

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОБРАТНЫХ РАССТОЯНИЙ К ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ПРИЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА УКРАИНЫ

А.Е. Анисимов, В.Л. Посошков,
А.В. Прусов

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: vao@alpha.mhi.iuf.net

Рассмотрен один из статистических методов пространственной интерполяции атмосферных осадков. Для его верификации использовались данные об атмосферных осадках суточной дискретности в шести пунктах прибрежной зоны Черного моря. Метод интерполяции применен к параметрам модели стохастического генератора осадков. Сгенерированные таким образом осадки сравниваются с натурными данными.

Введение. Для многих из прикладных задач гидрологии, в частности, в моделях речного стока, важна информация о поле атмосферных осадков с высоким пространственным разрешением. При этом желательно иметь достаточно длинные временные ряды сумм осадков за непродолжительные отрезки времени – сутки и менее. Как правило, минимальным периодом осреднения количества осадков при измерениях на метеостанциях, являются сутки (минимальная дискретность документированных временных рядов осадков). Плотность покрытия сетью станций в Крыму и прилегающих к Черному морю районах невелика. Недостаток информации о поле осадков в пунктах, где отсутствуют прямые измерения, можно восполнить путем использования региональных численных моделей. Однако атмосферные осадки вплоть до настоящего времени все еще остаются тем метеорологическим параметром, который наиболее трудно поддается моделированию.

Покажем это, используя расчётные данные из численного эксперимента по интегрированию одной из современных численных региональных атмосферных моделей – PRECIS, основанной на глобальной климатической модели HadAM3P [1]. В качест-

ве входных данных брались данные адаптированного европейского реанализа ERA-40. На рисунке 1 дается сравнение (за каждый месяц года) среднемесячных сумм, а на рисунке 2 – повторяемости осадков, рассчитанных на основании прямых наблюдений за осадками в Феодосии и модельных данных ERA-40, относящихся к ближайшей к этому пункту ячейке расчетной сетки.



Рисунок 1 – Феодосия. Годовой ход среднемесячной суммы осадков

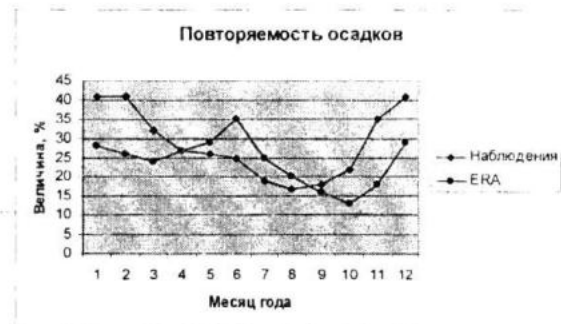


Рисунок 2 – Феодосия. Годовой ход повторяемости осадков

Заметно существенное расхождение величин, относящихся к модельным и натурным данным. Причем различие проявляется не только в величине параметров, но, что наиболее важно, – в годовом ходе. В особенности это касается величины повторяемости осадков (рисунок 2). Если можно как-то согласиться с тем, что максимум осадков выпадает (согласно данным модели) в июне (локальный максимум присутствует и в экспериментальной кривой на рисунке 1), то пик повторяемости в летнее время никак не увязывается с фактическими данными. По существу, годовой ход частоты выпадения осадков по данным ERA-40 повторяет годовой ход среднемесячных сумм с максимальной величиной в июне.

Не приводя отдельно рисунков, заметим, что такой же характер годового хода частоты выпадения осадков характерен и для других приморских пунктов. Это входит в существенное противоречие с наблюдениями, поскольку в приморских городах именно в летнее время осадки выпадают наиболее редко [2]. В результате приходим к выводу, что использование рассматриваемого типа модельных данных мало обосновано. По крайней мере, на временном интервале суточной дискретности.

Альтернативным выходом из данного положения может служить пространственная интерполяция величин осадков. Но известно, что пространственное распределение осадков имеет ячеистую структуру. Для внутримассовых ливневых осадков в умеренных широтах даже над равнинными территориями характерна очень большая пространственная неоднородность. Эта неоднородность ливневых осадков проявляется в как самом факте их выпадения, так и в интенсивности и количестве. Это обусловлено горизонтальными масштабами конвективных ячеек, формирующих кучево-дождевое облако, а также структурой кучево-дождевых облаков. Непосредственная пространственная интерполяция сумм осадков на коротком временном интервале в этом случае приводит к искаженным величинам. Например, интерполяция непременно даст ненулевые суммы осадков в пунктах, где отсутствовали дожди.

В данной работе использован другой подход, состоящий в интерполяции осредненных параметров, характеризующих режим осадков. Затем эти параметры используются для моделирования искусственных временных рядов осадков с применением того или иного типа стохастического генератора. Естественно, сгенерированные таким образом модельные данные не будут совпадать с натурными, но они будут близки к ним по ряду характеристик.

Использующиеся данные. В Таблице 1 приводятся географические координаты пунктов с имеющимися массивами ежесуточных наблюдений за осадками и соответствующие периоды наблюдений.

Заметим, что в нашем распоряжении имелся также многолетний массив наблюдений в горном массиве Ай-Петри, но в силу специфики орографии в этом пункте, для

данного вида горизонтальной интерполяции этот массив не использован.

Таблица 1 – Список пунктов, географические координаты и периоды наблюдений

Пункт	Широта	Долгота	Период
Севастополь	44.6	33.6	1906-1993
Симферополь	44.98	33.98	1955-1995
Феодосия	45.0	35.3	1881-2002
Керчь	45.35	36.48	1936-1995
Геническ	46.17	34.82	1883-1995
Одесса	46.48	30.63	1894-1995

Поскольку в перечисленных массивах имеются длительные разрывы, связанные с Великой Отечественной Войной, из всех шести массивов сделаны выборки, состоящие из непрерывных ежесуточных наблюдений в послевоенный период.

Методика. Использовалась взвешенная интерполяция методом обратных расстояний. Общая теория, лежащая в основе метода обратных расстояний, состоит в том, что пункты, находящиеся ближе к тому, в котором производится оценивание, оказывают большее влияние на этот пункт, по сравнению с удаленными пунктами [3]. Оценка определенного свойства в опорном пункте получается как взвешенное среднее этого свойства в рассматриваемых станциях. При этом учитывается то обстоятельство, что станциям, ближайшим к оцениваемой, присваивается наибольший вес. Рисунок 3 показывает пример конфигурации опорных станций и пункта оценивания.

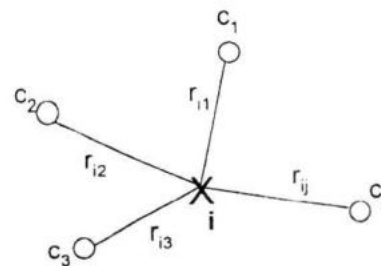


Рисунок 3 – Конфигурация оцениваемого пункта и окружающих станций

Оцениваемое свойство c_i в локации i находится по формуле

$$c_i = \sum_{j=1}^n w_j c_j, \quad (1)$$

где n – число окружающих станций; c_j – количественное выражение свойства в пункте j ; w_{ij} – вес, присвоенный окружающему пункту j .

Веса определяются через дистанции r_{ij} между оцениваемым и опорными пунктами, таким образом, что

$$w_{ij} = \frac{(r_{ij})^{-k}}{\sum_i (r_{ij})^{-k}}, \quad (2)$$

где k – определяет степень закона взвешивания через обратные расстояния.

В каждом из этих пунктов оцениваемое свойство взвешивается с учетом обратных расстояний от оцениваемой станции. Взве-

шенные свойства затем суммируются и делятся на сумму весов.

На основании приведенного алгоритма рассчитывались входные параметры стохастического генератора осадков. При этом использовался генератор Ричардсоновского типа [4], в котором в качестве функции распределения интенсивности осадков принималось Гамма распределение [5].

Обсуждение результатов. Поскольку параметры стохастического генератора зависят от времени года, они рассчитывались для каждого месяца года. В таблице 2 приводятся значения параметров для каждой статистической выборки данных за январь.

Таблица 2 – Статистические параметры атмосферных осадков на основании наблюдений за январь

Географический пункт	r_{01}	$P, \%$	$\mu, \text{мм}$	$\sigma, \text{мм}$	$\bar{x}, \text{мм}$
Севастополь	0,282	38	3,3	3,8	40,3
Симферополь	0,245	43	3,3	3,8	43,8
Феодосия	0,267	41	2,8	4	36
Керчь.	0,218	37	3	3,8	34,9
Геническ	0,255	40	2,6	3,6	32,6
Одесса.	0,28	37	3,3	4,7	38,3

Обозначения в таблице. r_{01} – коэффициент взаимной корреляции марковского процесса, состоящего из событий «0» и «1» (соответственно «сухие», «влажные» сутки) между событиями, сдвинутыми во времени на одни сутки. P – повторяемость осадков в данном месяце, т.е. относительное количество дней со значимыми суммами осадков (превышающими определенный уровень). Эти два параметра используются в стохастическом генераторе для моделирования последовательности сухих и влажных суток. Следующие два параметра таблицы, μ (средняя величина осадков во влажные сутки) и σ (стандартное отклонение суточных сумм осадков во влажные сутки), используются для стохастического генерирования интенсивности осадков. Этот процесс в модели осуществляется на основании двухпараметрического Гамма распределения с параметрами формы ν и шкалы λ (обозначения – общепринятые), которые

рассчитываются через параметры μ и σ . И, наконец, параметр \bar{x} в таблице обозначает среднюю месячную сумму осадков. Эта величина используется для сравнения натуральных и модельных данных на предмет адекватности модели.

На стадии предварительных расчетов в работе использовались два варианта метода, отличающихся заданием функции обратного расстояния. В первом случае эта функция задавалась пропорциональной обратному расстоянию в первой степени. Во втором, физически более понятном – второй степени, как при рассеянии плотности энергии от точечного источника. Расчеты показали, что результаты обоих вариантов мало отличаются друг от друга, поэтому дальнейшее изложение относится к первому варианту, т.е. интерполяции с помощью функции, обратно пропорциональной расстоянию в первой степени.

В таблице 3 приводятся результаты сравнения параметров январской выборки данных Севастополя, полученных из на-

блюдений, численного моделирования и путем интерполяции.

Таблица 3 – Параметры стохастического генератора, рассчитанные по натурным, модельным данным и в результате интерполяции. Феодосия, январь

Способ расчета	r_{01}	$P, \%$	$\mu, \text{мм}$	$\sigma, \text{мм}$	$\bar{x}, \text{мм}$
Из наблюдений	0,267	41	2,8	4	36
Модель ERA	–	28	2,4	2,9	22
Интерполяция	0,248	39	3,1	3,8	37,5

Заметим, что среднемесячные суммы, полученные путем непосредственного интерполирования месячных сумм, без использования стохастического генератора (в таблице не приводятся), соотносятся с фактическими суммами несколько не хуже. Однако этот параметр в контексте задачи используется лишь для оценки адекватности метода. В ряде прикладных задач информация о месячных суммах совершенно недостаточна, а требуются данные о суммах осадков на более коротком временном ин-

тервале. В таком случае «разукрупнение» временного масштаба невозможно без применения стохастического генератора. Перейдем к рассмотрению летних условий, когда горизонтальное распределение в поле осадков имеет более явный неоднородный характер и возрастание сложности горизонтальной интерполяции сумм атмосферных осадков в этом случае достаточно очевидно. Таблица 4 является аналогом таблицы 2 для условий июля.

Таблица 4 -- Статистические параметры атмосферных осадков на основании наблюдений за июль

Географический пункт	r_{01}	$P, \%$	$\mu, \text{мм}$	$\sigma, \text{мм}$	$\bar{x}, \text{мм}$
Севастополь	0,265	15	5,8	9,1	27,9
Симферополь	0,215	22	7,7	11,2	52,8
Феодосия	0,189	19	5,6	8,9	33,9
Керчь	0,24	17	8,3	10,8	39,5
Геническ	0,189	18	6,7	11,7	36,9
Одесса	0,156	22	6,4	8,8	43,8

Аналогом таблицы 3 служит таблица 5.

Таблица 5 – Параметры стохастического генератора, рассчитанные по натурным, модельным данным и в результате интерполяции. Феодосия, июль

Способ расчета	r_{01}	$P, \%$	$\mu, \text{мм}$	$\sigma, \text{мм}$	$\bar{x}, \text{мм}$
Из наблюдений	0,19	19	5,6	8,9	33,9
Модель ERA	–	25	3,5	3,4	25,7
Интерполяция	0,23	18	7,4	10,6	40,3

Из таблицы видно, что для июльской выборки интерполяция дает существенно завышенные величины не только среднемесячных сумм, но также повторяемости осадков и параметров интенсивности. Все это связано с большим влиянием наиболее близко расположенного пункта Симферополь, который по своей сути не является приморским городом, и годовой ход осад-

ков в этом пункте имеет ярко выраженный летний максимум, свойственный континентальным пунктам. И все же искусственные данные, полученные с помощью стохастического генератора, по основным статистическим свойствам представляются более пригодными (в сравнении с данными численной модели) для использования, в частности, в моделях речного стока.

Заключение. Интерполяция осадков за сутки между пунктами наблюдений затруднена в связи с их генетической неоднородностью. В суточных суммах осадков часто оказываются составляющие от различных дождей, поэтому связи суточных сумм осадков между пунктами наблюдений оказывались весьма слабыми. Вместе с тем, климатические характеристики, обобщающие отдельные свойства осадков, обладают сглаженной пространственной изменчивостью. В работе предложен метод моделирования климатических временных рядов осадков суточной дискретности в пунктах, где отсутствуют измерения. Метод состоит из двух шагов. На первом шаге проводится интерполяция статистических параметров осадков. В качестве алгоритма используется простой и эффективный метод обратных расстояний. Затем, используя эти параметры в качестве входных параметров стохастического генератора осадков, моделируются синтетические временные ряды осадков с заданными характеристиками. Модель тестируется на многолетних суточных данных об атмосферных осадках в шести пунктах Причерноморского региона Украины. При этом один из пунктов (Феодосия) принимается как опорный, интерполируемый. Критерием для сравнения модельных и фактических данных выбрана среднемесячная сумма осадков. Сравнение показало, что среднемесячные суммы осадков в Феодосии, полученные методом интерполяции,

расходятся с фактическими суммами, в особенности, в летнее время, в июле. Однако расхождение с величинами, полученными из региональной численной модели, значительно больше. За неимением других возможностей, можно считать приемлемым использование синтетических данных, полученных предложенным методом, в ряде задач гидрологии, когда требуется информация о поле атмосферных осадков на временном масштабе, не крупнее суточного.

Л и т е р а т у р а

1. David P. Rowell. A scenario of European climate change for the late twenty-first century: seasonal means and interannual variability. *Clim Dyn.*, 25, 2005. – P. 837–849.
2. Климат Украины. Под редакцией В.М. Липинского, Киев, 2003. – 343 с.
3. Watson, D. F., Philip, G. M. A refinement of inverse distance weighted interpolation. *Geo-Processing* 2, 1985. – P. 315–327.
4. Richardson, C. W. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation. *Water Resour. Res.*, 17, 1981. – P. 182–190.
5. Wilks, D. S. Conditioning stochastic daily precipitation models on total monthly precipitation. *Water Resour. Res.*, 25, 1989. – P. 1429–1439.