

*Н. Н. Завалишин<sup>1\*</sup>, А. В. Игнатов<sup>1,2</sup>, Е. Г. Бочкарева<sup>1</sup>, Н. В. Пальчикова<sup>1</sup>*

## **Прогнозирование квартального, месячного и декадного притока в Новосибирское водохранилище**

<sup>1</sup> Сибирский научно-исследовательский гидрометеорологический институт,  
г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Институт географии СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация,  
\* e-mail: znn@sibnigmi.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются две задачи прогноза притока в Новосибирское водохранилище во II и III кварталах года с месячной и декадной детализацией и разной заблаговременностью. В первой задаче по данным известным до 20 марта текущего года строится прогноз гидрографа притока на апрель-сентябрь с месячным и декадным разрешением по времени. Во второй задаче прогноз притока на очередной квартал, месяц и декаду составляется накануне их начала. Для получения искомого результата совместно применяется несколько способов решения этих задач. В частности, используются элементы технологии стохастического моделирования, построение локально-климатических моделей и выбор годов-аналогов. В настоящее время результаты прогнозирования по описываемым алгоритмам проходят оперативную проверку в Гидрометцентре Западно-Сибирского УГМС.

**Ключевые слова:** прогноз, приток, водохранилище, Новосибирск

*N. N. Zavalishin<sup>1\*</sup>, A. V. Ignatov<sup>1,2</sup>, E. G. Bochkareva<sup>1</sup>, N. V. Palchikova<sup>1</sup>*

## **Forecasting quarterly, monthly and decadal inflow to the Novosibirsk reservoir**

<sup>1</sup> Siberian Research Hydrometeorological Institute, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup> V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russian Federation  
\* e-mail: znn@sibnigmi.ru

**Abstract.** The article considers two tasks of forecasting the inflow to the Novosibirsk reservoir in the II and III quarters of the year with monthly and decadal detail and different timing. In the first task, according to the data known until March 20 of this year, the forecast of the inflow hydrograph for April-September is built with monthly and decadal time resolution. In the second task, the inflow forecast for the next quarter, month and decade is made on the eve of their start. To obtain the desired result, several methods of solving these problems are used together. In particular, elements of stochastic modeling technology, the construction of local climate models and the selection of the years-analogues are used. Currently, the results of forecasting according to the described algorithm are undergoing operational verification at the Hydrometeorological Center of the West Siberian UGMS.

**Keywords:** forecast, inflow, reservoir, Novosibirsk

### ***Введение***

С момента заполнения Новосибирского водохранилища до проектной отметки стоит проблема прогноза гидрографа притока на теплый период года. Известен ряд работ в этом и смежных направлениях. Так исследования Харшана

Ш.А. заложили основу в создании метода долгосрочного прогноза гидрографа [1]. Работы Еремина В.В. по применению метода главных компонент в гидрологии [2], исследования Буракова Д.А. с соавторами [3] также известны специалистам. Отметим работы Понько В.А. по долгосрочному и климатическому прогнозу притока воды в озера и водохранилища Сибири, основанные на учете солнечно-земных связей [4]. Используемая в настоящей работе «технология стохастического моделирования» ранее применялась для решения задач гидрологического прогноза на других водных объектах. [5-7].

Однако качество долгосрочных прогнозов гидрографа притока на II и III кварталы года пока еще нельзя считать достаточно приемлемым для практического использования. Особенно это замечание относится к третьему кварталу. В связи с этим, целью настоящего исследования являются попытка поиска подходов, в рамках которых, возможно, удастся повысить фактическую точность прогнозов притока в Новосибирское водохранилище.

### *Использованные методы и материалы*

В работе применяются три различных методических подхода к составлению прогноза гидрометеоэлементов. Эти подходы базируются на построении Локально-климатических моделей (ЛКМ), применении технологии стохастического моделирования (ТСМ) и декадной детализации месячных прогнозов с выбором годов-аналогов [8-10].

Для решения поставленных задач используются метеорологические данные по водосбору р.Оби, в частности: суммы осадков месячного разрешения по сети ГМС находящейся в водосборе Верхней Оби: Кош-Агач, Усть-Кокса, Онгудай, Чемал, Бийск, Барнаул, Новосибирск. По этой же сети берутся данные по температуре нижней атмосферы. Кроме того, в качестве возможных предикторов рассматриваются расходы воды декадного разрешения по постам: Обь-Камень-на-Оби, Обь-Барнаул, Бия-Бийск, Катунь-Сростки, Бердь-Старый Искитим, Чумыш-Тальменка. Все данные, использованные для построения моделей, были взяты из базы данных технологии «Кассандра-Сибирь» [11].

### *Результаты исследования*

Решение первой задачи начинается с построения (с использованием ТСМ) моделей зависимости месячного притока в Новосибирское водохранилище от формирующих его метеорологических факторов. Предельная оценка точности аппроксимации притока условным средним, вычисляемым с использованием подобных моделей, по критерию  $S/\sigma$  (отношение среднеквадратичной ошибки  $S$  модельной аппроксимации соответствующего ряда к его стандартному отклонению  $\sigma$ ) лежит в диапазоне 0,5-0,6.

В нашем случае в качестве метеорологических факторов в моделях формирования месячного притока были задействованы: запас снега за октябрь-март, температура приземной атмосферы и осадки месячного разрешения за апрель-сентябрь текущего года, осадки за III квартал предшествующего года, температура воздуха предзимья (октябрь-ноябрь) и другие.

Для прогностических расчетов температуры и осадков месячного разрешения строятся ЛКМ. На основе этих моделей формируются необходимые прогнозы метеоэлементов. С использованием таких предсказаний и моделей, построенных по ТСМ, выполняется расчет месячного притока в Новосибирское водохранилище на апрель-сентябрь того года, для которого ищется прогноз притока.

Для декадной детализации прогнозов месячных значений притока используется метод аналогов. Выбор года-аналога (или группы таких лет) осуществляется по прогнозу месячного притока и по прогнозу его наиболее существенных предикторов. Для этого по архивным данным находятся год (или годы), в который (в которые) в рассматриваемом месяце названные переменные наиболее близки по значениям к их соответствующим прогнозным оценкам.

Ниже (табл. 1) приведен пример выбора лет аналогов для месячного апрельского притока в 2023 году. В качестве наиболее существенных предикторов для него в соответствующей модели использовались:

- X1- сумма осадков за октябрь-март по Усть-Коксе,
- X2 – сумма среднемесячных температур 2 квартала по Бийску,
- X3 – сумма осадков 3 квартала предшествующего года по Усть-Коксе,
- X4 – осадки за апрель по Чемалу.

*Таблица 1*

Данные для выбора года-аналога для прогноза притока в апреле 2023 года

Год	X1 мм	X2 °C	X3 мм	X4 мм	Приток м <sup>3</sup> /сек
<b>2023</b>	<b>169</b>	<b>13,0</b>	<b>177</b>	<b>40,2</b>	<b>3300</b>
2020	101	14,3	218	11,0	3240
2018	172	11,3	155	44,0	3390
1995	100	10,8	202	69,0	3200
1978	131	11,2	135	31,0	3200

Анализируя таблицу 1, приходим к выводу, что наилучшим годом-аналогом для 2023 года является 2018 год: этот год ближе других по X1, X3, X4 и является вторым по близости X2.

Выбрав год-аналог (2018), используем наблюдавшееся в нем распределение фактического апрельского притока по декадам: 1790 м<sup>3</sup>/сек за первую декаду, 3340 м<sup>3</sup>/сек за вторую и 5030 м<sup>3</sup>/сек за третью. Далее, формируем аналогичное распределение применительно к 2023 году, умножив эти значения на коэффициент  $3300/3390=0,973$ . В итоге получаем прогностические оценки декадного притока в Новосибирское водохранилище в апреле 2023 года, соответственно: 1742 м<sup>3</sup>/сек, 3250 м<sup>3</sup>/сек, 4894 м<sup>3</sup>/сек.

Ранее, по описанному алгоритму был построен прогноз гидрографа притока в Новосибирское водохранилище на II-III кварталы 2022 года (табл. 2).

Таблица 2

Оценка качества прогнозов притока в Новосибирское водохранилище  
во втором и третьем кварталах 2022 года

месяц/квартал	Q прогноз м <sup>3</sup> /сек	Q факт, м <sup>3</sup> /сек	δ доп., м <sup>3</sup> /сек	Ошибка прогноза м <sup>3</sup> /сек	Оправды- ваемость
<b>IV</b>	<b>2576</b>	<b>2530</b>	<b>540</b>	<b>-46</b>	<b>опр.</b>
1	621	837	280	216	опр.
2	2570	3240	600	670	неопр.
3	4537	3520	600	-1017	неопр.
<b>V</b>	<b>3123</b>	<b>2840</b>	<b>600</b>	<b>-283</b>	<b>опр.</b>
1	2763	3070	600	307	опр.
2	3147	2690	500	-457	опр.
3	3460	2760	500	-700	неопр.
<b>VI</b>	<b>3336</b>	<b>2710</b>	<b>600</b>	<b>-626</b>	<b>опр.</b>
1	3097	3210	500	113	опр.
2	3387	2620	500	-767	неопр.
3	3523	2290	500	-1233	неопр.
<b>II кв.</b>	<b>3012</b>	<b>2690</b>	<b>471</b>	<b>-322</b>	<b>опр.</b>
<b>VII</b>	<b>2655</b>	<b>1710</b>	<b>633</b>	<b>-945</b>	<b>неопр.</b>
1	3293	1910	382	-1383	неопр.
2	2490	1620	438	-870	неопр.
3	2183	1590	339	-593	неопр.
<b>VIII</b>	<b>1818</b>	<b>1440</b>	<b>384</b>	<b>-378</b>	<b>опр.</b>
1	1877	1720	261	-157	опр.
2	1980	1380	252	-600	неопр.
3	1597	1230	252	-367	неопр.
<b>IX</b>	<b>1164</b>	<b>914</b>	<b>281</b>	<b>-250</b>	<b>опр.</b>
1	1247	980	230	-267	неопр.
2	1143	915	182	-228	неопр.
3	1102	848	161	-254	неопр.
<b>III кв</b>	<b>1879</b>	<b>1360</b>	<b>369</b>	<b>-519</b>	<b>неопр.</b>

Оценка успешности полученных прогнозов выполнялась по принятому в гидрометеорологии критерию, в соответствии с которым прогноз считается оправдавшимся, если фактическое значение попадает в интервал  $P \pm 0,667\sigma$ , где:  $P$  – математическое ожидание соответствующей прогнозной оценки,  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение прогнозируемого элемента на определенном отрезке ретроспективных данных. Чаще всего такой отрезок - это вся обучающая выборка или временной интервал, на котором по данным о значениях переменной вычисляется её климатическая норма.

В этом примере оправдываемость прогноза обуславливается ошибками предсказания выбранных предикторов месячного притока, точностью моделей, аппроксимирующих зависимость от них этого притока, а также справедливостью гипотезы о совпадении распределения декадного притока в одноименном месяце 2022 года и года-аналога. Кроме того, на конкретные значения параметров оправдываемости в значительной степени влияют выборочные статистические флуктуации, так как оценка этих параметров сделана по данным, относящимся только к одному году.

Рассмотрим теперь вторую задачу - составление прогноза притока в Новосибирское водохранилище на очередной квартал, месяц и декаду. Модели для решения этой задачи разрабатывались в 2021 г с использованием ТСМ. Отдельные результаты построения и авторских испытаний данных моделей изложены в статье [12]. По результатам таких испытаний оценка качества построенных моделей по критерию  $S_{ож}/\sigma$  (отношение ожидаемой среднеквадратичной ошибки ( $S_{ож}$ ) прогноза на очередной период к стандартному отклонению ( $\sigma$ ) всего прогнозируемого ряда) лежит в пределах 0.45-0.6. С увеличением заблаговременности прогноза ожидаемая ошибка возрастает. Например, оценка этого отношения при детализации прогноза на очередной месяц по декадам составляет в среднем 0,5 - для первой декады, 0,6 - для второй декады и 0,7 - для третьей декады.

В 2022 году были проведены оперативные испытания моделей, построенных в рамках решения второй задачи. Поскольку данные о значениях части используемых в этих моделях предикторов на момент составления оперативных прогнозов отсутствовали, то приходилось непосредственно перед прогностическими расчетами корректировать модели с ориентацией их на использование предикторов, по которым имелись необходимые для соответствующего прогноза сведения. Выборочные результаты оценки качества прогнозов притока на очередную декаду по этим моделям приведены в табл. 3.

Понятно, что точность краткосрочного прогноза декадных прогнозов выше, чем долгосрочных. В связи с этим использование аналогичного критерия их оправдываемости и сравнение результатов по этому критерию не совсем корректно. Для краткосрочного прогноза целесообразно использовать более чувствительный критерий. Например, можно понизить уровень допустимой ошибки или, использовать числовое значение модуля отношения фактической ошибки прогноза к указанной в табл. 3 её допустимой величине.

Таблица 3

Оценка качества прогнозов притока на очередную декаду в 2022 году

Декада	Q Прогноз м <sup>3</sup> /с	Q факт, м <sup>3</sup> /с	δ доп., м <sup>3</sup> /с	Ошибка прогноза, м <sup>3</sup> /с	Оправды- ваемость
IV-1	689	837	301	148	опр.
IV-2	2845	3240	815	395	опр.
IV-3	3706	3520	1036	-186	опр.

Декада	Q Прогноз м <sup>3</sup> /с	Q факт, м <sup>3</sup> /с	$\delta$ доп., м <sup>3</sup> /с	Ошибка прогноза, м <sup>3</sup> /с	Оправды- ваемость
V-1	3452	3070	1486	-382	опр.
V-2	2507	2690	751	183	опр.
V-3	2684	2760	791	76	опр.
VI-1	2822	3210	621	388	опр.
VI-2	2706	2620	625	-86	опр.
VI-3	2007	2290	516	283	опр.
VII-1	2005	1910	382	-95	опр.
VII-2	1593	1620	438	27	опр.
VII-3	1422	1590	339	168	опр.
VIII-1	1598	1720	261	122	опр.
VIII-2	1435	1380	252	-55	опр.
VIII-3	1266	1230	252	-36	опр.
IX-1	1083	980	230	-103	опр.
IX-2	877	915	182	38	опр.
IX-3	934	848	161	-86	опр.

### ***Заключение***

Новый метод прогноза гидрографа притока в Новосибирское водохранилище проходит оперативные испытания в Гидрометцентре Западно-Сибирского УГМС в 2022-2023 г.г. В 2022 году получены следующие результаты. Долгосрочный прогноз притока на II, III кварталы оправдался во втором квартале на 100% ежемесячно и на 44% подекадно, а в третьем квартале на 67% ежемесячно и на 11% подекадно. Оправдываемость уточненных прогнозов притока декадного разрешения составила 100%.

Составление долгосрочных прогнозов с высокой пространственной и временной детализацией не имеет значимого практического смысла, так как точность таких прогнозов очень невелика. В нашем случае, для прогноза притока в Новосибирское водохранилище с заблаговременностью до полугода это детализация до декады.

Важно также отслеживать согласованность данных о значениях предикторов прогнозируемой переменной на этапе разработки прогностической модели и при её оперативных испытаниях. Это замечание относится к моделям прогноза с любой заблаговременностью, так как прогнозы, как правило, требуется составлять к назначенной дате, до которой не всегда удается получить необходимые для расчетов данные о значениях предикторов.

### ***Благодарность***

Авторы выражают благодарность начальнику отдела гидрологических прогнозов Гидрометцентра Западно-Сибирского УГМС Богдановой В. Ф. за её вклад в работу по оценке качества прогнозов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Харшан Ш. А. Долгосрочные прогнозы стока половодья горных рек Сибири. – М.: Гидрометеоздат, 1958. – 78 с.
2. Еремин, В. В. Автоматизированная система физико–статистического долгосрочного прогноза / Труды ЗапСибНИГМИ. – вып. 34. – 1978. – С. 54–59.
3. Бураков Д. А., Гордеев И. Н., Игнатов А. В., Петкун О. Э., Путинцев Л. А., Чекмарев А. А. Прогнозирование притока воды в Красноярское и Саяно-Шушенское водохранилища во втором квартале года // География и природные ресурсы. – 2016. – №2. – С. 175–183.
4. Понько В. А. Система "Экопрогноз": Способы оценки и прогнозирования природных аномалий. – Новосибирск: Науч. центр "Экопрогноз", 1996. – 95 с.
5. Игнатов А. В. Долгосрочный прогноз притока в водохранилища как элемент управления их водными ресурсами / Географические основы и экологические принципы региональной политики природопользования. Материалы международной научно-практ. конф., посв. памяти чл.-корр. РАН А. Н. Антипова. – Иркутск 23-27 сентября 2019 г. – С. 103–105.
6. Игнатов А. В. Подбор предикторов для прогностических моделей среднего расхода реки Оби в створе города Барнаула в период половодья // География и природные ресурсы. – 2020. – № 1(160). – С. 166–174.
7. Игнатов А. В., Завалишин Н. Н. Закономерности и модели изменчивости полезного притока в озеро Байкал // География и природные ресурсы. – 2021. – Т. 42. – № 1. – С. 56–64.
8. Завалишин Н. Н. Кусочно-стационарные модели динамики месячных сумм осадков и среднемесячных температур воздуха (Локально-климатическая модель). / Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук. Новосибирск, 1997. – 16 с.
9. Игнатов А. В. Руководство пользователя программы «Стохастическое моделирование». - Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2019. – 217 с.
10. Завалишин Н. Н. и др. Инструкция по работе с программными средствами технологии «Кассандра-Сибирь» – Новосибирск, ГУ СибНИГМИ. – 2010. – 46 с.
11. Завалишин Н. Н., Медведева Т. С., Орлова З. С. База данных технологии «Кассандра-Сибирь». – Новосибирск: СибНИГМИ, 2010. – 44 с. – Свидетельство о государственной регистрации в Реестре баз данных RU 2013620777. Дата регистрации в Реестре баз данных 02.07.2013.
12. Завалишин Н. Н., Игнатов А. В., Бочкарева Е. Г., Пальчикова Н. В., Орлова З. С. Опыт долгосрочного прогнозирования гидрометеозлементов на территории Сибири и смежных регионов. / Труды СибНИГМИ. – 2021. – Вып.107. – С. 43–58.

© Н. Н. Завалишин, А. В. Игнатов, Е. Г. Бочкарева, Н. В. Пальчикова, 2023