

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОГНОЗА ЕЖЕДНЕВНЫХ И МАКСИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ НА СРЕДНЕЙ ОБИ И НИЖНЕМ ИРТЫШЕ**

*<sup>1</sup>Красноярский государственный аграрный университет, г. Красноярск;*

*<sup>2</sup>Обь-Иртышское управление по гидрометеорологии и мониторингу  
окружающей среды, г. Омск*

### **Введение**

В бассейнах Средней Оби и Нижнего Иртыша последние десятилетия интенсивно развивается промышленность по добыче и транспортировке нефтегазового сырья, увеличивая риски угрозы по загрязнению водосборов рек. В рамках выполнения темы 1.7.48 Плана НИР и ОКР Росгидромета в 2011–2013 гг. разработана автоматизированная технология прогноза ежедневных и максимальных уровней воды с заблаговременностью от одних до семи суток в весеннее половодье и летне-осенний период. Во время разработки и испытания технологии в 2012 г. получены данные о работе технологии при наименьшем за весь период наблюдений весеннем половодье. Затем в последующие годы технология испытана при весеннем половодье, близком к среднегодовым значениям, и в 2015 году при высоком половодье.

### **Краткое описание автоматизированной технологии прогноза уровней воды**

Автоматизированная технология прогноза основана на модели, состоящей из подмоделей, в блоках которых для высотных зон каждого района проводятся расчеты снегонакопления, снеготаяния, водоотдачи талой и дождевой воды, склонового притока и руслового добега. Модель использует как метеорологическую информацию, так и данные наблюдений за уровнями воды в речной системе, учитывая сложный характер водного режима Оби, Иртыша, обусловленный трансформацией различных типов режима тех природных зон, через которые они протекают. Запасы воды в руслах рассчитываются по

наблюдениям ежедневных уровней за срок измерений в 8 ч ВСВ. Влияние русловых запасов на прогнозируемый расход (уровень) возрастает вниз по течению реки. Автоматизированная технология обеспечивает сбор, накопление, обработку и формирование массива данных по гидрометеорологическим условиям и краткосрочным прогнозам уровней весеннего половодья на гидрологических створах рек Оби (Нижневартовск, Белогорье) и Иртыша (Ханты-Мансийск) с заблаговременностью 1–7 суток.

Прогноз основывается на использовании системы генетических уравнений, рассчитывающих параметры водного режима реки за отрезки времени, в течение которых суточное поступление воды на поверхность бассейна превышает суточное испарение и просачивание, образуя последовательные паводкообразующие периоды. Вычисление переменной в ходе снеготаяния площади снегового покрытия и водоудерживающей емкости снега производится по методике А.Г. Ковзеля, расчет водоотдачи бассейна производится по методу Е.Г. Попова [5].

Расчет выполняется для каждого района бассейна последовательно за каждые сутки. Интегральный слой воды, заполняющий водоудерживающую емкость, определяется с учетом отдачи воды снежным покровом, осадков, испарения и питания подземных вод, а также слоя начального заполнения водоудерживающей емкости (по связи его с характеристикой осеннего увлажнения бассейна). Подача воды на склоны в период дождя определяется путем арифметического осреднения суточного слоя осадков в пунктах наблюдений, тяготеющих к данному району (высотной зоне).

Подмодель склонового притока воды в русловую сеть основывается на концепции динамического (гравитационного) запаса воды на склонах. Движение воды в русловой сети рассчитывается по методике, основанной на использовании кривой добегания [1].

В обобщенном виде структура модели [1, 3] показана на рис. 1.

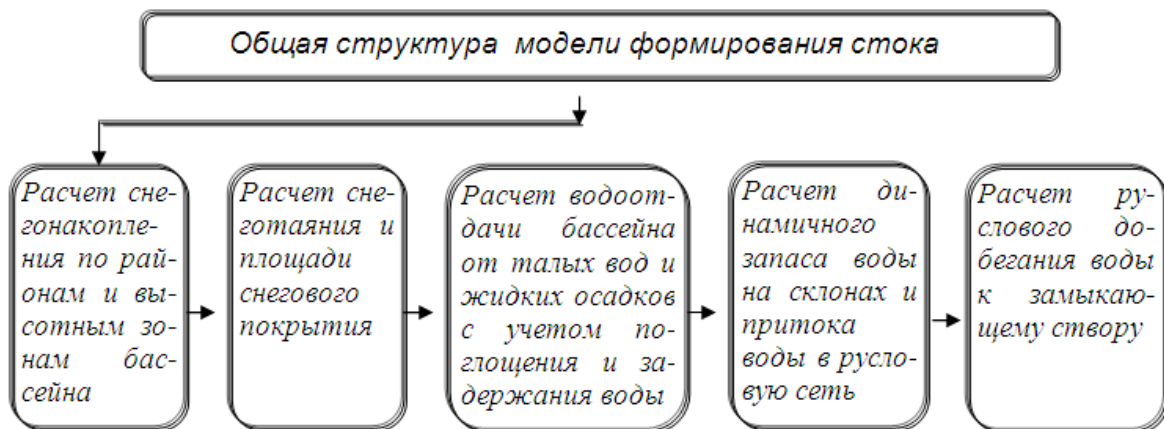


Рис. 1. Общая структура модели формирования стока [2, 3].

Процедура прогнозирования заключается в автоматическом внесении полной гидрометеорологической оперативной информации из центра сбора данных УГМС в программное обеспечение «Капля» [2] и предвычислении ожидаемого уровня воды в пункте, с учетом уровня воды в русле на вышерасположенном створе с учетом времени добегания.

### **Оценка погрешности, эффективности и оперативности выпуска прогнозов**

Оперативные испытания автоматизированной технологии прогноза ежедневных уровней воды на Средней Оби и Нижнем Иртыше проводились отделом гидрологических прогнозов Гидрометцентра ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» в период весеннего половодья в 2014–2017 гг. согласно Плану испытания новых и усовершенствованных технологий (методов) гидрометеорологических прогнозов Росгидромета.

Краткосрочные ежедневные прогнозы уровней воды составлялись в период с марта по август 2014–2017 гг. для гидрологических постов на Средней Оби у города Нижневартовск и деревни Белогорье, на Нижнем Иртыше у города Ханты-Мансийск. Было составлено 12096 прогнозов с заблаговременностью от 1 до 7 суток.

Оценка качества прогнозов проводилась согласно Наставлению по службе прогнозов [4]. За критерий качества прогностической методики принимается отношение среднеквадратичной ошибки прогноза  $\sigma_{\Delta}$  к среднеквадратичному отклонению уровня воды  $\sigma$ . Допустимая ошибка прогноза принимается равной  $0,674\sigma$ .

Эффективность гидролого-математической модели формирования речного стока для периода весеннего половодья в автоматизированной технологии прогноза ежедневных уровней воды на Средней и Нижней Оби с заблаговременностью 1–7 дней за 2014–2017 гг. составила  $S/\sigma = 0,33–0,61$ , что свидетельствует, что прогнозы качественные.

В табл. 1 представлены результаты оценки качества методики прогнозов за период производственных испытаний 2011–2016 гг. в отделе гидрологических прогнозов гидрометцентра ФГБУ «Обь-Иртышского УГМС» по данным зависимых наблюдений. В табл. 2 приведены допустимые ошибки прогнозов за тот же период.

Качество проверочных прогнозов по материалам наблюдений характеризуется как «удовлетворительное» и «хорошее» (табл. 1).

Оправдываемость прогнозов на независимом материале в 2017 году составила от 52 до 90 %. По приказу Росгидромета от 30.11.2010 г. удовлетворительными являются краткосрочные прогнозы уровней воды с оправдываемостью 80 % и более. В 2017 г. на 83–90 % оправдались прогнозы по Оби у Нижневартовска, это оценки «удовлетворительно» и «хорошо». Ниже в табл. 3 приведены сведения об оправдываемости прогнозов по пунктам

с различной заблаговременностью. Качество прогноза снизилось на реках Обь у с. Белогорье и Иртыш у г. Ханты-Мансийск, русла которых после прохождения высокого весеннего половодья 2015 г. показали неустойчивость слагающих их пород в 2016 и 2017 годах.

Таблица 1

**Характеристики точности прогнозов ежедневных уровней воды**

| Пункт                 | $\Delta t = 1$ | $\Delta t = 2$ | $\Delta t = 3$ | $\Delta t = 4$ | $\Delta t = 5$ | $\Delta t = 6$ | $\Delta t = 7$ |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Ханты-Мансийск</b> |                |                |                |                |                |                |                |
| $S/\sigma_{\Delta}$   | 0,63           | 0,60           | 0,57           | 0,51           | 0,49           | 0,47           | 0,45           |
| S                     | 6              | 10             | 13             | 15             | 17             | 19             | 21             |
| $\sigma_{\Delta}$     | 9              | 16             | 23             | 30             | 36             | 41             | 47             |
| <b>Нижневартовск</b>  |                |                |                |                |                |                |                |
| $S/\sigma_{\Delta}$   | 0,43           | 0,37           | 0,36           | 0,37           | 0,32           | 0,31           | 0,31           |
| S                     | 3              | 5              | 7              | 10             | 10             | 13             | 15             |
| $\sigma_{\Delta}$     | 7              | 14             | 21             | 28             | 34             | 41             | 48             |
| <b>Белогорье</b>      |                |                |                |                |                |                |                |
| $S/\sigma_{\Delta}$   | 0,62           | 0,54           | 0,50           | 0,49           | 0,48           | 0,46           | 0,46           |
| S                     | 6              | 10             | 13             | 16             | 19             | 21             | 23             |
| $\sigma_{\Delta}$     | 10             | 19             | 27             | 34             | 40             | 46             | 51             |

*Примечание.*  $S/\sigma_{\Delta}$  – критерий качества методики прогноза;  $\sigma_{\Delta}$  – среднее квадратичное отклонение уровня воды за период заблаговременности прогноза; S – средняя квадратичная ошибка прогноза.

Таблица 2

**Допустимые ошибки прогноза ежедневных уровней воды (см)**

| Заблаговременность прогноза, сутки | 1 | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  |
|------------------------------------|---|----|----|----|----|----|----|
| р. Иртыш – г. Ханты-Мансийск       | 9 | 16 | 23 | 30 | 37 | 43 | 49 |
| р. Обь – г. Нижневартовск          | 5 | 9  | 14 | 18 | 23 | 27 | 32 |
| р. Обь – с. Белогорье              | 7 | 13 | 18 | 23 | 27 | 30 | 34 |

**Оправдываемость прогнозов ежедневных уровней воды на независимом  
материале в 2017 году**

| Заблаговременность<br>в днях | р. Иртыш –<br>г. Ханты-Мансийск      |                       | р. Обь –<br>г. Нижневартовск         |                       | р. Обь –<br>д. Белогорье             |                       | Общее количество<br>прогнозов |
|------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
|                              | Кол-во<br>оправдавшихся<br>прогнозов | Оправдываемость,<br>% | Кол-во<br>оправдавшихся<br>прогнозов | Оправдываемость,<br>% | Кол-во<br>оправдавшихся<br>прогнозов | Оправдываемость,<br>% |                               |
| 1                            | 107                                  | 73                    | 116                                  | 79                    | 99                                   | 67                    | 147                           |
| 2                            | 76                                   | 52                    | 128                                  | 88                    | 94                                   | 64                    | 146                           |
| 3                            | 77                                   | 53                    | 130                                  | 90                    | 86                                   | 59                    | 145                           |
| 4                            | 78                                   | 54                    | 129                                  | 90                    | 89                                   | 62                    | 144                           |
| 5                            | 91                                   | 64                    | 123                                  | 86                    | 87                                   | 61                    | 143                           |
| 6                            | 106                                  | 75                    | 119                                  | 84                    | 86                                   | 61                    | 142                           |
| 7                            | 102                                  | 72                    | 126                                  | 89                    | 87                                   | 62                    | 141                           |

В модели заложена возможность самостоятельной коррекции отдельных параметров прогностических зависимостей, учитывающих происходящие в русле реки изменения, с учетом накопления оперативных данных. Так, после несложной процедуры оптимизации модели по накопленным с 2011 года материалам испытаний, оправдываемость прогноза 2017 г. улучшилась до 75–98 %. Перед началом нового сезона 2018 г. были уточнены параметры модели методом оптимизации с учетом гидрометеорологических данных 2017 года.

Расчет прогноза в программе происходит быстро по времени, так как обеспечено автоматическое поступление ежедневной оперативной информации из центра сбора данных УГМС. Вместо ручного внесения более сотни чисел оператор программы только проверяет правильность и полноту данных, дополняет информацию о расходах воды. Для упрощения процесса интеграции системы сбора и хранения данных УГМС и распределенной базы данных программы процедуры ввода данных были разделены на две части. В первой части процесса ввода данных, реализованной системными программистами УГМС, обеспечивается доступ, выбор и форматирование данных в два текстовых файла, предназначенных для чтения программой. Вторая часть реализована в самой программе «Речные гидрологические прогнозы» и ответственна за чтение этих двух файлов и ввод данных в саму базу бассейна. Это позволяет изолировать программу от любых изменений системы сбора и хранения

данных Росгидромета. Кроме того, такое разделение ввода данных позволило внести полный массив данных за предшествовавший испытаниям промежуток времени в общем виде через систему импорта данных.

Программа выполняет графический вывод данных об уровнях воды, который позволяет визуально оценить степень совпадения фактических и прогностических уровней воды за суточный, декадный и месячный интервалы, а также обнаружить ошибки ввода. На рис. 2 приведены графики, иллюстрирующие степень совпадения рассчитанных и фактических уровней воды за период производственных испытаний.

### Заключение

Автоматизированная технология прогноза учитывает практически всю доступную гидрометеорологическую информацию. Модель представлена технологической линией прогноза, предусматривающей возможность автоматизированной передачи данных в файлы прогностической программы.

Качество проверочных прогнозов по материалам наблюдений характеризуется как «хорошее» и «удовлетворительное», в зависимости от обеспеченности территории гидрометеорологической информацией.

Разработанная технология прогноза по пунктам рек Обь и Иртыш (Ханты-Мансийск) была внедрена в оперативную практику отдела гидрологических прогнозов Гидрометцентра ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» в ноябре 2018 года. Составление прогнозов осуществляется с 23 марта по 15 августа. Ежегодно, в преддверии нового сезона работы, производится уточнение параметров модели методом оптимизации для повышения точности прогноза.

69

### Список литературы

1. Бураков Д.А., Авдеева Ю.В. Технология оперативных прогнозов ежедневных расходов (уровней) воды на основе спутниковой информации о заснеженности (на примере р. Нижний Тунгуске) // Метеорология и гидрология. – 1996. – № 10. – С. 75–87.

2. Бураков Д.А., Гордеев И.Н., Ромасько В.Ю. Использование спутниковой информации для оценки динамики снегового покрытия в гидролого-математической модели стока весеннего половодья на примере бассейна Саяно-Шушенской ГЭС // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2010. – Том 7, № 2. – С. 113–121.

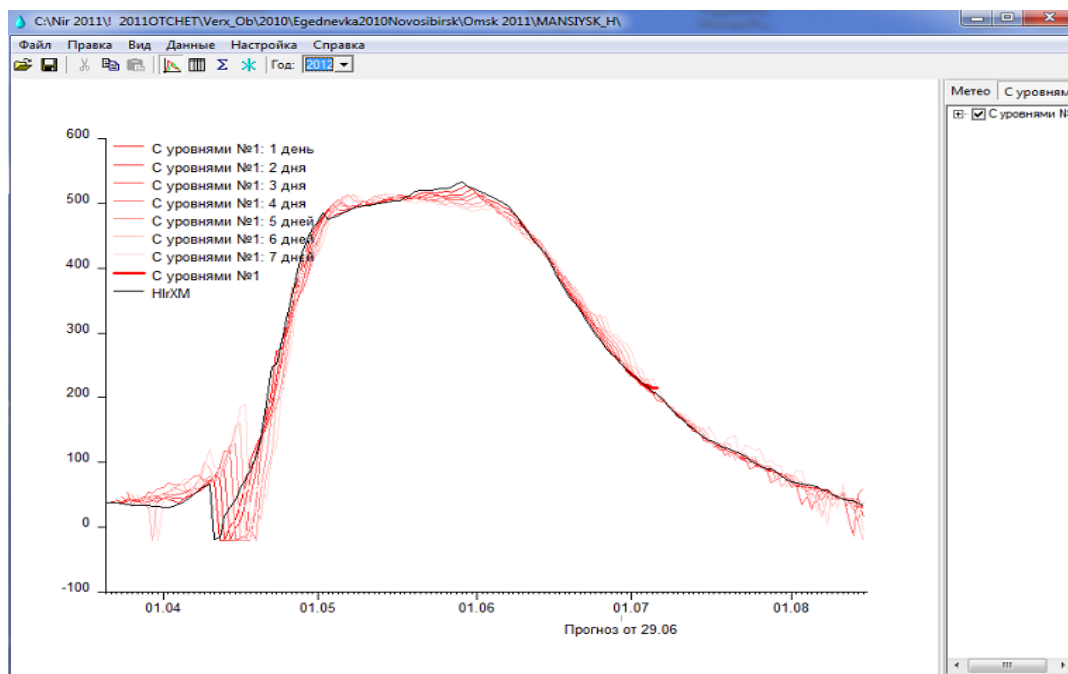
3. Бураков Д.А. Математическая модель расчета весеннего половодья для равнинных заболоченных бассейнов // Метеорология и гидрология. – 1978. – № 1. – С. 49–59.

4. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Часть 1. Прогнозы режима вод суши.

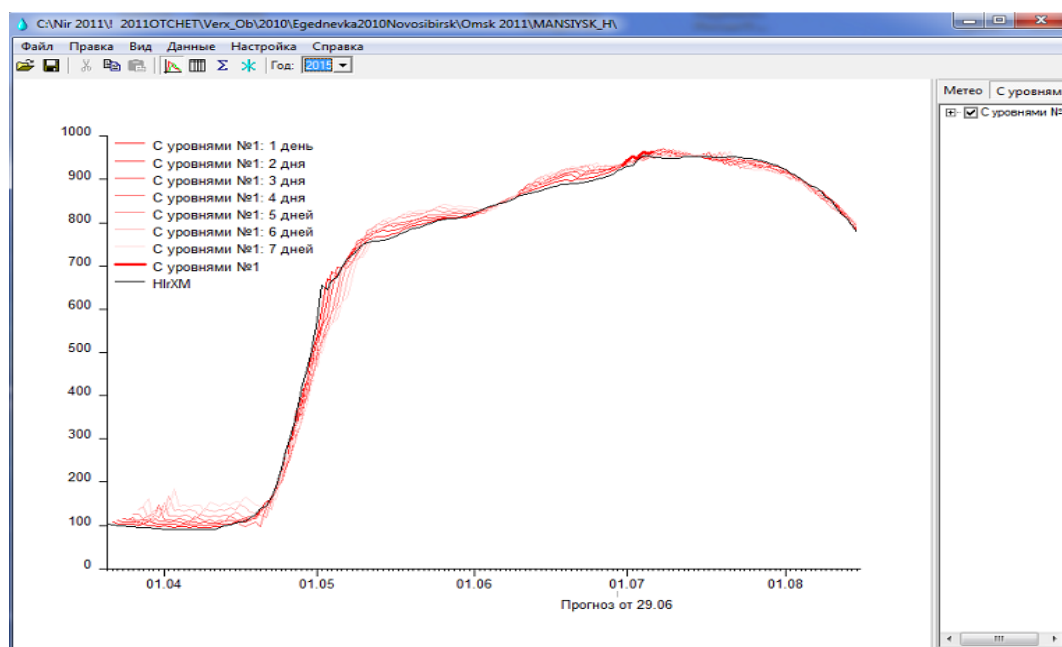
Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 193 с.

5. Попов Е.Г. Вопросы теории и практики прогнозов речного стока. – М.:

Гидрометеиздат, 1963. – 256 с.



а)



б)

Рис. 2. Окно вывода данных фактических и прогнозируемых уровней воды в р Иртыш у г. Ханты-Мансийск в виде графика: 2012 г (а), 2015 г. (б).