

## Дополнение 2 Возможный подход для оценки выбросов CO<sub>2</sub> от земель, переустроенных в постоянно затопляемые земли: основа для будущей методологической разработки

Время, прошедшее с момента затопления, оказывает значительное влияние на потоки парниковых газов от затопляемых земель, а также на составляющие этих газов. Недавно проведенные статистические анализы водоемов по всему миру показывают быстрый всплеск выбросов непосредственно после затопления, после чего выбросы возвращаются к относительно стабильному уровню (Tremblay *et al.*, 2005; Therrien *et al.*, 2005; Soumis *et al.*, 2005; and Huttunen *et al.*, 2002, 2003). Темпы снижения выбросов после затопления могут зависеть от региона, в котором находится водоем, но, по-видимому, меняются в течение примерно 10-летнего периода (Delmas *et al.*, 2005; Abril *et al.*, 2005; Tremblay *et al.*, 2005).

Данные позволяют предположить, что выбросы CO<sub>2</sub> в течение примерно первых 10 лет после затопления являются результатом разложения некоторых органических веществ, имевшихся на землях до их затопления. Легко разлагаемые углерод и питательные вещества после затопления становятся доступными для микроорганизмов-продуцентов и включаются в процесс обмена веществ. По истечении этого периода выбросы CO<sub>2</sub> поддерживаются с помощью поступления органического материала, переносимого в затопляемую зону с водосборной площади. Во избежание двойного учета выбросов CO<sub>2</sub>, которые могли быть уже учтены в балансе парниковых газов управляемых земель на водосборной площади, и при отсутствии убедительных доказательств более длительного воздействия затопления на эти выбросы в методологии по умолчанию рассматриваются только первые 10 лет после затопления.

Любые выбросы CO<sub>2</sub> в результате деятельности по изменению землепользования (например, выбросы CO<sub>2</sub> или иных, чем CO<sub>2</sub>, газов, связанных с расчисткой земель до их затопления) должны оцениваться с использованием методологий, приведенных в данном томе.

Перед затоплением может производиться расчистка земель. Органическое вещество может сжигаться или заготавливаться (например, в виде древесины). Происходящие выбросы должны оцениваться с использованием соответствующих методологий, описанных в данном томе, для оценки изменения в запасе углерода перед затоплением. Эти выбросы должны оцениваться в год, когда они происходят.

После затопления и любых расчисток земель выбросы двуокиси углерода от земель, переустроенных в затопляемые земли, происходят по следующим путям:

- Диффузионные выбросы, связанные с молекулярной диффузией через границу раздела вода-воздух; это основной путь для выбросов CO<sub>2</sub>;
- Пузырьковые выбросы или выбросы газа из отложений через толщу воды посредством пузырей; это очень небольшой путь для выбросов CO<sub>2</sub>;
- Дегазирующие выбросы или выбросы в результате резкого изменения гидростатического давления, а также увеличенной поверхности обмена воздух/вода после прохождения воды из водохранилища через турбину и/или водосброс.

В настоящем дополнении представлена иерархия 3-х методов повышающейся сложности, называемых уровнями 1, 2 и 3.

На уровнях 1 и 2 оцениваются только диффузионные выбросы. Основанный на детальных измерениях метод уровня 3 включает все соответствующие потоки выбросов двуокиси углерода от затопляемых земель. Уровень 3 включает дегазирующие выбросы и учитывает возраст, географическое положение и температуру воды водохранилища. Метод уровня 3 не конкретизируется далее в этом дополнении; в отношении вывода конкретных для себя коэффициентов выбросов страны должны обращаться к блоку 2a.1, который служит ресурсом по внедрению уровня 3. При использовании уровня 3 все соответствующие выбросы от затопляемых земель должны оцениваться за весь срок службы водохранилища. В таблице 2a.1 показан охват различных путей выброса CO<sub>2</sub> на трех уровнях.

**Блок 2А.1.****Вывод коэффициентов выбросов по конкретной стране**

В программах получения коэффициентов выбросов по конкретной стране должно тщательно рассматриваться возможное перекрытие с другими секторами и надлежащее отнесение выбросов. Например, выбросы  $N_2O$ , обусловленные в конечном счете применением удобрения или обработкой стоков в водосборных бассейнах, не должны сообщаться в отчетности в категории затопляемых земель.

В общем случае для вывода коэффициентов выбросов по конкретной стране требуются фактические замеры потоков парниковых газов от поверхности водохранилищ. Необходимо разрабатывать отдельные коэффициенты выбросов для основных типов водохранилищ, существующих на национальной территории. Для минимизации требуемых усилий, прежде всего, следует сгруппировать водохранилища по категориям с учетом основных факторов, отвечающих за разнообразие типов водохранилищ, в частности, климатической зоны и геологического фундамента (который сильно влияет на рН). Для выполнения этой задачи могут пригодиться карты и национальные экологические стратификации.

В пределах каждой категории водохранилищ необходимо разработать стратегию измерений для получения значений репрезентативных потоков соответственно возрасту водохранилища, его морфологии, режима управления, содержания питательных веществ и прочих факторов, если это необходимо. Наконец, в пределах каждого отдельного водохранилища должна быть применена научно разработанная схема выборки потоков для учета пространственной изменчивости, связанной с различиями в отношении глубины и течения воды, близости берега, присутствия водной растительности, и временной изменчивости, связанной с суточными и сезонными циклами. Следует использовать данные измерений потоков за весь год, а лучше – за несколько лет.

Полезная информация может быть почерпнута из следующих работ: Therrien *et al.*, 2005; Duchemin *et al.*, 2006; Delmas *et al.*, 2005; Abril *et al.*, 2005; Rosa *et al.*, 2004; Soumis *et al.*, 2004; Tavares de lima, 2002; Huttunen *et al.*, 2002; Duchemin, 2000; Duchemin *et al.*, 1999; Rosa *et al.*, 1996; and Duchemin *et al.*, 1995.

При разработке коэффициентов выбросов следует учитывать следующие основные типы выбросов. \ диффузионные, пузырьковые и дегазирующие. Для оценки выбросов дегазирующих выбросов необходимы измерения водных концентраций  $CH_4$  и  $CO_2$  в различных точках вверх и вниз по течению от водохранилища.

Таблица 2А.1	
Уровни и пути выброса $CO_2$ для земель, переустроенных в затопляемые земли	
	$CO_2$
Уровень 1	• Диффузионные выбросы
Уровень 2	• Диффузионные выбросы
Уровень 3	• Все типы выбросов

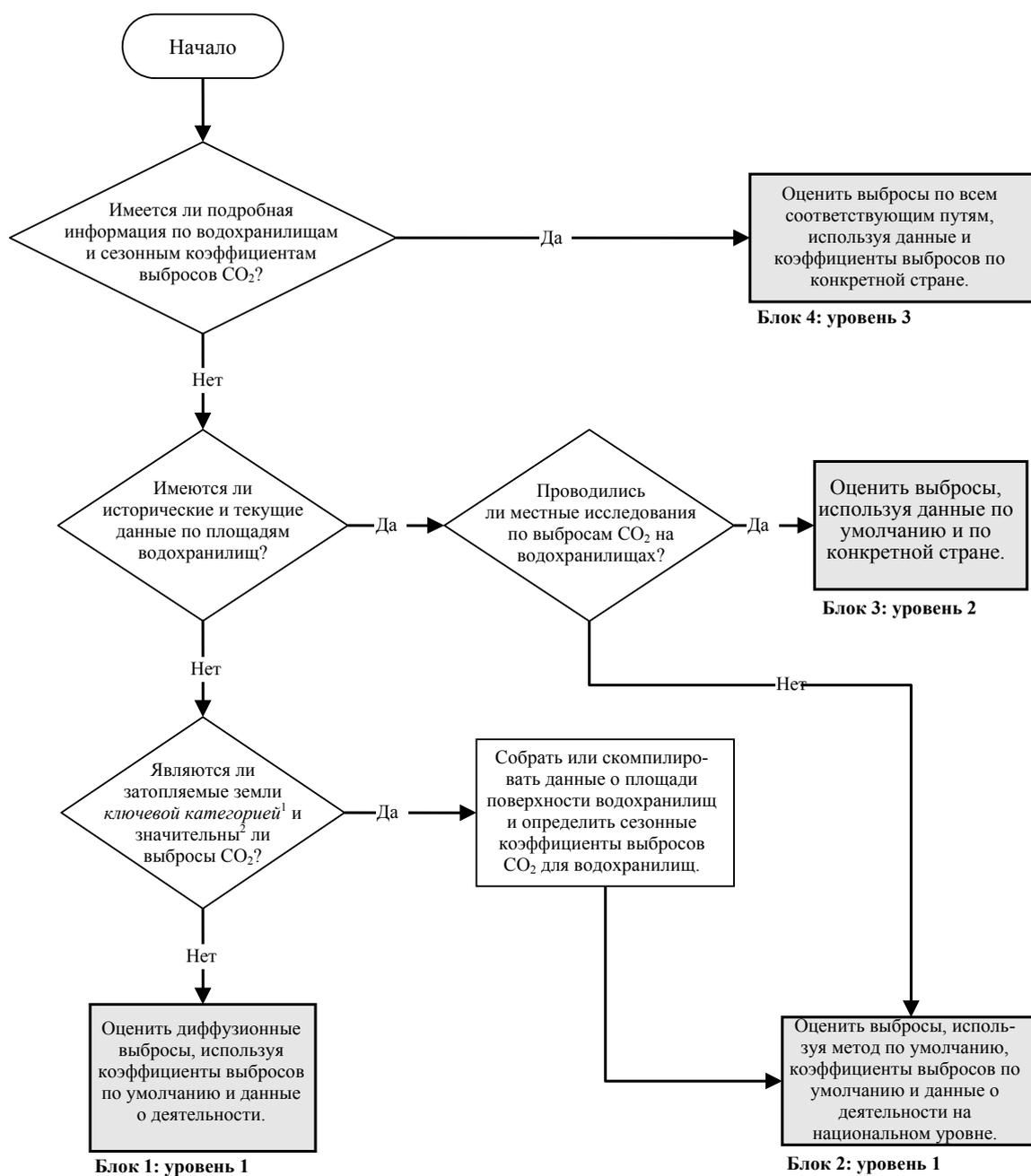
**ВЫБОР МЕТОДА**

Приведенная на рисунке 2а.1 блок-схема служит руководством для составителей кадастров при выборе подходящего уровня. Выбор уровня и уровень пространственного и временного разукрупнения, используемого составляющими кадастры учреждениями, будут зависеть от наличия данных о деятельности и коэффициентов выбросов, а также важности вклада водохранилища в национальные выбросы парниковых газов.

**Уровень 1**

Уровень 1 обеспечивает упрощенный подход к оценке выбросов  $CO_2$  из водохранилищ с использованием коэффициентов выбросов по умолчанию и данных с большей степенью обобщения. Единственный путь выбросов  $CO_2$ , рассматриваемый на уровне 1 – это диффузионные выбросы в период отсутствия льда.

Рисунок 2а.1 Блок-схема для выбора соответствующего уровня



Примечание:

1: Обсуждение *ключевых категорий* и применение схем 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: Подкатегория является значимой, если на ее долю приходится 25-30 % выбросов/поглощений от общей категории.

Диффузионные выбросы CO<sub>2</sub> в период наличия ледяного покрова приняты равными нулю. По умолчанию считается, что выбросы CO<sub>2</sub> ограничиваются первыми 10 годами после того, как произошло затопление, и любые последующие выбросы CO<sub>2</sub> происходят в результате поступления в водохранилище углерода от других земельных площадей (например, от сельскохозяйственных угодий выше по течению). Для оценки изменения запасов углерода в живой надземной биомассе в связи с переустройством земель в затопляемые земли может использоваться уравнение 2.16 из главы 2, если надземная биомасса рассчитывается до затопления. Если надземная биомасса сжигается, то следует использовать уравнение 2.14 или 2.27 из главы 2 (выбросы от сжигания биомассы). Кроме того, во всех случаях для оценки выбросов CO<sub>2</sub> от нерасчищенного углерода следует использовать приведенное ниже уравнение для потоков.

Разложение оставшейся на месте надземной биомассы и органического вещества почвы также внесет вклад в выбросы. Уравнение 2а.1 представляет метод уровня 1 для этих выбросов CO<sub>2</sub>.

**УРАВНЕНИЕ 2А.1**  
**ВЫБРОСЫ CO<sub>2</sub> ОТ ЗЕМЕЛЬ, ПЕРЕУСТРОЕННЫХ В ЗАТОПЛЯЕМЫЕ ЗЕМЛИ (УРОВЕНЬ 1)**

$$CO_2 \text{ Выбросы}_{LW \text{затопл.}} = P \cdot E(CO_2)_{\text{дифф.}} \cdot A_{\text{затопл., общ. площадь}} \cdot f_A \cdot 10^{-6}$$

где:

CO<sub>2</sub> Выбросы<sub>LW затопл.</sub> = общие выбросы CO<sub>2</sub> от земель, переустроенных в затопляемые земли, Гг CO<sub>2</sub>/год,

P = число суток в году без ледяного покрова, сутки/год,

E(CO<sub>2</sub>)<sub>дифф.</sub> = среднесуточные диффузионные выбросы, кг CO<sub>2</sub>/га x сутки,

A<sub>затопл., общ. площадь</sub> = общая площадь поверхности водохранилища, включая затопляемые земли, озера и реки, га,

f<sub>A</sub> = доля общей площади водохранилища, которая была затоплена в течение последних 10 лет.

Выбросы CO<sub>2</sub>, оцененные с помощью уравнения 2а.1, являются в высокой степени неопределенными, так как коэффициент выбросов по умолчанию не учитывает различий в местных конкретных условиях и времени, прошедшего с затопления. Использование уравнения 2а.1 совместно с уравнениями 2.14, 2.16 или 2.27 (глава 2) может также привести к переоценке выбросов. Страны, использующие метод уровня 2, могут более точно представить временную зависимость выбросов CO<sub>2</sub> после затопления. Ниже приводятся указания, связанные с методами уровня 2.

### Уровень 2

На уровне 2 для оценки диффузионных выбросов CO<sub>2</sub> используются коэффициенты выбросов по конкретной стране. Выбросы CO<sub>2</sub> от водохранилищ на уровне 2 могут быть оценены в соответствии с показанным в уравнении 2а.1 подходом. Также как для уровня 1, выбросы CO<sub>2</sub> от земель, переустроенных в затопляемые земли, на уровне 2 должны оцениваться только для первых 10 лет после затопления, если только проведенные в конкретных странах исследования не укажут иное.

Оценку диффузионных выбросов можно также расширить, включив различия между периодами, во время которых водохранилища свободны ото льда, и периодами, когда они покрыты льдом (Duchemin *et al.*, 2006). Это может привести к значительному повышению точности для стран с более холодным климатом. Площадь затопляемых земель может далее разбиваться в соответствии с климатической зоной, геологическим фундаментом или любым иным подходящим параметром, указанным в блоке 2а.1.

**УРАВНЕНИЕ 2А.2**  
**ВЫБРОСЫ CO<sub>2</sub> ОТ ЗЕМЕЛЬ, ПЕРЕУСТРОЕННЫХ В ЗАТОПЛЯЕМЫЕ ЗЕМЛИ (УРОВЕНЬ 2)**

$$CO_2 \text{ Выбросы}_{LW \text{затопл.}} = \left[ \frac{\left( (P_f \cdot E_f(CO_2)_{\text{дифф.}}) + (P_i \cdot E_i(CO_2)_{\text{дифф.}}) \right)}{\left( A_{\text{затопл., площадь}} \cdot f_A \cdot 10^{-6} \right)} \right]$$

где:

$CO_2$  Выбросы<sub>1,W затопл.</sub> = общие выбросы CO<sub>2</sub> от земель, переустроенных в затопляемые земли, Гг CO<sub>2</sub>/год,

$P_f$  = период состояния, свободного ото льда, сутки/год,

$P_1$  = период нахождения подо льдом, сутки/год,

$E_f(CO_2)_{дифф.}$  = среднесуточные диффузионные выбросы от границы раздела воздух-вода во время периода, свободного ото льда, кг CO<sub>2</sub>/га x сутки,

$E_1(CO_2)_{дифф.}$  = диффузионные выбросы, связанные с периодом нахождения подо льдом, кг CO<sub>2</sub>/га x сутки,

$A_{затопл., площадь}$  = общая площадь поверхности водохранилища, включая затопляемые земли, озера и реки, га,

$f_A$  = доля общей площади, затопленная в течение последних 10 лет, безразмерная величина.

### Уровень 3

Методы уровня 3 для оценки выбросов CO<sub>2</sub> являются всесторонними и должны включать дополнительные данные по конкретной стране по всем соответствующим путям выбросов CO<sub>2</sub>, таким как, например, дегазирующие выбросы. Коэффициенты выбросов разукрупняются для представления всех соответствующих источников временной и пространственной изменчивости (см. блок 2a.1). Во избежание двойного учета на уровне 3 требуется также раздельное рассмотрение выбросов от распада затопляемого органического вещества и от разложения органического вещества, поступающего от водосбора.

### ВЫБОР КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЫБРОСОВ

Ключевыми значениями по умолчанию, которые требуются для осуществления метода уровня 1, являются коэффициенты выбросов для диффузионных потоков CO<sub>2</sub>. В таблице 2a.2 представлены данные измерений выбросов для различных климатических зон. Эти данные измерений выбросов включают известные пространственные (различия между водохранилищами и регионами) и временные изменения (засушливые/дождливые условия и прочие сезонные изменения, междугодичные изменения) в выбросах от водохранилищ, а также потоки на границе раздела вода-воздух водохранилищ. Уровень 1 применим только к свободному от льда периоду. В период полного ледяного покрова выбросы CO<sub>2</sub> приняты равными нулю, хотя в действительности выбросы происходят. Все данные получены от измерений на водохранилищах гидроэлектростанций или водохранилищах по регулированию паводков.

На уровне 2 должны использоваться, насколько это возможно, коэффициенты выбросов по конкретной стране и должны учитываться выбросы в течение зимнего периода (при ледяном покрове). Разработка коэффициентов выбросов по конкретной стране обсуждается в блоке 2a.1. Вывод коэффициентов по конкретной стране должен быть четким образом задокументирован и в идеальном случае опубликован в литературе, прошедшей рецензирование независимыми экспертами. Рекомендации в блоке 2a.1 применяются также для получения коэффициентов выбросов для уровня 3.

### ВЫБОР ДАННЫХ О ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Для оценки выбросов затопляемых земель могут потребоваться несколько различных типов данных о деятельности в зависимости от осуществляемого уровня и от потенциальных источников пространственной и временной изменчивости в пределах национальной территории.

#### Площадь затопляемых земель

Для уровня 1 во всех случаях требуются данные об общей площади водохранилищ и доли площади, затопленной за последние 10 лет ( $f_A$ ). Использование на более высоком уровне более подробных профилей выбросов в зависимости от времени потребует соответствующей информации по возрастному распределению затопляемых земель. Страны могут получить данные о площади своих затопляемых земель на основе анализа площади водосбора, из национальной базы данных о плотинах, из отчетов Международной комиссии по большим плотинам (ICOLD, 1998) или Всемирной комиссии по плотинам (WCD, 2000). Так как площадь затопляемых земель может быстро меняться и вследствие 10-летнего временного предела, страны должны использовать обновленные и последние данные о площади поверхности водохранилища. На уровне 2 эти данные о деятельности должны быть разукрупнены по соответствующим категориям (см. блок 2a.1). Для уровней 2 и 3 странам надлежит создать национальную базу данных водохранилищ с соответствующими данными или информацией по

наименованиям, типам, географическим координатам, году заполнения, площади поверхности, глубине, скорости оттока и прочим параметрам водохранилищ, как описано в блоке 2а.1.

### Период, свободный ото льда / период подо льдом

При любых уровнях для оценки выбросов CO<sub>2</sub> необходимы данные о периодах, в течение которых водохранилища свободны ото льда или полностью покрыты льдом. Эта информация может быть получена от национальных метеорологических служб.

### Объем оттока /водосброса

При уровне 3 для оценки дегазирующих выбросов CO<sub>2</sub> требуются данные об объеме оттока и объеме водосброса для затопляемых земель.

### Концентрации CO<sub>2</sub> в верхнем и нижнем течении от плотин

При уровне 3 требуются данные о концентрациях CO<sub>2</sub> в верхнем и нижнем течении от плотин для оценки дегазирующих выбросов. Информация по методам измерений может быть почерпнута из ссылок, указанных в блоке 2а.1.

ТАБЛИЦА 2А.2 ДАННЫЕ ИЗМЕРЕНИЙ ВЫБРОСОВ CO <sub>2</sub> ДЛЯ ЗАТОПЛЯЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ						
Климат	Диффузионные выбросы (период, свободный ото льда) E <sub>f</sub> (CO <sub>2</sub> ) <sub>diff</sub> (кг CO <sub>2</sub> / га x сутки)					Ссылки
	Медиан.	Мин.	Макс.	N <sub>m</sub>	N <sub>res</sub>	
Полярный/бореальный влажный	11,8	0,8	34,5	1011	20	Bergström <i>et al.</i> , 2004; Åberg <i>et al.</i> , 2004; Huttunen <i>et al.</i> , 2002
Умеренный холодный, увлажненный	15,2	4,5	86,3	633	20	Duchemin, 2000; Schellhase <i>et al.</i> , 1994 ; Duchemin <i>et al.</i> , 1999 ; Duchemin <i>et al.</i> , 1995; Tremblay <i>et al.</i> , 2005
Умеренный теплый, увлажненный	8,1	-10,3	57,5	507	33	Duchemin, 2000; Duchemin, 2002a ; St-Louis <i>et al.</i> , 2000; Smith and Lewis, 1992 ; Tremblay <i>et al.</i> , 2005
Умеренный теплый, сухой	5,2	-12,0	31,0	390	43	Soumis <i>et al.</i> , 2004 ; Therrien <i>et al.</i> , 2005
Тропический, влажный	44,9	11,5	90,9	642	7	Keller and Stallard, 1994; Galy-Lacaux <i>et al.</i> , 1997; Galy-Lacaux, 1996; Duchemin <i>et al.</i> , 2000; Pinguelli Rosa <i>et al.</i> , 2002; Tavares de lima <i>et al.</i> , 2002; Tavares de lima, 2005
Тропический, сухой	39,1	11,7	58,7	197	5	Pinguelli Rosa <i>et al.</i> , 2002; Dos Santos, 2000

Во втором столбце представлены медианные значения для взятых из литературы выбросов CO<sub>2</sub>, которые сами являются среднеарифметическими значениями потоков, замеренных над отдельными резервуарами. Медианные значения используются, так как частотные распределения данных основополагающих измерений потоков не являются нормальными и их среднеарифметические значения уже искажены экстремальными значениями. Минимальные и максимальные значения являются соответственно самыми низкими и самыми высокими значениями из всех отдельных результатов измерений в пределах заданного климатического региона; эти значения представлены только в целях демонстрации изменчивости. N<sub>m</sub> = число измерений; N<sub>res</sub> = число водохранилищ в объеме выборки .

Эти измерения могут включать неантропогенные выбросы (например, выбросы от углерода в расположенном выше по течению бассейне) и возможный двойной учет антропогенных выбросов (например, сточных вод от городских зон в районе водохранилища) и, таким образом, могут привести к переоценке выбросов.

## ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ

При оценке выбросов парниковых газов из водохранилищ двумя самыми крупными источниками неопределенности являются коэффициенты выбросов при различных путях выбросов (диффузионные, пузырьковые и дегазирующие выбросы) и оценки площадей зеркал водохранилищ.

### Коэффициенты выбросов

Приведенные в таблице 2а.2 данные диффузионных выбросов CO<sub>2</sub> изменяются по величине на один – два порядка в бореальных и умеренных регионах и на один – три порядка в тропических регионах. Поэтому использование какого-либо коэффициента выбросов, полученного на основе таблицы 2а.2, приведет к высокой неопределенности. Так как возраст водохранилищ оказывает значительное влияние на потоки CO<sub>2</sub> в течение первых 10 лет, то применяемый метод может привести к недооценке выбросов CO<sub>2</sub>.

Дегазирующие выбросы CO<sub>2</sub>, обычно значительные в умеренном и тропическом регионах, являются важным источником неопределенности для уровня 3. Исследования показали, что на долю этих выбросов CO<sub>2</sub> приходится все выбросы парниковых газов от водохранилища в умеренном, сухом регионе и до 30% в умеренном влажном регионе (Soumis *et al.*, 2004). В умеренных холодных регионах дегазирующие выбросы CO<sub>2</sub> составляют менее 5% общих выбросов парниковых газов от водохранилищ (Duchemin, 2000; Hélie, 2003).

Для уменьшения неопределенности коэффициентов выбросов странам следует разрабатывать подходящие статистически обоснованные стратегии выборки, которые учитывают факторы, лежащие в основе временной и пространственной изменчивости исследуемых экосистем (см. блок 2а.1).

### Площадь поверхности затопляемых земель

Должна быть доступна национальная статистическая информация по затопляемой площади, поддерживаемой позади крупных плотин (>100 км<sup>2</sup>), с возможной точностью в пределах 10%. В тех случаях, когда национальная база данных по плотинам недоступна и используются иные источники информация, данные о площадях затопляемых земель позади плотин будут, вероятно, иметь неопределенность более 50%, особенно для стран с большими площадями затопляемых земель. Получение подробной информации о местоположении, типе и работе более мелких плотин может также оказаться проблематичным, хотя может иметься возможность статистического вывода, основанного на распределении по размерам водохранилищ, для которых имеются данные. Водоохранилища создаются по множеству причин, которые влияют на доступность данных, и, как следствие, неопределенность площади поверхности зависит от конкретных условий по стране.

## Ссылки

- Åberg, J., Bergström, A.K., Algesten, G., Söderback, K. and Jansson, M. (2004). A comparison of the carbon balances of a natural lake (L. Östräsket) and a hydroelectric reservoir (L. Skinnmuddsetlet) in northern Sweden, *Water Research*, **28**, 531-538.
- Abril, G., Guérin, F., Richard, S., Delmas, R., Galy-Lacaux, C., Gosse, P., Tremblay, A., Varfalvy, L., dos Santos, A.M. and Matvienko, B. (2005). Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-years old tropical reservoir (Petit-Saut, French Guiana). *Global Biogeochemical Cycle* (in press).
- Bergström, A.K., Algesten, G., Sobek, S., Tranvik, L. and Jansson, M. (2004). Emission of CO<sub>2</sub> from hydroelectric reservoirs in northern Sweden, *Arch. Hydrobiol.*, **159**, 1, 25-42.
- Cole, J.J. and Caraco, N.F. (2001). Carbon in catchments: connecting terrestrial carbon losses with aquatic metabolism. *Marine and Freshwater Research*, **52**:101-110
- Delmas, R., Richard, S., Guérin, F., Abril, G., Galy-Lacaux, C., Delon, C. and Grégoire, A. (2005). Long Term Greenhouse Gas Emissions from the Hydroelectric Reservoir of Petit Saut (French Guiana) and Potential Impacts. In Tremblay, A., L. Varfalvy, C. Roehm and M. Garneau (Eds.). *Greenhouse gas Emissions: Fluxes and Processes, Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments*. Environmental Science Series, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 293-312.
- dos Santos, M.A. (2000). Inventário emissões de gases de efeito estufa derivadas de Hidrelétricas, PhD. Dissertation, University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil, 154p.

- Duchemin, E., Lucotte, M., Canuel, R. and Soumis, N. (2006). First assessment of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> emissions from shallow and deep zones of boreal reservoirs upon ice break-up, *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, **11**:9-19.
- Duchemin É. (2000). Hydroelectricity and greenhouse gases: Emission evaluation and identification of biogeochemical processes responsible for their production, PhD. Dissertation, Université du Québec à Montréal, Montréal (Québec), Canada, 321 p (available on CD-ROM).
- Duchemin, É., Lucotte, M., Canuel, R. and Chamberland, A. (1995). Production of the greenhouse gases CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> by hydroelectric reservoirs of the boreal region, *Global Biogeochemical Cycles*, **9**, 4, 529-540.
- Duchemin, É., Lucotte, M., Canuel, R., Almeida Cruz, D., Pereira, H.C., Dezincourt, J. and Queiroz, A.G. (2000). Comparison of greenhouse gas emissions from an old tropical reservoir and from other reservoirs worldwide, *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, **27**, 3, 1391-1395.
- Duchemin, É., Canuel, R., Ferland, P. and Lucotte, M. (1999). Étude sur la production et l'émission de gaz à effet de serre par les réservoirs hydroélectriques d'Hydro-Québec et des lacs naturels (Volet 2), Scientific report, Direction principal Planification Stratégique - Hydro-Québec, 21046-99027c, 48p.
- Fearnside, P.M. (2002). Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí dam) and the energy policy implications, *Water Air and Soil Pollution* **133**, 1-4, 69-96.
- Galy-Lacaux, C. (1996). Modifications des échanges de constituants mineurs atmosphériques liées à la création d'une retenue hydroélectrique. Impact des barrages sur le bilan du méthane dans l'atmosphère, PhD dissertation, Université Paul Sabatier, Toulouse (France), 200 p.
- Galy-Lacaux, C., Delmas, R., Jambert, C., Dumestre, J.-F., Labroue, L., Richard, S. and Gosse, P. (1997). Gaseous emissions and oxygen consumption in hydroelectric dams: a case study in French Guyana, *Global Biogeochemical Cycles*, **11**, 4, 471-483.
- Hélie, J.F. (2004). Geochemistry and fluxes of organic and inorganic in aquatic systems of eastern Canada: examples of the St-Lawrence River and Robert-Bourassa reservoir: Isotopic approach, PhD. Dissertation, Université du Québec à Montréal, Montréal (Québec), Canada, 205p.
- Houel, S. (2003). Dynamique de la matière organique terrigène dans les réservoirs boréaux, PhD. Dissertation, Université du Québec à Montréal, Montréal (Québec), Canada, 121p.
- Huttunen, J.T., Alm, J., Liikanen, A., Juutinen, S., Larmola, T., Hammar, T., Silvola, J. and Martikainen, P.J. (2003). Fluxes of methane, carbon dioxide and nitrous oxide in boreal lakes and potential anthropogenic effects on the aquatic greenhouse gas emissions, *Chemosphere*, **52**, 609-621
- Huttunen, J.T., Väisänen, T.S., Hellsten, S.K., Heikkinen, M., Nykänen, H., Jungner, H., Niskanen, A., Virtanen, M.O., Lindqvist, O.V., Nenonen, O.S. and Martikainen, P.J. (2002). Fluxes of CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, and N<sub>2</sub>O in hydroelectric reservoir Lokka and Porttipahta in the northern boreal zone in Finland, *Global Biogeochemical Cycles*, **16**, 1, doi:10.1029/2000GB001316.
- International Commission on Large Dams (ICOLD) (1998). World register of Dams 1998. Paris. International Committee on large Dams (Ed.). Metadatabase.
- Keller, M. and Stallard, R.F. (1994). Methane emission by bubbling from Gatun lake, Panama, *J. Geophys. Res.*, **99**, D4, 8307-8319.
- Rosa, L.P., Schaeffer, R. and Santos, M.A. (1996). Are hydroelectric dams in the Brazilian Amazon significant sources of greenhouse gases? *Environmental Conservation*, **66**, No. 1: 2-6. Cambridge University Press.
- Rosa, L.P., Santos, M.A., Matvienko, B., Santos, E.O. and Sisar, E. (2004). Greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical Regions, *Climatic Change*, **66**: 9-21.
- Rosa, L.P., Matvienko Sikar, B., dos Santos, M.A., Matvienko Sikar, E. (2002). Emissões de dióxido de carbono e de metano pelos reservatórios hidroelétricos brasileiros, Relatório de referência – Inventário brasileiro de emissões antropicas de gás de efeito de estufa, Ministério da Ciência e tecnologia, Brazil, 199p.
- Schlellhase, H.U. (1994). B.C. Hydro Strategic R&D; Carbon project - Reservoir case study, Powertech Labs inc., Final Report, 1-57.
- Smith, L.K. and Lewis, W.M. (1992). Seasonality of methane emissions from five lakes and associated wetlands of the Colorado Rockies, *Global Biogeochemical Cycles*, **6**, 4, 323-338
- Soumis, N., Lucotte, M., Duchemin, É., Canuel, R., Weissenberger, S., Houel, S. and Larose, C. (2005). Hydroelectric reservoirs as anthropogenic sources of greenhouse gases. In *Water Encyclopedia*. Volume

- 3: Surface and agricultural water, sous la dir. de J. H. Lehr et J. Keeley. p. 203-210. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Soumis, N., Duchemin, É., Canuel, R. and Lucotte, M. (2004). Greenhouse gas emissions from reservoirs of the western United States, *Global Biogeochem. Cycles*, **18**, GB3022, doi:10.1029/2003GB002197.
- St-Louis, V., Kelly, C.A., Duchemin, É., Rudd, J.W.M. and Rosenberg, D.M. (2000). Reservoir surfaces as sources of greenhouse gases: A global estimate, *Bioscience*, **50**, 9, 766-775.
- Tavares de Lima, I. (2005). Biogeochemical distinction of methane releases from two Amazon hydroreservoirs, *Chemosphere*, In Press
- Tavares de Lima, I. (2002). Emissao de metano em reservatorio hidreletricos amazonicos atraves de leis de potencia (Methane emission from Amazonian hydroelectric reservoirs through power laws), PhD Dissertation, Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, Brazil, 119 p.
- Therrien, J. (2005). Aménagement hydroélectrique de l'Estmain-1 – Étude des gaz à effet de serre en milieux aquatiques 2003-2004. Rapport de GENIVAR Groupe Conseil Inc. à la Société d'énergie de la Baie James. 48 p. et annexes.
- Therrien, J. (2004). Flux de gaz à effet de serre en milieux aquatiques - Suivi 2003. Rapport de GENIVAR Groupe Conseil Inc. présenté à Hydro-Québec. 52 p. et annexes.
- Therrien, J., Tremblay, A. and Jacques, R. (2005). CO<sub>2</sub> Emissions from Semi-arid Reservoirs and Natural Aquatic Ecosystems. In Tremblay, A., L. Varfalvy, C. Roehm et M. Garneau (Eds.). Greenhouse Gas Emissions: Fluxes and Processes, Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments. Environmental Science Series, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 233-250.
- Tremblay, A., Therrien, J., Hamlin, B., Wichmann, E. and LeDrew, L. (2005). GHG Emissions from Boreal Reservoirs and Natural Aquatic Ecosystems. In Tremblay, A., L. Varfalvy, C. Roehm and M. Garneau (Eds.). Greenhouse gas Emissions: Fluxes and Processes, Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments. Environmental Science Series, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 209-231.
- WCD (2000). Dams and Development a New Framework for Decision-Making, The Report of the World Commission on Dams, Earthscan Publications Ltd, London and Sterling, VA, 356 p.