

*А.В. Бабкин, К.Ш. Кадиров*

**ПОВЕРОЧНЫЕ ПРОГНОЗЫ МЕСТНОГО СТОКА СУБЪЕКТОВ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА  
С УЧЕТОМ ИХ ДЛИННОПЕРИОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ**

*A.V. Babkin, K.Sh. Kadirov*

**TRAINING FORECASTS OF RUNOFF OF LOCAL FORMATION OF POLITICAL  
AND ADMINISTRATIVE SUBDIVISIONS OF VOLGA FEDERAL DISTRICT OF  
RUSSIAN FEDERATION ACCOUNTING LONG PERIODS IN THEIR VARIATIONS**

Методом “Периодичностей” во временных рядах местного стока субъектов Российской Федерации Приволжского федерального округа выявлены периоды колебаний различной продолжительности. Поверочные прогнозы местного стока с заблаговременностью 5 и 10 лет рассчитаны по средним значениям его временных рядов, по тенденциям его линейных трендов, по синусоидам с большими периодами и по суммам этих синусоид и тенденций трендов. Оценка оправдываемости годовичных прогнозов на независимом материале показала, что лучшие результаты прогнозирования получены по суммам синусоид с большими периодами колебаний и тенденций трендов.

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

*The long periods of different lengths were revealed in the time series of runoff of local formation of Political and Administrative Subdivisions of Volga Federal District of Russian Federation. The training forecasts of runoff of local formation were computed with the lead time of 5 and 10 years by the mean values of its time series, tendencies of its linear trends, long period sinusoids and by the sums of the sinusoids and the tendencies of the trends. The numbers of true annual forecasts were estimated by the new independent data. The best results of prediction were computed by the sums of the long period sinusoids and trends tendencies.*

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

## **1. Введение**

Долгосрочное прогнозирование местного стока административных территорий России актуально для многих отраслей современного производства, связанных с использованием водных ресурсов, включая сельское хозяйство, водный транспорт, туризм и коммунально-бытовое водоснабжение. При прогностических расчетах водных ресурсов следует учитывать скрытые циклические закономерности в их изменениях (Шлямин, 1962; Голицын и др., 2002).

В настоящей работе временные ряды местного стока субъектов Российской Федерации Приволжского федерального округа (ПФО) анализировались с 1930 по 1998 гг., десятилетний интервал с 1999 по 2008 гг. использовался для расчета его поверочных прогнозов с заблаговременностью 5 и 10 лет, и их проверке на новом независимом мате-

риале. Для каждого субъекта ПФО прогнозы местного стока рассчитывались по среднему значению его временного ряда, по тенденции его линейного тренда, по синусоиде с большим периодом колебаний и по сумме этой синусоиды с тенденцией тренда.

Скрытые периоды в колебаниях местного стока республик и областей ПФО выявлялись при анализе их временных рядов методом “Периодичностей” (Бабкин А.В., 2005; 2008). При этом, большим периодом синусоиды считалось его значение в диапазоне от 24 лет до величины продолжительности ряда местного стока.

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

**2. Статистические характеристики временных рядов местного стока субъектов Российской Федерации Приволжского федерального округа**

На интервале времени 1930 – 1998 гг. проведены расчеты средних значений стока вод местного формирования субъектов ПФО, параметров тенденций их линейных трендов, средних квадратических отклонений местного стока и допустимых ошибок их долгосрочных прогнозов. Их результаты обобщены в табл. 1. Здесь  $a$  и  $b$  – соответственно коэффициент и дополнительное слагаемое линейной аппроксимации,  $r_1$  – значение коэффициента корреляции временных рядов и тенденций их трендов.

*Таблица 1*

**Средние значения  $Q_s$ , средние квадратические отклонения  $\sigma$ , допустимые ошибки прогнозов  $\Delta$ , параметры линейной аппроксимации  $a$  и  $b$  местного стока субъектов ПФО и корреляция его временных рядов с тенденциями линейных трендов  $r_1$ , 1930 – 1998 гг.**

Субъекты РФ Приволжского ФО	$Q_s$ , км <sup>3</sup> /год	$\sigma$ , км <sup>3</sup> /год	$\Delta$ , км <sup>3</sup> /год	$a$ , км <sup>3</sup> /год <sup>2</sup>	$b$ , км <sup>3</sup> /год	$r_1$
1. Республика Башкортостан	25,7	7,65	5,16	0,104	-178,8	0,271
2. Кировская обл.	28,8	6,57	4,43	0,186	-335,6	0,562
3. Республика Марий Эл	3,91	0,78	0,53	0,014	-23,4	0,355
4. Республика Мордовия	3,14	0,99	0,67	0,011	-19,17	0,213
5. Нижегородская обл.	11,9	2,81	1,90	0,055	-96,36	0,389
6. Оренбургская обл.	7,49	4,11	2,77	0,011	-14,55	0,053
7. Пензенская обл.	5,04	1,61	1,08	0,020	-33,77	0,240
8. Пермский край	49,4	9,15	6,16	0,197	-337,28	0,429
9. Самарская обл.	4,53	1,62	1,09	0,024	-42,96	0,297
10. Саратовская обл.	5,38	2,46	1,67	0,017	-28,82	0,139
11. Республика Татарстан	8,35	2,60	1,75	0,032	-52,89	0,238
12. Республика Удмуртия	8,74	2,31	1,56	0,056	-100,71	0,479
13. Ульяновская обл.	4,88	1,52	1,03	0,031	-56,75	0,410

Субъекты РФ Приволжского ФО	$Q_s$ , км <sup>3</sup> /год	$\sigma$ , км <sup>3</sup> /год	$\Delta$ , км <sup>3</sup> /год	$a$ , км <sup>3</sup> /год <sup>2</sup>	$b$ , км <sup>3</sup> /год	$r_1$
14. Республика Чувашия	2,79	1,48	0,99	0,022	-40,45	0,295
						0,312

Наибольшее среднее значение стока вод местного формирования отмечается в Пермском крае – 49,4 км<sup>3</sup>/год, наименьшее, равное 2,79 км<sup>3</sup>/год – в республике Чувашия. Наибольшие значения его среднего квадратического отклонения и допустимой ошибки прогноза получены в Пермском крае, а наименьшие – в республике Марий Эл.

Все коэффициенты линейной аппроксимации временных рядов местного стока субъектов ПФО положительны. Местный сток в этом округе имеет тенденцию к повышению. Местный сток Пермского края характеризуется наибольшим коэффициентом линейной аппроксимации, а наименьшее значение этого коэффициента отмечается у местного стока Республики Мордовия и Оренбургской области.

Наибольшая корреляция ряда и его тенденции тренда установлена у местного стока Кировской области – 0,562, наименьшая, равная 0,053 – у местного стока Оренбургской области. В последнем столбце в нижней строке рассчитано среднее значение корреляции рядов местного стока субъектов ПФО с тенденциями их трендов. Оно оказалось равным 0,312.

### 3. Синусоиды с большими периодами в колебаниях местного стока субъектов РФ, входящих в ПФО

Метод “Периодичностей” основан на аппроксимации гидрометеорологических временных рядов синусоидальными функциями последовательно с пошаговым изменением периода. Скрытые гармоники оцениваются по объективному критерию – минимуму суммы квадратов разностей временных рядов и аппроксимирующих их синусоид в зависимости от периода аппроксимации.

Выявленные по этому критерию синусоиды в области больших периодов (с их величинами в диапазоне от 24 лет до продолжительности ряда наблюдений) и их характеристики представлены в таблице 2. Здесь  $T$  – период аппроксимирующей синусоиды,  $Q_0$ ,  $\delta Q/2$  и  $\varphi$  – ее дополнительное слагаемое, амплитуда и фаза,  $r_2$  – корреляция синусоиды с большим периодом и соответствующего временного ряда,  $r_3$  – корреляция суммы этой синусоиды и тенденции линейного тренда с временным рядом.

Во временных рядах местного стока субъектов РФ Приволжского ФО выявлены периоды от 25 лет (республика Чувашия) до 43 лет (Оренбургская область). Наименьшая корреляция ряда местного стока и синусоиды с большим периодом, равная 0,129, получена для республики Мордовия. Наибольшая корреляция синусоиды и временного ряда оказалась у местного стока республики Удмуртия. Она равна 0,491.

В последней строке таблицы 2 в столбцах 6 и 7 рассчитаны средние значения корреляций местного стока с выявленными синусоидами и с их суммами с тенденци-

ями линейных трендов для всех субъектов ПФО. В среднем, корреляция временных рядов местного стока и сумм синусоид и тенденций трендов оказалась больше, чем корреляции временных рядов с тенденциями их трендов и с синусоидами с большими периодами по отдельности.

В некоторых случаях корреляция временного ряда и тенденции тренда или синусоиды с большим периодом оказалась выше корреляции с временным рядом их суммы. Так, корреляция местного стока Кировской области и Пермского края с суммой тенденции тренда и синусоиды немного ниже его корреляции с тенденцией тренда. У местного стока Оренбургской, Самарской, Саратовской и Ульяновской областей, а также республики Татарстан, корреляция местного стока и синусоиды с большим периодом оказалась несколько выше его корреляции с суммой долгопериодной синусоиды и тенденции тренда.

Таблица 2

**Синусоиды с минимумами сумм квадратов разностей временных рядов местного стока**

Субъекты РФ Приволжского ФО	$T$ , годы	$Q_0$ , км <sup>3</sup> /год	$\delta Q/2$ , км <sup>3</sup> /год	$\varphi$ , радиан	$r_2$	$r_3$
1. Республика Башкортостан	41,0	25,5	3,41	4,055	0,326	0,356
2. Кировская обл.	36,0	28,7	3,47	0,222	0,376	0,559
3. Республика Марий Эл	32,0	3,93	0,29	1,673	0,267	0,403
4. Республика Мордовия	27,0	3,16	0,18	0,828	0,129	0,242
5. Нижегородская обл.	33,0	12,0	1,35	0,445	0,336	0,432
6. Оренбургская обл.	43,0	7,54	1,23	-1,273	0,217	0,210
7. Пензенская обл.	34,0	5,05	0,43	-0,911	0,189	0,260
8. Пермский край	38,0	49,5	4,05	-1,291	0,325	0,427
9. Самарская обл.	35,0	4,53	1,00	2,477	0,442	0,423
10. Саратовская обл.	35,0	5,38	0,88	2,604	0,254	0,237
11. Республика Татарстан	38,0	8,29	1,43	-0,701	0,397	0,384
12. Республика Удмуртия	39,0	8,67	1,56	1,295	0,491	0,557
13. Ульяновская обл.	36,0	4,80	1,06	-0,157	0,469	0,464
14. Республика Чувашия	25,0	2,74	0,62	3,901	0,287	0,391
					0,322	0,382

#### **4. Долгосрочные поверочные прогнозы местного субъектов РФ Приволжского ФО**

Поверочные прогнозы местного стока субъектов ПФО проводились по среднему значению, по тенденции линейного тренда, по долгопериодной синусоиде и по сумме линейного тренда и указанной синусоиды.

На рис. 1 в качестве примера представлены данные наблюдений за местным стоком республик Башкортостан и Татарстан и суммы их долгопериодных синусоид с тенденциями их линейных трендов. Прогноз местного стока республики Башкортостан по сумме синусоиды и тенденции тренда на 1999 – 2003 гг. оправдался 3 раза. Его верные значения приходятся соответственно на 1999, 2000 и 2003 гг. Также прогноз оправдался в 2005 г., и на все десятилетие прогноз местного стока республики Башкортостан оправдался 4 раза.

Прогноз местного стока республики Татарстан на 1999 – 2003 гг. и 1999 – 2008 гг. оправдался соответственно 2 и 5 раз. Его значения оказались верными в 1999, 2000, 2004, 2006 и 2008 гг.

Суммы оправдавшихся прогнозов стока на 1999 – 2003 гг. и на 1999 – 2008 гг. по среднему значению, по тенденции линейного тренда, по синусоиде с длинным периодом и по сумме тенденции тренда и этой синусоиды представлены в таблицах соответственно 3 и 4 (столбцы с результатами их расчетов обозначены соответственно римскими цифрами I, II, III и IV). **Наилучшие результаты прогнозирования местного стока республики Башкортостан на 1999 – 2003 гг.** получены по сумме тенденции тренда и синусоиды с большим периодом. По этой методике прогноз оправдался 3 раза, а по всем остальным – 2 раза. При прогнозировании на 1999 – 2008 гг. больше всего верных прогнозов – 5 получено по долгопериодной синусоиде. По всем остальным методикам прогнозы оправдались по 4 раза.

Наибольшее количество оправдавшихся прогнозов местного стока республики Татарстан на 1999 – 2003 г. получено по тенденции линейного тренда. По этой методике оправдалось 3 прогноза, по сумме тенденции тренда и долгопериодной синусоиды – 2 раза, по среднему значению и по долгопериодной синусоиде – по 1 разу. При прогнозировании с заблаговременностью 10 лет также больше всего прогнозов – 6 – оправдалось по тенденции линейного тренда. По сумме тенденции тренда и долгопериодной синусоиды прогноз оправдался 5 раз, по среднему значению и по синусоиде с большим периодом – по 4 раза.

Больше всего оправдалось прогнозов местного стока Оренбургской области. По всем использованным подходам к прогнозированию получилось то же самое число оправдавшихся прогнозов. На первом поверочном пятилетии здесь оказались верными все прогнозы, на всем десятилетии оправдалось девять прогнозов.

При прогнозировании по среднему значению, по тенденции линейного тренда и по сумме тенденции тренда и синусоиды большое число прогнозов оправдалось у местного стока республики Марий Эл, Саратовской и Нижегородской областей. У местного стока Нижегородской и Саратовской областей прогнозы на 1999 – 2003 гг. по среднему значению, по тенденции линейного тренда и по сумме тенденции тренда и долгопериодной синусоиды оправдались по 4 раза. Прогноз местного стока республики Марий Эл по среднему значению и по тенденции тренда оправдался 4 раза, а по сумме тенденции тренда и синусоиды с большим периодом – 5 раз.

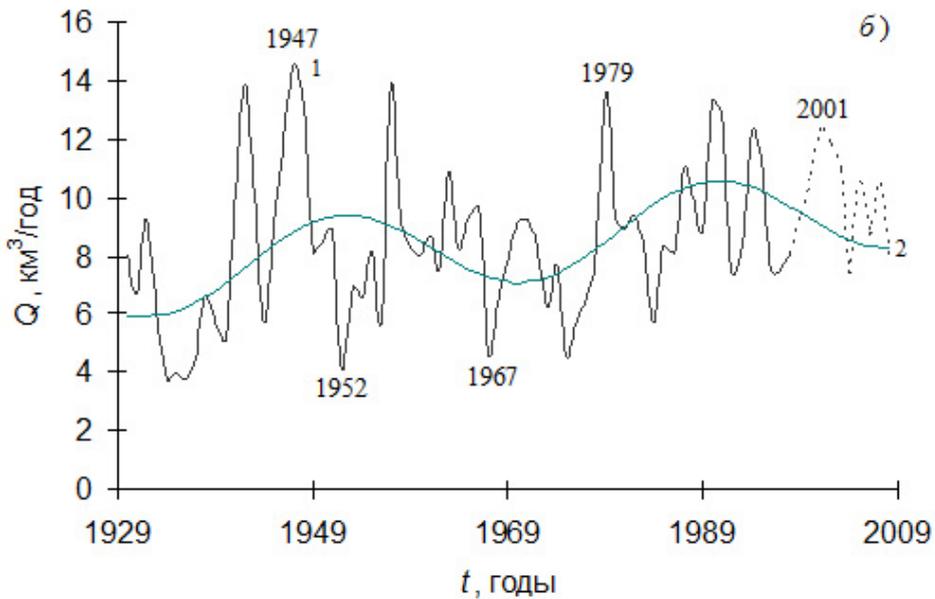
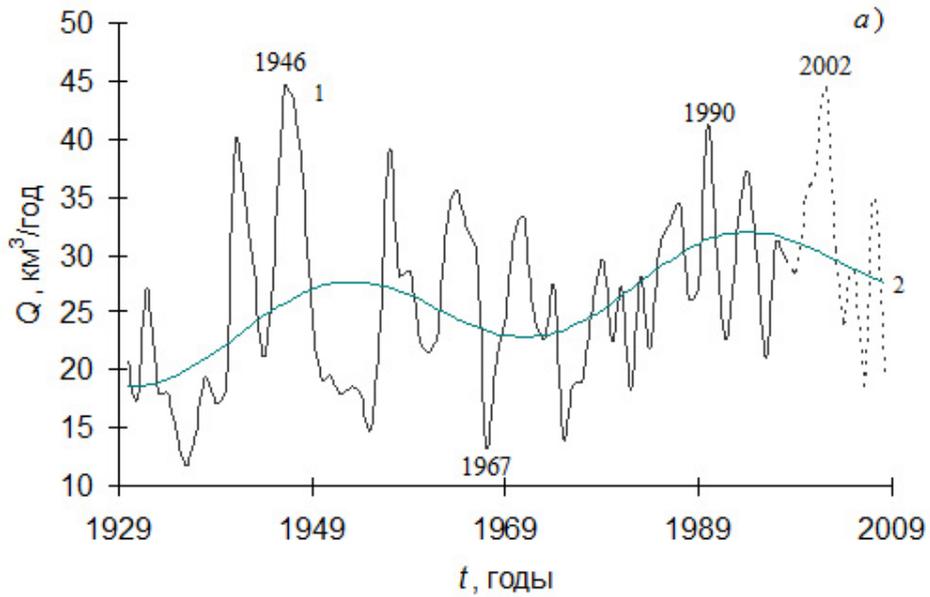


Рис. 1. – Многолетние изменения местного стока республик Башкортостан (а) и Татарстан (б); 1 – данные наблюдений (пунктиром показан поверочный участок 1999 – 2008 гг.), 2 – сумма тенденций линейного тренда и синусоид с периодами соответственно 41 год (Башкортостан) и 38 лет (Татарстан)

Таблица 3

Оправдываемость прогнозов местного стока субъектов Российской Федерации Приволжского федерального округа на 1999 – 2003 гг. (I – результаты прогнозирования по среднему значению, II – по тенденции линейного тренда, III – по долгопериодной синусоиде, IV – по сумме долгопериодной синусоиды и тенденции тренда)

Субъекты РФ Приволжского ФО	I	II	III	IV
1. Республика Башкортостан	2	2	2	3
2. Кировская обл.	2	4	1	5
3. Республика Марий Эл	4	4	2	5
4. Республика Мордовия	2	3	2	3
5. Нижегородская обл.	4	4	2	4
6. Оренбургская обл.	5	5	5	5
7. Пензенская обл.	2	4	1	4
8. Пермский край	3	4	3	4
9. Самарская обл.	3	4	1	4
10. Саратовская обл.	4	4	3	4
11. Республика Татарстан	1	3	1	2
12. Республика Удмуртия	2	4	1	4
13. Ульяновская обл.	2	5	2	5
14. Республика Чувашия	0	2	0	1
Итого	36	52	26	53
	0,514	0,743	0,371	0,757

Таблица 4

Оправдываемость прогнозов местного стока субъектов Российской Федерации Приволжского федерального округа на 1999 – 2008 гг. (I – результаты прогнозирования по среднему значению, II – по тенденции линейного тренда, III – по долгопериодной синусоиде, IV – по сумме долгопериодной синусоиды и тенденции тренда)

Субъекты РФ Приволжского ФО	I	II	III	IV
1. Республика Башкортостан	4	4	5	4
2. Кировская обл.	5	6	3	8
3. Республика Марий Эл	9	7	6	8
4. Республика Мордовия	4	5	4	5
5. Нижегородская обл.	7	7	3	7
6. Оренбургская обл.	9	9	9	9
7. Пензенская обл.	4	6	1	6

Субъекты РФ Приволжского ФО	I	II	III	IV
8. Пермский край	7	6	6	5
9. Самарская обл.	7	6	4	8
10. Саратовская обл.	9	7	6	9
11. Республика Татарстан	4	6	4	5
12. Республика Удмуртия	6	8	2	8
13. Ульяновская обл.	6	8	3	10
14. Республика Чувашия	2	4	2	3
Итого	83	89	58	95
	0,593	0,636	0,414	0,679

Прогноз местного стока республики Марий Эл, Нижегородской и Саратовской областей с заблаговременностью 10 лет по среднему значению оправдался соответственно 9, 7 и 9 раз. По тенденции линейного тренда прогноз оказался верным 7 раз у каждого из этих субъектов ПФО, по сумме тенденции тренда и долгопериодной синусоиды – 8, 7 и 9 раз соответственно.

У некоторых субъектов ПФО прогнозы местного стока по среднему значению показали невысокую оправдываемость, но результаты прогнозирования по тенденции линейного тренда и по сумме тенденции тренда и долгопериодной синусоиды оказались весьма успешными. Так, прогнозы местного стока республики Удмуртия и Ульяновской области по среднему значению с заблаговременностью 5 лет оправдались по 2 раза, а с заблаговременностью 10 лет – по 6 раз.

Прогнозы местного стока республики Удмуртия на 1999 – 2003 гг. как по тенденции тренда, так и по сумме этой тенденции и синусоиды с большим периодом оправдались 4 раза, а Ульяновской области – 5 раз. Прогнозы по тенденции тренда и по ее сумме с долгопериодной синусоидой с заблаговременностью 10 лет по 8 раз оправдались у местного стока республики Удмуртия, а у стока Ульяновской области – соответственно 8 и 10 раз. Прогнозы местного стока этих субъектов РФ по среднему значению оправдались по 6 раз.

Прогнозы местного стока по долгопериодной синусоиде характеризуются более низкой оправдываемостью. Помимо Оренбургской области нет ни одного субъекта РФ, где бы прогнозы на 1999 – 2003 гг. оправдались бы 5 раз, или даже 4 раза. У Саратовской области и Пермского края прогнозы на первые пять лет оправдались 3 раза, а на десять лет – 6 раз.

Наименьшее количество оправдавшихся прогнозов местного стока с заблаговременностью 5 и 10 лет по всем четырем методикам получено для республик Башкортостан, Татарстан и Чувашия. При прогнозировании местного стока Республики Чувашия на 1999 – 2003 гг. по среднему значению, по тенденции тренда, по долгопериодной синусоиде и по сумме этой синусоиды и тенденции тренда получено соответственно 0, 2, 0 и 1 оправдавшихся прогнозов. Прогнозы местного стока этой

республики по четырем рассмотренным подходам на 1999 – 2008 гг. оправдались соответственно 2, 4, 2 и 3 раза.

В нижних строках таблиц 3 и 4 верные прогнозы местного стока всех субъектов ПФО соответственно складывались, и для каждого из четырех подходов в долях от единицы оценивалась оправдываемость его прогнозов. Ее анализ в целом, по всем субъектам ПФО на 1999 – 2003 гг. и 1999 – 2008 гг., показывает, что наименьшее число прогнозов оправдалось по догопериодной синусоиде, несколько больше – по среднему значению. Оправдываемость прогнозов по синусоиде и по среднему значению на первые пять лет составила соответственно 0,371 и 0,514, а на все десятилетие – 0,414 и 0,592.

По тенденции тренда оправдываемость прогнозов оказалась выше, чем по среднему значению, а наибольшая оправдываемость получилась у прогнозов, рассчитанных по сумме долгопериодной синусоиды и тенденции линейного тренда. При прогнозировании по тенденции линейного тренда и по сумме этой тенденции и указанной синусоиды оправдываемость прогнозов на 1999 – 2003 гг. составила соответственно 0,743 и 0,757. Прогнозы местного стока с заблаговременностью 10 лет по тенденции тренда и по сумме этой тенденции и синусоиды с большим периодом оправдались соответственно в 0,636 и 0,678 случаях.

### **Заключение**

Методом “Периодичностей” проведен анализ временных рядов местного стока субъектов ПФО с 1930 г. по 1998 г. Выявленные долгопериодные синусоиды в диапазоне их значений от 25 до 41 года использованы для проведения поверочных прогнозов местного стока на 1999 – 2003 гг. и 1999 – 2008 гг.

Прогнозы местного стока на эти интервалы рассчитывались по среднему значению его временных рядов, по тенденциям их линейных трендов, по выявленным долгопериодным синусоидам и по суммам тенденций трендов и этих синусоид. Среднее для всех рассмотренных рядов местного стока значение их корреляции с соответствующими суммами тенденций их трендов и синусоид составило 0,382. Оно оказалось выше, чем средняя корреляция как рядов и синусоид, так и рядов и их тенденций трендов. Только в отдельных случаях корреляция временного ряда и тенденции его тренда, или синусоиды с большим периодом превысила его корреляцию с суммой тенденции тренда и этой синусоиды. Поэтому, качество методики прогнозирования по сумме тенденции тренда и долгопериодной синусоиды выше качества методики прогнозов как по тенденции тренда, так и по этой синусоиде.

При прогнозировании местного стока субъектов ПФО с заблаговременностью 5 и 10 лет, наименьшая оправдываемость отмечается при расчетах по долгопериодной синусоиде. Она оказалась равной соответственно 0,371 и 0,414. Оправдываемость прогнозов по среднему значению на 1999 – 2003 гг. и на 1999 – 2008 гг. составила соответственно 0,514 и 0,593. Она оказалась выше, чем их оправдываемость по долгопериодной синусоиде.

Оправдываемость прогнозов рядов местного стока по тенденциям их трендов с заблаговременностью 5 и 10 лет составила соответственно 0,742 и 0,636. Наибольшая оправдываемость прогнозов получена при расчетах по суммам тенденций трендов и

долгопериодных синусоид. При прогнозировании на 1999 – 2003 гг. и 1999 – 2008 гг. она оказалась равной 0,757 и 0,678.

Таким образом, оправдываемость прогнозов местного стока республик, краев и областей Приволжского федерального округа по сумме тенденции линейного тренда и долгопериодной синусоиды оказалась выше, чем их оправдываемость по среднему значению, а также по синусоиде и по тенденции тренда по отдельности. Выявление долгопериодных синусоид целесообразно и полезно для долгосрочного прогнозирования местного стока административных регионов.

### **Литература**

1. *Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д.* Курс гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 419 с.
2. *Бабкин А.В.* Усовершенствованная модель оценки периодичности изменений уровня и элементов водного баланса Каспийского моря. // *Метеорология и гидрология*, 2005, N11, с. 63-73.
3. *Бабкин А.В.* Методика долгосрочного прогноза уровня Ладожского озера и стока р. Невы. // *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*, 2008, N8, с. 31 - 37.
4. *Голицын Г.С., Ефимова Л.К., Мохов И.И. и др.* Гидрологические режимы Ладожского и Онежского озер и их изменения. // *Водные ресурсы*, 2002, N2, с. 168–173.
5. *Шлямин Б.А.* Сверхдолгосрочный прогноз уровня Каспийского моря. // *Изв. ВГО*, 1962, т. 94, вып. 1, с. 26–33.