

А.В. Бабкин, Х.А. Ислим

**ОЦЕНКА ПЕРИОДИЧНОСТЕЙ В ИЗМЕНЕНИЯХ
АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ, ВЫПАДАЮЩИХ
НА ТЕРРИТОРИЮ ТУРЦИИ**

A.V. Babkin, H.A. Esleem

**ESTIMATION OF THE PERIODICITIES IN TIME SERIES
OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION OVER THE TERRITORY
OF TURKEY**

С использованием метода периодичностей проанализирован временной ряд атмосферных осадков, выпадающих на территорию Турции. В области высоких и средних частот колебаний осадков выявлены скрытые гармоники в их изменениях. Проведено сложение выявленных периодичностей. Их сумма преобразована в прогностическое выражение. Проведены расчеты поверочных долгосрочных прогнозов атмосферных осадков с заблаговременностью до 10 лет. Полученные результаты, проверенные на независимом материале, являются вполне удовлетворительными.

Ключевые слова: периодичности, долгосрочный прогноз, атмосферные осадки, территория Турции.

The time series of atmospheric precipitation over Turkish territory was analyzed by the method of periodicities. The hidden harmonics were revealed in the intervals of the high and intermediate frequencies of their variations. The revealed periodicities were summed. Their sum was developed into the forecast equation. The long range training forecasts of atmospheric precipitation with the lead time up to 10 years were computed. Their results, tested by the independent data, may be estimated as satisfactory.

Key words: periodicities, long-term forecast, atmospheric precipitation, territory of Turkey.

Введение

Атмосферные осадки, наряду с притоком вод с соседних территорий, являются важнейшим приходным элементом водного баланса отдельных государств. Их годовые суммы существенно колеблются во времени и зависят от географического положения территории, близости ее к океанам и морям, от циркуляции атмосферы, рельефа и многих других факторов.

Территория Турции характеризуется резкими контрастами климатических условий. В ее пределах выделяется шесть климатических районов с различными условиями увлажнения [Dewdney, 2008]. Во внутренних областях Турции выпадает за год около 300–400 мм атмосферных осадков. Количество осадков существенно увеличивается у побережий Черного, Мраморного, Эгейского, Средиземного морей и в горных районах. В наиболее увлажненном районе Турции, у побережья Черного моря, выпадает за год до 800 мм осадков.

На основании архива Global Historical Climatology Network на кафедре ДАКЗ РГГМУ получен непрерывный ряд средних годовых сумм атмосферных

осадков на территории Турции за 1929–2002 гг. Годовые суммы атмосферных осадков характеризуются значительной изменчивостью. Их наибольшие значения, наблюдавшиеся в 1929 и 1963 гг., равны соответственно 840 и 823 мм, а их минимумы (1932 и 1993 гг.) составляют 479 и 509 мм. Размах изменений осадков на территории Турции за рассматриваемый период достигает 361 мм.

В настоящей работе временной ряд осадков на территории Турции анализировался с 1929 по 1992 гг. Методом периодичностей [Бабкин, 2005; 2008] оценивались скрытые гармоник в его изменениях. Отрезок времени 1993–2002 гг. использовался для расчетов поверочных прогнозов и оценки их оправданности на независимом материале. С учетом выявленных периодов проводились расчеты поверочных прогнозов на пятилетия 1993–1997 гг. и 1998–2002 гг. и на весь поверочный интервал.

Долгосрочный годовой прогноз гидрометеорологической характеристики считается оправдавшимся, если разность предсказанного и наблюдаемого его значений не превосходит 0,674 от среднего квадратического отклонения его временного ряда [Апполов и др., 1974]. Прогноз на пяти и десятилетний интервалы может быть оценен по числу оправдавшихся годовых прогнозов и по сумме квадратов ошибок прогноза. Качество прогноза может быть также проверено при сопоставлении его результатов с прогнозом, полученным по среднему значению.

Представляет также определенный интерес прогнозирование средних за 5 и за 10 лет значений осадков с предварительно заданной погрешностью (например 10 %).

1. Метод оценки периодичностей временного ряда атмосферных осадков

Метод периодичностей основан на моделировании временного ряда стока суммой синусоид. Временной ряд атмосферных осадков аппроксимировался синусоидальными функциями последовательно с пошаговым изменением периода. При этом аппроксимация проводилась в трех диапазонах частот с соответствующим шагом периода. В области высоких частот, в интервале значений периода от 3 до 4 лет, шаг периода задавался равным 0,001; в диапазоне средних частот с периодами от 4 до 13 лет изменение периода задавалось с шагом 0,01; в области низких частот, с периодами более 13 лет, шаг изменения периода принимался равным 0,1.

При аппроксимации временного ряда синусоидальными функциями для каждого периода T методом наименьших квадратов [Линник, 1962] рассчитывались амплитуда $\Delta P/2$, фаза φ_P и дополнительное слагаемое P_0 наилучшей аппроксимирующей синусоиды, а также сумма ее квадратов разностей с рядом S_P . У некоторых периодов отмечаются локальные минимумы сумм квадратов разностей временного ряда и аппроксимирующей синусоиды. У этих периодов можно предполагать наличие признаков периодичности.

Для каждой синусоиды с минимумом суммы квадратов разностей со значениями временного ряда оценивалась ее корреляция с рядом наблюдений. При составлении прогностической модели ряда осадков из области высоких частот были отобраны синусоиды с минимумами сумм квадратов разностей, с корреляцией со значениями ряда не ниже 0,17, а из области средних частот - синусоиды с корреляцией не ниже 0,20.

2. Результаты анализа временного ряда осадков

В интервале времени 1929–1992 гг. среднее годовое значение осадков на территории Турции составило 646,8 мм/год, среднее квадратическое отклонение – 76,2 мм/год, допустимая ошибка прогноза 51,4 мм/год.

Параметры прогностических синусоид, выявленных с использованием метода периодичности, представлены в табл. 1. Синусоиды расположены в порядке убывания их корреляции со значениями временного ряда.

Таблица 1

Синусоиды прогностической модели осадков на территории Турции

T , годы	P_0 , мм/год	$\Delta P/2$, мм/год	φ , радианы	S_P , (мм/год) ²	r	Индекс
8,21	647,0551	39,8169	1,5561	319992,3	,3729	1
11,83	646,2059	36,4766	1,4627	329721,5	,3360	2
5,82	646,8224	32,7299	-1,0966	337418,7	,3036	3
9,66	646,6511	30,1877	3,3522	342012,2	,2826	4
7,15	646,7625	23,4516	1,5407	354013,4	,2181	5
3,410	646,5577	20,5188	2,3121	358397,1	,1891	6
3,039	646,8418	20,3927	1,9855	358437,3	,1888	7
3,210	646,7541	18,8020	,5544	360409,6	,1742	8
3,935	646,7599	18,8415	1,5245	360496,3	,1735	9
3,938	646,7667	18,8427	3,9259	360497,3	,1735	10

Установленные синусоиды соответственно складывались. При их сложении корреляция их сумм и значений временного ряда монотонно возрастала. Корреляция суммы 5 синусоид из диапазона средних частот и временного ряда составляет 0,555, а корреляция суммы из 5 высокочастотных синусоид и значений временного ряда равна 0,248. Корреляция суммы высокочастотных и средне-частотных синусоид и значений временного ряда равна 0,610.

Изменение осадков на территории Турции, а также сумма прогностических синусоид, представлены на рис. 1. Прогностические оценки получены при продлении суммы синусоид на интервал поверочного прогноза. На графике также показана гармоника из диапазона низких частот. Ее период составляет примерно 41 год, а корреляция со значениями ряда порядка 0,25.

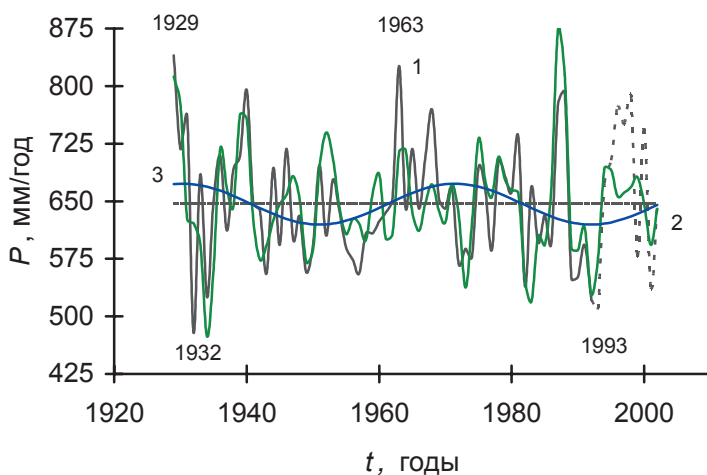


Рис. 1. Изменения атмосферных осадков, выпадающих на территорию Турции, 1 – данные наблюдений (пунктиром показан поверочный интервал 1993 – 2002 гг.), 2 – сумма высокочастотных и среднечастотных синусоид, 3 – синусоида с периодом 41 год

3. Оценка оправдываемости прогноза атмосферных осадков территории Турции

В первый поверочный интервал 1993–1997 гг. прогноз оправдался 2 раза. Верные значения осадков предсказаны на 1994 и 1995 гг. На втором поверочном интервале значения осадков предсказаны верно только в 2002 г. За весь поверочный интервал прогноз оправдался в трех случаях. Суммы квадратов ошибок прогноза за поверочные интервалы 1993–1997 и 1998–2002 гг. оказались равными соответственно $25\,864 \text{ (мм/год)}^2$ и $37\,439 \text{ (мм/год)}^2$, а за весь поверочный интервал – $63\,303 \text{ (мм/год)}^2$.

Прогноз осадков, полученный по среднему значению, оправдался только в двух случаях – в 1994 и в 2002 гг. Сумма квадратов ошибок прогноза на всем десятилетнем интервале составила $95\,218 \text{ (мм/год)}^2$: $49\,406 \text{ (мм/год)}^2$ за 1993–1997 гг. и $45\,812 \text{ (мм/год)}^2$ за 1998–2002 гг.

Учет в прогностической сумме 41-летней синусоиды ведет к снижению оправдываемости поверочного прогноза до уровня результатов, полученных по среднему значению.

Средние значения поверочных прогнозов на 1-е и 2-е пятилетия и весь поверочный интервал составили соответственно: 682, 659 и 670 мм/год. Средние значения осадков, выпавших на территорию Турции за эти отрезки времени равны 655, 646 и 650 мм/год. Разности средних спрогнозированных и наблюдаемых атмосферных осадков на интервалах поверочных прогнозов оказались равными 27, 13 и 20 мм/год.

Заключение

Временной ряд атмосферных осадков, выпадающих на территорию Турции, проанализирован с использованием метода периодичностей. В изменениях осадков выявлены гармоники с периодами 11,83; 9,66; 8,21; 7,15; 5,82; 3,938; 3,935; 3,410; 3,210; 3,039 лет. У этих гармоник отмечаются минимумы сумм квадратов разностей их и ряда осадков в зависимости от периода аппроксимации.

Проведено сложение синусоид с установленными периодами. Суммы синусоид и временной ряд осадков над территорией Турции обнаружили корреляцию, достаточную для проведения прогностических расчетов. Были получены прогностические оценки этих характеристик на десятилетнем поверочном интервале (1993 – 2002 гг.), которые проверялись на независимом материале.

Несмотря на то, что только 3 значения из 10 оказались предсказаны верно, результаты прогностических расчетов оказались несколько лучше прогноза по среднему значению. Довольно успешными оказались прогнозы средних значений на 5 и на 10 лет вперед. Разности спрогнозированных и фактических средних значений не превышают 5 % от среднего многолетнего значения осадков, выпавших на территорию Турции за 1929–1992 гг. и 7,5 % от размаха их изменений.

Литература

1. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеопиздат, 1974. – 419 с.
2. Бабкин А.В. Усовершенствованная модель оценки периодичности изменений уровня и элементов водного баланса Каспийского моря // Метеорология и гидрология. 2005. № 11, с. 63-73.
3. Бабкин А.В. Методика долгосрочного прогноза уровня Ладожского озера и стока р. Невы // Уч. зап. РГГМУ. 2008. № 8, с. 31-37.
4. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов. – М.: Наука, 1962. – 350 с.
5. Dewdney J.C. Turkey // Encyclopedia Britannica, 2008 (DVD publication).

Работа выполнена при поддержке грантов: Президента Российской Федерации (МД-3616.2008.5) и РФФИ (07-05-00465).