

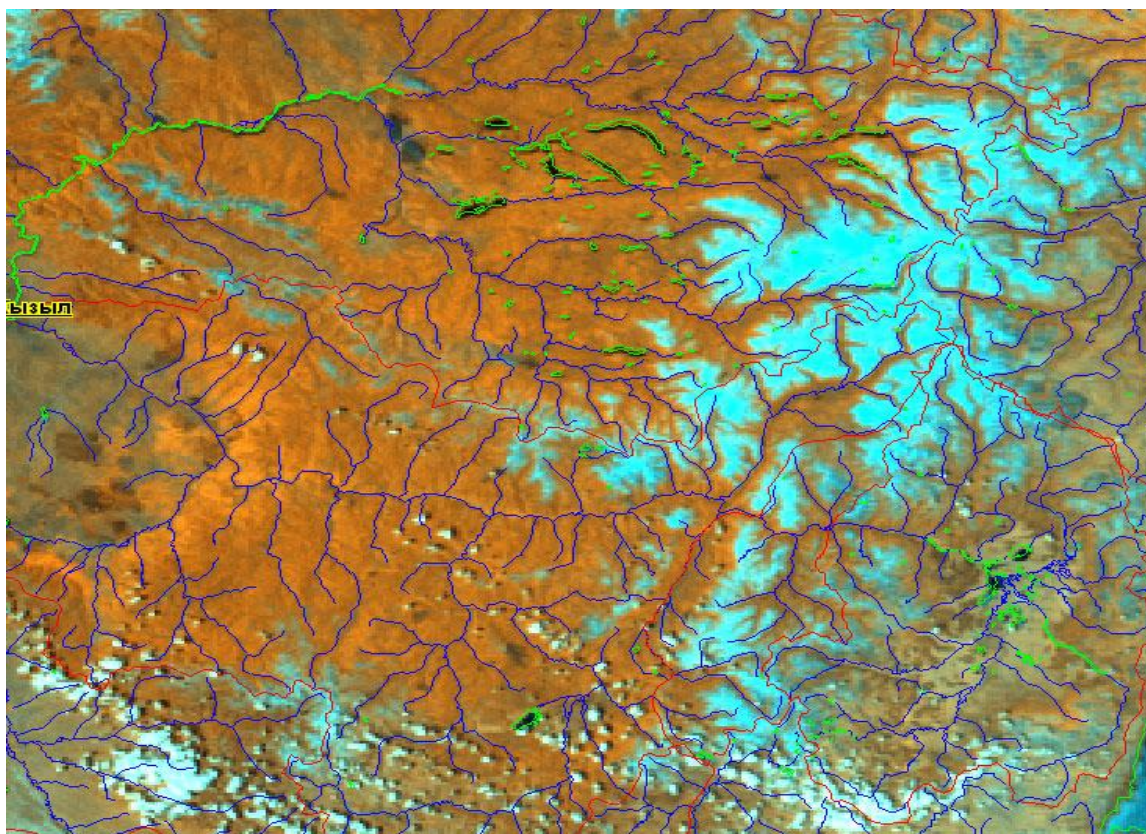
Федеральная служба России по гидрометеорологии мониторингу окружающей среды
Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт
Среднесибирское и Западно-Сибирское УГМС

**Разработка и усовершенствование методов и программного обеспечения
прогноза ежедневных и максимальных уровней воды в бассейнах рек
Верхней и средней Оби и Енисея с применением математических и фи-
зико-статистических моделей
отчет**

(тема 8.79 плана НИР и ОКР Росгидромета)

Ответственный исполнитель темы

Д.А. Бураков



Новосибирск, 2009

Федеральная служба России по гидрометеорологии мониторингу окружающей среды
Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт
Среднесибирское и Западно-Сибирское УГМС

Утверждаю:

Директор СибНИГМИ

_____ В.Н. Крупчатников

« ____ » _____ 2009 г

**Разработка и усовершенствование методов и программного обеспечения
прогноза ежедневных и максимальных уровней воды в бассейнах рек
Верхней и Средней Оби и Енисея с применением математических и фи-
зико-статистических моделей
отчет**

(тема 8.79 плана НИР и ОКР Росгидромета)

Ответственный исполнитель темы

Д.А. Бураков

Новосибирск, 2009

УДК 556.536.164

РЕФЕРАТ

Д.А. Бураков, В.Ф. Богданова, С.А. Холод, В.Ф. Космакова, И.Н. Гордеев, и др.

«Разработка и усовершенствование методов и программного обеспечения прогноза ежедневных и максимальных уровней воды в бассейнах рек Верхней и Средней Оби и Енисея с применением математических и физико-статистических моделей» (тема 8.79 плана НИР и ОКР Росгидромета). Ответственный исполнитель темы дгн, проф. Д.А. Бураков.

Алгоритмы и программное обеспечение прогноза. ежедневных и максимальных уровней воды в бассейнах рек Верхней и Средней Оби с применением математических и физико-статистических моделей. Физико-статистическая модель долгосрочного прогноза максимальных уровней воды на затороопасных участках рек Томи и Енисея.

Ключевые слова:

Гидрологические прогнозы, нижний бьеф, русловая сеть, речная система, расход воды, попуски ГЭС, время добегания, кривая добегания, гидролого-математическая модель формирования стока, кромка ледостава, подвижка льда, полынья, ледовый режим.

ОСНОВНЫЕ ИСПОЛНИТЕЛИ

1. Бураков Дмитрий Анатольевич, дгн, профессор, ответственный исполнитель от Среднесибирского УГМС	Научное руководство, разработка метода прогноза, математическая модель стока, разработка программного обеспечения прогноза, оптимизация параметров моделей, численные эксперименты, автор глав 1,3, соавтор главы 4.
2. Богданова Валентина Федоровна, ответственный исполнитель от Западно-Сибирского УГМС	Подготовка электронного архива данных по бассейну Верхней Оби.
3. Космакова Вера Фатеевна	Разработка корреляционных зависимостей для прогноза максимальных уровней воды, включая заторные, для пунктов в бассейне р. Томи.
4. Холод Светлана Андреевна	Гидрологические расчеты, подготовка электронного архива данных, оптимизация параметров моделей, оценка оправдываемости прогнозов.
5. Гордеев Иван Николаевич	Разработка корреляционных зависимостей для прогноза максимальных уровней воды, включая заторные, для р. Енисея.

Оглавление

Введение	5
Глава 1. Алгоритм модели формирования стока, реализующий прогноз ежедневных уровней (расходов) воды	6
Глава 2. Оценка динамики снегового покрытия по данным ИСЗ Terra	14
2.1. Динамика заснеженности районов и высотных зон бассейнов Обского, Красноярского и Саяно-Шушенского водохранилищ в 2004—2006 гг.	14
Глава 3. Бассейн р. Оби до г. Барнаула	35
3.1. Ландшафтно-гидрологическая характеристика бассейна	35
3.2. Исходные данные	40
3.3. Оптимизация параметров модели прогноза ежедневных расходов (уровней) воды (вариант «Барнаул– 2008»)	43
Глава 4. Бассейны рек Катунь – с. Сростки и Бия – г. Бийск	50
4.1. Ландшафтно-гидрологическая характеристика	50
4.2. Исходные данные	52
4.3. Оптимизация параметров модели прогноза ежедневных расходов (уровней) воды (варианты «Катунь– 2008», «Бия– 2008»)	55
Глава 5. Бассейн р. Абакан у г. Абакан	60
5.1 Ландшафтно-гидрологическая характеристика бассейна	60
5.2. Исходная гидрометеорологическая информация	62
5.3 Результаты оптимизации параметров модели прогноза ежедневных уровней воды	65
Глава 6. Долгосрочный прогноз максимальных уровней воды с учетом возможных заторов льда	68
6.1. Методика прогноза максимальных уровней воды в бассейне р. Томи (Кемерово, Новокузнецк, Междуреченск, Томск)	69
6.2. Методика прогноза максимальных уровней воды весеннего половодья в бассейне р. Енисей (Кызыл, Абакан, Подкаменная Тунгуска)	80
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	91
Список литературы	93

ВВЕДЕНИЕ

В 2007- 2008 гг разработан уточненный вариант модели прогноза притока воды в водохранилище Новосибирской ГЭС [30, 31]. В его основу положены материалы ежедневных гидрометеорологических наблюдений за период 1987 – 2008 гг. (22 года) и информация спутника “Terra” о динамике снегового покрытия районов бассейна Верхней Оби за 2004, 2005, 2006 и 2007 гг.

Результаты упомянутых исследований использованы в настоящем заключительном отчете для усовершенствования методик прогноза ежедневных уровней и расходов воды в пунктах г. Барнаул (р. Обь), г. Бийск (р. Бия), с. Сростки (р. Катунь), г.Абакан (р. Абакан).

Также представлены усовершенствованные методики долгосрочного прогноза максимальных уровней воды р. Томь у городов Новокузнецка, Кемерово, Междуреченска и Томска, р. Енисей у г. Кызыла, р. Абакана – у г. Абакана и р. Подкаменной Тунгуски у пос. Ванавара.

Глава 1. Алгоритм модели формирования стока, реализующий прогноз ежедневных уровней (расходов) воды

На практике применяются концептуальные модели, основанные на параметрическом описании процессов формирования стока (емкостное поглощение, инфильтрация, испарение, движение воды по склонам и русловой сети). Первую модель этого типа, ориентированную на реализацию с помощью электронно-вычислительных машин, разработали Линслей, Крауфорд и Андерсон (Стенфордская модель [15, 16]).

Для описания основных процессов концептуальные модели используют физически и экспериментально обоснованные соотношения. Вместе с тем для описания сложных и экспериментально не изученных зависимостей могут использоваться эвристические соотношения, не всегда обеспечивающие наилучшее решение. Процессы стокообразования описываются с помощью созданных гидрологией понятий в укрупненном, обобщающем виде. 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. Неравномерность распределения на водосборах запасов снега, емкостного поглощения воды и других факторов формирования стока учитывается с помощью распределений вероятности.

Например, 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 [1, 3, 4, 5] показана на рис. 1.1.

В горах южной Сибири пункты наблюдений за снегонакоплением располагаются в основном в относительно засушливых речных долинах. В зонах высокой снежности регулярные наблюдения почти не проводятся. Для оценки запасов снега используется подход, согласно которому допускается существование постоянного соотношения между суммами осадков, выпавших за одинаковые календарные периоды на нижних и верхних высотных уровнях бассейна. По данным наиболее репрезентативных пунктов наблюдений оцениваются относительные (в долях многолетней нормы) характеристики снегонакопления (модульные коэффициенты). Переход от относительных к абсолютным значениям запасов воды в снеге (мм) осуществляется умножением соответствующих модульных коэффици-

ентов на многолетние средние запасы воды в районах и высотных зонах. Последние определяются на основе обобщения существующей информации, научных публикаций, а также с использованием спутниковой информации на основе анализа высотной динамики сезонных снеговых границ.



Рис. 1.1 Общая структура модели формирования стока.

Математические соотношения модели гидрологических прогнозов, используемой для разработки методов прогноза уровней и расходов воды на реках Сибири, достаточно подробно рассмотрены в [1 - 6]. Кратко рассмотрим основные зависимости.

Суточное таяние снега рассчитывается по средней суточной температуре воздуха и коэффициентам стаивания для открытых и лесных территорий. Учет изменения альбедо снежного покрова в ходе снеготаяния достигается эмпирическим путём, - вводятся повышающие сомножители к величине коэффициента стаивания по мере схода снега и появления проталин. Методики расчета переменной в ходе снеготаяния площади снегового покрытия и водоудерживающей емкости снега изложены в [19]. Подача воды на склон в период дождя определяется путем арифметического осреднения суточного слоя осадков в пунктах наблюдений, тяготеющих к данному району (высотной зоне).

Уравнения, описывающие инфильтрационно-емкостную модель поглощения воды бассейном [19], позволяет рассчитать **водоотдачу речного бассейна** $u(t)$, под которой понимается слой стока, образующийся на склонах за единицу времени Δt

$$u(t) = Y(H_t) - Y(H_{t-\Delta t}). \quad (1.1)$$

В (1.1) интегральный слой воды (H), заполняющий водоудерживающую емкость, определяется с учетом слоя заполнения этой емкости на момент начала снеготаяния (U), отдачи воды снежным покровом (h_c), осадков (x), испарения (z) и питания подземных вод (I), т.е.

$$H(t) = U + \sum_{i=1}^i (h_c + x - z - I)_i.$$

Интенсивность питания подземных вод (I , мм/сут) считается постоянной и принимается равной расходу воды в конце кривой истощения (спада).

Слой воды U , заполняющий водоудерживающую емкость перед началом снеготаяния, рассчитывается по логарифмической формуле

$$U = c + b \lg(d + 1),$$

в которой за индекс осеннего увлажнения d принимается осенний сток рек-аналогов в предшествующем году. Слой воды U участвует в формировании стока после схода снега по мере оттаивания верхнего слоя почв и грунтов. В расчетах водоотдачи бассейна слой растаявшей воды принимается пропорциональным корню квадратному из суммы положительных температур воздуха за соответствующий период.

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

$$W(t + \Delta t) = W(t) + u(t + \Delta t) - q(t + \Delta t), \quad (1.2)$$

$$q(t + \Delta t) = \alpha \{0.5[W(t) + W(t + \Delta t)]\}^n, \quad (1.3)$$

где α - переменный коэффициент, учитывающий изменяющиеся гидравлические условия стекания воды со склонов и другие факторы [4, 5, 6]; n - показатель степени.

В расчетах стока дождевых паводков после схода снега за индекс предпаводочного увлажнения почвы принимается расчетная величина притока воды в русловую сеть $q(t)$ перед выпадением осадков.

В период истощения динамического запаса воды на склонах после схода снега, когда суточные осадки (x) меньше суммы потерь на испарение (z) и впитывание (I), водоотдача определяется по формуле

$$u(t) = (x - z - I)g(t) \quad (1.4)$$

где: для периода истощения $(x - z - I) < 0$; $g(t)$ - доля площади речного бассейна, с которой формируются потери динамического запаса воды (см. раздел 3.2). Размеры $g(t)$ в рассматриваемый период сокращаются по мере уменьшения динамического запаса воды и спада притока, что позволяет записать

$$g(t) = (1 - w)\{1 - \exp[-a_c q(t)]\}, \quad (1.5)$$

где: a_c - коэффициент; w - доля постоянно бессточной площади.

Формулы (1.2) – (1.5) позволяет вести непрерывный расчет ежедневного притока воды в русловую сеть. Напомним, что для горных территорий расчеты выполняются по районам и высотным зонам бассейна.

Процесс формирования стока при неустойчивой весенней погоде носит прерывистый характер. Во время потеплений, в ходе снеготаяния, талая вода насыщает поры снега, и ее избыток поступает на поверхность почвы. В периоды похолоданий при отрицательной температуре снеготаяние прекращается, вода, содержащаяся в порах снега, замерзает, лужи и ручьи на свободных от снега участках покрываются льдом, а оттаявшая с поверхности почва начинает повторно промерзать. В итоге происходит задержка притока талой воды в русловую сеть. Последующее резкое потепление, наоборот, может существенно увеличить приток талых вод и вызвать формирование высоких «прорывных» волн. Для оценки количества замерзшей воды используются формулы, в которых толщина слоя промерзания пропорциональна $\sqrt{\sum |-\Theta^0|}$. По аналогии с расчетом снеготаяния по среднесуточной температуре воздуха, вводятся понятия коэффициентов промерзания и таяния. С использованием этих коэффициентов определяются суммы положительных температур $\sum +\Theta^0$, которые потребуются для оттаивания воды, замерзшей во время похолодания. После окончания заморозка, в тот момент времени, когда накопится указанная сумма положительных температур, изъятый на замерзание объем воды восстановится. Следовательно, количество талой воды, которое образуется за период времени между моментами окончания похолодания и накопления $\sum +\Theta^0$ (назовем этот период «восстановительным»), расходуется на восполнение объема воды, временно изъятого на ледообразование. Отсюда вытекает следующий алгоритм расчетов. После окончания заморозка расчет снеготаяния прекращается до окончания восстановительного периода, пока не накопится $\sum +\Theta^0$. При этом расчет склонового притока по формулам (22, 23) продолжается непрерывно как во время похолодания, так и в течение восстановительного периода [6].

Космическая информация о динамике площади одновременного снеготаяния используется для оптимизации блоков снегонакопления и снеготаяния [8, 14, 30]. В горно-лесных районах, где и зимой и весной в период снеготаяния на снимках видны участки густой тёмнохвойной тайги, изображение снега относится к открытым высокогорным ландшафтам, сухим степям, лиственным и не очень густым хвойным и лесам. Для оценки площади, занятой густыми тёмнохвойными лесами, использовались спутниковые изображения территории, полученные перед началом снеготаяния. В программном обеспечении, реализующем математическую модель стока, расчёт снеготаяния по высотным зонам проводится отдельно для территории, покрытой густым хвойным лесом, и для остальной территории. Таким образом, расчёты по модели дают возможность оценить динамику площадей снегового покрытия (в районах и высотных зонах) и сопоставить её со спутни-

ковыми данными. В результате дальнейшего анализа проводится корректировка параметров блоков модели, в которых ведётся расчёт снегонакопления и снеготаяния.

Описанию движения воды в русловой сети отводится важное место в моделях стока. Широкое применение на практике получил метод расчета, основанный на использовании кривой добегания $f(\tau)$. Кривая добегания, называемая также функцией влияния или функцией отклика, понимается обычно как трансформационная функция, с помощью которой гидрограф притока в русловую сеть речного бассейна $q(t)$ преобразуется в гидрограф стока в замыкающем створе $Q(t)$ на основе **интеграла свертки**

$$Q(t) = \int_0^t q(t-\tau) f(\tau) d\tau. \quad (1.6)$$

Известны несколько способов установления кривой добегания: метод единичного гидрографа, метод изохрон, линейная и вероятностная модели добегания [19, 10, 13, 15, 16.].

В вероятностной модели в качестве кривой добегания $f(\tau)$ выступает **плотность распределения времени добегания элементарных объемов воды в гидрологической системе**. Для ее аппроксимации используются двух или трехпараметрические функции плотности распределения вероятностей (гамма-распределение, распределение Г.Н. Бровковича и другие) [2 -5, 9]. Для задания этих функций оцениваются **моменты времени добегания**. Простейшие формулы моментов получены для **бесприточного участка реки**.

Разобьем бесприточный участок на отрезки (подучастки). Время добегания τ элементарного объема воды на всем участке выразится суммой

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n, \quad (1.7)$$

$\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ – соответственно время добегания элементарного объема на первом, втором и т.д. отрезках; n – число отрезков. В турбулентном потоке для отрезков достаточной длины формула (27) представляет сумму независимых случайных величин. Полагая, что статистические характеристики добегания на отрезках однородны, на основе свойств суммы независимых случайных величин получим следующие соотношения:

$$\overline{\tau_L} = L / v, \sigma_{\tau} = a \sqrt{\overline{\tau_L}}, c_v = a / \sqrt{\overline{\tau_L}}, M_3 = k a^2 \overline{\tau_L}, \quad (1.8)$$

где $\overline{\tau_L} = L / v$ – среднее время добегания на участке реки длиной L , v – средняя скорость добегания, для определения которой используются эмпирические формулы гидравлики открытых потоков; σ_{τ} – среднее квадратичное отклонение времени добегания элементарных объемов воды; C_v – коэффициент вариации времени добегания; M_3 – третий центральный момент; a – параметр продольного рассеяния элементарных объемов воды; k – отношение

коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации времени добегания элементарных объемов воды (k может приниматься равным трём).

Начальные моменты времени добегания элементарных объемов **бокового притока** (m_r), поступающего на участок реки, речной системы или всего бассейна, выражаются интегралом [5]

$$m_r = \int_0^{\bar{\tau}_L} m_r(\bar{\tau}) p(\bar{\tau}) d\bar{\tau} \quad (1.9)$$

где m_r - начальный момент r -ого порядка ($r=1,2,3$) времени добегания бокового притока; $m_r(\bar{\tau})$ - то же для бокового притока, поступающего на расстоянии $x = \bar{\tau}v$ от замыкающего створа ($\bar{\tau} = x / v$); $\bar{\tau}_L = L/v$; L - расстояние от замыкающего до верхнего створа (или до наиболее удаленного истока); $p(\bar{\tau})$ - функция плотности распределения объема бокового притока по длине ($x = \bar{\tau}v$) рассматриваемой реки или речной системы (момент $m_r(\bar{\tau})$ определяется по приведенным выше формулам моментов бесприточного участка с использованием уравнений связи начальных и центральных моментов). В работах [2 - 4] приводятся расчётные формулы моментов кривых добегания и рекомендации в отношении определения их параметров для различных частных задач. Так, в случае равномерного распределения бокового притока по длине, моменты плотности распределения времени добегания элементарных объемов бокового притока равны

$$\begin{aligned} m_{1h} &= \frac{\bar{\tau}_L}{2}, \quad \sigma_h^2 = \frac{a^2 \bar{\tau}_L}{2} + \frac{\bar{\tau}_L^2}{12}, \\ M_{3h} &= \frac{ka^4 \bar{\tau}_L}{2} + \frac{a^2 \bar{\tau}_L^3}{4}. \end{aligned} \quad (1.10)$$

Скорости добегания и параметр рассеяния могут задаваться различными по длине речной сети. С этой целью речная система делится на однородные участки. Информация о строении графа речной сети задается в отдельном файле. Степень детализации речной сети определяется с учетом физико-географических условий бассейна. При схематизации графа речной сети рассматриваются только те реки, длина которых превышает $0.50v\Delta t$ (v - скорость добегания; Δt - расчетный интервал).

Для определения кривой добегания $f_q(\tau)$ речной бассейн (район) разбивается системой эквидистант на площадки F_i . Эквидистанты - это линии, соединяющие точки, находящиеся на одинаковом расстоянии вдоль русел до замыкающего створа. Для каждой площадки определяются моменты кривой руслового добегания по формулам, приведенным в [2 - 4], причем L принимается для приточного участка равным расстоянию вдоль русел между соседними эквидистантами, а для бесприточного - расстоянию вдоль русел

от нижней границы площадки до замыкающего створа. Различия скоростей добегания (v) и параметра рассеяния (a) в крупной и мелкой русловой сети учитываются с помощью специальных коэффициентов. По известным значениям моментов для межэквидистантных площадок (m_{ri}) оцениваются моменты бассейновой (районной) кривой добегания (m_r) [2 - 4]:

$$m_r = \sum_1^n \left[\frac{F_i M_i}{F \bar{M}} \right] (m_{ri}), \quad (1.11)$$

где M_i , $\bar{M}$ - соответственно норма модуля (слоя) стока i -ой высотной зоны и всего бассейна (района), определяется по картам речного стока; выражение в квадратных скобках характеризует среднюю долю притока с межэквидистантной площадки F_i .

Скорости добегания и параметр рассеяния определяются с учетом данных наблюдений, либо по существующим формулам и рекомендациям и могут уточняться на этапе оптимизации параметров модели. Зная моменты кривых добегания, можно получить аппроксимации этих кривых с использованием известных функций плотности распределения вероятностей. В частности, в работах [2 - 4] использованы функции гамма-распределения и Бровковича.

Расчеты расходов воды с применением интеграла свертки (29) выполняются для небольших бассейнов, однородных в отношении ландшафта. В общем случае, когда речной бассейн подразделяется на отдельные ландшафтные районы, прогноз расхода воды выполняется с учетом принципа суперпозиции по выражению

$$Q(t + \Delta t) = \left[\sum_{i=1}^n \int_0^{\Delta t} q_i(t + \Delta t - \tau) f_{q_i}(\tau) d\tau \right] + Q_w(t + \Delta t) + Q_{min}, \quad (1.12)$$

где: $Q(t + \Delta t)$ – расход воды в замыкающем створе; t - дата выпуска прогноза; Δt - его заблаговременность; 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 -ого района (функция влияния); $Q_w(t + \Delta t)$ – 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 [6]:

$$H(t + \Delta t) = \left[c_0 \sum \int_0^{\Delta t} q_i(t + \Delta t - \tau) f_{q_i}(\tau) d\tau + \sum c_i (H_i(t) - H_{i_{min}})^{y_1} + \sum c_{i+n} (H_i(t) - H_i(t-1))^{1/y_2} \right] + H_{min}, \quad (1.13)$$

где: H – прогнозируемый уровень воды в замыкающем створе; c_i , y_1 , y_2 - коэффициенты;

$H_{i \min}$ - минимальный уровень воды в i -том пункте речной системы, принятый за условный нуль отсчета; $H_{\min}$ – то же в замыкающем створе.

Параметры, входящие в формулы отдельных блоков модели, определяются сочетанием методов оптимизации и линейной регрессии.

Программное обеспечение, разработанное на основе рассмотренной выше гидролого-математической модели, позволяет путём численных экспериментов моделировать величины речного стока и ежедневного притока воды в водохранилища ГЭС. Известные к моменту выпуска прогноза максимальные запасы воды в снежном покрове, характеристики предшествующего увлажнения бассейна, ежедневные температуры воздуха и суточные осадки определяются по фактическим данным наблюдений.

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. За период заблаговременности суточный ход метеорологических элементов задается в осредненном виде по данным многолетних наблюдений, либо с использованием метеорологических данных года-аналога. Выбор аналога производится с учетом долгосрочных прогнозов погоды (на декаду, сезон или месяц).

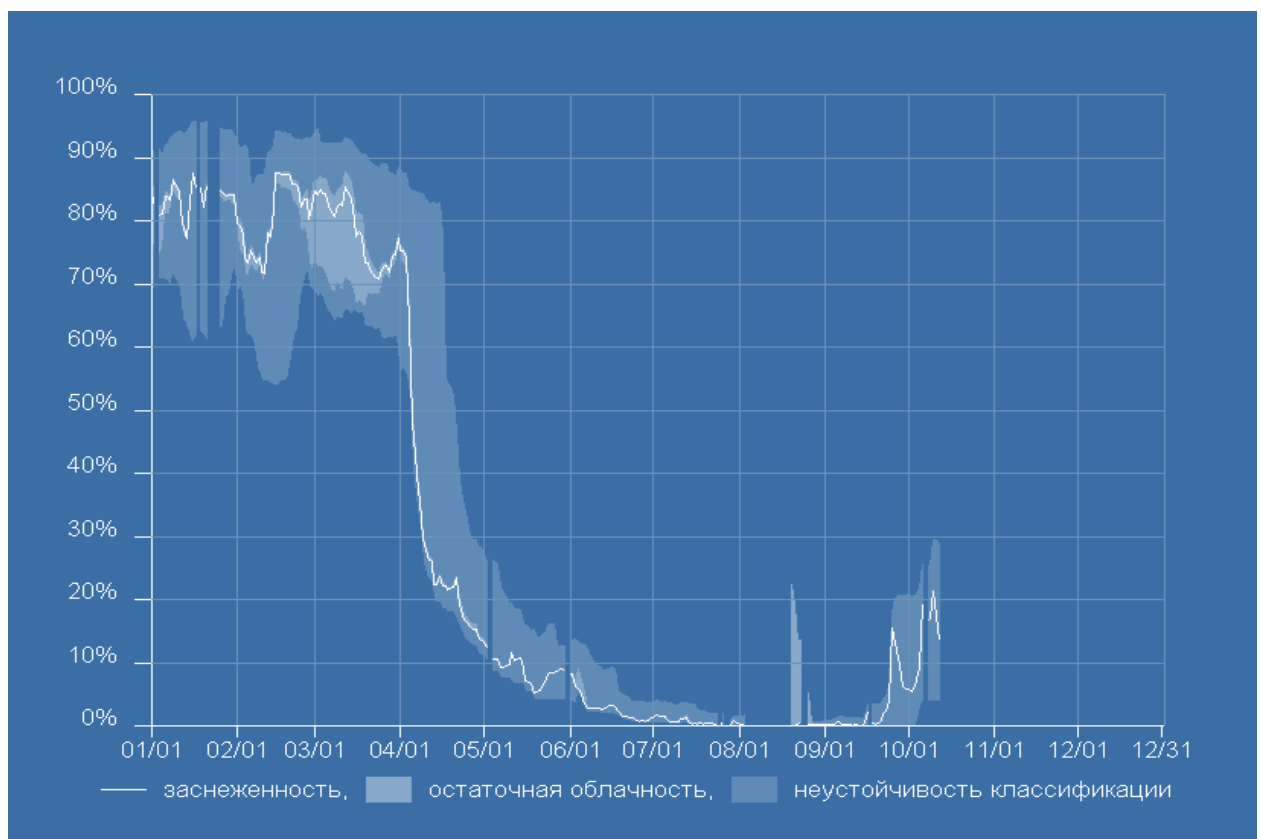
В условиях неопределенности возрастает значение выпуска прогноза в вероятностной форме [16]. В случае долгосрочных гидрологических прогнозов ансамбли прогнозируемых гидрографов рассчитываются при измеренных данных на момент выпуска прогноза (запасы воды в снеге, индекс осеннего увлажнения, глубина промерзания почвы) и ансамблям метеорологических условий за период заблаговременности прогноза. Последние задаются либо по многолетним метеорологическим наблюдениям, либо моделируются методом Монте-Карло при помощи стохастического генератора погоды. По полученным данным результаты прогнозов объема и максимального расхода весеннего половодья можно представить в форме кривых распределения.

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.

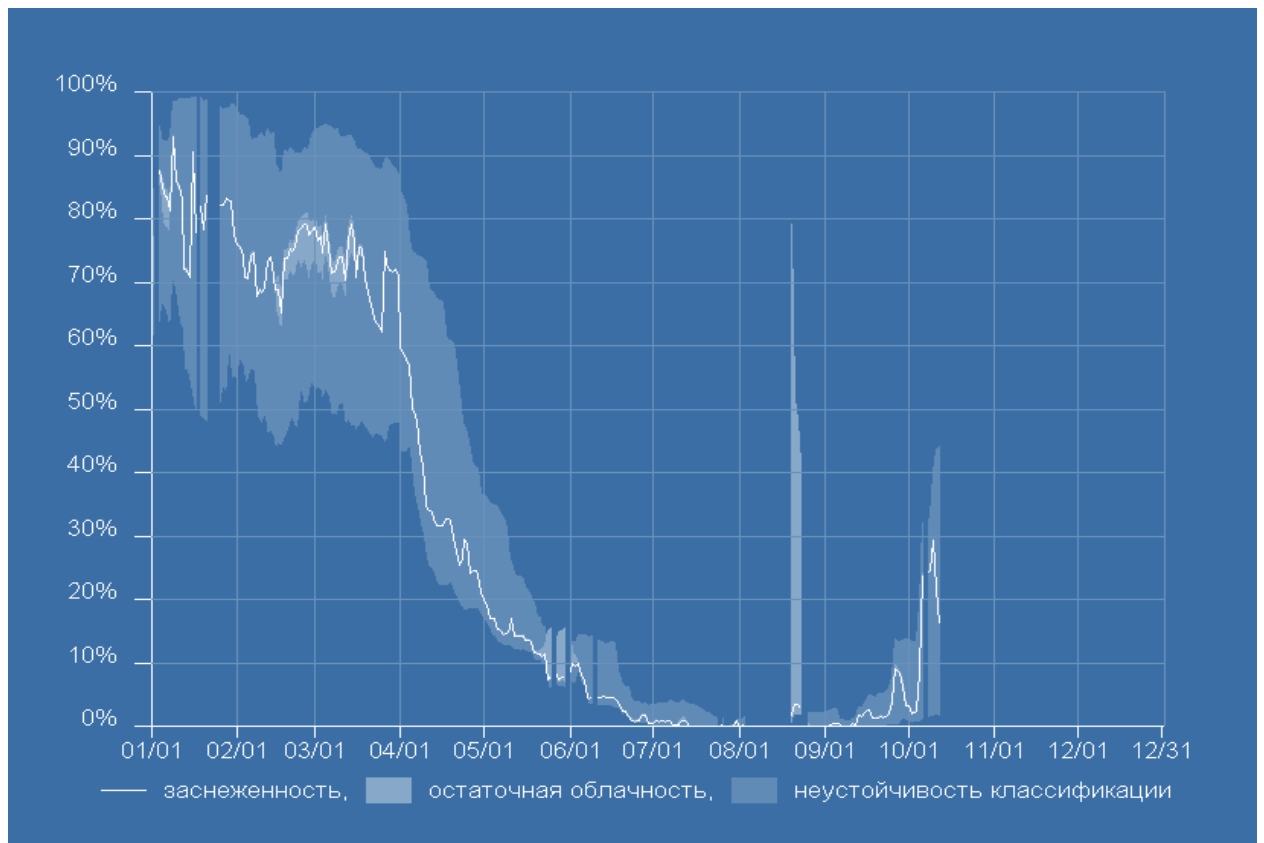
Глава 2. Оценка динамики снегового покрытия по данным ИСЗ Terra

Динамика заснеженности районов и высотных зон бассейнов Обского, Красноярского и Саяно-Шушенского водохранилищ в 2004—2006 гг.

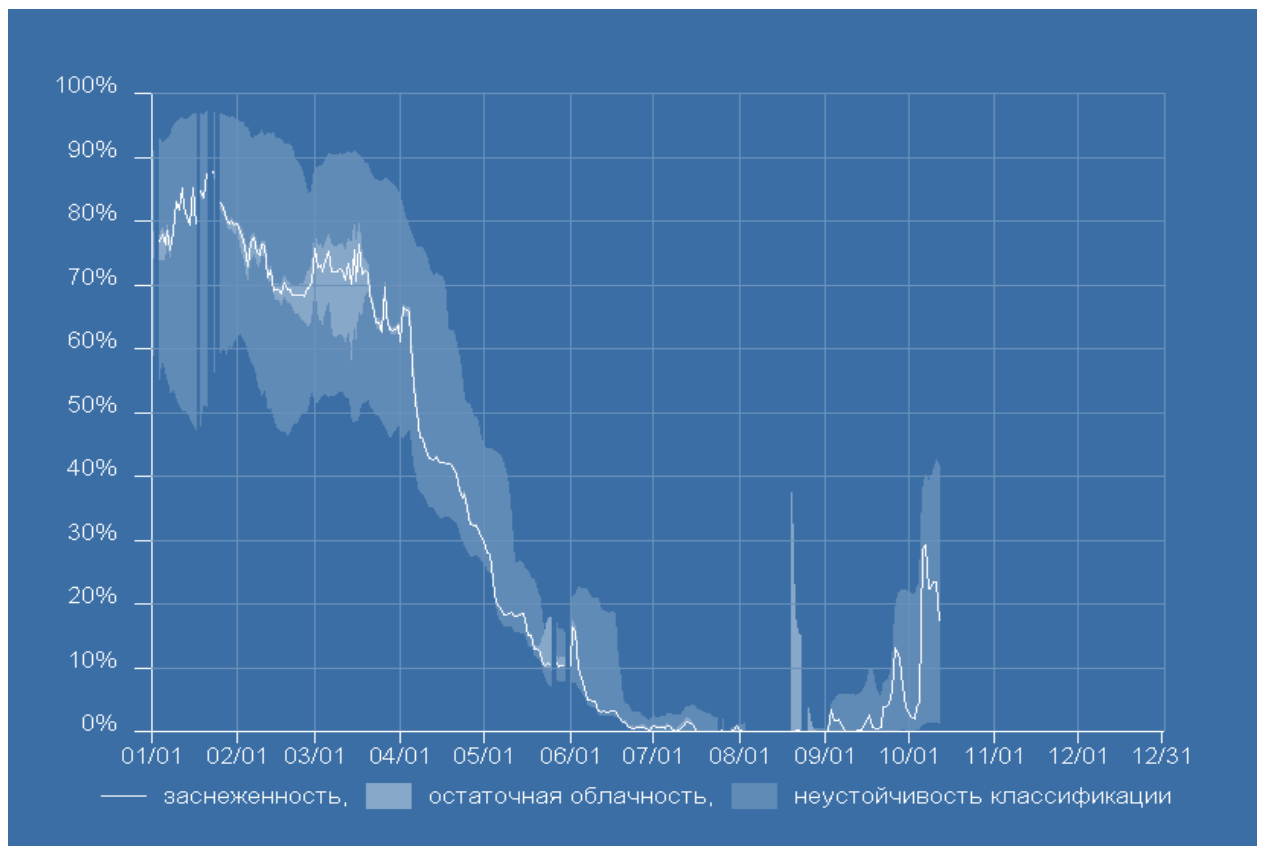
На рис. 2.1, 2.2 и 2.3 приведена динамика изменения заснеженности бассейнов водохранилищ за 2007, 2008 и 2009 гг. Помимо собственно средней заснеженности также приведены границы оценок заснеженности с учётом наличия остаточной облачности и неустойчивости алгоритмов классификации. Следует напомнить, что учёт остаточной облачности делается путём причисления её к классам «снега» и «не снега», чем вычисляются границы оценок заснеженности. А неустойчивость алгоритмов классификации снега определяется с помощью разных способов композиции, при которых предпочтение отдаётся одному из двух классов, наблюдавшихся в течение 16 суток [30].



а) бассейн Обского вдхр.

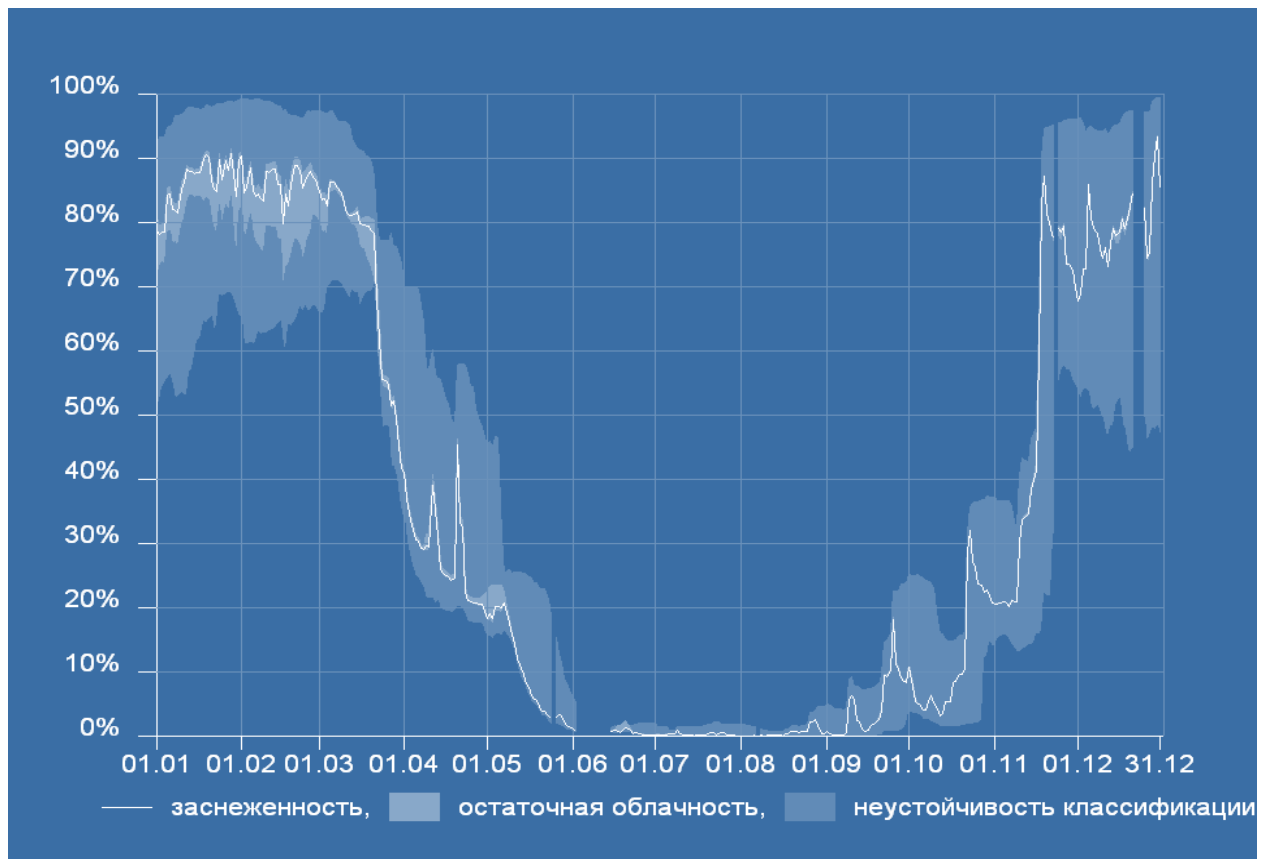


б) бассейн Красноярского водхр.

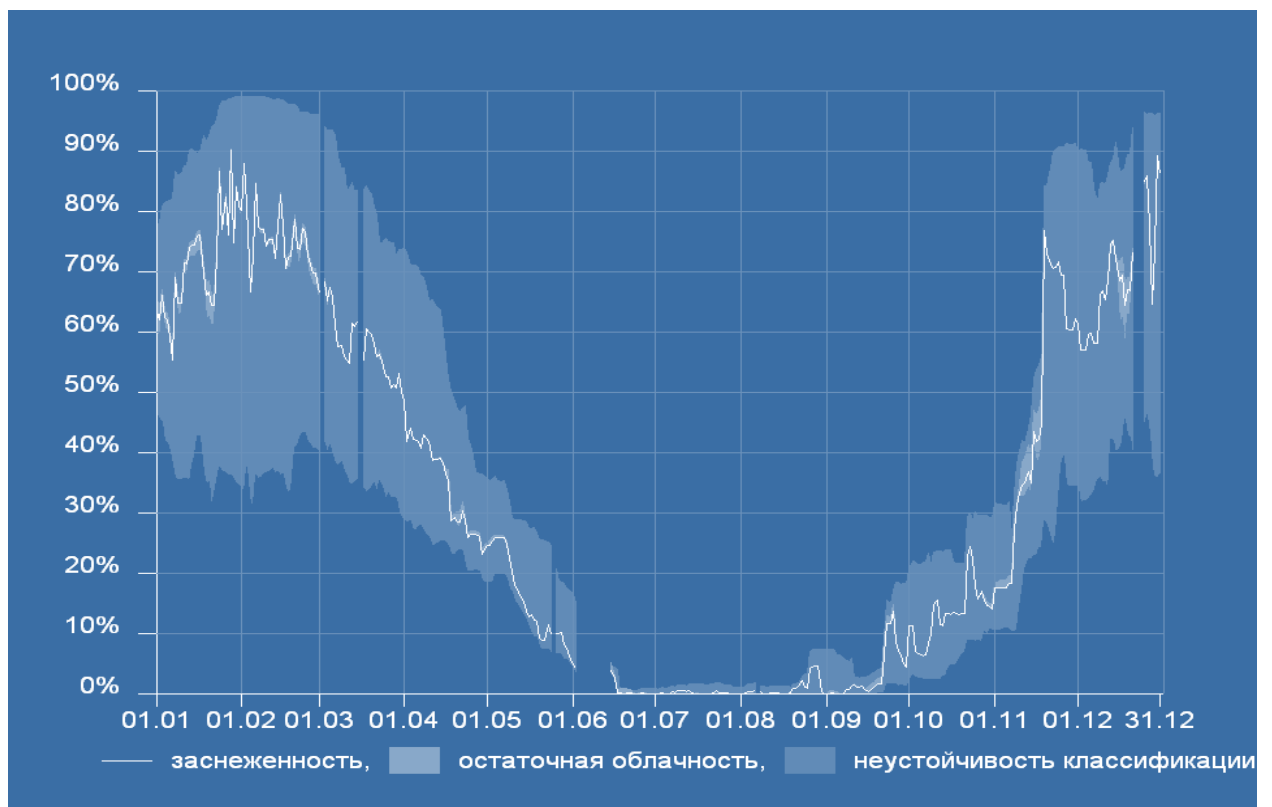


в) бассейн Саяно-Шушенского водхр.

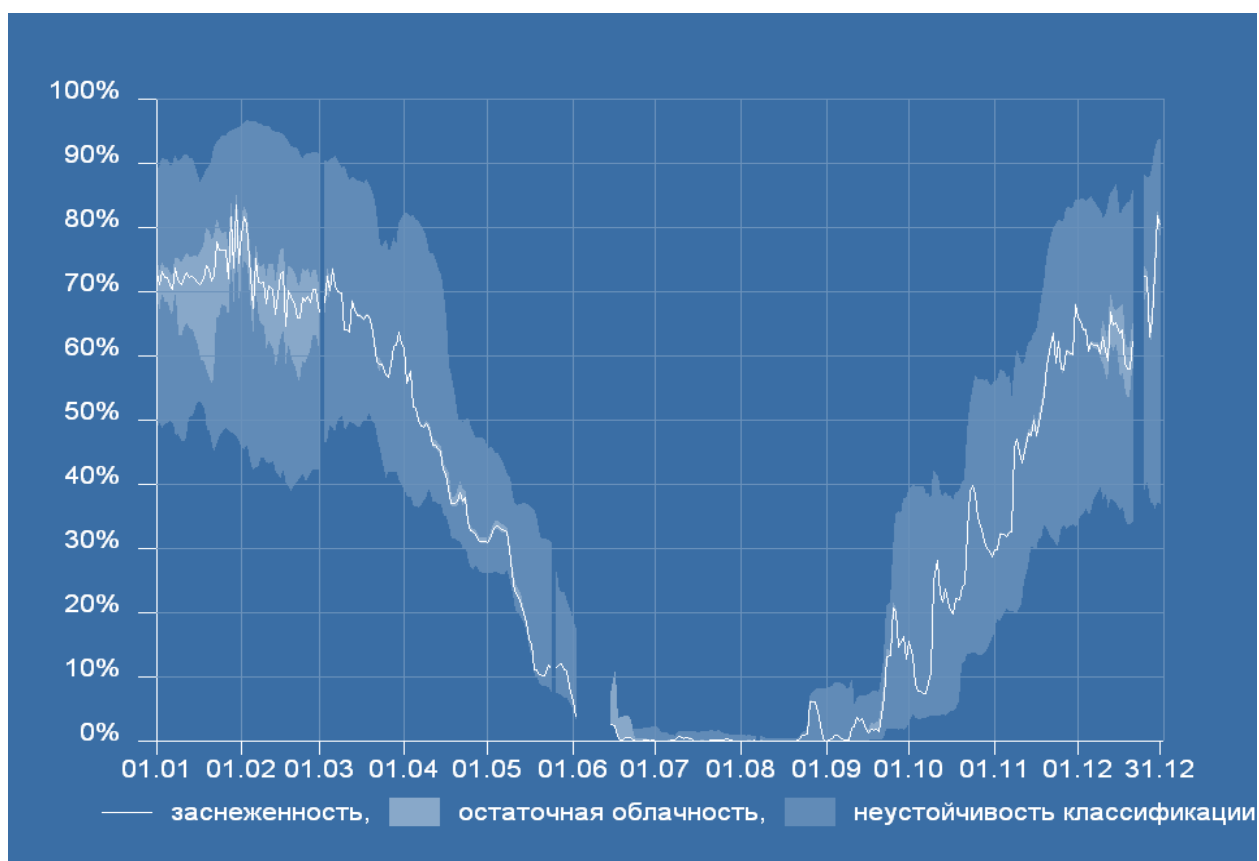
Рис. 2.1 Оценки динамики заснеженности бассейнов водохранилищ по данным 16-суточных композитов за 2007 год.



а) бассейн Обского вдхр.

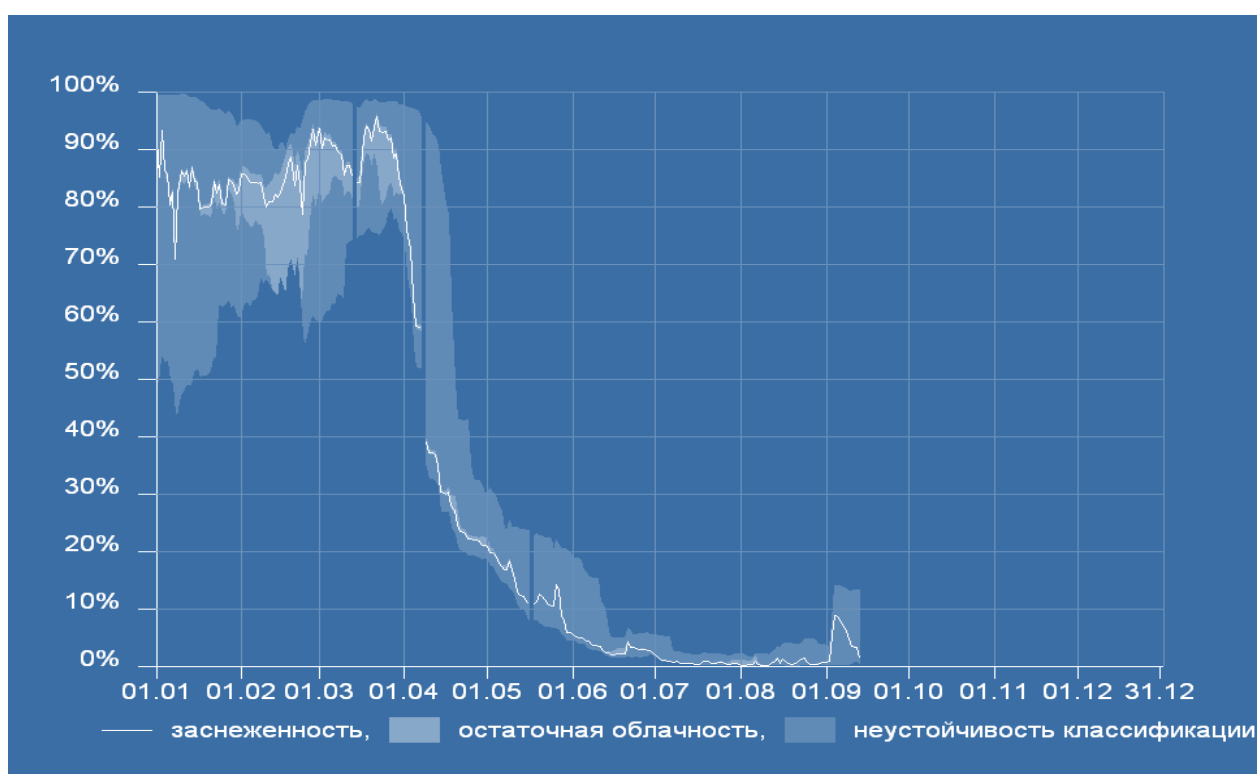


б) бассейн Красноярского вдхр.

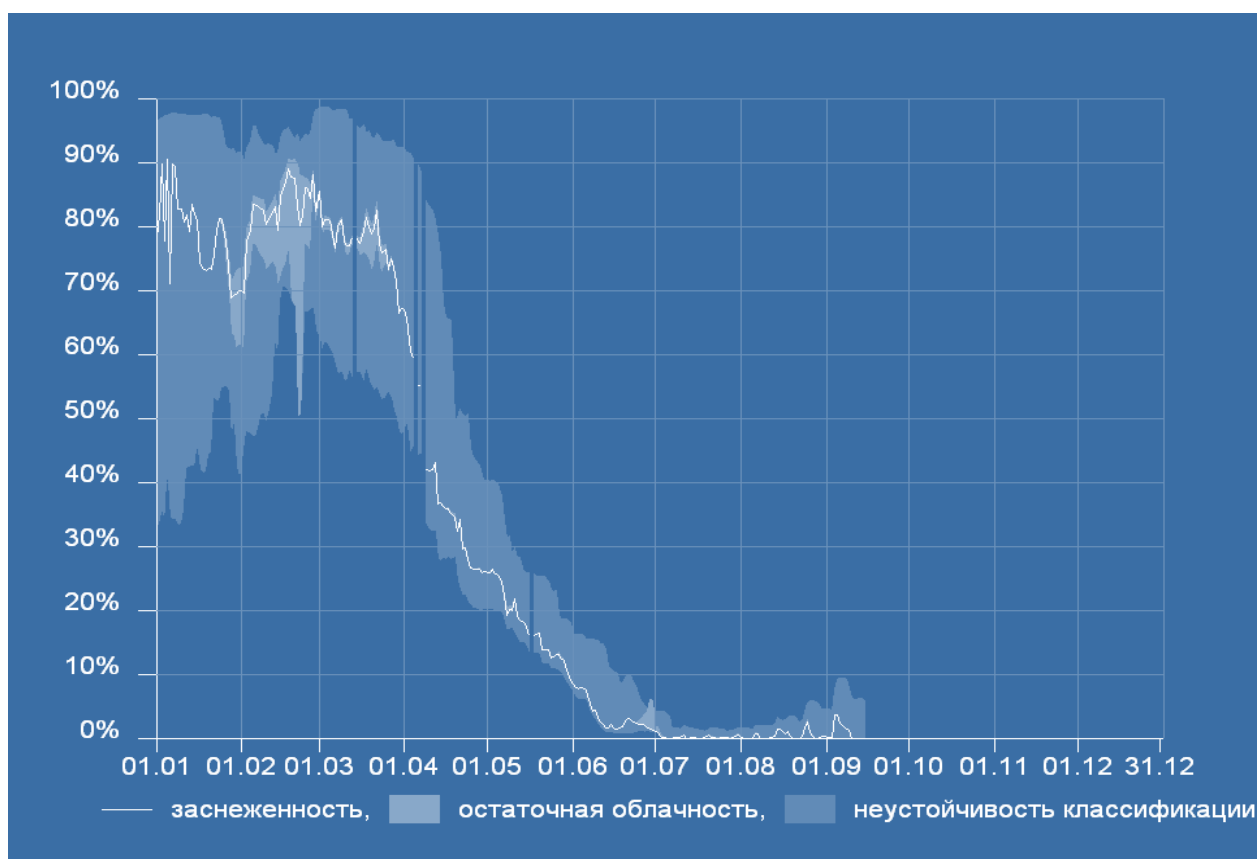


в) бассейн Саяно-Шушенского водохранилища.

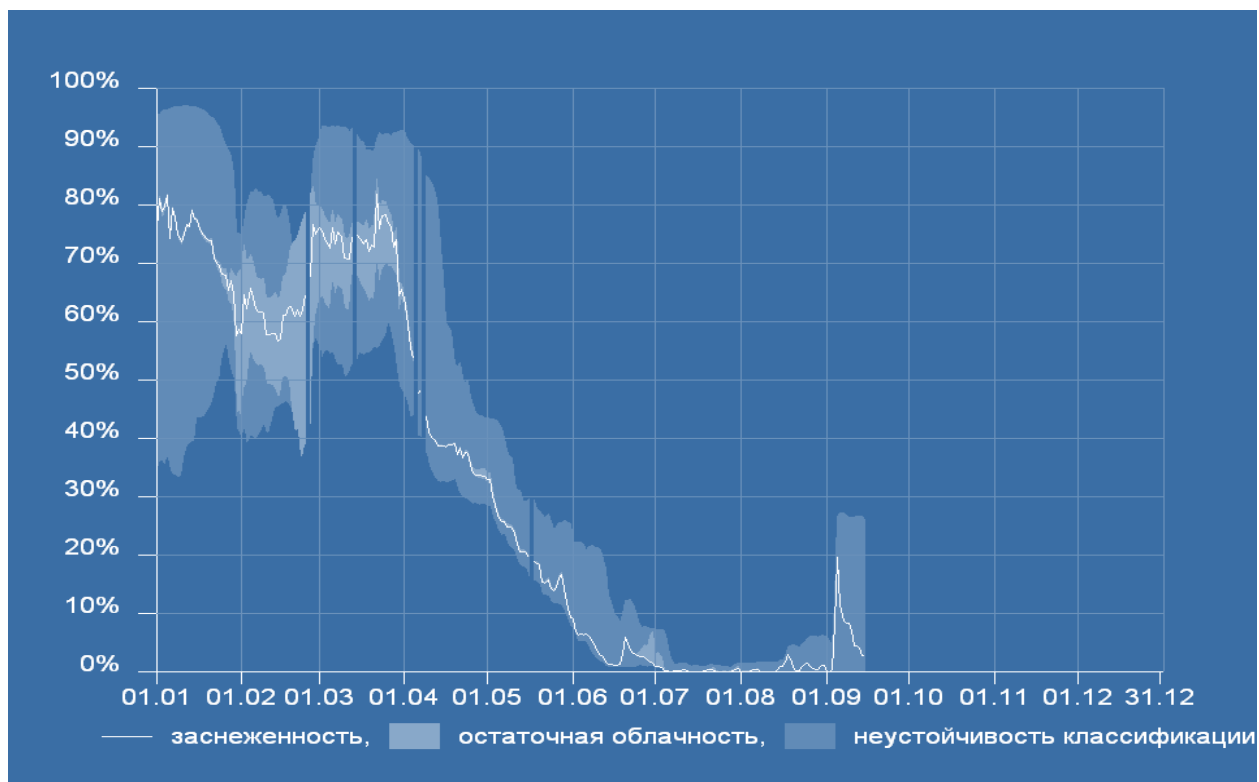
Рис. 2.2 Оценки динамики заснеженности бассейнов водохранилищ по данным 16-суточных композитов за 2008 год.



а) бассейн Обского водохранилища.



б) бассейн Красноярского вдхр.



в) бассейн Саяно-Шушенского вдхр.

Рис. 2.3 Оценки динамики заснеженности бассейнов водохранилищ по данным 16-суточных композитов за 2009 год.

На приведённых графиках отображаются две области и две кривых. Тёмным тоном нарисована область оценок заснеженности по разным алгоритмам композиции. Более светлым тоном внутри тёмной области нарисована область оценок с учётом остаточной облачности. *Сплошной линией нарисована кривая оценки заснеженности.* Область оценок с учётом остаточной облачности не всегда лежит внутри области алгоритмов композиции, но на данных графиках этого не видно. Эти графики взяты с информационного сайта Службы мониторинга заснеженности, где они доступны в любое время.

Общий характер кривых, показанных на рис. 2.1—2.3, как и в прежние годы, представлен несколькими составляющими. Прежде всего, наибольшую амплитуду имеет сезонный цикл. Зимний максимум, смещённый к началу весны из-за увеличения высоты Солнца, сменяется весенним склоном таяния, затем — летним минимумом, а потом осенним ступенчатым установлением снежного покрова.

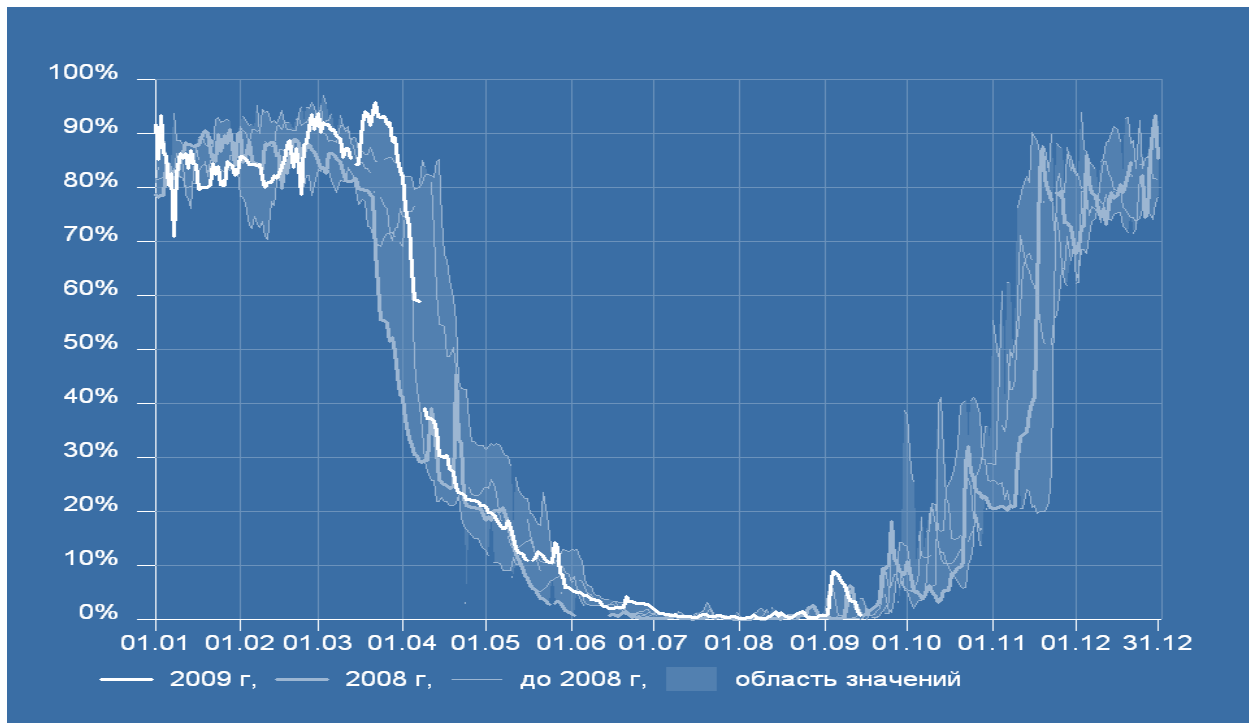
Второй по амплитуде составляющей годового цикла заснеженности являются нерегулярные осцилляции с периодом в несколько суток. Они обусловлены погодными явлениями, в первую очередь выпадением твёрдых осадков, а также колебаниями температуры воздуха. Выпадения твёрдых осадков имеют форму остrokонечных импульсов и особенно заметны весной и осенью, при средних площадях заснеженности. Покрывая землю и следом растаивая полностью или частично, они и формируют эти импульсы.

Летний период представляет собой годовой минимум заснеженности речных бассейнов. Небольшие осцилляции в летний период минимума вызваны ошибкой классификации облачности, которые следом приводят к ошибкам классификации снега над облаками, которые могут состоять из кристалликов льда.

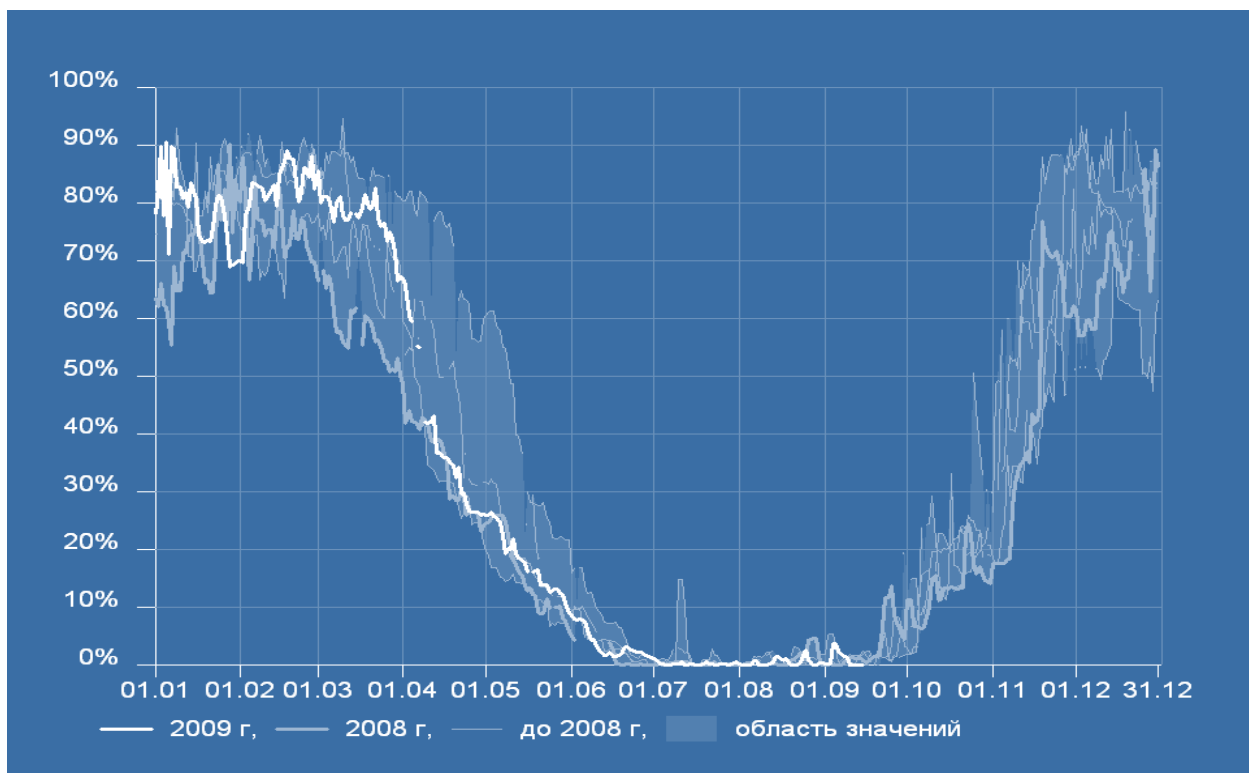
Для сравнения динамики изменения заснеженности за разные годы на рис. 2.4 приведены многолетние графики заснеженности речных бассейнов. На них показаны данные 2009, 2008 гг. и остальных лет с закраской области наблюдавшихся значений.

Как видно из графиков многолетней заснеженности, самой ранней была весна 2008 года. По сравнению с 2006 годом — годом самой поздней весны за период наблюдения (с осени 2005 года) одинаковые площади заснеженности были достигнуты в 2008 году на месяц, а в бассейне Саяно-Шушенской ГЭС и на полтора месяца раньше.

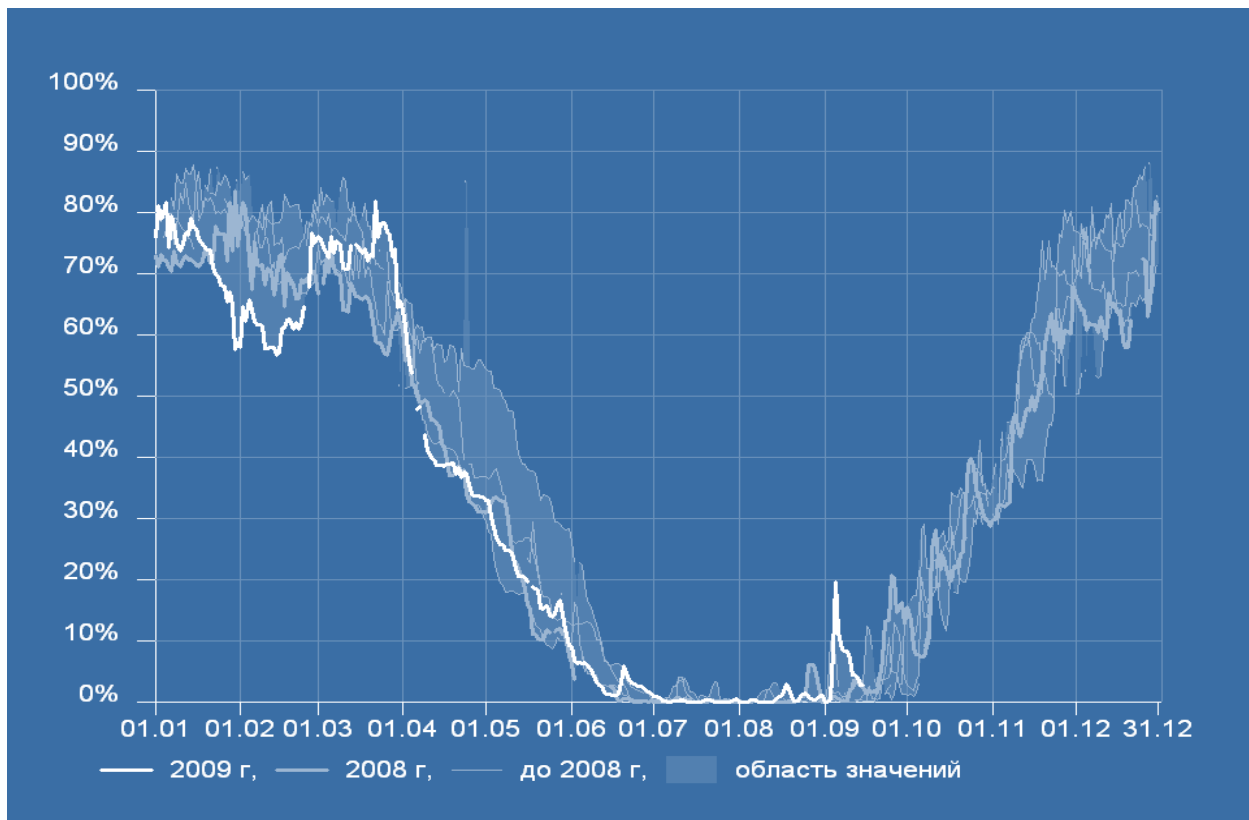
Особенно сильные различия наблюдаются в случае Красноярского водохранилища, где и максимальная зимняя заснеженность наблюдалась значительно меньшей, и опережение схода снега держалось на уровне месяца вплоть до июня.



а) бассейн Обского вдхр.



б) бассейн Красноярского вдхр.



в) бассейн Саяно-Шушенского водхр.

Рис. 2.4 Сравнение динамики заснеженности бассейнов водохранилищ за 2005—2009 гг.

В бассейне Саяно-Шушенского водохранилища зимние уровни заснеженности были минимальными в последние два года, только в 2009 — в феврале, а в 2008 — в январе и марте. При этом в точке 60—65%-ной заснеженности около 1 апреля сходятся все 5 сезонов наблюдения, независимо от зимней динамики. Также последние два года характеризуются ранней весной, причём по спаду заснеженности они попеременно опережают друг друга в течение весны и начала лета. Заканчивается снеготаяние в бассейне Саяно-Шушенской ГЭС во второй половине июня.

В бассейне Обского водохранилища сроки наступления величины максимальной зимней заснеженности (покрытости снегом) в 2008—2009 гг. были средними многолетними. Сроки схода в 2009 году также близки к средним многолетним. **А в 2008 году начало весны (до 2-ой декады апреля) и конец (со 2-ой декады мая) были самыми ранними за период наблюдения.**

Оценивая **многолетнюю динамику площадей заснеженности** трёх бассейнов в целом за период с 2005 года, следует отметить, что 2008 и 2009 гг. являются годами минимальной заснеженности, тогда как 2006 год, наоборот — год максимальной наблюдавшейся заснеженности для всех бассейнов.

Динамика заснеженности бассейнов для оптимизации параметров гидрологических моделей.

В табл. 2.1—2.6 приведены полученные результаты оценок относительной заснеженности бассейнов Обского, Красноярского и Саяно-Шушенского водохранилищ в целом, а в табл. 2.7—2.12 — районов бассейнов.

Таблица 2.1

Оценки относительной заснеженности бассейна Обского водохранилища за 2007—2009 гг. при доле облачности менее 5%.

Дата и время (UTC)	Оценка заснеженности, %	Оценка заснеженности без учёта облачности, %
2009 год		
15.05 05:41	9.41	11
28.05 05:10	8.55	8.64
29.05 05:53	7.08	7.08

Таблица 2.2

Оценки относительной заснеженности бассейна Обского водохранилища за 2007—2009 гг. при доле облачности менее 30%.

Дата и время (UTC)	Оценка заснеженности, %	Оценка заснеженности без учёта облачности, %	Дата и время (UTC)	Оценка заснеженности, %	Оценка заснеженности без учёта облачности, %
2007 г			2008 г		
08.01 05:03	82.54	80.80	13.01 04:51	87.66	86.45
15.01 05:13	83.90	82.60	23.03 05:52	51.01	49.34
16.01 05:52	81.42	81.94	29.03 05:15	33.9	44.7
01.04 05:34	72.99	75.85	30.03 05:58	24.91	38.2
05.04 05:09	43.55	48.55	01.04 05:46	28.85	35.14
06.04 05:55	40.67	38.36	02.04 04:51	22.73	31.57
09.04 04:45	19.10	19.86	03.04 05:33	25.62	31.66
13.04 05:58	11.99	16.49	23.04 05:09	14.04	17.78
16.04 04:51	13.93	23.05	07.05 05:22	16.45	19.92
21.04 05:09	14.19	23.95	09.05 05:09	17.05	15.4
22.04 05:52	8.46	18.80	10.05 05:52	9.04	8.83
23.04 04:57	10.03	17.99	14.05 05:28	6.7	5.68
24.04 05:40	13.60	17.31	16.05 05:16	2.92	2.48
04.05 04:39	8.96	8.78	22.05 04:39	1.94	1.48
19.05 05:34	5.44	5.17	23.05 05:22	1.52	1.24
22.06 05:21	1.43	3.44	31.05 04:33	0.74	0.67
23.06 06:04	1.31	1.13	15.06 05:28	1.07	0.89
27.06 05:40	0.97	1.10	22.06 05:34	0.33	0.29
			27.06 05:52	0.13	0.16

Дата и время (UTC)	Оценка заснеженности, %	Оценка заснеженности без учёта облачности, %
2009 год		
02.03 05:04	91.01	90.07
29.03 04:46	83.84	83.95
02.04 05:59	73.59	68.68
09.04 06:05	24.96	34.47
21.04 04:52	20.12	23.14
09.05 04:40	15.79	15.37
10.05 05:22	10.24	8.41

Дата и время (UTC)	Оценка заснеженности, %	Оценка заснеженности без учёта облачности, %
11.05 06:05	11.75	11.11
12.05 05:10	13.31	12.64
14.05 04:58	3.75	3.25
16.05 04:46	9.1	8.88
20.05 05:59	12.08	11.01
07.06 05:47	2.19	1.83
21.06 05:59	3.93	3.73

Таблица 2.3

Оценки относительной заснеженности бассейна Красноярского водохранилища за 2007—2009 гг. при доле облачности менее 5%.

Дата и время (UTC)	Оценка заснеженности, %	Оценка заснеженности без учёта облачности, %	Дата и время (UTC)	Оценка заснеженности, %	Оценка заснеженности без учёта облачности, %
2007 г			2008 г		
09.01 05:46	84.37	82.54	06.03 05:09	61.18	60.99
06.04 04:14	42.80	42.99	2009 г		
06.04 05:55	38.19	38.34	29.03 04:46	70.02	71.19
22.04 04:14	21.13	24.34	30.03 05:29	60.71	60.32
22.04 05:52	17.30	19.49	29.05 04:15	10.93	10.79
23.04 04:57	24.46	26.57	29.05 05:53	10.09	10.40
24.04 05:40	23.97	23.91	07.06 04:09	3.04	3.20
			08.06 04:51	4.27	4.25

Таблица 2.4

Оценки относительной заснеженности бассейна Красноярского водохранилища за 2007—2009 гг. при доле облачности менее 30%.

Дата и время (UTC)	Оценка заснеженности, %	Оценка заснеженности без учёта облачности, %	Дата и время (UTC)	Оценка заснеженности, %	Оценка заснеженности без учёта облачности, %
2007 г			10.04 05:28	24.62	25.89
04.01 05:27	87.99	83.12	11.04 04:33	29.65	26.78
09.01 04:08	86.36	82.96	14.04 05:03	24.90	31.71
16.01 04:14	84.02	80.15	21.04 05:09	15.57	19.07
16.01 05:52	82.03	81.12	04.05 04:39	8.41	17.21
17.01 04:57	75.99	68.75	12.05 05:28	2.69	5.19
21.01 04:33	81.30	78.74	02.06 04:08	6.95	7.70
30.01 04:27	77.85	75.99	02.06 05:46	6.91	8.86
15.03 04:51	77.94	75.20	07.06 04:26	4.52	4.97
19.03 04:27	67.39	62.25	23.06 04:26	0.56	0.47
01.04 05:34	51.15	52.88	24.06 05:09	0.26	0.58
07.04 04:57	49.34	46.84			

Дата и время (UTC)	Оценка заснеженности, %	Оценка заснеженности без учёта облачности, %	Дата и время (UTC)	Оценка заснеженности, %	Оценка заснеженности без учёта облачности, %
2008 г			23.05 05:22	7.93	7.70
24.01 04:33	83.54	75.68	28.05 05:40	8.03	6.10
25.01 05:15	72.58	72.77	30.05 05:28	1.01	0.84
27.01 05:03	76.04	69.67	01.06 05:16	3.58	3.10
28.01 04:08	85.67	82.00	22.06 05:34	0.01	0.01
28.01 05:46	76.97	76.94	23.06 04:39	0.02	0.02
29.01 04:51	73.71	75.28	27.06 04:15	0.00	0.00
30.01 05:34	68.24	69.30	27.06 05:52	0.02	0.01
31.01 04:39	75.66	77.62	2009 г		
01.02 05:21	73.55	67.09	02.01 05:22	73.37	74.09
02.02 04:26	82.13	81.17	03.01 04:27	78.27	76.86
05.02 04:57	72.97	72.07	05.01 04:15	83.14	81.19
06.02 05:40	60.93	64.81	05.01 05:53	86.50	78.65
14.02 04:51	76.12	75.63	07.01 05:41	77.55	76.72
15.02 05:34	66.66	68.06	09.01 05:28	69.86	70.55
20.02 05:52	67.02	57.20	10.01 04:33	74.73	73.79
04.03 05:21	59.54	58.39	24.02 05:41	79.01	77.09
05.03 04:26	59.05	58.69	27.02 04:33	86.42	83.55
23.03 04:14	48.76	45.79	28.02 05:16	81.70	81.64
23.03 05:52	45.86	44.04	01.03 04:21	81.32	76.12
24.03 04:57	49.03	46.57	02.03 05:04	79.12	75.45
29.03 05:15	46.46	51.69	22.03 04:40	83.87	80.69
30.03 04:20	37.32	43.04	23.03 05:22	71.19	72.93
01.04 05:46	32.24	28.58	03.04 05:04	59.28	59.06
23.04 05:09	24.36	21.65	09.04 04:27	36.93	37.46
08.05 04:27	16.25	19.56	20.04 04:09	25.18	27.13
09.05 05:09	16.85	17.92	20.04 05:47	23.07	24.07
10.05 04:14	15.71	16.21	21.04 04:52	27.25	28.74
10.05 05:52	11.60	11.98	22.04 05:35	20.34	21.38
14.05 05:28	10.13	9.55	08.05 05:35	14.19	10.56
15.05 04:33	11.32	9.80	16.05 04:46	14.41	13.92
16.05 05:16	8.95	7.21	02.06 05:28	7.49	5.98
19.05 04:08	7.83	7.19	07.06 05:47	3.04	2.93
19.05 05:46	8.22	7.05			

Таблица 2.5

Оценки относительной заснеженности бассейна Саяно-Шушенского водохранилища за 2007—2009 гг. при доле облачности менее 5%.

Дата и время (UTC)	Оценка заснеженности, %	Оценка заснеженности без учёта облачности, %
--------------------	-------------------------	--

2008 г		
23.05 05:22	9.87	9.73
2009 г		
16.05 04:46	18.65	18.46
29.05 04:15	12.90	12.96

Таблица 2.6

Оценки относительной заснеженности бассейна Саяно-Шушенского водохранилища за 2007—20090 гг. при доле облачности менее 30%.

Дата и время (UTC)	Оценка заснеженности, %	Оценка заснеженности без учёта облачности, %	Дата и время (UTC)	Оценка заснеженности, %	Оценка заснеженности без учёта облачности, %
2007 г			29.03 05:15	57.16	61.32
16.01 04:14	83.64	78.67	31.03 05:03	57.65	56.02
17.01 04:57	79.15	77.62	23.04 05:09	30.88	30.84
30.01 04:27	79.94	73.22	08.05 04:27	17.49	23.04
06.02 04:33	76.70	75.65	10.05 04:14	18.49	21.84
06.04 04:14	47.58	49.69	17.05 04:21	12.06	10.05
07.04 04:57	48.15	50.55	01.06 05:16	2.13	1.57
08.04 04:02	38.71	41.21	16.06 04:33	1.34	0.95
22.04 04:14	30.61	34.58	2009 г		
23.04 04:57	32.33	37.01	01.01 04:39	74.95	76.71
24.04 04:02	30.24	33.78	03.01 04:27	73.49	75.55
25.04 04:45	32.07	34.70	04.01 05:10	73.72	71.43
26.04 05:28	28.95	29.12	28.02 05:16	71.93	73.72
04.05 04:39	10.15	21.81	29.03 04:46	71.81	75.35
27.05 04:45	11.61	16.66	30.03 05:29	58.06	61.73
2008 г			31.03 04:34	65.66	62.53
04.03 05:21	64.54	65.78	09.04 04:27	36.71	42.61
05.03 04:26	72.97	70.41	30.05 04:58	4.85	3.92
06.03 05:09	72.53	66.35	02.06 05:28	3.87	2.87
23.03 04:14	56.58	54.31	07.06 04:09	2.97	2.42
24.03 04:57	54.12	56.14	08.06 04:51	5.59	5.07

Таблица 2.7

Оценки относительной заснеженности районов бассейна Обского водохранилища за 2007 г при доле облачности менее 5%.

Дата и время (UTC)	Оценка заснеженности, %	Оценка заснеженности без учёта облачности, %	Дата и время (UTC)	Оценка заснеженности, %	Оценка заснеженности без учёта облачности, %
р-н.Алей			06:05		
15.01	95.64	95.58	13.03	99.34	99.22
05:13			05:03		
03.03	99.40	99.38	14.03	99.44	99.38

Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %	Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %
05:46			13.04	6.57	7.47
15.03	97.91	97.88	05:58		
04:51			21.04	5.59	6.54
17.03	95.57	95.34	05:09		
04:39			22.04	4.01	5.22
17.03	99.64	99.61	05:52		
06:17			23.04	5.19	5.18
01.04	81.36	81.30	04:57		
05:34			23.04	4.71	4.69
05.04	43.44	43.45	06:35		
05:09			24.04	5.11	5.06
09.04	10.08	9.78	05:40		
06:29			04.05	2.57	2.56
21.04	0.36	0.36	04:39		
05:09			19.05	1.28	1.24
22.04	0.17	0.17	05:34		
05:52			23.06	0.01	0.01
23.04	0.13	0.13	06:04		
04:57			27.06	0.01	0.01
23.04	0.02	0.02	05:40		
06:35			р-н. Чарыш-2		
24.04	0.12	0.12	19.03	43.00	41.15
05:40			04:27		
18.05	0.00	0.00	06.04	45.02	44.31
04:51			05:55		
18.05	0.00	0.00	13.04	33.80	35.61
06:29			04:21		
р-н. Чарыш-1			16.04	36.62	36.62
08.01	92.74	92.58	06:29		
05:03			24.04	29.50	29.53
15.01	92.19	92.07	05:40		
05:13			26.04	27.23	27.69
16.01	91.18	91.08	05:28		
05:52			04.05	16.57	16.60
06.02	61.16	59.93	04:39		
06:11			04.05	17.49	17.50
06.03	91.74	91.92	06:17		
06:35			11.05	36.68	38.16
17.03	86.03	85.75	04:45		
06:17			19.05	9.41	9.55
31.03	95.30	94.07	05:34		
04:51			22.06	0.03	0.03
31.03	92.29	91.50	05:21		
06:29			23.06	0.00	0.00
01.04	93.45	92.65	04:26		
05:34			23.06	0.05	0.05
05.04	20.70	22.47	06:04		
05:09					

Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %	Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %
р-н.Катунь-2			05:09		
04.05	21.58	22.56	22.04	0.80	1.09
04:39			05:52		
11.05	28.64	28.51	23.04	0.69	0.68
04:45			04:57		
19.05	15.15	15.59	24.04	0.52	0.51
05:34			05:40		
23.06	5.41	5.27	04.05	0.04	0.04
06:04			04:39		
р-н.Катунь-3			04.05	0.02	0.02
16.05	10.16	10.31	06:17		
05:03			21.06	0.00	0.00
19.05	7.36	8.02	06:17		
05:34			22.06	0.00	0.00
18.06	4.14	4.05	05:21		
05:47			р-н.Катунь-1		
р-н.Песчаная			15.01	74.76	74.33
08.01	83.71	82.82	05:13		
05:03			16.01	66.60	66.47
15.01	82.55	81.84	04:14		
05:13			16.01	70.09	70.33
16.01	81.36	80.91	05:52		
05:52			19.03	47.91	48.06
21.01	77.55	75.58	04:27		
04:33			05.04	33.04	35.74
21.01	81.38	80.81	05:09		
06:17			06.04	19.40	19.40
08.02	39.74	38.33	04:14		
05:58			06.04	25.77	24.71
17.03	60.26	58.72	05:55		
06:17			09.04	13.21	13.25
19.03	37.86	37.69	04:45		
04:27			16.04	12.15	12.48
31.03	86.38	84.95	04:51		
04:51			24.04	9.46	9.52
31.03	61.68	61.25	05:40		
06:29			04.05	4.08	4.08
01.04	77.86	77.60	04:39		
05:34			04.05	5.74	5.69
05.04	11.11	11.36	06:17		
05:09			19.05	1.48	1.44
09.04	2.24	2.23	05:34		
04:45			07.06	0.02	0.02
13.04	1.43	1.47	04:26		
05:58			22.06	0.00	0.00
16.04	1.16	1.16	05:21		
06:29			23.06	0.00	0.00
21.04	4.84	4.92	04:26		

Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %	Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %
р-н.Бия-1			04:39		
15.01	79.96	79.96	04.05	6.60	6.60
05:13			06:17		
16.01	78.06	78.48	07.06	0.53	0.53
05:52			04:26		
06.04	53.51	54.51	р-н.Бия-2		
04:14			29.04	27.63	27.51
06.04	57.32	58.49	04:20		
05:55			29.04	29.01	28.93
09.04	38.07	37.29	05:58		
04:45			04.05	18.39	17.97
24.04	15.06	15.72	04:39		
05:40			19.05	8.01	8.01
04.05	6.52	6.52	05:34		

Таблица 2.8

Оценки относительной заснеженности районов бассейна Обского водохранилища за 2008 г при доле облачности менее 5%.

Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %	Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %
р-н.Алей			р-н.Чарыш-1		
02.01	85.77	84.33	17.02	95.32	94.30
05:09			05:21		
06.02	99.03	98.88	25.02	91.78	91.28
05:40			04:33		
25.02	96.53	96.53	25.02	93.98	94.06
06:11			06:11		
23.03	43.95	44.16	23.03	19.21	19.34
05:52			05:52		
29.03	16.19	16.10	29.03	13.64	14.11
05:15			05:15		
30.03	13.74	13.72	30.03	12.07	12.25
05:58			05:58		
01.04	8.16	8.19	01.04	11.36	11.59
05:46			05:46		
02.04	3.14	3.16	02.04	9.51	9.76
04:51			04:51		
03.04	3.93	3.95	02.04	8.40	8.49
05:33			06:29		
13.04	0.47	0.47	03.04	10.71	10.84
04:32			05:33		
07.05	0.01	0.01	23.04	5.36	5.67
05:22			05:09		
14.05	0.00	0.00	06.05	5.41	5.43
05:28			04:39		
			06.05	5.53	5.45

Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %	Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %
06:17			05:52		
07.05	5.23	5.47	29.03	12.35	12.97
05:22			05:15		
16.05	1.70	1.72	30.03	9.18	9.27
05:16			05:58		
31.05	0.27	0.26	01.04	8.09	8.12
06:11			05:46		
16.06	0.00	0.00	02.04	4.19	4.23
06:11			04:51		
р-н.Чарыш-2			02.04	3.13	3.12
13.01	88.29	85.84	06:29		
04:51			03.04	6.37	6.39
05.03	64.02	63.14	05:33		
06:04			07.05	1.48	1.52
23.03	54.79	54.92	05:22		
05:52			09.05	0.53	0.66
01.04	41.70	43.76	05:09		
05:46			16.05	0.07	0.06
02.04	38.36	38.47	05:16		
06:29			31.05	0.00	0.00
03.04	41.44	41.98	04:33		
05:33			р-н.Катунь-1		
06.05	37.28	36.84	04.03	72.83	70.26
06:17			05:21		
07.05	33.03	35.01	05.03	57.36	54.97
05:22			04:26		
31.05	0.82	0.82	05.03	63.66	63.15
04:33			06:04		
р-н.Катунь-2			23.03	51.72	51.69
09.05	37.45	38.15	05:52		
05:09			01.04	29.68	29.87
31.05	3.01	3.01	05:46		
04:33			02.04	21.53	21.85
15.06	2.16	2.21	04:51		
05:28			03.04	22.83	23.38
р-н.Катунь-3			05:33		
09.05	25.08	25.46	07.05	12.69	12.81
05:09			05:22		
10.05	19.63	19.74	09.05	8.52	8.67
04:14			05:09		
15.06	1.72	1.83	10.05	8.41	8.43
05:28			05:52		
р-н.Песчаная			31.05	0.00	0.00
02.01	90.48	90.34	04:33		
05:09			р-н.Бия-1		
13.01	92.30	91.43	04.03	80.79	80.77
04:51			05:21		
23.03	39.70	39.72	05.03	77.66	77.53

Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %	Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %
04:26			04:33		
05:03	72.98	72.99	15:06	0.12	0.12
06:04			05:28		
23:03	69.40	70.19	р-н.Бия-2		
05:52			07:05	44.10	45.31
01:04	57.54	58.67	05:22		
05:46			09:05	33.43	33.48
07:05	22.22	22.30	05:09		
05:22			15:06	4.06	4.06
31:05	0.06	0.06	05:28		

Таблица 2.9

Оценки относительной заснеженности районов бассейна Обского водохранилища за 2009 г при доле облачности менее 5%.

Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %	Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %
р-н.Алей			16:05	1.45	1.42
22:03	99.65	99.65	04:46		
06:18			28:05	1.07	1.07
09:04	16.06	15.99	05:10		
06:05			29:05	0.66	0.65
08:05	0.00	0.00	05:53		
05:35			07:06	0.02	0.03
р-н.Чарыш-1			05:47		
22:03	99.02	99.04	р-н.Чарыш-2		
06:18			26:03	87.15	86.30
02:04	70.84	70.89	05:53		
05:59			02:04	39.82	38.31
09:04	8.61	9.50	04:21		
04:27			02:04	43.41	43.20
09:04	9.83	11.06	05:59		
06:05			21:04	30.76	31.00
21:04	5.58	5.52	04:52		
04:52			24:04	30.44	31.28
08:05	3.61	3.73	05:22		
05:35			09:05	19.20	19.84
11:05	2.14	2.09	04:40		
04:27			11:05	16.73	16.73
11:05	2.56	2.56	04:27		
06:05			11:05	19.21	19.22
14:05	1.56	1.77	06:05		
04:58			12:05	15.81	15.88
14:05	2.04	2.04	05:10		
06:36			15:05	13.29	13.35
15:05	1.83	1.88	05:41		
05:41			16:05	9.64	9.64

Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %	Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %
04:46			21.04	1.88	1.88
16.05	11.76	11.79	04:52		
06:24			21.04	1.50	1.49
20.05	12.23	12.32	06:30		
04:21			24.04	2.31	2.32
20.05	14.66	14.79	05:22		
05:59			11.05	0.08	0.08
28.05	12.26	12.26	04:27		
05:10			11.05	0.24	0.24
29.05	6.67	6.67	06:05		
05:53			12.05	0.16	0.16
21.06	0.06	0.06	05:10		
04:21			14.05	0.08	0.08
р-н.Катунь-2			04:58		
12.05	24.87	25.48	15.05	0.09	0.09
05:10			05:41		
16.05	17.94	18.36	16.05	0.03	0.03
04:46			04:46		
28.05	23.21	23.47	16.05	0.02	0.02
05:10			06:24		
29.05	19.29	19.49	20.05	0.15	0.15
05:53			05:59		
21.06	9.85	10.55	28.05	0.22	0.21
04:21			05:10		
р-н.Катунь-3			29.05	0.02	0.02
28.05	12.11	12.78	05:53		
05:10			07.06	0.00	0.00
29.05	9.12	9.36	05:47		
04:15			р-н.Катунь-1		
29.05	10.25	10.46	27.02	94.48	93.70
05:53			06:11		
21.06	5.99	6.22	01.03	85.01	85.39
04:21			05:59		
21.06	5.90	6.22	26.03	87.02	86.32
05:59			05:53		
р-н.Песчаная			29.03	74.10	74.80
22.03	98.17	98.19	04:46		
06:18			29.03	78.22	78.57
29.03	88.52	88.50	06:24		
04:46			30.03	75.11	75.18
02.04	75.02	75.35	05:29		
05:59			03.04	61.41	62.71
03.04	63.79	63.81	05:04		
05:04			09.04	29.48	32.80
09.04	6.62	6.70	04:27		
04:27			09.04	33.64	36.19
09.04	10.86	10.94	06:05		
06:05			21.04	14.30	14.44

Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %	Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %
04:52			16.05	10.87	10.87
09.05	9.21	9.46	04:46		
04:40			28.05	8.16	8.16
12.05	8.09	8.14	05:10		
05:10			29.05	6.05	6.05
15.05	7.17	7.29	04:15		
05:41			29.05	6.45	6.45
16.05	6.04	6.04	05:53		
04:46			07.06	2.93	2.93
16.05	8.29	8.29	05:47		
06:24			08.06	1.31	1.31
20.05	7.03	7.01	04:51		
05:59			21.06	1.89	1.92
29.05	3.91	3.91	04:21		
04:15			21.06	3.04	2.98
29.05	4.65	4.65	05:59		
05:53			р-н.Бия-2		
07.06	1.80	1.79	12.05	39.13	38.95
05:47			05:10		
21.06	1.16	1.16	16.05	28.88	28.66
04:21			04:46		
21.06	1.18	1.18	28.05	17.97	18.26
05:59			05:10		
р-н.Бия-1			29.05	14.95	14.95
03.01	85.64	86.26	04:15		
06:05			29.05	16.05	16.04
26.03	81.21	81.39	05:53		
05:53			07.06	8.83	8.76
30.03	86.85	87.26	04:09		
05:29			07.06	10.89	10.50
20.04	29.17	32.37	05:47		
05:47			21.06	7.99	7.99
12.05	15.08	15.12	05:59		
05:10					
15.05	11.18	12.19			
05:41					

Таблица 2.10

Оценки относительной заснеженности районов бассейна Красноярского водохранилища за 2007 г при доле облачности менее 5%.

Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %
---------------------------------------	--------------------------------------	---

Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %	Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %
р-н.Абакан			23.04	52.50	52.84
09.01	85.01	82.60	04:57		
04:08			24.04	57.68	57.64
09.01	73.69	72.84	04:02		
05:46			24.04	52.99	52.84
16.01	81.69	81.59	05:40		
04:14			26.04	44.57	44.58
16.01	69.20	69.26	03:50		
05:52			26.04	38.07	36.96
19.03	55.80	56.21	05:28		
04:27			07.06	11.39	11.74
05.04	47.27	49.33	04:26		
05:09			29.06	0.15	0.14
06.04	42.96	43.61	03:52		
04:14			Поле		
06.04	35.31	35.84	01.04	17.63	17.37
05:55			05:34		
24.04	23.47	23.59	06.04	8.20	8.19
05:40			04:14		
04.05	15.15	15.10	06.04	9.69	9.68
04:39			05:55		
02.06	15.22	15.46	10.04	6.55	6.47
04:08			05:28		
02.06	13.26	13.69	11.04	4.85	4.80
05:46			04:33		
07.06	1.57	1.55	14.04	4.48	4.41
04:26			05:03		
07.06	1.64	1.64	21.04	1.03	1.02
06:04			05:09		
24.06	0.04	0.04	22.04	0.13	0.13
05:09			04:14		
р-н.Туба			22.04	0.31	0.31
09.01	90.25	89.62	05:52		
05:46			23.04	0.48	0.48
30.01	77.35	77.62	04:57		
04:27			24.04	0.03	0.03
06.04	71.58	71.58	04:02		
04:14			24.04	0.13	0.13
06.04	61.26	61.26	05:40		
05:55			04.05	0.00	0.00
07.04	77.30	77.36	04:39		
04:57			12.05	0.01	0.01
11.04	64.13	63.90	05:28		
04:33			02.06	0.00	0.00
22.04	44.87	47.48	04:08		
04:14			02.06	0.00	0.00
22.04	36.91	37.59	05:46		
05:52					

Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %	Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %
Лес			04:14		
09.01	87.29	86.72	22.04	3.55	3.53
04:08			05:52		
09.01	88.37	88.29	23.04	7.88	7.85
05:46			04:57		
16.01	85.06	82.97	24.04	6.96	6.92
05:52			04:02		
15.03	75.12	75.42	24.04	4.33	4.29
04:51			05:40		
01.04	41.68	40.51	04.05	2.18	2.24
03:56			04:39		
01.04	59.19	58.70	12.05	1.26	1.25
05:34			05:28		
06.04	32.80	32.80	26.05	0.33	0.53
04:14			05:40		
06.04	35.36	35.36	02.06	0.13	0.12
05:55			04:08		
10.04	15.89	15.57	02.06	0.24	0.24
05:28			05:46		
11.04	15.02	15.36	24.06	0.00	0.00
04:33			05:09		
14.04	14.55	14.38			
05:03					
22.04	5.16	5.14			

Таблица 2.11

Оценки относительной заснеженности районов бассейна Красноярского водохранилища за 2008 г при доле облачности менее 5%.

Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %	Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %
р-н.Абакан			05:22		
27.01	75.56	76.32	15.06	0.67	0.64
05:03			05:28		
05.03	50.10	48.28	р-н.Туба		
04:26			06.03	69.72	69.75
05.03	41.28	41.12	05:09		
06:04			22.03	75.94	75.90
06.03	53.06	52.89	05:09		
05:09			23.03	71.65	71.53
23.03	41.88	41.59	04:14		
04:14			24.03	75.74	76.03
23.03	36.09	35.15	04:57		
05:52			23.04	49.38	49.40
01.04	31.18	31.18	05:09		
05:46			10.05	37.21	38.26
23.05	5.32	5.19	04:14		

Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %	Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %
10.05	31.50	31.87	Лес		
05:52			24.01	83.83	83.87
14.05	31.43	31.45	04:33		
03:50			25.01	68.25	68.39
14.05	27.35	27.34	05:15		
05:28			28.01	76.56	76.62
15.05	30.67	30.73	05:46		
04:33			29.01	70.49	70.63
19.05	22.85	23.05	04:51		
04:08			30.01	65.07	65.13
19.05	23.05	22.65	05:34		
05:46			02.02	81.67	81.13
Поле			04:26		
29.01	90.35	89.03	02.02	91.98	90.49
04:51			06:04		
02.02	87.46	84.22	05.02	74.97	75.24
04:26			04:57		
06.03	56.00	55.39	06.02	57.10	58.77
05:09			05:40		
24.03	21.55	21.53	15.02	63.46	64.58
04:57			05:34		
29.03	18.32	18.23	04.03	63.30	63.43
05:15			05:21		
30.03	8.77	8.72	05.03	60.24	60.06
04:20			04:26		
30.03	11.98	11.96	05.03	60.08	59.95
05:58			06:04		
08.05	0.05	0.05	06.03	65.55	65.54
04:27			05:09		
08.05	0.03	0.03	12.03	65.87	65.77
06:05			04:32		
09.05	0.13	0.13	24.03	57.11	57.11
05:09			04:57		
14.05	0.00	0.00	29.03	55.54	55.42
05:28			05:15		
15.05	0.00	0.00	30.03	34.00	34.11
04:33			04:20		
15.05	0.01	0.01	30.03	36.89	36.98
06:11			05:58		
16.05	0.00	0.00	08.05	4.75	4.75
05:16			04:27		
19.05	0.00	0.00	08.05	2.37	2.37
04:08			06:05		
19.05	0.00	0.00	09.05	3.66	3.90
05:46			05:09		
30.05	0.00	0.00	10.05	2.68	2.61
05:28			04:14		
			10.05	1.97	1.95

Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %	Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %
05:52			04:08		
14.05	1.52	1.52	29.06	0.00	0.00
05:28			04:02		
15.05	1.65	1.66			
04:33					
19.05	0.66	0.64			

Таблица 2.12

Оценки относительной заснеженности районов бассейна Красноярского водохранилища за 2009 г при доле облачности менее 5%.

Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %	Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %
р-н.Абакан			30.03	75.58	75.58
03.01	76.19	76.50	03:51		
04:27			30.03	73.38	73.41
30.03	46.25	46.30	05:29		
05:29			09.04	68.92	69.13
09.04	23.82	27.08	04:27		
06:05			08.05	35.45	36.98
20.04	24.58	25.91	03:57		
05:47			08.05	31.72	32.28
15.05	14.81	15.00	05:35		
05:41			29.05	24.52	24.68
16.05	14.78	14.53	04:15		
04:46			29.05	21.93	23.72
28.05	13.26	13.32	05:53		
05:10			02.06	16.59	17.20
29.05	10.40	10.40	03:51		
04:15			08.06	12.23	12.18
29.05	10.23	10.23	04:51		
05:53			09.06	9.91	9.88
07.06	3.43	3.43	03:57		
04:09			09.06	10.89	10.86
07.06	4.02	4.02	05:34		
05:47			Поле		
08.06	1.95	1.95	05.01	90.50	88.59
04:51			05:53		
р-н.Туба			09.01	88.55	88.01
04.01	71.66	73.00	05:28		
05:10			28.02	94.77	94.45
05.01	86.16	86.37	05:16		
04:15			02.03	94.08	93.24
05.01	94.86	94.91	05:04		
05:53			29.03	66.61	66.65
29.03	88.76	89.22	04:46		
04:46			20.04	0.58	0.58

Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %	Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %
04:09			10.01	70.92	71.11
20.04	2.42	2.35	04:33		
05:47			27.02	77.55	75.93
21.04	3.38	3.43	04:33		
04:52			28.02	72.22	72.25
22.04	0.47	0.48	05:16		
03:57			01.03	69.77	68.82
22.04	3.38	3.37	04:21		
05:35			23.03	67.79	68.18
07.06	0.00	0.00	05:22		
04:09			29.03	74.96	74.94
Лес			04:46		
02.01	65.89	65.34	20.04	9.74	9.69
05:22			05:47		
03.01	75.16	74.26	22.04	7.91	7.89
04:27			03:57		
03.01	92.99	91.88	22.04	9.76	9.93
06:05			05:35		
04.01	63.04	63.31	29.05	1.13	1.12
05:10			04:15		
05.01	86.20	86.19	07.06	0.10	0.10
04:15			04:09		
05.01	93.67	93.67	07.06	0.19	0.19
05:53			05:47		
07.01	85.45	85.37	08.06	0.09	0.09
04:03			04:51		
07.01	73.93	73.96	09.06	0.01	0.01
05:41			03:57		
09.01	64.85	65.01	09.06	0.01	0.01
05:28			05:34		

Таблица 2.13

Оценки относительной заснеженности районов бассейна Саяно-Шушенского водохрани-
лища за 2007 г при доле облачности менее 5%.

Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %	Дата и время (UTC)	Оценка засне- женности, %	Оценка за- снеженности без учёта об- лачности, %
р-н.Хемчин			05:53		
15.05	7.29	9.92	30.05	4.82	4.71
05:41			04:58		
16.05	8.60	9.06	07.06	3.51	3.51
04:46			04:09		
28.05	7.59	9.95	07.06	3.90	3.87
05:10			05:47		
29.05	6.16	6.24	08.06	2.66	2.55
04:15			04:51		
29.05	5.76	5.78			

Дата и время (UTC)	Оценка заснеженности, %	Оценка заснеженности без учёта облачности, %	Дата и время (UTC)	Оценка заснеженности, %	Оценка заснеженности без учёта облачности, %
р-н.Дархатская котловина			29.05	9.49	9.46
06.04	50.07	50.27	04:15		
03:57			Север		
29.05	7.43	7.46	30.03	64.19	65.67
04:15			05:29		
31.05	5.90	5.67	16.05	23.26	23.25
04:03			04:46		
09.06	9.69	9.69	29.05	18.27	18.41
03:57			04:15		
Юг			09.06	3.89	3.81
31.03	65.30	66.46	03:57		
04:34					
16.05	16.82	16.89			
04:46					

Таблица 2.14

Оценки относительной заснеженности районов бассейна Саяно-Шушенского водохранилища за 2008 г при доле облачности менее 5%.

Дата и время (UTC)	Оценка заснеженности, %	Оценка заснеженности без учёта облачности, %
р-н.Хемчин		
23.03 05:52	33.39	33.02
р-н.Дархатская котловина		
13.05 04:45	18.87	18.37
23.05 03:44	8.04	7.87
23.05 05:22	7.55	7.51
Юг		
23.04 05:09	27.91	28.88
23.05 05:22	8.87	8.86
Север		
06.03 05:09	68.72	68.10
24.03 04:57	63.85	65.45
23.05 05:22	12.49	12.59

Таблица 2.15

Оценки относительной заснеженности районов бассейна Саяно-Шушенского водохранилища за 2009 г при доле облачности менее 5%.

Дата и время (UTC)	Оценка заснеженности, %	Оценка заснеженности без учёта облачности, %
р-н.Хемчин		
15.05 05:41	7.29	9.92
16.05 04:46	8.60	9.06
28.05 05:10	7.59	9.95
29.05 04:15	6.16	6.24
29.05 05:53	5.76	5.78
30.05 04:58	4.82	4.71
07.06 04:09	3.51	3.51
07.06 05:47	3.90	3.87
08.06 04:51	2.66	2.55
р-н.Дархатская котловина		
06.04 03:57	50.07	50.27
29.05 04:15	7.43	7.46
31.05 04:03	5.90	5.67
09.06 03:57	9.69	9.69
Юг		
31.03 04:34	65.30	66.46
16.05 04:46	16.82	16.89
29.05 04:15	9.49	9.46
Север		
30.03 05:29	64.19	65.67
16.05 04:46	23.26	23.25
29.05 04:15	18.27	18.41
09.06 03:57	3.89	3.81

Выводы. За период непрерывного наблюдения с 2 сентября 2005 года последние три года являются годами минимальной площади заснеженности, определяемой по данным КА Terra. Также и сроки схода снега в последние годы регистрируются наиболее ранними, с определёнными особенностями у каждого бассейна. В противоположность им 2006 год является годом максимальной заснеженности и самой поздней весны во всех бассейнах.

Глава 3. Бассейн р. Оби до г. Барнаула

3.1. Ландшафтно-гидрологическая характеристика бассейна

Рассмотрим бассейн р. Оби до г. Барнаула Ландшафтно-гидрологическая характеристика бассейна Верхней Оби была рассмотрена в [29. 30]. Ниже приведем ее сокращенный вариант с некоторыми уточнениями применительно к рассматриваемым бассейнам.

По условиям формирования стока и с учетом существующей сети наблюдений разделим рассматриваемый бассейн на следующие районы (рис. 3.1., Таблица 3.1.):

Таблица 3.1.

Площади (км²) районов в бассейне р. Оби до г Барнаула

Районы (подрайоны)						
Обь-1	Обь-2	Обь-3		Катунь-2	Катунь-3	Бия-2
		36412				
42720	29600	Катунь-1	Бия-1	32068	11798	15032
		14490	21922			

На рис. 3.2 представлено совмещенное с картой космическое изображение бассейна Верхней Оби от 3 июня 2004 г, на котором отмечены зоны с наибольшей снежностью, где снежный покров не успел растаять.

Район Обь-1 расположен в северной степной, предгорной и горной частях рассматриваемой территории и включает бассейн рр. Алей, Бобровка, Петровка Бол. Речка и др. По условиям рельефа и увлажнённости район делится на:

■ возвышенное среднегорье Алтая (верховья р. Алей), предгорные участки в среднем течении правобережья Алей и в истоках правых притоков р. Оби (отроги Колыванского хребта и Бийско-Чумышская возвышенность) с годовой нормой осадков 850 мм и выше, с густой гидрографической сетью;

■ степные пространства в левобережье Алей и Приобского плато, представляющие засушливые плоские с бессточными понижениями участки и более возвышенные слабоволнистые поверхности с годовой суммой осадков 350-450 мм.

В районе ОБ-1 запасы воды в снежном покрове увеличиваются от 20 -70 мм в нижних высотных зонах до 150-210 мм и более в зоне 800-1000м.

Район Обь-2 (рис. 3.4, 1) располагается в северо-западной части исследуемой территории (бассейны рр. Чарыш, Песчаная, Ануй и др.). Орографическую основу Северо-Западного Алтая образуют хребты: Тигирецкий, Башелакский, Коргонский, ориентированные с юго-востока на северо-запад. Средняя высота хребтов – 1600-2000 м, отдель-

ные вершины и гребни свыше 2600 м. К северо-западу высоты снижаются до 800-1200 м. Территория Северо-Западного Алтая первой принимает влагу, идущую с запада. Отмечается значительное количество атмосферных осадков, до 700 - 1000 мм и более на склонах Тигирецкого хребта.

В низкогорьях получили развитие луговые степи и лесостепи. Земли с выщелоченными и оподзоленными черноземами выборочно распаханы. С высоты 800-1000 м их сменяют черневые высокотравные леса. На резкорасчлененных крутосклонных отрогах Башчелакского и Тигирецкого хребтов появляются лесостепные ландшафты. По мере увеличения абсолютных высот и степени вертикального и горизонтального расчленения на среднегорьях значительна по распространению темнохвойная тайга, которая с дальнейшим ростом абсолютных высот сменяется высокогорными альпийско- и субальпийско-луговыми. Фрагментарно с чередованием скалистых гребней, пиков, карлингов, покрытых россыпями из глыб, с вершиной части Башчелакского, Коргонского и Тигирецкого хребтов развита кустарниковая, луговая и мохово-лишайниковая тундра.

Запасы воды в снежном покрове увеличиваются от 50-100 мм в зоне высот 200-400 м до 300 мм и больше на высоте 2000-2500 м (зоны 1, 2 на рис. 3.2) [20 -24, 29, 30].

Район Обь-3, объединяющий подрайоны **Катунь-1** и **Бия-1**, расположен в нижнем течении р. Катунь и в среднем и нижнем течении р. Бия. Район представлен степными и лесостепными ландшафтами в предгорной части и темнохвойными лесами в горах.

Территория Северного Алтая (подрайон Катунь-1), что к западу от хребта Иолго, к северу от Семинского и к востоку от Башчелакского хребтов, имеет простираение основных хребтов с северо-северо-запада на юго-юго-восток со средними высотами 1600-1800 м. К северу абсолютные высоты снижаются, принимая облик низкогорий (до 600-800 м). Скальные породы, лежащие в основе территории, прикрыты плащом суглинков. В пределах слабо-расчлененной пологосклонной низкогорной части господствуют лесостепи. Значительна доля степей и остепненных лугов на черноземах выщелоченных и оподзоленных. Лесные ландшафты среднегорий в большей степени представлены лиственничными (парковыми), сосновыми и березово-сосновыми лесами на горно-лесных серых и горно-лесных черноземовидных почвах. Встречаются лесостепи и высокотравные луга на горно-луговых почвах. Годовое количество осадков в среднем составляет 550-700 мм.

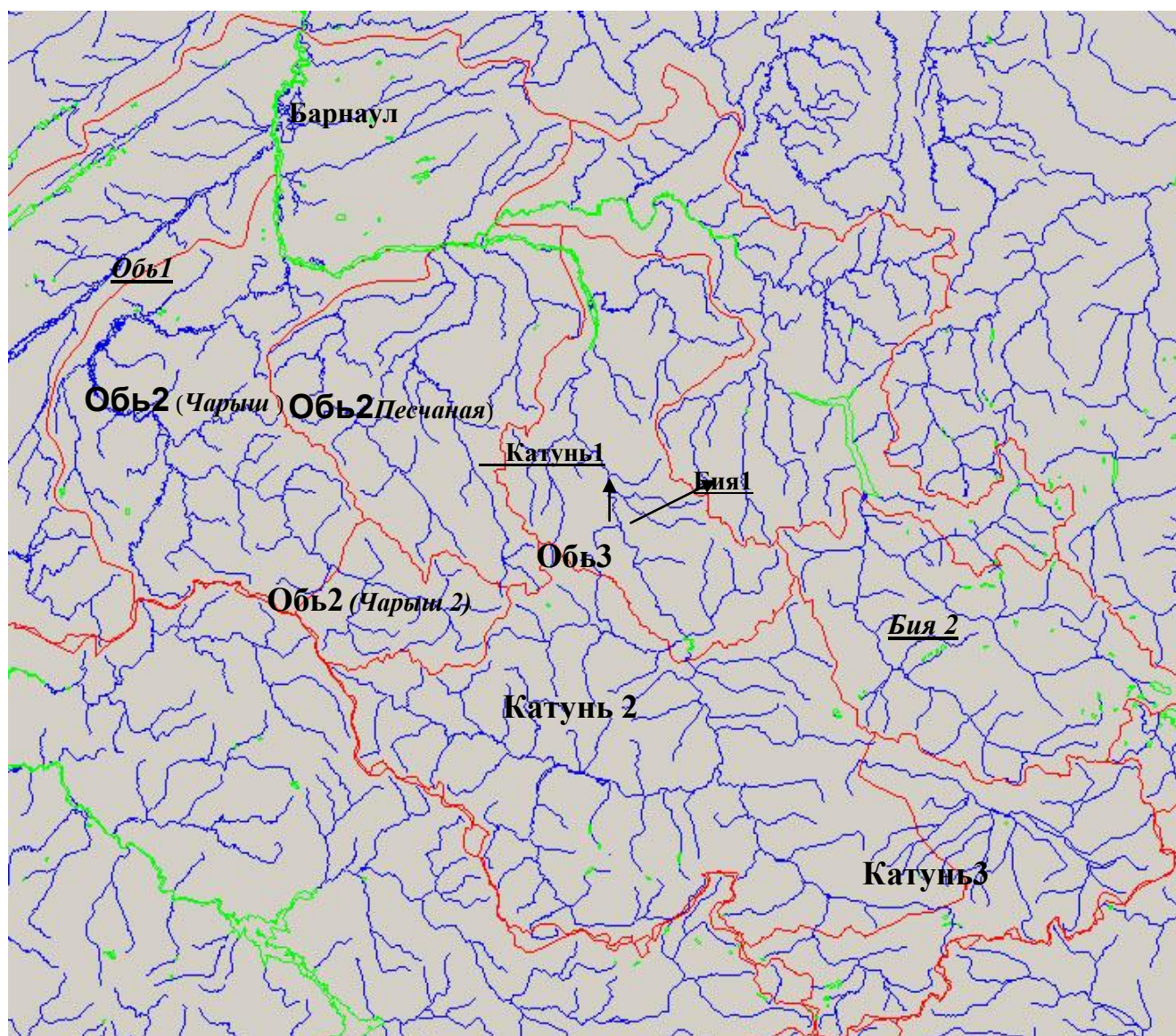


Рис. 3.1 Схема ландшафтно-гидрологических районов в бассейне Верхней Оби

Северо-Восточный Алтай (подрайон Бия-1) - *достаточно влажная* территория Горного Алтая [20 -24, 29, 30]. Северная и южная её части различаются по характеру ландшафтов. На севере господствуют низкогорья (700-800 м). Широкие плосковершинные поверхности чередуются с обширными долинами и понижениями, занятыми болотами. К югу абсолютные высоты растут и рельеф сменяется на среднегорный (1200-1900 м). В районах хребтов Алтынту и Корбу встречаются высокогорья. Годовая величина атмосферных осадков здесь значительна - 900 - 1000 мм. Лесными ландшафтами занято более 60% площади. В северной части доминирует черневой высокотравный лес (осиново-пихтовый, осиновый высокотравный, кедрово-елово-пихтовый) и высокотравные луга.

На юг и восток в среднегорной зоне - темновойно-таежный лес, появляющиеся с высоты около 1200-1300 м. Высокогорные ландшафты развиты фрагментарно с высот 1700-1900 м в

условиях интенсивного расчленения. Здесь высокая атмосферная увлажненность способствует распространению альпийских и субальпийских лугов, сменяющихся луговыми и мохово-лишайниковыми тундрами, переходящими на вершинах хребтов в каменистые россыпи с большими пятнами снежников и небольших ледничков.

Запасы воды в снеге в рассматриваемом районе изменяются по высоте от 50 – 100 до 300 – 320 мм (зоны 10, 11, 12, рис. 3.2).

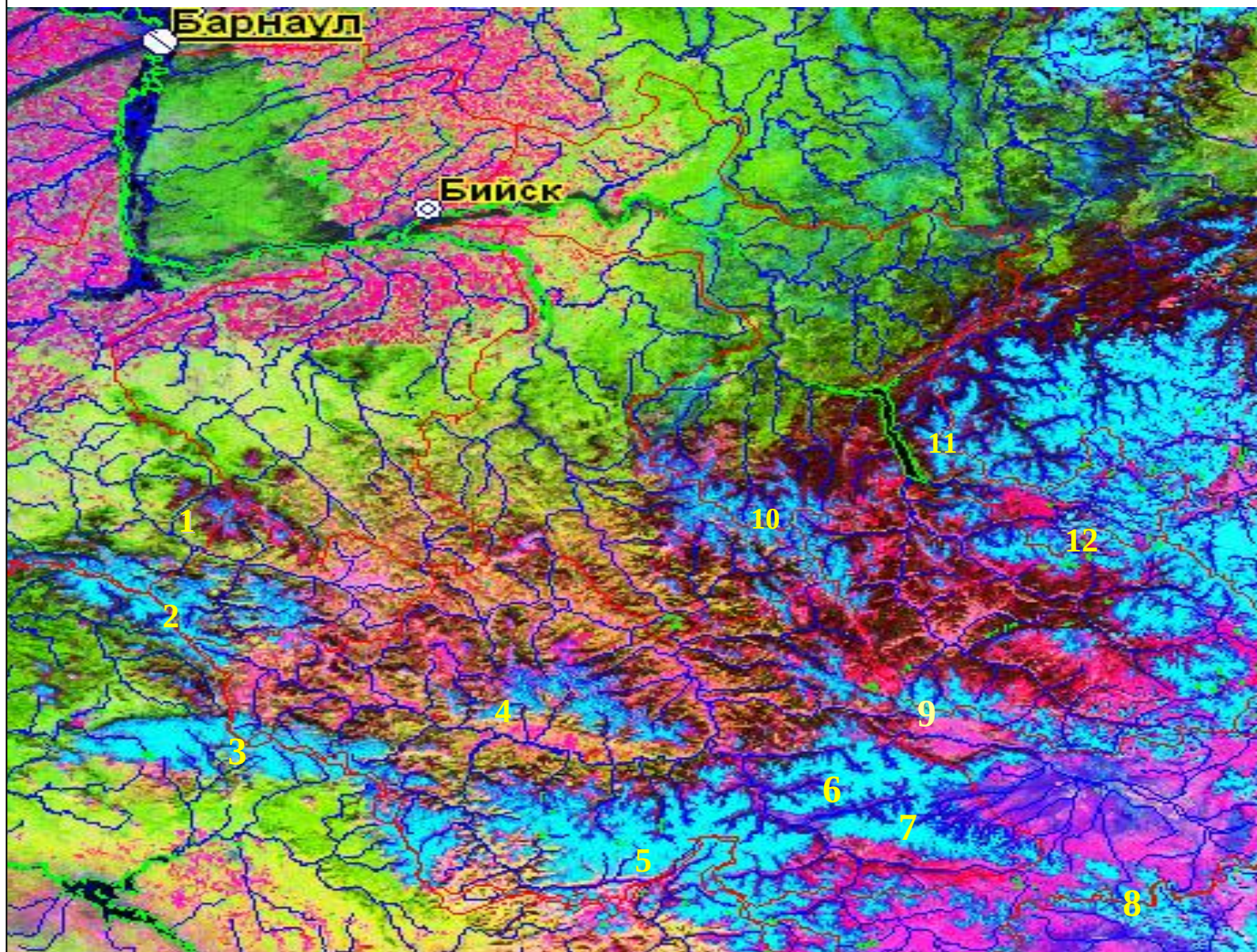
Район Катунь-2 (верхнее и среднее течение р. Катуни) располагается в Центральном Алтае. Центральный Алтай в связи с внутренним положением в горной системе, наибольшими абсолютными высотами (со средней высотой 2200-2600 м, и максимальной для всего Алтая высотой 4506 м, – гора Белуха, Катунский хребет), отличается значительной контрастностью и мозаичностью ландшафтной структуры. Здесь широкий спектр высотной поясности. Хребты Катунский, Северо- и Южно-Чуйский, Теректинский покрыты снежниками и ледниками [20 -24, 29, 30]. Хребты имеют широтное направление или близкое к нему. Здесь же встречаются обширные межгорные котловины на высотах 700-1000 м: Уймонская, Канская, Абайская, Катандинская, днища которых сложены рыхлыми отложениями (песками, суглинками, валунно-галечниковым материалом), с редкими останцами из коренных пород или цепочки невысоких кряжей, разделяющих котловины на несколько более или менее обособленных участков. Значительная расчлененность определяет разнообразие климата. В межгорных котловинах наименьшее количество осадков 330-350 мм по сравнению с высокогорьями, где их годовая сумма составляет 700 -1500 мм. Среди ландшафтов значительна доля высокогорных, занимающие более 1/3 площади. Наибольшей площадью распространения гляциально-нивальных ландшафтов отличаются хребты Катунский, Северо- и Южно-Чуйский. Это самые мощные современные центры горного оледенения Алтая. На склонах Северо- и Южно-Чуйского хребтов развиты тундровые комплексы. Начиная с высот 2000-2600 м, на глубокорасчлененных высокогорьях с чередующимися холмисто-увалистыми поверхностями, значительные площади представлены альпийскими и субальпийскими лугами.

Запасы воды в снеге в рассматриваемом районе изменяются по высоте от 50 – 100 до 300 – 320 мм и больше [20 -24, 29, 30] (зоны 10, 11, 12, рис. 3.2).

Район Катунь-3 находится в верхнем течении р. Чуи и в пределах плоскогорья Укок. Защищённый высокими хребтами со всех сторон от проникновения влагоносных ветров, – это наиболее засушливый высокогорный район Алтая. Здесь в обширной долине р. Чуи на высотах 1700-2000 м располагаются Курайская и Чуйская степи – полупустыни. Район отличается пониженной увлажнённостью и относительно низким снегонакоплением.

Рис 2.2 Космическое изображение (Терра) от 3 июня 2004 г. **Зоны высокого увлажнения (снежности) в бассейне Верхней Оби:**

1. **Право-чарышская** (Башелаковский хребет)
2. **Левостаро-чарышская** (Тигирецкий, Коксуйский, Коргонский хр.)
3. **Верхне-коксинская** (хр. Холзун)
4. **Катунско-урсульская** (Теректинский хр.)
5. **Верхне-катунская** (Катунский хр.)
6. **Северо-чуйская** (Северочуйский хр.)
7. **Южно-чуйская** (Южночуйский хр.)
8. **Сайлюгемская** (Сайлюгемский хр.)
9. **Курайская** (Курайский хр.)
10. **Верхне-бийская** (хр. Иолго, Сумультинский)
11. **Прителецкая** (хр. Корбу)
12. **Верхне-чулышманская** (хр. Чулышманский, Шапшальского)



Район Бия-2 (верхняя часть бассейна Бии) включает бассейны рр. Чулышмана и Башкауса, - основных притоков Телецкого озера, из которого вытекает р. Бия. Представлен Шапшальским, Курайским и др. хребтами, плоскогорьями Улаганское и Чулышманское. Широко распространены высоко приподнятые (выше 1900 м) поверхности выравнивания с достаточно суровыми климатическими условиями. По сравнению с центральными и северо-восточными районами Алтая величина осадков здесь снижается, составляя от 200 - 300 мм в котловинах, до 500 мм и более в высокогорье. Высокогорные ландшафты занимают половину площади территории. Они представлены различными вариантами тундровых комплексов: Курайский хребет – каменистые лишайниковые тундры; Шапшальский хребет – моховые и кустарниковые в сочетании с высокогорными болотами. Меньше доля альпийских и субальпийских лугов и гляционивальных ландшафтов. Особенно распространены они в районе Курайского (тундровые) и Шапшальского (гляциально-нивалые) хребтов. Лесные комплексы занимают лишь менее половины площади территории. Среди наиболее залесенных: Чулышманское нагорье, Улаганское плоскогорье, верховье р. Башкаус, где леса покрывают местами от 50 до 70 % территории. На низких террасах рек Чулышмана и Башкауса встречаются сухостепные комплексы, местами с сосновыми лесами. На склонах долин скальные выходы перемежаются с лиственничными лесами, кустарниковыми степями.

До высот 1800 - 2000 м район характеризуется низким увлажнением и снегонакоплением (40-100 мм). Выше увлажнённость района возрастает (зоны 10, 12, рис. 3.2).

3.2. Исходные данные

Учитывая современный состав действующей оперативной информационной сети, в настоящей работе непосредственно привлечены данные следующих пунктов наблюдений:

Снегомерные съёмки

- 1 Кызыл-Озек, Н=324 м;
- 2 Усть-Кокса, Н= 977 м;
- 3 Катанда, Н= 948 м;
- 4 Усть-Улаган, Н= 1200 м;
- 5 Балыкча, Н= 472 м;
- 6 Яйлю, Н= 441 м;
- 7 Турочак Н= 326 м;
- 8 Коксинский МАРШРУТ, Н= 523 м;
- 9 Тогул, Н = 271 м;
- 10 Алейск, Н = 174 м;
- 11 Змеиногорск, Н = 354 м;
- 12 Истиким, Н = 131 м

Ежедневные осадки

- 1 Кара-Тюрек, 2600м;
- 2 Усть-Кокса, 977 м;
- 3 Катанда, 948 м;
- 4 Онгудай, 831 м;
- 5 Чемал, 410 м;
- 6 Кызыл-Озек, 324 м;
- 7 Бея, 560 м;
- 8 Яйлю, 441 м;
- 9 Турочак, 326 м;
- 10 Бийск, 200 м

Температура воздуха

- 1 Кара-Тюрек, 2600 м;
- 2 Усть-Кокса, 977 м;
- 3 Катанда, 948 м;
- 4 Онгудай, 831 м;
- 5 Кызыл-Озек, 324 м;
- 6 Яйлю, 441 м;
- 7 Бийск, 200 м.

Для характеристики русловых запасов воды использовались наблюдения за ходом ежедневных уровней воды в следующих створах: 1) р. Кокса – с. Усть-Кокса, р. Урсул – с. Онгудай, 3)

р. Катунь – пгт Чемал, 4) р. Бия – с. Кебезень, 5) р. Бия – с. Турочак, 6) р. Катунь – с. Сростки, 7) р. Бия - г. Бийск, 8) р. Бердь – ст. Искитим, 9) р. Алей – г. Рубцовск, 10) р. Чумыш - пгт Тальменка 11) р. Обь - г. Барнаул.

В качестве индекса предшествующего увлажнения бассейна использовались суммы осенних расходов воды (IX-XI) в пунктах р. Алей – с. Старо-Алейское, р. Урсул – с. Онгудай и р. Бия – с. Турочак.

Речной сток за второй квартал формируется за счёт запасов снега и осадков за апрель-июнь. Приведённые в Таблица 3.2 данные по среднему за период наблюдений стоку за второй квартал, рассчитанные по материалам Западно-Сибирского УГМС, имеют тот же порядок, что и запасы воды в снежном покрове. Эти данные, полученные путем построения зависимостей стока от средней высоты водосборов, вследствие недостаточного количества наблюдений на малых горных бассейнах лишь приближенно характеризуют **высотное распределение стока**. Они будут корректироваться на последующих этапах исследования. Средний за период наблюдений сток за второй квартал **по районам бассейна**, представленный в Таблица 3.4, для некоторых районов также нуждается в уточнении. Приведенные данные по стоку (Таблица 3.3 и 3.4) ниже использованы как первое приближение для оптимизации параметров модели прогноза.

Морфометрическое описание бассейна представлено в табл. 3.5, 3.6. В пределах каждого района (табл. 3.1) выделены высотные зоны и на ПЭВМ с использованием электронной гипсометрической карты определены их площади. Ниже приводим распределение площадей высотных зон (табл. 3.5).

Таблица 3.2

Схематическое распределение нормы максимальных запасов воды в снежном покрове по высотным зонам (приведены средние по высотным зонам запасы воды в снеге в мм)

Высотная зона, м	Район							
	ОВ-1	ОВ-2	ОВ-3	Катунь-1	Катунь-2	Катунь-3	Бия-1	Бия-2
0 - 200	78	81	121				121	
200 - 400	63	97	119	116			121	
400 - 600	123	147	188	155			201	
600 - 800	154	169	210	153	73		248	74
800 - 1000	210	175	197	145	145		273	83
1000 - 1500	205	213	169	203	203		265	85
1500 - 2000		273	246	205	236	71	289	122
2000 - 2500		332	287	266	271	135	309	182
2500 - 3000			311		344	199	314	258
3000 - 4500					414	276		

Таблица 3.3

Приближенная характеристика распределения нормы речного стока второго квартала по высотным зонам (приведены средние величины стока по площади высотных зон, мм)

Высотная зона, м	Район							
	ОВ-1	ОВ-2	ОВ-3	Катунь-1	Катунь-2	Катунь-3	Бия-1	Бия-2
90 - 200	36		86				86	
200 - 400	33	74	169	158			175	
400 - 600	93	135	237	168			266	
600 - 800	101	164	250	148	27		317	
800 - 1000	208	186	220	138	132		339	36
1000 - 1500		243	240	189	205		300	66
1500 - 2000		330	280	230	265	27	332	106
2000 - 2500		377	316	148	288	73	362	147
2500 - 3000			(346)		338	113	368	174
3000 - 4500					(290)	(97)		169

Таблица 3.4

Средний за период наблюдений слой стока (мм) за второй квартал по районам бассейна Верхней Оби

Обь-1	Обь-2	Обь-3		Катунь-2	Катунь-3	Бия-2
		202				
73	162	Катунь-1 132	Бия-1 268	(231)	(45)	156
Использовались данные наблюдений по следующим речным бассейнам:						
р. Алей – Алейск, р.Бол.Лосиха– Ко- сиха, р. Большая Речка – Троицкое	р. Чарыш – Ча- рышский р. Песчаная – То- чильное р.Ануй– Старо- Тырышкино	р. Катунь - Мал.Ялома н р.Катунь – с. Срост- ки	р. Бия – Бийск р.Чулышман – с. Балыкча	р.Катунь – Мал.Яломан р. Чуя – . Ча- ган-Узун р. Жазатер – Жазатер	р. Чуя – . Ча- ган-Узун р. Жазатер – Жазатер	р.Чулышман – Балыкча

Таблица 3.5

Доли площадей высотных зон в районах

ОВ-1										
Н, м	165	495	825	Н- Средняя высота зоны (м)						
f	0.772	0.200	0.028	f- Доли площади зон (в долях площади района)						
ОВ-2										
Н	400	825	1155	1485	1815					
f	0.291	0.353	0.178	0.107	0.071					
Катунь-2										
Н	825	1155	1485	1815	2145	2475	2805	3135	3465	4125
f	0.023	0.105	0.176	0.217	0.180	0.124	0.083	0.058	0.026	0.007
Катунь-3										
Н	1485	1815	2145	2475	2805	3135	3465	3630		
f	0.005	0.096	0.195	0.276	0.280	0.114	0.029	0.004		
ОВ-3										
Н	270	600	930	1260	1590	1920	2250	2580	2910	
f	0.130	0.285	0.180	0.121	0.097	0.080	0.065	0.034	0.008	
Бия-2										
Н	400	730	1060	1390	1720	2050	2380	2710	3040	3370
f	0.006	0.010	0.027	0.083	0.182	0.248	0.259	0.138	0.039	0.008

Количественные характеристики районов бассейна для расчета параметров кривых добегаания

Район ОБ-1										
L ₁ *)	0	75	150	225	300	375	450			
L ₂ *)	75	75	75	75	75	75	75			
f *)	0.055	0.104	0.191	0.132	0.349	0.11	0.05			
Район ОБ-2										
L ₁	315	405	495	585	675					
L ₂	90	90	90	90	35					
f	0.18	0.267	0.346	0.153	0.054					
Район Катунь-2										
L ₁	550	605	660	715	770	825	880	935		
L ₂	55	55	55	55	55	55	55	20		
f	0.115	0.153	0.17	0.146	0.141	0.19	0.078	0.006		
Район Катунь-3										
L ₁	700	725	750	775	800	825	850	875	900	
L ₂	25	25	25	25	25	25	25	25	20	
f	0.029	0.032	0.023	0.036	0.086	0.129	0.26	0.323	0.08	
Район ОБ-3										
L ₁	245	295	345	395	445	495	545	595	720	770
L ₂	50	50	50	50	50	50	50	50	50	30
f	0.047	0.076	0.105	0.124	0.091	0.127	0.253	0.103	0.043	0.031
Район Бия-2										
L ₁	645	690	735	780	825	870				
L ₂	45	45	45	45	45	25				
f	0.083	0.243	0.205	0.275	0.166	0.028				

*) **Примечание:**

L₁ – Расстояние по руслу от нижней границы межэквидистантной площадки до замыкающего створа, км.

L₂ – Расстояние по руслу между эквидистантами, км. f – Доля стока с межэквидистантной площадки.

Для оценки моментов кривых добегаания (см. главу 1, формулы 1.7 – 1.11) каждый район делится эквидистантами на межэквидистантные площадки, определяются расстояния по руслу L₁ и L₂ (Таблица 3.6, примечание), а также доли среднего многолетнего весеннего стока с каждой из них по отношению к стоку со всего бассейна.

3.3. Оптимизация параметров модели прогноза ежедневных расходов (уровней) воды (варианты «Барнаул– 2008», «Барнаул– 2009»)

Последовательность оптимизации параметров на примере бассейнов представлена в [28, 29, 30]. Ниже рассмотрим основные особенности оптимизации по рассматриваемому бассейну.

В качестве исходных значений параметров приняты результаты оптимизации модели прогноза притока воды в водохранилища Обской ГЭС по варианту «Обь– 2007» [30]. Исключительное разнообразие условий формирования стока (см. раздел 3.1.) и недостаточное гидрометеорологиче-

ское обеспечение рассматриваемой территории позволяют лишь приближенно оценить территориальное распределение средних многолетних снегозапасов и стока за второй квартал. По этой причине приведенные выше характеристики снегонакопления и стока использовались в процессе оптимизации варианта «Обь– 2007» как начальное приближение. В основу оптимизации параметров блока снегонакопления и снеготаяния этого варианта положены данные спутниковых наблюдений (КА «Тетра») за динамикой площади заснеженности (снегового покрытия) районов бассейна в период снеготаяния в 2004, 2005, 2006 и 2007 гг [30]. Полученные по результатам расчета (модель–2007) характеристики снегонакопления стока за второй квартал по районам и высотным зонам (Таблица 3.8.) несколько отличаются от исходных значений (Таблица 3.3.). Они учитывают распределение снежного покрова, скорректированное по спутниковой информации.

Таблица 3.7

Характеристики точности модели прогноза расходов воды
Модель «А – снеготаяние-осадки-сток»
р. Обь у г. Барнаула

Заблаговременность прогноза i , сут		$i = 4$	$i = 5$	$i = 6$	$i = 7$	$i = 8$	$i = 9$	$i = 10$
Среднее квадратичное отклонение (σ_i) притока за i суток, ($\text{м}^3/\text{с}$)		675	796	902	997	1081	1156	1223
Средняя квадратичная ошибка расчета притока S , ($\text{м}^3/\text{с}$)	«Модель-2008»	516						
	«Модель-2009»	489						
Критерий S/σ	«Модель-2008»	0.764	0.648	0.572	0.518	0.477	0.446	0.422
	«Модель-2009»	0.730	0.619	0.546	0.495	0.457	0.427	0.402

Показатель точности (S/σ) для модели–2009 расчета ежедневных **расходов воды** (модель А–«снеготаяние–осадки–сток» для заблаговременности прогноза 4 –10 суток изменяется 0.730 до 0,422 (методика «удовлетворительная» или «хорошая»).

Долгосрочный прогноз расходов воды за второй квартал может выполняться с применением модели А–«снеготаяние–осадки–сток», путем задания года-аналога, характеризующего ход осадков и температуры воздуха прогнозируемого периода, который подбирается по данным многолетних наблюдений на основе долгосрочного прогноза погоды. Запасы воды в снежном покрове и характеристики водопоглощения задаются по результатам наблюдений:

- запасы воды в снежном покрове – по мартовским снегосъемкам;
- показатель осеннего увлажнения – по наблюдениям за стоком воды в осенний период за предшествующий год.

В условиях низкой точности прогноза погоды, в качестве года-аналога можно задать реальный год с характеристиками погоды, близкими к средним многолетним за второй квартал. С этой целью выполнены оценки точности прогноза путем полного перебора базы данных по бассейну Оби до г. Барнаула, которые показали возможность использования метеорологических данных за следующие годы:

- 1999 средняя квадратичная ошибка прогноза $S = 663 \text{ м}^3/\text{с}$.
- 2004 квадратичная ошибка прогноза $S = 660 \text{ м}^3/\text{с}$.

Для получения оценок точности долгосрочного прогноза притока при различных способах задания года-аналога требуется провести дополнительное исследование.

Рассмотрим точность модели **краткосрочного прогноза** ежедневных уровней воды р. Оби у г. Барнаула. В Таблица 3.8 – 3.9 приведены критерии качества методики для заблаговременности прогнозов 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 суток по модели Б (*комбинированная модель, учитывающая уровни воды по длине речной системы*).

Приведенные данные характеризуют качество методики прогноза ежедневных уровней воды по моделям 2008 2009 в основном как «хорошее», причем модель-2009 дает некоторое преимущество.

Таблица 3.8

Показатели точности модели прогноза ежедневных уровней воды
р. Обь у г. Барнаула, второй квартал: «Модель-2008»

Δt	Заблаговременность прогноза, сутки	1	2	3	4	5	6	7
σ_δ	Средняя квадратичная ошибка прогноза (см)	10.7	21.1	28.7	34.1	38.4	43.0	44.7
σ	Среднее квадратичное отклонение уровней воды (см) за период Δt	20.9	39.7	56.2	70.7	83.5	94.8	104.7
σ_δ/σ	Критерий качества методики	0.51	0.53	0.51	0.48	0.46	0.44	0.43

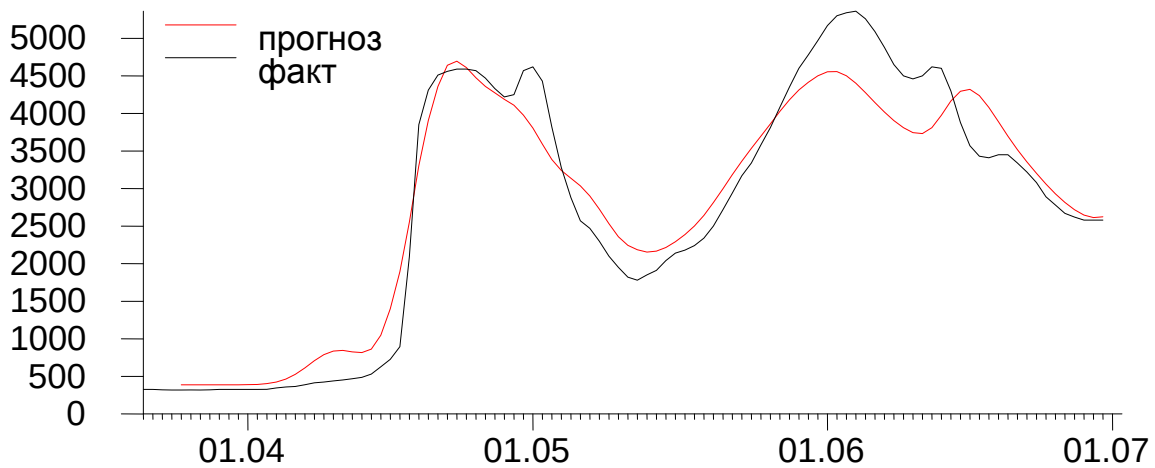
Таблица 3.9

Показатели точности модели прогноза ежедневных уровней воды
р. Обь у г. Барнаула, второй квартал: «Модель-2009»

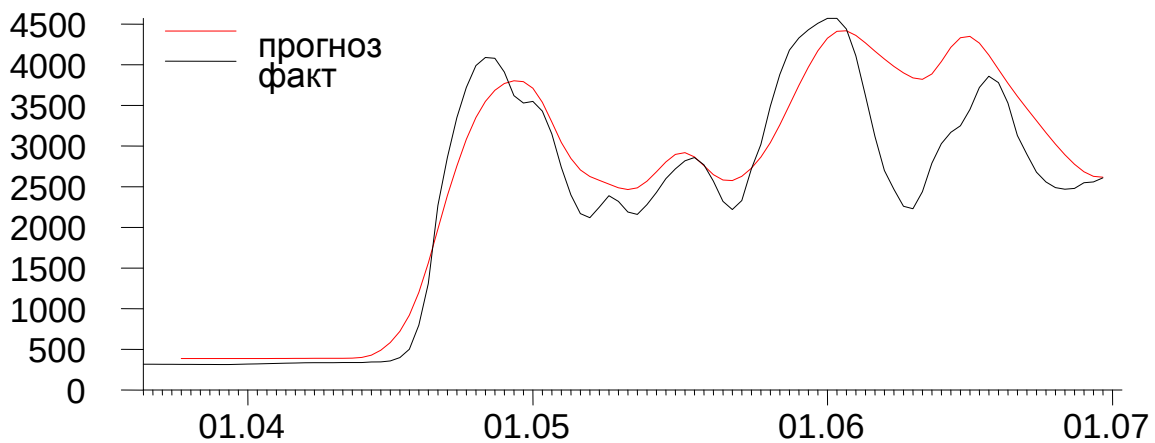
Δt	Заблаговременность прогноза, сутки	1	2	3	4	5	6	7
σ_δ	Средняя квадратичная ошибка прогноза (см)	10.6	20.2	27.2	33.2	36.3	40.0	43.8
σ	Среднее квадратичное отклонение уровней воды (см) за период Δt	21.4	40.6	57.4	73.0	84.7	96.8	105.4
σ_δ/σ	Критерий качества методики	0.49	0.50	0.47	0.45	0.43	0.42	0.41

На рис. 3.3 приводятся совмещенные вычисленные и фактические графики колебаний уровней и расходов воды за второй квартал, иллюстрирующие точность расчетов по модели прогноза.

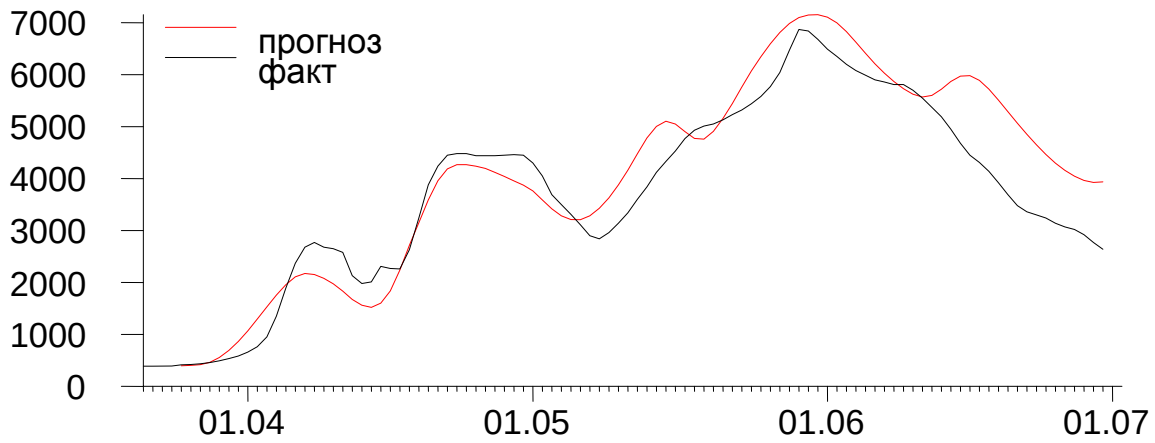
Рис. 3.3. Вычисленные и фактические ежедневные расходы воды р. Оби у г. Барнаула
1. Модель – А, «снеготаяние-осадки-сток»
1992 г



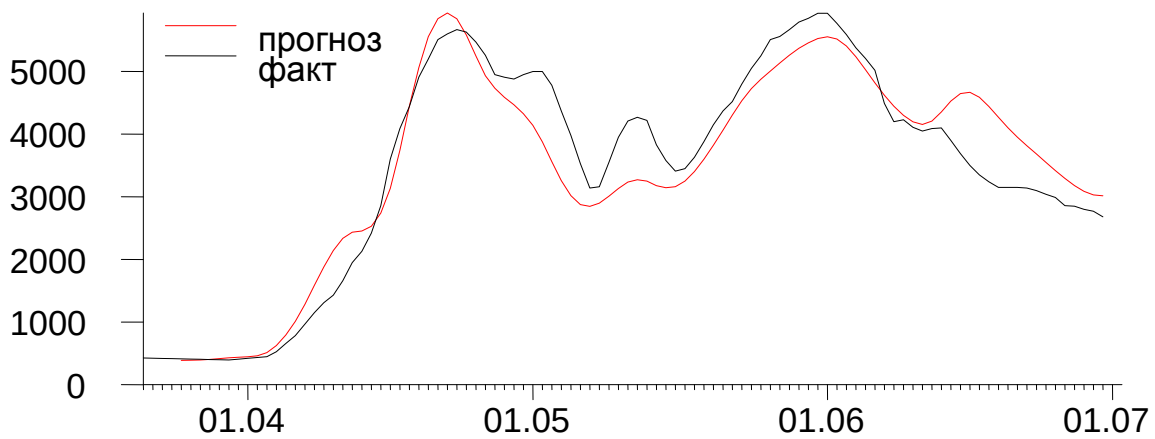
1996 г



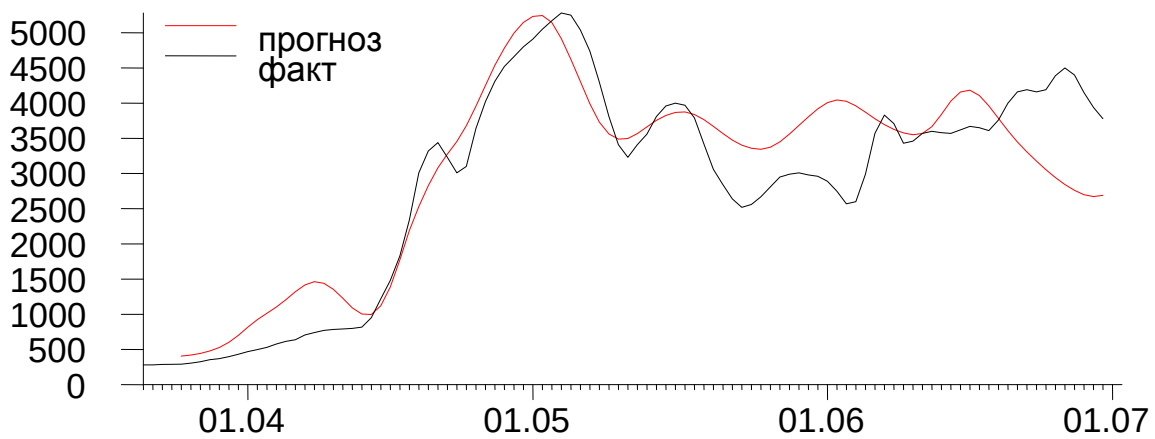
2001 г



2004 г

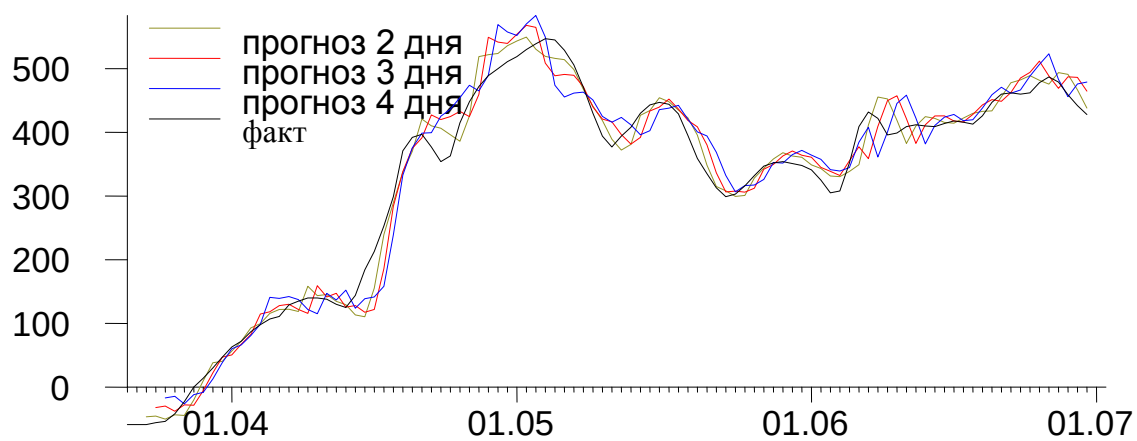


2005 г

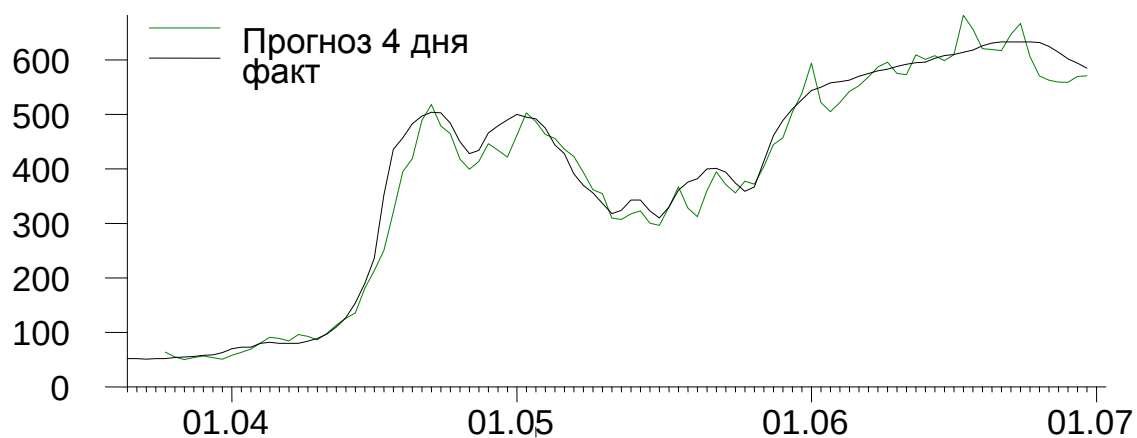


2. Модель – В, учитывающая метеорологическую информацию и уровни воды в речной системе (для различной заблаговременности прогноза)

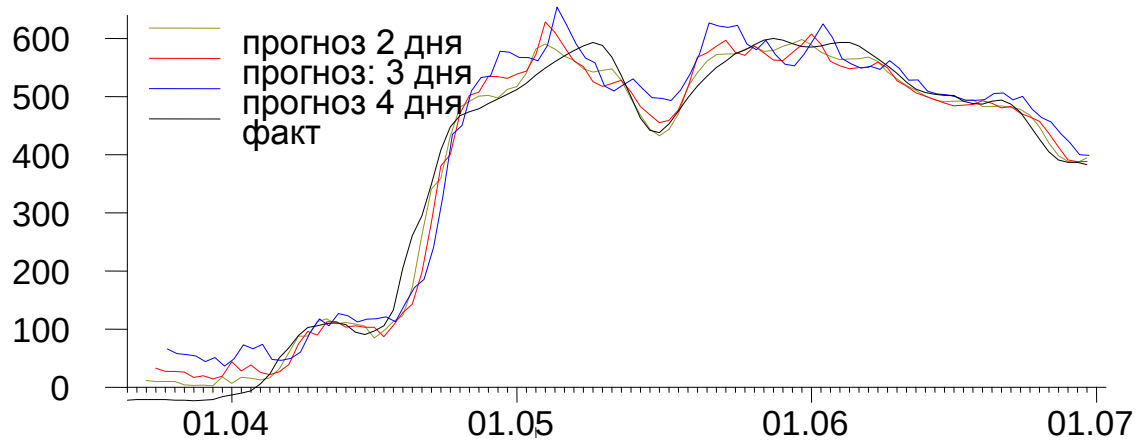
48
2005 г



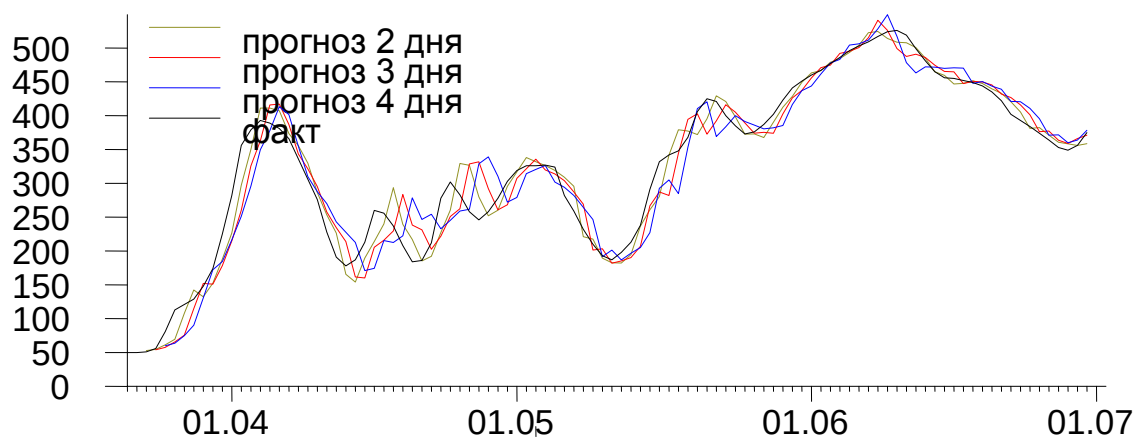
1993



2006



2002



Глава 4. Бассейны рек Катунь – с. Сростки и Бия – г. Бийск

4.1. Ландшафтно-гидрологическая характеристика

Рассматриваемый водосбор является частью бассейна р. Оби до г. Барнаула (раздел 2.1). В Таблице 4.1 приводятся размеры площадей районов, выделенных в бассейнах рассматриваемых рек.

Таблица 4.1

Площади районов (км²) в бассейнах рр. Катунь и Бия

Районы в бассейне р. Катунь		
Катунь-1	Катунь-2	Катунь-3
14544	32068	11788
Районы в бассейне р. Бии		
Бия-1	Бия-2	Бия-3
4374	17494	15032

Напомним ландшафтные особенности районов.

Район **Катунь-1** расположен в нижнем течении р. Катунь. Представлен степными и лесостепными ландшафтами в предгорной части и тёмнохвойными лесами в горах.

Территория района, что к западу от хребта Иолго, к северу от Семинского и к востоку от Башчелакского хребтов, имеет простирающиеся основные хребты с северо-северо-запада на юго-юго-восток со средними высотами 1600-1800 м. К северу абсолютные высоты снижаются, принимая облик низкогорий (до 600-800 м). Скальные породы, лежащие в основе территории, прикрыты плащом суглинков. В пределах слаборасчлененной пологосклонной низкогорной части господствуют лесостепи. Значительна доля степей и остепненных лугов на черноземах выщелоченных и оподзоленных. Лесные ландшафты среднегорий в большей степени представлены лиственничными (парковыми), сосновыми и березово-сосновыми лесами на горно-лесных серых и горно-лесных черноземовидных почвах. Встречаются лесостепи и высокотравные луга на горно-луговых почвах. Годовое количество осадков в среднем составляет 550-700 мм.

Район Катунь-2 (верхнее и среднее течение р. Катунь) располагается в Центральном Алтае со средней высотой 2200-2600 м, и максимальной для всего Алтая высотой 4506 м, – гора Белуха, Катунский хребет. Отличается значительной контрастностью и мозаичностью ландшафтной структуры, широким спектром высотной поясности. Хребты Катунский, Северо- и Южно-Чуйский, Теректинский покрыты снежниками и ледниками. Хребты имеют широтное направление или близкое к нему. Здесь же встречаются обширные межгорные котловины на высотах 700-1000 м: Уймонская, Канская, Абайская, Катандинская, днища которых сложены рыхлыми отложениями (песками, суглинками, валунно-галечниковым материалом), с редкими останцами из

коренных пород или цепочки невысоких кряжей, разделяющих котловины на несколько более или менее обособленных участков.

В межгорных котловинах наименьшее количество осадков 330-350 мм по сравнению с высокогорьями, где их годовая сумма составляет 700 -1500 мм.

Среди ландшафтов значительна доля высокогорных, занимающие более 1/3 площади. Наибольшей площадью распространения гляциально-нивальных ландшафтов отличаются хребты Катунский, Северо- и Южно-Чуйский. Это самые мощные современные центры горного оледенения Алтая. На склонах Северо- и Южно-Чуйского хребтов развиты тундровые комплексы. Начиная с высот 2000-2600 м, на глубокорасчлененных высокогорьях с чередующимися холмисто-увалистыми поверхностями, значительные площади представлены альпийскими и субальпийскими лугами.

Запасы воды в снеге в рассматриваемом районе изменяются по высоте от 50 – 100 до 300 – 320 мм (зоны 10, 11, 12, рис. 2.2).

Район Катунь-3 находится в верхнем течении р. Чуи и в пределах плоскогорья Укок. Защищённый высокими хребтами со всех сторон от проникновения влагонесных ветров, – это наиболее засушливый высокогорный район Алтая. Здесь в обширной долине р. Чуи на высотах 1700-2000 м располагаются Курайская и Чуйская степи – полупустыни. Район отличается пониженной увлажнённостью и относительно низким снегонакоплением.

Район Бия – 1. Располагается в нижнем течении Бии. Здесь господствуют низкогорья (700-800 м). Плосковершинные поверхности чередуются с обширными долинами и понижениями, занятыми болотами. Годовая сумма осадков составляет 500 – 900 мм.

Район Бия – 2. Здесь абсолютные высоты растут, и рельеф сменяется на среднегорный (1200-1900 м). В районах хребтов Алтынту и Корбу встречаются высокогорья. Годовая величина атмосферных осадков значительна до 900 - 1000 мм. Лесными ландшафтами занято более 60% площади. В северной части доминирует черневой высокотравный лес (осиново-пихтовый, осиновый высокотравный, кедрово-елово-пихтовый) и высокотравные луга.

На юг и восток в среднегорной зоне - темнохвойно-таежный лес, появляющиеся с высоты около 1200-1300 м. Высокогорные ландшафты развиты фрагментарно с высот 1700-1900 м в условиях интенсивного расчленения. Здесь высокая атмосферная увлажненность способствует распространению альпийских и субальпийских лугов, сменяющихся луговыми и мохово-лишайниковыми тундрами, переходящими на вершинах хребтов в каменистые россыпи с небольшими пятнами снежников и небольших ледничков.

Запасы воды в снеге в рассматриваемом районе изменяются по высоте от 50 – 100 до 300 – 320 мм (зоны 10, 11, 12, рис. 2.2).

Район Бия-3 (верхняя часть бассейна Бии) включает бассейны р. Чулышман и его притока Башкаус, - питающих Телецкое озера, из которого вытекает р. Бия представлен Шапшальским, Курайским и др. хребтами, плоскогорьями Улаганское и Чулышманское. Широко распространены высоко приподнятые (выше 1900 м) поверхности выравнивания с достаточно суровыми климатическими условиями. По сравнению с центральными и северо-восточными районами Алтая величина осадков здесь снижается, составляя от 200- 300 мм в котловинах, до 500 мм и более в высокогорье. Высокогорные ландшафты занимают половину площади территории. Они представлены различными вариантами тундровых комплексов: Курайский хребет – каменистые лишайниковые тундры; Шапшальский хребет – моховые и кустарниковые в сочетании с высокогорными болотами. Меньше доля альпийских и субальпийских лугов и гляционивальных ландшафтов. Особенно распространены они в районе Курайского (тундровые) и Шапшальского (гляциально-нивалые) хребтов. Лесные комплексы занимают лишь менее половины площади территории. Среди наиболее залесенных: Чулышманское нагорье, Улаганское плоскогорье, верховье р. Башкаус, где леса покрывают местами от 50 до 70 % территории. На низких террасах рек Чулышмана и Башкауса встречаются сухостепные комплексы, местами с сосновыми лесами. На склонах долин скальные выходы перемежаются с лиственничными лесами, кустарниковыми степями.

До высот 1800 - 2000 м район характеризуется низким увлажнением и снегонакоплением (40-100 мм). Выше увлажнённость района возрастает (зоны 10, 12, рис, 2,2).

4.2. Исходные данные

Для разработки и реализации методики прогноза используются данные пунктов наблюдений, перечисленных

Для характеристики русловых запасов воды использовались наблюдения за ходом ежедневных уровней воды в следующих створах: 1) р. Кокса – с. Усть-Кокса, р. Урсул – с. Онгудай, 3) р. Катунь – пгт Чемал, 4) р. Бия- с. Кебезень, 5) р. Бия – с. Турочак, 6) р. Катунь – с. Сrostки, 7) р. Бия - г. Бийск.

В качестве индекса предшествующего увлажнения бассейна использовались суммы осенних расходов воды (IX-XI) в пунктах р. Урсул – с. Онгудай и р. Бия – с. Турочак.

Речной сток за второй квартал формируется за счёт запасов снега и осадков за апрель-июнь. Приведённые в табл. 4.3 данные по среднему за период наблюдений стоку за второй квартал, рассчитанные по материалам Западно-Сибирского УГМС, имеют тот же порядок, что и запасы воды в снежном покрове. Они использованы как первое приближение для оптимизации параметров модели прогноза.

Данные наблюдений, используемые для реализации модели прогноза

р. Бия		
Снегомерные съёмки	Ежедневные осадки	Температура воздуха
1 Усть-Улаган, Н = 1200 м; 2 Балыкча, Н = 472 м; 3 Яйлю, Н = 441 м; 4 Турочак, Н = 326 м; 5 Артыбаш, Н = 600 м; 6 Коксинский МАРШРУТ, Н = 523 м.	1 Онгудай, 831 м 2 Чемал, 410 м 3 Яйлю, 441 м 4 Турочак, 326 м 5 Бийск, 200 м	1 Онгудай, 831 м 2 Яйлю, 441 м 3 Бийск, 200 м.
р. Катунь		
Снегомерные съёмки	Ежедневные осадки	Температура воздуха
1 Кызыл-Озек, Н=324 м; 2 Усть-Кокса, Н= 977 м; 3 Катанда, Н= 948 м; 4 Тюнгур, 5 Яйлю, Н= 441 м;	1 Кара-Тюрек, 2600м 2 Усть-Кокса, 977 м 3 Катанда, 948 м 4 Онгудай, 831 м 5 Чемал, 410 м 6 Кызыл-Озек, 324 м 7 Змеиногорск 8 Яйлю, 441 м 9 Турочак, 326 м 10 Бийск. 200 м	1 Кара-Тюрек, 2600 м 2 Усть-Кокса, 977 м 3 Катанда, 948 м 4 Онгудай, 831 м 5 Кызыл-Озек, 324 м 6 Яйлю, 441 м 7 Бийск, 200 м.

Ниже представлено **морфометрическое описание бассейна**. В пределах каждого района выделены высотные зоны и на ПЭВМ с использованием электронной гипсометрической карты определены их площади. Приведем распределение площадей высотных зон (табл. 4.4.).

Таблица 4.3

Средний за период наблюдений слой стока (мм) за второй квартал по районам

Катунь-1	Катунь-2	Катунь-3	Бия-1	Бия-2	Бия-3
132	(231)	(45)	135	215	156
Использовались данные наблюдений по следующим речным бассейнам					
р. Катунь - Мал.Яломан р.Катунь - Сростки	р.Катунь— Мал. Яломан р.Чуя—Чаган-Узун р. Жазатер – Жазатер	р. Чуя –. Чаган-Узун р. Жазатер – Жазатер	В кн. «Водные ресурсы Алтайского края, их рациональное использование охрана», Барнаул. 1978, стр. 75	р. Бия – Бийск р.Чулышман – Балыкча, сток района Бия-1	р.Чулышман – Балыкча

Таблица 4.4

Доли площадей высотных зон в районах

Катунь-1										
H, м	270	600	930	1260	1590	1920	2250	2580		
F	0.118	0.255	0.172	0.168	0.133	0.094	0.049	0.011		
Катунь-2										
H, м	825	1155	1485	1815	2145	2475	2805	3135	3465	4125
F	0.023	0.105	0.176	0.217	0.18	0.124	0.083	0.058	0.026	0.007
Катунь-3										

Н, м	1485	1815	2145	2475	2805					
F	0.006	0.099	0.201	0.275	0.277					
Бия-1										
Н, м	270									
F	1									
Бия-2										
Н, м	600	930	1260	1590	1920	2250	2580	2910		
F	0.304	0.233	0.113	0.091	0.088	0.094	0.061	0.016		
Бия-3										
Н, м	400	730	1060	1390	1720	2050	2380	2710	3040	3370
F	0.006	0.01	0.027	0.083	0.182	0.248	0.259	0.138	0.039	0.008

Таблица 4.5

Количественные характеристики районов бассейна для расчета параметров кривых добегания

Район 1 (Катунь-1)									
L ₁	0	50	100	150	200	250	300	350	
L ₂	50	50	50	50	50	50	50	12.5	
f	0.098	0.215	0.219	0.229	0.098	0.058	0.074	0.009	
Район 2 (Катунь-2)									
L ₁	275	330	385	440	495	550	605	660	
L ₂	55	55	55	55	55	55	55	20	
f	0.04	0.085	0.131	0.123	0.148	0.265	0.191	0.018	
Район 3 (Катунь-3)									
L ₁	425	450	475	500	525	550	575	600	625
L ₂	25	25	25	25	25	25	25	25	20
f	0.031	0.032	0.026	0.049	0.103	0.155	0.306	0.24	0.06

Район 1 (Бия-1)									
L ₁	0								
L ₂	70								
f	1								
Район 2 (Бия-2)									
L ₁	70	120	150	200	250	300	350	525	575
L ₂	50	30	50	50	50	50	50	50	30
f	0.013	0.055	0.079	0.09	0.162	0.338	0.157	0.061	0.045
Район 3 (Бия-3)									
L ₁	400	445	490	540	585	630			
L ₂	45	45	45	45	45	25			
f	0.083	0.243	0.205	0.275	0.166	0.028			

^{*)} **Примечание:**

L₁ – Расстояние по руслу от нижней границы межэквидистантной площадки до замыкающего створа, **км**.

L₂ – Расстояние по руслу между эквидистантами, **км**. f – Доля стока с межэквидистантной площадки.

Для оценки моментов кривых добегания (см. главу 1, формулы 1.7 – 1.11) каждый район делится эквидистантами на межэквидистантные площадки, определяются расстояния по руслу L₁ и L₂ (табл. 4.5, примечание), а также доли среднего многолетнего весеннего стока с каждой из них по отношению к стоку со всего бассейна.

4.3. Оптимизация параметров модели прогноза ежедневных расходов (уровней) воды (варианты «Катунь– 2008, и 2009», «Бия– 2008 и 2009»)

В процессе оптимизации в качестве исходных значений для соответствующих районов приняты оптимальные параметры модели по варианту «Барнаул– 2008» (глава 2). Использовались также характеристики снегонакопления и стока за второй квартал по районам и высотным зонам (табл.2.2, 2,3 и 4.3), скорректированное по спутниковой информации.

Ниже, в табл. 4.6 и 4.7 приводятся характеристики качества расчетов ежедневных уровней воды по моделям прогноза для р. Катунь – с. Сростки и р. Бия – г. Бийск.

Результаты проверочных расчетов дают допустимые оценки качества модели.

Средние квадратичные погрешности расчетов уровней воды для различной заблаговременности прогноза изменяются: от 13 см (заблаговременность 1 сутки) до 41 см (заблаговременность 7 суток) – по модели -2008. Заметно лучшие результаты, особенно для $\Delta t 1 - 3$ суток, получены по модели– 2009.

На рис. 4.1 приводятся совмещенные вычисленные и фактические графики колебаний уровней и расходов воды за второй квартал, иллюстрирующие точность расчетов по модели прогноза.

Таблица 4.6

Показатели точности прогноза, р. Катунь - с. Сростки за второй квартал,
1. ежедневные уровни воды, «Модель 2008»

Δt	Заблаговременность прогноза, сутки	1	2	3	4	5	6	7
σ_δ	Средняя квадратичная ошибка прогноза (см)	13	19	25	28	31	32	33
σ	Среднее квадратичное отклонение за период Δt (см)	15	27	36	42	46	50	53
σ_δ/σ	Критерий методики	0.82	0.70	0.70	0.67	0.66	0.64	0.62

2. ежедневные уровни воды, «Модель 2009»

Δt	Заблаговременность прогноза, сутки	1	2	3	4	5	6	7
σ_δ	Средняя квадратичная ошибка прогноза (см)	9.5	14.9	22.1	26	28	31	32
σ	Среднее квадратичное отклонение за период Δt (см)	15.7	27.5	36	42	47	50	53
σ_δ/σ	Критерий методики	0.606	0.543	0.613	0.62	0.61	0.61	0.60

Показатели точности модели прогноза, р. Бия – г. Бийск, второй квартал
1. ежедневные уровни воды, «Модель 2008»

Δt	Заблаговременность прогноза, сутки	1	2	3	4	5	6	7
σ_δ	Средняя квадратичная ошибка прогноза (см)	13	19	27	32	36	39	41
σ	Среднее квадратичное отклонение за период Δt (см)	23	38	48	54	60	64	67
σ_δ/σ	Критерий методики	0.59	0.51	0.56	0.59	0.60	0.60	0.60

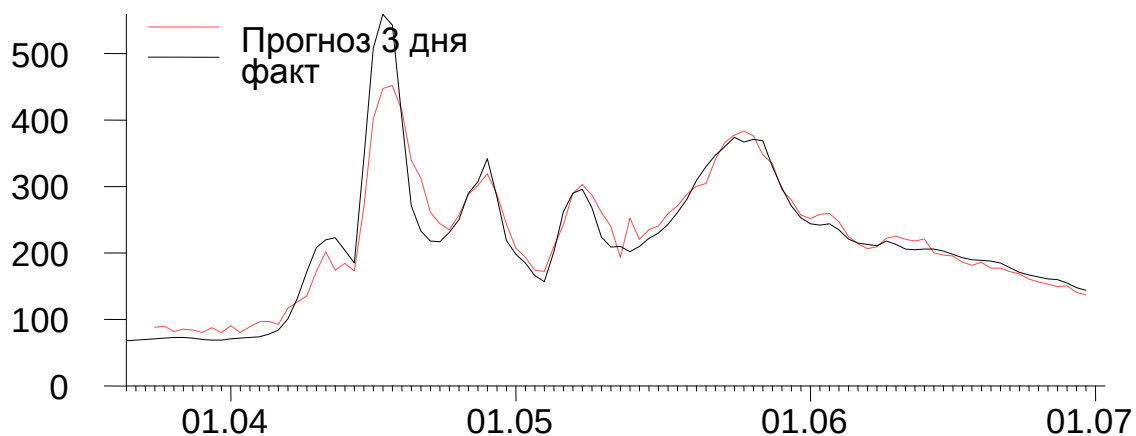
2. ежедневные уровни воды, «Модель 2009»

Δt	Заблаговременность прогноза, сутки	1	2	3	4	5	6	7
σ_δ	Средняя квадратичная ошибка прогноза (см)	8.6	15	23	26	27	34	28
σ	Среднее квадратичное отклонение за период Δt (см)	22.5	37	46	53	58	62	65
σ_δ/σ	Критерий методики	0.38	0.41	0.48	0.49	0.47	0.54	0.60

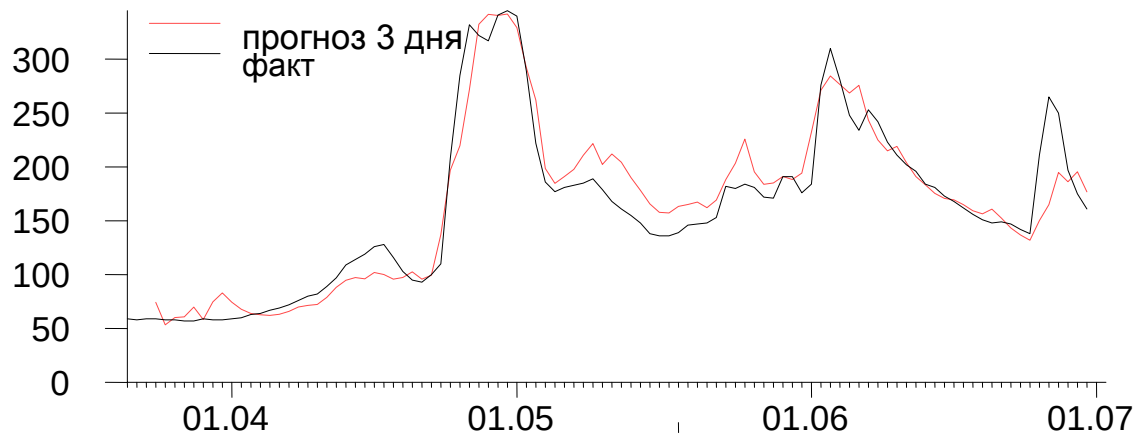
Рис. 4.1. Вычисленные и фактические ежедневные уровни воды для различной заблаговременности прогноза (модель – В, учитывающая метеорологическую информацию и уровни воды в речной системе)

1. р. Бия у г. Бийска

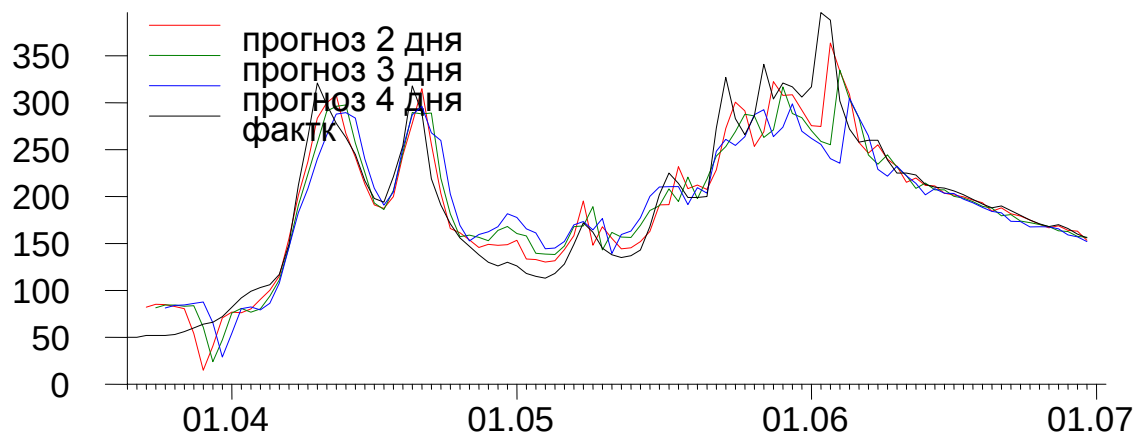
2004 г



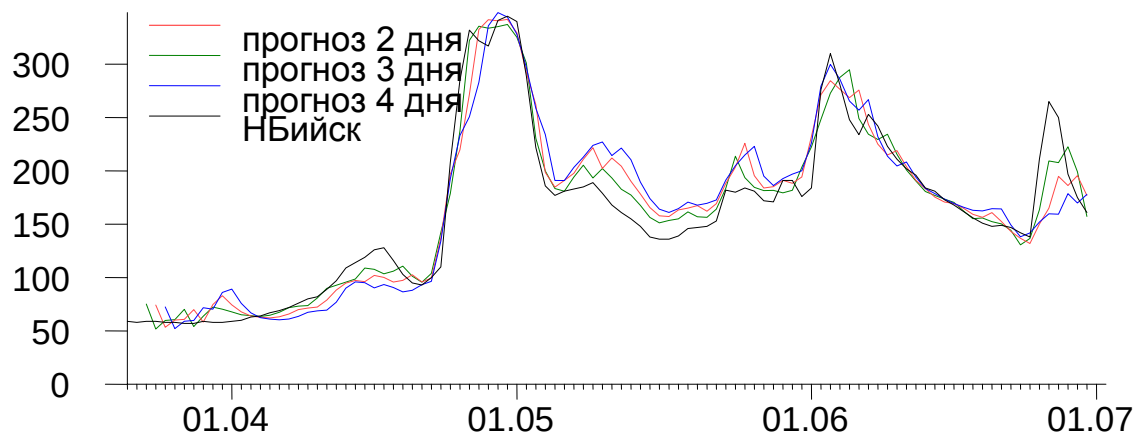
2003 г



2007г

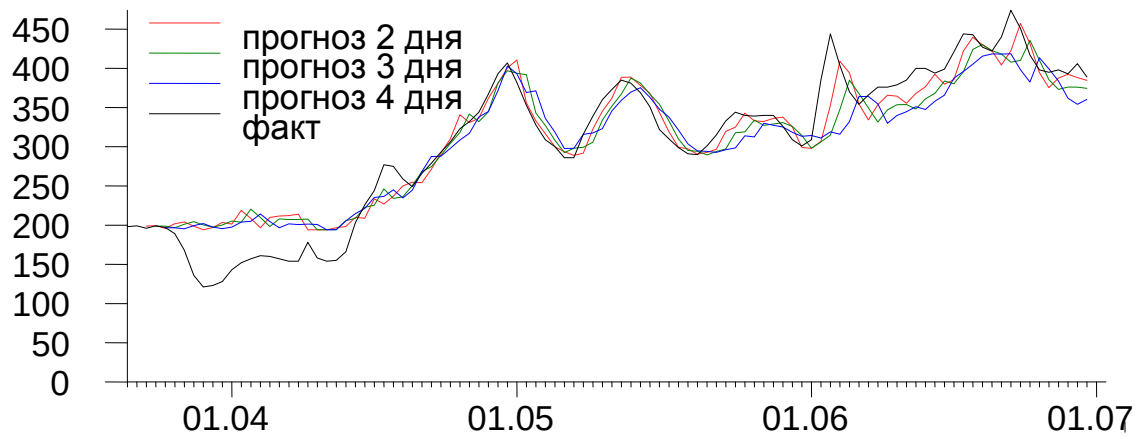


2003 г

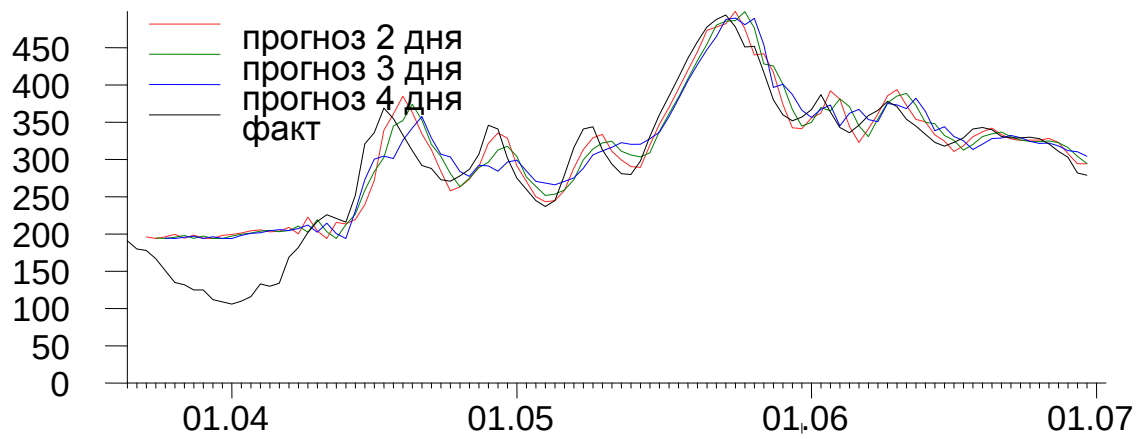


ПРИМЕЧАНИЕ: при оптимизации период с ледовыми явлениями не учитывается.

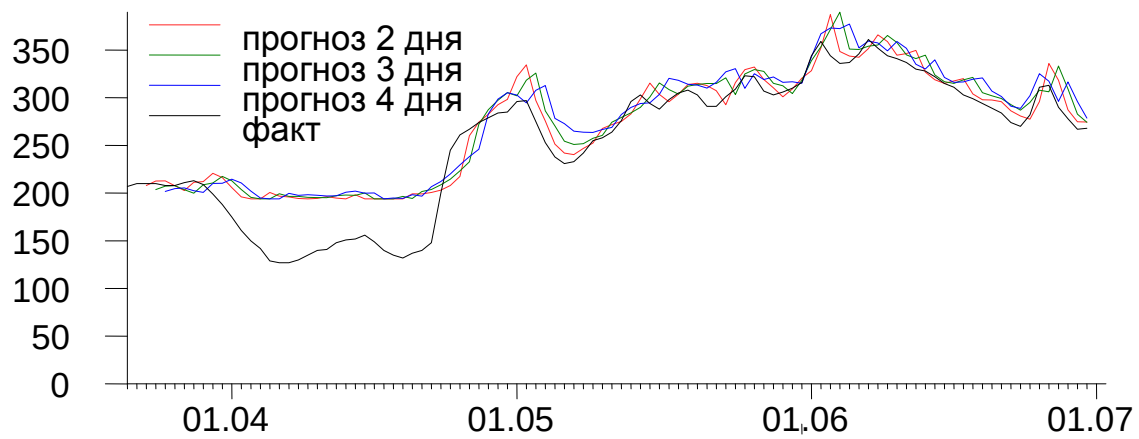
**2. р. Катунь – с. Сростки
2005 г**



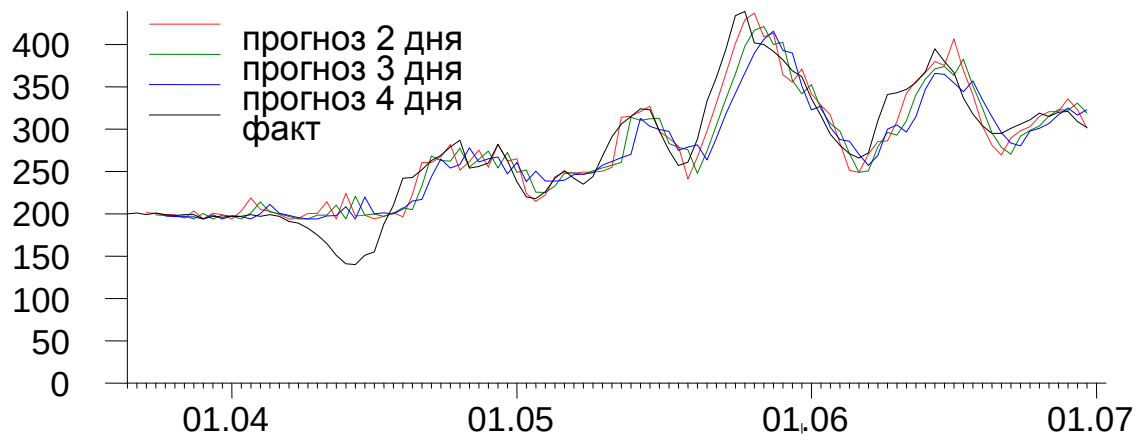
2004 г



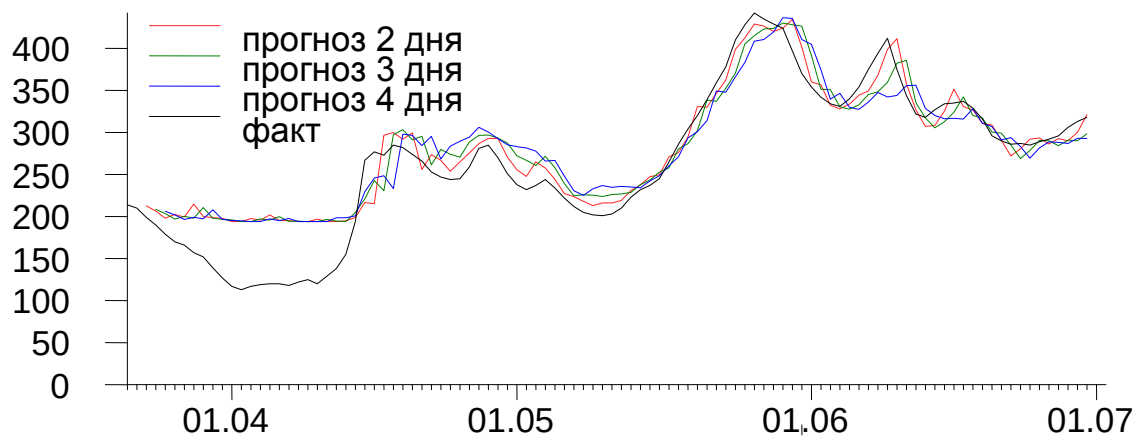
2003 г



1996 г



1992 г



ПРИМЕЧАНИЕ: при оптимизации период с ледовыми явлениями не учитывается.

Глава 5. Бассейн р. Абакан у г. Абакан

5.1 Ландшафтно-гидрологическая характеристика бассейна

Бассейн р. Абакан до г. Абакан на западе ограничен водораздельным Абаканским хребтом с высотами до 2000–2500 м, на юге – горными массивами Западного Саяна, наивысшие точки которого достигают 3120 м. На востоке водораздел проходит по отрогам Западного Саяна – Джебашскому и Джойскому хребтам с наивысшими высотами 1439 – 2208 м.

В центральной части бассейна (среднее и нижнее течение) местность представлена невысокими хребтами (600–900 м), – склонами Минусинской котловины, нижний ярус которой занимают холмистые плато и впадины с отметками 300–600 м. Горные массивы сложены преимущественно древними кристаллическими и метаморфическими породами, пониженные участки сложены с поверхности осадочными породами, преимущественно аллювиально-озёрными отложениями (песчано-галечниковыми, глинистыми), в отдельных районах развиты карстовые процессы.

Хребты и их отроги центральной территории бассейнов рек Большой и Малый Абакан имеют узкие гребни, вершины их на большей территории остроконечные. Склоны средней крутизны и крутые (от 15 до 50°), местами скалистые и обрывистые с большим количеством каров и каровых озёр, – следов бывшего оледенения. На территории распространены каменистые осыпи.

Наличие гор высотой более 1000 м обуславливает вертикальную поясность климатических условий района. Если устойчивый переход температуры воздуха через 0° в Минусинской котловине переходит в конце марта – начале апреля, то в горах на высоте около 3000 м он наступает только в июне. Количество осадков за год изменяется от 350–450 мм в засушливых абаканских степях до 1000–1400 мм и более в горах, увеличиваясь на наветренных склонах (западных, юго-западных и северо-западных). Аналогично распределены запасы воды в снежном покрове, составляющие 15–20 % годовой суммы в степях до 30–40 % в высокогорных районах. Следуя территориальному изменению теплообеспеченности и увлажнения, распределяется растительный покров и другие характеристики ландшафтов. Верхняя граница степного и лесостепного пояса поднимается примерно до 600 м, выше до 1700–1800 м расположен лесной горно-таёжный пояс, далее следуют частично покрытые лесом и безлесные горные луга и высокогорные гольцовые тундры.

Леса юга и центра территории бассейна хвойные (кедр, пихта), местами с примесью березы. У верхней границы леса, на высотах 1900–2000 м (в зависимости от экспозиции склонов), произрастает преимущественно кедр. Выше распространены каменистые и горно-болотистые тундры с мохово-лишайниковой, специфической травяной и кустарниковой растительностью (карликовая береза, ива).

Вертикальные пикообразные вершины гор лишены всякой растительности. По расширенным прирусловым участкам высокогорных рек произрастают широколиственные карликовые березки, можжевельник, альпийские травы.

На северной, более низкой территории бассейна, вершины и склоны в основном залесены. Встречаются обширные луговые пространства, покрытые густым разнотравьем. Выше 600–700 м начинается влажная темнохвойная тайга.

Распределение высот по площади бассейнов и лесистость высотных зон выглядит следующим образом:

Н, м	265	495	825	1155	1485	1815	2145	2475	2805
f	0.034	0.202	0.270	0.205	0.103	0.076	0.067	0.036	0.007
$f_{лес}$	0.04	0.28	0.35	0.30	0.27	0.03	0.03	0	0

Климат территории резко континентальный. Зима (ноябрь–апрель) холодная, в горной части малоснежная.

Преобладающая температура воздуха в наиболее холодный период (декабрь–февраль) по горной территории днем до -24° , -27° , ночью -30° , -32° (абсолютный минимум -62°). Лето прохладное с ливневыми дождями и грозами. Преобладающая температура воздуха днем $+15^{\circ}$, $+17^{\circ}$, ночью $+7^{\circ}$, $+11^{\circ}$. В наиболее жаркие дни температура воздуха в долинах может подниматься до $+35^{\circ}$.

Наибольшее количество осадков перехватывают Абаканский хребет и северо-западные склоны Западного Саяна, подверженные воздействию западных циклонов. Здесь на высоте 1000–2000 м выпадает осадков в среднем за год 700–800 мм, местами их годовая сумма может достигать 1000–1300 мм.

В бассейне прослеживается широкий диапазон изменения увлажненности территории. Годовые осадки и снегонакопление минимальны в засушливых котловинах и увеличиваются до 1000 мм и более на склонах высоких гор в верхней части бассейна (истоки р. Бол.Абакан).

Рассмотрим распределение запасов снега в бассейне. Анализ данных наблюдений за снежным покровом в бассейне Абакана, проведенный в 2006 г (ссылка на отчет 2006 года), дал возможность построить эмпирические зависимости изменения снегозапасов с высотой местности. На территории бассейна прослеживается увеличение снегозапаса до высоты около 1700 м, выше происходит его уменьшение. Зависимости снегозапаса от высоты местности для районов «Абакан 1» (территория бассейна, приуроченная к среднему и нижнему течению реки) и «Абакан 2» (верхняя часть бассейна) приведены на рис. 5.1, 5.2.

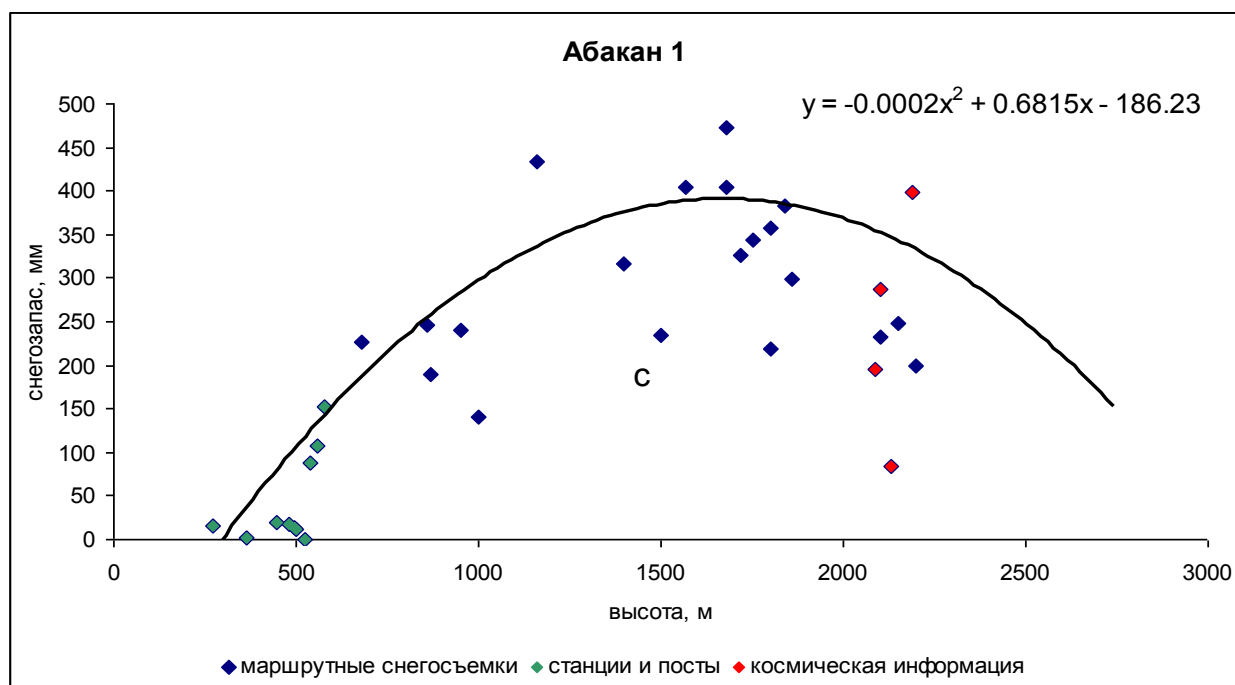


Рис. 5.1. Зависимость запаса воды в снежном покрове от высоты местности в среднем и нижнем течении реки

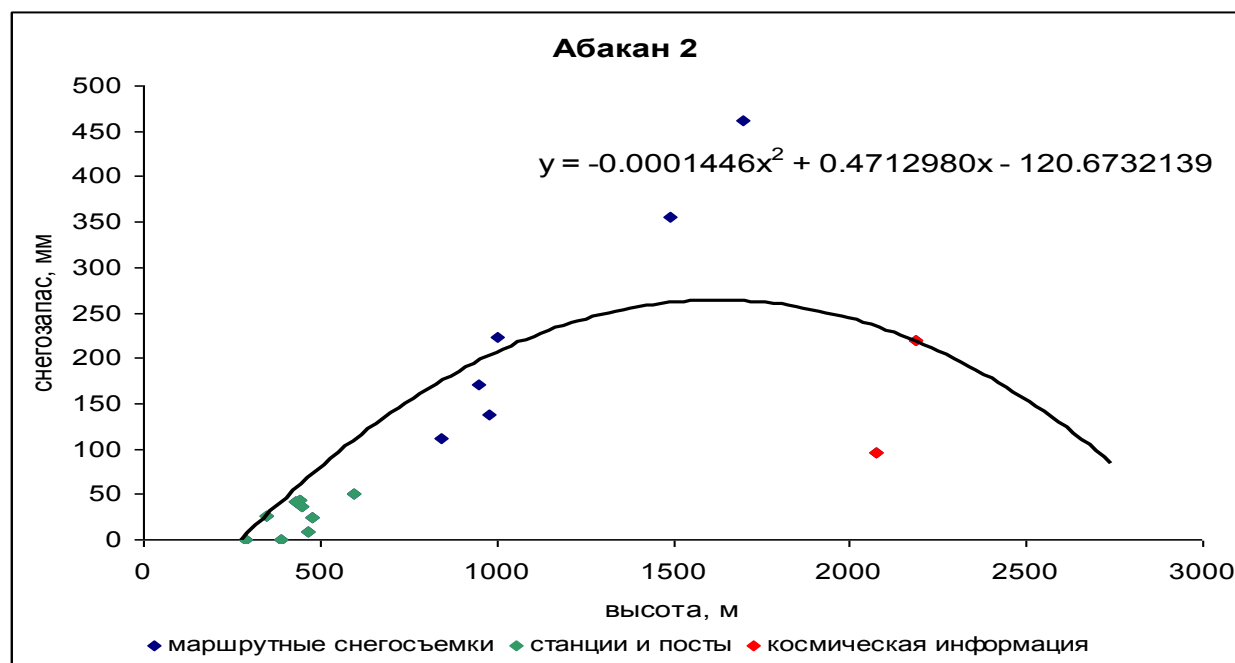


Рис. 5.2. Зависимость запаса воды в снежном покрове от высоты местности в верхнем течении реки

Примечание: На рис. 5.1 и 5.2 точки с указанием «маршрутные снего съемки» относятся к авиационным (речным) маршрутам, а также к снегопунктам маршрута «Минусинск-Кызыл».

Питание рек бассейна снегодождевое. Суммарный сток р. Абакан у п. Райков (ближайший гидрометрический створ выше по течению от г. Абакана) за период весеннего половодья от 150 до 360 мм, что составляет 38–85% от годового стока (в среднем 56%).

Суммарный слой стока в исследуемом районе за второй-третий квартал меняется от 50 до 580 мм. Коэффициент вариации стока меняется от 0.2 до 0.5.

5.2. Исходная гидрометеорологическая информация

Состав действующей гидрометеорологической сети не позволяет достоверно оценить увлажненность территории юга Восточной Сибири. Бассейн р. Абакан не является исключением. В разработку методики прогноза были привлечены данные всех высокогорных станций, ведущих наблюдения за снежным покровом, температурой воздуха и осадками. Вынужденно привлекались данные сопредельных бассейнов (реки Чулым и Оя). Состав информационных сети включает все имеющиеся высокогорные пункты гидрометеорологических наблюдений. Пункты гидрометеорологических наблюдений, включенных в разработку методики, представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Данные информационной базы наблюдений для реализации модели прогноза
– г. Абакан

Снегомерные съёмки	Ежедневные осадки	Температура воздуха	Уровни воды
1. Оленья Речка (Н= 1404 м)	1. Оленья Речка (Н=1404)	1. Таштып (Н=449 м)	1. р.Матур – с.Матур (на 8.00 и 20.00)
2. Маршрут Минусинск – Кызыл 12-18 СП (Н=1370 м)	2. Большой Он (Н=787 м)	2. Большой Он (Н=787 м)	2. р.Большой Он – с.Большой Он (на 8.00 и 20.00)
3. Неожиданный (Н=520 м)	3. Неожиданный (Н=520 м)	3. Оленья Речка (Н=1404 м)	3. р.Она – с.Малый Анзас (на 8.00 и 20.00)
5. Абаза (Н=447 м)	5. Таштып (Н=449 м)		5. р.Абакан – г.Абаза
5. Ненастная (Н=1186 м)	5. Бея (Н=468 м)		5. р.Абакан – п.Райков
6. Коммунар (Н=842 м)	6. Уйбат (524 м)		6. р.Абакан – г.Абакан
7. Большой Он (Н=787 м)			
8. Таштып (Н=449 м)			

Единственная горная станция Большой Он расположена в засушливой котловине, находящейся в орографической «тени» хребтов Алтая. Станции Ненастная и Коммунар расположены в истоках р. Чулым. Расчеты показали удовлетворительную связь слоя стока воды весеннего половодья с запасом воды в снеге на снегомерном пункте Оленья Речка и на маршруте «Минусинск-Кызыл». Эти пункты также были включены в информационную базу.

Отобранные пункты снегомерных съемок обеспечивают связи стока воды весеннего половодья р. Абакан с запасами воды в снежном покрове (на 20 марта) с коэффициентом корреляции 0.06 – 0.48. Связь стока р. Абакан с запасами воды в снеге на равнинных станциях, засушливых котловинах – очень слабая. Данные наблюдений учитываются при расчете снегонакопления на нижних степных и верхних гольцовых частях бассейнов. Корреляция с территориально близкими, но относящимися к бассейну р. Чулым, данными снегомерных съемок оказалась отрицательной. Наиболее тесные связи получены для снегосъемок на маршрутах «Минусинск-Кызыл» и Оленья

Речка, которые расположены на высотах 1310–1400 м, в зоне формирования наивысших модулей годового стока. В разработку включен максимум гидрометеорологической информации исследуемой территории, оценка качества собранного материала будет продолжена при последующих численных экспериментах.

Таблица 5.2

Коэффициенты парной корреляции запаса воды в снеге перед началом снеготаяния со слоем стока весеннего половодья р. Абакан – г. Абакан

Запас воды в снеге на 20 марта по метеостанции	R
Оленья Речка	0.48
Маршрут Минусинск – Кызыл 12-18 СП	0.34
Неожиданный	0.26
Абаза	0.06
Ненастная	-0.05
Коммунар	-0.15
Большой Он	0.21
Таштып	0.13

^{*)} **Примечание:** использовались материалы с 1976 г

Состав информационной базы данных по температуре воздуха и осадкам также включает все оперативные станции в верхней части бассейна при учете равнинных станций, находящихся в Минусинской котловине.

Для характеристики русловых запасов воды использовались наблюдения за ходом ежедневных уровней воды р. Абакан у г. Абаза и п. Райков, а также срочных уровней воды (на 8.00 и 20.00) на реках Матур, Большой Он и Она. Выбранные пункты расположены в верхнем течении реки Абакан. Среднее и нижнее течение представляет собой транзитный участок, в который впадают небольшие водотоки. Включение их целесообразно для учета значительных дождевых паводков.

За характеристику предшествующего (осеннего) увлажнения принята сумма средних месячных расходов воды за сентябрь, октябрь, ноябрь по р. Туба – Бугуртак (пункт измерения расходов воды на р. Туба).

Для оценки моментов кривых добегания бассейн делится эквидистантами на межэквидистантные площадки, определяются расстояния по руслам L_1 и L_2 (табл. 5.3), а также доли среднего многолетнего весеннего стока с каждой из них по отношению к стоку со всего бассейна.

Таблица 5.3

Количественные характеристики районов бассейна для расчета параметров кривых добегания

L_1	0	67	134	201	268	335	402
L_2	67	67	67	67	67	67	67
f	0.026	0.071	0.071	0.072	0.284	0.245	0.231

^{*)} **Примечание:** L_1 – расстояние по руслам от нижней границы межэквидистантной площадки до замыкающего створа, км. L_2 – расстояние по руслам между эквидистантами, км. f – Доля стока с межэквидистантной площадки.

5.3 Результаты оптимизации параметров модели прогноза ежедневных уровней воды

В качестве исходных приняты результаты оптимизации модели прогноза притока воды в водохранилище Красноярской ГЭС по варианту 2007 г [16] для района «Абакан». Параметры модели данного варианта использовались как первое приближение. В основу оптимизации параметров блока снегонакопления и снеготаяния этого варианта положены данные спутниковых наблюдений (КА «Терра») за динамикой площади заснеженности (снегового покрытия) районов бассейна в период снеготаяния в 2004-07 гг. [16].

Таблица 5.4

Сопоставление «космической» и «модельной» площади снегового покрытия
(в дни с незначительной облачностью) в 2004-07 гг.

Дата	Район	
	Абакан–Абакан	
	космос	модель
2004 год		
15.05	27/38	46
17.05	22/34	42
18.05	22/34	40
19.05	19	27
20.05	18	24
5.06	4	9
2005 год		
23.04	36/47	67
09.05	19	27
2006 год		
07.06	11	23
2007 год		
5.04	47/58	65
6.04	39/50	62
25.04	23	51
5.05	15	25
2.06	14	15
7.06	2	3

*) **Примечание:** в знаменателе дана «космическая» заснеженность с учетом площади густых темнохвойных лесов [16] отчет 2007года!.

Рассмотрим показатели точности модели расчет ежедневных расходов воды (модель А – без учета уровней по всей длине речной системе)

Таблица 5.5

Характеристики точности модели прогноза расходов воды
Модель «А – снеготаяние-осадки-сток»
р. Абакан у г. Абакан

Δt	Заблаговременность прогноза, сутки	2	3	4	5	6	7
σ_{δ}	Средняя квадратичная ошибка прогноза ($\text{м}^3/\text{с}$)	285					
σ	Среднее квадратичное отклонение за период Δt ($\text{м}^3/\text{с}$)	330	404	451	486	514	537

σ_{δ}/σ	Критерий качества методики	0.86	0.71	0.63	0.59	0.56	0.53
--------------------------	----------------------------	------	------	------	------	------	------

Рассмотрим точность модели **краткосрочного прогноза** ежедневных уровней воды. В табл. 5.6 приведены критерии качества методики для заблаговременности прогнозов 1–7 суток по модели Б (*комбинированная модель, учитывающая уровни воды по длине речной системы*).

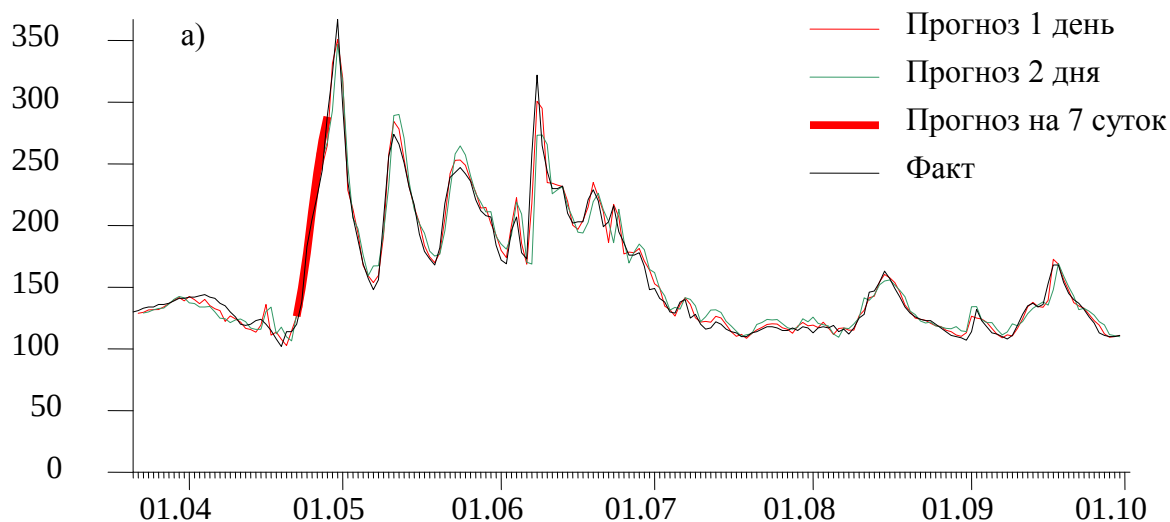
Приведенные данные характеризуют качество методики прогноза ежедневных уровней после предварительной оптимизации в основном как «хорошее и удовлетворительное».

Таблица 5.6

Показатели точности модели прогноза ежедневных уровней воды
р. Абакан у г. Абакан

Δt	Заблаговременность прогноза, сутки	1	2	3	4	5	6	7
σ_{δ}	Средняя квадратичная ошибка прогноза (см)	10	14	21	29	30	31	32
σ	Среднее квадратичное отклонение за период Δt (см)	18	30	37	47	49	50	53
σ_{δ}/σ	Критерий качества методики	0.52	0.48	0.55	0.61	0.62	0.61	0.60

На рис. 5.3 приводятся совмещенные вычисленные и фактические графики колебаний уровней воды за период открытого русла, иллюстрирующие точность расчетов по модели прогноза.



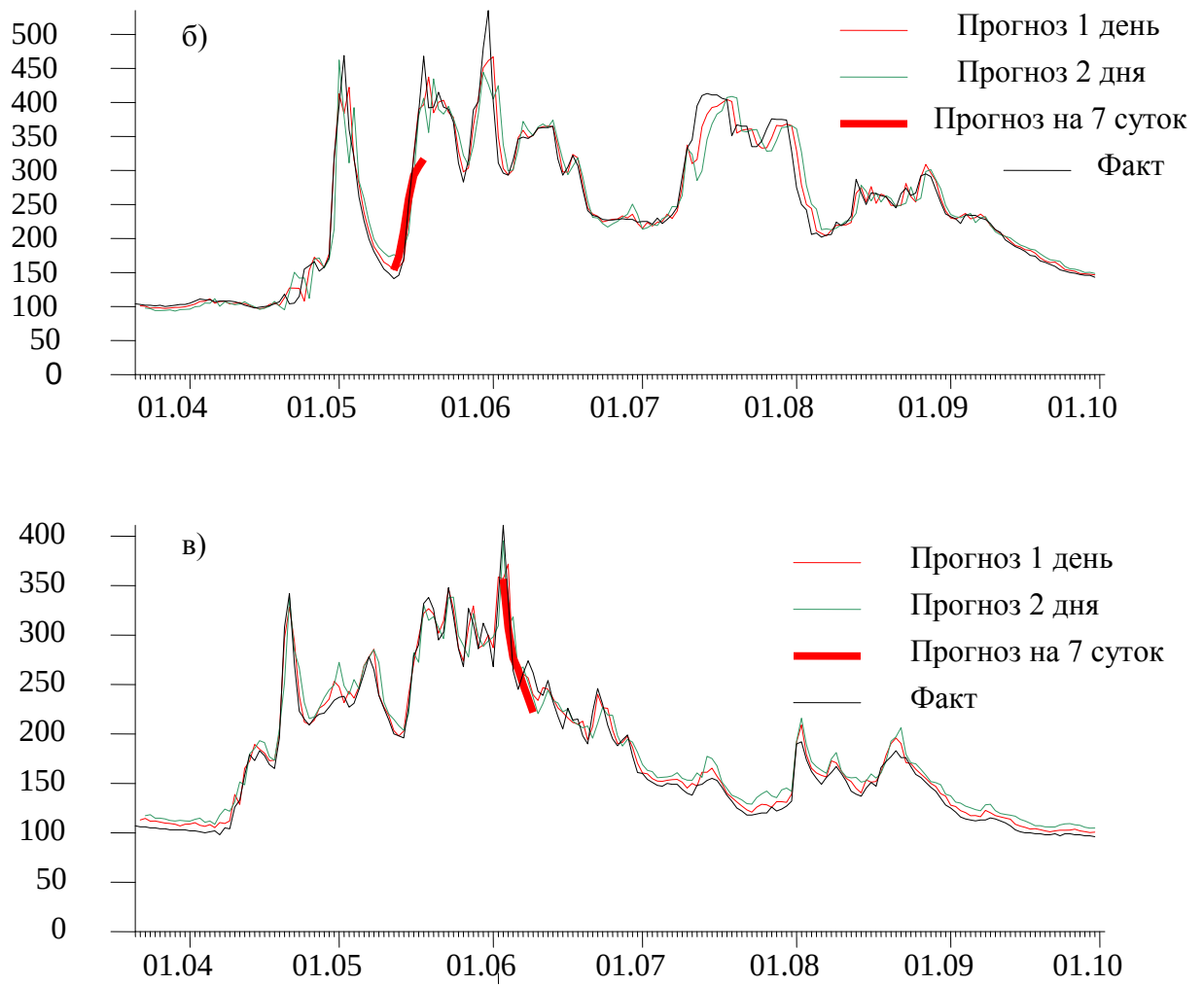


Рис 5.3 Модель – В, учитывающая метеорологическую информацию и уровни воды в речной системе (для различной заблаговременности прогноза) р. Абакан – г. Абакан
а) 2005, б) 2006, в) 2007 гг.

Глава 6. Долгосрочный прогноз максимальных уровней воды с учетом возможных заторов льда

(р. Томь – г. Кемерово, р. Томь – г. Новокузнецк, р. Томь – г. Междуреченск, р. Енисей – г. Кызыл, р. Абакан – п. Райков, р. Подкаменная Тунгуска – с. Ванавара)

Напомним, что в основу физико-статистической модели долгосрочного прогноза максимальных уровней воды положены исследования Л.Г. Шуляковского, показавшего возможность использования для этой цели регрессионных моделей, учитывающих факторы, наиболее полно характеризующие условия формирования максимальных уровней воды [4]. Ниже рассмотрим результаты реализации этого подхода на участках рек Томь, Енисей, Абакан и Подкаменная Тунгуска.

Для разработки методик прогноза максимальных уровней сначала подбирались оптимальные уравнения для обобщенных показателей, характеризующих условия формирования максимальных уровней [1 - 4]. Они представляют линейные комбинации соответствующих гидрометеорологических предикторов, измеряемых в пунктах наблюдений гидрометеорологической сети. К обобщенным показателям относятся: 1) характеристика толщины льда или ее изменения по длине участка реки; 2) показатель теплозапасов почвы; 3) показатели температуры воздуха в марте и апреле; 4) показатели влагообеспеченности (количества осадков) апреля или марта-апреля; 5) показатель снегонакопления; 6) характерные осенние и зимние уровни 7) осенний сток.

Набор предикторов, входящих в уравнения для обобщенных показателей, определяется из физических соображений и уточняется на основе корреляции с максимальными уровнями воды. Рассмотрим используемые предикторы. Это:

- Запасы воды в снеге в пунктах наблюдений, характеризующие количество поступившей на водосбор талой воды.
- Температура воздуха в марте (декадная, месячная), – косвенно характеризует тип весны. Например, при низкой температуре марта более вероятна холодная погода в первой половине апреля и последующее интенсивное потепление в конце апреля – начале мая, усиливающее концентрацию весеннего половодья. Теплое начало марта, чаще сопровождается растянутым половодьем.
- Температура почвы характеризует теплофизические процессы впитывания и повторного замерзания талой воды с возможным образованием запирающих слоев на открытых участках. Вертикальный градиент температуры в почвенном слое косвенно характеризует запас влаги в почве (чем меньше градиент, тем больше влагозапас).
- Температура воздуха в апреле характеризует величину таяния и оставшегося в бассейне снегозапаса, переходящего на начало мая.

- Количество весенних осадков отражает дополнительное поступление воды и косвенно, – влажность воздуха и потери воды на испарение.
- Осенний сток характеризует запасы влаги и льдистость почвы к моменту начала снеготаяния, либо водность реки в период замерзания и пропускную способность русла.
- Максимальная толщина льда указывает на его объем и прочность и предопределяет заторность реки в период вскрытия.
- Уровень воды на дату появления ледовых образований или на дату установления ледостава, минимальный и максимальный уровни за зимний период, а также превышение максимального уровня над уровнем воды на момент установления ледостава, – отражают ледовые условия, наличие зажоров льда в зимний период и пропускную способность русла.

Итак, линейные комбинации перечисленных предикторов и есть соответствующие обобщенные показатели. Весовые коэффициенты в этих комбинациях определяются на основе множественной корреляции отобранных предикторов с максимальным уровнем воды. Далее вычисляются значения всех обобщенных показателей за каждый год и путем множественной регрессии устанавливаются линейные зависимости между обобщенными показателями и максимальными уровнями воды. Это и есть искомые уравнения для прогнозов. Предложенный путь позволяет использовать преимущества физического подхода (на этапе «конструирования» обобщенных показателей) и объективного статистического анализа (на этапе получения прогностических уравнений). В расчетах использовались данные наблюдений за последние 50 лет.

6.1. Методика прогноза максимальных уровней воды в бассейне р. Томи

У гг. Томск и Междуреченск максимальный уровень весеннего половодья нередко связан с заторами льда. Максимальные уровни р. Томи у гг. Кемерово и Новокузнецка достаточно редко вызваны заторами льда, – чаще они сформированы снего - дождевыми паводками и наступают в апреле или начале мая при прохождении первой, либо второй волны половодья. Следует отметить, что это крупные промышленные центры, которые сами влияют на ледовый и термический режим реки.

В 2009 г. уточнены прогнозные уравнения для р. Томь у гг. Междуреченск, Новокузнецк, Кемерово и Томск.

Долгосрочный прогноз максимальных уровней воды с учетом возможных заторов льда р.

Томь – г. Кемерово

Уравнения для прогноза максимальных уровней р. Томи у г. Кемерово ($H_{\text{Кем}}^{\text{max}}$), включают следующие предикторы и обобщенные показатели: запас воды в снеге на 31 марта, Кузедеево и 20 марта, Мыски; изменение уровня воды за вторую и третью декады марта в районе г. Кемерово; температура воздуха за первую и вторую декады апреля, Томск; осадки за первую вторую де-

каду апреля, Кондома; максимальная толщина льда, Кемерово. В этом случае уточнены распределение параметров и коэффициенты регрессии, улучшены показатели точности.

1. Уравнение для выпуска прогноза в конце первой декады апреля:

$$H_{\text{Кем, max}} = 1,232 * S_{\text{Кем}} - 4,417 * \Delta H_1 - 1,220 * \Delta \Delta H_1 + 1,667 * h - 5,724 * t_1 + 1,224 X_1 + 414,961 \quad (1)$$

показатели точности: $R = 0.848$, критерий качества прогноза $S/\sigma = 0.565$

2. Уравнение для выпуска прогноза в конце второй декады апреля, с учетом температуры воздуха и осадков за первую и вторую декаду апреля:

$$H_{\text{Кем, max}} = 1,306 * S_{\text{Кем}} - 4,427 * \Delta H_1 - 1,316 * \Delta \Delta H_2 + 1,608 * h - 8,262 * t_2 + 1,589 X_2 + 406,159 \quad (2)$$

показатели точности: $R = 0.871$, критерий качества прогноза $S/\sigma = 0.524$.

Таблица 6.1

Описание переменных и обобщенных показателей в уравнениях (1) и (2)

Обозначение	Смысловое значение
$S_{\text{Кем}}$	Показатель снегонакопления, где $S_{\text{Кем}} = 0,6 * S_{\text{Куз}} + 0,4 * S_{\text{Мыс}}$, где $S_{\text{Куз}}$ – запас воды в снеге на 31 марта, Кузнецкое, $S_{\text{Мыс}}$ – запас воды в снеге на 20 марта, Мыски;
X_1	X_1 – сумма осадков за первую декаду апреля, Кондома
t_1	Средняя температура воздуха за первую декаду апреля, Томск
X_2	$X_2 = (0,69 * X_{\text{IV1}} + 0,31 * X_{\text{IV2}})$ – сумма осадков за первую и вторую декады апреля с весовыми коэффициентами, Кондома
T_2	$T_2 = (0,48 * t_{\text{IV1}} + 0,52 * t_{\text{IV2}})$ – температура воздуха за первую и вторую декады апреля с весовыми коэффициентами, Томск
ΔH_1	$\Delta H_1 = (H_{10.03} - H_{\text{мин.зим}})$ Кемер разность уровня воды на 10 марта и минимального зимнего, Кемерово
$\Delta \Delta H_1$	$H_1 = 0,75 * (H_{31.03} - H_{20.03}) - 0,25 * (H_{20.03} - H_{10.03})$, разность изменения уровня воды за третью и вторую декады марта, р. Томь – г. Кемерово
$\Delta \Delta H_2$	$H_1 = 0,67 * (H_{31.03} - H_{20.03}) - 0,33 * (H_{20.03} - H_{10.03})$, разность изменения уровня воды за третью и вторую декады марта с соответствующими весовыми коэффициентами, р. Томь – г. Кемерово
h	Максимальная толщина льда, Кемерово

Результаты рассчитанных и фактических максимальных уровней воды весеннего половодья помещены в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Рассчитанные и фактические значения максимальных уровней воды весеннего половодья р.
Томь – г. Кемерово

Годы	Н мах фак- тический	Н мах рас- считанный (формула 1)	ошибка прогноза	Н мах рас- считанный (формула 2)	ошибка прогноза
1957	742	733	9	735	7
1958	866	839	27	830	36
1959	848	734	114	750	98
1960	700	712	-12	714	-14
1961	706	738	-32	716	-10
1962	687	653	34	662	25
1963	700	721	-21	731	-31
1964	824	794	30	798	26
1965	873	732	141	754	119
1966	1015	991	24	1006	9
1967	777	729	48	704	73
1968	734	746	-12	723	11
1969	1019	981	38	992	27
1970	754	740	14	752	2
1971	700	752	-52	740	-40
1972	710	696	14	713	-3
1973	682	766	-84	757	-75
1974	724	786	-62	752	-28
1975	834	858	-24	850	-16
1976	645	734	-89	736	-91
1977*	910	803	107	779	131
1978	757	778	-21	794	-37
1979	808	842	-34	839	-31
1980	621	587	34	593	28
1981	650	622	28	589	61
1982	662	677	-15	653	9
1983	706	630	76	629	77
1984	759	680	79	737	22
1985	636	642	-6	627	9
1986	720	711	9	696	24
1987	712	761	-49	738	-26
1988	788	722	66	717	71
1989	649	606	43	628	21
1990	671	627	44	617	54
1991	657	733	-76	705	-48
1992	722	751	-29	764	-42
1993	661	728	-67	704	-43
1994	464	636	-172	621	-157
1995	559	559	0	564	-5
1996	560	602	-42	595	-35

1997	603	617	-14	593	10
1998	672	698	-26	745	-73
1999	775	771	4	774	1
2000	568	586	-18	568	0
2001	821	868	-47	861	-40
2002	580	633	-53	654	-74
2003	650	668	-18	692	-42
2004	810	703	107	786	24
2005	698	682	16	661	37
2006	792	803	-11	812	-20
2007	706	737	-31	737	-31
2008	629	619	10	629	0
2009	720	776	-56	774	-54

*) В 1977 году максимальный уровень сформировался при больших осадках и очень теплой погоде в первой декаде мая ($t_{V1} = 8,0$, осадки - 94 мм Кондома; осадки Кузедеево - 95,2, У-Кабырза - 86,1 mm)

Долгосрочный прогноз максимальных уровней воды р. Томь – г. Новокузнецк

В численных экспериментах использовался массив данных с 1957 по 2008 гг. Получены новые уравнения: для выпуска прогноза в конце первой декады апреля (3) и уточняющий прогноз в конце второй декады апреля (4):

$$H_{H-кmax} = 0.594 \cdot S_{H-к} + 1.961 \cdot h_{л} - 0.943 \Delta H_1 + 1.832 \cdot \Delta H_1 + 0.322 \cdot \Delta H_2 + 0.763 \cdot X_1 - 4.162 \cdot t_1 + 383.896$$

(3)

показатели точности: $R = 0.843$, критерий качества прогноза $S/\sigma = 0.536$;

$$H_{H-кmax} = 0.647 \cdot S_{H-к} + 1.903 \cdot h_{л} - 0.869 \Delta H_1 + 1.642 \cdot \Delta H_1 + 0.277 \cdot \Delta H_2 + 1.181 \cdot X_2 - 4.127 \cdot t_1 + 365.894$$

(4)

показатели точности: $R = 0.855$, критерий качества прогноза $S/\sigma = 0.515$;

Таблица 6.3

Описание переменных и обобщенных показателей в уравнениях (3) и (4)

Обозначение	Смысловое значение
$S_{H-к}$	Показатель снегонакопления, где $S_{H-к} = 0,28 \cdot S_{Куз} + 0,72 \cdot S_{Мыс}$, где $S_{Куз}$ – запас воды в снеге на 31 марта, Кузедеево, $S_{Мыс}$ - запас воды в снеге на 20 марта, Мыски;
X_1	X_1 – сумма осадков за первую декаду апреля, Кондома
X_2	$X_2 = (0.59 \cdot X_{IV1} + 0.41 \cdot X_{IV2})$ – сумма осадков за первую и вторую декады апреля с весовыми коэффициентами, Кондома
$h_{л}$	Максимальная толщина льда, Новокузнецк

t_1	Средняя температура воздуха за первую декаду апреля, Томск
ΔH_1	$\Delta H_1 = (0,55 \cdot H_{\min K \text{ Кемерово}} - 0,45 \cdot H_{\min K \text{ Крапивино}})$, разность минимального зимнего уровня воды Кемерово – Крапивино с весовыми коэффициентами
ΔH_2	$\Delta H_2 = (0,86 \cdot H_{10.IV} - H_{31.III})$, разность уровней воды на 10 апреля и 31 марта, Крапивино
$\Delta \Delta H_1$	$\Delta \Delta H_1 = (H_{31.03} - H_{20.03}) - (H_{20.03} - H_{10.03})$, разность изменения уровня воды за третью и вторую декады марта, р. Томь – г. Новокузнецк

Результаты рассчитанных и фактических максимальных уровней воды весеннего половодья помещены в таблице 6.4.

Таблица 6.4

Рассчитанные по (3),(4) и фактические значения максимальных уровней воды весеннего половодья р. Томь – г. Новокузнецк (**допустимая ошибка прогноза 56 см**)

Годы	Н макс фактический	Н макс рассчитанный (формула 1)	ошибка прогноза	Н макс рассчитанный (формула 2)	ошибка прогноза
1957	609	629	-20	634	-25
1958	782	708	74	710	72
1959	736	735	1	736	0
1960	534	588	-54	594	-60
1961	580	620	-40	612	-32
1962	580	560	20	567	13
1963	533	574	-41	574	-41
1964	617	651	-34	644	-27
1965	645	598	47	596	49
1966	545	537	8	536	9
1967	611	575	36	560	51
1968	732	697	35	701	31
1969	630	569	61	592	38
1970	580	631	-51	625	-45
1971	557	562	-5	562	-5
1972	596	618	-22	612	-16
1973	518	581	-63	581	-63
1974	657	652	5	644	13
1975	489	532	-43	526	-37
1976	609	629	-20	634	-25
1977	846	663	183	657	189
1978	573	632	-59	630	-57
1979	621	634	-13	631	-10
1980	490	473	17	476	14
1981	500	508	-8	500	0

1982	520	578	-58	574	-54
1983	574	504	70	505	69
1984	550	480	70	506	44
1985	557	561	-4	555	2
1986	548	544	4	536	12
1987	597	568	29	563	34
1988	620	587	33	588	32
1989	499	526	-27	523	-24
1990	582	547	35	535	47
1991	507	568	-61	560	-53
1992	577	537	40	558	19
1993	507	549	-42	544	-37
1994	466	460	6	455	11
1995	527	494	33	503	24
1996	521	565	-44	560	-39
1997	525	498	27	496	29
1998	540	607	-67	633	-93
1999	633	630	3	620	13
2000	505	541	-36	545	-40
2001	658	704	-46	699	-41
2002	517	566	-49	577	-60
2003	624	613	11	603	21
2004	817	739	78	786	31
2005	685	619	66	613	72
2006	721	681	40	676	45
2007	722	651	71	643	79
2008	652	690	-38	668	-16
2009	669	636	-33	714	-45

В 1977 году максимальный уровень сформировался при больших осадках и очень теплой погоде в первой декаде мая ($t_{V1} = 8,0$, осадки - 94 мм Кондома; осадки Кузедеево - 95,2, У-Кабырза - 86,1 мм). В 1998 году влияние значительных осадков во второй декаде апреля (98 мм, Кондома) сгладила достаточно прохладная погода. В 2007 году максимальный уровень сформировался 31 мая при исключительных больших осадках и теплой погоде в мае (Кондома $X_{V1} = 60,5$; $X_{V2} = 86,2$; $X_{V3} = 129,3$ мм).

Долгосрочный прогноз максимальных уровней воды р. Томь – г. Междуреченск

Уравнение для выпуска прогноза в конце первой декады апреля :

$$H_{M-Pmax} = 0.472 \cdot S_{M-P} - 1.280 \cdot \Delta H_1 - 1.004 \cdot \Delta H_2 + 1.520 \Delta \Delta H_1 + 406,887 \quad (5)$$

показатели точности: $R = 0.874$, критерий качества прогноза $S/\sigma = 0.508$.

Таблица 6.5

Описание переменных и обобщенных показателей в уравнении (5)

Обозначение	Смысловое значение
S_{M-P}	Показатель снегонакопления, где $S_{M-P} = S_{Куз}$, где $S_{Куз}$ – запас воды в снеге на 31 марта, Кузедеево
ΔH_1	$\Delta H_1 = (H_{10.03 \text{ Н-К}} - (H_{10.03 \text{ М-Р}} - 100))$, разность уровня воды на 10 марта Новокузнецк – Междуреченск - характеризует пропускную способность, минимальный запас в русле на участке реки перед вскрытием и отражает тренд минимальных уровней р. Томь - г. Междуреченск
ΔH_2	$\Delta H_2 = (H_{31.III \text{ Крапив.}} - H_{31.III \text{ Новокуз.}})$, разность уровней воды на р. Томь 31.III в Крапивино и Новокузнецке - запас в русле на участке реки, как комплексный показатель процесса снеготаяния, впитывания, потерь на высотных зонах бассейна для замыкающего створа г. Новокузнецк в конце марта
$\Delta \Delta H_1$	$\Delta \Delta H_1 = 0,82 \cdot (H_{20.03} - H_{10.03}) + 0,18 \cdot (H_{31.03} - H_{20.03})$, сумма изменения уровня воды за вторую и третью декады марта, р. Томь – пгт. Крапивино с весовыми коэффициентами - комплексный показатель характера начала весны, ситуации в русле и состояния бассейна

Необходимо отметить, что 08.04.1997 г. пост р. Томь – г. Междуреченск был перенесен и в настоящее время расположен в 3 км выше впадения р. Уса. В связи с этим влияние на изменение формирования максимального уровня весеннего половодья отражает тренд уровня воды на 10 марта р. Томь – г. Междуреченск (рис.6.1)

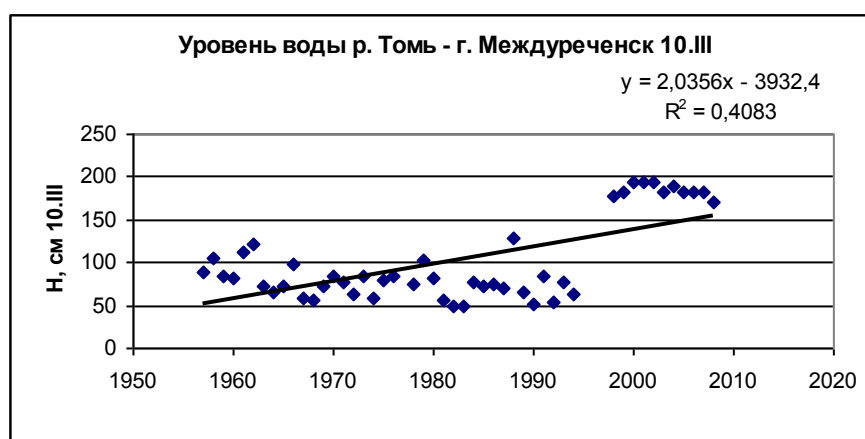




Рис. 6.1 Совмещенный ход максимальных и на 10 марта уровней воды р. Томь – г. Междуреченск

Таблица 6.6

Рассчитанные по (3),(4) и фактические значения максимальных уровней воды весеннего половодья р. Томь – г. Междуреченск (допустимая ошибка прогноза 60 см)

Годы	Н мах фак- тический	Н мах рас- считанный (формула 1)	ошибка прогноза
1957	258	276	-18
1958	480	350	130
1959	348	315	33
1960	213	303	-90
1961	263	291	-28
1962	394	312	82
1963	161	245	-84
1964	284	242	42
1965	274	263	11
1966	340	350	-10
1967	241	230	11
1968	303	288	15
1969	360	372	-12
1970	325	282	43
1971	230	271	-41
1972	270	248	22
1973	271	255	16
1974	203	251	-48
1975	318	310	8
1976	205	237	-32
1978	256	276	-20
1979	309	313	-4
1980	228	230	-2
1981	212	218	-6
1982	269	222	47

1983	247	241	6
1984	232	222	10
1985	262	237	25
1986	257	257	0
1987	304	276	28
1988	325	343	-18
1989	240	222	18
1990	275	253	22
1991	241	289	-48
1992	244	280	-36
1993	249	279	-30
1994	252	296	-44
1998	368	385	-17
1999	395	449	-54
2000	406	417	-11
2001	530	556	-26
2002	382	421	-39
2003	344	390	-46
2004	493	461	32
2005	384	376	8
2006	428	439	-11
2007*	545	438	107
2008	415	366	49
2009	460	460	0

В 2007* году максимальный уровень сформировался 31 мая при исключительных больших осадках и теплой погоде в конце мае (Кондома X V1 = 60,5; XV2 = 86,2; X V3 = 129,3 mm)

Долгосрочный прогноз максимальных уровней воды р. Томь – г. Томск

1. Предварительный прогноз Н max р. Томь - г. Томск, 10 апреля:

$$H_{\text{Томск-мах}} = 0.659 \cdot S_{\text{Томск}} + 0.676H_1 - 0.827 \cdot \Delta H_2 - 1.832 \cdot \Delta H_{3T} + 0.605 \cdot \Delta H_{3K} + 3.053 \cdot X_1 + 26.224 \cdot \Delta \cdot t_1 + 601,122 \quad (6)$$

показатели точности: R = 0.881, критерий качества прогноза S/σ = 0.515;

2. Уточненный прогноз Н max р. Томь - г. Томск, 20 апреля:

$$H_{\text{Томск-мах}} = 0.671 \cdot S_{\text{Томск}} + 0.735H_1 - 0.553 \cdot \Delta H_2 - 1.968 \cdot \Delta H_{3T} + 0.362 \cdot \Delta H_{3K} + 3.663 \cdot X_2 + 29.660 \cdot \Delta \cdot t_2 + 605,057 \quad (7)$$

показатели точности: R = 0.923, критерий качества прогноза S/σ = 0.441

3. Уточненный прогноз Н max р. Томь - г. Томск, 20 апреля, для очень холодного и без осадков апреля (1979,1980):

$$H_{\text{Томск-мах}} = 0.675 \cdot S_{\text{Томск}} + 0.629H_1 - 0.427 \cdot \Delta H_2 - 1.625 \cdot \Delta H_{3T} + 0.201 \cdot \Delta H_{3K} + 4.942 \cdot X_3 - 12.294 \cdot t_{(1+2)} + 592.896 \quad (8)$$

показатели точности: $R = 0.897$, критерий качества прогноза $S/\sigma = 0.481$;

Таблица 6.7

Описание переменных и обобщенных показателей в уравнениях (6), (7), (8)

Обозначение	Смысловое значение
$S_{\text{Томск}}$	Показатель снегонакопления, где $S_{M-P} = S_{K_{Y3}}$, где $S_{K_{Y3}}$ – запас воды в снеге на 31 марта, Кузедеево
X_1	X_1 – сумма осадков за первую декаду апреля, Томск
X_2	$X_{1+2} = (0.625 \cdot X_{IV1} + 0.375 \cdot X_{IV2})$ – сумма осадков за первую и вторую декады апреля с весовыми коэффициентами, Томск
X_3	$X_{1+2} = (0.714 \cdot X_{IV1} + 0.286 \cdot X_{IV2})$ – сумма осадков за первую и вторую декады апреля с весовыми коэффициентами, Томск
t_{1+2}	Средняя температура воздуха за первую и вторую декаду апреля, Томск
Δt_1	$\Delta t_1 = (0.430 \cdot t_{\text{Кондома}} - 0.570 \cdot t_{\text{Томск}})$ разность температуры воздуха за первую декаду апреля по Томску и Кондоме с весовыми коэффициентами
Δt_2	$\Delta t_2 = (0.465 \cdot t_{\text{Кондома}} - 0.535 \cdot t_{\text{Томск}})$ разность температуры воздуха за вторую декаду апреля по Томску и Кондоме с весовыми коэффициентами
H_1	H_1 – минимальный зимний уровень воды, р. Томь - г. Томск; показатель тренда $H_{\text{мах}}$ и антропогенного воздействия в русле в районе города
ΔH_2	$\Delta H_2 = H(20.03-10.03)$ - изменение уровня воды за вторую декаду марта, р. Томь - г. Томск; показатель потерь на склоновый сток в марте и степени ослабления ледяного покрова;
ΔH_{3T}	$\Delta H_{3T} = H(31.03-20.03)$ - изменение уровня воды за третью декаду марта, р. Томь - г. Томск
ΔH_{3K}	$\Delta H_{3K} = (31.03-20.03)$ Козюлино - изменение уровня воды за третью декаду марта, р. Томь - с. Козюлино, отражает наличие подпора устьевое участка Томи;

Таблица 6.8

Рассчитанные по (6),(7) и фактические значения максимальных уровней воды весеннего половодья р. Томь – г. Томск (**допустимая ошибка прогноза 72 см**)

Годы	Н мах фактический	Н мах рассчитанный (формула 1)	ошибка прогноза	Н мах рассчитанный (формула 2)	ошибка прогноза
1964	834	858	-24	856	-22
1965	769	742	27	733	36
1966	883	875	8	900	-17
1967	705	666	39	652	53
1968	617	602	15	588	29
1969	894	870	24	891	3
1970	664	650	14	639	25
1971	737	704	33	696	41
1972	657	595	62	630	27
1973	628	648	-20	645	-17
1974	669	735	-66	683	-14
1975	695	785	-90	754	-59
1976	584	602	-18	628	-44
1977	697	696	1	694	3
1978	694	668	26	701	-7
1979	765	704	61	698	67
1980	541	648	-107	636	-95
1981	548	561	-13	501	47
1982	543	590	-47	552	-9
1983	595	625	-30	621	-26
1984	700	610	90	681	19
1985	599	621	-22	636	-37
1986	614	608	6	613	1
1987	602	629	-27	606	-4
1988	686	650	36	679	7
1989	533	514	19	528	5
1990	515	554	-39	560	-45
1991	538	620	-82	583	-45
1992	757	710	47	729	28
1993	584	569	15	541	43
1994	505	566	-61	583	-78
1995	486	534	-48	549	-63
1996	538	504	34	508	30
1997	576	602	-26	571	5
1998	787	712	75	723	64
1999	700	688	12	715	-15
2000	543	570	-27	520	23
2001	745	778	-33	759	-14
2002	515	590	-75	581	-66
2003	588	601	-13	588	0

2004	626	625	1	644	-18
2005	632	626	6	606	26
2006	708	667	41	694	14
2007	681	615	66	633	48
2008	631	541	90	601	30
2009	637	613	24	613	24

В уравнения для долгосрочного прогноза максимальных уровней воды р. Томь – г. Томск вошли новые переменные: Δt_1 и Δt_2 - разность температуры воздуха за первую и вторую декады апреля по Томску и Кондоме с весовыми коэффициентами. Они являются показателями однородности интенсивности процесса таяния на различных участках и высотных зонах бассейна в первую и вторую декады апреля.

6.2. Методика прогноза максимальных уровней воды весеннего половодья в бассейне р. Енисей

Долгосрочный прогноз максимальных уровней воды р. Енисей – г. Кызыл

Ландшафтно-гидрологическое описание бассейна р. Енисей у г. Кызыла и анализ условий формирования максимальных уровней в створе представлены в [7].

Напомним, в основу разработки прогностического уравнения максимальных уровней воды на р. Енисей у города Кызыл положен анализ условия формирования максимальных уровней воды (как заторного, так и беззаторного генезиса). Уравнение для прогноза максимальных уровней р. Енисей у г. Кызыл учитывает характер снегонакопления на высоких зонах бассейна, метеорологическую обстановку и пропускную способность русла выше исследуемого створа.

Средняя дата наступления максимального уровня весеннего половодья р. Енисей у г. Кызыл – 30 мая; крайние – 29 апреля (1971) и 23 июня (1989). Учет развития весеннего процесса только в марте не дало требуемого результата точности прогноза. Только с учетом апрельской ситуации возможно предсказания наиболее вероятного подъема уровня. Прогноз по предложенному уравнению выдается на конец апреля, причем, средняя заблаговременность прогноза составляет около 2-х месяцев, наименьшая – около месяца. Описание предикторов и их линейных комбинаций представлено в табл. 6.9.

Уравнение для выпуска прогноза максимального уровня у г. Кызыл имеет вид:

$$H_{\text{Кызыл max}} = 0.797 \cdot S + 3.03 \cdot \Delta H_2 + 6.297 \cdot X_1 + 9.682 \cdot X_2 + 5.52 \cdot X_3 - 2.747 \cdot \Delta H_1 - 13.796 \cdot T + 322.5, \quad (9)$$

показатели точности: $R = 0.916$, критерий качества прогноза $S/\sigma = 0.406$;

Таблица 6.9

Описание переменных и обобщенных показателей в уравнении прогноза

Обозначение	Смысловое значение	T-статистика
S	Показатель снегонакопления, где $S = (0.542 \cdot S_{\text{Казыр}} + 1.86 \cdot S_{\text{Тоора-Хем}})$, где $S_{\text{Казыр}}$ – запас воды в снеге на 20 марта, Казыр, $S_{\text{Тоора-Хем}}$ – запас воды в снеге на 20 марта, Тоора-Хем;	6.72
ΔH_2	$\Delta H_2 = (H_{10.IV} - H_{31.III})$ – разность между уровнем воды на 10 апреля и 31 марта, р.Большой Енисей – с.Кара-Хак	3.62
X_1	X_1 – сумма осадков за март, Тоора-Хем	2.80
X_2	$X_2 = (0.53 \cdot X_{IV1\text{Тоора-Хем}} + 0.47 \cdot X_{IV1\text{Сосновка}})$ – сумма осадков за первую декаду апреля, Тоора-Хем и Сосновка (с весовыми коэффициентами)	4.52
X_3	X_3 – сумма осадков во второй декаде апреля, Тоора-Хем	4.26
ΔH_1	$\Delta H_1 = (H_{\text{max III}} - H_{\text{min III}})$ – разность максимального и минимального уровней воды в марте, р.Большой Енисей – с.Кара-Хак	-2.63
T	$T = (0.59 \cdot T_{IV\text{Тоора-Хем}} + 0.41 \cdot T_{IV\text{Эрзин}})$ – средняя температура воздуха за апрель, Тоора-Хем и Сосновка (с весовыми коэффициентами)	-4.51

Сопоставление рассчитанных и фактических максимальных уровней воды весеннего половодья помещены в табл.6.10.

Таблица 6.10

Рассчитанные по уравнению и фактические значения максимальных уровней воды весеннего половодья р. Енисей – г. Кызыл (допустимая ошибка прогноза 56 см)

Год	Hmax наблюдаемый	Hmax рассчитанный	Ошибка
1966	679	678	1
1967	494	514	-20
1968	465	418	47
1969	616	648	-32
1970	581	555	26
1971	406	426	-20
1973	656	621	35
1974	513	456	57
1975	578	644	-66
1976	505	518	-13
1977	581	592	-11
1978	515	538	-23
1979	590	572	18
1980	596	613	-17
1981	462	486	-24
1982	575	544	31
1983	603	594	9

1984	523	528	-5
1985	562	523	39
1986	568	517	51
1987	540	520	20
1988	520	544	-24
1989	395	410	-15
1990	400	408	-8
1991	561	508	53
1992	616	558	58
1993	487	513	-26
1995	545	542	3
1996	425	451	-26
1997	402	415	-13
1998	474	527	-53
1999	439	518	-79
2000	474	496	-22
2001	697	671	26
2002	416	405	11
2003	444	444	0
2004	669	637	32
2005	508	524	-16
2006	567	609	-42

Результаты прогнозов максимальных уровней воды на независимом материале р. Енисей – г. Кызыл представлены в табл. 6.11. Прогноз за 2008 и 2009 годы был рассчитан в оперативном режиме.

Таблица 6.11

Результаты долгосрочных прогнозов максимальных уровней воды
р. Енисей – г. Кызыл в 2007-09 гг.

Год	Наблюденный максимальный уровень, см	Предсказанный максимальный уровень, см	Погрешность, см	Допустимая погрешность, см
2007	422	443	21	56
2008	446	467	21	
2009	336	535	199	

Прогноз по разработанному уравнению в 2009 г не оправдался с достаточно большой погрешностью. Это можно объяснить завышенной оценкой количества снега в горах Тувинского нагорья перед началом таяния и многопиковым характером развития весеннего половодья в Саянах (до 8 пиков). Результаты испытаний методики долгосрочного прогноза максимальных уровней будут заслушаны на Техническом совете Среднесибирского УГМС в 2009 г.

Долгосрочный прогноз максимальных уровней воды р. Абакан – п. Райков

В качестве потенциальных предикторов уравнения регрессии для прогноза максимальных уровней весеннего половодья р. Абакан – пос. Райков была использована имеющаяся в Среднесибирском УГМС гидрометеорологическая информация. Из метеорологических предикторов в электронную базу данных вошли максимальный и на 20 марта запас воды в снежном покрове, осадки в зимний и весенний период, температура воздуха в весенний период.

В разработку методики прогноза было решено включить период с 1966 года по 2006, как имеющий достаточное количество совместных лет наблюдений используемых параметров.

Метеорологическая информация по 7-ми опорным пунктам на разных высотных зонах бассейна (табл.6.12) была сформирована в единую базу данных.

Таблица 6.12

Абсолютная высота метеостанций

Метеостанции	Высота станции, м БС
1. Оленья речка	1404
2. Неожиданный	520
3. Абаза	447
4. Ненастная	1187
5. Коммунар	842
6. Большой Он	787
7. Таштып	449

В единую базу данных была скомплектована гидрологическая информация по двум створам водомерным постам р. Абакан – п. Райков и г. Абаза. Далее были рассчитаны всевозможные их комбинации (физически обоснованные).

Всего в разработке участвовало порядка 90 потенциальных предикторов, характеризующих с разных сторон факторы формирования максимального уровня в исследуемом створе. Далее будет описан физический смысл и механизм действия только тех, которые вошли в уравнения прогноза.

Оптимизация параметров регрессионной модели в методике прогноза максимального весеннего уровня. Набор предикторов, входящих в уравнения множественной регрессии определялся сначала из физических соображений. Далее проверялась их репрезентативность на основе корреляции с максимальными уровнями воды. Рассмотрим используемые в уравнениях прогноза максимального уровня р. Абакан - пос. Райков предикторы:

- Запас воды в снеге в пунктах наблюдений, – характеризует количество поступившей на водосбор талой воды. Принят в виде обобщенного показателя распределения снега по бассейну.

- Температура воздуха в марте – косвенно характеризует тип весны. Например, при низкой температуре марта более вероятна холодная погода в первой половине апреля и последующее интенсивное потепление в конце апреля – начале мая, усиливающее концентрацию весеннего половодья. Теплый март, чаще сопровождается растянутым половодьем.

- Сумма осадков за зимний период – дополнительно характеризует будущую водность в реке и косвенно, – характер зимы и характеристики ледового покрова в створе.

- Количество весенних осадков – отражает дополнительное поступление воды и косвенно, – влажность воздуха и потери воды на испарение. Принят в виде обобщенного показателя для учета доли влияния каждой из сумм декадных осадков в формировании весеннего максимума в реке.

- Уровень воды на дату появления ледовых образований или на дату установления ледостава, минимальный и максимальный уровни за зимний период, а также превышение максимального уровня над уровнем воды на момент установления ледостава, – отражают ледовые условия, наличие зажоров льда в зимний период и пропускную способность русла.

- Уровень воды в весенний период после вскрытия рек – характеризует интенсивность поступления воды в речную сеть.

Расчет обобщенного показателя запаса воды в снежном покрове. Для расчета обобщенного показателя запаса воды в снежном покрове использовался модуль “Множественная Регрессия” в пакете «STATISTICA», который позволяет методом пошагового исключения мало значащих предикторов найти оптимальное уравнение типа:

$$S_o = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_n x_n \quad (10)$$

где x_i – запас воды в снеге по i -той метеостанции, мм

Конечный вид уравнения обобщенного показателя выглядит следующим образом:

$$S_o = 0,505S_1 - 0,156S_2 + 729 \quad (11)$$

где, S_1 – запас воды в снеге на 20 марта по станции Неожиданный,

S_2 - запас воды в снеге на 20 марта по станции по станции Ненастная.

Коэффициент корреляции запаса воды в снеге, рассчитанного этим методом с максимальным весенним уровнем воды равен 0.47.

Осадки. При анализе тесноты связи с максимальным уровнем, выяснилось, что наиболее репрезентативной величиной осадков является сумма осадков за зиму по метеостанциям Неожданный и Таштып.

Температура воздуха. В разработку методики были включены месячные и декадные значения температуры воздуха по метеостанциям в бассейне.

Использование данных об уровнях воды. Выше перечисленные предикторы учитывают только метеорологическую обстановку в районе, не описывая динамику стока талых вод к исследуемому створу. Уровень воды в створе является интегральной характеристикой метеорологических и гидродинамических процессов в бассейне. Различные комбинации уровней воды во времени и на участках рек могут характеризовать наличие зажоров льда в зимний период, пропускную способность русла, интенсивность поступления воды в речную сеть и др. В разработке уравнений прогноза максимального уровня весеннего половодья р. Абакан - пос. Райков использовалось несколько комбинаций, но в уравнение прогноза вошла только одна:

Превышение уровня на 31 марта над минимальным зимним ΔH в створе р. Абакан – пос. Райков характеризует интенсивность поступления воды в русловую сеть в период развития весенних процессов:

$$\Delta H = H_{31.03} - H_{\min} \quad (12)$$

где, $H_{31.03}$ – среднесуточный уровень воды р. Абакан–пос. Райков на 31 марта

$H_{\min}$ – минимальный среднесуточный уровень воды р. Абакан–пос. Райков

Методика прогноза включает основное уравнение прогноза максимального уровня (на 31 марта) и уточняющее уравнение соответственно развитию весенних процессов.

1. Прогноз максимального уровня р. Абакан - пос. Райков на 31 марта дается по уравнению (13):

$$H_{\max} = 1,03 \cdot S_0 + 2,44 \cdot H_{\min A} + 0,506 \cdot H_{\text{нач лдст}} + 0,466 \cdot \Delta H + 1,07 \cdot H_{20.03} - 956,6, \quad (13)$$

где, S_0 – обобщенный по территории водосбора показатель запасов воды в снеге,

$H_{\min A}$ – минимальный уровень за зимний период в створе р. Абакан – пос. Абаза,

$H_{\text{нач лдст}}$ – уровень начала ледостава в створе р. Абакан – пос. Райков,

ΔH – превышение уровня на 31 марта над минимальным зимним ΔH в створе р. Абакан – пос. Райков

$H_{20.03}$ – уровень в створе р. Абакан – пос. Райков на 20 марта

2. Уточняющий прогноз максимального уровня р. Абакан - пос. Райков в мае дается по уравнению (14):

$$H_{\max} = 1,37 \cdot X_{\text{III апр}} H + 1,15 \cdot \Sigma X_{\text{май}} T + 1,6 \cdot \Sigma X_{\text{март}} H + 0,387 \cdot H_{\text{нач лдст}} - 12,2 \cdot T_{\text{ср апр}} H + 440,5, \quad (14)$$

где, XIII апр Н – осадки за третью декаду апреля по станции Неожиданный,

$\Sigma X_{\text{май T}}$ – сумма осадков за май по станции Таштып,

$\Sigma X_{\text{март Н}}$ – сумма осадков за март по станции Неожиданный,

Ннач лдст – уровень начала ледостава в створе р. Абакан – пос. Райков,

Тср апр Н – средняя температура апреля по станции Неожиданный.

Ниже приведена таблица Т-статистик и относительных вкладов (beta-коэффициентов) каждого предиктора в уравнения регрессии (табл. 6.13).

Таблица 6.13

Параметры переменных уравнений регрессии

ПРЕДИКТОРЫ	Уравнение 13		Уравнение 14	
	Т-статистика	Относительный вклад	Т-статистика	Относительный вклад
Обобщенный показатель запаса воды в снеге (S_o)	3,45	0,479	-	-
Осадки за третью декаду апреля по М Неожиданный (XIII апр Н)	-	-	3,29	0,329
Сумма осадков за май по М Таштып ($\Sigma X_{\text{май T}}$)	-	-	4,01	0,41
Сумма осадков за март по М Неожиданный ($\Sigma X_{\text{март Н}}$)	-	-	3,59	0,357
Средняя температура апреля по М Неожиданный (Тср апр Н)	-	-	-2,53	-0,26
Минимальный уровень за зимний период в створе р. Абакан – пос. Абаза (H_{minA})	3,83	0,506	-	-
Уровень начала ледостава в створе р. Абакан – пос. Райков (Ннач лдст)	2,95	0,35	2,65	0,268
Превышение уровня на 31 марта над минимальным зимним ΔH в створе р. Абакан – пос. Райков (ΔH)	2,25	0,269	-	-
Уровень в створе р. Абакан – пос. Райков на 20 марта ($H_{20 \text{ март}}$)	1,92	0,261	-	-
Свободный член	-3,2	-	6,84	-

Оценка качества методики. В таблице 6.14 приведены показатели качества разработанной методики и оправдываемость на зависимом материале.

Таблица 6.14

Параметры качества уравнений методики прогноза максимальных уровней

р. Абакан – п. Райков.

Характеристика	Уравнение 13	Уравнение 14
Коэффициент множественной корреляции, R	0,733	0,82
Коэффициент детерминации, R ²	0,537	0,672
Оценка коэффициента детерминации, R ²	0,471	0,625
F-статистика Фишера, рассчитанный уровень значимости	8,1 P < 0,00004	14,321 P < 0,00000
Критерий качества методики, S/σ	0,68	0,57
Оправдываемость прогнозов, р%	73	73

Таблица 6.15

Результаты расчета по уравнению 13

Год	So	HminA	Hнач лдет	ΔH	H20 март	H макс	Уравнение 13 сдоп = 55 см	
							расчет	ошибка
1966	907	67	382	87	477	833	880	-47
1967	820	52	481	85	456	723	781	-58
1968	739	72	368	135	502	812	762	50
1969	848	58	578	114	477	969	909	60
1970	752	107	426	73	473	800	830	-30
1971	750	70	365	74	469	757	703	54
1972	733	52	534	104	448	641	719	-78
1973	801	83	430	80	465	822	818	4
1974	762	64	454	77	452	696	728	-32
1975	789	78	390	94	451	819	765	54
1976	761	69	535	112	479	831	826	5
1977	805	88	498	82	460	789	864	-75
1978	785	79	376	-173	486	689	669	20
1979	788	69	418	84	441	768	741	27
1980	761	87	392	66	440	700	735	-35
1981	747	70	352	84	451	683	679	4
1982	768	68	457	83	425	705	720	-15
1983	765	68	393	83	454	690	716	-26
1984	717	78	387	67	424	689	648	41
1985	733	80	375	122	466	764	734	30
1986	739	78	392	75	427	761	680	81
1987	769	70	417	114	452	810	749	61
1988	752	73	403	94	453	683	723	-40
1989	713	90	374	55	430	660	668	-8
1990	754	82	411	87	438	682	732	-50
1991	740	91	410	50	468	748	755	-7

1992	742	95	413	55	443	782	743	39
1993	742	98	411	89	467	742	791	-49
1994	729	108	414	71	444	767	771	-4
1995	725	106	395	92	445	798	763	35
1996	726	91	407	60	450	653	724	-71
1997	753	99	397	117	437	688	779	-91
1998	726	100	401	57	442	685	733	-48
1999	732	109	507	29	429	712	788	-76
2000	742	117	399	38	429	713	767	-54
2001	758	97	395	111	422	867	759	108
2002	678	90	520	4	407	651	658	-7
2003	748	103	567	45	423	984	821	163
2004	768	121	442	30	446	861	839	22
2005	744	97	492	58	439	754	787	-33
2006	784	95	449	47	475	914	835	79

Таблица 6.16

Результаты расчета по уравнению 14

Год	ХП апр Н	ΣХмай Т	ΣХмарт Н	Тер апр Н	Ннач лдет	Н макс	Уравнение 14 сдоп = 55 см	
							расчет	ошибка
1966	82	52,8	70,6	-2	382	833	899	-66
1967	2,2	76,6	24,3	0,5	481	723	751	-28
1968	51,9	34,7	63,7	-0,5	368	812	802	10
1969	84	82,7	37,6	-0,6	578	969	942	27
1970	17,8	91,9	16,5	0,4	426	800	757	43
1971	13,3	112,9	57,1	0,6	365	757	814	-57
1972	3,1	24,2	39,4	3,3	534	641	702	-61
1973	31,7	74,1	30	0,9	430	822	773	49
1974	9,3	47,5	38,6	2,2	454	696	719	-23
1975	24,7	41,8	55,4	-1,2	390	819	777	42
1976	7,8	133,1	33,3	0,3	535	831	861	-30
1977	4,2	110	54	1,3	498	789	836	-47
1978	32,7	62,9	31,6	2	376	689	729	-40
1979	25,7	54,7	34,4	-3	418	768	792	-24
1980	5,3	49,4	17,2	-1,4	392	700	701	-1
1981	26,8	17,1	34,3	2,5	352	683	658	25
1982	19,2	78,2	24	2,9	457	705	737	-32
1983	23	31,8	21,7	-2,6	393	690	727	-37
1984	18,3	41,9	30,4	-3	387	689	749	-60
1985	32,2	75,4	22,3	1,5	375	764	734	30
1986	13,6	53	36,8	0,3	392	761	727	34
1987	23	68,4	11	-0,2	417	810	732	78
1988	7,3	29,6	11,1	0,8	403	683	649	34
1989	48,1	52,1	10,7	0,3	374	660	725	-65
1990	10,5	30,6	53,3	1	411	682	722	-40
1991	3,3	74,1	32,7	1	410	748	729	19
1992	49,2	42,9	18,4	0,3	413	782	743	39
1993	10,5	37,4	14	0	411	742	679	63
1994	23,8	76,7	28,5	1,3	414	767	751	16
1995	50,4	62,1	45,7	2,4	395	798	778	20

1996	46,7	35,3	9,7	-0,8	407	653	728	-75
1997	8,8	128,8	15,2	5,5	397	688	711	-23
1998	13,9	34,2	7,4	0,2	401	685	664	21
1999	37,7	49,7	25,9	0,5	507	712	781	-69
2000	31,4	51,4	54,5	3	399	713	748	-35
2001	4,8	45,2	75,2	0,7	395	867	764	103
2002	0	18,4	11,7	-0,6	520	651	689	-38
2003	51,4	105,1	22,1	-0,9	567	984	898	86
2004	28,7	52,5	69,4	1	442	861	810	51
2005	19,1	20,1	25,8	1,3	492	754	706	48
2006	49	94,8	50,9	-2,3	449	914	900	14

Долгосрочный прогноз максимальных уровней воды р. Подкаменная Тунгуска – с. Ванава- ра

В численных экспериментах использовался массив данных с 1970 по 2008 гг. Получено уравнение для выпуска прогноза в конце марта:

$$H_{\text{Ван max}} = 1.578 \cdot S_{\text{max}}^{\text{У-К}} + 3.018 \cdot S_{\text{max}}^{\text{Мут}} - 4.232 \cdot X_{\text{zim}}^{\text{Ван}} - 14.055 \cdot T_{\text{III}}^{\text{Ван}} + \\ + 4.844 \cdot X_{\text{III}}^{\text{Бай}} + 4.472 \cdot H_{\text{ля}}^{\text{Ван}} + 222.2 \quad (15)$$

показатели точности: $R = 0.938$, критерий качества прогноза $S/\sigma = 0.52$;

Таблица 6.17

Описание переменных в уравнении (15)

Обозначение	Смысловое значение	T-статистика
$S_{\text{max}}^{\text{У-К}}$	Максимальный запас воды в снеге перед началом весеннего половодья, Усть-Камо	5.9
$S_{\text{max}}^{\text{Мут}}$	Максимальный запас воды в снеге перед началом весеннего половодья, Муторай	5.0
$X_{\text{zim}}^{\text{Ван}}$	Сумма зимних осадков с октября по март, Ванава- вара	-6.2
$T_{\text{III}}^{\text{Ван}}$	Средняя температура воздуха в марте, Ванава- вара	-5.0
$X_{\text{III}}^{\text{Бай}}$	Сумма осадков в марте, Байкит	5.1
$H_{\text{ля}}^{\text{Ван}}$	Уровень начала ледовых явлений, р. Подкамен- ная Тунгуска – с. Ванава- вара	10.0

Результаты рассчитанных и фактических максимальных уровней воды весеннего половодья помещены в таблице 6.18.

Таблица 6.18

Рассчитанные по (15) и фактические значения максимальных уровней воды весеннего половодья р. Подкаменная Тунгуска – с. Ванавара

(допустимая ошибка прогноза 105 см)

Годы	Н мах фак- тический	Н мах рас- считанный (формула 15)	Ошибка расчета
1970	774	686	-88
1971	655	704	49
1972	672	698	26
1973	899	786	-113
1974	799	754	-45
1975	904	940	36
1976	656	688	32
1977	645	706	61
1978	643	644	1
1979	989	933	-56
1980	506	560	54
1981	566	497	-69
1982	838	808	-30
1983	972	1016	44
1984	649	703	54
1985	661	619	-42
1986	573	620	47
1987	572	600	28
1988	537	531	-6
1989	736	675	-61
1990	758	704	-54
1991	578	601	23
1992	723	789	66
1993	327	439	112
1994	717	763	46
1995	705	694	-11
1996	624	541	-83
1997	548	548	0
1998	760	735	-25
1999	1107	1116	9
2000	587	559	-28
2001	841	784	-57
2002	797	742	-55
2003	758	787	29
2004	780	830	50
2005	661	726	65
2006	880	866	-14
2007	602	898	296
2008	644	867	223

Прогноз максимального уровня в 2009 году проводился в оперативном режиме. Результаты прогноза в табл. 6.19:

Таблица 6.19

Результаты долгосрочного прогноза максимального уровня воды
р. Подкаменная Тунгуска – с. Ванавара в 2009 г

Год	Наблюденный максимальный уровень, см	Предсказанный мак- симальный уровень, см	Погрешность, см	Допустимая по- грешность, см
2009	1007	892	-115	105

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Вариант концептуальной математической модели прогноза («модель – 2008»), представленный в промежуточном отчете за 2008 г., основывается на более качественной информации, а показатели точности расчетов по методике не уступают ранее полученным результатам. Этот вариант модели испытан в отделе гидрологических прогнозов Новосибирского ГМЦ в 2009 г. Результаты испытаний показали хорошее и удовлетворительное качество прогнозов (критерий качества: Бия – Бийск 0.29 – 0.51 (улучшенный вариант); Обь – Барнаул 0.49 – 0.63; Катунь – Сростки .53 – 0.82). Авторы метода продолжили работу над улучшением метода с учетом опыта 2009 г.

В настоящем отчете улучшено программное обеспечение прогнозов по модели и выполнена уточняющая оптимизация параметров по бассейнам Обь– г. Барнаул, р. Бия – г. Бийск, Катунь– с. Сростки (результаты по р. Бия учтены в процессе оперативных испытаний и дали положительные результаты).

2. На р. Томи у городов Томск и Междуреченск максимальный уровень весеннего половодья нередко связан с заторами льда.

Максимальные уровни р. Томи у гг. Кемерово и Новокузнецка достаточно редко вызваны заторами льда, – чаще они сформированы снего - дождевыми паводками и наступают в апреле или начале мая при прохождении первой, либо второй волны половодья.

Следует отметить, что это крупные промышленные центры, которые сами влияют на ледовый и термический режим реки, а также, вероятно, на минимальный зимний сток.

В отделе гидрологических прогнозов Гидрометцентра ГУ «Новосибирский ЦГМС – РСМЦ» весной 2009 года в оперативном режиме проводилась проверка метода прогноза максимальных уровней весеннего половодья для р.Томь в следующих пунктах:

1. Кемерово; 2. Томск; 3. Новокузнецк; 4. Междуреченск.

Для пунктов Кемерово, Томск и Новокузнецк оправдываемость прогноза и уточнения составила 100%. Для пункта Междуреченск оправдываемость прогноза - 100%, уточнения - 50 %. Для сравнения, оправдываемость прогноза максимальных уровней весеннего половодья по методу ГМЦ составила 75 %.

В 2009 г. авторы метода выполнили уточнение прогнозных уравнений для р. Томь (гг. Междуреченск, Новокузнецк, Кемерово и Томск) с учетом результатов оперативных испытаний. В отчете представлены рекомендации по реализации метода прогноза.

3. В заключительном отчете представлены методы и программное обеспечение автоматизированных прогнозов ежедневных уровней воды с заблаговременностью от 1 до 7 суток для реки Абакан (г. Абакан) и долгосрочных прогнозов максимальных уровней воды для р. Покаменная Тунгуска (п. Ванавара) и р. Абакан (п. Райков). Авторские испытания этих методов дали положительные результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

К главам 1 – 5 (к главе 6 – ниже)

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.49–59.
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., Галахов В.П., Нарожный Ю.К. и др. Снежно-водно-ледниковые ресурсы Верхней Оби и прогнозы стока весеннего половодья. –Томск: Томский госуниверситет, 1986. – 254 с.
8. 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.
9. Бураков Д.А., Мельникова О.В. Аппроксимация кривых добегания при отрицательной асимметрии с использованием зеркального преобразования гамма-распределения.// Метеорология и гидрология.-2000–№4.–С.75-87.
10. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. Гидрометеоиздат, Л.: 1988.– 312 с.
11. Калюжный И.Л., Павлова К.К. Формирование потерь талого стока. Гидрометеоиздат, Л.: 1981. –160 с.
12. Комаров В.Д., Макарова Т.Т., Синегуб Е.С. Расчёт гидрографа половодья небольших равнинных рек на основе данных об интенсивности снеготаяния // Труды ГМЦ.- 1964, вып. 3.- с. 3-30.

13. Корень В.И. Математические модели гидрологических прогнозов. Гидрометеиздат, Л.: 1991.– 199 с.
14. Котляков В.М., Ходаков В.Г., Гринберг А.М. Тепловое проявление снежно-ледовых объектов как метод количественной интерпретации аэрокосмической информации // Изв. АН СССР. Сер. Геогр. - 1981. - №3. - с.127-134.
15. Кучмент Л.С. Математическое моделирование речного стока. Гидрометеиздат, Л.: 1974.– 191 с.
16. Кучмент Л.С., Гельфан А.Н. Динамико-стохастические модели формирования речного стока, М., Наука, 1993.-С.108.
17. Мухин В.М. Модели формирования стока горной реки// Тр. ГМЦ, вып. 186, 1977
18. Нарожный Ю.К. Распределение снегозапасов на ледниках Центрального Алтая // Материалы гляциологических исследований, вып. 73, 1992, с. 125-131.
19. Попов Е. Г. Вопросы теории и практики прогнозов речного стока. Гидрометеиздат, М.: 1963.– 256 с.
20. Ревякин В.С., Барахтин В.Н., Виноградов В.А., Кошинский С.Д., Попов В.И., Тырышканов В.П., Чубенко А.Г. Снежный покров Горного Алтая // Материалы гляциологических исследований. - 1974. - № 23.- С.160 - 168.
21. Ревякин В.С., Галахов В.П., Голещихин В.П. Горноледниковые бассейны Алтая. -Томск: Изд-во ТГУ, 1979.- 310 с.
22. Ревякин В.С., Кравцова В.И. Снежный покров и лавины Алтая. -Томск: Изд-во ТГУ, 1977.- 216 с.
23. Ревякин В.С., Попов В.И. Полюс снежности Алтая // Известия ВГО. –1976. – Т. 108. - Вып. 6. – С. 550-554.
24. Ревякин В.С., Чубенко А.Г., Виноградов В.А. Запасы снеговой влаги в горном Алтае // Сборник / Водные ресурсы Алтайского края и их комплексное использование. – Барнаул, 1971. – С. 30-34.
25. Харшан А.А. Долгосрочные прогнозы стока половодья горных рек Сибири. // Труды ГМЦ.- 1975.– вып. 65. – 128 с.
26. Харшан А.А. Долгосрочные прогнозы стока половодья горных рек Сибири. – Москва: ГИ-МИЗ, 1958. – 182 с
27. Ходаков В.Г. Водно-ледовый баланс районов современного и древнего оледенения СССР. - М.: Наука,1978.-194 с.
28. ГМЦ России, тема 1.1.1.2, плана НИР и ОКР Росгидромета. Руководитель С.В. Борщ. «Усовершенствовать алгоритмы модели формирования весеннего стока, определения заснеженности на основе ИСЗ». Раздел темы 1.1.1.4. Руководитель раздела д.г.н. Д.А. Бураков. Ав-

- торы: Д.А. Бураков, В.Ю. Ромасько, В.Ф. Космакова и др. Красноярск – Москва (промежуточные отчеты по НИР за 2005, 2006 гг).
29. Тема 1.9.4.7 плана НИР Росгидромета за 1999 г. Отчет по НИР: «Разработать метод краткосрочного прогноза ежедневных и максимальных уровней (расходов) воды рек бассейна Оби, притока воды в Новосибирское водохранилище в период весеннего половодья на основе спутниковой и наземной информации». Красноярский НИЦ, 1999.
 30. Тема 1.8.78 плана НИР Росгидромета за 2007г. 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.
 31. Тема 8.79 плана НИР и ОКР Росгидромета за 2008 г. Промежуточный отчет по НИР: «Разработка и усовершенствование методов и программного обеспечения прогноза ежедневных и максимальных уровней воды в бассейнах рек Верхней и Средней Оби и Енисея с применением математических и физико-статистических моделей». Ответственный исполнитель темы д.г.н, проф. Д.А. Бураков.

К главе 6

1. Бузин В.А. Методы прогнозов зажерных и заторных явлений.— Труды пятого всесоюзного гидрологического съезда, 1989, том 7.—Л: Гидрометеиздат.
2. Донченко Р.В. Исследования, расчеты и прогнозы зажоров и заторов.— Труды V Всесоюзного гидрологического съезда, 1989, том 7.—Л: Гидрометеиздат.
3. Лиссер И.Я. О зависимостях для прогноза максимальных заторных (ледоходных) уровней воды при вскрытии сибирских рек.— Метеорология и гидрология, 1981, №11, с.83-87.
4. Шуляковский Л.Г., Еремина В.А. К методике прогноза заторных уровней воды.— Метеорология и гидрология, 1952, №1, с.46-51.
5. ГМЦ России, тема 1.1.1.2, плана НИР и ОКР Росгидромета. Руководитель С.В. Борщ. «Усовершенствовать алгоритмы модели формирования весеннего стока, определения заснеженности на основе ИСЗ». Раздел темы 1.1.1.4. Руководитель раздела д.г.н. Д.А. Бураков. Авторы: Д.А. Бураков, В.Ю. Ромасько, В.Ф. Космакова и др. Красноярск – Москва (промежуточные отчеты по НИР за 2005, 2006 гг).
6. Тема 1.8.78 плана НИР Росгидромета за 2007г. 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.

7. Тема 8.79 плана НИР и ОКР Росгидромета за 2008 г. Промежуточный отчет по НИР: «Разработка и усовершенствование методов и программного обеспечения прогноза ежедневных и максимальных уровней воды в бассейнах рек Верхней и Средней Оби и Енисея с применением математических и физико-статистических моделей». Ответственный исполнитель темы д-р, проф. Д.А. Бураков.