

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ И ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ПРИ АНАЛИЗЕ ПАРАМЕТРОВ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

*Дорожко Н. В., Лопух П. С., Логинова Е. В., Шлендер Т. В., Светашев А. Г.
Белорусский государственный университет,
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: natashka_d10.05@mail.ru*

Современные методы и модели прогнозирования климатических систем позволяют оперативно предсказывать погодные условия на разных территориях и в разные временные интервалы. Для верификации численного прогноза необходимо использовать комплекс методов, которые основываются на статистических и физических уравнениях, а также спутниковых данных, что позволит повысить качество прогноза погоды.

Ключевые слова: статистические методы; численный анализ; климатическая система; прогноз, потепление.

POSSIBILITIES OF APPLYING STATISTICAL AND NUMERICAL METHODS IN THE ANALYSIS OF CLIMATE SYSTEM PARAMETERS

*Dorozhko N. V., Lopuch P. S., Loginova E. V., Schlender T. V., Svetashev A. G.
Belorussian State University,
Minsk, Republic of Belarus, e-mail: natashka_d10.05@mail.ru*

Modern methods and models for forecasting climate systems allow you to quickly predict weather conditions in different territories and at different time intervals. To verify the numerical forecast, you need to use a set of methods that are based on statistical and physical equations, as well as satellite data, which will improve the quality of the weather forecast.

Keywords: statistical methods; numerical analysis; climate system; forecast; warming.

Многие ученые изучают вопрос изменения климата, как глобальной и региональной системы, а также его экстремальные проявления в разные временные интервалы [1, 2]. Изменения климата за период инструментальных наблюдений можно описать трендовой составляющей, на которую накладываются колебания разных временных масштабов. В последние десятилетия в связи с активной фазой глобального потепления повысился интерес к региональным климатическим изменениям [2, 3, 5]. Этому обстоятельству способствует развитие современных информационно-вычислительных технологий, доступ к метеорологическим данным и данным систем реанализа. При анализе климатической системы любого масштаба представляется перспективным комплексно использовать современные методы.

Целью данного исследования является оценка возможностей комплексного применения статистических и численных методов при анализе параметров климатических систем разного масштаба.

Материалы для изучения поставленной задачи обработаны в соответствии с методиками численного и статистического анализов с применением программ статистической обработки: Microsoft Excel 2019; Origin 8.5.1; SPSS Statistics, Matlab, а также систем численного анализа – Weather Research and Forecasting (WRF) [4].

По современным представлениям и в соответствии с рекомендациями WMO [3] климатическая система представляет собой сложную интерактивную систему, состоящую из атмосферы, поверхности суши, снежного покрова и льдов, океанов и других водных объектов, а также живых организмов. Климатическим элементом является любое из свойств климатической системы. В сочетании с другими элементами эти свойства описывают погоду или климат в конкретном месте за определенный промежуток времени. Каждый наблюдаемый метеорологический элемент также может называться климатическим элементом. Важной особенностью климатической системы (климата) является то, что взаимодействие между компонентами системы и элементами климата происходит во всех пространственных и временных масштабах. Для детального анализа климата на различных территориях следует четко разделять понятия глобального климата и регионального. Глобальный климат определяется как ансамбль состояний системы «атмосфера-океан-суша-криосфера», который она проходит за длительное время (не менее нескольких десятилетий) [3]. Следовательно, за глобальные климатические факторы можно принять основные элементы климата: солнечная радиация (свет, тепло), атмосферные осадки и атмосферное давление, влажность воздуха, влажность почвы, циркуляция воздуха (ветер). Региональный климат характеризуется определенным сочетанием средних колебаний основных климатических характеристик на рассматриваемой территории (микроклимат)

Первоначальные прогнозы климата основываются на эмпирических и статистических методах. Статистический метод, широко распространенный и «единственный» до последнего времени, испытывает определенные сложности при исследовании климатических систем, включающих большие наборы параметров, которые на разных уровнях взаимодействуют друг с другом, причем это взаимодействие может носить нелинейный характер и иметь временные задержки [3]. Применение статистических методов основывается на методах кластеризации, регрессионного и корреляционного анализов, выборе значимых элементов, факторном анализе и др. Используя рассматриваемый метод необходимо было систематизировать все имеющиеся данные путем визуального отображения распределения значений имеющихся величин. Далее данные сортировались, что позволило найти наименьшие и наибольшие величины. После систематизации данные были сгруппированы для более точного применения значимых элементов климата в

прогнозировании. Используя методы кластерного и факторного анализов определены изменчивости климатических характеристик. Число дней с осадками в течении периода определялось методом статистического распределения повторяемости. Использование статистических методов позволило рассчитать многолетние нормы и коэффициенты линейного тренда для температур и осадков на территории Беларуси.

Центральной проблемой современной теории климата является проблема предсказания изменений климата, вызванных антропогенной деятельностью. В силу специфических особенностей климатической системы эта проблема не может быть решена традиционными методами, многократно опробованными в естественных науках [1, 2]. Главной методологической основой решения данной задачи является в настоящее время численное моделирование климатической системы с помощью численных климатических моделей различных масштабов, основой которых являются глобальные модели общей циркуляции атмосферы и океана.

Для обеспечения лучшего понимания системы климата, компьютерные программы должны описывать модель взаимодействия компонентов климата. К ним относят общие модели циркуляции, которые широко используются для понимания климатических изменений, наблюдаемых в прошлом, настоящем и будущем. Современные климатические модели хорошо описывают качественную структуру глобальной циркуляции. Способность моделей адекватно давать прогноз климата на протяжении определенного промежутка времени формирует уверенность в общей физической достоверности данных расчета.

Данные модели представляют собой абстрагированный образ климатической системы в виде диаграмм, таблиц, схем, изображений и программ, которые описывают погодную ситуацию рассматриваемого региона в пространственно-временном интервале. В общем случае под ансамблем понимается не только множество состояний, но и некоторая вероятностная мера, заданная на этом множестве и определяющая вероятность того, что система может находиться на некотором подмножестве данного множества [2]. Погода – ежедневное состояние атмосферы. Она хаотичная и нелинейная система. Климат – это усредненное состояние погоды, которое предсказуемо.

Климатическая модель имеет входные, промежуточные и выходные данные. В данном исследовании сортировка промежуточных данных проводилась методом ранжирования, на основе которого были определены основные параметры климата Беларуси: температура, влажность, давление и геофизические параметры. К второстепенным параметрам отнесли ОЦА, рельеф, коэффициент увлажнения и облачность.

На основе полученных данных разработан и применен алгоритм, который учитывает метеорологические и геофизические факторы. В структурные схемы алгоритмов анализа климатических параметров Беларуси заложены принципы построения климатических моделей, их численный

анализ, а также реализованы принципы структурности и логичности. Схемы базируются на результатах глобальной модели системы «атмосфера + океан», которая является основой для применения алгоритма региональной климатической системы, разрабатываемой авторами.

Для оценки изменений климата за основные элементы были приняты поле давления; количество и маршруты циклонов и антициклонов, проходящих по изучаемой территории; поле, скорости и направления ветра; облачность, альбедо.

Выбор этих параметров, а также пространственных и временных масштабов их численного моделирования обусловлен спецификой их применения для анализа изменений регионального климата. Как показали исследования, все выбранные факторы являются значимыми и могут служить своеобразными индикаторами климатических изменений.

Причем для стандартно используемых в климатологии: давления, температуры, скорости ветра и влажности воздуха, кроме численных параметров – климатически средних значений и пределов изменения, предложено рассматривать структурные характеристики 3-х мерных полей их пространственного распределения, а также трансформацию этих характеристик со временем (например, региональные типы циркуляций, их последовательность и др.)

Так, например, высоты изобарических поверхностей могут служить характеристикой 3-х мерной области (объема) атмосферы, затронутой барическим образованием, проходящим через территорию Республики Беларусь (рисунок 1).

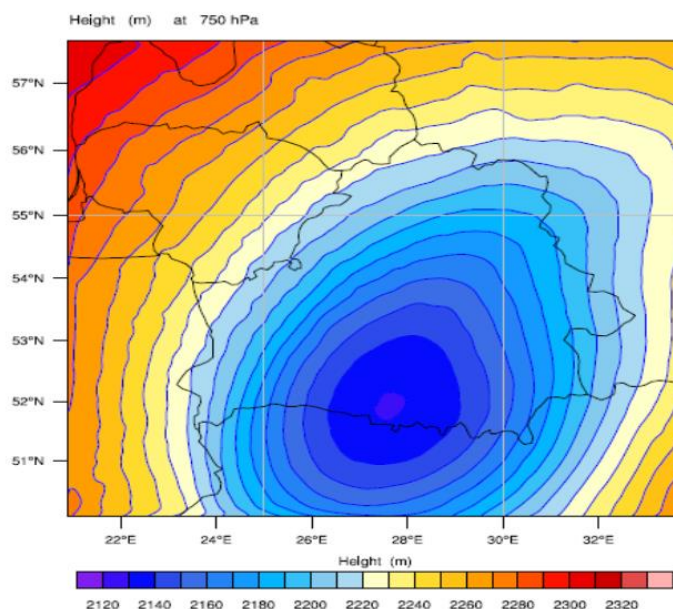


Рисунок 1 – Высота изобарической поверхности 750 hPa при прохождении циклона Xavier над территорией Беларуси

В результате численных экспериментов показано, что на региональном уровне климатически значимыми будут как количественные (max, min, медиана) характеристики, так и характерные пространственные области, а также характерные направления вектора скорости ветра (розы ветров и т.п.) (рисунок 2).

Показано также, что климатически значимым будет также состояние верхней тропосферы. В частности, локализация и типизация струйных течений является важным климатическим параметром для Беларуси, поскольку струйные течения (практически в 100 % случаев) сопровождаются возникновением опасных атмосферных явлений. Система WRF позволяет моделировать и оценивать влияние верхних областей тропосферы. Для территории Беларуси характерно перемещение струйного течения с северо-запада на юго-восток с уменьшением скорости ветра.

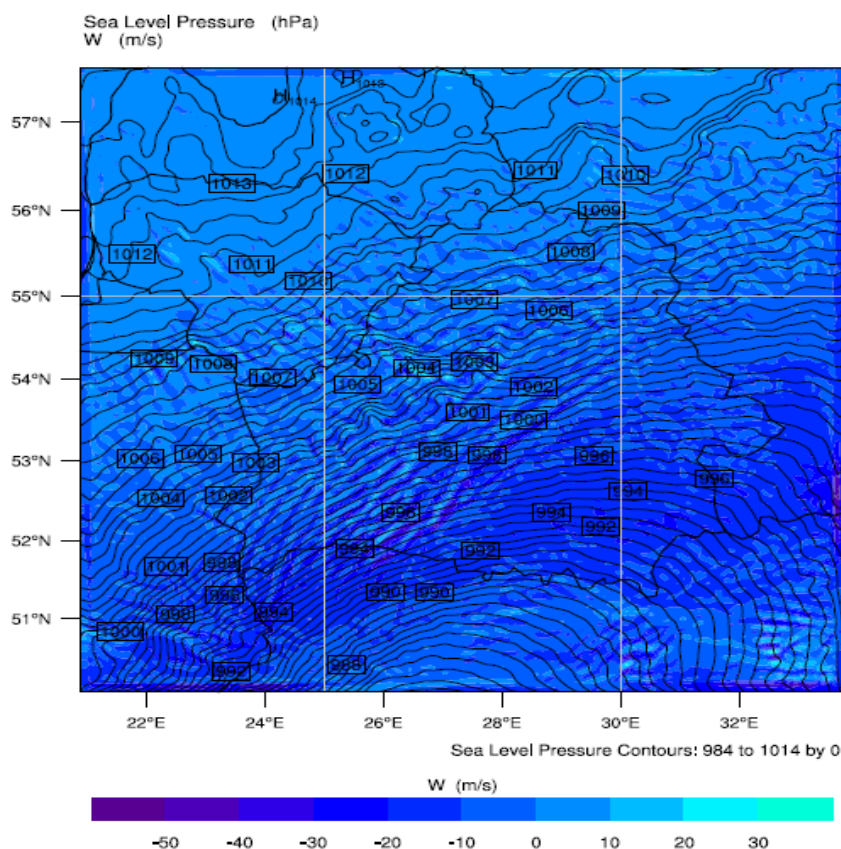


Рисунок 2 – Двумерное распределение поля вертикальной конвекции над территорией Беларуси

Анализ рассматриваемых параметров позволяет изучать и прогнозировать опасные метеорологические явления, проходящие через изучаемую территорию.

Совместное использование мезомасштабного численного моделирования в системе WRF в сочетании с данными орбитальных наблюдений (приборы OMI, OMPS), а также статистическими методами, позволят проводить исследование параметров климатической системы для предсказания изменения глобального и регионального климата.

Таким образом, комплексное применение статистических и численных методов прогноза погоды позволяет оценить значимость климатических элементов для прогноза регионального климата на территории Беларуси, а также сопредельных государств.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (проект № X20P-392).

Библиографические ссылки

1. Дымников, В.П. Основы математической теории климата. / В.П. Дымников, А.Н. Филатов. – М.: ВИНТИ. – 1994. – 252 с.
2. Моделирование климата и его изменений/ В.П. Дымников [и др.] // Современные проблемы вычислительной математики и математического моделирования – М.: 2005. – Т. 2 – С. 38-175
3. Руководство по климатической практике – Женева: ВМО, 2011. – №100 – 158 с.
4. ARW Version 3 Modeling System User's Guide [Электронный ресурс] / – Режим доступа: http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_v3/ – Дата доступа: 18.01.2021.
5. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project / E. Kalnay [et al.] // Bull. Amer. Met. Soc., 1996. – V. 77.