода рассчитываются как доля годовой просадки грунта, относимой за счет окисления органического вещества, содержания углерода минерализованного органического вещества и объемной плотности почвы (Ogle *et al.*, 2003).

Неорганический углерод почвы

См. обсуждение по этой подкатегории в разделе об уровне 1.

Уровень 3: Современные системы оценки

Подходы уровня 3 для углерода почвы включают в себя разработку современных систем оценки. Они, как правило, лучше учитывают годовую изменчивость потоков в отличие от подходов уровня 1 и 2, которые большей частью предполагают постоянство годовых изменений в запасах углерода в течение периода кадастра, основанное на использовании коэффициента изменения запасов. По существу уровни 1 и 2 представляют влияние землепользования и управления на запасы углерода почвы как линейное смещение из одного равновесного состояния в другое. Для лучшего понимания сущности важно отметить, что запасы углерода почвы обычно не пребывают в абсолютно равновесном состоянии и не меняются по линейному закону в течение переходного периода, учитывая, что многие управляющие переменные, влияющие на запасы, являются динамичными, периодическими и кратковременно меняющимися до достижения нового почти равновесного состояния. Подходы уровня 3 могут справиться с этой нелинейностью, используя более современные модели, чем методы уровней 1 и 2 и/или путем разработки основанного на измерениях кадастра с сетью мониторинга. Кроме того, кадастры уровня 3 способны учитывать долговременное влияние землепользования и управления. В противоположность этому подходы уровней 1 и 2 обычно учитывают только последнее воздействие землепользования и управления, например, за последние 20 лет для минеральных запасов углерода. См. раздел 2.5 (Общие руководящие указания для методов уровня 3), где дано дополнительное обсуждение методов уровня 3, помимо приведенного ниже текста.

Минеральные почвы

Основанные на моделях подходы могут использовать механистические имитационные модели, которые учитывают основополагающие процессы, влияющие на поступление углерода в почву и потери углерода из почвы в количественном выражении, например, влияние землепользования и управления на процессы, контролируемые поступление углерода от продукции растениеводства и опавшей листвы, а также от микробного разложения (например, McGill, 1996; Smith *et al.*, 1997b; Smith *et al.*, 2000; Falloon and Smith, 2002; and Tate *et al.*, 2005). Следует отметить, что методы уровня 3 предоставляют единственную в настоящее время возможность подробно оценить воздействие эрозии почвы на потоки углерода. Кроме того, основанные на моделях подходы уровня 3 могут представлять переносы углерода между биомассой, мертвой биомассой и почвой, что является преимуществом, так как обеспечивает сохранение массы в прогнозируемых изменениях запасов углерода в этих резервуарах с учетом поглощений и выбросов в атмосферу CO₂.

Подходы уровня 3 с использованием моделирования способны учитывать влияние землепользования и управления с динамическим представлением условий окружающей среды на процессы, контролируемые запасы углерода в почве (например, погода, эдафические характеристики и другие переменные). Воздействие землепользования и управления на запасы углерода в почве может варьировать с изменением условий окружающей среды и такие изменения не учитываются на более низких уровнях, что может привести к погрешностям в полученных результатах. Таким образом, подходы уровня 3 способны обеспечить более точную оценку изменений запасов углерода, связанных с землепользованием и деятельностью по управлению.

Для подходов уровня 3 потребуется сеть реперных площадок, чтобы оценить результаты моделей. Идеально было бы установить ряд постоянных реперных мониторинговых площадок по схеме со статистическими репликами, которые охватывали бы основные климатические регионы, типы почвы и системы управления, а также изменения систем, и позволяли бы производить повторные измерения запасов органического углерода в почве с течением времени (Smith, 2004a). Мониторинг основывается на повторных отборах проб с участков через каждые 3-5 лет или через каждые 10 лет; более частый отбор проб не покажет существенной разницы в связи с небольшими годовыми изменениями в запасах углерода на фоне огромного суммарного количества углерода в почве (IPCC, 2000; Smith, 2004b).

Помимо основанных на моделях подходов, методы уровня 3 дают возможность разработать основанный на измерениях кадастр с использованием такой же сети мониторинга, которая требуется для оценки

моделей. Тем не менее, для сетей измерений, служащих в качестве основы для полного кадастра, плотность отбора проб будет значительно выше для минимизации неопределенности и представления всех систем управления и соответствующих изменений землепользования по всем климатическим регионам и основным типам почв (Sleutel *et al.*, 2003; Lettens *et al.*, 2004). Сети измерений могут базироваться на отборе проб почвы на реперных площадках или сетях поточных колонок. Поточные колонки, такие как колонки, использующие вихревые ковариационные системы (Baldocchi *et al.*, 2001), уникальны тем, что измеряют *сальдо* обмена CO₂ между атмосферой и поверхностью земли. Таким образом, в отношении изменений в запасах углерода резервуара почвы для сетей измерений с поточными колонками требуются следующие пояснения: 1) колонки должны устанавливаться с достаточной плотностью, чтобы представлять потоки для всей страны; 2) оценки потоков должны относиться к отдельным секторам землепользования и конкретным видам деятельности по землепользованию и управлению; и 3) потоки CO₂ должны относиться к отдельным резервуарам, включая изменения запасов в почве (а также в биомассе и мертвом органическом веществе). Дополнительные соображения по измерениям почвы приводятся в предыдущем разделе по методам уровня 2 для минеральных почв (см. обсуждение по коэффициентам изменения запасов).

Важно отметить, что кадастры на основе измерений представляют подходы с полной оценкой углерода, учитывающие все воздействия на запасы углерода в почве. Частичная оценка влияний только землепользования и управления может оказаться затруднительной.

Органические почвы

Аналогично минеральным почвам выбросы CO₂, связанные с землепользованием и обработкой органических почв, могут быть оценены с помощью подхода на основе моделей или измерений. Динамические механистические модели обычно используются для моделирования основополагающих процессов; они позволяют учитывать влияние землепользования и управления, в частности, влияние различных уровней осушения на разложение. Для основанных на моделях и измерениях подходов к оценке изменений запасов почвенного углерода, связанных с обработкой органических почв, важны те же соображения, которые были упомянуты для минеральных почв.

Неорганический углерод почвы

Подход уровня 3 может быть далее усовершенствован для оценки потоков, связанных с воздействием управления на резервуары неорганического углерода почвы. Например, ирригация может оказать влияние на запасы и потоки неорганического углерода почвы, но направление и абсолютное значение зависят от источника и природы ирригационных вод, а также источника, количества и динамики удаляемого растворенного неорганического углерода.

В засушливых и полузасушливых регионах внесение гипса (CaSO₄ · 2H₂O) может привести к повышению в почве запасов неорганического углерода в зависимости от количества Ca²⁺, которое замещает Na⁺ в коллоидах почвы, в результате реакции с бикарбонатом и осаждения кальцита (CaCO₃). Другие виды деятельности по землепользованию и управлению, например, лесовозобновление/облесение и практика кислования почвы также могут влиять на запасы неорганического углерода в почве. Тем не менее, эти изменения могут привести к поступлениям углерода в этот резервуар или потерям из него в зависимости от конкретных условий на месте, и количественные результаты, соответствующие данной деятельности, могут оказаться незначительными.

В настоящее время имеется лишь несколько моделей для оценки изменений в неорганическом углероде почвы в результате землепользования и управления, и, таким образом, использование подхода уровня 3 может потребовать много времени и ресурсов. Если имеется достаточно данных и знаний и, если виды деятельности, которые оказывают значительное влияние на запасы неорганического углерода почвы, преобладают, то *эффективная практика* для стран заключается в проведении всестороннего гидрогеохимического анализа, включающего все важные виды деятельности по землепользованию и управлению, для оценки их влияния на запасы неорганического углерода. Для отделения деятельности в области землепользования и управления от неантропогенных влияний потребуется использование подхода на основе моделирования. В качестве альтернативы может использоваться основанный на измерениях подход с использованием периодического отбора проб на реперных площадках на управляемых землях для определения запасов неорганического углерода *in situ* или, возможно, потоков CO₂ в сочетании с сетью мониторинга для органического углерода почвы, как описано выше для минеральных почв. Тем не менее, определение количества и динамики растворенного неорганического углерода потребует дальнейших измерений, моделирования и упрощающих допущений, например, все потери при вымывании неорганического углерода предполагаются происходящими в виде выбросов CO₂ в атмосферу.

2.4 ВЫБРОСЫ ИНЫХ, ЧЕМ CO₂, ГАЗОВ

Значительные выбросы парниковых газов происходят при сжигании биомасс, от домашнего скота и систем уборки, хранения и использования навоза.

Выбросы N₂O из почв рассматриваются в главе 11, где приводятся руководящие указания по методам, которые могут быть применены на национальном уровне (т.е. независимо от типа землепользования), если страна выбирает вариант использования данных о деятельности в национальном масштабе. Руководящие указания по выбросам CH₄ и N₂O от домашнего скота и навоза рассматриваются только в главе 10, так как эти выбросы не зависят от характеристик земель. Общий подход к оценке выбросов парниковых газов от пожаров (как CO₂, так и иных, чем CO₂, газов) описывается ниже; более подробная информация по конкретным видам землепользования приводится в главах, посвященных лесным площадям, пастбищным угодьям и возделываемым землям. Эффективная практика заключается в проверке полноты охвата выбросов CO₂ и иных, чем CO₂, газов, связанных с потерями в запасах и резервуарах углерода, во избежание упущений или повторного учета.

Выбросы от пожаров включают в себя не только CO₂, но также и другие парниковые газы или прекурсоры парниковых газов, которые образуются в результате неполного сгорания топлива. Сюда входят оксид углерода (CO), метан (CH₄), летучие неметановые органические соединения (ЛНОС) и азотсодержащие соединения (например, N₂O, NO_x) (Levine, 1994). В *Руководящих принципах МГЭИК 1996 г.* и *РУЭП2000* выбросы иных, чем CO₂, парниковых газов от пожаров в саваннах и сжигания пожнивных остатков рассматривались вместе с выбросами от переустройства лесных площадей и пастбищ. Методология в некоторой степени различалась для различных типов растительности и пожары на лесных площадях не включались. В *РУЭП-ЗИЗЛХ* рассматривались выбросы (CO₂ и иных, чем CO₂, газов) от пожаров, в частности, в главе, посвященной лесным площадям (потери углерода в результате возмущений). В главах, посвященных возделываемым землям и пастбищам, рассматривались только выбросы иных, чем CO₂, газов с допущением о том, что выбросы CO₂ должны уравниваться поглощениями CO₂ за счет последующего подраста растительности в течение 1 года. Это допущение предполагает поддержание плодородия почвы – страны могут игнорировать это допущение, если у них имеется доказательство снижения плодородия в результате пожара. На лесных площадях обычно наблюдается отсутствие синхронности (неэквивалентность выбросов и поглощений CO₂ в год составления отчетности).

В данных Руководящих принципах предоставляется более общий подход к оценке выбросов от пожара. Пожар рассматривается как возмущение, влияющее не только на биомассу (в частности, надземную), но также на мертвое органическое вещество (подстилку и валежную древесину). Термин «сжигание биомассы» широко используется и сохранен в данных Руководящих принципах, но с подтверждением того, что зачастую очень важны прочие топливные компоненты помимо живой биомассы, особенно в лесных системах. В случае возделываемых земель и пастбищ, имеющих лишь небольшое количество древесной растительности, обычно ссылаются на сжигание биомассы, так как биомасса является основным резервуаром, на который влияет пожар.

При оценке выбросов парниковых газов в результате пожаров на лесных площадях, возделываемых землях и пастбищах страны должны применять следующие принципы:

- Охват отчетности: На управляемых землях выбросы (CO₂ и иных, чем CO₂, газов) должны указываться в отчетности для всех (как управляемых, так и стихийных) пожаров (исключением является CO₂ от пастбищ, как указано ниже). В случае изменения землепользования любые выбросы парниковых газов от пожаров должны указываться в новой категории землепользования (переходной категории). Выбросы от стихийных пожаров (и вышедших из-под контроля управляемых пожаров), происходящих на неуправляемых землях, не должны указываться, кроме случаев, когда на этих землях производится изменение землепользования (т.е. земли становятся управляемыми).
- Пожар как средство управления (управляемое сжигание): выбросы парниковых газов от выжигаемой площади указываются; в случае, если пожар затрагивает неуправляемые земли, то соответствующие выбросы парниковых газов также должны указываться при условии, что вслед за пожаром следует изменение землепользования.
- Эквивалентность (синхронность) выбросов и поглощений CO₂: если в год кадастра выбросы и поглощения CO₂ для резервуара биомассы не эквивалентны, то в отчетности необходимо указывать результирующие выбросы CO₂. Для сжигания биомассы на пастбищах и сжигания сельскохозяйственных остатков допущение эквивалентности обычно является обоснованным. Тем не менее, в этих категориях земель также может сжигаться древесная растительность, и выбросы парниковых газов из этого источника должны указываться с использованием методики более высоких уровней. Более того, во многих частях мира выпасы являются преобладающим видом

землепользования на лесных площадях, периодически подвергающихся выжиганию (например, леса с пастбищными угодьями и саванны), и необходимо быть осторожным при допущении синхронности в таких системах. В случае лесных площадей синхронность маловероятна при гибели существенной части древесной биомассы (когда потери эквивалентны приросту и накоплению углерода за несколько лет), и при этом необходимо указывать результирующие выбросы. Примеры: расчистка девственного леса и переустройство в сельскохозяйственные угодья и/или плантации и стихийные пожары на лесных площадях.

- Доступное для горения топливо: Необходимо учитывать факторы, снижающие количество доступного для горения топлива (например, выпас, разложение, изъятие биотоплива, откорм скота и т.д.). Во избежание недооценки или двойного учета при расчете остатков необходимо использовать подход, основанный на балансе масс (см. раздел 2.3.2).
- Ежегодное представление докладов: несмотря на значительную пространственную и временную изменчивость, которая присуща пожарам (в частности, стихийным пожарам), страны должны ежегодно оценивать и указывать в докладах выбросы парниковых газов от пожаров.

В данных Руководящих принципах представлен всеобъемлющий подход к оценке изменений запасов углерода и выбросов иных, чем CO_2 , газов от пожаров на лесных площадях (включая выбросы, происходящие в результате переустройства лесов), а также выбросов иных, чем CO_2 , газов от возделываемых земель и пастбищ. Выбросы иных, чем CO_2 , газов рассматриваются для следующих пяти типов сжигания: (1) выжигание пастбищ (в том числе выжигание площадей, покрытых многолетним деревянистым кустарником, и саванн); (2) сжигание сельскохозяйственных остатков; (3) сжигание подстилки, нижнего яруса насаждений и остатков заготовок на лесных площадях; (4) выжигание лесных площадей с последующей расчисткой и переустройством в сельскохозяйственные угодья; и (5) другие типы сжигания (в том числе в результате стихийных пожаров). Прямые выбросы CO_2 рассматриваются также для пунктов (3), (4) и (5). Так как оценка выбросов для этих различающихся категорий имеет много общих элементов, в данном разделе представлен общий подход к оценке выбросов CO_2 и иных, чем CO_2 , газов от пожаров во избежание повторов в разделах настоящих Руководящих принципов, посвященных конкретным землепользованиям.

Управляемое сжигание саванн включено в раздел о сжигании биомассы пастбищ (глава 6, "Пастбища", раздел 6.3.4). Важно избегать двойного учета при оценке выбросов парниковых газов от саванн, имеющих облик растительности, характерный для лесных площадей. Примером этого служит *cerradão* (саванна с почти непрерывным лесным пологом) в Бразилии, которая, хотя и является типом саванны, включена в категорию лесных площадей в связи с биофизическими характеристиками.

Помимо выбросов парниковых газов от горения пожары могут привести к образованию запаса инертного углерода (древесного угля). В остатках после пожара содержатся несгоревшие и частично сгоревшие компоненты, а также небольшое количество древесного угля, который в силу своей химической природы очень устойчив к разложению. В настоящее время очень мало информации о темпах образования древесного угля при различных условиях сжигания и интенсивностях последующего круговорота (Forbes *et al.*, 2006; Preston and Schmidt, 2006), чтобы можно было разработать соответствующую надежную методологию для использования в кадастрах, и, поэтому данные Руководящие принципы не предлагают такой методологии. Техническая основа для дальнейшей методологической разработки включена в дополнение 1.

Кроме того, хотя в результате пожара происходят также выбросы ЛНОС, они не рассматриваются в настоящих Руководящих принципах вследствие недостаточности данных и неопределенности по многим необходимым для оценки ключевым параметрам, что мешает выработке надежных оценок для выбросов.

ОПИСАНИЕ МЕТОДОВ

Каждый соответствующий раздел в настоящих Руководящих принципах включает в себя трехуровневый подход к рассмотрению выбросов CO_2 (там, где это применимо) и иных, чем CO_2 , парниковых газов от пожаров. Для выбора уровня необходимо выполнить шаги по схеме принятия решений, представленной на рисунке 2.6. При подходе уровня 1 для оценки выбросов CO_2 и иных, чем CO_2 , газов от пожара можно применить представленную в уравнении 2.27 формулировку с использованием данных по умолчанию, приведенных в этой главе и в соответствующих разделах по землепользованию настоящих Руководящих принципов. Более высокие уровни предполагают более уточненное применение уравнения 2.27.

Так как методология уровня 1 принимает упрощенный подход к оценке резервуара мертвого органического вещества (см. раздел 2.3.2), то необходимо сделать определенные допущения при оценке результирующих выбросов парниковых газов от пожара в тех системах (например, лесные площади и лесные площади, переустроенные в другое землепользование), в которых мертвое органическое вещество может являться основным компонентом сжигаемого топлива. Для сожженных, но не погибших

в пожаре лесов выбросы CO₂ от мертвого органического вещества предполагаются равными нулю. Если пожар достаточно интенсивен, чтобы погубить часть древостоя, то, согласно методологии уровня 1, содержащийся в погибшей биомассе углерод, считается немедленно высвободившимся в атмосферу. Такое упрощение для уровня 1 может привести к переоценке действительных выбросов в год пожара, если количество «погибшего» при пожаре углерода биомассы превышает количество углерода валежной древесины и подстилки, которое было потреблено (т.е. сгорело) при пожаре.

Выбросы иных, чем CO₂, парниковых газов оцениваются для всех пожарных ситуаций. На уровне 1 выбросы иных, чем CO₂, газов лучше всего оцениваются с использованием данных фактического потребления топлива, представленных в таблице 2.4 и соответствующих коэффициентов выбросов (таблица 2.5) (т.е. без учета новой погибшей биомассы в качестве компонента потребляемого топлива). Очевидно, что если лесные пожары вносят значительный вклад в результирующие выбросы парниковых газов, то странам рекомендуется разработать более полную методологию (более высокого уровня), которая учитывает динамику мертвого органического вещества и дает более лучшие оценки выбросов непосредственно при пожарах и после них.

Для лесных площадей, переустроенных в другие категории землепользования, сжигаемое органическое вещество берется как от вновь поваленной растительности, так и от существующего мертвого органического вещества, и выбросы CO₂ должны указываться в отчетности. В данной ситуации оценки суммарного потребления топлива (таблица 2.4) могут использоваться для оценки выбросов CO₂ и непарниковых газов с применением уравнения 2.27. Тем не менее, необходимо следить, чтобы не произошло двойного учета потерь углерода мертвого органического вещества в процессе переустройства землепользования в уравнениях 2.27 (как потери от сжигания) и уравнении 2.23 (как потери от разложения).

Общая методология оценки выбросов отдельных парниковых газов от пожара любого типа сведена в уравнение 2.27.

УРАВНЕНИЕ 2.27
ОЦЕНКА ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ ПОЖАРА

$$L_{\text{пожар}} = A \cdot M_B \cdot C_f \cdot G_{ef} \cdot 10^{-3}$$

где:

$L_{\text{пожар}}$ = количество выбросов парниковых газов от пожара; тонны каждого парникового газа, например, CH₄, N₂O и т.д.,

A = выжигаемая площадь; га,

M_B = масса доступного для горения топлива; тонны/га. Сюда входят биомасса, подстилка и валежная древесина. При использовании методов уровня 1 резервуары подстилки и валежной древесины предполагаются равными нулю, исключая случаи, когда имеет место изменение землепользования (см. раздел 2.3.2.2).

C_f = коэффициент сгорания; не имеет размерности (значения по умолчанию в таблице 2.6),

G_{ef} = коэффициент выбросов; г/кг сжигаемого сухого вещества (значения по умолчанию в таблице 2.5).

Примечание: Если данные для M_B и C_f недоступны, то может быть использовано значение по умолчанию для количества фактически сожженного топлива (произведение M_B и C_f) в рамках методологии уровня 1 (таблица 2.4).

В отношении выбросов CO₂ уравнение 2.27 соотносится с уравнением 2.14, которое позволяет оценить годовое количество потерь живой биомассы в результате любого типа возмущения.

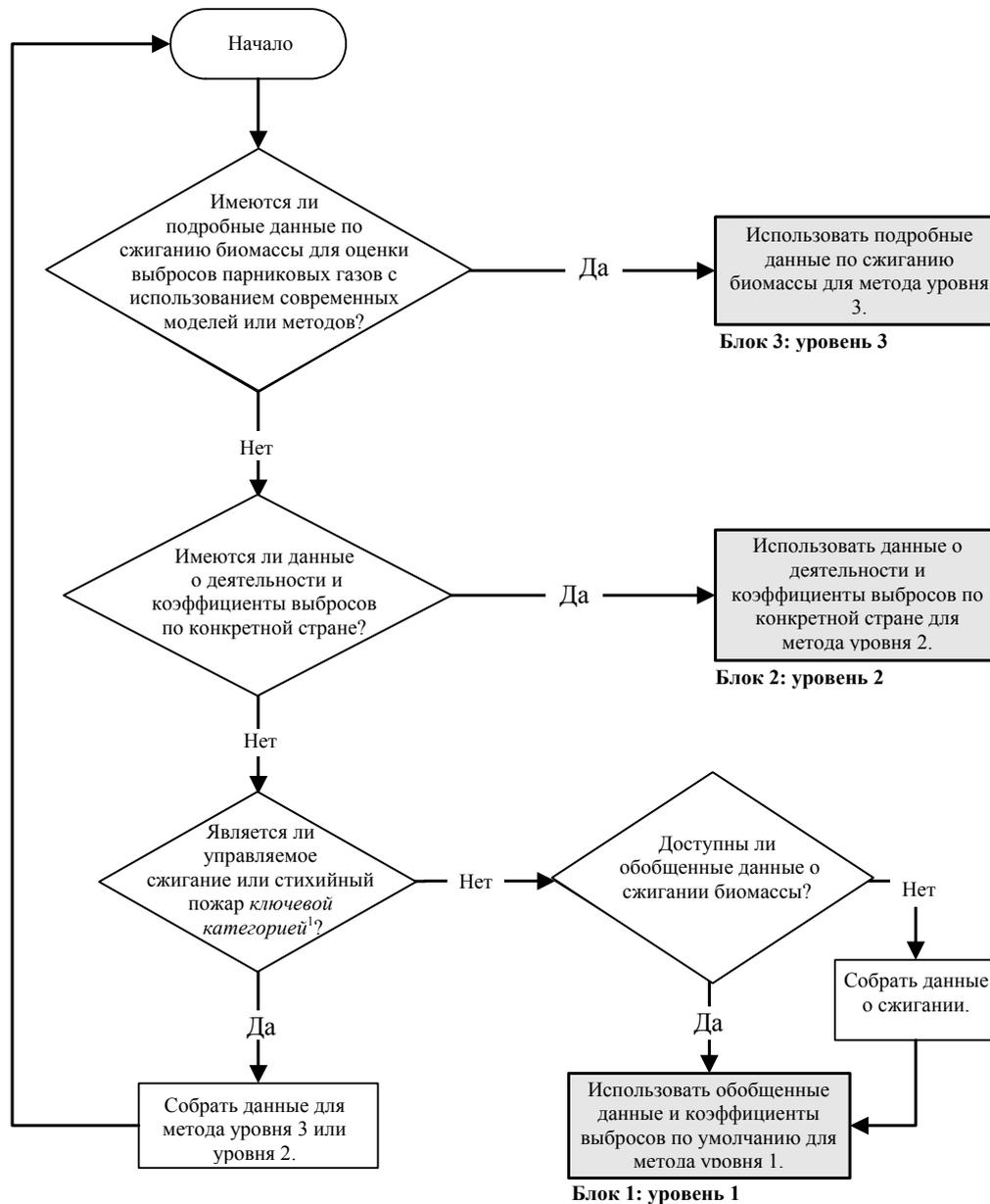
Количество топлива, которое может быть сожжено, определяется площадью выжигания и плотностью топлива, имеющегося на этой площади. При расчете плотности топлива может учитываться биомасса, валежная древесина и подстилка, которая варьирует в зависимости от типа, возраста и состояния растительности. Тип пожара также влияет на количество доступного для горения топлива. Например, топливо, доступное для малоинтенсивных низовых пожаров в лесах, в основном ограничивается подстилкой и мертвым органическим веществом на поверхности земли, тогда как при высокоинтенсивных верховых пожарах могут также потребляться существенные количества древесной биомассы.

Коэффициент сгорания является мерой доли топлива, которая действительно сгорает; этот коэффициент варьирует в зависимости от размера и архитектуры запаса топлива (т.е. в случае крупномерного топлива,

например, стволы деревьев, сгорает меньшая доля, чем в случае мелкомерного топлива, например, трава, листья), влажности топлива и типа пожара (т.е. зависимость от интенсивности и скорости распространения, на которые оказывают заметное влияние изменчивость климата и региональные различия, как показано в таблице 2.6). Наконец, коэффициент выбросов дает количество конкретного парникового газа, которое выделяется при сгорании единицы сухого вещества; этот коэффициент может варьировать в зависимости от содержания углерода в биомассе и полноты сгорания. Для видов с высокой концентрацией N выбросы NO_x и N_2O при пожаре могут варьировать в зависимости от содержания N в топливе. Andreae и Merlet (2001) провели всесторонний анализ коэффициентов выбросов, результаты которого кратко представлены в таблице 2.5.

В методах уровня 2 используется тот же общий подход, как и на уровне 1, но при этом используются более точные коэффициенты выбросов по конкретной стране и/или более точные оценки для плотностей топлива и коэффициентов сгорания по сравнению с приведенными в таблицах данными по умолчанию. Методы уровня 3 являются более полными и учитывают динамику топлива (биомассы и мертвого органического вещества).

Рисунок 2.6 Общая схема принятия решений при определении подходящего уровня для оценки выбросов парниковых газов от пожара в какой-либо категории землепользования.



Примечание:

1: Обсуждение *ключевых категорий* и применение схемы принятия решений см. в томе 1, глава 4 (Методологический выбор и определение ключевых категорий) (обратить внимание на раздел 4.1.2 об ограниченных ресурсах).

ТАБЛИЦА 2.4				
ПОТРЕБЛЕНИЕ ТОПЛИВНОЙ БИОМАССЫ (МЕРТВОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПЛЮС ЖИВАЯ БИОМАССА) ДЛЯ				
ПОЖАРОВ В ДИАПАЗОНЕ ТИПОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ; ТОННЫ СУХОГО ВЕЩЕСТВА /ГА				
(Использовать в уравнении 2.27 для оценки произведения количеств ' $M_B \cdot C_F$ ', т.е. абсолютного количества)				
Тип растительности	Подкатегория	Среднее значение	Систем. ошибка	Ссылки
Девственный тропический лес (подсечно-огневая система земледелия)	Девственный тропический лес	83,9	25,8	7, 15, 66, 3, 16, 17, 45
	Девственный низкополотный тропический лес	163,6	52,1	21,
	Девственный тропический увлажненный лес	160,4	11,8	37, 73
	Девственный тропический сухой лес	-	-	66
Все девственные тропические леса		119,6	50,7	
Вторичный тропический лес (подсечно-огневая система земледелия)	Молодой вторичный тропический лес (3-5 лет)	8,1	-	61
	Промежуточный вторичный тропический лес (6-10 лет)	41,1	27,4	61, 35
	Продвинутый вторичный тропический лес (14-17 лет)	46,4	8,0	61, 73
Все вторичные тропические леса		42,2	23,6	66, 30
Все третичные тропические леса		54,1	-	66, 30
Бореальный лес	Стихийный пожар (обычный)	52,8	48,4	2, 33, 66
	Верховой пожар	25,1	7,9	11, 43, 66, 41, 63, 64
	Надземный пожар	21,6	25,1	43, 69, 66, 63, 64, 1
	Сжигание порубочных остатков после лесозаготовки	69,6	44,8	49, 40, 66, 18
	Сведение растительности пожаром	87,5	35,0	10, 67
Все бореальные леса		41,0	36,5	43, 45, 69, 47
Эвкалиптовые леса	Стихийный пожар	53,0	53,6	66, 32, 9
	Управляемый пожар – (надземный)	16,0	13,7	66, 72, 54, 60, 9
	Сжигание порубочных остатков после лесозаготовки	168,4	168,8	25, 58, 46
	Порублено, изъято и сожжено (пожар для расчистки площади)	132,6	-	62, 9
Все эвкалиптовые леса		69,4	100,8	
Прочие умеренные леса	Стихийный пожар	19,8	6,3	32, 66
	Сжигание порубочных остатков после лесозаготовки	77,5	65,0	55, 19, 14, 27, 66
	Порублено и сожжено (пожар для расчистки площади)	48,4	62,7	53, 24, 71
Все «прочие» умеренные леса		50,4	53,7	43, 56

ТАБЛИЦА 2.4 (ПРОДОЛЖЕНИЕ)				
ПОТРЕБЛЕНИЕ ТОПЛИВНОЙ БИОМАССЫ (МЕРТВОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПЛЮС ЖИВАЯ БИОМАССА) ДЛЯ ПОЖАРОВ В ДИАПАЗОНЕ ТИПОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ; ТОННЫ СУХОГО ВЕЩЕСТВА /ГА				
(Использовать в уравнении 2.27 для оценки произведения количеств ' $M_B \cdot C_F$ ', т.е. абсолютного количества)				
Тип растительности	Подкатегория	Среднее значение	Систем. ошибка	Ссылки
Кустарники	Кустарники (общие)	26,7	4,2	43
	<i>Вересковая</i> пустошь	11,5	4,3	26, 39
	Польнно-кустарниковая полупустыня	5,7	3,8	66
	Мелкий кустарник	12,9	0,1	70, 66
Все кустарниковые земли		14,3	9,0	
Саванное редколесье (палы в начале сухого сезона)*	Саванное редколесье	2,5	-	28
	Саванные парки	2,7	-	57
Все саванное редколесье (палы в начале сухого сезона)		2,6	0,1	
Саванное редколесье (палы в середине/конце сухого сезона)*	Саванное редколесье	3,3	-	57
	Саванные парки	4,0	1,1	57, 6, 51
	Тропическая саванна	6	1,8	52, 73
	Прочие типы саванного редколесья	5,3	1,7	59, 57, 31
Все саванное редколесье (палы в середине/конце сухого сезона)*		4,6	1,5	
Саванные пастбища/выпасы (палы в начале сухого сезона)*	Тропические/субтропические пастбища	2,1	-	28
	Пастбища	-	-	48
Все саванные пастбища (палы в начале сухого сезона)*		2,1	-	
Саванные пастбища/выпасы (палы в середине/конце сухого сезона)*	Тропические/субтропические пастбища	5,2	1,7	9, 73, 12, 57
	Пастбища	4,1	3,1	43, 9
	Тропические выпасы [~]	23,7	11,8	4, 23, 38, 66
	Саванна	7,0	2,7	42, 50, 6, 45, 13, 65
Все саванные пастбища (палы в середине/конце сухого сезона)*		10,0	10,1	
Прочие типы растительности	Торфяники	41	1,4	68, 33
	Тундра	10	-	33
Сельскохозяйственные остатки (выжигание полей после уборки урожая)	Пожнивные остатки пшеницы	4,0		См. примечание b
	Пожнивные остатки кукурузы	10,0		См. примечание b
	Пожнивные остатки риса	5,5		См. примечание b
	Сахарный тростник ^a	6,5		См. примечание b
* Сгорание только приземного слоя				
[~] Получено от вырубленных тропических лесов (включает несгоревшие древесные материалы)				
^a Данные для сахарного тростника относятся к сжиганию до уборки урожая.				
^b Экспертная оценка, проведенная авторами.				

ТАБЛИЦА 2.5					
КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЫБРОСОВ (Г/КГ СУХОГО СЖИГАЕМОГО ВЕЩЕСТВА) ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СЖИГАНИЯ					
УКАЗАННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ЯВЛЯЮТСЯ СРЕДНИМИ ЗНАЧЕНИЯМИ ± СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКИЕ ОТКЛОНЕНИЯ И					
ОСНОВАНЫ НА ВСЕСТОРОННЕМ АНАЛИЗЕ, ПРОВЕДЕННОМ ANDREAЕ И MERLET (2001 Г.)					
(Использовать как количественное значение для 'G_{ef}' в уравнении 2.27:					
Категория	CO₂	CO	CH₄	N₂O	NO_x
Саванна и пастбища	1613 ± 95	65 ± 20	2,3 ± 0,9	0,21 ± 0,10	3,9 ± 2,4
Сельскохозяйственные отходы	1515 ± 177	92 ± 84	2,7	0,07	2,5 ± 1,0
Тропический лес	1580 ± 90	104 ± 20	6,8 ± 2,0	0,20	1,6 ± 0,7
Внетропический лес	1569 ± 131	107 ± 37	4,7 ± 1,9	0,26 ± 0,07	3,0 ± 1,4
Сжигание биотоплива	1550 ± 95	78 ± 31	6,1 ± 2,2	0,06	1,1 ± 0,6
Примечание: Категория «внетропический лес» включает в себя все остальные типы леса.					
Примечание: Для горения недревесной биомассы на пастбищах и возделываемых землях нет необходимости оценивать и указывать в отчетности выбросы CO ₂ , так как предполагается, что связанные с биомассой годовые поглощения CO ₂ (при росте) и выбросы CO ₂ (при разложении или пожарах) сбалансированы (см. о синхронности в разделе 2.4).					

ТАБЛИЦА 2.6				
ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ СГОРАНИЯ (ЧАСТЬ ПОТРЕБЛЕННОЙ БИОМАССЫ ДО ВЫЖИГАНИЯ) ДЛЯ ВЫЖИГАНИЯ В ДИАПАЗОНЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ				
(Значения в столбце «среднее значение» должны использоваться как количественные значения для 'C _f ' в уравнении 2.27)				
Тип растительности	Подкатегория	Среднее значение	Среднеквадратичное отклонение	Ссылки
Девственный тропический лес (подсечно-огневая система земледелия)	Девственный тропический лес	0,32	0,12	7, 8, 15, 56, 66, 3, 16, 53, 17, 45,
	Девственный низкополотный тропический лес	0,45	0,09	21
	Девственный тропический увлажненный лес	0,50	0,03	37, 73
	Девственный тропический сухой лес	-	-	66
Все девственные тропические леса		0,36	0,13	
Вторичный тропический лес (подсечно-огневая система земледелия)	Молодой вторичный тропический лес (3-5 лет)	0,46	-	61
	Промежуточный вторичный тропический лес (6-10 лет)	0,67	0,21	61, 35
	Продвинутый вторичный тропический лес (14-17 лет)	0,50	0,10	61, 73
Все вторичные тропические леса		0,55	0,06	56, 66, 34, 30
Все третичные тропические леса		0,59	-	66, 30
Бореальный лес	Стихийный пожар (обычный)	0,40	0,06	33
	Верховой пожар	0,43	0,21	66, 41, 64, 63
	Надземный пожар	0,15	0,08	64, 63
	Сжигание порубочных остатков после лесозаготовки	0,33	0,13	49, 40, 18
	Сведение растительности пожаром	0,59	-	67
Все бореальные леса		0,34	0,17	45, 47
Эвкалиптовые леса	Стихийный пожар	-	-	
	Управляемый пожар – (надземный)	0,61	0,11	72, 54, 60, 9
	Сжигание порубочных остатков после лесозаготовки	0,68	0,14	25, 58, 46
	Порублено и сожжено (пожар для расчистки площади)	0,49	-	62
Все эвкалиптовые леса		0,63	0,13	
Прочие умеренные леса	Сжигание порубочных остатков после лесозаготовки	0,62	0,12	55, 19, 27, 14
	Порублено и сожжено (пожар для расчистки площади)	0,51	-	53, 24, 71
Все «прочие» умеренные леса		0,45	0,16	53, 56

ТАБЛИЦА 2.6 (ПРОДОЛЖЕНИЕ)				
ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ СГОРАНИЯ (ЧАСТЬ ПОТРЕБЛЕННОЙ БИОМАССЫ ДО ВЫЖИГАНИЯ) ДЛЯ ВЫЖИГАНИЯ В ДИАПАЗОНЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ				
(Значения в столбце «среднее значение» должны использоваться как количественные значения для 'C _f ' в уравнении 2.27)				
Тип растительности	Подкатегория	Среднее значение	Среднеквадратичное отклонение	Ссылки
Кустарники	Кустарники (общие)	0,95	-	44
	<i>Вересковая</i> пустошь	0,71	0,30	26, 56, 39
	Мелкий кустарник	0,61	0,16	70, 44
Все кустарниковые земли		0,72	0,25	
Саванное редколесье (палы в начале сухого сезона)*	Саванное редколесье	0,22	-	28
	Саванные парки	0,73	-	57
	Прочие типы саванного редколесья	0,37	0,19	22, 29
Все саванное редколесье (палы в начале сухого сезона)		0,40	0,22	
Саванное редколесье (палы в середине/конце сухого сезона)*	Саванное редколесье	0,72	-	66, 57
	Саванные парки	0,82	0,07	57, 6, 51
	Тропическая саванна	0,73	0,04	52, 73, 66, 12
	Прочие типы саванного редколесья	0,68	0,19	22, 29, 44, 31, 57
Все саванное редколесье (палы в середине/конце сухого сезона)*		0,74	0,14	
Саванные пастбища/выпасы (палы в начале сухого сезона)*	Тропические/субтропические пастбища	0,74	-	28
	Пастбища	-	-	48
Все саванные пастбища (палы в начале сухого сезона)*		0,74	-	
Саванные пастбища/выпасы (палы в середине/конце сухого сезона)*	Тропические/субтропические пастбища	0,92	0,11	44, 73, 66, 12, 57
	Тропические выпасы [~]	0,35	0,21	4, 23, 38, 66
	Саванна	0,86	0,12	53, 5, 56, 42, 50, 6, 45, 13, 44, 65, 66
Все саванные пастбища (палы в середине/конце сухого сезона)*		0,77	0,26	
Прочие типы растительности	Торфяники	0,50	-	20, 44
	Тропические водно-болотные угодья	0,70	-	44
Сельскохозяйственные остатки (выжигание полей после уборки урожая)	Пожнивные остатки пшеницы	0,90	-	См. примечание b
	Пожнивные остатки кукурузы	0,80	-	См. примечание b
	Пожнивные остатки риса	0,80	-	См. примечание b
	Сахарный тростник ^a	0,80	-	См. примечание b
* Сгорание только приземного слоя				
[~] Получено от вырубленных тропических лесов (включает несгоревшие древесные материалы)				
^a Данные для сахарного тростника относятся к сжиганию до уборки урожая.				
^b Экспертная оценка, проведенная авторами.				

2.5 ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ОБЩИЕ РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО МЕТОДАМ УРОВНЯ 3

Представленные в настоящем томе руководящие принципы сосредоточены в основном на методах уровня 1 и сопровождаются общими руководящими указаниями по разработке кадастра уровня 2. Меньше внимания уделено методам уровня 3, но в данном разделе приводятся некоторые общие руководящие указания по данному вопросу. Кадастры уровня 3 являются современными системами, использующими измерения и/или моделирование с целью улучшения оценки выбросов и поглощений парниковых газов по сравнению с возможностями подходов уровня 1 и 2. В данном разделе приводятся руководящие принципы, которые обеспечивают надежную научную основу для разработки кадастров уровня 3. *Данные руководящие принципы не ограничивают выбор схем отбора проб или подходов к моделированию на уровне 3*, а лишь предоставляют общие руководящие указания, призванные помочь разработчику кадастра в его работе. Конкретные материалы, касающиеся подходов уровня 3 по отдельным категориям источников, могут быть предоставлены позднее в данном томе и послужат дополнением к общим руководящим указаниям, изложенным в этом разделе.

2.5.1 Кадастры уровня 3, основанные на измерениях

Кадастры могут быть основаны на непосредственных измерениях изменений запасов углерода, в связи с которыми оцениваются выбросы и поглощения углерода. Измерения некоторых выбросов иных, чем CO₂, парниковых газов возможны, однако вследствие их высокой пространственной и временной изменчивости методы уровня 3 используют для оценки этих выбросов сочетание измерений с моделированием процессов. Кадастры, основанные исключительно на измерениях, например, основанный на использовании повторяющихся измерений национальный лесной кадастр, могут получать оценки изменений запасов углерода без использования моделей процессов, однако эти кадастры нуждаются в соответствующих статистических моделях для пространственного и временного масштабирования результатов измерений на участках до национального уровня. Подходы, основанные на динамических моделях (например, основанные на процессах модели) для оценки национальных выбросов, будут рассмотрены в разделе 2.5.2. В общем случае внедрение основанного на измерениях кадастра уровня 3 включает в себя шесть этапов.

Этап 1. Разработка схемы выборки (отбора проб). Схемы выборки могут быть разработаны с использованием различных подходов, но обычно включают в себя некоторый уровень рандомизации выборочных пунктов (мест отбора проб) в пределах страт. (Даже в случае кадастров, основанных на постоянных сетках, выбор отправной точки сетки обычно производится случайным образом). Составители кадастров определяют необходимый подход, учитывая масштабы своей страны, ключевые параметры окружающей среды (например, климат) и системы управления в своем регионе. Последние два фактора могут служить в качестве параметров стратификации, учитывая, что схема отбора проб не является полностью случайной. Кроме того, *эффективная практика* при выборке заключается в обеспечении возможно более полного пространственного учета выбросов и/или поглощений для конкретной категории ключевого источника.

Если используется схема с повторными измерениями, то составитель кадастров должен установить необходимый временной период, через который производится отбор проб на выборочных пунктах. Выбор периодичности проведения повторных измерений зависит от скорости изменения запасов или выбросов иных, чем CO₂, парниковых газов. Например, периоды проведения повторных измерений в бореальных и некоторых умеренных регионах, где деревья растут медленно и резервуары МОВ на протяжении ряда лет изменяются мало, могут быть продолжительнее, чем в средах с более быстрой динамикой углерода. При непосредственных измерениях потоков более высокая временная и пространственная изменчивость требует более частой или более интенсивной выборки, чтобы зарегистрировать потоки, которые в противном случае могут не попасть в протоколы измерений.

В некоторых подходах не предусматриваются повторные выборки в одних и тех же пунктах. Такие схемы приемлемы, однако они могут ограничить мощь статистического анализа и, таким образом, привести к большей неопределенности. Весьма вероятно, что в большинстве стран схема с повторными измерениями обеспечит лучшую основу для оценки изменений запасов углерода или выбросов.

Эффективная практика состоит в создании методологического руководства, в котором объясняется схема выборки как части этапа 1. Это руководство может оказаться полезным для тех, кто занимается

измерениями, лабораторными анализами и другими аспектами процесса, а также может предоставить необходимые данные для целей документирования.

Этап 2. Выбор мест для отбора проб (выборочных пунктов). Выборочные пункты будут располагаться в соответствии со схемой выборки. *Эффективная практика* состоит в том, чтобы зарезервировать альтернативные выборочные пункты на тот случай, если отбор проб с первоначально выбранных выборочных пунктов не представится возможным. В схеме с повторными измерениями выборочные пункты становятся сетью мониторинга, в которой периодически производятся выборки.

При определении местоположения выборочных пунктов потребуется использование географической информационной системы. Географическая база данных в зависимости от категории источника и стратификации может включать в себя различные данные по окружающей среде и управлению, например, данные по климату, почвам, землепользованию и животноводческим хозяйствам. Если ключевые данные не доступны на национальном уровне, то разработчик кадастра должен переоценить схему и стратификацию (если таковая используется) на этапе 1, и, возможно, модифицировать схему выборки.

Выборка может потребовать согласования с различными министерствами, местными и федеральными правительственными органами, корпоративными и частными собственниками земли. Установление взаимодействия с этими заинтересованными сторонами может быть начато до сбора исходных образцов. Информирование заинтересованных сторон о вводимом мониторинге может также оказаться полезным и обеспечить больший успех в осуществлении программ мониторинга.

Этап 3. Сбор исходных образцов. Как только будет определена окончательная сеть выборочных пунктов, команда по сбору образцов может посетить их, организовать участки и собрать исходные образцы. Исходные образцы предоставляют данные об исходных запасах углерода или служат в качестве исходной меры выбросов. *Эффективная практика* заключается в создании протоколов полевых измерений, а также лабораторных протоколов до сбора образцов. Кроме того, может оказаться полезным определение географических координат местоположения участков или точек отбора образцов с помощью глобальных систем определения местоположения и, если планируются повторные измерения, то постоянное маркирование местоположения для облегчения его нахождения и повторного отбора образцов в будущем.

Эффективная практика заключается в том, чтобы провести необходимые измерения и при этом отметить состояние окружающей среды и управление на данном месте. Это подтвердит, что условия соответствуют схеме выборки и могут быть также использованы в анализе данных (этап 5). Если используется подход со стратифицированной (расслоенной) выборкой и становится ясным, что многие или большинство мест не соответствуют ожидаемым условиям окружающей среды и системам управления, то *эффективная практика* заключается в повторе этапа 1, переоценке и возможной модификации схемы выборки на основе новой информации.

Этап 4. Периодические выборки в сети мониторинга. В схемах с повторными измерениями производится периодический отбор проб на выборочных пунктах в целях оценки тенденций для запасов углерода или выбросов иных, чем CO₂, газов на протяжении периода кадастра. Продолжительность интервала времени между повторными измерениями зависит от скорости изменений запасов или изменчивости выбросов, доступности ресурсов для программ мониторинга и организации схемы выборки.

При использовании деструктивного отбора проб, например, изъятие образца почвы или биомассы, *эффективная практика* состоит в повторном отборе проб на том же месте, но не в тех же самых точках, в которых производились предыдущие отборы проб. Деструктивный отбор проб в одной и той же точке приводит к систематической погрешности в измерениях. Такие погрешности дискредитируют мониторинг и дают результаты, которые не отражают национальные тенденции.

Этап 5. Анализ данных и определение изменений запасов углерода / выбросов иных, чем CO₂, газов, оценка национальных выбросов и поглощений, а также степени неопределенности. *Эффективная практика* заключается в выборе подходящего статистического метода для анализа данных на основании схемы выборки. Итоговым результатом статистического анализа являются оценки изменений запасов углерода или измерения выбросов, на основании которых могут быть даны оценки по национальным выбросам и поглощениям. *Эффективная практика* состоит в предоставлении с итоговыми результатами оценок неопределенности, включающих ошибки измерений при сборе образцов и лабораторных обработках (в последнем случае можно использовать стандарты и перекрестный контроль результатов с участием независимых лабораторий), дисперсию выборки, связанную с организацией мониторинга, и другие соответствующие источники неопределенности (см. обсуждение по каждой категории источника приводится далее в этом же томе помимо главы о неопределенности в томе 1). Анализ может включать в себя масштабирование измерений до более крупных пространственных и временных доменов, что опять

таки зависит от организации схемы выборки. Масштабирование может ранжироваться от простого усреднения или определения средневзвешенных величин до более сложных методов интерполяции/экстраполяции.

Для получения национальных оценок изменений запасов или выбросов иных, чем CO₂, парниковых газов зачастую необходимо экстраполировать измерения с использованием моделей, которые учитывают условия окружающей среды, данные об управлении и других видах деятельности. В то время как результирующие изменения, касающиеся углеродсодержащих парниковых газов, могут быть (по крайней мере, теоретически) оценены простыми повторами измерений запасов углерода, для масштабирования результатов измерений на участках до национальных оценок зачастую используются статистические и иные модели. Национальные оценки выбросов иных, чем CO₂, парниковых газов вряд ли могут быть получены на основании одних лишь измерений по причине дороговизны и трудностей в их проведении. Например, выбросы N₂O от лесных пожаров не могут быть измерены эмпирическим способом, но соответствующие значения обычно выводятся на основании оценок образцов, данных о деятельности на выжигаемой площади и потреблении топлива. В противоположность этому выбросы N₂O из почвы могут быть легко оценены с использованием камер, но создание сети с необходимой интенсивностью выборок для получения национальных оценок выбросов на основании одних лишь измерений без использования моделей для экстраполяции стоило бы слишком дорого.

Эффективная практика заключается в анализе выбросов с учетом условий окружающей среды помимо вклада различных практик хозяйствования. Анализ этих схем будет полезен для оценки возможностей будущего снижения выбросов.

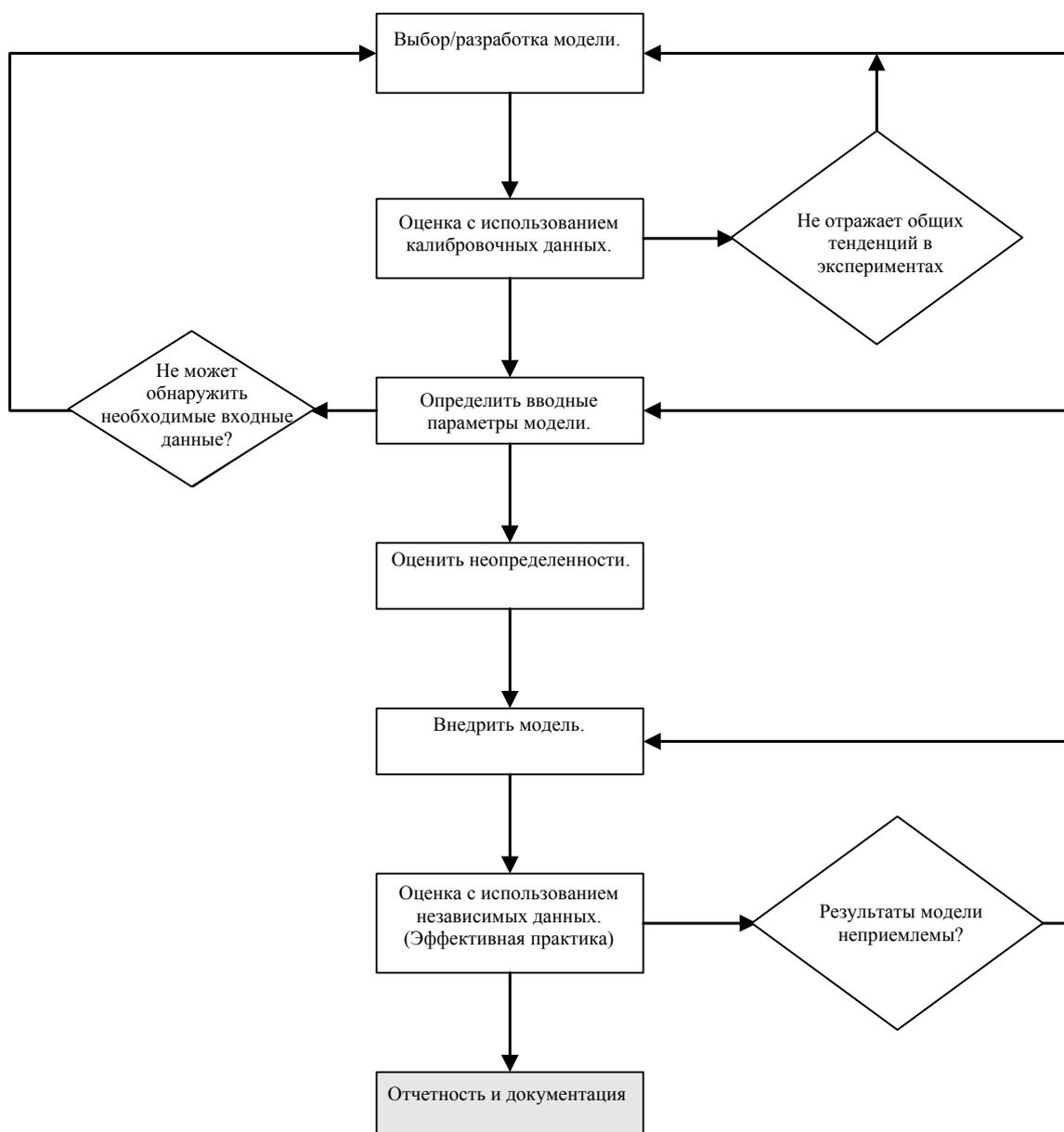
Этап 6. Отчетность и документация. *Эффективная практика* состоит в том, чтобы собрать вместе результаты инвентаризации, обеспечивая систематичность и прозрачность в представлении данных, в целях отчетности. Документация может включать описание схемы выборки и статистических методов, график выборок (в том числе повторных выборок), оценки изменений запасов и выбросов, а также анализ тенденций по выбросам (например, вклады различных видов хозяйственной деятельности). Кроме того, должны быть выполнены меры по ОК/КК и результаты задокументированы в отчетности, включая процедуры обеспечения качества, при которых сторонние эксперты, не связанные с проведением данного анализа, дают оценку методологии. Более подробная информация по ОК/КК, отчетности и документации приводится далее в настоящем томе, в разделах по конкретным категориям источников; см. также информацию, приведенную в главе 6, том 1.

2.5.2 Кадастры уровня 3, основанные на моделях

Основанные на моделях кадастры разрабатываются с использованием эмпирических, основанных на процессах и других современных моделей. *Эффективная практика* заключается в проведении независимых измерений для подтверждения того, что данная модель позволяет оценивать выбросы и поглощения для интересующих категорий источников (Prisley and Mortimer, 2004). В общем случае при внедрении основанного на моделях кадастра уровня 3 используется 7 этапов (рисунок 2.7).

Этап 1. Выбор/разработка модели для расчета изменений запасов и/или выбросов парниковых газов. Необходимо выбрать или разработать модель, которая позволяет точнее представлять изменения запасов или выбросы иных, чем CO₂, парниковых газов по сравнению с подходами уровней 1 и 2. При принятии данного решения *эффективной практикой* считается рассмотрение доступности исходных данных (этап 3) и расчет ресурсов, необходимых для внедрения этой модели (этап 5).

Рисунок 2.7 Этапы разработки системы оценки для основанного на моделях кадастра уровня 3



Этап 2. Оценка с использованием данных калибровки Это важный этап для разработки кадастра; на этом этапе результаты модели сравниваются непосредственно с измерениями, которые использовались для калибровки/параметризации модели (например, Falloon and Smith, 2002). Для того, чтобы показать, что данная модель эффективно имитирует измеряемые тенденции для различных условий в интересующей категории источника, могут быть сделаны сравнения с использованием статистических тестов и/или графически. *Эффективная практика* заключается в обеспечении соответствующего ответа модели на изменения данных о деятельности и способности модели показывать результаты по категориям землепользования в соответствии с условиями, изложенными в главе 3. Если модель не отражает общих тенденций или наблюдаются большие систематические ошибки, то может потребоваться пересчет модели или модификация его структуры (т.е. алгоритмов). В некоторых случаях на основании этой оценки может быть выбрана или разработана новая модель. Результаты оценки являются важным компонентом отчетной документации, оправдывающим использование конкретной модели для количественной оценки выбросов в какой-либо категории источника.

Этап 3. Сбор пространственно-временных данных о деятельности и соответствующих условиях окружающей среды, которые необходимы в качестве входных параметров. Модели, даже используемые в подходах уровней 1 и 2, требуют ввода конкретной информации для оценки выбросов и поглощений парниковых газов, связанных с какой-либо категорией источника. Эти входные параметры могут варьировать от данных по погоде и почвам до поголовья скота, типов леса, природных возмущений и практик возделывания культур. *Эффективная практика* состоит в обеспечении согласованности входных данных с пространственно-временным масштабом модели (т.е. с алгоритмами). Например, если модель работает с суточным временным шагом, то входные данные должны предоставлять информацию о суточных изменениях характеристик окружающей среды или данных о деятельности. В некоторых случаях входные данные могут стать лимитирующим фактором в выборе модели, требуя удаления некоторых моделей в связи с имеющимися данными о деятельности и/или данными окружающей среды.

Этап 4. Количественное определение неопределенностей. Неопределенности связаны с неполным знанием о деятельности или процессах, ведущих к образованию потоков парниковых газов, и обычно проявляются в структуре и входных параметрах моделей. Следовательно, анализ неопределенностей служит для получения точной меры достоверности оценки моделей, основанной на неопределенностях в структуре модели и входных параметрах, приводящих к мере изменчивости в изменениях запасов углерода или потоков иных, чем CO₂, парниковых газов. В главе 3 тома 1 приводятся конкретные руководящие указания по подходящим методам для проведения этих анализов. Дополнительная информация по конкретным категориям источников будет представлена далее в этом томе.

Этап 5. Внедрение модели. Основное соображение для данного этапа заключается в наличии достаточных вычислительных ресурсов и рабочего времени персонала для подготовки входных данных, проведения модельных имитаций и анализа результатов. Это будет зависеть от эффективности программы, сложности модели, а также от пространственно-временных степени и разрешения имитаций. В некоторых случаях недостаточность вычислительных ресурсов может ограничить комплексность и область пространственно-временного разрешения, которые необходимы для внедрения на национальном уровне (т.е. имитация в пространственно-временных масштабах с большим разрешением потребует больше вычислительных ресурсов)

Этап 6. Оценка с использованием независимых данных Важно понять разницу между этапами 2 и 6. Этап 2 включает в себя проверку выходных данных моделей с помощью полевых данных, которые использовались в качестве основы для калибровки (т.е. параметризации). В отличие от этого оценка с помощью независимых данных производится с использованием набора данных, совершенно независимых от калибровки моделей, что обеспечивает более точную оценку компонентов и результатов моделей. В оптимальном случае независимая оценка должна основываться на данных измерений, полученных от сети мониторинга или от пунктов исследования, которые не были использованы для калибровки параметров моделей. Данная сеть в принципе схожа с системой пунктов, которая используется для кадастров, основанных на измерениях. Однако, выборки не должны быть столь плотными, так как сеть не является основой для оценки изменений запасов углерода или потоков иных, чем CO₂, парниковых газов, как в основанном на измерениях кадастре, а лишь используется для проверки результатов моделей.

В некоторых случаях независимая оценка может показать, что основанная на моделях система оценки является неудовлетворительной вследствие огромных и непредсказуемых различий между результатами моделей и измеренными с помощью сети мониторинга тенденциями. Проблемы могут возникнуть в результате одной из трех возможностей: ошибки на этапе внедрения, недостаточность входных данных, непригодность модели. Проблемы внедрения обычно проистекают из ошибок программирования; что касается входных параметров модели, то они могут генерировать ошибочные результаты, если не представляют деятельности по управлению или условий окружающей среды. Для этих двух случаев эффективная практика для разработчика кадастров заключается в возврате к этапу 3 или 6 в зависимости

от проблемы. Непригодность модели представляется менее вероятной, если считается, что этап 2 выполнен удовлетворительно. Тем не менее, если этот этап выполнен неудовлетворительно, то *эффективная практика* заключается в возврате к этапу выбора/разработки модели (этап 1).

На этапе 2, который следует за этапом выбора/разработки, *эффективной практикой* считается избегать использования данных независимой оценки для повторной калибровки или улучшения алгоритмов. Если это происходит, то такие данные уже не пригодны для независимой оценки и поэтому не могут использоваться в целях этапа 6 в данном подходе к инвентаризации.

Этап 7. Отчетность и документация *Эффективная практика* состоит в том, чтобы собрать вместе результаты инвентаризации, обеспечивая систематичность и прозрачность в представлении данных, в целях отчетности. Документация может включать описание модели, краткую сводку источников входных данных для моделей, результаты оценки моделей с указанием источников данных экспериментов и/или измерений от сети мониторинга, оценки изменений запасов и выбросов, а также анализ тенденций по выбросам (т.е. вклады различных видов хозяйственной деятельности). ОК/КК должны быть завершены и задокументированы в отчете. Более подробная информация по ОК/КК, отчетности и документации приводится далее в настоящем томе, в разделах по конкретным категориям источников; см. также информацию, приведенную в главе 6, том 1.

Ссылки

- Andrea, M.O. and Merlet, P. (2001). Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles* **15**:955-966.
- Armentano, T.V. and Menges, E.S. (1986). Patterns of change in the carbon balance of organic soil-wetlands of the temperate zone. *Journal of Ecology* **74**: 755-774.
- Baldocchi, D., Falge, E., Gu, L.H., Olson, R., Hollinger, D., Running, S., Anthoni, P., Bernhofer, C., Davis, K., Evans, R., Fuentes, J., Goldstein, A., Katul, G., Law, B., Lee, X.H., Malhi, Y., Meyers, T., Munger, W., Oechel, W., Pilegaard, K., Schmid, H.P., Valentini, R., Verma, S., Vesala, T., Wilson, K. and Wofsy, S. (2001). FLUXNET: A new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem-scale carbon dioxide, water vapor, and energy flux densities. *Bulletin of the American Meteorological Society* **82**: pp. 2415-2434.
- Bernoux, M., Carvalho, M.D.S., Volkoff, B. and Cerri, C.C. (2002). Brazil's soil carbon stocks. *Soil Science Society of America Journal* **66**:888-896.
- Bhatti, J.S., Apps, M.J. and Jiang, H. (2001). Examining the carbon stocks of boreal forest ecosystems at stand and regional scales. In: Lal R. *et al.* (eds.) *Assessment Methods for Soil Carbon*, Lewis Publishers, Boca Raton FL, pp. 513-532.
- Brady, N.C. and Weil, R.R. (1999). *The Nature and Properties of Soils*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 881 pp.
- Clymo, R.S. (1984). The limits to peat bog growth. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* **303**:605-654.
- Conant, R.T., Paustian, K. and Elliott, E.T. (2001). Grassland management and conversion into grassland: Effects on soil carbon. *Ecological Application* **11**:343-355.
- Coomes, D.A., Allen, R.B., Scott, N.A., Goulding, C. and Beets, P. (2002). Designing systems to monitor carbon stocks in forests and shrublands. *Forest Ecology and Management* **164**, pp. 89 - 108.
- Davidson, E. A. and Ackerman, I.L. (1993). Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry* **20**:161-164.
- Ellert, B.H., Janzen, H.H. and McConkey, B.G. (2001). Measuring and comparing soil carbon storage. In: R. Lal, J.M. Kimble, R.F. Follett and B.A. Stewart (eds.). *Soil Management for Enhancing Carbon Sequestration*. CRC Press, Boca Raton, FL.: pp. 593-610.
- Falloon, P. and Smith, P. (2002). Simulating SOC changes in long-term experiments with the RothC and Century; model evaluation for a regional application. *Soil Use and Management* **18**:101-111.
- Falloon, P. and Smith, P. (2003). Accounting for changes in soil carbon under the Kyoto Protocol: need for improved long-term data sets to reduce uncertainty in model projections. *Soil Use and Management* **19**:265-269.

- Forbes, M.S., Raison, R.J. and Skjemstad, J.O. (2006). Formation, transformation and transport of black carbon (charcoal) in terrestrial and aquatic ecosystems. *Journal of the Science of the Total Environment* (in press).
- Gifford, R.M. and Roderick, M.L. (2003). Soil carbon stocks and bulk density: spatial and cumulative mass coordinates as a basis for expression? *Global Change Biology* **9**:1507-1513.
- Gorham, E. (1991). Northern peatlands: role in the carbon cycle and probably responses to climatic warming. *Ecological Applications* **1**:182-195.
- Harmon, M.E. and Hua, C. (1991). Coarse woody debris dynamics in two old-growth ecosystems. *BioScience* **41**: 604-610.
- Harmon, M.E., Franklin, J.F., Swanson, F.J., Sollins, P., Gregory, S.V., Lattin, J.D., Anderson, N.H., Cline, S.P., Aumen, N.G., Sedell, J.R., Lienkaemper, G.W., Cromack, J.R. and Cummins, K.W. (1986). Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in Ecological Research* **15**: 133–302.
- IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Tréanton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. Callander B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman J., Kruger D., Galbally I., Hiraishi T., Nyenzi B., Emmanuel S., Buendia L., Hoppaus R., Martinsen T., Meijer J., Miwa K., Tanabe K. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.
- IPCC (2000). Watson R., Noble I.R., Bolin B., Ravindranath, N.H., Verardo D.J. and Dokken D.J. (Eds). Land use, Land-use Change, and Forestry: A Special Report. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- IPCC (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Krug, T., Kruger D., Pipatti R., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., Wagner F. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japan.
- Jobbagy, E.G. and Jackson, R.B. (2000). The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications* **19**(2): 423-436.
- Karjalainen, L. and Kuuluvainen, T. (2002). Amount and diversity of coarse woody debris within a boreal forest landscape dominated by *Pinus sylvestris* in Vienansalo wilderness, eastern Fennoscandia. *Silva Fennica* **36**(1): 147–167.
- Kasimir-Klemedtsson, A., Klemedtsson, L., Berglund, K., Martikainen, P., Silvola, J. and Oenema, O. (1997). Greenhouse gas emissions from farmed organic soils: a review. *Soil Use and Management* **13**:245-250.
- Krankina, O.N., Harmon, M.E., Kukuev, Y.A., Treyfeld, R.E., Kashpor, N.N., Kresnov, V.G., Skudin, V.M., Protasov, N.A., Yatskov, M., Spycher, G. and Povarov, E.D. (2002). Coarse woody debris in forest regions of Russia, *Can.J. For. Res.* **32**: 768-778.
- Kurz, W.A., Apps, M.J., Webb, T.M. and McNamee, P.J. (1992). The carbon budget of the Canadian forest sector: phase I. Forestry Canada, Northwest Region. Information Report NOR-X-326, 93 pp.
- Lettens, S., van Orshoven, J., van Wesemael, B. and Muys, B. (2004). Soil organic and inorganic carbon contents of landscape units in Belgium derived using data from 1950 to 1970. *Soil Use and Management* **20**: 40-47.
- Mann, L.K. (1986). Changes in soil carbon storage after cultivation. *Soil Science* **142**:279-288.
- Martikainen, P.J., Nykanen, H., Alm, J. and Silvola, J. (1995). Change in fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide due to forest drainage of mire sites of different trophic. *Plant & Soil* **169**: 571-577.
- McGill, W. B. (1996). Review and classification of ten soil organic matter models. In: Powlson D.S., Smith P., and Smith J.U. (eds.). Evaluation of Soil Organic Matter Models Using Existing Long-Term Datasets. Springer-Verlag, Heidelberg: pp. 111-132.
- Nykänen, H., Alm, J., Lang, K., Silvola, J. and Martikainen, P.J. (1995). Emissions of CH₄, N₂O, and CO₂ from a virgin fen and a fen drained for grassland in Finland. *Journal of Biogeography* **22**:351-357.
- Ogle, S.M., Breidt, F.J., Eve, M.D. and Paustian, K. (2003). Uncertainty in estimating land-use and management impacts on soil organic carbon storage for U.S. agricultural lands between 1982 and 1997. *Global Change Biology* **9**:1521-1542.
- Ogle, S.M., Breidt, F.J. and Paustian, K. (2005). Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. *Biogeochemistry* **72**:87-121.

- Ogle, S.M., Conant, R.T. and Paustian, K. (2004). Deriving grassland management factors for a carbon accounting approach developed by the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Environmental Management* **33**:474-484.
- Paustian, K., Andren, O., Janzen, H.H., Lal, R., Smith, P., Tian, G., Tiessen, H., van Noordwijk, M. and Woerner, P.L. (1997). Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. *Soil Use and Management* **13**:230-244.
- Preston, C.M. and Schmidt, M.W.I. (2006). Black (pyrogenic) carbon in the boreal forests: a synthesis of current knowledge and uncertainties. *Biogeosciences Discussions* **3**,211-271.
- Prisley, S.P. and Mortimer, M.J. (2004). A synthesis of literature on evaluation of models for policy applications, with implications for forest carbon accounting. *Forest Ecology and Management* **198**:89-103.
- Shaw, C.H., Bhatti, J.S. and Sabourin, K.J. (2005). An ecosystem carbon database for Canadian forests. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta, Information Report NOR-X-403.
- Siltanen *et al.* (1997). A soil profile and organic carbon data base for Canadian forest and tundra mineral soils. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta.
- Sleutel, S., de Neve, S., Hofman, G., Boeckx, P., Beheydt, D., van Cleemput, O., Mestdagh, I., Lootens, P., Carlier, L., van Camp, N., Verbeeck, H., Vand Walle, I., Sampson, R., Lust, N. and Lemeur, R. (2003). Carbon stock changes and carbon sequestration potential of Flemish cropland soils. *Global Change Biology* **9**:1193-1203.
- Smith, J. E. and Heath, L.S. (2001). Identifying influences on model uncertainty: an application using a forest carbon budget model. *Environmental Management* **27**:253-267.
- Smith, P., Powlson, D.S., Smith, J.U. and Elliott, E.T. (eds) (1997b). Evaluation and comparison of soil organic matter models. Special Issue, *Geoderma* **81**:1-225.
- Smith, P. (2004a). Monitoring and verification of soil carbon changes under Article 3.4 of the Kyoto Protocol. *Soil Use and Management* **20**: 264-270.
- Smith, P. (2004b). How long before a change in soil organic carbon can be detected? *Global Change Biology* **10**: 1878-1883.
- Smith, S.V., Renwick, W.H., Buddemeier, R.W. and Crossland, C.J. (2001). Budgets of soil erosion and deposition for sediments and sedimentary organic carbon across the conterminous United States. *Global Biogeochemical Cycles* **15**:697-707.
- Smith, W.N., Desjardins, R.L. and Pattey, E. (2000). The net flux of carbon from agricultural soils in Canada 1970-2010. *Global Change Biology* **6**:557-568.
- Somogyi, Z., Cienciala, E., Mäkipää, R., Muukkonen, P., Lehtonen, A. and Weiss, P. (2006). Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. *European Journal of Forest Research*. DOI: 10.1007/s10342006-0125-7.
- Tate, K.R., Wilde, R.H., Giltrap, D.J., Baisden, W.T., Saggar, S., Trustrum, N.A., Scott, N.A. and Barton, J.P. (2005). Soil organic carbon stocks and flows in New Zealand: measurement and modelling. *Canadian Journal of Soil Science*, in press.
- Thormann M.N., Szumigalski A.R. and Bayley S.E. (1999). Above-ground peat and carbon accumulation potentials along a bog-fen-marsh wetland gradient in southern boreal Alberta, Canada. *Wetlands* **19** (2): 305-317.
- Tremblay, S., Ouimet, R. and Houle, D. (2002). Prediction of organic carbon content in upland forest soils of Quebec, Canada. *Can. J. For. Res.* **32**: pp. 903-914.
- VandenBygaart, A.J., Gregorich, E.G., Angers, D.A., *et al.* (2004). Uncertainty analysis of soil organic carbon stock change in Canadian cropland from 1991 to 2001. *Global Change Biology* **10**:983-994.
- Vogt, K.A., Vogt, D.J., Pamiotto, P.A., Boon, P., O'Hara, J. and Asbjornsen, H. (1996). Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type, and species. *Plant and Soil* **187**: pp. 159-219.
- Yavitt, J. B., Fahey, T.J. and Simmons, J.A. (1997). Methane and carbon dioxide dynamics in a northern hardwood ecosystem. *Soil Science Society of America Journal* **59**: 796-804..

ССЫЛКИ К ТАБЛИЦАМ 2.4 И 2.6

1. Alexander, M. (1978). Calculating and interpreting forest fire intensities. *Canadian Journal of Botany* **60**: p. 349-357.
2. Amiro, B., Todd, J. and Wotton, B. (2001). Direct carbon emissions from Canadian forest fires, 1959-1999. *Canadian Journal of Forest Research*, **31**: p. 512-525.
3. Araújo, T., Carvalho, J., Higuchi, N., Brasil, A. and Mesquita, A. (1999). A tropical rainforest clearing experiment by biomass burning in the state of Pará, Brazil. *Atmospheric Environment*. **33**: p. 1991-1998.
4. Barbosa, R. and Fearnside, P. (1996). Pasture burning in Amazonia: Dynamics of residual biomass and the storage and release of above-ground carbon. *Journal of Geophysical Research*, **101**(D20): p. 25847-25857.
5. Bilbao, B. and Medina, E. (1996). Types of grassland fires and nitrogen volatilization in tropical savannas of calabozo, in Biomass Burning and Global Change: Volume 2. Biomass burning in South America, Southeast Asia, and temperate and boreal ecosystems, and the oil fires of Kuwait, J. Levine, Editor. MIT Press: Cambridge. p. 569-574.
6. Cachier, H., Lioussé, C., Pertusiot, M., Gaudichet, A., Echalar, F. and Lacaux, J. (1996). African fire Particulate emissions and atmospheric influence, in Biomass Burning and Global Change: Volume 1. Remote Sensing, Modeling and Inventory Development, and Biomass Burning in Africa, J. Levine, Editor. MIT Press: Cambridge. p. 428-440.
7. Carvalho, J., Higuchi, N., Araujo, T. and Santos, J. (1998). Combustion completeness in a rainforest clearing experiment in Manaus, Brazil. *Journal of Geophysical Research*. **103**(D11): p. 13195.
8. Carvalho, J., Costa, F., Veras, C., et al. (2001). Biomass fire consumption and carbon release rates of rainforest-clearing experiments conducted in northern Mato Grosso, Brazil. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **106**(D16): p. 17877-17887.
9. Cheyney, N., Raison, R. and Khana, P. (1980). Release of carbon to the atmosphere in Australian vegetation fires, in Carbon Dioxide and Climate: Australian Research, G. Pearman, Editor. *Australian Academy of Science*: Canberra. p. 153-158.
10. Cofer, W., Levine, J., Winstead, E. and Stocks, B. (1990). Gaseous emissions from Canadian boreal forest fires. *Atmospheric Environment*, **24A**(7): p. 1653-1659.
11. Cofer, W., Winstead, E., Stocks, B., Goldammer, J. and Cahoon, D. (1998). Crown fire emissions of CO₂, CO, H₂, CH₄, and TNMHC from a dense jack pine boreal forest fire. *Geophysical Research Letters*, **25**(21): p. 3919-3922.
12. De Castro, E.A. and Kauffman, J.B. (1998). Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of above-ground biomass, root mass and consumption by fire. *Journal of Tropical Ecology*, **14**(3): p. 263-283.
13. Delmas, R. (1982). On the emission of carbon, nitrogen and sulfur in the atmosphere during bushfires in intertropical savannah zones. *Geophysical Research Letters*, **9**(7): p. 761-764.
14. Einfeld, W., Ward, D. and Hardy, C. (1991). Effects of fire behaviour on prescribed fire smoke characteristics: A case study, in Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications, J. Levine, Editor, MIT Press: Massachusetts. p. 412-419.
15. Fearnside, P., Filho, N. and Fernandes, F. (1993). Rainforest burning and the global carbon budget: biomass, combustion efficiency and charcoal formation in the Brazilian Amazon. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **98**(D9): p. 16733-16743.
16. Fearnside, P., Graca, P., Filho, N., Rodrigues, J. and Robinson, J. (1999). Tropical forest burning in Brazilian Amazonia: measurement of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Para. *Forest Ecology and Management*, **123**: p. 65-79.
17. Fearnside, P., Graca, P. and Rodrigues, J. (2001). Burning of Amazonian rainforests: burning efficiency and charcoal formation in forest cleared for cattle pasture near Manaus, Brazil. *Forest Ecology and Management*, **146**: p. 115-128.
18. Feller, M. (1998). The influence of fire severity, not fire intensity, on understory vegetation biomass in British Columbia. in 13th Fire and Forest Meteorology Conference. Lorne, Australia: IAWF.
19. Flinn, D., Hopmans, P., Farrell, P. and James, J. (1979). Nutrient loss from the burning of Pinus radiata logging residue. *Australian Forest Research*, **9**: p. 17-23.
20. Garnett, M., Ineson, P. and Stevenson, A. (2000). Effects of burning and grazing on carbon sequestration in a Pennine blanket bog, UK. *Holocene*, **10**(6): p. 729-736.
21. Graca, P., Fearnside, P. and Cerri, C. (1999). Burning of Amazonian forest in Ariquemes, Rondonia, Brazil: biomass, charcoal formation and burning efficiency. *Forest Ecology and Management*, **120**: p. 179-191.
22. Griffin, G. and Friedel, M. (1984). Effects of fire on central Australian rangelands. I Fire and fuel characteristics and changes in herbage and nutrients. *Australian Journal of Ecology*, **9**: p. 381-393.
23. Guild, L., Kauffman, J., Ellingson, L. and Cummings, D. (1998). Dynamics associated with total above-ground biomass, C, nutrient pools, and biomass burning of primary forest and pasture in Rondonia, Brazil during SCAR-B. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **103**(D24): p. 32091-32100.
24. Gupta, P., Prasad, V., Sharma, C., Sarkar, A., Kant, Y., Badarinarath, K. and Mitra, A. (2001). CH₄ emissions from biomass burning of shifting cultivation areas of tropical deciduous forests - experimental results from ground - based measurements. *Chemosphere - Global Change Science*, **3**: p. 133-143.
25. Harwood, C. and Jackson, W. (1975). Atmospheric losses of four plant nutrients during a forest fire. *Australian Forestry*, **38**(2): p. 92-99.
26. Hobbs, P. and Gimingham, C. (1984). Studies on fire in Scottish heathland communities. *Journal of Ecology*, **72**: p. 223-240.
27. Hobbs, P., Reid, J., Herring, J., et al. (1996). Particle and trace-gas measurements from prescribed burns of forest products in the Pacific Northwest, in Biomass Burning and Global Change: Volume 2. Biomass burning in South America, Southeast Asia, and temperate and boreal ecosystems, and the oil fires of Kuwait, J. Levine, Editor. MIT Press: Cambridge. p. 697-715.
28. Hoffa, E., Ward, D., Hao, W., Susott, R. and Wakimoto, R. (1999). Seasonality of carbon emissions from biomass burning in a Zambian savanna. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **104**(D11): p. 13841-13853.

29. Hopkins, B. (1965). Observations on savanna burning in the Olokemeji forest reserve, Nigeria. *Journal of Applied Ecology*, **2**(2): p. 367-381.
30. Hughes, R., Kauffman, J. and Cummings, D. (2000). Fire in the Brazilian Amazon 3. Dynamics of biomass, C, and nutrient pools in regenerating forests. *Oecologia*, **124**(4): p. 574-588.
31. Hurst, D., Griffith, W. and Cook, G. (1994). Trace gas emissions from biomass burning in tropical Australian savannas. *Journal of Geophysical Research*, **99**(D8): p. 16441-16456.
32. Jackson, W. (2000). Nutrient stocks in Tasmanian vegetation and approximate losses due to fire. Papers and proceedings of the Royal Society of Tasmania, 134: p. 1-18.
33. Kasischke, E., French, N., Bourgeau-Chavez, L. and Christensen, N. (1995). Estimating release of carbon from 1990 and 1991 forest fires in Alaska. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **100**(D2): p. 2941-2951.
34. Kauffman, J. and Uhl, C. (1990). 8 interactions of anthropogenic activities, fire, and rain forests in the Amazon Basin, in Fire in the Tropical Biota: Ecosystem Processes and Global Changes, J. Goldammer, Editor. Springer-Verlag: Berlin. p. 117-134.
35. Kauffman, J., Sanford, R., Cummings, D., Salcedo, I. and Sampaio, E. (1993). Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forests. *Ecology*, **74**(1): p. 140-151.
36. Kauffman, J., Cummings, D. and Ward, D. (1994). Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian cerrado. *Journal of Ecology*, **82**: p. 519-531.
37. Kauffman, J., Cummings, D., Ward, D. and Babbitt, R. (1995). Fire in the Brazilian Amazon: 1. Biomass, nutrient pools, and losses in slashed primary forests. *Oecologia*, **104**: p. 397-408.
38. Kauffman, J., Cummings, D. and Ward, D. (1998). Fire in the Brazilian Amazon: 2. Biomass, nutrient pools and losses in cattle pastures. *Oecologia*, **113**: p. 415-427.
39. Kayll, A. (1966). Some characteristics of heath fires in north-east Scotland. *Journal of Applied Ecology*, **3**(1): p. 29-40.
40. Kiil, A. (1969). Fuel consumption by a prescribed burn in spruce-fir logging slash in Alberta. *The Forestry Chronicle*, : p. 100-102.
41. Kiil, A. (1975). Fire spread in a black spruce stand. Canadian Forestry Service Bi-Monthly Research Notes, 31(1): p. 2-3.
42. Lacaux, J., Cachier, H. and Delmas, R. (1993). Biomass burning in Africa: an overview of its impact on atmospheric chemistry, in Fire in the Environment: The Ecological, Atmospheric, and Climatic Importance of Vegetation Fires, P. Crutzen and J. Goldammer, Editors. John Wiley & Sons: Chichester. p. 159-191.
43. Lavoue, D., Lioussé, C., Cachier, H., Stocks, B. and Goldammer, J. (2000). Modeling of carbonaceous particles emitted by boreal and temperate wildfires at northern latitudes. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **105**(D22): p. 26871-26890.
44. Levine, J. (2000). Global biomass burning: a case study of the gaseous and particulate emissions released to the atmosphere during the 1997 fires in Kalimantan and Sumatra, Indonesia, in Biomass Burning and its Inter-relationships with the Climate System, J. Innes, M. Beniston, and M. Verstraete, Editors. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht. p. 15-31.
45. Levine, J. and Cofer, W. (2000). Boreal forest fire emissions and the chemistry of the atmosphere, in Fire, Climate Change and Carbon Cycling in the Boreal Forest, E. Kasischke and B. Stocks, Editors. Springer-Verlag: New York. p. 31-48.
46. Marsdon-Smedley, J. and Slijepcevic, A. (2001). Fuel characteristics and low intensity burning in Eucalyptus obliqua wet forest at the Warra LTER site. *Tasforests*, **13**(2): p. 261-279.
47. Mazurek, M., Cofer, W. and Levine, J. (1991). Carbonaceous aerosols from prescribed burning of a boreal forest ecosystem, in Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications, J. Levine, Editor, MIT Press: Massachusetts. p. 258-263.
48. McNaughton, S., Stronach, N. and Georgiadis, N. (1998). Combustion in natural fires and global emissions budgets. *Ecological Applications*, **8**(2): p. 464-468.
49. McRae, D. and Stocks, B. (1987). Large-scale convection burning in Ontario. in Ninth Conference on Fire and Forest Meteorology. San Diego, California: American Meteorological Society.
50. Moula, M., Brustet, J., Eva, H., Lacaux, J., Gregoire, J. and Fontan, J. (1996). Contribution of the Spread-Fire Model in the study of savanna fires, in Biomass Burning and Global Change: Volume 1. Remote Sensing, Modeling and Inventory Development, and Biomass Burning in Africa, J. Levine, Editor. MIT Press: Cambridge. p. 270-277.
51. Neil, R., Stronach, N. and McNaughton, S. (1989). Grassland fire dynamics in the Serengeti ecosystem, and a potential method of retrospectively estimating fire energy. *Journal of Applied Ecology*, **26**: p. 1025-1033.
52. Pivello, V. and Coutinho, L. (1992). Transfer of macro-nutrients to the atmosphere during experimental burnings in an open cerrado (Brazilian savanna). *Journal of Tropical Ecology*, **8**: p. 487-497.
53. Prasad, V., Kant, Y., Gupta, P., Sharma, C., Mitra, A. and Badarinath, K. (2001). Biomass and combustion characteristics of secondary mixed deciduous forests in Eastern Ghats of India. *Atmospheric Environment*, **35**(18): p. 3085-3095.
54. Raison, R., Khana, P. and Woods, P. (1985). Transfer of elements to the atmosphere during low intensity prescribed fires in three Australian subalpine eucalypt forests. *Canadian Journal of Forest Research*, **15**: p. 657-664.
55. Robertson, K. (1998). Loss of organic matter and carbon during slash burns in New Zealand exotic forests. *New Zealand Journal of Forestry Science*, **28**(2): p. 221-241.
56. Robinson, J. (1989). On uncertainty in the computation of global emissions from biomass burning. *Climatic Change*, **14**: p. 243-262.
57. Shea, R., Shea, B., Kauffman, J., Ward, D., Haskins, C. and Scholes, M. (1996). Fuel biomass and combustion factors associated with fires in savanna ecosystems of South Africa and Zambia. *Journal of Geophysical Research*, **101**(D19): p. 23551-23568.
58. Slijepcevic, A. (2001). Loss of carbon during controlled regeneration burns in Eucalyptus obliqua forest. *Tasforests*, **13**(2): p. 281-289.

59. Smith, D. and James, T. (1978). Characteristics of prescribed burns and resultant short-term environmental changes in *Populus tremuloides* woodland in southern Ontario. *Canadian Journal of Botany*, **56**: p. 1782-1791.
60. Soares, R. and Ribeiro, G. (1998). Fire behaviour and tree stumps sprouting in Eucalyptus prescribed burnings in southern Brazil. in III International Conference on Forest Fire Research / 14th Conference on Fire and Forest Meteorology. Luso.
61. Sorrensen, C. (2000). Linking smallholder land use and fire activity: examining biomass burning in the Brazilian Lower Amazon. *Forest Ecology and Management*, **128**(1-2): p. 11-25.
62. Stewart, H. and Flinn, D. (1985). Nutrient losses from broadcast burning of Eucalyptus debris in north-east Victoria. *Australian Forest Research*, **15**: p. 321-332.
63. Stocks, B. (1987). Fire behaviour in immature jack pine. *Canadian Journal of Forest Research*, **17**: p. 80-86.
64. Stocks, B. (1989). Fire behaviour in mature jack pine. *Canadian Journal of Forest Research*, **19**: p. 783-790.
65. Stocks, B., van Wilgen B., Trollope W., McRae D., Mason J., Weirich F. and Potgieter A. (1996). Fuels and fire behaviour dynamics on large-scale savanna fires in Kruger National Park, South Africa. *Journal of Geophysical Research*, **101**(D19): p. 23541-23550.
66. Stocks, B. and Kauffman, J. (1997). Biomass consumption and behaviour of wildland fires in boreal, temperate, and tropical ecosystems: parameters necessary to interpret historic fire regimes and future fire scenarios, in *Sediment Records of Biomass Burning and Global Change*, J. Clark, et al., Editors. Springer-Verlag: Berlin. p. 169-188.
67. Susott, R., Ward D., Babbitt R. and Latham D. (1991). The measurement of trace emissions and combustion characteristics for a mass fire, in *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*, J. Levine, Editor. MIT Press: Massachusetts. p. 245-257.
68. Turetsky, M. and Wieder, R. (2001). A direct approach to quantifying organic matter lost as a result of peatland wildfire. *Canadian Journal of Forest Research*, **31**(2): p. 363-366.
69. Van Wagner, C. (1972). Duff consumption by fire in eastern pine stands. *Canadian Journal of Forest Research*, **2**: p. 34-39.
70. van Wilgen, B., Le Maitre, D. and Kruger, F. (1985). Fire behaviour in South African fynbos (macchia) vegetation and predictions from Rothermel's fire model. *Journal of Applied Ecology*, **22**: p. 207-216.
71. Vose, J. and Swank, W. (1993). Site preparation burning to improve southern Appalachian pine-hardwood stands: above-ground biomass, forest floor mass, and nitrogen and carbon pools. *Canadian Journal of Forest Research*, **23**: p. 2255-2262.
72. Walker, J. (1981). Fuel dynamics in Australian vegetation, in *Fire and the Australian Biota*, A. Gill, R. Groves, and I. Noble, Editors. Australian Academy of Science: Canberra. p. 101-127.
73. Ward, D., Susott, R., Kauffman, J., et al. (1992). Smoke and fire characteristics for Cerrado and deforestation burns in Brazil: BASE-B Experiment. *Journal of Geophysical Research*, **97**(D13): p. 14601-14619.