

А.В. Бабкин, К.Ш. Кадиоров, Х.А. Эслим

**СКРЫТЫЕ ГАРМОНИКИ В КОЛЕБАНИЯХ МЕСТНОГО
СТОКА СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА**

A. V. Babkin, K. Sh. Kadirov, H. A. Esleem

**HIDDEN HARMONICS IN VARIATIONS
OF RUNOFF OF LOCAL FORMATION OF POLITICAL
AND ADMINISTRATIVE SUBDIVISIONS OF VOLGA FEDERAL
DISTRICT OF RUSSIAN FEDERATION**

Методом "Периодичностей" проанализированы временные ряды местного стока субъектов Российской Федерации Приволжского Федерального округа. В их колебаниях выявлены периоды различной продолжительности. В области коротких периодов у рассмотренных рядов чаще других выявлялись периоды, продолжительностью 4, 8 и 12 лет. Эти периоды, а также синусоиды с длинными периодами, использовались при расчетах долгосрочных поверочных прогнозов с заблаговременностью 5 и 10 лет.

Выявленные гармоники проанализированы на примере данных по местному стоку Татарстана. Для этого ряда оправдываемость поверочных прогнозов по синусоидам с периодами 4 года и 12 лет оказалась выше, чем по среднему значению, а по синусоидам с периодом 8 лет и с длинным периодом – несколько ниже.

В целом, для всех временных рядов местного стока субъектов РФ Приволжского федерального округа, результаты прогнозирования по синусоидам с периодами 4 года, 8 лет, 12 лет и с длинным периодом оказались несколько хуже, чем по среднему значению.

Ключевые слова: местный сток, методика, временной ряд, долгосрочный прогноз.

The time series of runoff of local formation of Political and Administrative Subdivisions of Volga Federal District of Russian Federation were analyzed by the method of "Periodicities". The periods of different length were revealed in the runoff variations. In the area of short periods the periods with the lengths of 4, 8 and 12 years were revealed more often than the others. These periods and the sinusoids with the long periods were applied for the computation of the long range training forecasts with the lead time of 5 and 10 years.

The revealed harmonics were analyzed by the data of local runoff of the Tatarstan. For this time series the sinusoids with the periods of 4 and 12 years permitted to compute more true forecasts than by the mean value. The justification of forecasts computed by the sinusoids with the period of 8 years and with the long period is smaller than by the mean value.

In general, for all time series of local runoff of Political and Administrative Subdivisions of Volga Federal District of Russian Federation, the results of forecasting computed by the sinusoids with the periods of 4, 8, 12 years and with the long periods are some worse than by their mean values.

Key words: runoff of local formation, procedures, time series, long range forecast.

1. Введение

Долгосрочное прогнозирование местного стока административных территорий весьма актуально при планировании их социально-экономического развития. При прогнозировании гидрологических характеристик следует учитывать скрытые циклические закономерности в их изменениях (Шлямин, 1962; Голицын и др., 2002).

Скрытые гармоника в колебаниях местного стока субъектов РФ Приволжского Федерального округа выявлялись при анализе их временных рядов с использованием метода “Периодичностей” (Бабкин, 2005; 2008). Анализ временных рядов проводился с 1930 по 1998 г. Оставшиеся 10 лет были использованы для проведения поверочных прогностических расчетов местного стока с заблаговременностью соответственно 5 и 10 лет, и для оценки их оправдываемости.

Проводился анализ прогностических расчетов местного стока всех субъектов РФ Приволжского федерального округа по среднему значению, по тенденции линейного тренда, по длинноволновой синусоиде и по сумме длинноволновой синусоиды и тенденции тренда [Бабкин и Кадиров, 2012]. Наилучшие результаты, в целом, для всех рядов местного стока, получены по сумме тенденции тренда и синусоиды с длинным периодом.

В настоящей статье анализируются синусоиды в колебаниях местного стока субъектов РФ с различными периодами без учета тенденций трендов. Выявленные синусоиды рассматриваются на примере данных по местному стоку Татарстана.

Долгосрочный прогноз местного стока за отдельный год считается оправдавшимся, если разность наблюденного и спрогнозированного его значений (фактическая ошибка прогноза), меньше, чем допустимая ошибка прогноза. Допустимая ошибка прогнозирования составляет 0,674 от среднего квадратического отклонения временного ряда [Аполлов и др., 1974].

Метод “Периодичностей” основан на аппроксимации временного ряда гидрометеорологической характеристики синусоидальными функциями последовательно с пошаговым изменением периода. При этом, амплитуда, фаза, дополнительное слагаемое наилучшей аппроксимирующей синусоиды и сумма ее квадратов разностей с исследуемым рядом рассчитываются методом наименьших квадратов.

Анализируется зависимость наименьших сумм квадратических разностей ряда и аппроксимирующих его синусоид от периода аппроксимации. У некоторых периодов отмечаются минимумы этих сумм. Минимум суммы квадратических разностей временного ряда и аппроксимирующих его синусоид у определенного периода может быть признаком присутствия здесь периодичности.

2. Скрытые периоды в колебаниях местного стока субъектов РФ Приволжского федерального округа

В табл. 1 приводятся периоды с минимумами сумм квадратических разностей аппроксимирующих синусоид и значений временных рядов местного стока субъектов РФ Приволжского ФО. В первой строке показаны значения периодов аппроксимации, в первом столбце – названия республик, краев и областей. Периоды с минимумами сумм квадратов разностей временного ряда и аппроксимирующих синусоид помечены знаком «+». Столбцы с периодами, у которых нет рассматриваемых минимумов сумм квадратических разностей, в таблице не показаны.

Из табл. 1 видно, что у многих рядов местного стока минимумы их сумм квадратов разностей с аппроксимирующими синусоидами повторяются у тех же самых периодов. Для всех субъектов РФ Приволжского ФО наибольшее число раз выявлены гармоники с периодами 4 года, 8 и 12 лет. У периодов, длина которых составляет 4 года и 8 лет, минимумы сумм квадратических разностей временных рядов и аппроксимирующих синусоид у 14 субъектов отмечаются в 11 случаях. Девять раз минимум рассматриваемых сумм квадратических разностей выявлялся у периода, длительностью 12 лет.

У 16-летнего периода минимум сумм квадратов разностей временных рядов местного стока и аппроксимирующих синусоид установлен 7 раз, а у 10-летнего периода – 6 раз. В пяти случаях гармоники с минимумами сумм квадратов разностей аппроксимирующих синусоид и значений временных рядов обнаружены у 6-летнего и 22-летнего периодов.

У периодов, длина которых составляет 23 года, 35 лет и 41 год минимумы сумм квадратических разностей аппроксимирующих синусоид и временных рядов местного стока субъектов РФ Приволжского ФО установлены два раза. Один раз минимум сумм квадратов разностей аппроксимирующих синусоид и рассматриваемых временных рядов выявлен у периодов, длины которых соответственно равны: 5, 9, 15, 18, 21, 25, 27, 32, 33, 34, 36, 39 и 43 года.

Наиболее надежными, достоверными и подходящими для прогнозирования следует считать те гармоники, чьи периоды выявлены не у одного, а у большого числа временных рядов. Поэтому расчеты, моделирование и прогнозирование местного стока каждого из субъектов РФ Приволжского ФО проводились по синусоидам с периодами, выявленными у наибольшего числа временных рядов местного стока всего федерального округа. Это синусоиды с периодами 4, 8 и 12 лет.

Периоды с длинами соответственно 4, 8 и 12 лет можно отнести к малым и отчасти средним периодам. При анализе изменений местного стока необходимо также учитывать колебания с более длинными периодами.

У периодов, больших, чем 24 года, нет значения, которое было бы выявлено у большинства рядов местного стока, или хотя бы значительного их числа. Поэтому при прогнозировании с использованием сравнительно длинных периодов, превышающих 24 года, для каждого ряда будем использовать именно те периоды, которые были выявлены.

Таблица 1

Периоды с минимумами сумм квадратов разностей временных рядов местного стока субъектов РФ Приволжского ФО и аппроксимирующих их синусоид

Субъекты РФ Приволжского ФО	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	15	16	17	18	21	22	23	25	27	32	33	34	35	36	38	39	41	43
1. Республика Башкортостан		+		+		+						+				+											+	
2. Республика Татарстан		+		+		+		+	+			+				+									+			
3. Оренбургская обл.				+		+		+	+		+					+												+
4. Самарская обл.		+				+		+	+			+			+							+						
5. Пензенская обл.	+					+		+	+				+									+						
6. Саратовская обл.	+			+		+			+			+											+					
7. Нижегородская обл.		+				+			+				+								+							
8. Ульяновская обл.		+				+		+	+			+				+								+				
9. Республика Мордовия		+				+		+	+				+						+									
10. Республика Чувашия		+				+			+				+					+										
11. Республика Марий Эл		+		+		+			+				+							+								
12. Республика Удмуртия		+		+		+					+						+									+		
13. Пермский край		+				+					+						+								+			
14. Кировская обл.		+				+		+									+										+	
Повторяемость периодов по субъектам	2	11	1	5	3	11	1	6	9	4	1	7	4	1	1	5	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1

Анализ временных рядов местного стока рассмотрим на примере данных по республике Татарстан. У этого ряда методом “Периодичностей” выявлены все периоды длиной 4, 8 и 12 лет, наиболее часто встречающихся в колебаниях местного стока субъектов РФ Приволжского федерального округа.

3. Анализ колебаний и прогноз местного стока субъекта РФ (на примере данных по местному стоку республики Татарстан)

Параметры выявленных синусоид в колебаниях местного стока Татарстана представлены в табл. 2. Здесь T – период аппроксимирующей синусоиды, Q_0 – постоянная константа аппроксимации, у которой колеблются выявленные гармоники, $\delta Q/2$ и φ_Q – соответственно их амплитуда и фаза, r_Q – корреляционное отношение синусоиды и временного ряда. В области длинных периодов у местного стока республики Татарстан выявлена 38-летняя синусоида.

Таблица 2

Синусоиды в колебаниях местного стока Татарстана

T , год	Q_0 , км ³ /год	$\delta Q/2$, км ³ /год	φ_Q , радиан	r_Q , (км ³ /год) ²
1	2	3	4	5
4,0	8,34	,948	4,26	0,258
8,0	8,31	1,29	-1,51	0,347
12,0	8,33	,75	1,42	0,206
38,0	8,29	1,43	-,701	0,397

Среднее значение местного стока Татарстана за 1930–1998 гг. составило 8,35 км³/год, среднее квадратическое отклонение $-2,60$ (км³/год)², а допустимая ошибка прогноза – 1,75 км³/год. При прогнозировании местного стока Татарстана по среднему значению его временного ряда с заблаговременностью 10 лет оправдались 5 прогнозов. Из них только один верный прогноз приходится на первые пять лет.

На рис. 1 представлен временной ряд местного стока Татарстана и синусоиды его аппроксимации с периодами, соответственно равными 4 года и 12 лет, 8 лет и с длинным периодом.

Корреляционное отношение временного ряда местного стока Татарстана с 4-летней гармоникой составило 0,259. Максимумы и минимумы этой гармоники часто отмечается в те же самые годы, что и соответствующие экстремумы местного стока Татарстана. Максимум 4-летней гармоники и максимальные значения местного стока Татарстана совместно отмечаются в 1938, 1942, 1974, 1990 и 1994 гг., а минимум этой синусоиды и минимальные значения стока – в 1944, 1952, 1956, 1984, 1992 и 1996 гг. На поверочном интервале минимум синусоиды совпадает по времени с минимумом ряда в 2004 г.

Корреляционное отношение временного ряда местного стока Татарстана с синусоидой с 8-летним периодом оказалось равным 0,348. Минимумы 8-летней и 4-летней синусоид всегда совпадают по времени. На максимумы 8-летней синусоиды приходится минимум 4-летней.

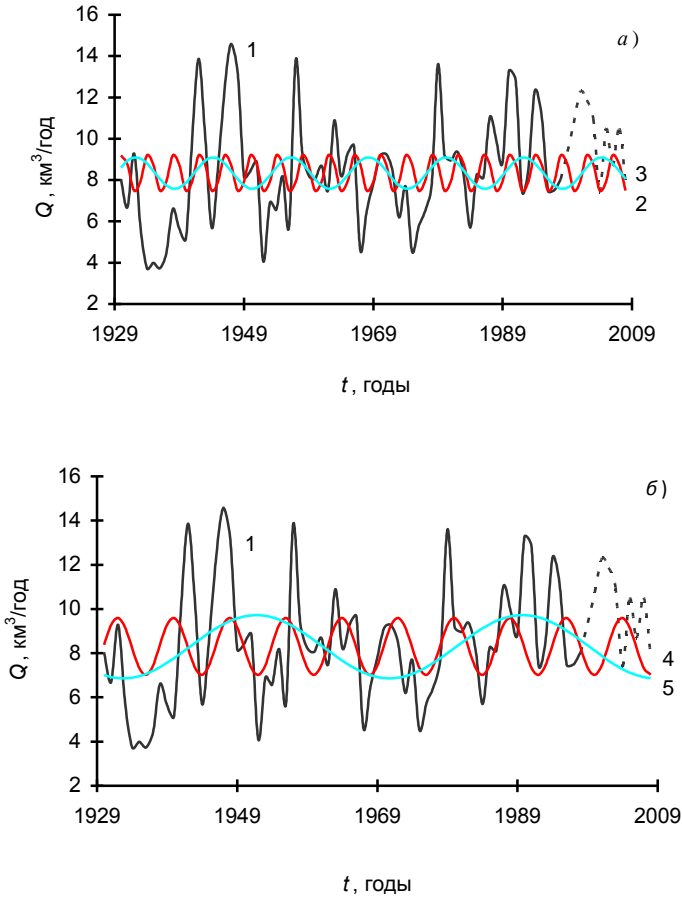


Рис. 1. Многолетние изменения местного стока республики Татарстан.

1 – данные наблюдений, 2 – синусоида с периодом 4 года, 3 – синусоида с периодом 12 лет, 4 – синусоида с периодом 8 лет, 5 – синусоида с длинным периодом (38 лет)

Синусоида с 8-летним периодом описывает группы лет повышенных и пониженных значений стока, а в некоторых случаях и их экстремальные значения. Так минимумы ряда местного стока Татарстана и 8-летней синусоиды одновременно отмечаются в 1936, 1944, 1952, 1984 и 1992 гг. Максимумы этой синусоиды отстают от максимумов ряда на 1 год в 1947, 1979 и 1987 гг.

Эта гармоника отражает повышенные значения стока 1946–1988, 1963–1966 и 1979–1982 гг. Она также описывает группы лет низких значений стока 1934–1938, 1967–1969 и 1975–1977 гг. Частично синусоида с периодом 8 лет описывает пониженные его значения 1950–1956 гг. Этот интервал низких значений стока слишком продолжителен для точного его описания 8-летней гармоникой.

На интервале поверочного прогноза 1999–2008 гг. экстремумы 8-летней синусоиды и временного ряда местного стока не совпадают по времени. На 2004 г., в который отмечается минимум местного стока Татарстана, приходится максимум 8-летней гармоник. На группу лет высоких значений местного стока 1999–2002 гг., в основном, приходятся пониженные значения 8-летней синусоиды. Ее минимальное значение отмечается в 2000 г.

Корреляционное отношение временного ряда местного стока Татарстана и синусоиды с периодом 12 лет составило 0,206. Каждый раз максимумы 12-летней синусоиды приходятся на минимумы синусоиды с периодом 4 года. Минимумам синусоиды с периодом 12 лет соответствуют максимумы 4-летней. Максимумы 12-летней синусоиды через раз приходятся на те же годы, что и максимумы 8-летней. В остальных случаях максимумы 12-летней синусоиды наступают одновременно с минимумами 8-летней.

Синусоида с 12-летним периодом описывает группы лет повышенных и пониженных значений местного стока. В колебаниях местного стока Татарстана 12-летняя синусоида описывает большую часть интервала его повышенных значений 1941–1948 гг., на котором присутствует минимум 1944 г. Этой синусоидой также отражаются группы лет повышенной водности 1979–1982 гг. и 1990–1995 гг. со сравнительно низким значением стока в 1992 г. Этой же синусоидой описывается часть интервала пониженных значений стока 1933–1940 гг. и 1973–1977 гг.

Минимум 12-летней синусоиды опережает максимум 2001 г. на 3 года. Первые два года из группы лет высоких его значений 1999–2003 гг. приходятся на пониженные значения 12-летней синусоиды, последние 2 года – на повышенные. Максимальному значению ряда по времени соответствует значение синусоиды, примерно равное среднему.

На втором пятилетии максимум 12-летней синусоиды в колебаниях местного стока Татарстана приходится на минимальное значение стока 2006 г. Но на группе лет 2004–2008 гг. 12-летняя синусоида лучше описывает колебания местного стока Татарстана, чем на первом поверочном интервале. Максимумы местного стока этой республики 2005 и 2007 гг. приходятся на повышенные значения этой синусоиды.

Годы повышенных значений 38-летней синусоиды в колебаниях местного стока Татарстана совпали с высокими значениями его временного ряда в 1941–1943, 1946–1948, 1957–1958, 1987–1988, 1990–1991 и 1994–1995 гг. Повышенные значения этой синусоиды отмечаются также для группы лет низкого местного стока 1952–1956, 1983–1985 гг. и минимума стока 1992 г.

Пониженные значения 38-летней синусоиды характерны для групп лет низких значений местного стока Татарстана 1933–1940, 1967–1969 и 1973–1977 гг. На отрезках пониженных значений этой синусоиды отмечались высокие значения стока 1941–1943 и 1979–1980 гг. Повышенный сток 1981 и 1982 гг. по времени приходится на значения 38-летней синусоиды, близкие к среднему.

При прогнозе местного стока Татарстана по 4-летней гармонике и по синусоиде с периодом 12 лет с заблаговременностью 10 лет получено по пять оправдавшихся прогнозов. При расчетах по каждой из этих синусоид только один прогноз оправдался на интервале 1999–2003 гг. При расчетах по синусоиде с периодом 4 года верные прогнозные оценки получены в 1999, 2004, 2006, 2007 и 2008 гг., а по 12-летней синусоиде прогнозы оправдались в 1999, 2004, 2005, 2006 и 2008 гг.

Прогноз местного стока Татарстана с заблаговременностью 10 лет по синусоиде с периодом 8 лет оправдался четыре раза. Один прогноз оправдался в первое пятилетие, три – во второе. Прогноз оправдался в 2003, 2005, 2006 и 2008 гг.

При прогнозировании по 38-летней синусоиде местного стока Татарстана с заблаговременностью 5 и 10 лет оправдались соответственно 1 и 4 прогноза. Они оказались верными в 1999, 2004, 2006 и 2008 гг.

Заключение

Методом “Периодичностей” проведен анализ временных рядов местного стока субъектов РФ Приволжского федерального округа с 1930 г. по 1998 г. У большинства рядов местного стока в области коротких периодов выявлены гармоника с периодами, соответственно равными 4, 8 и 12 годам. Более достоверна и надежна для прогнозирования та гармоника, которая обнаруживается в колебаниях большого числа расположенных рядом областей. Поэтому, при моделировании, расчетах и поверочном прогнозировании местного стока каждого из временных рядов использовались синусоиды с этими периодами.

В области длинных периодов больше 24 лет не выявлено тех же периодов в колебаниях большинства рядов местного стока субъектов РФ Приволжского федерального округа, или даже значительной их доли. Поэтому при моделировании и прогнозировании местного стока каждого субъекта РФ Приволжского федерального округа использовалась именно та синусоида, которая была выявлена методом “Периодичностей”.

Прогнозы местного стока республики Татарстан с заблаговременностью 5 лет по каждой из синусоид, как и по среднему значению, оправдались по одному разу. Прогнозы с заблаговременностью 10 лет по синусоидам с периодами 4 года и 12 лет оправдались по 5 раз, по синусоидам с периодом 8 лет и с длинным периодом – по 4 раза, как и по среднему значению. Таким образом, при прогнозировании местного стока Татарстана наилучшие результаты получены по синусоидам с периодами 4 года и 12 лет, при расчетах по синусоидам с периодом 8 лет и с длинным периодом результаты прогнозов примерно соответствуют расчетам по среднему значению временного ряда.

Поверочные прогнозы местного стока всех субъектов РФ Приволжского ФО на 1999–2003 гг. и на 1999–2008 гг. по этим синусоидам, в целом, оказались несколько хуже расчетов по средним значениям их временных рядов. При этом,

как и для местного стока Татарстана, результаты прогнозов по синусоидам с периодами 4 года и 12 лет оказались несколько лучше, чем по синусоидам с периодом 8 лет и с длинным периодом.

Результаты прогнозирования по каждой из синусоид с периодами 4,8, 12 лет и с длинным периодом оказались хуже расчетов по сумме тенденции тренда и синусоиды с длинным периодом.

Литература

1. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеоздат, 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. Бабкин А.В., Кадиров К.Ш. Поверочные прогнозы местного стока субъектов Российской Федерации Приволжского федерального округа с учетом их длиннопериодных колебаний // Уч. зап. РГГМУ, 2012, № 23, с. 41-50.
5. Голицын Г.С., Ефимова Л.К., Мохов И.И. и др. Гидрологические режимы Ладожского и Онежского озер и их изменения // Водные ресурсы, 2002, № 2, с. 168–173.
6. Шлямин Б.А. Сверхдолгосрочный прогноз уровня Каспийского моря // Изв. ВГО, 1962, т. 94, вып. 1, с. 26–33.