

А.В. Бабкин, Н.И. Семейкин, О.Р. Сидорова

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА И СТОКА РЕКИ НЕВЫ

A.V. Babkin, N.I. Semeykin, O.R. Sidorova

ANALYSIS OF THE TRAINING FORECASTS RESULTS FOR THE WATER LEVEL OF LADOGA LAKE AND THE RUNOFF OF THE NEVA RIVER

Погодичные прогнозы уровня воды Ладожского озера и стока р. Невы на 2004–2010 гг., рассчитанные по сумме синусоид, выявленных методом «Периодичностей», сопоставлены с фактическими данными. Выполнена оценка результатов прогнозирования, включая подсчет оправдавшихся прогнозов, сумм квадратов ошибок прогнозов, их фактических и относительных ошибок. Проведено сравнение результатов прогнозирования уровня Ладожского озера и стока р. Невы по суммам синусоид и по их средним значениям. Результаты прогнозов по суммам синусоид оказались вполне удовлетворительными.

Ключевые слова: долгосрочный прогноз, уровень воды, Ладожское озеро, сток, р. Нева.

Annual training forecasts for the water level of Ladoga Lake and the runoff of the Neva River from 2004 till 2010 years, calculated by sum of the sinusoids, revealed by the method of «Periodicities» are compared with actual data. Assessment of the training forecasts results, including the value of satisfied forecasts, the sum of square of differences errors of the training forecasts, the actual and relative errors is made. Comparison of the training forecasts results for the water level of Ladoga Lake and the runoff of the Neva River by sum of the sinusoids and their average values is made. The training forecasts results by sum of the sinusoids proved to be satisfying.

Key words: long range forecast, the water level, Ladoga Lake, the runoff, the Neva River.

Введение

Временные ряды уровня воды Ладожского озера и стока р. Невы характеризуются значительной изменчивостью. Их колебания влияют на многие отрасли современного производства Северо-Западного федерального округа и г. Санкт-Петербурга, связанных с использованием водных ресурсов. Поэтому необходимо надежно предсказывать уровень воды озера и сток р. Невы на ближайшую перспективу. При прогнозных оценках стока рек, уровней воды озер, водных ресурсов географических регионов и административных территорий широко используются различные подходы к выявлению скрытых гармонических закономерностей в их колебаниях [2, 6, 7, 8 и др.]. Колебания уровня воды Ладожского озера и стока р. Невы за 1859–2003 гг. проанализированы методом «Периодичностей». Выявленные гармоники были сложены, и их суммы преобразованы в прогностические выражения. Были рассчитаны погодичные прогнозы уровня озера и стока реки Невы на 2004–2010 гг. [3].

Целью настоящего исследования является сопоставление рассчитанных прогнозов уровня воды Ладожского озера и стока р. Невы с наблюдаемыми их значениями и оценка результатов прогнозирования.

Критерии оценки результатов прогнозирования стока рек и уровней озер на ближайшую перспективу

Погодичные прогнозы уровня воды озера и стока реки на ближайшую перспективу считаются оправдавшимися, если разности предсказанных и фактических их значений меньше допустимой ошибки $\Delta_{\text{доп}}$, равной 0,674 от среднего квадратического отклонения временных рядов этих характеристик [1]. Для оценки результатов прогнозов на временном интервале используется сумма оправдавшихся погодичных прогнозов. Результаты прогнозов также оцениваются с использованием суммы квадратов их ошибок S . Ошибка прогноза — это разность между наблюдаемым и рассчитанным значениями анализируемой характеристики. С суммой квадратов ошибок прогноза связаны его осредненная фактическая и относительная ошибки.

Осредненная фактическая ошибка прогноза δr оценивается по формуле:

$$\delta r = 0,647 \sqrt{\frac{S}{l}}, \quad (1)$$

где l — число лет в прогностическом интервале (в данном случае он составляет 7 лет). При делении осредненной фактической ошибки прогноза на его допустимую ошибку получим относительную ошибку прогноза $\delta r / \Delta_{\text{доп}}$.

Успешные прогнозы уровня воды озера и стока реки на ближайшую перспективу должны быть не хуже их оценок на будущее по среднемногoletним значениям их временных рядов.

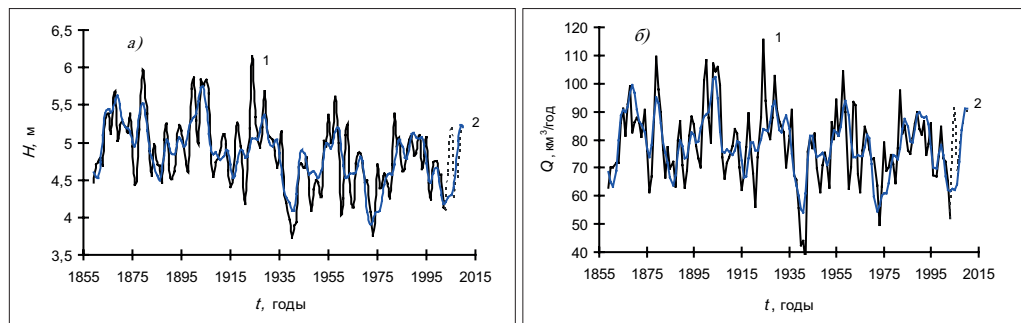
Результаты прогнозов уровня Ладожского озера и стока р. Невы на 2004–2010 гг.

За период 1859–2003 гг. среднее значение отметки уровня озера составило 4,838 м, а его среднее квадратическое отклонение оказалось равным 0,468 м. Допустимая ошибка прогнозирования уровня озера равна 0,315 м. Среднее значение стока р. Невы составило 78,28 км³/год, среднее квадратическое отклонение — 13,27 км³/год. Допустимая ошибка прогнозирования стока оказалась равной 8,94 км³/год.

При анализе временного ряда уровня Ладожского озера методом «Периодичностей» в его колебаниях были выявлены периоды с длиной соответственно 29, 167, 11, 13, 5, 8, 21, 41 и 16 лет. В колебаниях стока р. Невы были установлены периоды той же длины, только вместо периода 167 лет была получена синусоида с периодом 151 год. Выявленные синусоиды в колебаниях уровня Ладожского озера и стока р. Невы соответственно складывались. Корреляционное отношение временного ряда уровня Ладожского озера и суммы всех выявленных гармоник составило 0,769. Корреляционное отношение временного ряда стока р. Невы и суммы указанных синусоид оказалось равным 0,729.

На рисунке представлены соответственно временные ряды уровня воды озера и стока Невы и суммы выявленных синусоид. Пунктиром на этом рисунке отмечаются

значения соответственно уровня озера и стока на поверочном интервале 2004–2010 гг. Кривые сумм синусоид довольно хорошо отражают особенности моделируемых рядов.



Изменение уровня воды Ладожского озера (а) и стока вод по р. Неве (б):

1 – данные наблюдений (пунктиром показан поверочный участок 2004–2010 гг.), 2 – сумма периодичностей

В табл. 1 и 2 во втором столбце приводятся данные для каждого года поверочного интервала соответственно по фактическому уровню воды Ладожского озера и стоку р. Невы — H_{ϕ} и Q_{ϕ} . Разности фактических и средних за период наблюдений значений уровня озера и стока, а также квадраты этих разностей рассчитаны в третьих и четвертых столбцах таблиц. В пятом столбце табл. 1 и 2 приводятся прогнозные оценки уровня Ладожского озера и стока р. Невы — H_p и Q_p соответственно, в шестом столбце — соответственно разности прогнозных и фактических значений уровня озера и стока, в седьмом столбце — квадраты этих разностей. В третьей строке снизу в третьем и шестом столбцах таблиц приводятся соответственно числа оправдавшихся прогнозов уровня Ладожского озера и стока р. Невы по среднему значению и по сумме выявленных синусоид. В третьей строке снизу четвертого и седьмого столбцов рассчитаны суммы квадратов ошибок прогнозов соответственно уровня озера и стока за 7 лет. В предпоследней и последней строках этих столбцов приводятся результаты расчетов соответственно фактической и относительной ошибок прогнозирования уровня озера (δr_H и $\delta r/\Delta_H$) и стока (δr_Q и $\delta r/\Delta_Q$) по среднему значению временного ряда и по сумме выявленных синусоид.

Прогноз уровня Ладожского озера по среднему значению оправдался 3 раза. Сумма квадратов ошибок прогноза на 2004–2010 гг. оказалась равной 0,909 м². Фактическая и относительная ошибки прогноза уровня озера по среднему значению оказались равными соответственно 0,243 м и 0,771. Прогноз уровня озера по сумме выявленных синусоид оправдался 4 раза. Сумма квадратов ошибок прогноза на поверочном интервале составила 1,217 м², а фактическая и относительная ошибки прогнозирования — 0,281 м и 0,892.

Прогноз стока реки Невы на 2004–2010 гг. по среднему значению также оправдался 3 раза. Сумма квадратов ошибок прогнозирования равна 587,5 км³/год, фактическая ошибка прогноза составила 6,175 км³/год, а относительная ошибка — 0,691. При прогностических расчетах по суммам синусоид прогноз стока оправдался 5 раз. Фактическая ошибка прогнозов по суммам синусоид равна 8,323 км³/год, а относительная ошибка этого прогноза — 0,931.

Таблица 1

Оценка результатов прогнозирования уровня воды Ладожского озера

t , год	H_{ϕ} , м	$H_{\phi} - H_{cp}$, м	$(H_{\phi} - H_{cp})^2$, м ²	H_p , м	$H_p - H_{\phi}$, м	$(H_p - H_{\phi})^2$, м ²
2004	4,61	-0,225	0,051	4,26	-0,353	0,124
2005	5,21	0,370	0,137	4,30	-0,908	0,824
2006	4,29	-0,553	0,305	4,40	0,115	0,013
2007	4,44	-0,394	0,156	4,66	0,217	0,047
2008	4,60	-0,241	0,058	5,01	0,413	0,171
2009	5,04	0,202	0,041	5,23	0,190	0,036
2010	5,24	0,402	0,162	5,20	-0,040	0,002
S_H		3	0,909		4	1,217
δr_H			0,243			0,281
$\delta r/\Delta_H$			0,771			0,892

Таблица 2

Оценка результатов прогнозирования стока р. Невы

t , год	Q_{ϕ} , км ³ /год	$Q_{\phi} - Q_{cp}$, км ³ /год	$(Q_{\phi} - Q_{cp})^2$, км ³ /год	Q_p , км ³ /год	$Q_p - Q_{\phi}$, км ³ /год	$(Q_p - Q_{\phi})^2$, км ³ /год
2004	75,92	-2,37	5,62	62,4	-13,52	182,66
2005	91,35	13,07	170,69	62,1	-29,25	855,56
2006	67,50	-10,79	116,41	64,0	-3,50	12,22
2007	75,07	-3,22	10,37	72,0	-3,07	9,40
2008	81,06	2,77	7,69	83,5	2,44	5,96
2009	90,20	11,92	142,07	91,0	0,80	0,63
2010	89,89	11,60	134,65	90,9	1,01	1,02
S_Q		3	587,50		5	1067,45
δr_Q			6,175			8,323
$\delta r/\Delta_Q$			0,691			0,931

Таким образом, оправдываемость прогноза уровня Ладожского озера и стока р. Невы на 2004–2019 гг. по сумме синусоид оказалась выше, чем по среднему значению. Но суммы квадратов ошибок прогнозов соответственно уровня озера и стока, их фактическая и относительная ошибки по суммам выявленных синусоид оказались выше, чем по средним значениям. Это произошло, в первую очередь, поскольку в 2005 г. уровень озера и сток были экстремально высокими, тогда как в соседние годы эти характеристики были меньше их средних значений.

Ряд наблюдений закончился 2003 г., в который отмечались экстремально низкие значения уровня озера и стока. Прогнозы продолжили модели рядов на интервале 1859–2003 гг. с минимального значения, и не отразили максимум 2005 г. Тем не менее, они довольно точно указали на скачок уровня озера и стока в 2006–2010 гг.

Заключение

Оправдываемость прогнозов уровня Ладожского озера и стока р. Невы на 2004–2010 гг. по сумме синусоид оказалась выше, чем по среднему значению. Прогнозы четко предсказали повышение уровня озера и стока в 2006–2010 гг. Превышение сумм квадратов ошибок прогнозов по суммам синусоид, их фактических и относительных ошибок над этими характеристиками прогнозирования по среднему значению обусловлено неверным прогнозом значений уровня озера и стока только одного года из семи. Поэтому результаты прогнозирования следует оценить не ниже, чем как удовлетворительные.

Литература

1. *Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д.* Курс гидрологических прогнозов. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 419 с.
ApolloV B.A., Kalinin G.P., Komarov V.D. Kurs gidrologicheskikh prognozov. — L.: Gidrometeoizdat, 1974. — 419 s.
2. *Бабкин А.В.* Усовершенствованная модель оценки периодичности изменений уровня и элементов водного баланса Каспийского моря. // *Метеорология и гидрология*, 2005, № 11, с. 63–73.
Babkin A.V. Usovershenstvovannaya model' otsenki periodichnosti izmeneniy urovnya i elementov vodnogo balansa Kaspiyskogo morya. // *Meteorologiya i gidrologiya*, 2005, № 11, s. 63–73.
3. *Бабкин А.В.* Методика долгосрочного прогноза уровня Ладожского озера и стока р. Невы. // *Ученые записки РГГМУ*, 2008, № 8, с. 31–37.
Babkin A.V. Metodika dolgosrochnogo prognoza urovnya Ladozhskogo ozera i stoka r. Nevy. // *Uchenye zapiski RGGMU*, 2008, № 8, s. 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, № 2, с. 168–173.
Golitsyn G.S., Efimova L.K., Mokhov I.I. i dr. Gidrologicheskie rezhimy Ladozhskogo i Onezhskogo ozer i ikh izmeneniya. // *Vodnye resursy*, 2002, № 2, s. 168–173.
5. *Линник Ю.В.* Метод наименьших квадратов. — М.: Наука, 1962. — 350 с.
Linnik Yu.V. Metod naimen'shikh kvadratov. — M.: Nauka, 1962. — 350 s.
6. *Сикан А.В.* Стохастическая модель многолетних колебаний речного стока и методика оценки ее параметров. // *Ученые записки РГГМУ*, 2008, № 8, с. 21–27.
Sikan A.V. Stokhasticheskaya model' mnogoletnikh kolebaniy rechnogo stoka i metodika otsenki ee parametrov. // *Uchenye zapiski RGGMU*, 2008, № 8, s. 21–27.
7. *Шлямин Б.А.* Сверхдолгосрочный прогноз уровня Каспийского моря. // *Изв. ВГО*, 1962, т. 94, вып. 1, с. 26–33.
Shlyatin B.A. Sverkhdolgosrochnny prognoz urovnya Kaspiyskogo morya. // *Izv. VGO*, 1962, t. 94, vyp. 1, s. 26–33.
8. *Шнитников А.В.* Внутривексовая изменчивость общей увлажненности бассейна Ладожского озера (Сб. статей «Гидрологический режим и водный баланс Ладожского озера»). — Л.: Изд-во ЛГУ, 1966, с. 5–57.
Shnitnikov A.V. Vnutrivekovaya izmenchivost' obshchey uvlazhnennosti basseyna Ladozhskogo ozera (Sb. statey «Gidrologicheskiy rezhim i vodnyy balans Ladozhskogo ozera»). — L.: Izd-vo LGU, 1966, s. 5–57.

Исследование проведено при поддержке гранта DAAD и Министерства образования и науки Российской Федерации РКЗ: А/13/74537.