

СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В МЕТЕОРОЛОГИИ

Приводится краткий обзор работ по моделированию экологических процессов в метеорологии. Математическим аппаратом этих исследований служат конечные марковские цепи.

В настоящее время – время интенсивной математизации и компьютеризации всех без исключения прикладных наук – большое значение приобретает вопрос о выборе для решения тех или иных конкретных задач адекватного математического аппарата. Среди современных математических методов моделирования сложных экологических систем часто используются стохастические модели, которые позволяют описывать изучаемый процесс с учетом его предыстории. Такие модели особенно важны при учете изменчивости и динамики экологических систем. В стохастических моделях выделяются марковские модели, которые применяются чаще других.

Марковский процесс можно определить как стохастический процесс, у которого при известном настоящем будущее не зависит от прошлого. Проще всего описываются Марковские процессы с конечным множеством значений и дискретным временем. Такие модели называются конечными марковскими цепями.

Основной конструкцией в Марковских цепях является матрица, элементы которой есть вероятности перехода из одного состояния в другое за определенные промежутки времени. Если развитие экологической системы определяется текущим ее состоянием и не зависит от того, каким путем она пришла в это состояние, то мы имеем дело с простой Марковской цепью первого порядка. В тех же случаях, когда условные переходные вероятности зависят от нескольких моментов времени, процесс описывается так называемой сложной цепью Маркова [1].

Для построения моделей марковского типа необходимо иметь разумную квалификацию состояний по определенным категориям и данные для вычисления вероятностей, с которыми состояние переходит со временем из одной категории в другую. Матрица переходных вероятностей отображает главные параметры динамических изменений в экологической системе. Ее алгебраический анализ выявляет существование поглощающих, переходных и

замкнутых множеств состояний системы. Существуют оценки среднего времени перехода от одного состояния к другому и средняя длительность пребывания системы в конкретном состоянии [2].

Модели Марковского типа обладают рядом преимуществ по сравнению с другими стохастическими моделями [3]:

1. Их легко строить на основе экспериментальных данных.
2. Они не требуют понимания внутренних механизмов динамики изменений экологической системы, но выявляют те области, где такое понимание важно.
3. Результаты моделирования могут быть легко представлены графически.

4. Их использование не требует больших затрат машинного времени.

К недостаткам моделей марковского типа следует отнести условие стационарности системы, необходимость получения достаточно большого ряда наблюдений для определения достоверных переходных вероятностей и отсутствие зависимости от функциональных механизмов системы.

Марковские цепи эффективно используются для моделирования экологических процессов в метеорологии. К числу экологических проблем, решаемых с помощью этих моделей, относятся; прогноз погоды, оценка загрязнения атмосферы, изменение ландшафта и другие задачи.

В работе [4] приведены гипотезы стационарности и марковости и оценены параметры конечных марковских цепей для многолетних рядов среднемесячных температур в Средней Азии за период 1881 – 1987 г. г. (отдельно для каждого из 12 месяцев). В качестве модели рассматривалась марковская цепь с тремя состояниями, соответствующими холодным, близким к норме и теплым месяцам. При этом месяц считался близким к норме, если соответствующая среднемесячная температура заключалась в пределах ± 2 , где $\bar{x}$ – средняя за многолетний период среднемесячная температура рассматриваемого месяца; σ – соответствующее стандартное отклонение.

Результаты проверки трех гипотез:

показали, что в целом при описании и прогнозировании колебаний среднемесячных температур можно использовать конечную марковскую цепь.

Авторы [5] исследовали изменчивость метеоусловий, не благоприятствующих диффузии загрязняющих веществ и приводящих к сильному загрязнению атмосферы. К таким условиям были отнесены облачность, направление и скорость ветра. Применение статистических критериев показало, что порядок соответствующих марковских моделей может достигать четырех. В качестве общей закономерности установлено снижение порядка цепи при увеличении интервалов между наблюдениями (последние принимались от несколько часов до 30 дней).

В работе [6] бивариантная цепь Маркова первого порядка использована для моделирования временных рядов ветра длительностью до 24 часов. В качестве исходных данных были взяты среднечасовые скорости и направление ветра по наблюдениям на станциях Манчестер и Ливерпуль. Построенная модель использована для предвычисления распространения шлейфов атмосферных загрязнений в рассматриваемом регионе.

Моделирование смены и продолжительности ветровых потоков различной скорости над Северным Каспием с использованием аппарата простой Марковской цепи посвящена работа [7]. Ветровые ситуации были предварительно подходящим образом типизированы на основании многолетних материалов Морского гидрометеорологического ежемесячника. Разработанная авторами модель вошла составной частью в общую эколого-математическую модель региона Северного Каспия.

В работе [8] применение Марковской модели позволила учесть случайный характер влажного выведения примеси с осадками при дальнем переносе. Модель была реализована для условий Европы, входными данными послужили данные эмиссий SO₂, имеющиеся на сети ЕМЕП. Показано, что степень случайности выпадения осадков с примесями

наименьшая для центральных районов Европы и наибольшая на ее северо-востоке (Норвегия, Шотландия).

Авторы работы [9] сравнивают две модели для вероятностного прогноза количества облаков: Марковскую и регрессионную. В первой модели в качестве исходного состояния берутся две градации облачности и дифференциальных характеристик синоптических процессов. Обучающая выборка для оценивания матриц переходных вероятностей разбивается на классы в зависимости от типов барических образований и направления переноса воздушных масс. Показана возможность повышения оправданности прогноза облачности при использовании цепей Маркова для синоптических процессов, классифицируемых с помощью методики объективной типизации полей физических и прогностических значений метеоэлементов. С помощью второй модели устанавливаются зависимости между предиктантами и результатами гидродинамического прогноза метеорологических полей, предвычисленных оперативными численными схемами. Оценка полученных прогнозов показала, что Марковская цепь имеет преимущества для сверхкраткосрочных прогнозов, а регрессивная – для краткосрочных.

Применению цепей Маркова при моделировании метеорологических процессов посвящены работы австралийских исследователей [10–12]. Так авторы [10, 11] теоретически и практически обосновали возможность применения методик при краткосрочном (до 12 часов) прогноза погоды. Сравнение шести способов оперативного прогноза осадков в зимнем сезоне для Мельбурна показало, что сочетание прогнозов по цепи Маркова второго порядка и традиционных численных прогнозов погоды значительно повышает точность прогнозов по сравнению с другими методами и может быть рекомендовано для использования в оперативной работе.

В работе [12] обсуждаются возможности скрытой Марковской модели для моделирования постоянного тренда в экспериментальных данных. Испытания модели проводились на примере пространственно-временного анализа данных наблюдений за осадками по нескольким областям восточного побережья Австралии. Полученные результаты подтвердили гипотезу о том, что двух уровневая структура модели лучше соответствует данным наблюдений.

Успешно применяются цепи Маркова и при прогнозировании осадков [13, 14]. В работе [13] рассмотрены три модификации стохастического генератора суточной погоды для улучшения

воспроизведения высокочастотной и низкочастотной изменчивости в рядах метеоэлементов. Использовалась марковская цепочка третьего порядка для моделирования факта осадков. Показано, что увеличение цепочки Маркова улучшает моделирование факта осадков.

Прогнозированию муссонных осадков в Индии с помощью неоднородной марковской модели посвящена работа [14].

Возможность использования цепей Маркова для получения прогностических значений изучаемых величин изучалась в работе [15]. Состояние нижней тропосферы представляет собой простую цепь Маркова, для которой распределение вероятностей в будущем полностью определяется настоящим и не зависит от прошлого. Подтверждение приведенных статистических гипотез (1) позволяет производить прогноз будущих значений вероятностей аномалий погоды на основе настоящих, реально полученных.

Отсюда можно сделать вывод о возможности аппроксимации цепей Маркова для прогнозирования будущих значений опасных явлений погоды.

Как видно из вышеизложенного, область приложения конечных макровских цепей в метеорологии достаточно широка и она не исчерпывается приведенными в обзоре примерами приложений.

Список литературы

1. Романовский, В. И. Дискретные цепи Маркова / В. И. Романовский. – М.: Гостехиздат. – 1949. – 436 с.
2. Айвазян, С. Н. Статистический анализ марковских цепей / С. Н. Айвазян. – М. – 1975. – 38 с.
3. Джефферс, Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии/ Дж. Джефферс. – М.: Мир. – 1981. – 252 с.
4. Вагер, Б. Г. Оценивание и прогнозирование колебаний метеорологических элементов с использованием марковских цепей. Межвуз. сб. тр.: Численные методы в математическом моделировании гидродинамических и технологических процессов. Л., ЛИСИ. – 1989. – С. 90–93.
5. Романов, Н. О статической зависимости и устойчивости некоторых метеорологических условий, влияющих на степень загрязнения воздуха. / Н. Романов, Н. Элекш // Метеорологические аспекты загрязнения атмосферы. – Л. – 1997, 4.2. – С. 80–85.
6. Bacon, J. W. The application of a stochastic wind model to the meteorology of North West. England / J. W. Bacon, A. Henderson // Air Pollut. Model. and Appl. Proc. London. – 1981. – P. 223–233.
7. Носов, В. Н. Стохастическая модель смены ветровых полей над акваторией Северного Каспия / В. Н. Носов, Н. Г. Микешина // Теоретическая экология. – М. – 1987. – С. 80–85.
8. Clarc, P. A. The episodicity of statistical longrange transport models / P. A. Clarc // Air Pollut. Model. Appl. v.: London. – 1986. – P. 519–529.
9. Шустер, Л. Г. Комбинирование гидродинамических и физико-статистических методов для вероятностного прогноза количества облаков / Л. Г. Шустер, С. И. Титов, В. В. Черный // Тез. докл. Пятого всеюзн. совещ. по применению статистических методов в метеорологии. – Казань. КГУ. – 1985. – С. 34.
10. Praedrich, K. Combining predictive schemes in short-term forecasting/ K. Praedrich, L. Leslie // Mon. Weather Rev. – 1987. – Vol. 115. № 8. – P. 1640–1644.
11. Praedrich, K. Evaluation of techniques for the operational, single station, short-term forecasting of rainfall at a midlatitude station / K. Praedrich, L. Leslie // Mon. Weather Rev. – 1987. – Vol. 115. № 8. – P. 1645–1654.
12. Thyer, M. A hidden Markov model for modeling longterm persistence in multi-site rainfall time series / M. Thyer, G. Kuczera // J. Hydrol. – 2003. – 275. – № 1–2. – P. 11–16.

13. Dubrovsky, M. Might-frequency and lovfrequency variability in stochastic daily weather generator and its effect on agricultural and hydrologic modeling / M. Dubrovsky, J. Buchtele, Z. Zalud. // Clim. change. – 2004. – 63. № 1–2. – P. 145–179.
14. Greene, A. Downscaling projection of Indian rainfall crying a non-homogeneous hidden Markov model / A. Greene, A. Robertson, P. Smyth, S. Triqlia // J. Meteorol. Soc. – 2011. – 137. – № 655. – P. 347–359.
15. Андреева, Е. С. О возможности аппроксимации конечных цепей Маркова для прогнозирования вероятностей опасных явлений погоды / Е. С. Андреева, И. С. Андреев. – Изв. вузов Сев.-Кавк. региона. – Естест. науки. – 2006. – № 5. – С. 89–93.

09. 2013