

## МЕТОД КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ЕЖЕДНЕВНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ Р. ОБЬ – С. АЛЕКСАНДРОВСКОЕ

Участок речной системы Нижнего Иртыша и Средней Оби ограничен нижним створом – с. Белогорье (р. Обь), и верхними створами – г. Тобольск (р. Иртыш), г. Колпашево (р. Обь). Суммарная площадь водосбора составляет 704000 км<sup>2</sup>.

По условиям формирования стока и с учетом информационного гидрометеорологического обеспечения рассматриваемая территория разделена на 6 районов, названия которых даны по имени основных рек, впадающих в главные артерии: реки Обь и Иртыш (табл. 1).

Таблица 1

Районы исследуемого бассейна

Наименование района	Васюган	Кеть	Вах	Демьянка	Конда	Аган
Площадь, км <sup>2</sup>	131515	148426	84404	130997	97162	111496

Почти вся исследуемая территория входит в состав зоны избыточного атмосферного увлажнения Западно-Сибирской лесоболотной провинции. Она является одним из наиболее заболоченных районов нашей планеты. Болота получили здесь широкое распространение не только на севере, но и на юге лесной зоны и в лесостепи.

Годовая норма атмосферных осадков на исследуемой территории составляет 500–650 мм. Она возрастает до 600 мм в средней и северной частях Обь-Иртышского междуречья, в бассейнах рек Большой Юган и Васюган. В долине р. Оби норма осадков снижается до 500–550 мм. В пределах правобережья Оби (бассейны рек Тым, Вах, Аган и др.) возрастает до 600–650 мм. Крайний юго-запад исследуемой территории попадает в зону атмосферного недоувлажнения южно-таежной Западно-Сибирской провинции. Здесь норма осадков составляет 500–550 мм.

Максимально возможное испарение, характеризующее радиационный баланс деятельной поверхности, плавно снижается с юга на север от 650–700 до 500–470 мм. Годовой слой стока возрастает в северо-восточном направлении от 75–100 до 225–250 мм, т.е. увеличивается примерно в три раза. Коэффициент годового стока, чутко реагирующий на соотношение тепла и влаги, увеличивается в северо-восточном направлении от 0,15 до

0,40. Таким образом, тепловлагообеспеченность рассматриваемой территории существенно изменяется, возрастая в северо-восточном направлении.

В основу анализа структуры водного баланса весеннего половодья в лесной зоне Западно-Сибирской равнины положены результаты многолетних исследований, опубликованных в [1].

Ниже рассмотрим результаты исследований для замыкающего створа р. Обь – пос. Александровское. В этом случае участок речной системы включает два района: Васюган и Кеть. Входной створ участка: р. Обь – г. Колпашево.

При оценке снегозапасов в речных бассейнах исходим из следующих положений, подтвержденных анализом материалов снегомерных съемок [1]:

1. снегозапасы в лиственных и не очень густых смешанных лесах в болотных ландшафтах практически равны;
2. в бассейнах таежных рек, где лесистость и заболоченность в сумме превышают 85 %, запасы воды в речных бассейнах могут приравняться снегозапасам в лесах;
3. в лесостепных районах средние по территории бассейна снегозапасы  $S$ , мм, определяются с учетом различий снегонакопления в лесу  $S_l$  и на безлесных участках  $S_n$ :

$$S = S_l \cdot (f_l + f_b) + S_n \cdot (1 - f_l - f_b), \quad (1)$$

где  $f_l$  и  $f_b$  – лесистость и заболоченность в долях от единицы.

Средние за многолетний период снегозапасы в конце зимы увеличиваются в северо-восточном направлении от 100–110 до 220 мм.

Осадки  $x$ , выпадающие от момента наступления максимума снегозапаса до окончания таяния снега в лесах, составляют заметную долю в приходной части водного баланса. Среднее многолетнее количество этих осадков изменяется от 15 мм на юго-западе до 50 мм на востоке и северо-востоке.

В результате расчленения гидрографов стока половодья по типам водного питания определены три составляющие суммарного стока за период половодья (в мм слоя воды):

- 1) сток талых вод  $Y$  (формируется в результате таяния снега и поступления осадков периода снеготаяния);
- 2) дождевой сток  $Y_d$  (формируется осадками, выпадающими после схода снега);
- 3) подземный сток  $Y_p$ .

Суммарный сток половодья составляет:

- северная лесостепь и подзона осиново-березовых лесов 25–45 мм;

- подзона южной тайги 45–130 мм;
- подзона средней тайги 110–140 мм;
- подзона северной тайги 140–220 мм.

Расчеты показывают, что сток талых вод  $Y$  составляет 61–88 % суммарного весеннего стока. В подзоне осиново-березовых лесов доля талого стока равна в среднем 85 %, в зоне тайги она снижается до 79–61 %.

В южных районах рассматриваемой территории потери талого стока  $P = (S + x) - Y$  возрастают с увеличением заболоченности и лесистости. Так, в заболоченных и лесистых бассейнах Северобарабинской низменности потери талого стока достигают 110–115 мм. В бассейне р. Вагай, где увеличивается доля безлесных и незаболоченных пространств, потери стока снижаются на 20–25 мм. Аналогичная картина характерна и для притоков Вагая (р. Балахлей и др.).

На юге Васюганья (реки Икса, Чая, Парабель) потери талого стока примерно такие же, как и в Северобарабинской низменности (110–120 мм). Севернее (реки Васюган, Демьянка, Б. Юган) потери несколько снижаются (90–100 мм), что объясняется большей увлажненностью и более интенсивным эрозионным расчленением этой территории. В возвышенных и лучше дренированных бассейнах Приуралья (реки Ница, Мучай) потери стока не превышают 90 мм. Близкая величина потерь отмечается в пределах возвышенности Люлин-Вор (бассейн р. М. Сосьва). Наименьшая величина потерь (77 мм) зафиксирована в бассейне р. Таза, чему способствует распространение в этом бассейне мореных возвышенностей, значительная расчлененность рельефа, вечная мерзлота.

Самые значительные потери талого стока приурочены к районам зандровых и озерно-аллювиальных равнин, отличающихся плоским рельефом, высокой заболоченностью, повсеместным распространением озер. Это бассейны Лямина, Агана, Тром-Егана, Надыма, Кети, Тыма, где потери талого стока составляют 115–130 мм.

Одной из климатических характеристик, существенно влияющих на условия таяния снега, может считаться температура воздуха. С учетом широтной зональности температуры и других гидрометеорологических характеристик на типичных равнинах, какой является рассматриваемая территория, естественно вместо высотных зон здесь использовать широтные зоны. Зонирование по широтам было проведено с шагом 30' дуги. Всего бассейн Средней Оби разделён на 44 зоны.

Для оценки динамики площади снегового покрытия в районах и широтных зонах на основе спутниковой информации радиометра *MODIS* с КА *Terra* реализована автоматизированная система обработки и представления данных о площадях заснеженности речных бассейнов. Система состоит из двух программ: «Служба мониторинга снежного

покрова» и «Информационный сайт службы мониторинга снежного покрова» (автор – В.Ю. Ромасько). В совокупности они обеспечивают автоматизированную обработку данных о заснеженности речных бассейнов с суточной периодичностью, а также предоставляют доступ к полученной информации потребителям в любой точке земного шара и в любой момент времени посредством сети Интернет. Предоставляемая информация состоит из картосхем снежного покрова и облачности, табличной информации об относительных площадях заснеженности районов и зон бассейнов.

Равнинный характер ландшафтов и низкая лесистость приводят к относительно быстрому равномерному сходу снега, без существенных вариаций в течение всего периода снеготаяния. Снег начинает сходить в апреле (чаще во второй половине) и заканчивает сходить к концу мая (чаще к концу второй декады). Таким образом, период весеннего снеготаяния длится от 30 до 50 суток (чаще 30–35 суток). По спутниковым наблюдениям 2005–2010 гг. самая ранняя весна наблюдалась в 2009 году, самая поздняя – в 2006 году. Весны 2005 и 2010 гг. в бассейне Средней Оби по срокам близки к средним срокам.

Процессы стокообразования описываются в рассматриваемых нами моделях гидрологических прогнозов с помощью используемых в гидрологической практике понятий и расчетных зависимостей. Территориальное многообразие процессов стока учитывается путем выделения в бассейне ландшафтно-гидрологических районов. В горных условиях в каждом районе учитывается высотная поясность через выделение высотных зон, на равнине (в нашем случае) выделяются широтные зоны. Неравномерность распределения на водосборах запасов снега, емкостного поглощения воды и других факторов формирования стока учитывается с помощью распределений вероятности.

В Сибири, вследствие недостаточного информационного обеспечения гидрологических прогнозов, в оперативной практике реализованы концептуальные модели, использующие всю доступную оперативную информацию – наземную (температура воздуха, осадки, расходы и уровни воды в замыкающем створе и на речной системе) и спутниковую (динамика снегового покрытия территории водосбора). В обобщенном виде структура модели показана на рисунке, ее описание, последовательность оптимизации параметров приведены в [2–5].

Список пунктов наблюдений, используемых для реализации модели, представлен в табл. 2.

Для нахождения неизвестных параметров, входящих в расчетные уравнения модели, использованы материалы наблюдений Росгидромета с суточным разрешением за 1991–2010 гг. и спутниковая информация за 2005–2010 гг.



**Рис. Общая структура модели формирования стока.**

Таблица 2

**Пункты наблюдений, используемые для реализации модели**

<b>Метеорологические характеристики</b>		
<i>Снегомерные съёмки</i>	<i>Ежедневные осадки</i>	<i>Температура воздуха</i>
Средний Васюган	Бакчар	Александровское
Новый Васюган	Колпашево	Бакчар
Старица	Майск	Колпашево
Пудино	Напас	Майск
Польнянка	Пудино	Напас
Напас	Старица	Старица
	Усть-Озерное	Усть-Озерное
<b>Гидрологические характеристики</b>		
<i>Ежедневные расходы</i>	<i>Уровни воды</i>	
р. Обь – г. Колпашево	р. Обь – г. Колпашево	
	р. Васюган – с. Новый Васюган	
	р. Васюган – с. Средний Васюган	
	р. Кеть – д. Радионовка	
	р. Тым – с. Напас	
	р. Чая – с. Подгорное	
	р. Обь – с. Каргасок	
	р. Тым – с. Ванжиль-Кынак	
	р. Обь – с. Александровское	
<i>Средние месячные расходы воды (характеристика осеннего увлажнения)</i>		
р. Васюган – с. Новый Васюган		
р. Тым – с. Напас		

Оптимизация параметров отдельных блоков модели выполнена таким образом, чтобы было обеспечено возможное приближение по районам и широтным зонам «модельных» и наблюдаемых средних многолетних характеристик запасов снега, слоя стока за расчетный период, а также динамики снегового покрытия за отдельные годы по расчетной модели и спутниковой информации. Минимизировался критерий качества – средняя квадратичная ошибка расчета ежедневных уровней (расходов) воды за 1991–2010 гг.

Показатели точности метода по результатам оптимизации модели на зависимом материале представлены в табл. 3.

Метод дает возможность составлять прогнозы ежедневных уровней воды в весенне-летний период с заблаговременностью до 7 суток.

Оперативное составление прогнозов по методу проводилось в период апрель-август 2010 г. в отделе гидрологических прогнозов Гидрометцентра ФГБУ «Новосибирский ЦГМС-РСМЦ». Заметим, что для вышеуказанного пункта метод прогноза ежедневных уровней воды в период весеннего половодья ранее не разрабатывался.

Оценка прогнозов проводилась в соответствии с Наставлением [7] и Методическими указаниями [6]. За период испытания было составлено по 131–137 прогнозов ежедневных уровней воды с заблаговременностью от 1 до 7 суток для р. Обь – с. Александровское. Средняя оправдываемость прогнозов ежедневных уровней воды р. Обь – с. Александровское за период испытания составила 94 %, оценка качества прогнозов  $S/\sigma$  – 0,57–0,71 (удовлетворительно).

Преимущества данного метода заключаются в том, что метод является автоматизированным и не требует существенных временных затрат на подготовку исходных данных.

Таблица 3

**Показатели точности метода расчета ежедневных уровней воды  
р. Оби у с. Александровское на зависимом материале наблюдений**

Заблаговременность прогноза $\Delta t$ , сутки	1	2	3	4	5	6	7
Средняя квадратичная ошибка прогноза $\sigma_s$ , см	6,6	10,5	13,7	16,1	18,8	21,9	27,1
Среднее квадратичное отклонение притока за период $\Delta t$ $\sigma$ , см	13,2	25,4	36,9	47,8	58,1	67,8	86,4
Критерий точности и эффективности методики прогноза $\sigma_s / \sigma$	0,50	0,41	0,37	0,34	0,32	0,32	0,31

Технический совет ФГБУ «Новосибирский ЦГМС-РСМЦ» постановил: внедрить в оперативную работу отдела гидрологических прогнозов ГМЦ с апреля 2011 года «Метод краткосрочного прогноза ежедневных уровней воды р. Обь – с. Александровское» (ответственный исполнитель – Д.А. Бураков, ФГБУ «СибНИГМИ») в качестве основного.

### Список литературы

1. Бураков Д.А. Основы гидрологических прогнозов объема и максимума весеннего половодья в лесной зоне Западно-Сибирской равнины // Вопросы географии Сибири. – 1978. – Вып. 11. – С. 3–49.
2. Бураков Д.А. Математическая модель расчета гидрографа весеннего половодья для равнинных заболоченных бассейнов // Метеорология и гидрология. – 1978. – № 1. – С. 49–59.
3. Бураков Д.А. К оценке параметров уравнений, аппроксимирующих кривую руслового добегания // Водные ресурсы. – 1978. – № 4. – С. 21–24.
4. Бураков Д.А., Авдеева Ю.В. Технология оперативных прогнозов ежедневных расходов (уровней) воды на основе спутниковой информации о заснеженности (на примере р. Нижней Тунгуски) // Метеорология и гидрология. – 1996. – № 10. – С. 75–87.
5. Бураков Д.А., Адамович А.А. Учет весенних заморозков в гидролого-математической модели прогноза наводнений в бассейне Енисея // Труды VII научной конференции «Современные методы математического моделирования природных и антропогенных катастроф». Том 1. – Красноярск, 2003. – С. 14–21.
6. РД 52.27.284-91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиофизических прогнозов
7. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Служба гидрологических прогнозов. Часть 1. – Ленинград, 1962. – 193 с.