

Рубрика 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ

Направление – Техносферная безопасность транспортных систем

УДК 551.583.2

DOI 10.17816/transsyst2023935-14

© **Р.Г. Ахтямов**

Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I

(Санкт-Петербург, Россия)

ОЦЕНКА И ПУТИ СНИЖЕНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ УЧЕТЕ ВЫБРОСОВ И ПОГЛОЩЕНИЙ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

Обоснование: Как известно, транспортная отрасль – один из крупных источников эмиссии парниковых газов, и, неизбежно подвергается влиянию экологической повестки.

Цель: Оценка неопределенности и разработка путей снижения неопределенности при учете выбросов и поглощений парниковых газов.

Метод: Анализ статистических причин неопределенности при измерении и учете выбросов и поглощений парниковых газов, а также анализ литературных источников предложены пути снижения неопределенности.

Результаты: Выявлены источники неопределенности, полученные при учете выбросов или поглощений парниковых газов при реализации плана адаптации к изменениям климата в области транспорта. При этом выделены объективно обусловленные причины неопределенности, связанные с недостатками данных, используемых моделей и анализируемых выборок, а также причины неопределенности, основанные на субъективных предпосылках. Сформулированы пути снижения неопределенности, основанные на улучшении концептуализации, совершенствовании модельной структуры, повышении репрезентативности данных, а также использовании более точных методов измерения.

Заключение: Пути снижения неопределенности при реализации плана адаптации к изменениям климата в области транспорта, основанной на субъективных параметрах, заключаются во внедрении адаптивного управления и развитии обучения, как итеративного процесса, так как обучение становится ключевым компонентом деятельности в условиях меняющегося климата.

Ключевые слова: изменение климата, устойчивое развитие, парниковые газы, неопределенность, выбросы парниковых газов, поглощение парниковых газов, адаптация, смягчение, адаптивное управление, обучение.

Rubric 1. TECHNOLOGIES AND PROJECTS

Field – Technosphere safety of transport systems

© **Rasul G. Akhtyamov**

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

(St. Petersburg, Russia)

EVALUATION AND WAYS TO REDUCE UNCERTAINTY OF GREENHOUSE GAS EMISSION AND SEQUESTRATION

Background: The transport industry is one of the major sources of greenhouse gas emissions, and is inevitably influenced by the environmental agenda.

Aim: Estimation of the uncertainty and develop ways to reduce uncertainty when accounting for emissions and removals of greenhouse gases.

Methods: The method of analyzing the statistical causes of uncertainty in the measurement and accounting of emissions and removals of greenhouse gases, as well as the analysis of literary sources, suggests ways to reduce uncertainty.

Results: The sources of uncertainty in the implementation of the climate change transport adaptation plan obtained when taking into account emissions or removals of greenhouse gases were identified. At the same time, objectively determined causes of uncertainty associated with shortcomings in the data, models used and analyzed samples, as well as causes of uncertainty based on subjective assumptions, are identified. Of practical significance are the formulated ways to reduce uncertainty, based on improving the conceptualization, improving the model structure, increasing the representativeness of the data, as well as using more accurate measurement methods.

Conclusion: Ways to reduce uncertainty in the implementation of the climate change transport adaptation plan based on subjective parameters are to introduce adaptive management and develop learning as an iterative process, as learning becomes a key component of activity in a changing climate.

Key words: climate change, sustainable development, greenhouse gases, uncertainty, greenhouse gas emissions, greenhouse gas absorption, adaptation, mitigation, adaptive management, learning.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из параметров, оказывающих существенное влияние на оценку климатических изменений, а также величину выбросов и поглощений парниковых газов является неопределенность. Правдоподобие оценок основано на неопределенности переходной реакции климата на кумулятивные выбросы CO₂, а также других парниковых газов и дополнительных обратных связях.

Величина обратных связей между изменением климата и углеродным циклом становится выше, при этом возрастает ее неопределенность в сценарной структуре «общих социально-экономических вариантов» (ОСЭВ) с высокими уровнями выбросов CO₂ (Рис.).

Диапазоны неопределенности на Рис. представлены затенениями. Помимо влияния внутренней изменчивости, прогнозируемые на ближайшую перспективу изменения климатических параметров в глобальном и региональном масштабах, имеют неопределенности из-за неопределенности моделей и неопределенности воздействий, вызванных природными и антропогенными выбросами.

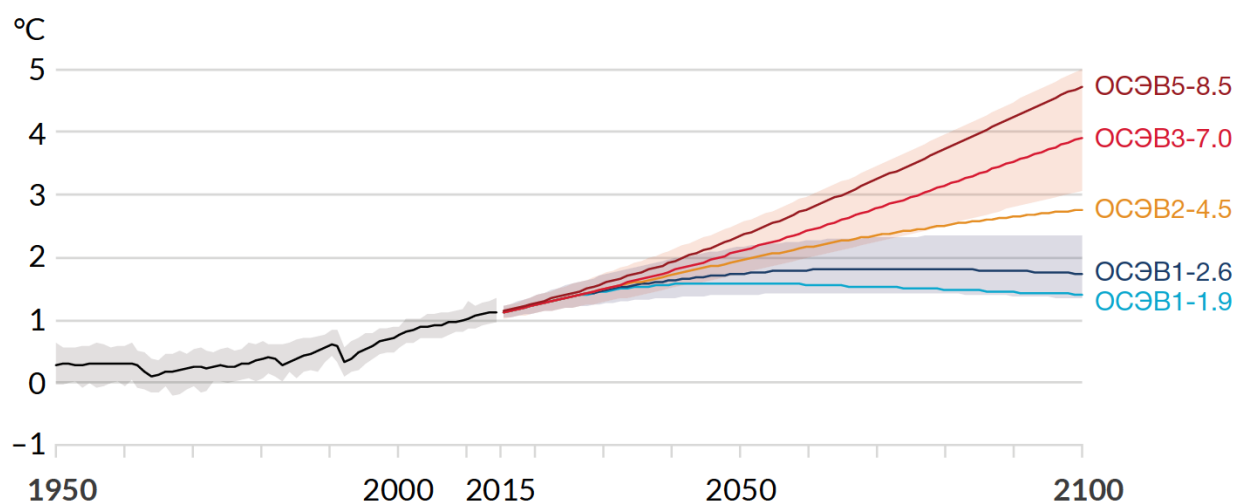


Рис. Изменение глобальной приземной температуры
относительно 1850–1990 годов [1]

Таким образом, оценка неопределенности – это существенный элемент анализа климатических изменений, выбросов и поглощений парниковых газов [2].

Целью данной работы является оценка неопределенности и разработка путей снижения неопределенности при учете выбросов и поглощений парниковых газов.

ОЦЕНКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ УЧЕТЕ ВЫБРОСОВ И ПОГЛОЩЕНИЙ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

В соответствии с [3] под неопределенностью понимается недостаток знаний об истинном значении переменной, которая может быть описана как плотность распределения вероятности, характеризующая как диапазон, так и вероятность возможных значений. Неопределенность зависит от знаний аналитика, которые зависят как от качества, так и от количества данных используемых при анализе, а также от понимания основных процессов, происходящих в климатической системе. Изменчивость понимается как неоднородность анализируемой переменной как во времени и пространстве, так и в членах представленной совокупности. Причинами возникновения изменчивости могут быть различия в видах источников выбросов парниковых газов (межобъектовая или пространственная изменчивость) и в условиях эксплуатации (в зависимости от времени эксплуатации источника выбросов).

При оценке неопределенности измерения выбросов и поглощений парниковых газов необходимо учитывать наличие репрезентативных данных и потенциала отклонения данных, погрешность и точность измерений, индивидуальную изменчивость в измерениях и объем выборки

анализируемых данных, межгодовую изменчивость и то, основываются ли оценки величин на значениях, усредненных за несколько лет или за один год.

Наличие репрезентативной выборки подразумевает, что измерения были выполнены для типичных параметров системы, условий эксплуатации, одинаковых интервалов времени, и аналогичных географических областей. Как погрешность, так и точность измерений индивидуальных параметров зависит от применяемого оборудования, а также протоколов измерений. Размер выборки должен определяться соотношением между стремлением к максимально возможному количеству данных и затратами на проведение измерений.

Изменчивость при сравнении данных от одного кратковременного периода (например, часа, дня, неделя) к другому анализируемому периоду зависит от характеристики оцениваемой категории данных. Если в качестве цели сформулирована оценка ежегодных средних выбросов или поглощений парниковых газов, то целесообразна оценка того, являются ли проводимые краткосрочные измерения репрезентативными для длительных интервалов времени и возможно ли расширение программы измерений на дополнительные временные интервалы.

При малых размерах выборки могут возникать значительные величины неопределенности по отношению к оцениваемым параметрам. Кроме того, как правило, не имеется возможности положиться на статистические методы для того, чтобы различить критерии согласия альтернативных параметрических распределений, когда размеры выборки очень малы [4]. Таким образом, при выборе согласовывающегося с незначительным массивом данных параметрического распределения анализируемой величины требуется экспертная оценка.

Одной из основных причин неопределенности является *недостаток полноты*. Данная причина связана с недоступностью результатов измерений или отсутствием соответствующего метода измерения. Данная причина может приводить к отклонениям вследствие неполной концептуализации и появлению случайных ошибок.

Значимым источником неопределенности служит *принятая модель*. В качестве модели могут выступать постоянные множители, в виде простых моделей (например, коэффициенты выбросов), либо сложность моделей может возрастать (например, сложные процессы поглощения парниковых газов). При оценке выбросов и поглощений парниковых газов может возникать неопределенность, состоящая как из отклонений, так и случайных ошибок по следующим причинам:

- модели не являются точными, так как представляют собой упрощение реальных систем;
- интерполяция, применяемая для модели в пределах диапазонов входа, для которых данная модель адекватна;

- экстраполяция приводит к неопределенности модели вне той области, для которой модельный прогноз применим;
- альтернативные построения приводят к неопределенности выбросов и поглощений парниковых газов в различных моделях;
- аппроксимация модельных входов, включая параметры деятельности на основании ограниченного доступа к информации.

Источником неопределенности служит *недостаток данных*. В ряде ситуаций может отсутствовать необходимый массив данных, который необходим для характеристики специфических видов выбросов или поглощений парниковых газов. В данном случае необходимо использование вспомогательных данных, которые связаны с аналогичными или подобными категориями, а также возможна оценка на основе интерполяции или экстраполяции.

В ряде случаев источником неопределенности является *недостаток репрезентативности данных*. Данная причина неопределенности связана с отсутствием связи между условиями, при которых получались данные и условиями, при которых происходили выбросы или поглощения парниковых газов. Так, данные о выбросах парниковых газов могли быть получены в условиях полной загрузки мощностей, но не в случае снижения производственных мощностей объекта анализа. Таким образом, данные лишь частично соотносятся реальными выбросами парниковых газов.

Статистическая ошибка случайной выборки влияет на величину неопределенности. Данная причина неопределенности связана с данными, являющимися случайной выборкой конечного размера, которая зависит от дисперсии массива данных, из которой получается выборка и размера получаемой выборки. Снижение данной причины неопределенности возможно путем увеличения числа выборок. При этом, значительные объемы выборки не снижают изменчивость, но сужают доверительные интервалы, которые служат основой при оценке случайной составляющей неопределенности выбросов и поглощений парниковых газов.

Значимым источником неопределенности служит *ошибка измерения*. Ошибки при измерениях могут возникать как случайно, так и систематически. Они могут возникать как следствие ошибок при измерениях, регистрации, а также передаче информации, вследствие ограниченной разрешающей способности приборов. Источником данных ошибок могут служить неточные значения справочных материалов и эталонов измерения, а также неточные значений констант и других величин, которые получаются из внешних источников.

Неверное представление выбросов или поглощений парниковых газов в отчетах или их *ошибочная классификация* является источником неопределенности. Данный вид неопределенности происходит вследствие ошибочного или неполного определения выбросов или поглощений парниковых газов.

Также источником неопределенности служит *отсутствие данных*. Например, результаты измерений, лежащие ниже предела обнаружения. Данная причина возникновения неопределенности приводит, как к отклонениям, так и к возникновению случайной ошибке. Существуют статистические методы для того, чтобы работать с необнаруженными данными, так же как другими типами отсутствующих данных [5–8].

Кроме приведенных выше причин неопределенности при учете выбросов и поглощений парниковых газов, основанных на объективных параметрах, целесообразно проанализировать причины неопределенности, основанные на субъективных предпосылках. Одним из основных субъективных параметров, увеличивающих неопределенность, является то, что отдельные лица и/или группы сосредоточены на краткосрочной перспективе и ими игнорируются маловероятные события с высоким уровнем ущерба. При этом выделены следующие факторы, влияющие на неопределенность:

- Недооценка риска: при наличии информации о факторах риска, происходит недооценка вероятности события. Этот фактор неопределенности может быть усилен естественной изменчивостью;

- При высоких первоначальных затратах, связанных с разработкой и реализацией мер по адаптации к изменениям климата, ресурсы направляются на краткосрочные цели, а не на получение потенциальных долгосрочных преимуществ в виде снижения рисков;

- Трудности в поиске оптимального соотношения между затратами и получаемыми выгодами от проведения мероприятий по адаптации и смягчению последствий изменения климата, которые требуют сравнения величины затрат с ожидаемыми выгодами в виде снижения ущерба в будущем;

- Откладывание принятия решения в случае неоднозначного выбора между альтернативами;

- Временные интервалы между институциональными инвестициями в снижение факторов климатического риска и выгодами от данных инвестиций являются значительными, при этом возникает «невидимость» успешного снижения риска, которая может привести к откладыванию принятия решения и, как следствие к росту неопределенности.

При этом неопределенности, связанные с историческим потеплением, составляет ± 550 ГтСО₂, воздействием, не относящиеся к СО₂ составляют ± 220 ГтСО₂. Также значимую величину составляют неопределенности недавних выбросах, например с 2015 года ± 20 ГтСО₂ [1].

ПУТИ СНИЖЕНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ УЧЕТЕ ВЫБРОСОВ И ПОГЛОЩЕНИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

В зависимости от причины возникновения могут быть использованы следующие способы снижения неопределенностей при учете выбросов и поглощений парниковых газов при реализации плана адаптации к изменениям климата в области транспорта:

- Улучшение концептуализации и содержательности выбранных структурных предположений ведет к снижению неопределенности. Например, учет сезонности, которая повышает точность ежегодной оценки выбросов и поглощений парниковых газов;

- Улучшение моделей и используемых параметров ведет к лучшему пониманию в определении значимых характеристик как систематических, так и случайных ошибок, а также ведет к снижению неопределенности;

- Улучшение репрезентативности, включающее стратификацию и иные подходы к формированию анализируемой выборки. Непрерывный мониторинг выбросов может быть использован для снижения неопределенности;

- Повышение точности методов измерения, при этом ошибки в измерениях могут быть снижены как использованием более точных методов измерения, так и избеганием введения упрощений, и обеспечением соответствующей калибровки приборов, применяемых при измерениях;

- Увеличение анализируемого количества результатов измерений. Неопределенность, вызванная ошибкой случайной выборки, снижается вследствие увеличения объема выборки;

- Исключение отклонений достигается обеспечением выполнения требований, как к установке, так и к калибровке применяемой аппаратуры, а также тем, что используемые модели или вспомогательные процедуры оценки являются подходящими и репрезентативными. Кроме того, целесообразно систематическое применение метода экспертных оценок;

- Улучшение понимания технологических и климатических процессов, которые связаны с выбросами и поглощением парниковых газов, позволяет обнаружить и скорректировать неполноту данных. Эффективная практика в непрерывном улучшении оценок выбросов и поглощений парниковых газов основана на новых знаниях.

Кроме приведенных выше предложений по снижению неопределенности при учете выбросов и поглощения парниковых газов, основанных на объективных параметрах, целесообразно сформулировать пути сокращения неопределенности, основанные на субъективных параметрах.

Одним из путей сокращения неопределенности, основанной на субъективных параметрах, является внедрение адаптивного управления. В соответствии с [9, 10] под адаптивным управлением понимается процесс совершенствования политики и практики управления с учетом результатов реализации стратегий, а также прогноза изменения внешних факторов. Принципы адаптивного управления могут внести свой вклад в процессно-ориентированный подход к управлению факторами климатического риска и уже используются в устойчивом управлении природными ресурсами в условиях неопределенности [11]. Целесообразность применения адаптивного управления связана с возможностями организаций и структур избегать включенности в жесткие планы мероприятий и широкое использование новой информации, подходов и способов деятельности. Таким образом, ориентация на динамично меняющиеся экологические, экономические и социальные условия создает возможности для рассмотрения и внедрения инновационных методов управления климатическими рисками, в том числе с ориентацией на долгосрочные и/или относительно маловероятные события.

При запросе инвестиций организациям и структурами, использующими в своей деятельности адаптивное управление необходимо учитывать вероятность неполучения продукта или экономического эффекта в краткосрочной перспективе или в существующих условиях риска. Однако получаемое разнообразие результатов позволяет повысить устойчивость функционирования и адаптивность инвестора при изменении факторов климатического риска, особенно при нелинейном развитии компонентов окружающей среды.

Развитие обучения, как итеративного процесса также является одним из способов сокращения неопределенности, основанной на субъективных параметрах. Динамическое понятие адаптации требует обучения как повторяющегося процесса для повышения устойчивости и способности к адаптации не только в отдаленном будущем, но и в краткосрочной перспективе. Это обусловлено тем, что для снижения негативного воздействия факторов климатического риска на объекты инфраструктуры необходимо производить их проектирование, и внедрять меры по адаптации на стадии строительства и эксплуатации, исходя из актуальных климатических изменений.

В этой связи целесообразно рассматривать обучение как постоянный и итеративный процесс, при котором участники понимают смысл системных изменений, участвуют в реализации мер по адаптации к изменению климата и прогнозируют будущие изменения. Таким образом, обучение становится ключевым компонентом деятельности в условиях меняющегося климата, что приобретает особую актуальность в условиях неопределенности. В качестве основы для данного типа трансформации образования может выступать создание такого типа социального и

образовательного пространства для обучения и исследований, которое поощряет конкуренцию мнений и подходов к решению актуальных задач, создает систему знаний, построенную на разделяемых участниками образовательного процесса ценностях, а также способствует инновационному и творческому подходу в разработке мер адаптации к изменениям климата и снижении неопределенности при учете выбросов и поглощения парниковых газов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенный анализ позволил сформулировать источники неопределенности, полученные при учете выбросов или поглощений парниковых газов. При этом выделены объективно обусловленные причины неопределенности, связанные с недостатками данных, используемых моделей и анализируемых выборок.

Кроме того, выделены причины неопределенности, основанные на субъективных предпосылках. Одним из основных субъективных параметров, увеличивающих неопределенность, является то, что отдельные лица и/или группы сосредоточены на достижении результатов в краткосрочной перспективе и ими игнорируются маловероятные события с высоким уровнем ущерба.

В зависимости от причины возникновения неопределенности при учете выбросов и поглощений парниковых газов сформулированы способы снижения неопределенности, основанные на улучшении концептуализации, совершенствовании модельной структуры, повышении репрезентативности данных, а также использовании более точных методов измерения.

Пути снижения неопределенности, основанной на субъективных параметрах, заключаются во внедрении адаптивного управления, то есть процесса совершенствования политики и практики управления с учетом результатов реализации стратегий, а также прогноза изменения внешних факторов. Развитие обучения, как итеративного процесса также является одним из способов сокращения неопределенности, основанной на субъективных параметрах, так как обучение становится ключевым компонентом деятельности в условиях меняющегося климата, что приобретает особую актуальность в условиях неопределенности.

Автор заявляет, что настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, Connors SL, et al. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on

- Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge. 2021. doi: 10.1017/9781009157896.001
2. План адаптации к изменениям климата в области транспорта. [Plan adaptacii k izmeneniyam klimata v oblasti transporta [Internet]. (In Russ.)]. Ссылка активна на 05.06.2023. Доступно по: <https://mintrans.gov.ru/documents/9/11749?type=>
 3. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006 [IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006 [Internet]. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/index.html> Ссылка активна на 05.06.2023.
 4. Cullen AC, Frey HC. Probabilistic Techniques in Exposure Assessment: A Handbook for Dealing with Variability and Uncertainty in Models and Inputs, Plenum: New York. 1999. doi: 10.1002/sim.958
 5. Cohen AC, Whitten B. *Parameter Estimation in Reliability and Life Span Models*. NY: M.Dekker; 1998. doi: 10.1201/9781003066064
 6. Gelfand AE. *Gibbs Sampling, the Encyclopedia of Statistical Sciences*. NY: John Wiley and Sons; 1996. doi: 10.1002/0471667196.ess0302.pub2
 7. Zhao Y, Frey HC. Quantification of Variability and Uncertainty for Censored Data Sets and Application to Air Toxic Emission Factors. *Risk Analysis*. 2004;24(3):1019-1034. doi: 10.1111/j.0272-4332.2004.00504.x
 8. Харламова, А.В., Верех-Белоусова Е.И. Влияние эдафических условий рекультивированных породных отвалов на эффективность снижения их негативного воздействия на прилегающие территории // Безопасность жизнедеятельности. – 2018. – № 10(214). – С. 29-35. [Kharlamova AV, Vereh-Belousova EI. The Influence of Edaphic Conditions of Reclaimed Rock Dumps on the Efficiency of Reducing Their Negative Impact on Adjacent Territories. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2018;10(214):29-35. (Russ.)].
 9. Pahl-Wostl C. A conceptual framework for analyzing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes. *Global Environmental Change*. 2009;19(3):354-365. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2009.06.001
 10. Pahl-Wostl C, Craps M, Dewulf A, Mostert E, et al. Social learning and water resources management. *Ecology and Society*. 2007;12(2):5. doi:10.5751/es-02037-120205
 11. Medema W, McIntosh BS, Jeffrey PJ. From premise to practice: a critical assessment of integrated water resources management and adaptive management approaches in the water sector. *Ecology and Society*. 2008;13(2):29. doi: 10.5751/es-02611-130229

Сведения об авторе:

Ахтямов Расул Гумерович, кандидат технических наук, доцент;

eLibrary SPIN: 2812-3782; ORCID: 0000-0001-8732-219X;

E-mail: ahtamov_zchs@mail.ru

Information about the author:

Rasul Akhtyamov, candidate of technical sciences, associate professor;

eLibrary SPIN: 2812-3782; ORCID: 0000-0001-8732-219X;

E-mail: ahtamov_zchs@mail.ru

Цитировать:

Ахтямов Р.Г. Оценка и пути снижения неопределенности при учете выбросов и поглощений парниковых газов // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2023. – Т. 9. – № 3. – С. 5–14. doi: 10.17816/transsyst2023935-14

To cite this article:

Akhtyamov RG. Evaluation and ways to reduce uncertainty of greenhouse gas emission and sequestration. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2023;9(3):5-14. doi: 10.17816/transsyst2023935-14