

**МЕТОДИКА ПРОГНОЗА ДЕКАДНОГО ПРИТОКА ВОДЫ  
В ВОДОХРАНИЛИЩА ЕНИСЕЙСКИХ ГЭС  
(САЯНО-ШУШЕНСКОЕ И КРАСНОЯРСКОЕ)  
В ПЕРИОД ОТКРЫТОГО РУСЛА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕЕ ИСПЫТАНИЯ**

**Гидролого-математическая модель – методическая основа прогнозов**

В Сибири, вследствие недостаточного информационного обеспечения гидрологических прогнозов, в оперативной практике реализована концептуальная модель формирования стока, использующая всю доступную оперативную информацию – наземную (температура воздуха, осадки, расходы и уровни воды в замыкающем створе и в речной системе) и спутниковую (динамика снегового покрытия территории водосбора). В обобщенном виде структура модели показана на рисунке.

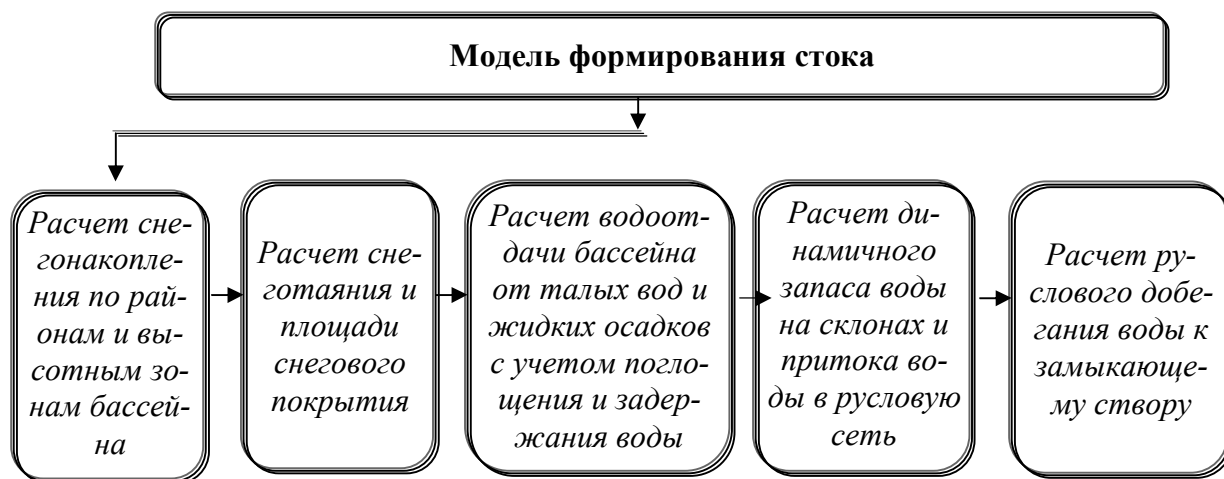


Рисунок. Блок-схема гидролого-математической модели формирования стока.

В настоящее время гидролого-математическая модель используется на практике для прогноза ежедневных уровней воды рек Енисей, Абакан, Туба, Кача, Чулым и др., а также ежедневного притока воды в водохранилища Красноярской, Саяно-Шушенской и Новосибирской ГЭС.

Целью настоящей работы являлась адаптация модели, рассмотренной в [1–6], применительно к условиям бассейна Саяно-Шушенского и Красноярского водохранилищ и её реализация на базе наземной информации пунктов наблюдений гидрометеорологической сети и спутниковой информации.

### **Использование спутниковой информации для оценки динамики снегового покрытия бассейна в гидролого-математической модели стока весеннего половодья**

Бассейны Саяно-Шушенского и Красноярского водохранилищ весьма слабо освещены метеорологическими наблюдениями, особенно в основных питающих высотных зонах (выше отметки 1000 м над уровнем моря). Расчёты по модели дают возможность оценить динамику площадей снегового покрытия (в районах и высотных зонах) и сопоставить её с космической информацией со спутника «Терра». В результате проводится оптимизация параметров блоков модели, в которых ведётся расчёт снегонакопления и снеготаяния [7, 8, 9]. Путем корректировки высотного распределения нормы снегонакопления получают наилучшее совпадение модельных и спутниковых данных (ИСЗ «Терра») о динамике площадей снегового покрытия.

Использование спутниковой информации для оперативной коррекции прогнозов выполняется в тех случаях, когда рассчитанные по наземной информации значения заснеженности более чем на 6–10 % отличаются от спутниковых данных. При таком несовпадении космических и “модельных” значений заснеженности запускается специальный режим коррекции, в котором прогнозист по запросу ПК вводит процент исправления запаса воды в снежном покрове в соответствующих районах (высотных зонах), добиваясь в интерактивном режиме совпадения рассчитанной и «космической» заснеженности. В ходе снеготаяния продолжается сопоставление сравниваемых характеристик и при необходимости проводится повторная коррекция запаса воды в снежном покрове.

В 2006 г. разработан и реализован пакет программ «Служба мониторинга заснеженности» – полностью автоматическая система непрерывной обработки данных дистанционного зондирования Земли для оценки заснеженности речных бассейнов и средней высоты границы снега. «Служба мониторинга заснеженности» является масштабируемым, многопоточным приложением, работает полностью автоматически, добавляет и обновляет данные в течение 30 минут после получения, представляет результаты в виде изображений, отчетов и графиков и обеспечивает доступ к ним через глобальную сеть.

## **Применение гидролого-математической модели для долгосрочного прогноза элементов водного режима**

Специфика применения математических моделей для детерминистического долгосрочного прогноза объема, максимального расхода и гидрографа весеннего половодья связана с тем обстоятельством, что решение задачи с увеличением заблаговременности прогноза все в большей степени зависит от будущей погоды, которая достоверно не известна на момент выпуска прогноза.

Преимуществом применения метода моделирования является возможность усвоения среднесрочных и краткосрочных прогнозов погоды для непрерывного уточнения долгосрочного прогноза гидрографа весеннего половодья, выдача результата с суточным разрешением, а также возможность оперативной оценки влияния метеорологических особенностей весны на ожидаемый весенний сток.

Программное обеспечение, разработанное на основе гидролого-математической модели, позволяет путём численных экспериментов моделировать величины речного стока и ежедневного притока воды в водохранилища ГЭС. При моделировании используются имеющиеся к моменту выпуска прогноза максимальные запасы воды в снежном покрове, характеристики предшествующего увлажнения бассейна, а также фактические данные наблюдений за ежедневной температурой воздуха и суточными осадками.

Начиная с 2001 года накапливается опыт использования рассмотренной модели для выпуска прогноза притока воды в водохранилища Енисейских ГЭС на декаду, месяц и квартал.

### **Испытание методики прогноза декадного притока воды в водохранилища Енисейских ГЭС**

Испытания проводилось в оперативном режиме в течение второго и третьего кварталов 2007–2008 гг.

Прогноз рассчитывался по специально разработанной для пользователя программе, реализуемой на ПЭВМ. Начиная с первой декады марта, ежедневно в память компьютера вводилась ежедневная гидрометеорологическая информация (по данным наблюдений) и прогностическая на период заблаговременности прогноза. Уровни воды и средний суточный приток воды учитывались на дату выпуска прогноза и предшествующие сутки. Результат прогноза – ежедневный приток воды в водохранилище.

На начало каждой декады выпускался прогноз притока воды, основывающийся на данных прогноза погоды Красноярского Гидрометцентра на шесть суток. Синоптическая си-

туация в конце декады дополнялась по наиболее вероятному развитию ситуации, на основе месячного прогноза погоды Иркутского ГМЦ. Прогноз погоды по южным районам края интерпретировался в числовом выражении в количество осадков и температуру воздуха на станциях бассейна водохранилищ, включенных в методику прогноза.

Успешность прогнозов притока воды в водохранилища Енисейских ГЭС на декаду за период открытого русла 2007–2008 гг. определялась по соотношению ошибки расчета и допустимой ошибки прогноза (табл. 1, 2).

Всего для Красноярского водохранилища по гидролого-математической модели в 2007 г. было выпущено 14 прогнозов притока воды на декаду (3 не оправдалось), в 2008 г. – 13 прогнозов (2 не оправдалось).

Таблица 1

**Оправдываемость прогноза декадного притока воды в водохранилище  
Красноярской ГЭС в 2007–2008 гг.**

Месяц	Декада	2007 г.				2008 г.				Доп. ошибка
		Факт	Прогноз	Ошибка		Факт	Прогноз	Ошибка		
Май	1									
	2	4670	5979	1309	-	3960	3640	-320	+	934
	3	5700	4052	-1648	-	4270	4280	10	+	1150
Июнь	1	6510	4239	-2271	-	3510	3140	-370	+	1120
	2	3470	2518	-952	+	2390	2300	-90	+	1020
	3	3050	3052	2	+	2040	2110	70	+	697
Июль	1	2190	2086	-104	+	1250	1240	-10	+	560
	2	1710	1480	-230	+	1630	1700	70	+	497
	3	1070	1024	-46	+	1170	1580	410	+	416
Август	1	1520	1441	-79	+	1060	1180	120	+	479
	2	1420	1356	-64	+	970	770	-200	+	364
	3	1550	1620	70	+	1660	1490	170	+	318
Сентябрь	1	1100	788	-312	+	1480	650	-830	-	345
	2	935	802	-133	+	2400	1810	-590	-	402
	3	934	670	-264	+					
<b>Оправдываемость декадных прогнозов, %</b>		<b>79</b>				<b>85</b>				

Для Саяно-Шушенского водохранилища по гидролого-математической модели в 2007 году было выпущено 14 прогнозов притока воды на декаду (2 не оправдалось), в 2008 году – 13 прогнозов (4 не оправдалось).

**Оправдываемость прогноза декадного притока воды в водохранилище  
Саяно-Шушенской ГЭС в 2007–2008 гг.**

Месяц	Декада	2007 г.				2008 г.				Доп. ошибка
		Факт	Прогноз	Ошибка		Факт	Прогноз	Ошибка		
Май	1	2340	3716	1376	-	2430	1810	-620	+	671
	2	2640	3994	1354	-					
	3	3440	3906	466	+					
Июнь	1	4180	4141	-39	+	3300	2770	-530	+	970
	2	3930	3379	-551	+					
	3	3240	3397	157	+					
Июль	1	2470	2849	379	+	1740	2020	280	+	676
	2	2280	2391	111	+					
	3	1820	1809	-11	+					
Август	1	2220	2304	84	+	1660	2200	540	-	467
	2	1670	1794	124	+					
	3	1420	1579	159	+					
Сентябрь	1	1170	1024	-146	+	1850	1320	-530	-	354
	2	1040	944	-96	+					
	3									
<b>Оправдываемость декадных прогнозов, %</b>		<b>86</b>				<b>69</b>				

Низкой оправдываемостью характеризовались прогнозы декадного притока в водохранилище Красноярской ГЭС в сентябре, Саяно-Шушенской ГЭС – в августе–сентябре, в период наблюдавшейся в 2008 году повышенной водности на южных притоках Енисея вследствие выпадения обильных дождей.

Во втором квартале прогнозы оправдывались лучше, чем в третьем. Прогнозы в третьем квартале все меньше зависят от запаса воды в снеге и температуры воздуха и все больше зависят от прогноза осадков.

Таким образом, оправдываемость прогноза декадного притока воды в водохранилище Красноярской ГЭС составила: 85 % в 2008 г. и 79 % в 2007 г. Качество прогнозов притока воды в Саяно-Шушенское водохранилище несколько ниже: 69 % в 2008 г. и 86 % в 2007 г. Это связано с крайне редкой гидрометеорологической сетью в бассейне, отсутствием данных по р. Хемчик, отсутствием репрезентативных высокогорных станций выше створа р. Енисей у г. Кызыла.

Заслушав и обсудив полученные результаты испытания метода прогноза декадного притока воды в водохранилища Саяно-Шушенской и Красноярской ГЭС в период открытого русла 2007–2008 гг., Технический совет Среднесибирского УГМС в своем решении от 13 ноября 2008 г. отметил актуальность и своевременность проделанной работы и постановил:

1. Рекомендовать использовать метод декадного прогноза притока воды в водохранилище Красноярской ГЭС в качестве основного расчетного метода в Отделе гидрологических прогнозов Гидрометцентра Красноярского ЦГМС–Р.

2. Метод декадного прогноза притока воды в водохранилище Саяно-Шушенской ГЭС рекомендовать в качестве вспомогательного расчетного метода на период июнь–август.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бураков Д.А. Предвычисление гидрографа весеннего половодья заболоченных рек в южной части лесной зоны Западно-Сибирской низменности // Метеорология и гидрология. – 1966. – № 1. – С. 42–46.

2. Бураков Д.А. К оценке параметров уравнений, аппроксимирующих кривую руслового добегания // Водные ресурсы. – 1978. – № 4. – С. 21–24.

3. Бураков Д.А. Кривые добегания и расчет гидрографа весеннего половодья. – Томск: Томский госуниверситет, 1978. – 129 с.

4. Бураков Д.А. Математическая модель расчета гидрографа весеннего половодья для равнинных заболоченных бассейнов // Метеорология и гидрология. – 1978. – № 1. – С. 63–71.

5. 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.

6. 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.

7. Бураков Д.А., Кашкин В.Б., Сухинин А.И., Ромасько В.Ю., Ратненко И.В. Методика определения заснеженности речного бассейна по спутниковым данным для оперативных прогнозов стока // Метеорология и гидрология. – 1996. – № 8. – С. 100–109.

8. Котляков В.М., Ходаков В.Г., Гринберг А.М. Тепловое проявление снежно-ледовых объектов как метод количественной интерпретации аэрокосмической информации // Известия АН СССР, Сер. Геогр. – 1981. – № 3. – С. 127–134.

9. Тема 1.8.78 Плана НИР Росгидромета за 2007 г. Отчет по НИР «Внедрить автоматизированные технологии прогноза притока воды в водохранилища Сибирских ГЭС на основе наземной и спутниковой информации среднего разрешения. Разработать методики прогноза максимальных уровней воды на затороопасных участках рек Сибири». – СибНИГМИ. Красноярское и Западно-Сибирское УГМС. Ответственный исполнитель темы Д.А. Бураков.