

ДИНАМИЧНАЯ КЛИМАТИЧЕСКАЯ НОРМА И МНОГОЛЕТНИЙ ТРЕНД ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА В АТМОСФЕРЕ: СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ

DYNAMIC NORMAL AND LONG TERM TREND OF TOTAL OZONE CONTENT IN THE ATMOSPHERE: IMPROVEMENT OF APPROACHES

Л. М. Болотько¹, В. В. Божкова¹, А. М. Людчик¹, П. Н. Павленко²
L. Balatsko¹, V. Bozhkova¹, A. Liudchik¹, P. Pavlenko²

¹Белорусский государственный университет,
Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы,
г. Минск, Республика Беларусь

²Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
liudchikam@tut.by

¹Belarusian State University, National Ozone Monitoring Research Centre,
Minsk, Republic of Belarus

²Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Обсуждаются детали модифицированной методики статистического анализа многолетних рядов спутниковых наблюдений за общим содержанием озона в земной атмосфере. Предложены алгоритмы выбора измерений, относящихся к определенному периоду и региону. Обсуждаются варианты выбора модели многолетнего тренда общего содержания озона и оценки ее качества. Использование новой методики иллюстрируется результатами расчета климатической нормы общего содержания озона над Беларусью, прогноза его изменения в будущем и сравнением с ранее полученными результатами.

The details of the modified method for statistical analysis of long term satellite observations of the total ozone content in the Earth's atmosphere are discussed. Algorithms for choosing measurements relating to a certain period and a region are proposed. Options for choosing a model for a long term trend of the total ozone content and for assessing its quality are discussed. The use of the new techniques is illustrated by the calculation of the total ozone content normal over Belarus, the forecast of its change in the future and by comparison with previously obtained results.

Ключевые слова: стратосферный озон, общее содержание озона в атмосфере, Монреальский протокол, динамическая климатическая норма.

Keywords: stratospheric ozone, total ozone content in the atmosphere, Montreal Protocol, dynamic normal.

В 80-х гг. XX в. внимание человечества было обращено на стратосферный озоновый слой, защищающий все живое на Земле от губительного коротковолнового ультрафиолетового солнечного излучения. Было доказано, что широко применяемые в промышленности и быту соединения хлора и брома, попадая в атмосферу, достигают высот стратосферы и там, разлагаясь под действием жесткого ультрафиолетового излучения, способствуют разрушению озонового слоя. Наблюдения подтвердили выводы ученых. И тогда международным сообществом было принято беспрецедентное решение по сокращению и запрещению производства ряда озоноразрушающих веществ. С тех пор ведется непрерывный мониторинг общего содержания озона в атмосфере для оценки эффективности реализованных мероприятий. Восстановление озонового слоя ожидается в ближайшие десятилетия.

На основе проведенных измерений можно прогнозировать с той или иной долей успешности будущие изменения состояния озоносферы, если предположить, что изменения в озоновом слое происходят весьма медленно. Поэтому тенденции, выявленные в его предыдущей истории, будут сохраняться некоторое время и в будущем. При этом следует иметь в виду, что все трансформации в озоносфере являются результатом не только реализации Монреальского протокола – сокращения выбросов в атмосферу озоноразрушающих веществ, но и независящего от нас изменения климата стратосферы. Что играет определяющую роль, в этом случае не является предметом исследования, главный вопрос – восстанавливается ли озоновый слой, и, соответственно, уменьшается ли уровень опасного солнечного ультрафиолетового излучения для всего живого на земле? Это, очевидно, весьма важная задача.

Возможен также и другой подход, базирующийся на учете меняющегося климата стратосферы, исключении этого влияния из результатов наблюдений и последующем анализе только действенности Монреальского протокола. Этот, второй подход, более сложен, содержит дополнительные неопределенности и служит только подтверждению действенности Протокола, поскольку за рамками остаются другие возможные механизмы, оказывающее влияние на озон. Поскольку авторы не располагают достаточными знаниями о меняющейся динамике

стратосферы, далее обсуждаются детали решения первой задачи – анализе прошлой истории озонового слоя и попытке прогноза его ближайшего будущего.

Статистический анализ данных наблюдений является весьма мощным инструментом для предсказания будущего развития исследуемого процесса. Однако к получаемым результатам следует относиться с осторожностью: без глубокого знания физических механизмов, управляющих процессом, можно только предполагать, что его поведение, изученное за период наблюдений посредством статистического анализа, сохранится на некоторое время и в будущем.

Несколько лет назад были представлены результаты статистического анализа поведения озонового слоя над Минском с использованием относительно новой концепции динамичной климатической нормы [1; 2]. Динамичная климатическая норма, в отличие от общепринятого определения, как многолетнего среднего, допускает свое изменение в течение периода наблюдений и оценку ее многолетнего тренда. Именно обнаруживаемый в ходе определения динамичной нормы тренд и является основой прогноза будущего развития событий.

Было установлено, что общее содержание озона над городом, вероятнее всего, прошло через свой минимум в начале нынешнего тысячелетия и стало постепенно увеличиваться. Через несколько лет (в 2014 г.) расчеты были повторены с учетом новых данных наблюдений и также привели к благоприятному прогнозу, хотя и менее оптимистичному.

Авторы настоящего исследования намерены распространить развитый подход и на другие регионы земного шара. С этой целью использована полная база данных спутниковых наблюдений за общим содержанием озона над всем земным шаром и разработаны программные средства отбора данных за заданный период для выбранного региона. Последний определяется посредством задания интервалов географических долгот и широт, в пределах которых результаты спутниковых наблюдений будут извлекаться из базы данных и усредняться для последующей обработки. В частности, если в цитированных публикациях использовались данные только для Минска, то теперь имеется возможность анализировать среднее состояние озоносферы над всей Беларусью. Поскольку характерные размеры неоднородностей озоносферы сопоставимы с размерами Беларуси, очевидно, что нет оснований ожидать существенных изменений по сравнению с прошлыми расчетами. Тем не менее, такой расчет был проделан, чтобы убедиться в корректности алгоритма и эффективности работы программы. В дальнейшем планируется провести аналогичные исследования для различных районов земного шара с целью оценки многолетней динамики озоносферы в целом, отвлекаясь от причин ее изменчивости.

Дополнительно в новой программе появилась возможность существенно модифицировать модель многолетнего тренда общего содержания озона. Например, возможна аппроксимация тренда полиномом третьей степени времени. Такая модернизация полезна для анализа возможностей использования оценки статистической значимости при поиске оптимального варианта модели. Результаты расчетов с кубической моделью тренда незначительно отличаются от квадратичного аналога во все сезоны, кроме весны. В последние годы кубическая добавка приводит к сильному снижению общего содержания озона в весенний период. При этом оценка статистической значимости кубической добавки также не свидетельствует о ее ценности. Концепция динамичной климатической нормы позволяет реализовать более совершенные подходы к прогнозу течения любого природного процесса, отталкиваясь от его физической природы и непротиворечивой модели его развития. Методы статистической оценки качества используемых гипотез являются удобным инструментом такого рода исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Людчик, А. М.* Расчет климатической нормы и тренда общего содержания озона над территорией Беларуси / А. М. Людчик, В. И. Покаташкин // Доклады НАН Беларуси. – 2012. – Т. 56, № 3. – С. 104–110.
2. *Людчик, А. М.* Климатология стратосферного озона над Беларусью / А. М. Людчик и др. // Природные ресурсы. – 2014. – № 2. – С. 106–111.