

К.Ш. Кадиров, С.М. Кадиров

СИНУСОИДАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ДОЛГОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЯ ВОДЫ РЕКИ АМУДАРЬЯ У НАСЕЛЕННОГО ПУНКТА САМАНБАЙ

K.Sh. Kadirov, S.M. Kadirov

SINE MODELING AND LONG RANGE PREDICTION OF WATER LEVEL OF AMU DARYA RIVER NEAR SAMANBAY VILLAGE

Временной ряд уровня воды Амударьи у населенного пункта Саманбай подразделяется на интервал его высоких значений 1934–1970 гг. и низких значений, начиная с 1978 г. Он был проанализирован с его начала по 2002 г. методом “Периодичностей”, а последние его десять лет были использованы для расчета поверочных прогнозов с заблаговременностью пять и десять лет, и оценки их результатов. Самая высокая корреляция аппроксимирующих синусоид и временного ряда уровня воды реки получена у периода, длиной 104 года. У остаточного ряда, сформированного из разности ряда уровня воды Амударьи и этой синусоиды, наибольшая корреляция аппроксимирующей синусоиды с ним отмечается у периода, длиной 31 год. Расчеты поверочных прогнозов проводились по синусоиде с периодом 104 года, по ее комбинации с 31 летней синусоидой, а также по средним значениям уровня воды Амударьи за весь период измерений и за временной интервал низкого уровня воды 1978–2002 гг. Самые лучшие прогнозы уровня воды с заблаговременностью пять и десять лет оказались по комбинации синусоид с периодами 104 года и 31 год, несколько хуже — по среднему значению уровня воды за 1978–2002 гг. Хуже, чем по среднему значению на интервале низкого уровня воды оказались прогнозы по синусоиде с периодом 104 года, а самыми плохими — по среднему значению за весь период инструментальных наблюдений.

Ключевые слова: Амударья, уровень воды, аппроксимация, периодичности, долгосрочный прогноз

Time series of water level of Amu Darya River near the Samanbai Village is subdivided for the interval of its high values of 1934–1970 and low values starting from 1978. It was analyzed by the method of “Periodicities” from its beginning up to 2002. The last ten points of the time series were applied for computation of the training forecasts with the lead time of five and ten years and estimation of its results. The highest correlation of approximation sinusoids and time series of river water level is near the period of 104 years. The highest correlation with approximation sine of secondary time series, formed as difference between the time series of water level of Amu Darya and the approximation sine with the period of 104 years, is near the period of 31 years. The training forecasts were computed by the sine with the period of 104 years, by its combination with 31 year period sine and by the mean values of time series for all measurement period and for the interval of low water level of 1978–2002. The best forecasts of water level of Amu Darya with the lead time of five and ten years are by the combination of sinusoids with the periods of 104 and 31 years, some worse are the forecasts results by the mean value of water level for 1978–2002. The results

of forecast by the sine with the period of 104 years are worse than by the mean value of water level for 1978 — 2002. The worse results of prediction of water level of Amu Darya are by the mean value of its time series for all measurement period.

Key words: Amu Darya, water level, approximation, periodicities, long range forecast.

Введение

Река Амударья берет свое начало при слиянии рек Пяндж и Вахш у границы Афганистана и Таджикистана и протекает вдоль северной границы Афганистана с Таджикистаном, Узбекистаном и Туркменистаном. Затем она поворачивает на север и протекает по Восточному Туркменистану и далее по его границе с Узбекистаном и впадает в южную часть Аральского моря. Длина реки составляет от места слияния Пянджа и Вахша 1415 км и 2540 км от истока Пянджа, берущего свое начало в горах Памира. Бассейн реки подразделяется на две части: область формирования стока, ограничиваемую горными районами Афганистана и Таджикистана, и область его истощения. После слияния Пянджа и Вахша в Амударью впадают три крупных правых притока: Кафирниган, Сурхандарья и Шерабад, и левый приток — Кундуз.

В среднем и нижнем течении воды Амударьи теряются на испарение и разбрасываются на орошение. Объем стока, используемого на сельскохозяйственные нужды, постепенно увеличивался в XX в., обуславливая снижение водности Амударьи в ее нижнем течении. Резкое, практически скачкообразное падение стока произошло за десятилетие 1970—1980 гг. Использование стока р. Амударья на нужды сельского хозяйства обуславливает актуальность проблемы его прогнозирования на ближайшую перспективу.

Целью настоящей работы является анализ методом периодичностей временного ряда средних годовых значений уровня воды Амударьи у населенного пункта Саманбай, расположенного в Нукусском районе Каракалпакстана Узбекистана. Ряд анализировался за период 1934—2002 гг., выполнялись расчеты поверочного прогноза его значений на 2003—2007 и 2003—2012 гг. и проводилась оценка результатов прогнозирования.

Критерии оценки долгосрочного прогноза временного ряда уровня воды Амударьи

Долгосрочный прогноз уровня воды в реке следует считать оправдавшимся, если разность между его наблюдаемым и рассчитанным значениями не больше допустимой ошибки прогнозирования Δ , равной 0,674 его среднего квадратического отклонения σ [1]:

$$\Delta = 0,674\sigma. \quad (1)$$

Среднее квадратическое отклонение временного ряда рассчитывается следующим образом:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - q_s)^2}{n}}, \quad (2)$$

где Q_i — уровень воды реки в год i ; Q_s — среднее значение уровня за расчетный период; n — продолжительность временного ряда.

Результаты прогнозирования на 5- и на 10-летний интервал оцениваются по сумме оправдавшихся прогнозов за отдельные годы. Их качество также определяется по сумме квадратов ошибок годовых прогнозов на этих интервалах и по средней квадратической ошибке прогнозирования. Средняя квадратическая ошибка прогнозирования σ_n равна квадратному корню из отношения суммы квадратов ошибок и длины интервала поверочного прогноза.

Успешный долгосрочный прогноз уровня воды в реке должен быть не хуже его будущей оценки по среднему значению. Среднее значение ряда уровня воды Амударьи за 1934–2002 гг. составило 1,171 м, среднее квадратическое отклонение — 0,794 м, а допустимая ошибка прогнозирования — 0,535 м. Однако поскольку уровень воды в реке в результате разбора ее стока на нужды сельского хозяйства упал и систематически находится на низких отметках, то результаты прогнозов целесообразно сопоставить не только с его средним значением за весь период наблюдений, но и средним значением за последние десятилетия — временной интервал низкого уровня воды 1978–2002 гг. При этом, допустимая ошибка прогноза за временной интервал низкого уровня воды Амударьи должна быть ниже, чем за весь период наблюдений 1934–2002 гг., так как среднее квадратическое отклонение рассчитывается без учета падения уровня воды от высоких значений первых десятилетий периода наблюдений к низким.

Среднее значение уровня воды Амударьи за 1978–2002 гг. равно 0,262 м. Среднее квадратическое отклонение и допустимая ошибка прогнозирования составили соответственно 0,229 и 0,155 м.

Метод периодичностей при анализе временного ряда уровня воды Амударьи

Метод периодичностей основан на аппроксимации гидрометеорологического временного ряда синусоидальными функциями последовательно с пошаговым изменением периода. Амплитуда, фаза и постоянное значение, около которого колеблется наилучшая аппроксимирующая синусоида, рассчитываются методом наименьших квадратов. Для каждого периода рассчитываются суммы квадратических разностей временного ряда и наилучшей аппроксимирующей синусоиды [2]. У определенных периодов отмечаются минимумы сумм квадратических разностей между наилучшей аппроксимирующей синусоидой и значениями временного ряда. Минимум суммы квадратов разности между аппроксимирующей синусоидой и временным рядом в зависимости от периода аппроксимации может быть признаком присутствия здесь периодичности [3, 4].

На рис. 1а представлены колебания уровня воды р. Амударья у населенного пункта Саманбай. Период синусоиды, аппроксимирующей ряд уровня воды с наименьшей суммой квадратов разностей с ним, оказался равным 104 года. Корреляционное отношение этой синусоиды и ряда уровня воды равно 0,911.

Были установлены и другие периоды, у которых аппроксимирующие синусоиды характеризуются локальным минимумом сумм квадратических разностей с

временным рядом. Их длина составила 18, 36, 25 лет и др. Корреляционные отношения синусоид с остальными периодами и временного ряда уровня воды Амударьи не превышают 0,241.

На рис. 1б показан остаточный ряд — разность ряда уровня воды р. Амударьи и аппроксимирующей его синусоиды с периодом 104 года. К каждому значению этой разности прибавлена единица, чтобы они были не меньше 0. Этот остаточный ряд также проанализирован методом периодичностей, в результате чего наименьшая сумма его квадратических разностей с аппроксимирующими синусоидами установлена у периода длиной 31 год. Корреляционное отношение остаточного ряда и синусоиды с периодом 31 год равно 0,516. У периодов с длинами 19, 5 и 12 лет отмечаются локальные минимумы суммы квадратов разностей остаточного ряда и аппроксимирующих его синусоид. Корреляционное отношение этих синусоид и остаточного ряда существенно ниже, чем 0,516.

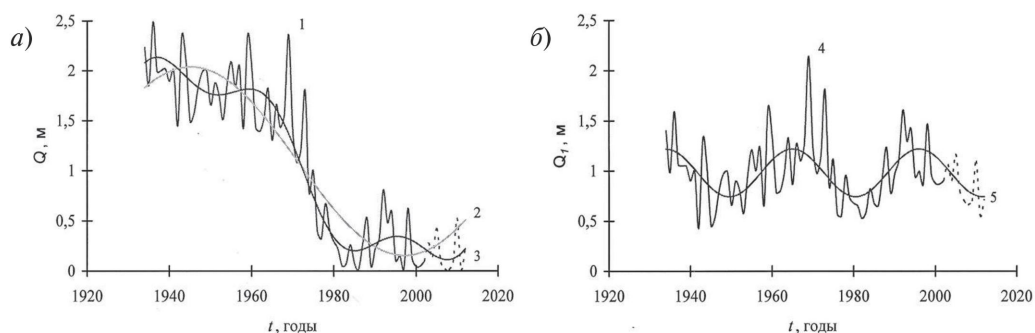


Рис. 1. Колебания уровня воды Амударьи у н. п. Саманбай:

- 1 — временной ряд уровня (пунктиром показан интервал поверочного прогноза 2003–2012 гг.); 2 — аппроксимирующая синусоида с периодом 104 года ($\eta_2 = 0,911$); 3 — комбинация синусоид с периодами 104 года и 31 год ($\eta_3 = 0,936$); 4 — остаточный ряд, рассчитанный по разности ряда уровня воды и синусоиды с периодом 104 года; 5 — аппроксимирующая синусоида с периодом 31 год ($\eta_5 = 0,516$)

Поверочные прогнозы уровня воды Амударьи будем рассчитывать по синусоиде с периодом 104 года и ее комбинации с синусоидой с периодом 31 год, поскольку у этих синусоид наибольшая корреляция соответственно с временным рядом уровня воды Амударьи и его остатком. Синусоиды с периодами 104 года и 31 год объединены по методологии множественной корреляции [5].

Поверочные прогнозы уровня воды Амударьи

На рис. 1а, б пунктиром показан интервал поверочного прогноза 2003–2012 гг. Значения корреляционных отношений с временным рядом уровня воды Амударьи синусоиды с периодом 104 года, а также ее комбинации с синусоидой с периодом 31 год в подписи под рисунками обозначены соответственно η_2 и η_3 . Корреляционное отношение остаточного ряда и аппроксимирующей его синусоиды с периодом 31 год обозначено через η_5 . Прогнозы рассчитывались как остаточного ряда по синусоиде с

периодом 31 год, так и основного ряда. Среднее значение остаточного ряда составило 1 м, среднее квадратическое отклонение — 0,328 м, а допустимая ошибка прогнозирования — 0,221 м.

В табл. 1 в столбцах соответственно 1, 2, 3 и 4 указываются годы поверочного интервала, погодичные значения остаточного ряда $Q_{\text{фо}}$ этих лет, их разности со средним значением этого ряда $Q_{\text{со}} - Q_{\text{фо}}$ и квадраты этих разностей, $(Q_{\text{со}} - Q_{\text{фо}})^2$. В столбцах 5, 6 и 7 представлены значения синусоиды с периодом 31 год, аппроксимирующей остаточный ряд уровня воды Амударьи, ее разностей со значениями этого ряда за соответствующие годы и квадраты этих разностей.

Таблица 1

Результаты прогнозирования остаточного ряда уровня воды Амударьи

t , годы	$Q_{\text{фо}}$, м	$Q_{\text{со}} - Q_{\text{фо}}$, м	$(Q_{\text{со}} - Q_{\text{фо}})^2$, м ²	$Q_{31\text{о}}$, м	$Q_{31\text{о}} - Q_{\text{фо}}$, м	$(Q_{31\text{о}} - Q_{\text{фо}})^2$, м ²
1	2	3	4	5	6	7
2003	1,0671	0,0671	0,004502	1,0166	-0,0505	0,00255
2004	0,9021	-0,0979	0,009584	0,9685	0,0664	0,004409
2005	1,1675	0,1675	0,028056	0,9209	-0,2466	0,060812
2006	0,8027	-0,1973	0,038927	0,8758	0,0731	0,005344
2007	0,7038	-0,2962	0,087734	0,8350	0,1312	0,017213
2008	0,6629	-0,3371	0,113636	0,8003	0,1374	0,018879
2009	0,6995	-0,3005	0,0903	0,7730	0,0735	0,005402
2010	1,1022	0,1022	0,010445	0,7542	-0,348	0,121104
2011	0,5555	-0,4445	0,19758	0,7448	0,1893	0,035834
2012	0,7172	-0,2828	0,079976	0,7450	0,0278	0,000773
		число верных прогнозов	S/σ_n		число верных прогнозов	S/σ_n
2003–2007		4	0,169/0,184		4	0,090/0,134
2003–2012		5	0,661/0,257		8	0,272/0,165

В двух нижних строках столбцов 3, 4 и 6, 7 производится оценка результатов прогнозирования остаточного ряда уровня воды Амударьи по его среднему значению и по синусоиде с периодом 31 год. Прогноз по среднему значению на 2003–2007 гг. оправдался 4 раза. Он не оправдался только в 2007 г. Сумма квадратов его ошибок составила 0,169 м², а средняя квадратическая ошибка прогнозирования — 0,184 м. При прогнозировании остаточного ряда уровня воды Амударьи на 2003–2012 гг. по среднему значению оправдалось 5 прогнозов. На втором пятилетии прогноз оправдался в 2010 г. Сумма квадратов ошибок прогнозирования составила 0,661 м². Его средняя квадратическая ошибка равна 0,257 м.

По синусоиде с периодом 31 год на интервале 2003–2007 гг. оправдалось 4 прогноза, а на всем интервале 2003–2012 гг. — 8 прогнозов. Прогнозы не оправдались на 2005

и 2010 г. Сумма квадратов ошибок прогноза с заблаговременностью 5 лет составила $0,090 \text{ м}^2$, а его средняя относительная ошибка — 0,134. При прогнозировании остаточного ряда Амударьи с заблаговременностью 10 лет сумма квадратов ошибок равна 0,272. Средняя относительная ошибка прогнозирования составила 0,165.

При прогнозировании остаточного ряда уровня воды с заблаговременностью 5 лет оправдалось столько же прогнозов, что и по среднему значению. Сумма квадратов ошибок и средняя квадратическая ошибка прогнозирования оказались ниже по синусоиде с периодом 31 год. При прогнозировании на весь поверочный интервал по синусоиде с периодом 31 год прогнозов оправдалась больше, а сумма квадратов ошибок и средняя квадратическая ошибка прогнозирования оказались меньше, чем по среднему значению этого ряда. Таким образом, прогнозы ряда остаточного члена уровня воды Амударьи на 2003–2007 гг. и на 2003–20012 гг. по синусоиде с периодом 31 год оказались лучше, чем по среднему значению.

В табл. 2 представлены результаты прогнозирования уровня воды р. Амударья, сопоставленные с прогнозными оценками по среднему значению его временного ряда. Во 2, 3 и 4 столбцах этой таблицы указаны соответственно фактический уровень воды за соответствующие годы, его разности со средним значением уровня воды всего ряда и квадраты этих разностей. Годы приведены в первом столбце.

В 5 столбце приведены результаты расчетов уровня воды Амударьи по синусоиде с периодом 104 года, а в 8 — по комбинации синусоид с периодами 104 года и 31 год. В 7 и 9 столбцах указаны разности уровня воды Амударьи, рассчитанного соответственно по синусоиде с периодом 104 года и по ее комбинации с синусоидой с периодом 31 год и фактического уровня. В 8 и 10 столбцах представлены квадраты этих разностей.

В двух нижних строках проводится анализ и обобщение результатов прогнозирования. В 3, 6 и 9 столбцах представлены числа оправдавшихся прогнозов по этим методикам с заблаговременностью соответственно 5 и 10 лет. В 4, 7 и 10 столбцах рассчитаны суммы квадратов ошибок прогнозов и их средние квадратические ошибки.

По среднему значению всего временного ряда на всем поверочном интервале 2003–2012 гг. не оправдалось ни одного прогноза. При прогнозировании с заблаговременностью 5 лет сумма квадратов ошибок и средняя квадратическая ошибка оказались равными соответственно $4,936 \text{ м}^2$ и 0,994 м. На всем интервале поверочного прогноза сумма квадратов его ошибок и средняя квадратическая ошибка составили соответственно $10,111 \text{ м}^2$ и 1,006 м.

Таким образом, учитывая допустимую ошибку прогнозирования всего ряда уровня воды Амударьи, видно, что при расчетах будущего уровня по синусоиде с периодом 104 года и по ее комбинации с синусоидой с периодом 31 год с заблаговременностью 5 и 10 лет оправдалось равное число прогнозов. Но сумма квадратов ошибок прогнозирования на 2003–2007 и 2003–2012 гг. и его средняя квадратическая ошибка по комбинации синусоид с периодами 104 года и 31 год меньше, чем по синусоиде с периодом 104 года. Значит результаты прогноза на 5 и на 10 лет вперед по комбинации синусоид с периодами 104 года и 31 год лучше, чем по синусоиде с периодом 104 года. Прогнозы по среднему значению всего ряда хуже, чем по синусоиде с периодом 104 года и по ее комбинации с синусоидой с периодом 31 год.

Таблица 2

Результаты прогнозирования ряда уровня воды Амударьи, сопоставленные с оценками по его среднему значению

t , ГОДЫ	Q_{ϕ} , м	$Q_{\text{ср}} - Q_{\phi}$, м	$(Q_{\text{ср}} - Q_{\phi})^2$, м ²	$Q_{\text{дл}}$, м	$Q_{\text{дл}} - Q_{\phi}$, м	$(Q_{\text{дл}} - Q_{\phi})^2$, м ²	$Q_{\text{дл31}}$, м	$Q_{\text{дл31}} - Q_{\phi}$, м	$(Q_{\text{дл31}} - Q_{\phi})^2$, м ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2003	0,278	−0,893	0,798	0,211	−0,067	0,004	0,192	0,086	0,007
2004	0,134	−1,037	1,075	0,232	0,098	0,010	0,164	−0,030	0,001
2005	0,424	−0,747	0,558	0,257	−0,168	0,028	0,141	0,283	0,080
2006	0,087	−1,084	1,176	0,284	0,197	0,039	0,123	−0,036	0,001
2007	0,018	−1,153	1,329	0,314	0,296	0,088	0,113	−0,095	0,009
2008	0,010	−1,161	1,347	0,348	0,337	0,114	0,112	−0,101	0,010
2009	0,083	−1,088	1,184	0,383	0,300	0,090	0,121	−0,038	0,001
2010	0,524	−0,647	0,418	0,422	−0,102	0,010	0,142	0,383	0,146
2011	0,018	−1,153	1,328	0,463	0,445	0,198	0,175	−0,156	0,024
2012	0,223	−0,948	0,898	0,506	0,283	0,080	0,220	0,004	0,000
		число верных прогнозов	S/σ_n		число верных прогнозов	S/σ_n		число верных прогнозов	S/σ_n
2003–2007		0	4,936/0,994		5	0,169/0,184		5	0,099/0,141
2003–2012		0	10,111/1,006		10	0,661/0,257		10	0,281/0,168

В табл. 3 анализируются результаты прогнозирования уровня воды Амударьи с учетом среднего значения на интервале его низких значений 1978–2002 гг. Разности фактического уровня воды и среднего значения на низком интервале его временного ряда рассчитаны в 3 столбце, а в 4 — квадраты этих разностей. В 5 и 8 столбцах указываются значения уровня воды Амударьи, рассчитанные соответственно по синусоиде с периодом 104 года и по ее комбинации с синусоидой с периодом 31 год, а в 6 и 9 столбцах — их разности с фактическими значениями уровня. Квадраты разностей соответственно ряда уровня воды и синусоиды с периодом 104 года и ее комбинации с синусоидой с периодом 31 год, и их суммы, приведены в табл. 2.

Таблица 3

Результаты прогнозирования ряда уровня воды Амударьи, сопоставленные с оценками по среднему значению его временного интервала 1978–2002 гг.

t , годы	Q_{ϕ} , м	$Q_{\text{срк}} - Q_{\phi}$, м	$(Q_{\text{срк}} - Q_{\phi})^2$, м ²	$Q_{\text{дл}}$, м	$Q_{\text{дл}} - Q_{\phi}$, м	$Q_{\text{дл31}}$, м	$Q_{\text{дл31}} - Q_{\phi}$, м
1	2	3	4	5	6	8	9
2003	0,278	0,016	0,000	0,211	–0,067	0,192	0,086
2004	0,134	–0,128	0,016	0,232	0,098	0,164	–0,030
2005	0,424	0,162	0,026	0,257	–0,168	0,141	0,283
2006	0,087	–0,175	0,031	0,284	0,197	0,123	–0,036
2007	0,018	–0,244	0,059	0,314	0,296	0,113	–0,095
2008	0,010	–0,251	0,063	0,348	0,337	0,112	–0,101
2009	0,083	–0,179	0,032	0,383	0,300	0,121	–0,038
2010	0,524	0,262	0,069	0,422	–0,102	0,142	0,383
2011	0,018	–0,243	0,059	0,463	0,445	0,175	–0,156
2012	0,223	–0,038	0,001	0,506	0,283	0,220	0,004
		число верных прогнозов	S/σ_n		число верных прогнозов		число верных прогнозов
2003–2007		2	0,133/0,163		2		4
2003–2012		3	0,358/0,189		3		7

В нижних двух строках табл. 3 приводятся числа оправдавшихся прогнозов, а также сумма квадратов ошибок и средняя квадратическая ошибка уровня воды Амударьи по среднему значению ее ряда за 1978–2002 гг. При прогнозировании по этому среднему значению с заблаговременностью 5 и 10 лет оправдалось соответственно 2 и 3 прогноза. Сумма квадратов их ошибок и средняя квадратическая ошибка при прогнозах на 2003–2007 гг. составили соответственно 0,133 м² и 0,163 м. При расчетах будущего уровня воды Амударьи с заблаговременностью 10 лет сумма квадратов ошибок и средняя квадратическая ошибка оказались равными 0,358 м² и 0,189 м.

По синусоиде с периодом 104 года на поверочном интервале 2003–2007 гг., с учетом допустимой ошибки прогнозирования, связанной со средним значением ряда

уровня воды Амударьи 1978–2002 гг., оправдалось 2 прогноза, а при прогнозировании с заблаговременностью 10 лет — 3 прогноза. По комбинации этой синусоиды и синусоиды с периодом 31 год за 2003–2007 гг. оказались верными 4 прогноза, а за 2003–2012 гг. — 7 прогнозов.

При прогнозировании уровня воды Амударьи по синусоиде с периодом 104 года и по среднему значению его ряда за 1978–2002 гг. с заблаговременностью 5 и 10 лет оправдалось одинаковое число прогнозов. Сумма квадратов ошибок прогнозирования и его средняя квадратическая ошибка по среднему значению меньше, чем по синусоиде с периодом 104 года. Значит, прогноз по среднему значению позднего интервала ряда уровня воды Амударьи на 2003–2007 гг. и 2003–2012 гг. лучше, чем по синусоиде с периодом 104 года.

По комбинации синусоид с периодами 104 года и 31 год прогнозов на 2003–2007 гг. и 2003–2012 гг. оправдалось больше, чем по среднему значению за 1978–2002 гг. (с учетом допустимой ошибки прогнозирования, рассчитанной на этом интервале), а сумма квадратов их ошибок и средняя квадратическая ошибка прогнозирования меньше. Следовательно, прогнозы по комбинации синусоид с периодами 104 года и 31 год с заблаговременностью 5 и 10 лет оказались лучше, чем по среднему значению временного ряда уровня воды Амударьи за 1978–2002 гг.

Заключение

При анализе временного ряда уровня воды Амударьи 1934–2002 гг. методом периодичностей получено, что наименьшая сумма квадратов разностей с ним отмечается у аппроксимирующей синусоиды с периодом 104 года. У остаточного ряда (разности значений ряда уровня воды и синусоиды с периодом 104 года) наименьшая сумма квадратов разностей с ним аппроксимирующей синусоиды получена у периода длиной 31 год. Временной интервал 2003–2012 гг. использован для расчета поверочных прогнозов с заблаговременностью 5 и 10 лет и оценки их результатов.

Рассчитывались поверочные прогнозы остаточного ряда уровня воды Амударьи с периодом 31 год. Их результаты оказались лучше прогностических оценок по среднему значению этого ряда.

Ряд уровня воды Амударьи можно подразделить на временные интервалы его высоких значений по 1970 г., и низких значений, начиная с 1978 г. Поверочные прогнозы рассчитаны по среднему значению за весь период наблюдений и за временной интервал низких значений уровня воды реки. Также они рассчитывались по синусоиде с периодом 104 года и по ее комбинации с синусоидой с периодом 31 год.

Результаты поверочных прогнозов сопоставлялись между собой. Лучшие результаты прогнозирования уровня воды Амударьи с заблаговременностью 5 и 10 лет получены по комбинации синусоид с периодами 104 года и 31 год. Несколько хуже оказались результаты прогнозирования по среднему значению за период 1978–2002 гг. Хуже, чем по среднему значению за этот временной интервал, оказались результаты прогнозирования по синусоиде с периодом 104 года. Результаты прогноза по среднему значению всего временного ряда оказались самыми плохими.

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, № 11, с. 63–73.
3. *Бабкин А.В.* Методика долгосрочного прогноза уровня Ладожского озера и стока р. Невы. // *Учёные записки 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. // *Учёные записки РГГМУ*, 2012, № 23, с. 41–50.
5. *Романовский В.И.* Математическая статистика. — М.-Л.: ГОНТИ НКТП СССР, 1938. — 527 с.