

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ ОСНОВА ДЛЯ АНАЛИЗА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ, РЕДАКТОРЫ И ЭКСПЕРТЫ

Сопредседатели совещания экспертов по Межсекторальным методологиям для оценки неопределенности и обеспечения качества кадастра

Така Хираиши (Япония) и Бурухани Ниензи (Танзания)

РЕДАКТОР-РЕЦЕНЗЕНТ

Ричард Одинго (Кения)

Группа экспертов: Концептуальная основа для анализа неопределенностей

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ

Ян Галбалли (Австралия) и Нютон Пасиорник (Бразилия)

АВТОРЫ СПРАВОЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫХ ДОКУМЕНТОВ

Ян Галбалли (Австралия), Нютон Пасиорник (Бразилия) и Милош Тихи (Чешская Республика)

СОТРУДНИЧАЮЩИЕ АВТОРЫ

Уили Барбур (США), Леандро Буендиа (МГЭИК-ПНКПГ/ГТП), Франк Джакоб (Антигуа), Наоки Матсуо (Япония), Ричард Одинго (Кения), Даниела Романо (Италия) и Милош Тихи (Чешская Республика)

Содержание

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ ОСНОВА ДЛЯ АНАЛИЗА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ

A1.1	ВВЕДЕНИЕ	A1.5
A1.2	СТАТИСТИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ	A1.5
A1.2.1	Представление неопределенности	A1.5
A1.2.2	Отдельная выборка, среднее значение и доверительный интервал.....	A1.6
A1.2.3	Выбор надлежащей меры неопределенности	A1.7
A1.2.4	Функции плотности вероятности.....	A1.8
A1.2.5	Руководящие указания по эффективной практике относительно выбора функции плотности вероятности	A1.9
A1.2.6	Характеристика функций плотности вероятности для анализов неопределенности...	A1.10
A1.3	ИСТОЧНИКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В КАДАСТРАХ	A1.10
A1.4	ОЦЕНКА, РЕГИСТРАЦИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ В КАДАСТРАХ	A1.11
A1.4.1	Определение и регистрация неопределенностей в входных данных	A1.11
A1.4.2	Репрезентативная выборка, алгоритмы и ковариация	A1.13
A1.4.3	Распространение неопределенностей	A1.17
A1.4.4	Распространение неопределенностей в кадастре в целом.....	A1.20
A1.4.5	Ковариация и автокорреляция	A1.20
A1.4.6	Систематический сбор данных о неопределенностях в компонентах кадастра.....	A1.21
A1.5	ПРИМЕНЕНИЯ.....	A1.22
A1.5.1	Значимость межгодовых различий и тенденций в кадастрах	A1.22
A1.5.2	"Сращивание" методов	A1.23
A1.5.3	Анализ чувствительности и установление приоритетов в области исследований для целей национальных кадастров.....	A1.25
A1.6	ПОТРЕБНОСТИ В ИССЛЕДОВАНИЯХ	A1.26
	БИБЛИОГРАФИЯ.....	A1.25

Р и с у н о к

Рисунок А1.1 Графическая схема принятия решений относительно мер по обеспечению репрезентативности данных А1.15

Т а б л и ц а

Таблица А1.1 Национальные оценки массы отходов на мусорных свалках за 1990 г. А1.7

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ ОСНОВА ДЛЯ АНАЛИЗА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ

А1.1 ВВЕДЕНИЕ

Для разработки методологии для оценки неопределенностей в кадастре необходим структурный подход. Соответствующие потребности включают следующее:

- Метод определения неопределенностей в отдельных элементах, использованных в кадастре;
- Метод агрегирования неопределенностей отдельных элементов в общую неопределенность кадастра;
- Метод определения значимости межгодовых различий и долгосрочных тенденций в кадастрах с учетом информации о неопределенности;
- Знания о вероятных видах использования этой информации, которые включают определение областей, требующих проведения дальнейших научных исследований и наблюдений, и количественное определение значимости межгодовых и долгосрочных изменений в национальных кадастрах парниковых газов;
- Понимание того, что могут существовать другие неопределенности, такие как неопределенности, возникающие из-за неточных определений, с которыми нельзя работать с помощью статистических средств.

Настоящее приложение посвящено основе для концепций, используемых по всему настоящему докладу, для рассмотрения неопределенностей в кадастрах парниковых газов. В конце настоящего приложения рассматриваются некоторые вопросы, касающиеся неопределенностей в кадастрах, требующих дальнейших научных исследований.

А1.2 СТАТИСТИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ

Существует ряд основных статистических концепций и элементов, являющихся центральными для понимания неопределенностей в кадастрах парниковых газов. Эти элементы имеют общепринятые значения, специальные значения в статистической литературе и, в некоторых случаях, другие специальные значения, относящиеся только к неопределенностям в кадастрах. Для ознакомления с соответствующими определениями читателю предлагается обратиться к Глоссарию в приложении 3; определениям в документах ВОКНТА-РКИК ООН (1999 г.) и в Руководстве по учету неопределенности Международной организации стандартизации (ИСО, 1993 г.).

Процесс оценки неопределенностей в кадастрах парниковых газов основан на определенных характеристиках представляющей интерес конкретной переменной (входной величины) так, как она оценена на основе соответствующего ей комплекта данных. В идеальном варианте соответствующая информация должна включать следующее:

- арифметическое среднее (средняя величина) комплекта данных;
- среднеквадратичное отклонение комплекта данных (квадратный корень дисперсии);
- среднеквадратичное отклонение среднего значения (среднеквадратичная ошибка среднего значения);
- распределение вероятности данных;
- ковариации конкретной входной величины с другими входными величинами, используемыми при расчетах в кадастре.

А1.2.1 Представление неопределенности

Важным аспектом анализа неопределенности является определение того, каким образом следует выражать неопределенности, ассоциирующиеся с отдельными оценками или с итоговыми величинами в кадастре. В *Пересмотренных руководящих принципах национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 1996 г. (Руководящие принципы МГЭИК)* указывается следующее: "в случае, когда имеется достаточно информации для определения лежащего в основе распределения вероятности для традиционного статистического анализа, следует рассчитывать в качестве определения диапазона

доверительный интервал в 95 процентов. Диапазоны неопределенности могут быть оценены с использованием классического анализа (Robinson, 1989) или анализа методом Монте-Карло (Eggleston, 1993). В ином случае соответствующий диапазон должен оцениваться национальными экспертами".

Такое указание означает, что доверительный интервал задается доверительными пределами, определяемыми как 2,5 процентиля и 97,5 процентилей интегральной функции распределения оцениваемой величины. Говоря другими словами, диапазон неопределенной величины в рамках кадастра следует выражать таким образом, чтобы: (i) существовала 95% вероятность того, что реальное значение оцениваемой величины находится внутри интервала, определяемого доверительными пределами, и (ii) существовала равная вероятность того, что реальное значение, если оно лежит за пределами названного диапазона, находится непосредственно выше или ниже его.

A1.2.2 Отдельная выборка, среднее значение и доверительный интервал

Один из ключевых вопросов при компиляции неопределенностей в рамках кадастров заключается в проведении различия между среднеквадратичным отклонением комплекта данных и среднеквадратичным отклонением среднего значения выборки. Неопределенность, ассоциирующаяся с анализируемой информацией (интенсивность выбросов, данные о деятельности или коэффициент выбросов), может представлять собой, в зависимости от контекста, либо среднеквадратичное отклонение совокупности, из которой берется выборка, либо среднеквадратичное отклонение среднего значения выборки (ИСО, 1993).

Среднеквадратичное отклонение среднего значения, известное также как среднеквадратичная ошибка среднего значения, представляет собой среднеквадратичное отклонение комплекта выборочных данных, разделенное на квадратный корень количества частных значений наблюдений. Среднеквадратичное отклонение и дисперсия комплекта данных не изменяются систематично с количеством наблюдений, но среднеквадратичное отклонение среднего значения уменьшается по мере увеличения количества наблюдений. В большей части литературы по статистике и физике среднеквадратичное отклонение среднего значения известно как среднеквадратичная ошибка среднего значения, однако ИСО (1993 г.) рекомендует использовать для этой величины термин "среднеквадратичное отклонение среднего значения".

Использование среднеквадратичного отклонения для оценки пределов доверительного интервала (в данном случае 95 % доверительного интервала) напрямую зависит от распределения вероятности конкретного комплекта данных или функции вероятности, выбранной для представления конкретного комплекта данных. Для некоторых распределений вероятности, включая обсуждаемые ниже, существуют аналитические соотношения, которые соотносят среднеквадратичное отклонение с необходимыми доверительными интервалами. Некоторые примеры приведены в приложении 3 (Глоссарий) и Документах ИСО (1993 г.). Как правило, предполагается, что для рассматриваемой переменной существует нормальное распределение; в этом случае доверительные пределы являются симметричными относительно среднего значения. Для 95 % доверительного интервала доверительные пределы представляют собой приблизительно два среднеквадратичных отклонения переменной – выше и ниже среднего значения.

Вероятно, что во многих обстоятельствах количественная оценка неопределенностей для входных переменных в кадастре потребует проведения анализов небольших количеств данных в совокупности с оценкой экспертов. По этой причине важно изучать информационное содержание небольших комплектов данных. Проведен ряд полезных исследований объема информации о неопределенностях, содержащейся в комплектах данных при небольшом числе наблюдений (Manly, 1997; Cullen and Frey, 1999). Изучаемым элементом при этом является 95 % доверительный интервал оценки среднеквадратичного отклонения. Речь идет о неопределенности в оценке среднеквадратичного отклонения, т.е. по существу, как может варьировать среднеквадратичное отклонение от одного комплекта данных наблюдений к другому, когда оба комплекта данных наблюдений относятся к одной и той же величине. В работе Cullen and Frey (1999 г.) представлены данные, из которых были выведены пределы 95% доверительного интервала среднеквадратичного отклонения для нормально распределенной переменной, когда выборка, используемая для расчета среднеквадратичного отклонения, имеет какое-либо заданное количество наблюдений. Пределы 95 % доверительного интервала для повторяющихся определений среднеквадратичного отклонения представляют собой следующее:

- 7 наблюдений: 0,64 и 2,2 раза среднеквадратичного отклонения, оцененного на основе очень большого количества наблюдений;

- 20 наблюдений: 0,76 и 1,5 раза среднеквадратичного отклонения, оцененного на основе очень большого количества наблюдений;
- 100 наблюдений: 0,88 и 1,2 раза среднеквадратичного отклонения, оцененного на основе очень большого количества наблюдений.

Аналогичный анализ неопределенности в оценках доверительных интервалов был проведен в отношении синтетической выборочной совокупности данных для распределений, отличных от нормального распределения, с использованием метода замещения данных (Manly, 1997 г.), который дал результаты, аналогичные указанным выше. Что подчеркнули эти расчеты, так это факт, что необходимо иметь очень большое количество данных наблюдений для точной оценки дисперсии, среднеквадратичного отклонения и среднеквадратичной ошибки среднего значения любой величины. В сущности, доверительные интервалы, оцененные с использованием небольшого количества наблюдений через дисперсию (и предполагаемое распределение вероятности), характеризуются связанными с ними неопределенностями, и в этих случаях дополнительные данные наблюдений могут либо увеличить, либо уменьшить эти рассчитанные пределы неопределенности. В конечном итоге большие количества данных наблюдений будут уменьшать пределы неопределенности среднеквадратичного отклонения.

A1.2.3 Выбор надлежащей меры неопределенности

Ниже приведены два гипотетических рабочих примера, иллюстрирующих выбор среднеквадратичной ошибки среднего значения и среднеквадратичного отклонения комплекта данных в качестве соответствующей неопределенности.

В первом случае коэффициент выбросов для парникового газа от сжигания биомассы в саванне был измерен в 9 отдельных обстоятельствах и варьировался между 0 и $6 \cdot 10^{-3}$ кг кг⁻¹ (масса, выброшенная на единицу массы сожженной биомассы); при этом арифметическое среднее и среднеквадратичное отклонение комплекта данных составляли соответственно $2 \cdot 10^{-3}$ кг кг⁻¹ и $1 \cdot 10^{-3}$ кг кг⁻¹, иногда записанных как $2 \pm 1 \cdot 10^{-3}$ кг кг⁻¹. Коэффициент выбросов, использованный за этот год в алгоритме кадастра МГЭИК, является арифметическим средним значением, а неопределенность, соответствующая кадастру, должна быть основана на среднеквадратичной ошибке среднего значения, что составляет $1 \cdot 10^{-3} / \sqrt{9}$ кг кг⁻¹ или $3.3 \cdot 10^{-4}$ кг кг⁻¹, что в три раза меньше, чем среднеквадратичное отклонение. Среднее значение и 95 % доверительный интервал затем охватываются выражением $2 \pm 0.7 \cdot 10^{-3}$ кг кг⁻¹.

Во втором случае рассматривается один из компонентов кадастра, для которого имеется единственная оценка за конкретный год, которая была рассчитана более чем в одном случае. Такие пересчеты происходили в результате изменений в согласованной методологии, в ходе ревизий кадастра или в результате появления новых данных. В этом случае подходящим оказалось среднеквадратичное отклонение комплекта выборки, а не среднеквадратичное отклонение среднего значения.

Иллюстрацией этого момента может служить использование комплекта национальных оценок массы отходов на свалках, приведенных в таблице A1.1. Это данные о деятельности, необходимые для расчета выбросов парниковых газов из отходов.

ТАБЛИЦА A1.1	
НАЦИОНАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ МАССЫ ОТХОДОВ НА МУСОРНЫХ СВАЛКАХ ЗА 1990 Г.	
Источник и год оценки	Масса (килотонны)
Технологическая комиссия, 1991 г.	12,274
Консультант, 1994 г.	11,524
Национальный кадастр, 1994 г.	14,663
Ревизия национального кадастра, 1995 г.	16,448
Ревизия национального кадастра, 1996 г.	12,840
Академическое обзорное исследование, 1995 г.	22,000
Среднее значение	14,958
Среднеквадратичное отклонение	3,883

Можно отметить, что среднее значение и 95 % доверительный интервал, основанный на среднеквадратичной ошибке среднего значения шести оценок, составляет $14,958 \pm 3,107$. Однако в случае, когда используется кадастровая оценка за 1996 г., используется только единственная оценка, и неопределенность, соответствующая кадастру, рассчитывается из среднеквадратичного отклонения комплекта данных.

Конкретно в этом случае, на основе лишь сведений из таблицы А1.1, 95 % доверительный интервал, ассоциирующийся с оценкой 1996 г., должен составлять два среднеквадратичных отклонения, а именно $12,840 \pm 7,610$. Поскольку эта единственная оценка, необходима повторная оценка соответствующих данных. Это связано с тем, что оценка 1996 г. не является средним значением многих независимых вычислений.

Выбор надлежащей меры неопределенности зависит от контекста конкретного анализа. Если за период кадастра имеется только один момент сбора данных, диапазон неопределенности должен быть основан на плотности распределения вероятностей соответствующей совокупности, если она известна, или может быть выведен из других источников. Конкретный сделанный выбор должен изучаться в качестве составной части процесса экспертного исследования для целей кадастра.

А1.2.4 Функции вероятности

В случае, когда проводятся множественные вычисления той величины, которая должна быть внесена в кадастр, получают комплект данных, характеризующийся изменчивостью. Вопрос заключается в том, каким образом представить эту изменчивость в компактном виде. Один из подходов при этом заключается в определении следующих обобщенных статистических параметров (ИСО, 1993 г.; Cullen and Frey, 1999 г.):

- арифметическое среднее значение;
- дисперсия;
- асимметрия (асимметрия распределения);
- эксцесс (островершинность распределения).

Однако при сосредоточении усилий на определении пределов неопределенности в отношении входных данных в смысле частоты (95 % доверительные пределы) возникает необходимость в дополнительной информации о комплекте данных, а также в обобщенных статистических параметрах. Эту дополнительную информацию можно получить, представляя данные в виде распределения вероятностей, при этом либо в виде интегральной функции распределения, либо распределения плотности (ИСО, 1993 г.; Cullen and Frey 1999 г.). Такой подход принят в главе 6 – Количественная оценка неопределенностей на практике. Эмпирическая интегральная функция распределения обеспечивает соотношение между процентилями и данными.¹ Перцентиль – это процентная доля значений в конкретном комплекте данных, которые меньше или равны заданному значению рассматриваемой величины.

Для решения следующей задачи расчета распространения ошибок в сложной системе (используя либо аналитический, либо вычислительный методы), применение эмпирических распределений вероятности является нецелесообразным. Общий подход должен заключаться в замене эмпирического распределения какой-либо аналитической функцией, либо интегральной функцией распределения (CDF), либо функцией плотности вероятности (PDF), которая является первой производной от CDF. Эти функции являются, фактически, первым компонентом модели процесса неопределенности. Кроме того, они представляют собой лишь приближение к реальным данным. Эти функции вероятности важны для двух аспектов работы с неопределенностью. Эти функции необходимы для (i) изучения переноса неопределенностей и (ii) определения доверительного интервала той величины, которая рассматривается.

В статистической литературе существует много функций вероятности, которые часто представляют конкретные ситуации из физического мира. В качестве примеров таких функций и тех ситуаций, которые они представляют, можно назвать следующие:

¹ Один из основных моментов в том, что касается как комплектов данных, так и их представления в виде эмпирических интегральных функций распределения вероятностей, заключается в том, что отсутствует какая-либо информация о вероятных значениях величины для вероятностей в процентилях, которые либо меньше чем $50/n$, либо больше чем $(100-50/n)$, где n – количество наблюдений. В действительности вероятностные данные в хвостах кривой распределения являются очень неопределенными.

- нормальное распределение – рост (как антропометрический показатель) людей;
- логарифмически нормальное распределение – концентрации химических веществ в окружающей среде.

Эти функции могут быть также выражены в усеченном виде для представления ситуации, когда известны физические пределы возможного диапазона данных.

Для представления отсутствия информации о процессах используются другие распределения. Примерами являются:

- равномерное распределение – все значения в каком-либо заданном диапазоне обладают равной вероятностью;
- треугольное распределение – верхний и нижний пределы так же как и предпочтительная величина в этом диапазоне, являются заданными.

Решение вопроса об определении того, какая из функций наилучшим образом подходит к тому или иному комплексу данных, может быть трудным. Один из подходов заключается в использовании квадрата асимметрии распределения и эксцесса для определения тех видов функций, которые подходят для конкретных данных. (Cullen and Frey, 1999). Функция затем подгоняется к данным методом наименьших квадратов или другим способом. Существуют критерии, позволяющие оценить правильность подгонки, включая критерий си-квадрат и другие (Cullen and Frey, 1999). Во многих случаях несколько функций будут удовлетворительно соответствовать конкретным данным в заданных пределах вероятности. Эти различные функции могут иметь радикально различающиеся распределения в крайних значениях, где очень мало или совсем нет данных, ограничивающих их, а предпочтение одной функции перед другой может систематично изменять результаты анализа неопределенности. Cullen and Frey (1999) высказались в поддержку рекомендации предыдущих авторов относительно таких случаев о том, что *необходимы знания о лежащих в основе физических процессах, которые и определяют выбор функции вероятности*. Что обеспечивают контрольные критерии, в свете этих физических знаний, так это представление о том, соответствует ли та или иная функция на удовлетворительном уровне имеющимся данным.

A1.2.5 Руководящие указания по эффективной практике относительно выбора функции плотности вероятности

Критерии сопоставимости, последовательности и прозрачности в кадастрах выбросов, как это определено ранее, удовлетворяются наилучшим образом, когда:

- используется минимальное количество функций вероятности;
- эти функции вероятности хорошо известны и хорошо обоснованы.

Такие функции вероятности будут функциями вероятности по умолчанию.

Критерии точности удовлетворяются в случае, когда либо:

- функции вероятности по умолчанию хорошо согласуются с имеющимися данными; либо
- используется более приемлемая функция вероятности, если функции вероятности по умолчанию не могут обеспечить хорошего соответствия с имеющимися данными или если имеется четкое научное доказательство того, что следует использовать другую функцию вероятности.

Ниже приведены *руководящие указания по эффективной практике* относительно того, каким образом составляющие кадастр учреждения могут обеспечить соответствие этим критериям:

- i) в случае наличия эмпирических данных первый выбор должен заключаться в предположении о нормальном распределении данных (либо в полной, либо в усеченной форме в целях избежания отрицательных значений, если они являются нереалистичными), если только диаграмма рассеяния данных не предполагает, что более подходящим будет другое распределение;
- ii) в случае использования заключения экспертов принятая функция распределения должна быть нормальной или логарифмически нормальной, как в подпункте (i), и дополнена равномерным или треугольным распределениями, как описано в приложении 3;

- iii) другие распределения следует использовать только когда имеются побуждающие к этому причины либо в результате эмпирических наблюдений, либо согласно заключению экспертов, подкрепленному теоретическими аргументами.

A1.2.6 Характеристика функций плотности вероятности (PDF) для анализов неопределенности

Характеристики PDF, которые имеют отношение к количественной оценке и агрегированию неопределенностей, связанных с величинами, включаемыми в национальные кадастры парниковых газов, представляют собой следующее:

- математическая форма PDF;
- параметры, необходимые в качестве входных значений для определения PDF;
- соотношения между этими параметрами, которые определяют PDF, и имеющимися данными об описываемой величине;
- среднее значение, дисперсия и среднеквадратичная ошибка среднего значения, рассчитанные на основе комплекта данных, используемого для определения параметров PDF.

При выборе входных значений и PDF составитель кадастра должен проводить различия между случаями, когда соответствующая неопределенность является среднеквадратичным отклонением или доверительными интервалами комплекта данных, и когда соответствующая неопределенность является среднеквадратичной ошибкой среднего значения.

Как упомянуто ранее, неправильный выбор меры, используемой для оценки неопределенности, ведет к ложным результатам.

A1.3 ИСТОЧНИКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В КАДАСТРАХ

С некоторыми источниками неопределенности можно работать с использованием статистических средств, другие же находятся за пределами сферы охвата статистики (ИСО 1993).

Неопределенность в кадастрах возникает в результате, по меньшей мере, трех различных процессов, а именно:

- неопределенности, проистекающие из определений (например, смысловое значение является неполным, неясным или дано неверное определение выброса или поглотителя);
- неопределенности из-за естественной изменчивости процесса, в результате которого происходят выбросы или поглощения;
- неопределенности, возникающие в результате оценки процесса или величины, включая в зависимости от используемого метода: (i) неопределенности, возникающие при измерениях; (ii) неопределенности, возникающие при выборке; (iii) неопределенности, связанные с исходными данными, которые могут быть описаны неполностью и (iv) неопределенности, связанные с заключением экспертов.

Неопределенности, возникающие из-за неправильных определений, относятся к полноте охвата и отнесения к категориям источников и их следует устранять как можно быстрее до начала проведения анализа неопределенности. Неопределенности, связанные с естественной изменчивостью, присущи процессу выбросов и могут быть оценены путем статистического анализа представительных данных.

Неопределенности, возникающие в результате несовершенных измерений, включают:

- ошибки лица, проводящего измерения, регистрацию и передачу информации;
- ограниченную разрешающую способность приборов или порог избирательности;
- неточные значения стандартов измерения и справочных материалов;

- неточные значения констант и других параметров, взятые из внешних источников и используемые в алгоритме предварительной обработки данных (например, значения по умолчанию, взятые из *Руководящих принципов МГЭИК*);
- приближенные представления и предположения, введенные в метод измерений и процедуру оценки;
- изменения при повторных наблюдениях выбросов или поглощения или соответствующей величины при видимых идентичных условиях.

В то время как постоянные измерения выбросов могут уменьшить общую неопределенность, такие измерения, как правило, имеют ограниченное применение при оценке выбросов ПГ. Более часто применяются периодические и случайные выборки, что способствует появлению дополнительных неопределенностей, таких как:

- *Ошибка случайного выбора.* Этот источник неопределенности ассоциируется с данными, которые присутствуют в случайной выборке, имеющей конечные размеры и типично зависящей от дисперсии совокупности, из которой взята эта выборка, и от размеров самой выборки (количество частных значений).
- *Недостаток репрезентативности.* Этот источник неопределенности ассоциируется с отсутствием полного соответствия между условиями, ассоциирующимися с имеющимися в наличии данными, и условиями, ассоциирующимися с реальными мировыми выбросами или деятельностью. Например, в наличии могут иметься данные о выбросах в ситуациях, когда конкретное предприятие действовало с полной нагрузкой, однако, они могут отсутствовать для ситуаций запуска предприятий или изменений в его нагрузке. В этом случае данные лишь частично относятся к желаемой оценке выбросов.

Неопределенности, связанные с заключениями экспертов, не могут, по определению, быть оценены с помощью статистических средств, поскольку заключения экспертов используются лишь в случаях недостатка или полного отсутствия эмпирических данных. Тем не менее заключения экспертов при условии, что с ними обращаются в соответствии с практическими процедурами, обобщенно представленными здесь и в главе 6 – Количественная оценка неопределенностей на практике - могут использоваться совместно с эмпирическими данными для анализа с применением статистических процедур.

Все эти источники неопределенности необходимо учитывать при оценке неопределенностей в кадастрах.

Международная организация стандартизации (ИСО, 1993 г.) подчеркивает, что с "естественными веществами" неопределенность, возникшая вследствие выборки или вследствие потребности в получении репрезентативной выборки, может перевесить неопределенности, связанные с методом измерений. Вопросы выборки непосредственно связаны с оценкой неопределенностей в кадастре. Успех или неудача в получении репрезентативной выборки напрямую влияют на неопределенность в кадастре. Общая проблема определения неопределенности в этих кадастрах – это комбинация статистической проблемы в анализе ошибок и проблемы увязки статистических и кадастровых концепций с событиями в реальном мире.

A1.4 ОЦЕНКА, РЕГИСТРАЦИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ В КАДАСТРАХ

A1.4.1 Определение и регистрация неопределенностей в входных данных

Измеренное значение любой физической величины, т.е. входные данные для алгоритмов кадастра, обладает связанной с ним неопределенностью. В некоторых частных случаях, таких как определение соотношения молекулярных весов, неопределенностью можно пренебречь для целей кадастра, однако почти во всех других случаях неопределенность требует оценки.

Существует несколько основополагающих принципов, которые определяют *эффективную практику* в отношении оценки неопределенностей во входных данных для кадастров. Идеальная ситуация складывается тогда, когда имеются сотни измеренных значений входной величины и доверительные

интервалы могут быть оценены с помощью классических статистических методов. Однако в большинстве случаев данных очень мало или они вообще отсутствуют. Можно назвать следующие четыре вида информации, которые могут использоваться в различной степени для конкретных ситуаций:

- имеющиеся измеренные значения конкретной величины;
- знания об экстремальных значениях конкретной величины;
- знание лежащих в основе процессов, определяющих конкретную величину и ее дисперсию;
- заключение экспертов.

Сбор и регистрация информации о неопределенности во входных данных являются чрезвычайно важными для успеха и прозрачности анализа неопределенности. В приведенном ниже блоке А1.1 перечислены виды информации, необходимой для проведения экстенсивного и прозрачного анализа неопределенности, который соответствует *эффективной практике*. Однако на практике полной информации может не быть и тогда может потребоваться заключение экспертов.

Блок А1.1	
ЖЕЛАТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ КАЖДОЙ ВХОДНОЙ ВЕЛИЧИНЫ В НАЦИОНАЛЬНОМ КАДАСТРЕ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЗРАЧНОГО АНАЛИЗА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ	
i)	название величины;
ii)	единицы;
iii)	описание пространственной, временной и системной области, которую представляет эта величина;
iv)	входное значение величины;
v)	указание на то, является ли это средним значением комплекта данных или единственным наблюдением;
vi)	указание на то, является ли требуемая неопределенность среднеквадратичным отклонением среднего значения выборки или среднеквадратичным отклонением всей совокупности;
vii)	размер выборки или количество имеющихся оценок величины;
viii)	оценка среднеквадратичного отклонения среднего значения выборки или оценка среднеквадратичного отклонения совокупности;
ix)	оценки дисперсии величины на основании знаний о регулирующих факторах и процессах, влияющих на эту величину;
x)	верхние и нижние пределы значений величины, основанные на научном анализе и заключении экспертов;
xi)	предпочтительная функция плотности вероятности;
xii)	входные параметры, определяющие функцию плотности вероятности;
xiii)	логическое обоснование, объясняющее основу или причину неопределенности;
xiv)	ссылки на источник заключения экспертов и данные, использованные при составлении таблицы;
xv)	документация внешней независимой оценки конкретного анализа.

А1.4.1.1 ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТОВ

В случае, когда невозможно получить надежные данные или когда в имеющихся для кадастра данных отсутствует достаточное количество статистической информации, может оказаться необходимым обратиться к экспертам с целью получения их заключений о характере и свойствах входных данных. Возможно, эксперты не пожелают предоставлять количественную информацию в отношении качества данных и неопределенности, предпочитая вместо этого представить относительные уровни неопределенности или другие качественные входные данные. Для преодоления этих проблем полезным, возможно, окажутся протоколы о заключениях экспертов, рассматриваемые в главе 6 – Количественная оценка неопределенностей на практике - и, в случае необходимости, следует довести до сведения экспертов, что существуют определенные МГЭИК диапазоны неопределенности по умолчанию, которые будут использованы при отсутствии их заключений.

Использование заключения экспертов для получения количественных оценочных значений неопределенности является приемлемым при условии, что в этом заключении учтены все имеющиеся данные и соответствующее мнение было сформировано на разумной основе лицом, обладающим специальными знаниями или опытом в отношении той конкретной величины, которая изучается, а также при условии, что это заключение задокументировано и может быть достаточно четко объяснено для удовлетворения требований при проведении внешней тщательной проверки (Cullen and Frey, 1999).

Основное требование при определении оценочных значений неопределенности с помощью заключения экспертов или иными образом заключается в том, чтобы рассмотрению были подвергнуты все возможные источники неопределенности.

Часто для определения входных данных в эти кадастры имеется очень мало данных наблюдений и поэтому необходимо в значительной степени полагаться на заключение экспертов. При этом следует понимать, что результаты количественных анализов неопределенности для кадастров обеспечивают в лучшем случае, оценочное значение их неопределенности, но что при этом существуют также значительные неопределенности, связанные с соответствующими доверительными интервалами.

A1.4.2 Репрезентативная выборка, алгоритмы и ковариация

Вопросы обеспечения репрезентативной выборки и разработки надлежащих алгоритмов для представления выбросов тесно связаны между собой. Вопрос обеспечения репрезентативной выборки возникает, поскольку в кадастре должны быть охвачены все выбросы (или поглощения) в рамках национальных границ и в течение периода времени, охватываемого кадастром. Однако измерения ограничены временем и пространством. Выбросы при различных видах деятельности рассчитываются как произведение данных о деятельности и соответствующего коэффициента выбросов. Данные для обеих этих переменных должны быть репрезентативными для рассматриваемой реальной пространственной и временной области. Коэффициент выбросов считается репрезентативным, если он рассчитан как взвешенное среднее значение от всех коэффициентов выбросов, относящихся ко всем различным типологиям процессов или продукции, где веса – это процентные доли различных видов производства/продукции от общего показателя. Данные о деятельности могут считаться репрезентативными, если они охватывают все виды деятельности в рассматриваемый период. Во многих случаях данные о деятельности и коэффициенты выбросов для конкретного региона или для конкретной категории процессов неизвестны, и поэтому возникает необходимость при оценке выбросов использовать коэффициенты выбросов, определенные в каком-либо другом регионе или для другой категории процессов. Это - процесс экстраполяции. Иным образом можно рассчитать необходимые значения, используя косвенные переменные. В тех случаях, когда используется экстраполяция или косвенные переменные, необходима оценка репрезентативности выбранных значений. Данные являются более репрезентативными и соответственно более точными в случае, если используются аналогичные условия или аналогичные процессы.

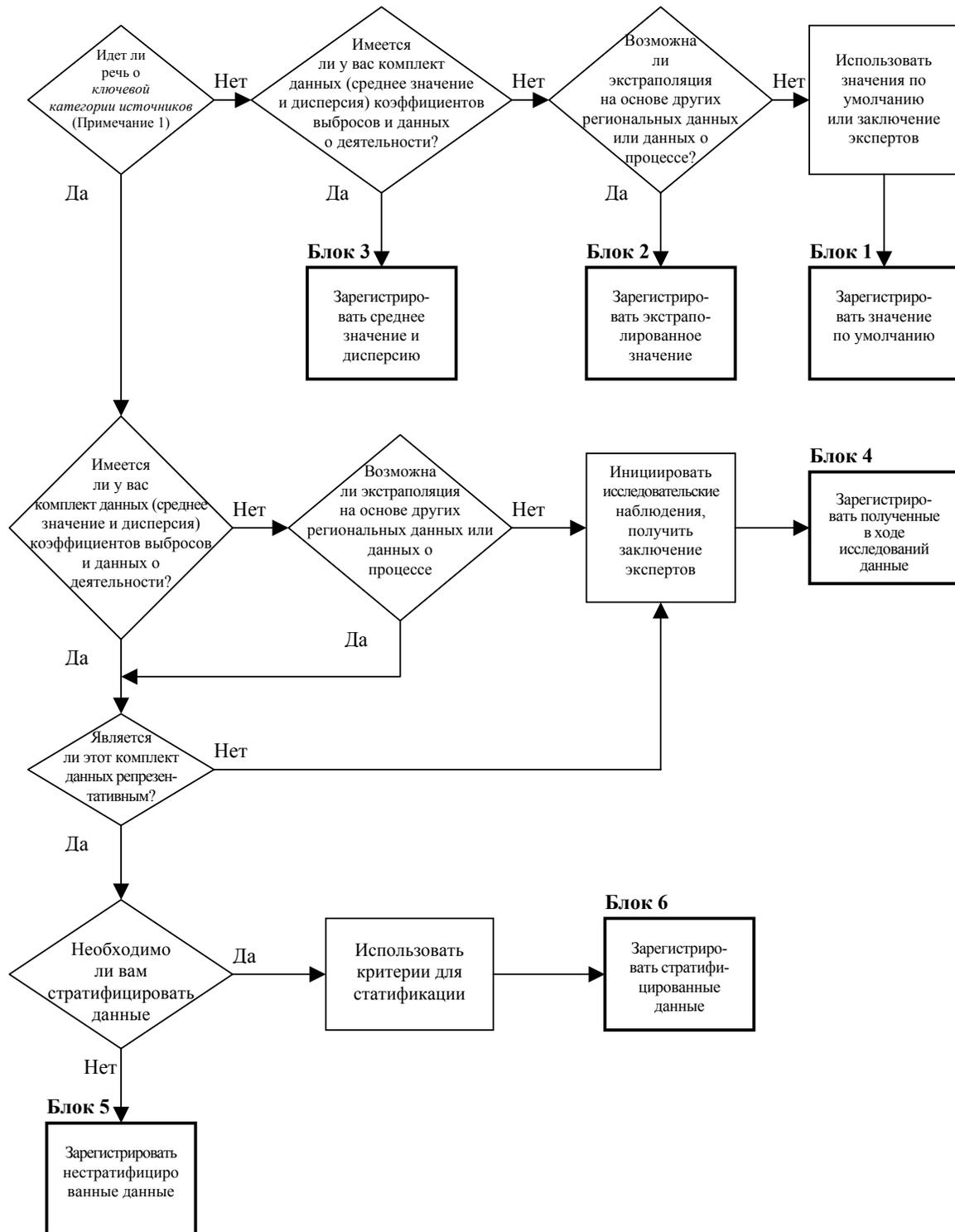
Существуют статистические методы для оценки неопределенности, ассоциирующейся с экстраполяцией, при условии, что имеющиеся данные взяты в ходе случайного выбора. Однако в том, что касается национальных кадастров, данные редко берут из случайной выборки. Соответственно, учитывая однородный характер выбросов и поглощений парниковых газов, можно считать, что основной вопрос в отношении экстраполяции заключается в том, ассоциируется ли неопределенность с репрезентативным или нерепрезентативным выбором. Например, экстраполяция известного показателя выбросов, выведенного с учетом данных о производстве орошаемого риса в сельской местности, включая и неорошаемый рис, приведет в результате к большой неопределенности. В противоположность этому можно подразделить данные о деятельности в конкретной стране на данные об орошаемом и о неорошаемом рисе, и это позволит провести гораздо более надежный анализ. В биосфере однородность встречается редко и использование стратификации является действенным методом для обеспечения учета и уменьшения неопределенности в оценочных значениях в кадастре.

В случае наличия достаточных ресурсов можно организовать кампанию мониторинга и создать стратифицированные выборки данных измерений, с выбором наиболее подходящих переменных для стратификации выборки (виды продукции, процессы, предприятия, территория, население). Полный комплект данных может быть использован для оценки функции плотности вероятности и обобщенных статистических показателей. Затем можно использовать статистические средства для расчета отклонения среднего значения и дисперсии, доверительных интервалов и распределения ошибок. В случае отсутствия данных на региональном уровне можно экстраполировать информацию из существующей литературы при условии, что обеспечивается выбор данных, поступающих из источников с характеристиками, аналогичными характеристикам источников, которые проходят оценку. В этом случае необходимо заключение экспертов.

Этот вид деятельности/процесс включает минимальный комплект процедур, представленных на схеме принятия решений на рисунке A1.1.

Прежде всего, необходимо определить относятся ли конкретные данные к ключевой категории источников выбросов (как это описано в главе 7 – Методологический выбор и пересчет). Если категория источников не является ключевой, то приемлемо использование существующего комплекта данных, экстраполированных значений, значений по умолчанию или заключения экспертов, и эти данные могут быть зарегистрированы. Если же категория источников является ключевой, то либо уже существует полный комплект данных, либо можно провести экстраполяцию комплекта данных, либо необходимо начать проведение наблюдений или сбор данных. Затем необходимо проверить комплект данных на репрезентативность, что может потребовать стратификации (для детализации/повышения точности). И наконец, все данные необходимо зарегистрировать. Соответствующая последовательность действий представлена на рисунке А1.1. Необходимо принимать во внимание также усреднение времени для данных в сравнении с усреднением времени для кадастра, а также географическую применимость конкретных данных. Например, данные для заданного коэффициента выбросов могут быть основаны на краткосрочных (например, почасовых, ежедневных) измерениях, проводившихся в одной стране при условиях, которые могут быть специфичны именно для этого места, однако, может возникнуть необходимость в использовании этих данных для оценки как годовых выбросов, так и их неопределенности совсем в другой стране. Аналитика рекомендуется использовать разумные суждения и методы для выработки приемлемой репрезентативной оценки неопределенности в качестве входной информации при подготовке кадастра выбросов. Такие корректировки, хотя и не всегда идеальные, предпочтительны использованию нерепрезентативного комплекта данных. Вывод из всего этого заключается в том, что на аналитика возлагается задача по обоснованию предположений, использованных при конкретной оценке, и ему следует быть внимательным в отношении использования "значений по умолчанию", которые в действительности могут оказаться неприменимыми к заданной ситуации.

Рисунок А1.1 Графическая схема принятия решений относительно мер по обеспечению репрезентативности данных



Примечание 1: Ключевая категория источников - это такая категория, которая имеет приоритет в рамках системы национального кадастра, поскольку ее оценка оказывает значительное влияние на общий национальный кадастр прямых парниковых газов в исчислении абсолютного уровня выбросов, тенденции в выбросах или и того, и другого. (См. главу 7, Методологический выбор и пересчет, раздел 7.2 - Определение национальных ключевых категорий источников).

В большинстве случаев не представляется возможным в какой-либо стране напрямую измерять значительную часть выбросов из какой-либо категории источников в течение значительной части года. Для кадастра требуется сумма выбросов и поглощений на территории всей страны и в течение всего исследуемого года, в то время как напрямую выбросы и поглощения измеряются в течение времени, гораздо меньшего чем год, и на территории, которая гораздо меньше национальной территории. Соответственно, данные наблюдений за выбросами представляют собой лишь подкомплект необходимых для кадастра данных, и поэтому необходимо применение метода экстраполяции для данных о выбросах.

Метод экстраполяции основан на алгоритмах, представленных в *Руководящих принципах МГЭИК*, и на знаниях о входных величинах по всей стране в течение учитываемого в кадастре года. Поскольку интерес к выбросам парниковых газов возник лишь недавно, необходимые измерения для количественного представления выбросов проводились лишь в ограниченном числе мест в рамках ограниченного диапазона условий. Алгоритм, используемый для оценки выбросов, представляет собой приближение, включающее только основные переменные, являющиеся из имеющихся данных измерений, и, как правило, учитывает лишь ограниченную величину дисперсии имеющихся данных. В то же время многие, возможно являющиеся важными, источники ковариации в реальных выбросах исчезают из расчетов для кадастров, поскольку знание о конкретном процессе выбросов является неполным.

Эффективный метод сбора дополнительных представительных данных и одновременного повышения качества алгоритмов заключается в осуществлении программы стратифицированной выборки данных о выбросах и соответствующей вспомогательной информации. Стратифицированная выборка – это один из общих статистических методов (Cochran, 1963).

Существует несколько этапов в стратифицированной выборке. Первый этап заключается в определении тех переменных (экологических, технологических и т.д.), которые, согласно имеющимся знаниям, оказывают значительное влияние на исследуемые выбросы. Знания о влиянии таких переменных могут накапливаться в результате лабораторных исследований, теоретического моделирования, полевых наблюдений и из других источников. После определения ключевых переменных, следует оценить совокупные распределения этих переменных в учитываемой для кадастра области. И, наконец, следует проверить, представляют ли имеющиеся данные наблюдений репрезентативную выборку из этих распределений. Если окажется, что нет, эти распределения можно подразделить на типические группы, а затем разработать и осуществить программу, направленную на получение репрезентативных данных. Эти репрезентативные данные могут быть использованы для пересмотра алгоритма выбросов. Алгоритм выбросов, основанный на репрезентативном комплекте данных, является чрезвычайно важной предпосылкой для составления кадастра высокого качества.

Ниже представлен пример, иллюстрирующий эти вопросы о репрезентативности данных. Этот пример касается выбросов закиси азота (N_2O), возникающих в результате применения удобрений для сельскохозяйственных культур на сухих землях. Большая часть данных, используемых для построения современного алгоритма в кадастре МГЭИК и определения коэффициентов глобальных выбросов по умолчанию, относится к системам возделывания сельскохозяйственных культур в умеренном поясе северного полушария. Бауман (1996 г.) представил отличный систематический анализ данных (имевшихся в то время) о выбросах N_2O , связанных с применением удобрений, и вывел алгоритм, основанный единственно на количестве применяемых азотных удобрений и на коэффициенте выбросов. Однако, как признал Бауман (1996 г.), почвоведение указывает на то, что существуют и другие ключевые факторы, которые могут влиять на изменчивость выбросов, включая температуру почвы, плодородность почвы, частоту и количество выпадающих дождевых осадков и водонасыщенность почвы, а также состав удобрений. Отсюда можно сделать вывод о том, что коэффициент выбросов, выведенный на основе, главным образом, данных о системах земледелия в умеренном поясе северного полушария, может быть непригоден для территорий с жарким тропическим климатом, где соответствующие экологические переменные, такие как температура почвы и частота дождевых осадков, совершенно отличны от таких переменных в умеренных широтах. В случае, когда алгоритм и коэффициент выбросов МГЭИК (которые основаны на наилучших имеющихся данных) применяются для тропических регионов, получаемые в результате оценки выбросов могут характеризоваться непреднамеренными отклонениями. Такие потенциальные отклонения возникают из-за недостатка надлежащих данных о выбросах в тропиках. Таким образом, существует проблема репрезентативности лежащих в основе данных о выбросах N_2O , связанных с применением удобрений. Что необходимо в случаях, когда отсутствуют репрезентативные данные о каких-либо ключевых выбросах или поглощениях, так это организация проведения надлежащих измерений, в данном случае – измерений выбросов N_2O , связанных с применением удобрений в тропиках, а после этого – пересмотр алгоритмов и коэффициента выбросов. В некоторых случаях, таких как рассматриваемый здесь, коэффициенты глобальных выбросов по умолчанию следует заменять региональными коэффициентами, если это более целесообразно. Этот процесс пересмотра

репрезентативности данных и принятия мер для заполнения пробелов в ключевых данных придет к значительному повышению уверенности в правильности вносимых в кадастр оценок. Это один из ключевых вопросов уменьшения неопределенности в кадастрах, и именно в таких действиях заключается *эффективная практика*. Данный пример является лишь одним из тех многочисленных случаев, в которых может быть повышена репрезентативность ключевых данных.

Один из связанных с вышеизложенным вопросов, касающихся неопределенности и пересмотра алгоритмов, заключается в том, что может существовать значительная необъяснимая изменчивость в алгоритме, разработанном на основе какого-либо комплекта данных. Эту необъяснимую изменчивость следует представлять в оценках неопределенности для каждого параметра в алгоритме, включая экспоненты. Последующий анализ неопределенности должен включать допущения на эти неопределенности.

Стратифицированная выборка является полезным методом в тех случаях, когда существует ковариация между данными о деятельности и коэффициентами выбросов. Ковариация уменьшается путем стратификации данных о деятельности и коэффициентов выбросов на тщательно отобранные комплекты. Такой подход уже активно применялся в рамках методологии МГЭИК по составлению кадастра.

Некоторые цифровые блоки, необходимые для оценки распространения ошибок по методу Монте-Карло, включают при расчетах ковариации и требуют в качестве входного элемента корреляционную матрицу между всеми входными величинами. Соответственно, важно владеть методами либо для оценки этих корреляций, либо для обхода необходимости в них.

Вопрос, который возникает при составлении кадастра и, в частности, на этом этапе расчета неопределенности в оценочном значении выбросов, заключается в определении вероятного значения ковариации или соответствующего коэффициента корреляции между различными входными величинами, в данном случае – между различными видами деятельности, а также между данными о деятельности и соответствующими им коэффициентами выбросов. Существует необходимость в оценке этих коэффициентов корреляции для целого ряда категорий, учитываемых в кадастре, а именно: стационарного сжигания топлива, мобильных источников, выбросов в виде утечек, промышленных процессов, сельского хозяйства, изменения землепользования и лесного хозяйства. Знание корреляции необходимо независимо от используемого для расчета неопределенностей метода, будь то уравнение распространения ошибок или метод Монте-Карло.

Примером возможной корреляции между деятельностью и коэффициентом выбросов для единственной категории источников можно считать ситуацию, когда происходит увеличение выбросов при запуске какого-либо оборудования. В этом случае, существует связь неактивной местной деятельности или частых коротких периодов деятельности (во времени или пространстве) с сильными выбросами и меньшего количества более продолжительных периодов местной деятельности с более низкими выбросами, что означает отрицательную корреляцию.

Аналогичным образом в том, что касается выбросов метана (CH_4) в результате жизнедеятельности животных, существует корреляция между общим количеством животных и их средним живым весом в течение года, которая может создавать ковариацию, влияющую на выбросы CH_4 , связанные с жизнедеятельностью животных. Влияние этой ковариации на выбросы может быть уменьшено благодаря разукрупнению расчетов в соответствии с возрастом животных и временем года.

A1.4.3 Распространение неопределенностей

Существует много методов, которые могут быть использованы в отношении распространения неопределенностей, включая методы, входящие в общее описание аналитических методов, методы аппроксимации и численные методы. Для цели обсуждения распространения неопределенностей в национальных кадастрах парниковых газов мы рассматриваем здесь два общих метода, а именно: метод аппроксимации, основанный на разложении в ряд Тейлора первого порядка, часто называемый уравнением распространения ошибок, и численный метод Монте-Карло.

A1.4.3.1 УРАВНЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОШИБОК

При использовании первого подхода считается, что неопределенность в значениях выбросов может быть следствием неопределенностей в данных о деятельности и в коэффициенте выбросов и распространяться в соответствии с уравнением распространения ошибок (Mandel 1984, Bevington and Robinson 1992). Этот

метод представлен в существующих на сегодняшний день *Руководящих принципах МГЭИК* с указанием, что использование этого метода обуславливается наличием следующих предпосылок:

- неопределенности являются сравнительно небольшими, среднеквадратичное отклонение, поделенное на среднее значение, должно быть меньше 0,3;
- неопределенности имеют гауссово (нормальное) распределение;²
- неопределенности не имеют никакой значимой ковариации.

При таких условиях неопределенность, рассчитанная для интенсивности выбросов, является приемлемой. Этот метод может быть расширен, с целью учета в нем ковариаций.

Уравнение распространения ошибок – это метод объединения дисперсий и ковариаций для ряда функций, включая функции, используемые в кадастрах. В рамках этого подхода нелинейные уравнения могут быть разложены путем разложения в ряд Тейлора. Этот подход обеспечивает точное решение для аддитивных линейных функций и приближенное представление о произведениях двух членов. В большинстве кадастров выбросов показаны суммы выбросов – E, которые являются произведениями данных о деятельности – A, и коэффициентов выбросов – F. Допуская, что обе эти величины характеризуются некоторой неопределенностью, такие уравнения для кадастров являются нелинейными там, где это касается расчетов неопределенности. Соответственно, уравнение распространения ошибок обеспечивает только приблизительное оценочное значение комбинированной неопределенности, неточность которого возрастает при более значительных отклонениях. Систематическую ошибку, возникающую в результате игнорирования этой нелинейности в кадастрах, можно оценочно определять в каждом конкретном случае. Этот метод является весьма неточным там, где дело касается функций, содержащих обратные члены, экспоненциальные члены или члены в более высокой степени (Cullen and Frey, 1999). Могут быть включены и члены, позволяющие учесть влияние ковариации.

В случае, когда данные о деятельности и коэффициент выбросов являются взаимозависимыми, их дисперсии для единственной категории источников могут быть объединены в соответствии с уравнением A1.1.

УРАВНЕНИЕ A1.1

$$\sigma_E^2 = \sigma_A^2 F^2 + \sigma_F^2 A^2,$$

где σ_E^2 - дисперсия выбросов, σ_A^2 - дисперсия данных о деятельности, σ_F^2 - дисперсия коэффициента выбросов, A – предполагаемое значение данных о деятельности и F – предполагаемое значение коэффициента выбросов.

В случае, когда переменные являются коррелированными, а неопределенности – небольшими, обоснованным является применение следующего подхода. Ковариация – cov(x,y), между двумя переменными может быть выведена из их коэффициента корреляции – r_{xy} и среднеквадратичных отклонений следующим образом:

УРАВНЕНИЕ A1.2

$$\text{cov}(x, y) = r_{xy} \sigma_x \sigma_y$$

Уравнение A1.1 можно разложить следующим образом:

УРАВНЕНИЕ A1.3

$$\sigma_E^2 = \sigma_A^2 F^2 + \sigma_F^2 A^2 + 2r_{AF} \sigma_A \sigma_F AF$$

При рассмотрении уравнения A1.3 видно, что дисперсия произведения может, в экстремальных случаях, удваиваться или приближаться к нулю, если корреляция между двумя компонентами приближается к своим экстремальным значениям +1,0 и –1,0, а коэффициенты изменчивости имеют равные значения. На

² В действительности, условие о том, что неопределенности должны иметь гауссово (нормальное) распределение, не является необходимым для того, чтобы можно было применить этот метод.

практике корреляцию между коэффициентами выбросов и данными о деятельности следует осуществлять путем стратификации данных или комбинирования категорий, где происходит ковариация, и именно эти подходы приняты в инструкциях о конкретной для источников *рекомендуемой практике* в главе 6 – Количественная оценка неопределенностей на практике.

Для оценки неопределенности какого-либо оценочного значения, получаемого из суммы независимых источников E_1 and E_2 , где $E = E_1 + E_2$, можно применять уравнение распространения ошибок, представленное в виде уравнения A1.4.

УРАВНЕНИЕ A1.4

$$\sigma_E^2 = \sigma_{E_1}^2 + \sigma_{E_2}^2$$

Если категории источников (или поглотители) являются скоррелированными, уравнение распространения ошибок, представленное в виде уравнения A1.4, не применяется, а вместо него следует применять уравнение A1.5.

УРАВНЕНИЕ A1.5

$$\sigma_E^2 = \sigma_{E_1}^2 + \sigma_{E_2}^2 + 2r_{E_1E_2} \sigma_{E_1} \sigma_{E_2} E_1 E_2$$

В случае, когда в суммировании участвует более двух членов и происходит ковариация, предпочтительным является, при наличии необходимых ресурсов, подход по методу Монте-Карло.

A1.4.3.2 ПОДХОД ПО МЕТОДУ МОНТЕ-КАРЛО

Численные статистические методы, в частности, метод Монте-Карло, подходят для оценки неопределенности в показателях выбросов (являющейся следствием неопределенностей в мерах деятельности и в коэффициентах выбросов), когда:

- неопределенности являются большими;
- их распределение не является гауссовым распределением;
- алгоритмы являются комплексными функциями;
- корреляции происходят между некоторыми комплектами данных о деятельности, коэффициентами выбросов или тем и другим вместе.

Неопределенности в коэффициентах выбросов или в данных о деятельности или в тех и других вместе часто являются большими и не могут иметь нормальные распределения. В этих случаях может оказаться трудным или вовсе невозможным объединить неопределенности, используя традиционные статистические правила. В такой ситуации можно использовать метод Монте-Карло. Принцип при этом заключается в проведении расчетов для кадастра много раз с помощью электронного компьютера, причем каждый раз неопределенные коэффициенты выбросов или параметры модели и данные о деятельности должны выбираться случайно (компьютером) в рамках распределения неопределенностей, указанного с самого начала пользователем. Такой процесс позволяет получить распределение неопределенности для оценочного значения в кадастре, которое согласуется с распределениями неопределенности входных данных там, где это касается коэффициентов выбросов, параметров модели и данных о деятельности. Для этого метода требуется очень много данных и много компьютерного времени. Однако он хорошо подходит для решения проблемы распространения и агрегирования неопределенностей в какой-либо обширной системе, такой как национальный кадастр парниковых газов. Более подробное описание этого метода и его применений представлено в приложении 3 - Глоссарий, и в работах Бевингтона и Робинсона (1992 г.), Манли (1997 г.) и Каллена и Фрея (1999 г.).

A1.4.4 Распространение неопределенностей в кадастре в целом

Решение задачи относительно распространения неопределенностей в кадастре, после того как оценены индивидуальные неопределенности для каждого класса выбросов, представляется более простым, чем решение задачи относительно распространения неопределенностей в алгоритмах, поскольку предполагает при агрегировании выбросов и поглощений использование только сложения и вычитания.

При агрегировании неопределенностей происходит два различных процесса. Прежде всего, существует агрегирование выбросов одного газа, которое подчиняется правилам распространения неопределенностей, которые уже обсуждались выше. В другом случае, осуществляется агрегирование неопределенностей, связанных с несколькими газами. В этом случае выбросы и поглощения должны быть приведены к общему масштабу, а используемый для этого процесс заключается в применении глобальных потенциалов потепления (ГПП). Однако для таких газов, как окислы азота (NO_x), окись углерода (CO) и летучие органические соединения (ЛОС) не существует ГПП, которые были бы приняты МГЭИК. Вследствие этого выбросы и поглощения этих газов не могут быть учтены в агрегированной неопределенности для кадастра выбросов. Кроме того, следует иметь в виду, что самим значениям ГПП присуща ассоциирующаяся с ними довольно значительная неопределенность, и что это следует учитывать при проведении общей научной оценки итогового эквивалента выбросов.

Учитывая тот факт, что некоторые переменные, которые необходимо агрегировать, не являются гауссовыми, имеют большие дисперсии и коррелируются с другими переменными, использование подхода по методу Монте-Карло для агрегирования неопределенности представляется наиболее предпочтительным. Применение этого метода для расчетов неопределенности в кадастре представлено в главе 6 – Количественная оценка неопределенностей на практике.

Альтернативный вариант, используемый в качестве рабочего приближения, заключается в оценке общей неопределенности в кадастре с использованием центральной предельной теоремы (Cullen and Frey, 1999). Исходные условия для применения центральной предельной теоремы заключаются в следующем:

- количество членов, обозначающих выбросы и поглощения, должно быть большим;
- никакой единственный член не доминирует над суммой;
- выбросы и поглощения являются независимыми.

Если возникает именно такой случай, то сумма дисперсий всех членов равняется дисперсии всего кадастра, а распределение общих выбросов является нормальным. Таким образом, интервал, определяемый примерно двумя среднеквадратичными отклонениями с каждой стороны от среднего значения, является 95% доверительным интервалом кадастра. Как отмечалось выше, этот подход представляет собой грубое приближение. Его использование при агрегировании неопределенностей является одним из вариантов для использования на уровне 1 системы неопределенности кадастра. Этот подход используется в рамках упрощенного подхода к анализу неопределенности с применением сводной таблицы, как это описано в главе 6.

A1.4.5 Ковариация и автокорреляция

При дальнейшем рассмотрении вопроса о расчетах распространения неопределенности предполагается, что эти расчеты осуществляются по методу Монте-Карло.

Оценочные значения выбросов (или поглощений) двух компонентов кадастра представлены функциями $E_1(t)$ и $E_2(t)$, где t – это год, оценка за который учитывается в кадастре. Эти оценочные значения имеют неопределенности, представленные, соответственно, $\delta_1(t)$ и $\delta_2(t)$.

Существует, как минимум, четыре значимых источника ковариации в кадастре в целом. Они возникают по следующим причинам:

- использование общих данных о деятельности для нескольких оценок выбросов (как происходит при оценке совокупности газов от сжигания топлива);
- общие ограничения для группы оценочных значений выбросов (такие как, оговоренное общее использование топлива или общее производство органических удобрений, которые обеспечивают входные данные для ряда процессов);

- эволюция видов деятельности и коэффициентов выбросов, связанных с новыми процессами, технологиями и т.д., в результате чего происходит нарушение связи в неопределенностях между предшествующим и последующим периодами времени;
- внешние движущие силы, которые влияют на совокупность выбросов или поглощений (экономические, климатические, связанные с наличием ресурсов).

Для целей расчета неопределенностей нам интересна только ковариация между неопределенностями, представленными $\delta_1(t)$ и $\delta_2(t)$. В случае, когда ковариация происходит между $E_1(t)$ и $E_2(t)$ и такая ковариация относится к вопросам понимания и прогнозирования выбросов и поглощений, это не имеет первостепенного значения для вопроса агрегирования неопределенностей и т.д. Соответственно, из названных четырех источников ковариации центральными для определения неопределенностей являются первые три. Первый источник ковариации – использование общих видов деятельности для ряда компонентов кадастра, проявляется особенно в тех случаях, когда в результате одного и того же процесса происходят выбросы нескольких газов, например при сгорании ископаемых видов топлива или при сжигании биомассы. Использование одного и того же вида деятельности в двух разных оценках выбросов ведет к положительной ковариации между двумя оценками выбросов. Один из эффективных путей устранения этого источника ковариации заключается в объединении уравнений в единую формулу, включающую один вид деятельности и сумму нескольких коэффициентов выбросов (выраженных в эквиваленте CO_2).

Второй тип ковариации возникает, когда существуют общие ограничения для ряда видов деятельности или коэффициентов выбросов, когда вводится один общий вид деятельности и предписываются пропорциональные доли для каждого пути обработки данных с целью подразделения этого вида деятельности между несколькими процессами и алгоритмами выбросов. Примером этого может служить пропорциональное разделение органических удобрений, появляющихся в результате жизнедеятельности животных, между различными системами обращения с органическими отходами. В этом случае конкретная система может быть излишне уточнена, если все пропорции и их неопределенности будут решаться одновременно. Надлежащий метод устранения ковариации заключается в том, чтобы оставить одну из пропорций неуточненной, а затем определить ее по разнице между другими пропорциями и суммарной долей. Это устраняет необходимость определения корреляции других членов с остаточным компонентом. Однако если существуют корреляции между точно установленными пропорциями и общей деятельностью, необходимо дать им количественную оценку и использовать при расчетах распространения неопределенности.

Третий вид ковариации возникает, когда новые методы измерений, новые методы регистрации данных или новые технологии устраняют существующие неопределенности и вводят новые неопределенности, уменьшая степень автокорреляции временного ряда в ходе времени. Автокорреляция является сильными, когда технология метода измерений и сбор статистических данных остаются неизменными, и слабыми, когда они изменяются. В области инженерных и общественных наук имеется много информации, которая могла бы послужить вкладом в знания об этих темпах изменений (Grübler *et al.*, 1999). На сегодняшний день, когда продолжительность регистрации данных в национальных кадастрах приближается уже к десятилетию, возникла необходимость в анализе этих ковариаций.

A1.4.6 Систематический сбор данных о неопределенностях в компонентах кадастра

Основные характеристики *рекомендуемой практики* для определения неопределенностей в выбросах или поглощении отдельных парниковых газов, регистрируемых в кадастре, были представлены в предыдущих разделах. Они представлены в блоке A1.2.

Существует необходимость в пересмотре стандартных отчетных таблиц МГЭИК с целью включения в них информации о неопределенностях. В сводных таблицах зарегистрированная информация могла бы ограничиваться доверительными интервалами с пределами, соответственно, в 2,5% и 97,5%. Регистрироваться должна вся информация, описанная в блоках A1.1 и A1.2. Практическое осуществление анализа неопределенностей в кадастрах подробно описано в главе 6 – Количественная оценка неопределенностей на практике.

A1.5 ПРИМЕНЕНИЯ

A1.5.1 Значимость межгодовых различий и тенденций в кадастрах

Одним из основных компонентов анализа неопределенности в кадастрах является определение межгодовых и, относящихся к более продолжительным периодам, различий в национальных выбросах.

Если рассматривать два года - t_1 и t_2 – во временном ряду, то различие в общих выбросах между этими годами может быть представлено, с использованием символов, определенных в разделе A1.4.5 выше, следующим образом:

УРАВНЕНИЕ A1.6

$$\Delta E(t_1 - t_2) = E(t_1) - E(t_2)$$

а дисперсия этого различия определяется следующим образом:

УРАВНЕНИЕ A1.7

$$\sigma_{\Delta E}^2 = \sigma_{E_1}^2 + \sigma_{E_2}^2 - 2 \text{cov}(\delta E_1, \delta E_2)$$

или

УРАВНЕНИЕ A1.8

$$\sigma_{\Delta E}^2 = \sigma_{E_1}^2 + \sigma_{E_2}^2 - 2r_{\delta E_1 \delta E_2} \sigma_{E_1} \sigma_{E_2}$$

Где

$$E_1 = E(t_1)$$

$$E_2 = E(t_2)$$

Таким образом, если функция автоковариации или автокорреляции оценочных значений неопределенностей в кадастре известна, можно определить значимость межгодовых различий. Следует иметь в виду, что понятие автоковариация относится к автокорреляции, также как и ковариация относится к корреляции. Для оценки корреляции неопределенности между годами, учтенными в общем кадастре, можно рассмотреть вопрос о нахождении суммы двух автокоррелированных временных рядов, представляющих два из многих компонентов неопределенности в кадастре. Автоковариация объединенных временных рядов включает автоковариации отдельных членов плюс компонент, создающий возможность для ковариации с запаздыванием во времени между соответствующими двумя компонентами кадастра. Для проведения любой оценки за пределами двух членов, рекомендуется использовать анализ по методу Монте-Карло.

Блок А1.2	
КЛЮЧЕВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ПРАКТИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ОЦЕНОЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ВЫБРОСОВ И ПОГЛОЩЕНИЙ	
i)	Использование имеющихся данных наблюдений и заключения экспертов для определения неопределенности в входных величинах;
ii)	систематическая и прозрачная регистрация этих входных данных;
iii)	изучение имеющихся данных о выбросах с целью определения репрезентативности конкретной выборки;
iv)	проектирование дальнейшей выборки и пересмотр параметров, значений по умолчанию и алгоритмов для ключевых категорий источников в случае, если не удалось получить репрезентативную выборку;
v)	использование секторальных <i>инструкций рекомендуемой практики</i> для выбора функции плотности распределения вероятностей для представления данных;
vi)	оценка любых значимых корреляций (ковариаций) между входными величинами;
vii)	оценка распространения неопределенностей с использованием метода аппроксимации в случае, когда неопределенности являются небольшими и имеют гауссово распределение; в ином случае
viii)	оценка распространения неопределенностей по методу Монте-Карло при наличии необходимых ресурсов; и
ix)	регистрация неопределенности.

Энтинг (1999 г.) представил аналогичный анализ для неопределенности в тенденции в какой-либо величине в ходе заданного временного интервала. В качестве примера рассмотрите выбросы $E(t)$, $E(t + \Delta t)$ в два различных года во временном ряду, разделенных годами Δt . Дисперсия тенденции в этот период времени определяется следующим образом:

УРАВНЕНИЕ А1.9	
$\text{дисперсия } (\Delta E) = 2\sigma_E^2(1 - r_{\delta E}(\Delta t))$	

Это показывает, что неопределенность в тенденции выбросов меньше для положительных автокоррелированных оценочных значений неопределенностей, чем для случайных неопределенностей эквивалентной величины. Существует необходимость в проведении исследований относительно автокорреляций оценочных значений неопределенностей в кадастрах, также как и перекрестных корреляций оценочных значений неопределенностей соответствующих выбросов и поглощений в рамках одного учетного в кадастре года и между последовательными учетными в кадастре годами.

А1.5.2 "Сращивание" методов

В некоторых случаях в ходе продолжающегося составления национальных кадастров может возникнуть необходимость в изменении алгоритма, используемого для расчета какого-либо конкретного выброса или поглощения. Это может произойти либо вследствие улучшения знаний о форме необходимого алгоритма, либо вследствие каких-либо изменений в наличии данных о деятельности. В таких случаях наилучший подход заключается в пересчете кадастров за предыдущие годы с использованием новых методов. В некоторых случаях это оказывается невозможным, и тогда может потребоваться определенное "сращивание" или комбинирование оценочных значений, подготовленных с использованием различных подходов, в один согласованный временной ряд. Ниже описана статистическая теория, лежащая в основе *рекомендуемой практики*, а практические инструкции относительно того, как применять это в кадастрах, приведены в главе 7 – Методологический выбор и пересчет. Оценочные значения выбросов (или поглощений), полученные при использовании двух методов, представлены функциями $P(t)$ и $Q(t)$, где t – год учетной в кадастре оценки. В любой конкретный год, за который имеются два оценочных значения, будет существовать разница, и задача "сращивания" заключается в изучении этой разницы. При этом существуют три вероятных возможности, а именно: два оценочных значения выбросов могут различаться на постоянную величину; два оценочных значения выбросов могут быть пропорциональны одно другому, или они могут быть связаны одновременно постоянной разницей и членом пропорции. В анализируемом ниже примере

рассматривается почти постоянная разница. (Аналогичный анализ может быть проведен и для двух других указанных случаев. В действительности для третьего случая приемлемым является форма линейного регрессионного анализа.)

Неопределенность в разнице между двумя оценочными значениями выбросов во время t может быть выражена следующим образом:

УРАВНЕНИЕ А1.10

$$\text{неопределенность} = \delta \Delta_{P-Q}(t)$$

$$\text{где } \Delta_{P-Q}(t) = P(t) - Q(t)$$

В идеальном случае следует определить эту разницу за многие годы наряду с неопределенностью средней разницы, приняв во внимание неопределенности в P и Q . Черта над символами указывает на многолетнее среднее значение разницы за годы t_1-t_2 , а δ обозначает неопределенность этой средней разницы. В этом случае приемлемый временной ряд оценочных значений может быть составлен путем "срачивания" временных рядов $P(t)$ и $Q(t)$ путем корректировки $Q(t)$ в направлении $P(t)$ благодаря добавлению $\overline{\Delta_{P-Q}}(t)$ усредненной за период t_1-t_2 . Изменение в методе оценки может выражаться либо в повышении, либо в понижении качества оценки. Если очевидно, что $Q(t)$ является улучшением, то $Q(t)$, откорректированная обратно к $P(t)$, должна использоваться как можно дольше. Это означает, что $P(t)$ следует использовать до t_1 , а затем $Q(t) + \overline{\Delta_{P-Q}}(t)$. И наоборот, если предпочтительной является $P(t)$, ее следует использовать до t_2 и т.д.

На практике при подготовке национального кадастра могут возникнуть три ситуации. Может оказаться, что между $P(t)$ и $Q(t)$ нет общих годов; может оказаться, что количество перекрывающихся друг друга годов ограничено, и недостаточно для процесса уточнения разницы между двумя временными рядами, как это рассмотрено выше; и может оказаться, что количество перекрывающихся друг друга годов достаточно.

В первых двух случаях для определения эффективности "срачивания" может потребоваться некоторая дополнительная информация. При этом возможны несколько подходов, а именно:

- Определить другие места (страны), для которых существуют очень похожие временные ряды, и использовать эти данные для выработки глобальной или региональной оценки средней разницы $\overline{\Delta_{P-Q}}(t)$, собирая все имеющиеся данные до тех пор, пока $\delta \overline{\Delta_{P-Q}}(t)$ не уменьшится до приемлемо малой неопределенности, или пока не будут истощены все источники данных.
- В случае, когда истощены все источники данных, а $\delta \overline{\Delta_{P-Q}}(t)$ все еще выше порогового критерия, принять временные ряды с учетом того, что временные ряды от начала и до конца обладают дополнительной неопределенностью, возникающей из-за неопределенности в разнице между этими двумя рядами.
- В случае, когда никакие данные не перекрывают друг друга и нет никаких данных из других источников, следует применять другие методы "срачивания". Одна из возможностей заключается в использовании методов временных рядов (Box and Jenkins, 1970) для перспективного прогноза $P(t)$ и ретроспективного прогноза во времени $Q(t)$, а затем определения того, согласуются ли эти прогнозы в годы, непосредственно примыкающие к моменту срачивания, с другим комплектом данных в рамках 95% доверительного интервала. Если это так, то "срачивание" может быть принято, если же нет, то следует зарегистрировать нарушение непрерывности в оценочных значениях выбросов (или поглощений). В обоих этих случаях неопределенность, применяемая по всему временному ряду, будет, как минимум, совокупной неопределенностью, возникающей из каждой из оценок $P(t)$ и $Q(t)$.

Практические подходы к "срачиванию" рассмотрены в главе 7 – Методологический выбор и пересчет.

A1.5.3 Анализы чувствительности и установление приоритетов в области исследований для целей национальных кадастров

Принимая во внимание поставленную цель уменьшения неопределенностей в кадастре, следует устанавливать приоритеты для проведения дальнейших исследований, основываясь на трех главных характеристиках, а именно:

- значимость категории источников или поглотителей;
- величина неопределенности в выбросах и поглощениях;
- затраты на исследования и ожидаемая польза, измеренная как общее уменьшение неопределенности в кадастре.

Значимость категории источников следует определять, используя критерии, описанные в главе 7 – Методологический выбор и пересчет. Среди категорий источников равного значения приоритет следует отдавать категориям с более значительными неопределенностями или с большим влиянием на тенденцию.

Выбор исследований для каждой категории источников будет зависеть от источников неопределенностей. В большинстве случаев существует целый ряд переменных, определяющих конкретную деятельность и коэффициент выбросов. Приоритет следует отдавать тем величинам, которые в наибольшей степени влияют на общую неопределенность. При выборе исследований следует иметь в виду, что большую пользу может привести дальнейшая стратификация выбросов и поглощений. В действительности многие современные значения по умолчанию определены для широкого диапазона условий, что обязательно влечет за собой наличие больших доверительных интервалов.

В современном контексте стоимость исследований включает финансовые затраты, затраты времени и другие компоненты, которые не всегда можно определить в количественном выражении.

Существуют сложные методы расчетов для определения чувствительности выходных результатов какой-либо модели (такой как кадастр) по отношению к входным величинам. Эти методы основываются на определении коэффициента чувствительности λ , который представляет отношение агрегированных выбросов E_T к входной величине (или параметру), которая в данном случае представлена a . Согласно этим методам, указанный коэффициент определяется следующим образом:

Уравнение A1.11

$$\lambda = \partial E_T / \partial a$$

В некоторых пакетах программного обеспечения для анализов по методу Монте-Карло предусмотрен вариант для такого анализа. Этот подход использовался для изучения систем химии атмосферы, включавших от десятков до сотен химических реакций (NAS, 1979; Seinfeld and Pandis, 1998). Тем не менее одно из различий между этими химическими моделями и учетом парниковых газов заключается в состоянии знаний. Химические модели, как правило, представляют какую-либо закрытую систему с сохранением массы, хорошо определенными взаимосвязями и совокупностью констант скорости, которые в большинстве своем хорошо количественно определены. В том, что касается кадастров парниковых газов, знаний о степени взаимодействий и значениях величин и параметров гораздо меньше.

Существуют другие подходы, которые могут удовлетворить потребность во входной информации относительно приоритетов в измерениях и научных исследованиях для составления кадастров. Можно разработать более простые методы, которые, основываясь на общих предположениях, позволят определить приоритеты в исследованиях. Преимущество этих более простых схем заключается в том, что они могут использоваться всеми составителями кадастров. Такая информация о приоритетах в исследованиях и измерениях основывается на оценках представительной выборки, как это описано в разделе A1.4.2 – Представительная выборка, алгоритмы и ковариации; на анализе неопределенности в главе 6 – Количественная оценка неопределенностей на практике, и в главе 7 – Методологический выбор и пересчет, а также на *инструкциях* в рамках *рекомендуемой практики* для каждого сектора (см. главы 2-5). Эти различные входные сведения в совокупности с экспертной оценкой составителей кадастра обеспечивают наилучшее руководство для выбора приоритетов для разработки кадастров.

A1.6 ПОТРЕБНОСТИ В ИССЛЕДОВАНИЯХ

Несмотря на то, что некоторые из предположений, лежащих в основе кадастров МГЭИК, являются самоочевидными и уже хорошо изучены, систематическое исследование совокупности предположений, лежащих в основе этих кадастров, облегчит структурированный подход к идентификации неопределенностей и проектированию экспериментов для проверки и уточнения этих предположений. Эта работа включает вопросы определения и теоретического обоснования алгоритмов выбросов. Такая работа активизирует объединение знаний и обмен информацией между деятельностью МГЭИК в отношении кадастров и теми исследованиями глобальных циклов малых газовых составляющих, которые проводит рабочая группа 1 МГЭИК, на пользу этим обоим видам деятельности.

Одним из пока еще нерешенных на сегодняшний день вопросов в деле отчетности о выбросах и поглощениях является количество регистрируемых значимых цифр (точность численного выражения). Подход, принятый в ИСО (1993 г.), заключается в том, что численные значения оценки и ее среднеквадратичного отклонения не должны выражаться чрезмерным количеством цифр. В канадском национальном кадастре парниковых газов принята практика отчетности с указанием данных, имеющих такое количество значимых цифр, которое соизмеримо с неопределенностью оценок в кадастре. Если принять меры к тому, чтобы эта связь соблюдалась во всем кадастре, можно четко показать неопределенность соответствующих значений и различие между неопределенностями, связанными с выбросами из каждой категории источников. Другой подход заключается в определении минимальной единицы для отчетности в качестве какой-либо фиксированной величины, а затем в сообщении об учетных данных в кадастрах всех стран и о всех компонентах этих кадастров в одних и тех же числовых единицах. На практике такой подход, вероятно, имеет то преимущество, что позволяет легко сводить соответствующие таблицы, однако, этот вопрос требует дальнейшего рассмотрения.

БИБЛИОГРАФИЯ

- Bevington, P. R. and Robinson, D. K. (1992). *Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences*. WCB/McGraw-Hill Boston USA, p. 328.
- Bouwman, A.F. (1996). 'Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils'. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 46, pp. 53-70.
- Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. (1970). *Time Series Analysis forecasting and control*. Holden-Day, San Francisco, USA, p. 553.
- Cochran, W.G. (1963). *Sampling Techniques*. 2nd edition, John Wiley & Sons Inc., New York, p. 411.
- Cullen, A.C. and H.C. Frey, H.C. (1999). *Probabilistic Techniques in Exposure Assessment*, Plenum Publishing Corp., New York, USA, p. 335.
- Eggleston, S. (1993). Cited in IPCC (1996) *Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, op. cit.
- Enting, I.G. (1999). *Characterising the Temporal Variability of the Global Carbon Cycle*. CSIRO Technical Paper No 40, CSIRO Aspendale, Australia, p. 60.
- Grübler, A., N. Nakićenović, N. and Victor D.G. (1999). 'Dynamics of energy technologies and global change', *Energy Policy*, 27, pp. 247-280.
- IPCC (1996). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volumes 1, 2 and 3*. J.T. Houghton et al., IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- ISO (1993). *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*. International Organisation for Standardization, ISBN 92-67-10188-9, ISO, Geneva, Switzerland, p.101.
- Mandel, J. (1984). *The Statistical Analysis of Experimental Data*. Dover Publications New York, USA, p. 410.
- Manly, B.F.J. (1997). *Randomization, Bootstrap and Monte Carlo Methods in Biology*. 2nd edition, Chapman & Hall, p. 399.
- NAS (1979). *Stratospheric Ozone Depletion by Halocarbons: Chemistry and Transport*. Panel on Stratospheric Chemistry and Transport, National Academy of Sciences, Washington D.C., USA, p.238.
- Robinson, J.R. (1989). 'On Uncertainty in the Computation of Global Emissions for Biomass Burning'. *Climatic Change*, 14, pp. 243-262.

Seinfeld, J.H. and Pandis, S.N. (1998). *Atmospheric Chemistry and Physics*. John Wiley and Sons, New York, USA, p. 1326.

Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice (SBSTA), United Nations Framework Convention on Climate Change (1999). *National Communications from Parties included in Annex 1 to the Convention, Guidelines for the Preparation of National Communications, Draft conclusions by the Chairman*. FCCC/SBSTA/1999/L.5, p. 17.