

УДК 556.06

Автоматизированная методика краткосрочных прогнозов уровней воды в бассейне Средней Оби и Иртыша

Д.А. Бураков¹, Н.П. Волковская², О.И. Иванова¹

¹ *Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия*

² *Обь-Иртышское управление по гидрометеорологии и мониторингу*

окружающей среды, г. Омск, Россия

daburakov@yandex.ru, vnp7800@mail.ru

Предложена математическая модель краткосрочного прогноза уровней воды в бассейне Средней Оби и Нижнего Иртыша. Показаны особенности формирования стока территории. Приведена методика расчета прогноза. Модель состоит из подмоделей, в блоках которых для высотных зон каждого района проводятся расчеты снегонакопления, снеготаяния, водоотдачи талой и дождевой воды, склонового притока и руслового добегания. Разработанное программное обеспечение модели позволяет экспериментировать, моделируя величины ежедневных расходов и уровней воды в летне-осенний период по пунктам: Нижневартовск, Белогорье, Ханты-Мансийск, Омск, Тара, Тевриз, Усть-Ишим. Результаты позволяют оценить качество модели прогнозов, согласно принятым нормативам, как хорошее.

Ключевые слова: Иртыш, Средняя Обь, гидролого-математическая модель, прогноз весеннего половодья, снеготаяние, водоотдача талой и дождевой воды, склоновый приток, русловое добегание

An automated method for the short-range forecasting of water level in the basin of the Middle Ob and Lower Irtysh

D.A. Burakov¹, N.P. Volkovskaya², O.I. Ivanova¹

¹ *Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia*

² *Ob-Irtysh Department of Hydrometeorology and Environmental*

Monitoring, Omsk, Russia

daburakov@yandex.ru, vnp7800@mail.ru

A mathematical model is proposed for the short-range forecasting of water level in the basin of the Middle Ob and Lower Irtysh. The features of the runoff formation on the analyzed territory are shown. A method for the forecast calculation is presented. The model consists of submodels whose modules for the altitudinal zones of each region provide calculations of snow accumulation, snowmelt, water yield from thawed and rain water, surface inflow, and channel lag. The developed model software allows the experiments based on the modeling of the value of daily water discharge and water level during the summer-autumn period for the following locations: Nizhnevartovsk, Belogor'e, Khanty-Mansiysk, Omsk, Tara, Tevriz, Ust'-Ishim. According to the accepted standards, the results allow assessing the forecast model quality as good.

Keywords: Lower Irtysh, Middle Ob, hydrological and mathematical model, spring flood forecast, snowmelt, water yield from thawed and rain water, surface inflow, channel lag

Введение

Краткосрочное прогнозирование уровней воды в бассейне Средней Оби и Иртыша является актуальной задачей для подразделений Росгидромета в связи с тем, что рассматриваемый район относится к территориям с повышенной опасностью формирования неблагоприятно высоких уровней воды на реках в период половодья и паводков. Для предвычисления высоты подъема уровней воды в ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» используются эмпирические зависимости, основанные на регрессионных моделях. В последние годы с появлением возможности обработки больших объемов гидрометеорологической информации на базе ЭВМ для краткосрочного прогноза уровней воды на реках Обь-Иртышского бассейна адаптирована концептуальная модель формирования стока. В данной статье рассматривается опыт ее применения.

Физико-географический очерк

Рассматриваемая территория Обь-Иртышского бассейна простирается от $48^{\circ}07'$ до $62^{\circ}70'$ с. ш. и от $65^{\circ}16'$ до $82^{\circ}38'$ в. д. Бассейн имеет овальную форму и ограничивается сверху входными створами на реках Иртыш и Обь.

Входным створом Иртыша является плотина Шульбинской ГЭС, расположенная в 70 км выше города Семей (до 2007 года – Семипалатинск, Республика Казахстан) на стыке Казахской складчатой зоны и Алтае-Саянской горной страны. Ниже Шульбинской ГЭС Иртыш протекает в субмеридианальном направлении по Казахскому мелкосопочнику и выходит на обширную Западно-Сибирскую равнину, в основном высотой 250–285 м. В рельефе южной части бассейна сосредоточено множество мелких плоских понижений, формирующихся карстово-суффозионными процессами.

Входной створ на реке Обь – г. Колпашево (2422 км от устья). Замыкающий створ рассматриваемой территории Обь-Иртышского бассейна – село Белогорье, расположено на левом берегу Оби в 12 км ниже устья Иртыша.

Равнинность рельефа и открытость с севера и юга не препятствует глубокому проникновению в ее пределы воздушных масс как с севера, так и с юга. Поэтому в любой сезон года возможны резкие изменения погоды, переход от тепла к холоду, резкие колебания температуры от месяца к месяцу, от суток к суткам и в течение суток. Из-за большого расстояния с севера на юг отчетливо выражена зональность климата и значительные различия климатических условий, связанные с изменением количества солнечной радиации и характера циркуляции воздушных масс. В целом для исследуемого района характерен умеренно-континентальный климат. Наблюдается суровая продолжительная зима, сравнительно короткое, но жаркое лето, непродолжительные весна и осень, поздние весенние

и ранние осенние заморозки, короткий безморозный период. Годовая температура воздуха изменяется в среднем от -5°C на северо-востоке до -1° на юге-западе. В табл. 1 приведены средние значения температуры воздуха за месяц и за год на отдельных станциях Западно-Сибирской равнины за период с 1981 по 2010 год [12].

Таблица 1. Средняя месячная и годовая температура воздуха за период 1981–2010 гг., $^{\circ}\text{C}$

Table 1. Average monthly and annual air temperature for the period 1981–2010, $^{\circ}\text{C}$

Станция	Высота, м	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Ханты-Мансийск	43,7	-18,9	-17,3	-8,1	-1,2	7,4	15,2	18,3	14,5	7,8	0,5	-10,6	-16,8	-0,9
Тобольск	96,5	-17,1	-15,6	-7,0	1,8	10,2	16,7	18,6	15,3	9,0	2,2	-8,2	-14,9	0,9
Тара	72,4	-17,4	-15,9	-7,5	2,2	10,8	16,8	18,8	15,6	9,1	2,5	-8,2	-15,2	1,0
Ишим	82,9	-16,2	-15,2	-7,5	3,2	11,3	17,5	19	16,2	9,9	3,2	-7,4	-13,9	1,7
Омск	124,9	-16,3	-15	-7,3	3,7	12,5	17,9	19,6	16,9	10,4	3,5	-7,3	-13,8	2,1
Черлак	115	-16,6	-15,5	-8	3,9	13,1	18,6	20,3	17,6	11,1	3,9	-7,1	-13,9	2,3

Март по своим поздним отрицательным температурам является зимним месяцем. На юге равнины весенний переход через 0°C наступает в конце первой декады апреля. Переходные периоды – весна и осень кратковременны и протекают бурно, особенно весна. Продвижение на север весенних процессов происходит значительно медленнее, и только в середине мая средняя суточная температура воздуха переходит через 0°C . При вторжении холодных арктических масс наблюдаются очень резкие понижения температуры воздуха. Даже в июле почти повсеместно, за исключением южных лесостепных и степных районов, температура может понижаться до -1 , -4°C .

По всей территории основное количество осадков выпадает с мая по октябрь. Годовая сумма осадков на 65–75 % складывается из осадков теплого полугодия. Зима отличается относительной сухостью. В первую половину зимы выпадает большая часть осадков этого сезона. Общее годовое количество осадков изменяется от 320–390 мм на юге до 490–620 мм на севере рассматриваемой территории [12], что связано с ослаблением циклонической деятельности и повышением температуры воздуха в южных районах. Высота снежного покрова увеличивается с юга на север от 20 до 80 см. Среднегодовое испарение составляет 380–430 мм [10]. В последние десятилетия отмечается слабое увеличение зимних температур и небольшой рост годового и зимнего количества осадков [5, 12].

Гидрографические характеристики рассматриваемого бассейна. Средняя Обь принимает притоки равномерно как слева, так и справа и течет в лесисто-болотистых берегах таежной зоны. Долина ее

расширяется до 10 км, русло разбивается на многочисленные протоки. Растительный покров лесной зоны представлен в основном темнохвойными лесами (ель сибирская, пихта сибирская, кедр сибирский с примесью березы и осины, реже лиственницы и сосны), приуроченными к речным долинам и приречным частям равнины на подзолистых почвах. В бассейне Средней Оби из-за равнинного рельефа и избыточного увлажнения значительное развитие получили выпуклые грядово-мочажинные болота. На правом берегу Оби, между реками Аган и Лямин, выделяется особый болотный район – Сургутское полевье. Здесь плоские водоразделы покрыты сплошным торфяным плащом. Площадь их на 90 % занята безлесным грядово-озерным комплексом (лесами занято не более 2–3 % площади района). Озера размером от сотен квадратных метров до десятков и даже сотен квадратных километров занимают 30–60 % площади комплекса. Степень заболоченности, лесистости и озерности отдельных водосборов приведена в табл. 2.

Таблица 2. Степень лесистости, заболоченности и озерности [8–10], %
Table 2. The degree of forest cover, bogging and lake [8–10], %

Река – пункт	Озерность	Заболоченность	Лесистость
Омь – г. Калачинск	1	40	20
Тара – с. Муромцево	< 1	40	40
Уй – с. Седельниково	< 1	30	60
Шиш – с. Васисс	< 1	30	70
Туй – с. Ермиловка	< 1	15	80
Бол. Аев – д. Чебаклы	< 1	35	40
Барсук – с. Каточи́ги	< 1	25	55
Вагай – д. Нововыигрышная	2	15	30
Балахлей – с. Балахлей	< 1	30	30
Ашлык – с. Ашлык	3	25	60
Носка – пос. Новоноскинский	2	65	30
Большой Юган – с. Угут	1	35	60
Малый Юган – юрты Кинямины	2	30	–
Васюган – с. Средний Васюган	2	40	–
Вах – пос. Ваховск	5	40	–

Южнее плоская поверхность равнины пересечена широкими долинами притоков реки Иртыш. Высота междуречий обычно не превышает 130–150 м, понижения имеют отметки несколько менее 100 м. Общий облик равнины значительно различается в разных ее частях. Для северной таежной части характерно широкое распространение болот. Южнее обширные болотистые пространства сменяются районами с многочисленными озерами. Междуречные пространства в лесостепной зоне представляют собой равнины, в пределах которых встречаются невысокие (2–4 м)

плоские бугры, вытянутые в северо-восточном направлении. Между буграми местность нередко заболочена или покрыта солончаковыми почвами [10].

Входной створ территории рассматриваемого бассейна – Шульбинская ГЭС, которая является последней в каскаде Верхне-Иртышских гидроэлектростанций, строилась и введена в эксплуатацию с 1976 по 1994 год как контррегулятор Усть-Каменогорской ГЭС. Основное назначение Шульбинской ГЭС – оптимизация пусков воды на Павлодарскую и Омскую поймы, на которых не обеспечиваются режимы продолжительности стояния воды и достижения необходимой площади затопления поймы. Поэтому регулирование стока со стороны Шульбинской ГЭС распространяется в основном только на период половодья [11]. Объем водохранилища составляет 3250 млн м³. Природоохранный сброс Шульбинской ГЭС, формирующий весеннее половодье на р. Иртыш до г. Тара в Омской области, начинается при увеличении приточности от рек Уба и Ульба.

Методика прогноза весеннего половодья рек Обь и Иртыш на основе гидролого-математической модели

Автоматизированная методика прогноза весеннего половодья создана для участка рек Обь и Иртыш по отдельным пунктам: Нижневартовск, Белогорье, Омск, Тара, Тевриз, Усть-Ишим, Ханты-Мансийск.

Прогностическая модель состоит из подмоделей, в блоках которых для высотных зон каждого района проводятся расчеты снегонакопления, снеготаяния, водоотдачи талой и дождевой воды, склонового притока и руслового добега. При прогнозировании используется как метеорологическая информация, так и данные наблюдений за уровнями воды в речной системе. Запасы воды в руслах рассчитываются по наблюдениям ежедневных уровней за срок измерений в 8 ч. Влияние русловых запасов на прогнозируемый расход (уровень) возрастает вниз по течению реки.

Отрезки времени, в течение которых суточное поступление воды на поверхность бассейна превышает суточное испарение и просачивание, образуют последовательные стокообразующие периоды.

На рис. 1 показана схема районов бассейна Иртыша до замыкающего створа у села Усть-Ишим и Оби до замыкающего створа у деревни Белогорье.

В методике прогноза 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 [7].

Выполняется расчет для каждого района бассейна последовательно на 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).

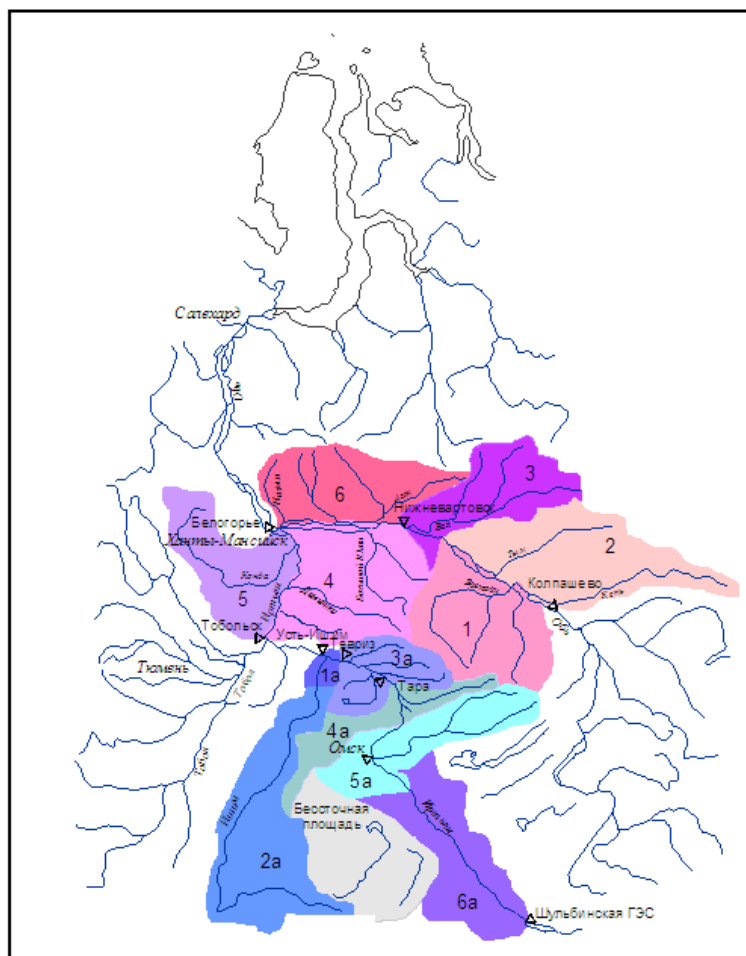


Рис. 1. Районы бассейна Средней Оби от г. Колпашево до д. Белогорье (районы: 1 – Васюган; 2 – Кеть-Тым; 3 – Вах; 4 – Большой Юган; 5 – Конда; 6 – Аган) и Иртыша от Шульбинской ГЭС до с. Усть-Ишим (районы: 1а – Усть-Ишим; 2а – Викулово; 3а – Тевриз; 4а – Тара; 5а – Омск; 6а – Татарка).

Fig. 1. Areas of the Middle Ob basin from the town of Kolpashevo to the village of Belogorie (districts: 1 – Vasyugan; 2 – Ket-Tym; 3 – Wah; 4 – Greater Yugan; 5 – Konda; 6 – Agan) and Irtysh from Shulbinsk hydroelectric station to the village. Ust-Ishim (districts: 1a – Ust-Ishim; 2a – Vikulovo; 3a – Tevriz; 4a – Tara; 5a – Omsk; 6a – Tatarka).

Расчет склонового притока воды в русловую сеть основывается на концепции динамичного (гравитационного) запаса воды на склонах. Движение воды в русловой сети рассчитывается по методике, основанный на использовании кривой добегаания [1].

В обобщенном виде структура методики прогноза [1, 4] показана на рис. 2.

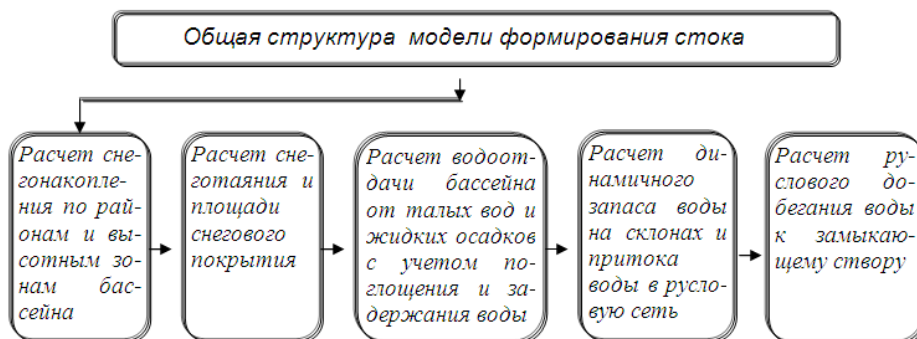


Рис. 2. Общая структура модели формирования стока.

Fig. 2. General structure of the flow formation model.

В основу расчета интегрального слоя водоотдачи речного бассейна $Y(t)$, образующегося в период выпадения дождей или снеготаяния в каждом районе бассейна, положена модель Е.Г. Попова:

$$Y(t) = (1 - \omega) [H(t) - P_0 \cdot \text{th}(H(t)/P_0)], \quad (1)$$

где: t – время; $H(t)$ – суммарный слой воды, поступивший для заполнения водоудерживающей емкости района от начала снеготаяния до момента t (формулы приведены ниже); ω – доля постоянно бессточной площади; P_0 – параметр потерь, характеризующий размеры водоудерживающей емкости района для наиболее сухих предшествующих условий; th – функция гиперболического тангенса.

Подмодель склонового притока воды в русловую сеть $q(t)$ района основывается на концепции динамичного (гравитационного) запаса воды $W(t)$ на склонах, связанного с $q(t)$ в общем случае не линейно:

$$W(t + \Delta t) = W(t) + u(t + \Delta t) - q(t + \Delta t); \quad (2)$$

$$u(t + \Delta t) = Y(t + \Delta t) - Y(t); \quad (3)$$

$$q(t + \Delta t) = \alpha \{0,5 [W(t) + W(t + \Delta t)]\}^n, \quad (4)$$

где α – переменный коэффициент, учитывающий изменяющиеся гидравлические условия стекания воды со склонов и другие факторы [1, 4]; n – показатель степени.

Важное место в модели прогноза отводится описанию движения воды в русловой сети. В модели применяется метод расчета, основанный на использовании кривой добегаания $f(\tau)$. Кривая добегаания, называемая также функцией влияния или функцией отклика, понимается обычно как трансформационная функция, с помощью которой гидрограф притока в русловую сеть рассматриваемого района речного бассейна $q(t)$ преобразуется в гидрограф стока относительно замыкающего створа бассейна $Q(t)$ на основе интеграла свертки

$$Q(t) = \int_0^t q(t-\tau) f(\tau) d\tau. \quad (5)$$

В вероятностной модели кривые $f(\tau)$ рассматриваются как плотности распределения времени добегаания элементарных объемов воды в гидрологической системе каждого района относительно замыкающего створа, для которого рассчитывается прогноз. Для ее аппроксимации используются двух или трехпараметрические функции плотности распределения вероятностей (гамма-распределение и другие). Для задания этих функций оцениваются моменты распределения времени добегаания.

С этой целью каждый район бассейна (рис. 1) разбит системой эквидистант на площадки F_i (рис. 3). Эквидистанты – это линии, соединяющие точки, находящиеся на одинаковом расстоянии вдоль русел до замыкающего створа.

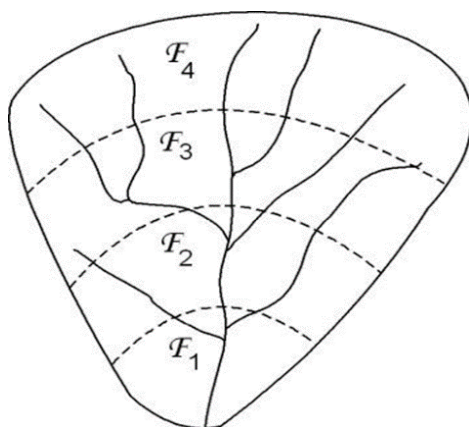


Рис. 3. Принципиальная схема построения эквидистант [3].
Fig. 3. Schematic diagram of the construction of equidistant [3].

Для каждого района в бассейнах Оби и Иртыша (рис. 1) определены моменты кривой руслового добегания по формулам, приведенным в [1, 3, 4]. Кроме того, для рассмотренных районов выделяются высотные зоны, определяются их средние высоты и доли площади по отношению к площади соответствующего района.

Расчеты расходов воды с применением интеграла свертки (5) выполняются для небольших бассейнов, однородных в отношении ландшафта. В общем случае, когда речной бассейн подразделяется на отдельные районы, прогноз расхода воды выполняется с учетом принципа суперпозиции: суммируются гидрографы стока каждого района в прогнозном створе по выражению

$$Q(t + \Delta t) = \left[\sum_{i=1}^n \int_0^t q_i(t + \Delta t - \tau) f_{q_i}(\tau) d\tau \right] + Q_w(t + \Delta t) + Q_{min}, \quad (6)$$

где: $Q(t + \Delta t)$ – расход воды в замыкающем створе; t – дата выпуска прогноза; Δt – заблаговременность прогноза; n – число ландшафтно-гидрологических районов, на которые разбит речной бассейн; $q_i(t)$ – суммарный приток в русловую сеть с i -го района (высотной зоны); $f_{q_i}(\tau)$ – кривая добегания бокового притока с i -го района; $Q_w(t + \Delta t)$ – составляющая расхода воды, обусловленная истощением начального (на момент t) запаса воды в русловой сети; Q_{min} – устойчивое подземное («базисное») питание реки.

Выразив запас воды в русловой сети в зависимости от высот уровней воды $H_i(t)$ в пунктах наблюдений речной системы, получим следующее уравнение [1, 4]:

$$H(t + \Delta t) = \left[c_0 \sum_0^{\Delta t} \int q_i(t + \Delta t - \tau) f_{q_i}(\tau) d\tau + \sum c_i (H_i(t) - H_{i min})^{y1} + \sum c_{i+n} (H_i(t) - H_i(t-1))^{y2} \right] + H_{min}, \quad (7)$$

где H – прогнозируемый уровень воды в замыкающем створе; $c_i, y1, y2$ – коэффициенты; $H_{i min}$ – минимальный уровень воды в i -ом пункте речной системы, принятый за условный нуль отсчета; H_{min} – то же в замыкающем створе.

Кроме того, для рассмотренных районов выделяются высотные зоны, определяются их средние высоты и доли площади по отношению к площади района.

В данном случае, когда речной бассейн подразделяется на отдельные ландшафтные районы, прогноз расхода воды выполняется с учетом принципа суперпозиции. Запасы воды в русловой сети в зависимости от высот уровней воды определяются в пунктах наблюдений речной системы.

Запасы воды в руслах рассчитываются по наблюдениям ежедневных уровней за срок измерений в 8 ч. Влияние русловых запасов на прогнозируемый расход (уровень) возрастает вниз по течению реки.

Неизвестные параметры, входящие в формулы отдельных блоков модели прогноза, определяются сочетанием методов оптимизации и линейной регрессии.

Программное обеспечение позволяет путем численных экспериментов моделировать величины расходов (уровней) воды. Известные к моменту выпуска прогноза суточные осадки, максимальные запасы воды в снежном покрове, характеристики предшествующего увлажнения бассейна, ежедневная температура воздуха определяются по фактическим данным наблюдений, а за период заблаговременности – по прогнозу погоды. Учитывая современный состав действующей оперативной информационной сети, в рассматриваемой методике используются следующие данные наблюдений: снегомерные съемки, ежедневные осадки и температура воздуха, уровни и расходы воды по 48 пунктам. Для оптимизации параметров модели прогноза были использованы данные ежедневных гидрометеорологических наблюдений в указанных речных створах за период с 1996 по 2015 год.

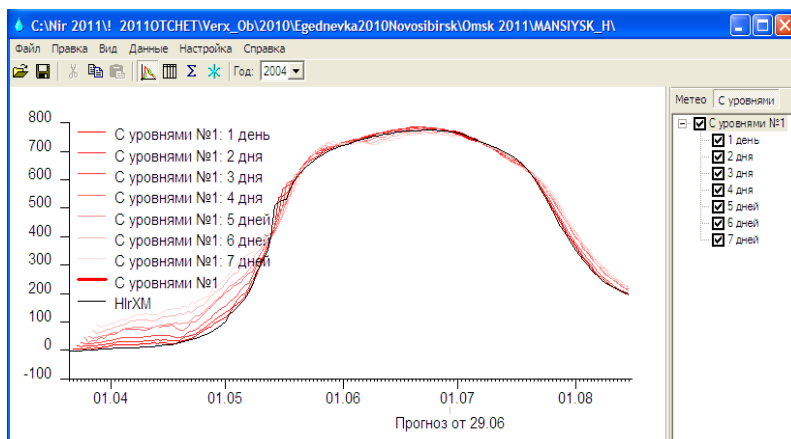
Программное обеспечение модели позволяет рассчитывать величины ежедневных расходов и уровней воды в летне-осенний период по пунктам: Омск, Тара, Тевриз, Усть-Ишим, Ханты-Мансийск, Нижневартовск, Белогорье.

Преимуществом применения рассматриваемой методики является возможность усвоения среднесрочных и краткосрочных прогнозов погоды, выдача результата с суточным разрешением, а также возможность оперативной оценки влияния метеорологических особенностей на прогнозируемые уровни (расходы) воды. Для автоматизации методики прогноза на практике разработана программа «Речные гидрологические прогнозы», обладающая удобным пользовательским интерфейсом «Капля» (разработан В.Ю. Ромасько [2]). Поступление ежедневной оперативной информации происходит автоматически из центра сбора данных УГМС. Вместо ручного внесения более 150 чисел оператор программы только проверяет правильность и полноту данных, дополняет информацию о расходах воды.

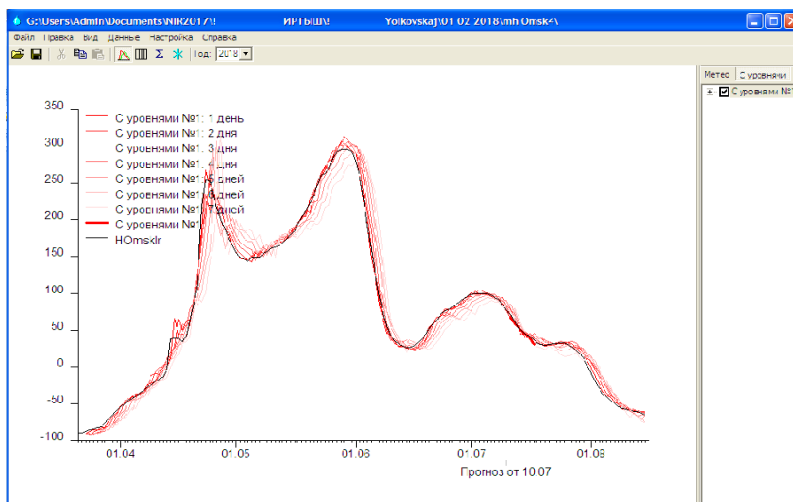
Первая часть процесса ввода данных реализована системными программистами УГМС. Эта часть реализует логику доступа, выбора и форматирования данных в виде двух текстовых файлов, предназначенных для чтения программой. Вторая часть реализована в самой программе «Речные гидрологические прогнозы», которая осуществляет чтение этих двух файлов и ввод данных в саму базу бассейна. Наличие зафиксированного формата двух файлов позволяет изолировать программу от любых изменений системы сбора и хранения данных Росгидромета. Кроме того, предусмотрена возможность внесения полного массива

данных за значительный промежуток времени в общем виде через систему импорта данных.

Графический вывод данных об уровнях воды, реализованный программой, позволяет визуально оценить степень совпадения фактических и прогностических уровней воды за суточный, декадный и месячный интервалы, а также обнаружить ошибки ввода. На рис. 4 приведены графики, иллюстрирующие степень совпадения рассчитанных и фактических уровней воды за период производственных испытаний.



а)



б)

Рис. 4. Окно вывода данных фактических и прогнозируемых уровней воды в реке Иртыш у города Омск в виде графика: а) пункт Ханты-Мансийск 2014 год; б) пункт Омск 2018 г.

Fig. 4. The data output window of the actual and projected water levels in the Irtysh River near the city of Omsk as a graph. а) point Khanty-Mansiysk 2014; б) point Omsk 2018.

Оценка качества прогнозов проводилась согласно Наставлению [6], где критерием качества прогностической методики принимается отношение среднеквадратической погрешности прогноза S к величине среднеквадратичного отклонения уровня воды за период заблаговременности прогноза σ_{Δ} . Допустимая ошибка прогноза принимается равной $0,674\sigma_{\Delta}$.

В табл. 3 приведены показатели качества проверочных прогнозов по материалам наблюдений, которое характеризуется как «удовлетворительное» и «хорошее».

Таблица 3. Характеристики точности прогнозов ежедневных уровней воды
Table 3. Characteristics of the accuracy of predictions of daily water levels

Омск	$\Delta t = 1$	$\Delta t = 2$	$\Delta t = 3$	$\Delta t = 4$	$\Delta t = 5$	$\Delta t = 6$	$\Delta t = 7$
S/σ_{Δ}	0,51	0,46	0,43	0,42	0,46	0,51	0,54
S	6	10	12	16	20	24	28
σ_{Δ}	12	22	30	37	43	48	52
Тара	$\Delta t = 1$	$\Delta t = 2$	$\Delta t = 3$	$\Delta t = 4$	$\Delta t = 5$	$\Delta t = 6$	$\Delta t = 7$
S/σ_{Δ}	0,55	0,44	0,40	0,36	0,34	0,33	0,33
S	5	8	10	11	13	15	16
σ_{Δ}	9	17	20	41	38	44	50
Тевриз	$\Delta t = 1$	$\Delta t = 2$	$\Delta t = 3$	$\Delta t = 4$	$\Delta t = 5$	$\Delta t = 6$	$\Delta t = 7$
S/σ_{Δ}	0,80	0,65	0,54	0,47	0,43	0,40	0,39
S	16	17	19	20	22	23	25
σ_{Δ}	20	27	25	42	50	57	64
Усть-Ишим	$\Delta t = 1$	$\Delta t = 2$	$\Delta t = 3$	$\Delta t = 4$	$\Delta t = 5$	$\Delta t = 6$	$\Delta t = 7$
S/σ_{Δ}	0,71	0,52	0,41	0,35	0,31	0,29	0,28
S	11	13	13	15	16	18	19
σ_{Δ}	15	24	34	43	52	60	68
Ханты-Мансийск	$\Delta t = 1$	$\Delta t = 2$	$\Delta t = 3$	$\Delta t = 4$	$\Delta t = 5$	$\Delta t = 6$	$\Delta t = 7$
S/σ_{Δ}	0,63	0,60	0,57	0,51	0,49	0,47	0,45
S	6	10	13	15	17	19	21
σ_{Δ}	9	16	23	30	36	41	47
Нижневартовск	$\Delta t = 1$	$\Delta t = 2$	$\Delta t = 3$	$\Delta t = 4$	$\Delta t = 5$	$\Delta t = 6$	$\Delta t = 7$
S/σ_{Δ}	0,43	0,37	0,36	0,37	0,32	0,31	0,31
S	3	5	7	10	10	13	15
σ_{Δ}	7	14	21	28	34	41	48
Белогорье	$\Delta t = 1$	$\Delta t = 2$	$\Delta t = 3$	$\Delta t = 4$	$\Delta t = 5$	$\Delta t = 6$	$\Delta t = 7$
S/σ_{Δ}	0,62	0,54	0,50	0,49	0,48	0,46	0,46
S	6	10	13	16	19	21	23
σ_{Δ}	10	19	27	34	40	46	51

Примечание. S – средняя квадратичная ошибка прогноза; σ_{Δ} – среднее квадратичное отклонение уровня воды за период заблаговременности прогноза; S/σ_{Δ} – критерий качества методики прогноза.

Оперативные испытания методики прогноза по пунктам Нижневартовск, Белогорье, Ханты-Мансийск проводились с 2014 по 2017 г., по пунктам Омск, Тара, Тевриз, Усть-Ишим – в 2018 г. Оправдываемость прогнозов увеличивается при уточнении параметров модели методом оптимизации по данным ближайших лет.

В табл. 4 показана оправдываемость прогнозов ежедневных уровней воды в % за период производственных испытаний в 2018 году.

Таблица 4. Оправдываемость прогноза (%) ежедневных уровней воды за период производственных испытаний в 2018 г.

Table 4. Feasibility of the forecast (%) of daily water levels for the period of production tests in 2018

Заблаговременность прогноза, сутки	1	2	3	4	5	6	7
р. Иртыш – Омск	92	94	94	94	91	87	82
р. Иртыш – Тара	93	88	81	93	83	87	87
р. Иртыш – Тевриз	90	90	83	92	92	93	93
р. Иртыш – Усть-Ишим	97	91	94	94	95	94	94
р. Иртыш – Ханты-Мансийск	84	84	80	78	82	78	80
р. Обь – Нижневартовск	72	64	69	65	79	77	72
р. Обь – Белогорье	67	58	56	63	66	70	72

Заключение

Методика прогноза учитывает практически всю доступную гидрометеорологическую информацию как в период прохождения весеннего половодья, так и в летне-осенний период.

Качество проверочных прогнозов по материалам наблюдений характеризуется как «хорошее» и «удовлетворительное» в зависимости от обеспеченности территории гидрометеорологической информацией. Существенный вклад в повышение точности прогноза дает учет уровней воды в русловой сети. Тем самым в модели учитываются русловые запасы воды на дату выпуска прогноза.

Методика представлена технологической линией прогноза, предусматривающей возможность автоматизированной передачи данных в файлы прогностической программы.

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. Т. 7, № 2. С. 113–121.

3. Бураков Д.А. Кривые добегания и расчет гидрографа весеннего половодья. Томск: Изд-во Томского университета, 1978. 129 с.

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

5. Волковская Н.П., Мезенцева О.В. Оценка влияния динамики годовых сумм осадков на зимний сток рек Омской области // Инновационное развитие современной науки: проблемы и перспективы: материалы Международной (заочной) научно-практической конференции. 2017. С. 228-237.

6. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Часть 1. Прогнозы режима вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 193 с.

7. Попов Е.Г. Вопросы теории и практики прогнозов речного стока. М.: Гидрометеиздат, 1963. 256 с.

8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 15. Алтай и Западная Сибирь. Вып. 2. Средняя Обь. Л.: Гидрометеиздат, 1972. С. 5-55.

9. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 15. Алтай и Западная Сибирь. Вып. 3. Нижний Иртыш и Нижняя Обь. Л.: Гидрометеиздат, 1973. С. 8-64.

10. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 11. Средний Урал и Приуралье. Л.: Гидрометеиздат, 1972. С. 30.

11. Романова Ю.А. Водохозяйственный комплекс бассейна реки Иртыш в условиях перераспределения речного стока выше трансграничных створов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2013. 25 с.

12. Данные о срочных значениях температуры воздуха для метеостанций Омской и Тюменской областей ВНИИГМИ-МЦД. URL: <http://meteo.ru/index.html> (дата обращения 11.02.2019).

References

1. Burakov D. A., Avdeeva Yu. V. Tekhnologiya operativnykh prognozov ezhdnevnykh raskhodov (urovnej) vody na osnove sputnikovoy informatsii o zasnezhennosti (na primere r. Nizhnij Tunguske). *Meteorologiya i Gidrologiya* [Russ. Meteorol. Hydrol.], 1996, no. 10, pp. 75-87. [in Russ.].

2. Burakov D. A., Gordeev I. N., Romasko V. J. Snowed area counting by remotely sensed data as a block of spring high water mathematical model for prediction of water flow to water reservoir of Sajano-Shushenskaya hydroelectric power station. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Current problems in remote sensing of the Earth from space], 2010, vol. 7, no. 2, pp. 113-121. [in Russ.].

3. Burakov D. A. Krivye dobeganiya i raschet gidrografa vesennego polovod'ya. Tomsk, Izd-vo Tomskogo universiteta, 1978, 129 p. [in Russ.].

4. Burakov D. A. A mathematical model for calculation of the spring flood hydrograph for marshy lowland basins. *Soviet Meteorol. Hydrol.*, 1978, no. 1, pp. 50-57.

5. Volkovskaya N.P., Mezentseva O.V. Otsenka vliyaniya dinamiki godovykh summ osadkov na zimnij stok rek Omskoj oblasti. *Innovatsionnoe razvitie sovremennoj nauki: problemy i perspektivy: materialy Mezhdunarodnoj (zaochnoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii*. 2017, pp. 228-237 [in Russ.].

6. *Nastavlenie po sluzhbe prognozov. Razdel 3. Chast' 1. Prognozy rezhima vod sushi*. L.: Gidrometeoizdat, 1962, 193 p. [in Russ.].

7. *Popov E. G. Voprosy teorii i praktiki prognozov rechnogo stoka*. Moscow, Gidrometeoizdat publ., 1963, 256 p. [in Russ.].

8. *Resursy poverhnostnykh vod SSSR. Vol. 15. Altay i Zapadnaya Sibir'. No. 2. Srednyaya Ob'*. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1972, pp. 5-55. [in Russ.].

9. *Resursy poverhnostnyh vod SSSR*. Vol. 15. Altay i Zapadnaya Sibir'. No. 3. Nizhnij Irtysh i Nizhnyaya Ob'. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1972, pp. 8-64. [in Russ.].

10. *Resursy poverhnostnyh vod SSSR*. Vol. 11. Srednij Ural i Priural'e. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1972, p. 30. [in Russ.].

11. *Romanova Yu. A.* Vodohozyajstvennyj kompleks bassejna reki Irtysh v usloviyah pereraspredeleniya rechnogo stoka vyshe transgranichnyh stvorov: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Moscow, 2013, 25 p. [in Russ.].

12. *Dannye o srochnyh znacheniyah temperatury vozduha dlya meteostantsij Omskoj i Tyumenskoj oblastej VNIIGMI-MTSD*. Available at: <http://meteo.ru/index.html>. [in Russ.].

Поступила в редакцию 18.04.2019 г.

Received by the editor 18.04.2019.