

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ПРОБЛЕМАМ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ,
ЭКОЛОГИИ, КЛИМАТА СИБИРИ (к 40-летию образования СибНИГМИ)
19-20 апреля 2011 г. Новосибирск

Модели и методы гидрологических прогнозов весеннего половодья Сибирских рек

Д.А.Бураков, Ю.В.Ромасько, В.Ф. Космакова, И.Н. Гордеев, О.И. Литвинова



Весеннее половодье: общие сведения -1

- Экстремально высокие половодья и связанные с ними наводнения вызывается сочетанием следующих условий: дождливая осень, суровая зима, большое снегонакопление, запоздалая холодная весна (или же ранняя весна, но очень дружная) с большим количеством осадков, резкое установление теплой погоды.
- На реках, текущих в субмеридиональном направлении (Лена, Енисей, Обь и др.), вследствие более раннего наступления весны на юге, волна паводка, перемещаясь на север, взламывает еще прочный ледовый покров. В результате увеличивается вероятность наводнений, вызываемых образованием заторов льда. Нередко заторы льда образуются на одних и тех же участках рек, что вызвано геоморфологическими особенностями строения речного русла: наличием крутых излучин, островов, сужений, порогов.

Весеннее половодье: общие сведения -2

- Степень влияния каждого фактора изменяется по территории и во времени. В одних случаях наводнения связаны с накоплением исключительно больших запасов снега. В других случаях определяющее влияние оказывает выпадение обильных осадков в период снеготаяния, или необычайно высокое предзимнее увлажнение бассейна. Если совмещаются факторы, высокой водности и образования заторов льда, наблюдаются катастрофические наводнения.

По обеспеченности (вероятности превышения) максимальных уровней воды выделяются:

- 1. исторические половодья обеспеченностью <0.1 %,**
- 2. катастрофические от 0.1 до 1%,**
- 3. выдающиеся от 1 до 10 %,**
- 4. высокие от 10 до 25 %,**
- 5. достаточно высокие от 25 до 40 %,**
- 6. средние от 40 до 60 %,**
- 7. низкие более 60 %.**

Составляющие стока половодья

- Главным источником стока в период половодья является таяние запасов воды в снежном покрове (S). Осадки (x) в период снеготаяния в несколько раз меньше запасов воды в снежном покрове. Условия их стекания близки к условиям стекания талых вод, поэтому эти виды стока суммируем и обозначим как сток талых вод (Y , мм).

Осадки, выпадающие после схода снега на просыхающую поверхность бассейна в основном расходуются на испарение. Но в дождливые годы в лесной зоне они вызывают подъемы расходов воды на спаде половодья. Дождевой сток на спаде определяется с использованием типовой кривой спада.

Сток, за счет глубокого подземного питания определяется по величине расхода воды в конце зимы.

В результате расчленения гидрографа стока половодья по типам водного питания (рис.1) определяются три составляющие суммарного стока (в мм слоя воды):

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

Наводнение в Красноярске





28 4 2005

Составляющие стока весеннего половодья

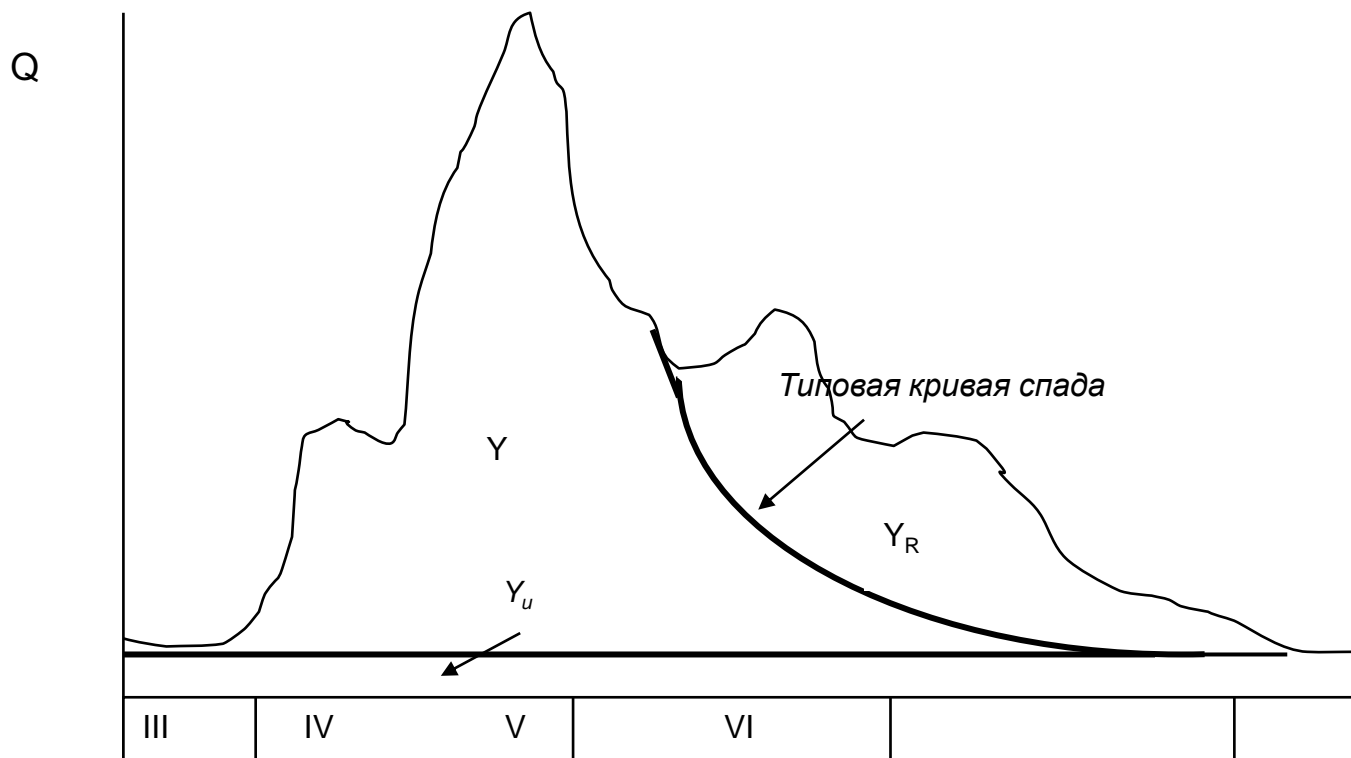


Рис.1. Расчленение гидрографа половодья видам водного питания

Физико-статистический воднобалансовый метод прогноза талого стока

• Метод в основе своей опирается на уравнение водного баланса, записанного в форме уравнений стока для емкостного или инфильтрационно-емкостного типов поглощения воды бассейном. В случае емкостного типа водопоглощения просачивание воды в почву происходит практически с той же скоростью, с которой она поступает на поверхность почвы. Сток становится возможным только с тех участков бассейна, на которых заполнилась водоудерживающая емкость. Распределение слоя заполнения водоудерживающей емкости (h) на площади водосбора задается с помощью функции $\varphi(h)$

$$\varphi(h) = \frac{A_a(h)}{A - A_0},$$

где $A_a(h)$ – действующая площадь, в пределах которой полностью заполнена водоудерживающая емкость при поступлении слоя воды h на поверхность бассейна; A – площадь бассейна; A_0 – величина бессточной площади в бассейне, в пределах которой водоудерживающая емкость очень велика и никогда не заполняется (например, бессточные озера с их площадями водосборов, или территории, покрытые с поверхности толщей песчаных отложений, полностью переводящих поверхностный сток в подземный, который достигает русел рек и ручьев уже после прохождения половодья).

Интеграл Е.Г. Попова

- Пусть известны количество талой воды (St) и слой жидких осадков (xt) за период от начала снеготаяния до момента t . Суммарный слой воды $Ht = St + xt$ поступит за рассматриваемый период на заполнение водоудерживающей емкости.

Пусть слой воды Ht увеличится на величину dh . Тогда объем стока dW , обусловленный поступлением слоя воды dh , равен

$$dW(h = Ht) = Aa(Ht)dh = (A - A_0)\varphi(Ht) dh.$$

Объем стока, обусловленный поступлением всего слоя воды Ht , составит

$$Y(H_t) = \frac{W(H_t)}{A} = \frac{A - A_0}{A} \int_0^{H_t} \varphi(h) dh,$$

$$Y(H_t) = (1 - w) \int_0^{H_t} \varphi(h) dh,$$

где $w = A_0/A$ – доля постоянно бессточной площади в речном бассейне.

Испарение и инфильтрации в интегральных уравнениях талого и дождевого стока

J, Z – инфильтрация и испарение воды в период снеготаяния;

K_c – коэффициент потерь стока на спаде половодья

$$Y = K_c \left(1 - w \int_0^{X-J-Z} \varphi(h) dh \right)$$

Пусть $H = X - J - Z$. Преобразуем $H = X \left(1 - \frac{J + Z}{X} \right) = \eta X$
 где $\eta = \left(1 - \frac{J + Z}{X} \right)$.

Тогда $Y = a \left[X - P f \left(\frac{H}{P} \right) \right]$. где $\alpha = K_c \eta (1 - w)$
 $f \left(\frac{H}{P_0} \right)$ – функция потерь стока.

$$f \left(\frac{H}{P} \right) = th \left(\frac{H}{P} \right); \quad f \left(\frac{H}{P} \right) = 1 - \exp \left(- \frac{H}{P} \right); \quad f \left(\frac{H}{P} \right) = \left[1 + \left(\frac{H}{P} \right)^{-n} \right]^{-1/n}$$

Уравнения, в которых параметр потерь изменяется в зависимости от предшествующего увлажнения бассейна	№ формулы	Уравнения, в которых изменение предшествующего увлажнения учитывается через слой начального заполнения водоудерживающей емкости бассейна (U), либо через слой поглощенной воды (I)	№ формулы
$Y = \alpha \left[X - P \operatorname{th} \left(\frac{P}{X} \right) \right]$	(3.16)	$Y = \alpha \left[(X + U) - P \operatorname{th} \left(\frac{X + U}{P} \right) \right]$	(3.20)
$Y = \alpha \left\langle X - P \left[1 - \exp \left(- \frac{X}{P} \right) \right] \right\rangle$	(3.17)	$Y = \alpha \left\langle (X + U) - P \left[1 - \exp \left(- \frac{X + U}{P} \right) \right] \right\rangle$	(3.21)
$Y = \alpha \left\langle X - P \left[1 + \left(\frac{X}{P} \right)^{-n} \right]^{-1/n} \right\rangle$	(3.18)	$Y = \alpha \left\langle (X + U) - P \left[1 + \left(\frac{X + U}{P} \right)^{-n} \right]^{-1/n} \right\rangle$	(3.22)
Обозначения			
$\alpha = \eta K_c (1 - \omega); \quad \eta = 1 - \frac{J + Z}{X}; \quad H = \eta X;$ $P = \frac{P_0}{\eta}.$		$\alpha = \eta K_c (1 - \omega); \quad \eta = 1 - \frac{J + Z}{X + U}; \quad H = \eta (X + U);$ $P = \frac{P_{\max}}{\eta}.$	

Эмпирические зависимости для учета начального увлажнения бассейна

Параметр потерь P

$$P = d - c \lg(m - m_{\min} + 1)$$

m – показатель увлажнения бассейна.

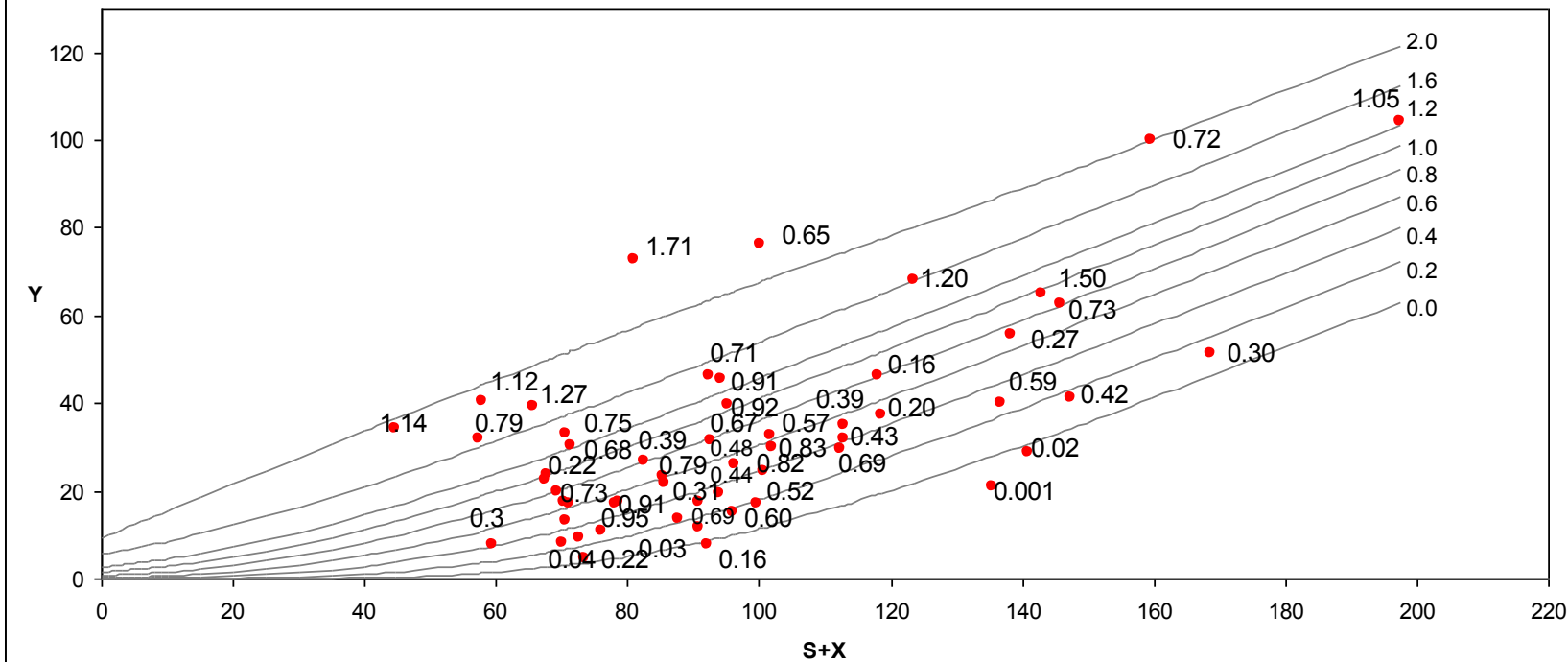
Слой начального заполнения водоудерживающей емкости бассейна

$$U = d_1 + c_1 \lg(m - m_{\min} + 1)$$

Оценка коэффициента «спадовых» потерь стока

- Приняты следующие условия:
 - $(i+z)$ в период истощения (спада) склонового стока в среднем равно 3.0 – 3.5 мм/сутки;
 - действующая площадь $f(t)$ в период спада склонового стока сокращается по экспоненте [6,12];
 - доля склонового стока на спаде (по отношению к стоку за половодье) зависит от продолжительности истощения (спада), изменяясь в различных ландшафтах от 0.05 до 0,40.
- В этих условиях изменяется от 0.75 в заболоченных низменностях до 0.90 – 0,95 в условиях пересеченного рельефа.

р. Большая Уря - п. Малая Уря

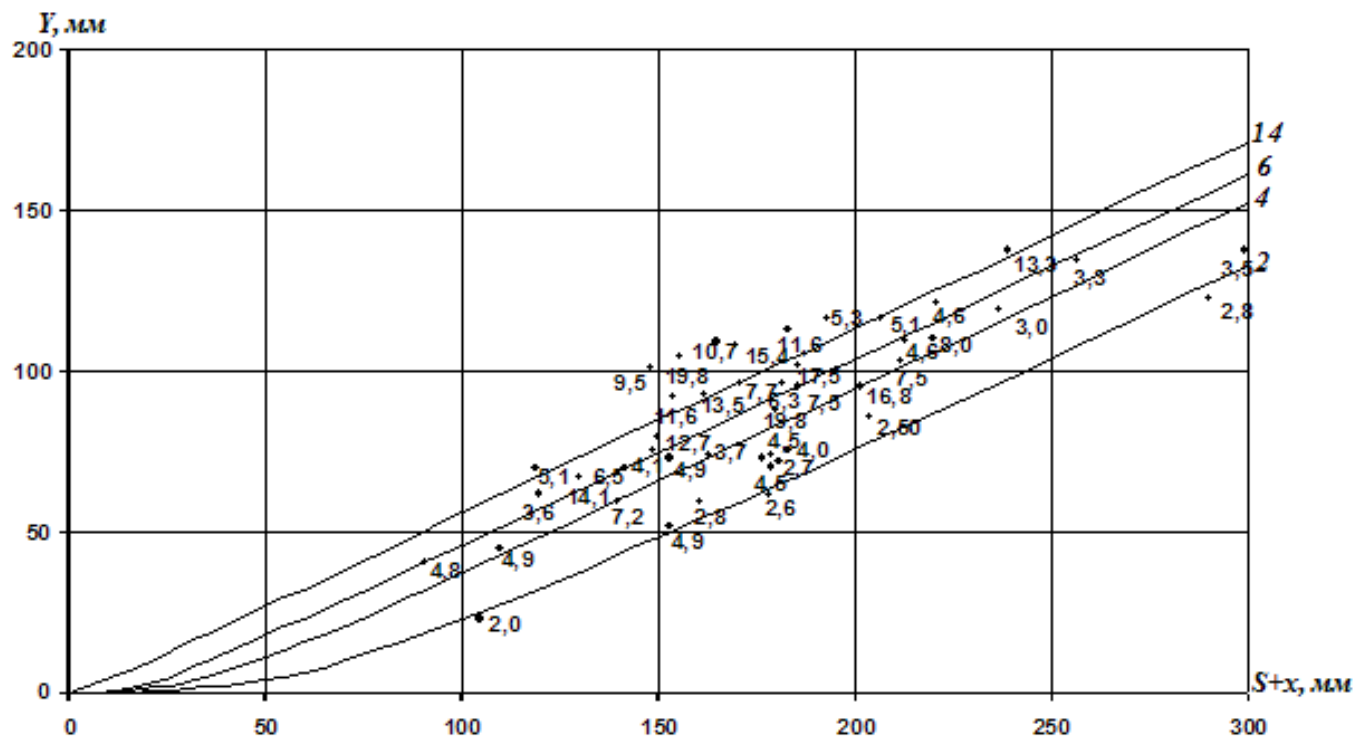


$$Y = 0,608 \left\{ H - 100 \left[1 + \left(\frac{H}{100} \right)^{-3,99} \right]^{-\frac{1}{3,99}} \right\}$$

$$H = (S+x) + U,$$

$$U = 5,00 + 197,7 \lg(m - m_{\min} + 1)$$

р. Васюган – с. Новый Васюган



$$Y = 0,576 \left\{ (S + x) - P \left[1 + \left(\frac{S + x}{P} \right)^{-2,405} \right]^{-\frac{1}{2,405}} \right\}, \quad \text{где}$$

$$P = 72,261 - 74,355 \times \lg(m + 1), \quad m = Y_{10} - 1,95$$

Комплексная оценка факторов, влияющих на параметр α

Река- пункт	Сумма осадков за год (Σ), мм	Максимально возможное испарение за май-август (Z_{max}), мм по О.В. Мефенцевой (2010)	Показатель обеспеченности влагой и теплом Σ/Z_{max}	a	Коэффициент стока талых вод $Y/S+X$	Доля бессточной площади по табл. (1.5)	Лесистость	Озерность	Заболоченность	Коэффициент K_c
Васюган – Новый Васюган	533	480	1.25	0.576	0.39	0.14	20	-	75	0.85
Омь – <u>Куйбышев**)</u>	390	520	0.75	0.700	0.23	0.35	25	-	50	0.87
Карасук –Алексеевка	378	540	0.70	0.189	0.14	0.52	17	-	21	0.90
Кулунда – <u>Шимолино</u>	317	550	0.58	0.151	0.07	0.58	10	10	3	0.90
Кучук – Нижний Кучук	305	550	0.55	0.273	0.17	0.48	-	-	-	0.95

Зависимости для прогноза максимальных уровней воды весеннего половодья (Западная Сибирь)

$$H_{max} = aY + H_{min}$$

Расчетная формула

$$H_{max} = a_1 \left\langle X - P \left[1 + \left(\frac{X}{P} \right)^{-n} \right]^{-1/n} \right\rangle^{St} + H_{min}$$

Омь – Куйбышев:

$$H_{max} = 211.542 \left\langle X - P \left[1 + \left(\frac{X}{P} \right)^{-4.000} \right]^{-1/4.000} \right\rangle^{0.224} + 0$$

$$P = 194.198 - 342.44 \lg(m - 0.02 + 1)$$

Критерии качества: 1) зависимости: 0.362; 2) прогноза 0.394

Оправдываемость прогнозов 95 %

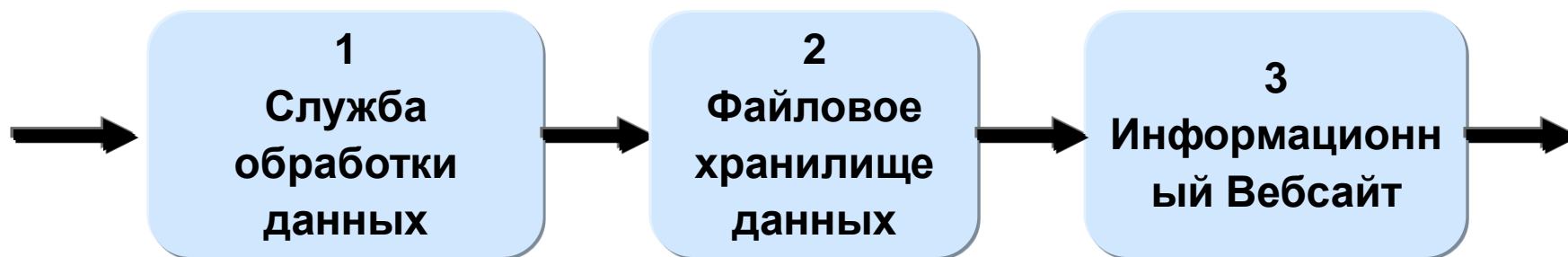
**Космическая информация в моделях прогноза стока
весеннего половодья и притока воды в водохранилища
Енисейских ГЭС**
(оценка площади снегового покрытия)



Для обработки спутниковых изображений, полученных в видимом и инфракрасном диапазонах спектра, создан АРМ (программа) «Snow»

Пакет программ «Служба мониторинга заснеженности» является полностью автоматической системой для непрерывной обработки данных дистанционного зондирования Земли для оценки заснеженности речных бассейнов и средней высоты границы снега.

Пакет программы состоит из трех модулей:

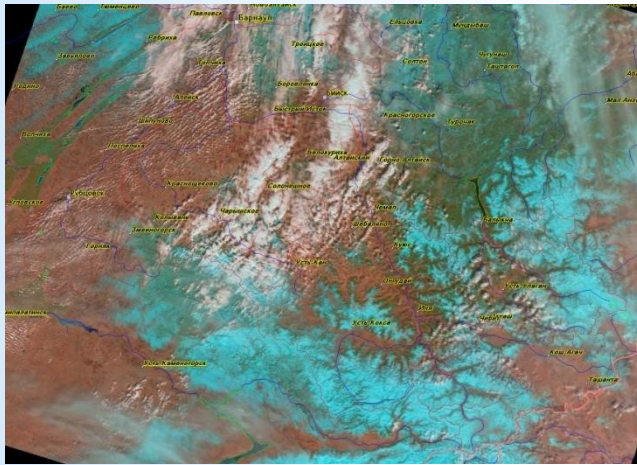


Пакет программ «Служба мониторинга заснеженности»

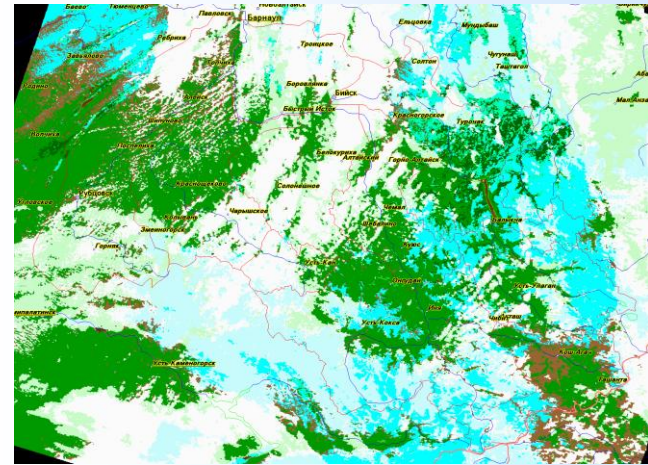
- является масштабируемым, многопоточным приложением,**
- работает полностью автоматически,**
- работает непрерывно 24 часа 7 дней в неделю,**
- добавляет и обновляет данные в течение 30 минут после получения,**
- представляет результаты в виде изображений, отчетов и графиков, и обеспечивает доступ к ним через Интернет**

Сервис службы мониторинга снега

ОБЗОРНЫЙ СНИМОК



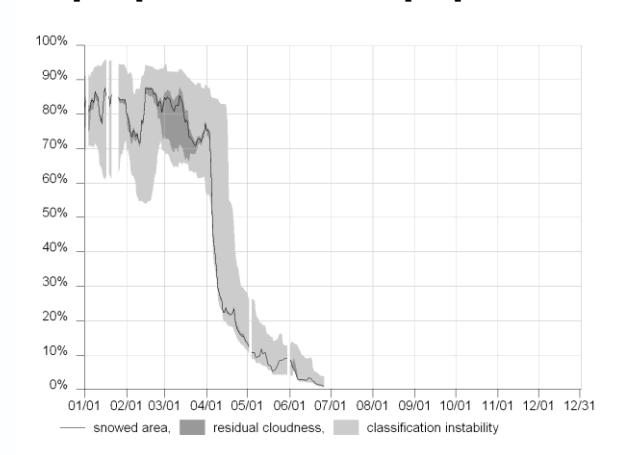
Классификация



Информация о площади покрытия снегом

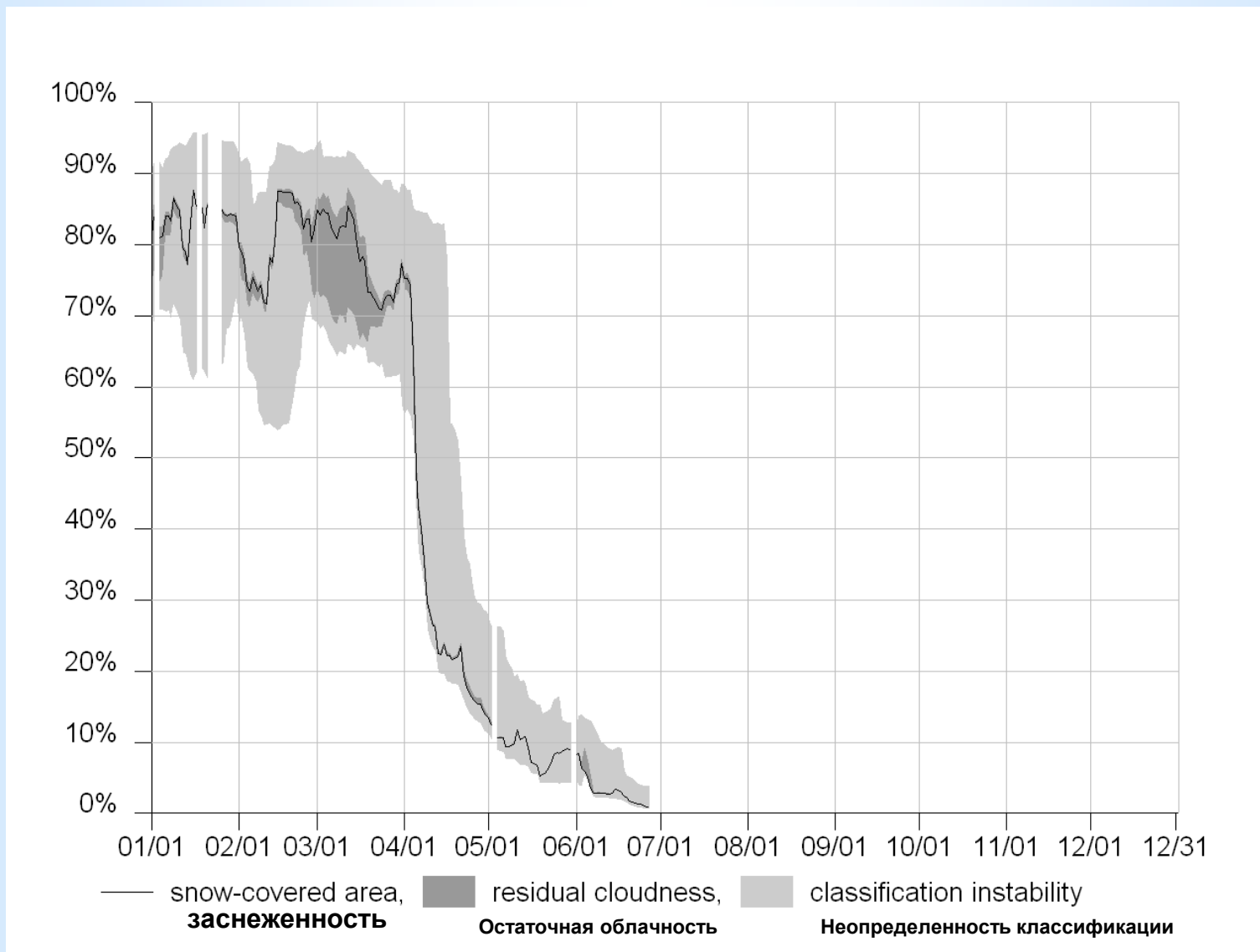
Район	Суточная заснеженность				
	Минимальная, %	Вероятная, %	Максимальная, %	Облачность, %	Нет данных, %
Бассейн	13.00	26.72	64.35	51.35	0.00
р-н Алей	1.64	4.34	63.82	62.18	0.00
р-н Чарьш-1	0.59	1.10	46.99	46.40	0.00
р-н Чарьш-2	0.20	1.20	83.21	83.00	0.00
р-н Кагунь-2	17.88	36.95	69.50	51.63	0.00
р-н Кагунь-3	19.38	27.37	48.57	29.19	0.00
р-н Песчаная	0.48	2.40	80.44	79.96	0.00
р-н Кагунь-1	12.52	22.55	56.99	44.46	0.00
р-н Бия-1	30.27	47.36	66.35	36.09	0.00
р-н Бия-2	35.60	55.38	71.32	35.72	0.00

Графическая информация



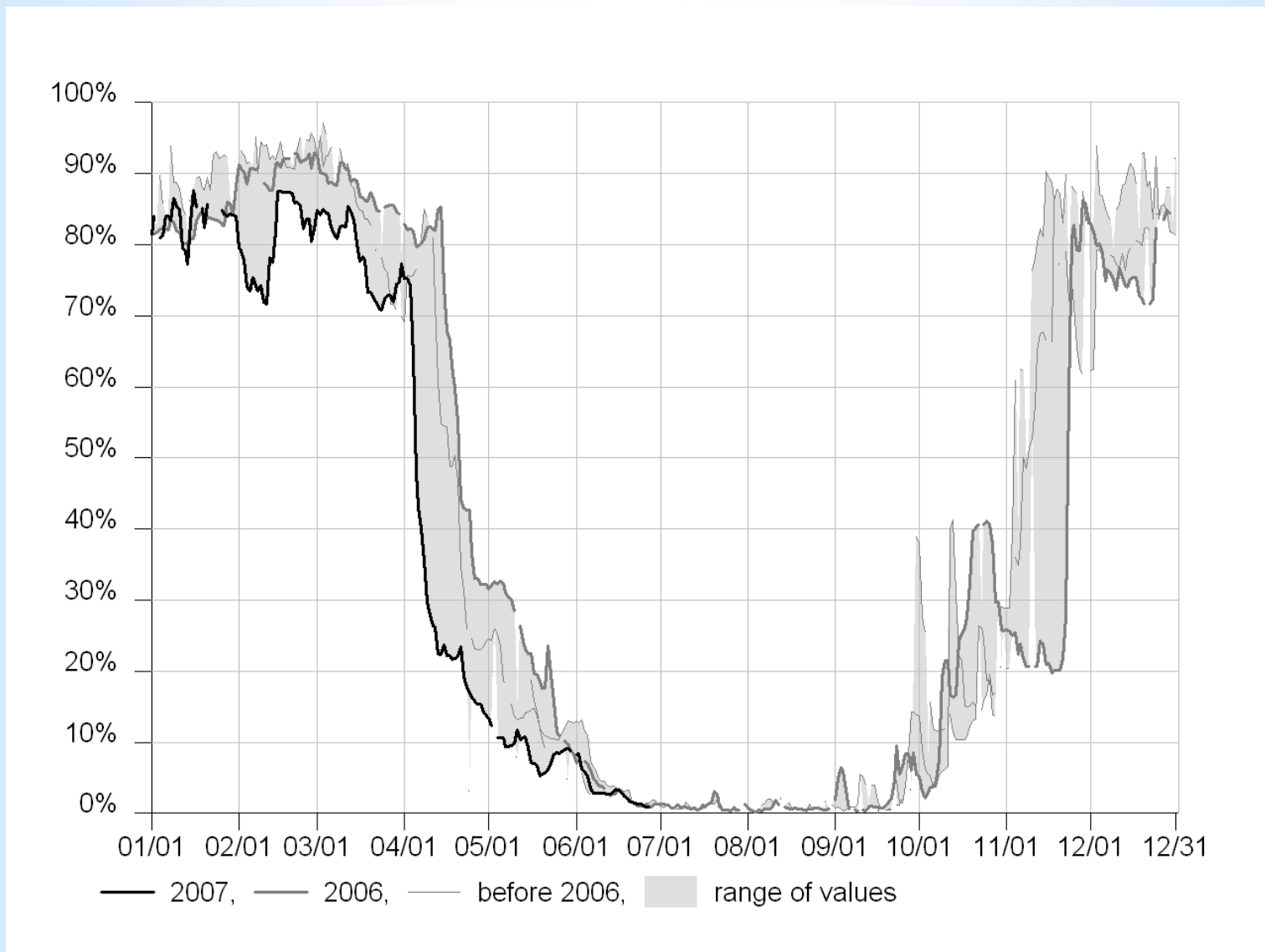
Изменение заснеженности в 2007 году по данным 16-суточных композитов бассейне Верхней Оби

<http://ipoki.akadem.ru/snow/snow-gate.exe?2alt2007ag.html>



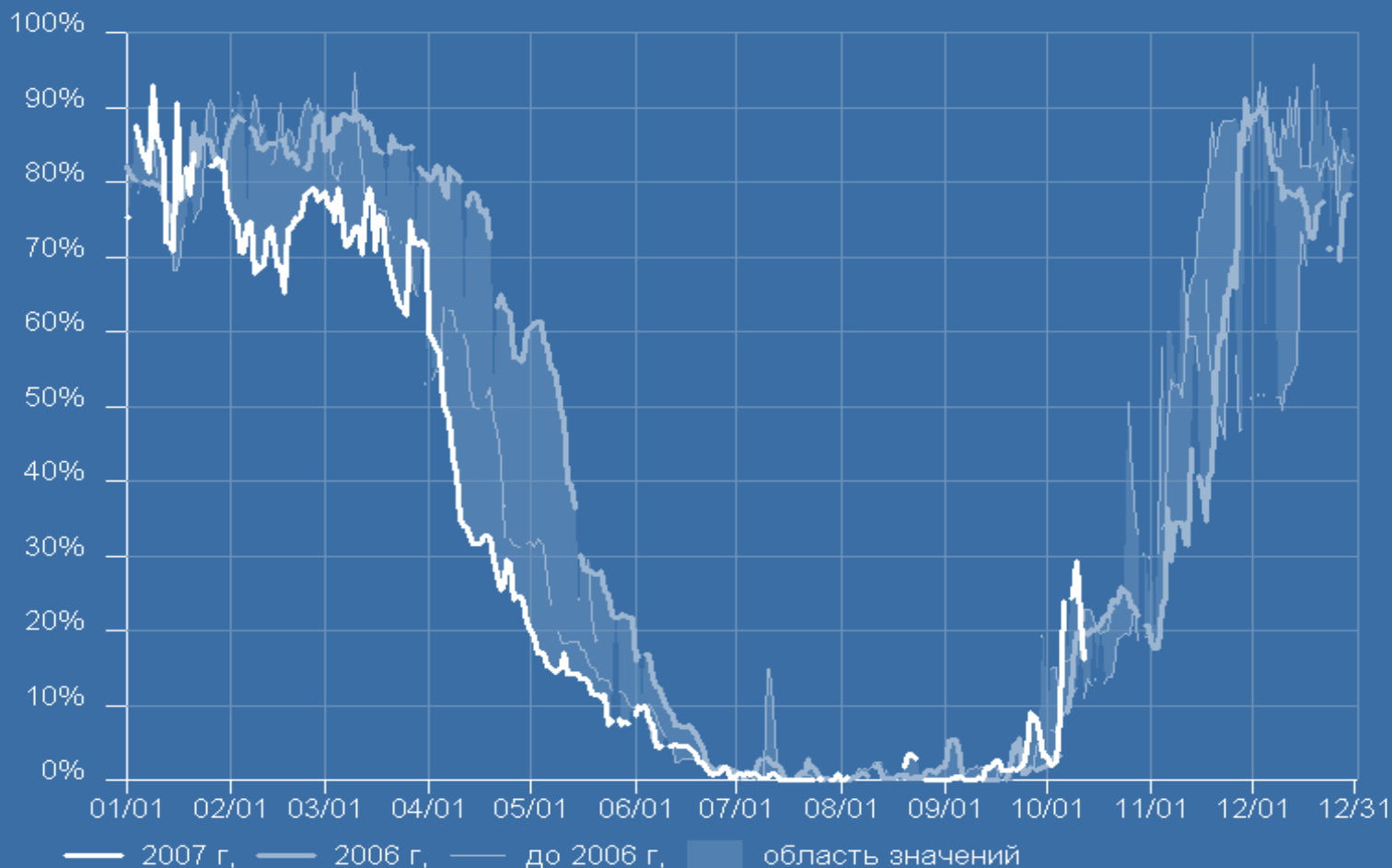
Совмещенные кривые изменения заснеженности в 2004-2007 годах (бассейн Новосибирского водохранилища)

<http://lpoki.akadem.ru/snow/snow-gate.exe?2alttg.html>



Совмещенные кривые изменения заснеженности в 2004-2007 годах в бассейне Красноярского водохранилища

<http://ipoki.akadem.ru/snow/snow-gate.exe?2alttg.html>

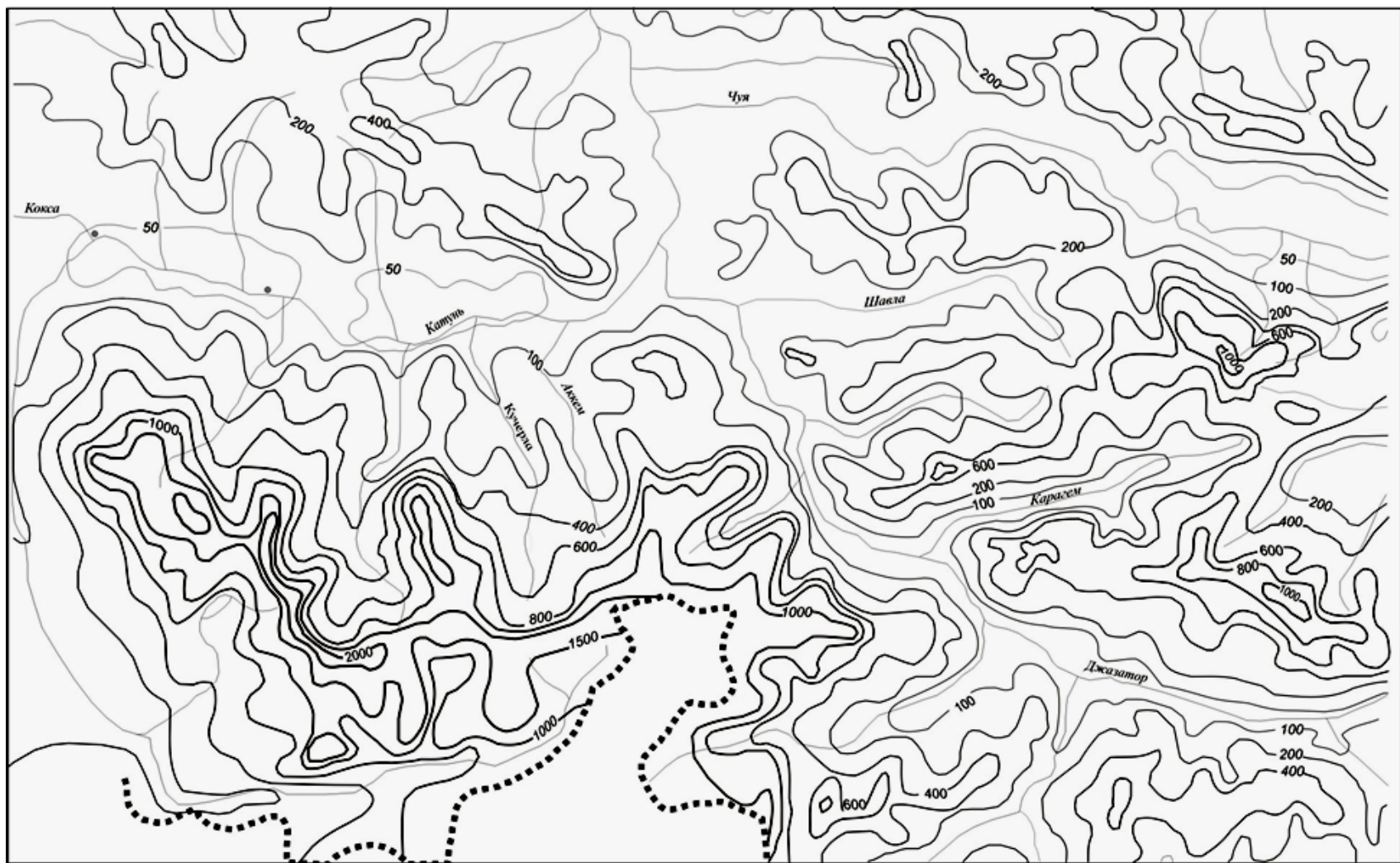


Спутниковая информация, обработанная пакетом программ «Служба мониторинга заснеженности» используется:

Для оптимизации параметров блока снегонакопления и снеготаяния гидролого-математической модели

Для оценки снегонакопления и картирования нормы запаса воды в снеге в горах

Для текущей корректировки прогноза притока воды в водохранилища ГЭС и ежедневных уровней (расходов воды)



Фрагмент карты снегозапасов на 20 марта

с использованием спутниковой информации
(Центральный Алтай, Россия)

Д.Бураков, Н.Игловская, Ю.Нарожный



**The map of water equivalent of snow cover was obtained with using the satellite information
(Tembenchy river basin)**

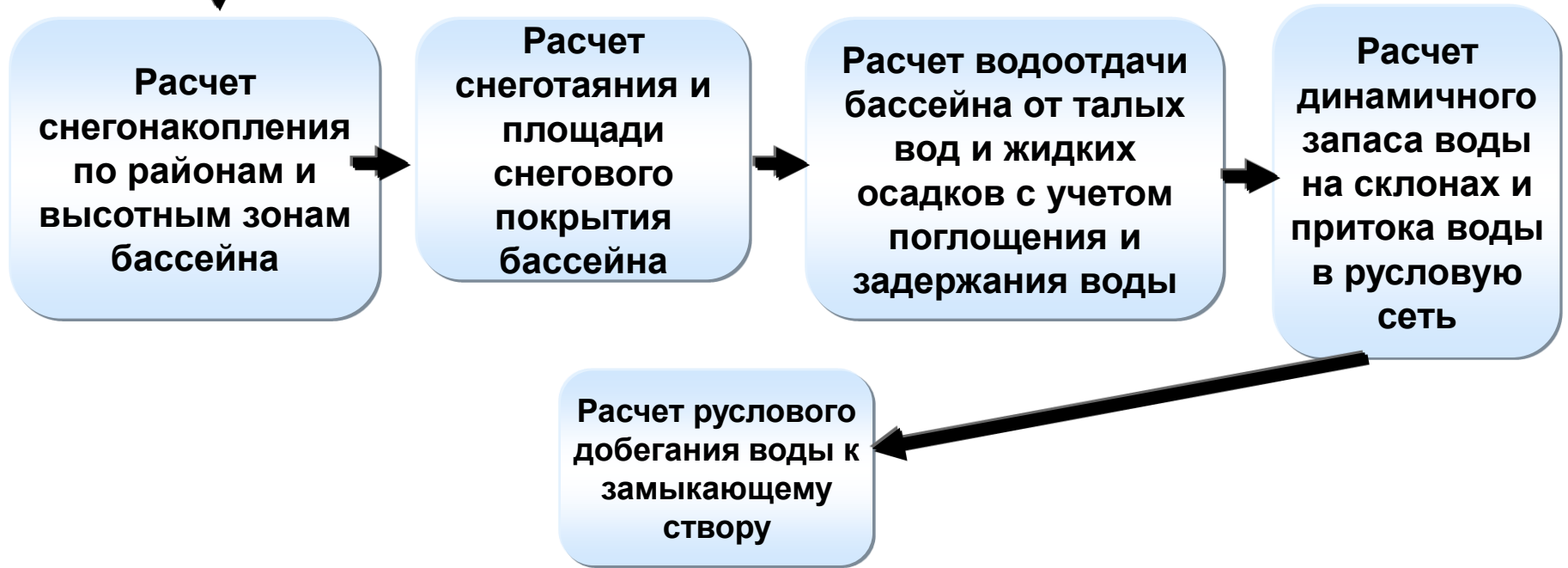


**Разработка и реализация системы
прогноза стока рек и притока воды в
водохранилища сибирских ГЭС**

Гидролого-математическая модель стока – основа прогноза

На практике получили развитие модели, оперирующие с некоторыми осредненными по территории укрупненными показателями («макрогенетический» подход по А.В. Огиевскому).

Структура гидролого-математической модели



Принципы построения модели :

В бассейне выделяются ландшафтно-гидрологические районы и высотные зоны

Пространственная неравномерность снегонакопления и емкостного поглощения учитываются с применением вероятностных распределений

Русловое добегание воды рассчитывается с применением функции плотности распределения вероятности времени добега элементарных объемов воды

Разработана технологическая линия прогноза стока весеннего половодья, ежедневных расходов (уровней) воды и притока воды в водохранилища Сибирских ГЭС, включающая

Программное обеспечение, реализующее расчет (прогноз) и оптимизацию параметров модели стока весеннего половодья и притока воды в водохранилища Енисейских и Обской ГЭС

Пакет программного обеспечения «Snow», предназначенный для обработки спутниковых изображений, полученных в видимом и инфракрасном диапазонах спектра

Программное обеспечение, реализующее модель, позволяет:

Использовать всю доступную информацию (метеорологическую, гидрологическую)

Выдавать кратко- и среднесрочные прогнозы ежедневных уровней и расходов воды, притока воды в водохранилища

Используя встроенную базу данных, моделировать возможные гидрометеорологические ситуации выдавать месячные и квартальные прогнозы с учетом сложившихся начальных условий, и погоды по году-аналогу

Модель прогноза учитывает процессы формирования стока на склонах и в русловой сети:

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

где:

$Q(t + \Delta t)$ – расход воды в замыкающем створе;

t – дата выпуска прогноза;

Δt – заблаговременность прогноза;

n – число ландшафтно-гидрологических районов;

$q_i(t)$ – суммарный приток в русловую сеть с i -ого района;

$f_{q_i}(\tau)$ – кривая добегания бокового притока с i -ого района;

$Q_w(t + \Delta t)$ – составляющая расхода воды, обусловленная истощением начального запаса воды в русловой сети;

Q_{\min} – устойчивое (базисное) питание реки.



Аналоги	
Вариант 1	с 1.04 - 1976, с 1.05 - 1998, с 1.06 - 1979
Новый:	

Характеристики точности расчета ежедневного бокового притока воды в водохранилище Обской ГЭС по модели А – «снеготаяние-осадки-сток»

Заблаговременность, $i=5$ сутки	$i=6$	$i=7$	$i=8$	$i=9$	$i=10$	
Стандартное отклонение за i суток, (м ³ /с)	$\sigma_5=793$	$\sigma_6=896$	$\sigma_7=991$	$\sigma_8=1082$	$\sigma_9=1170$	$\sigma_{10}=1287$
Критерий S/σ ($S=563$ м ³ /с)	0,710	0,628	0,568	0,520	0,481	0,437

Оценка точности расчета **суммарного притока воды** в Обское водохранилище за апрель– июль (IV, V, VI, VII) характеризуется следующими показателями: стандартная ошибка среднего притока составляет 229 м³/с; среднее квадратическое отклонение притока от нормы 484 м³/с; **критерий качества расчета 0.474** (качество методики расчета «хорошее»).

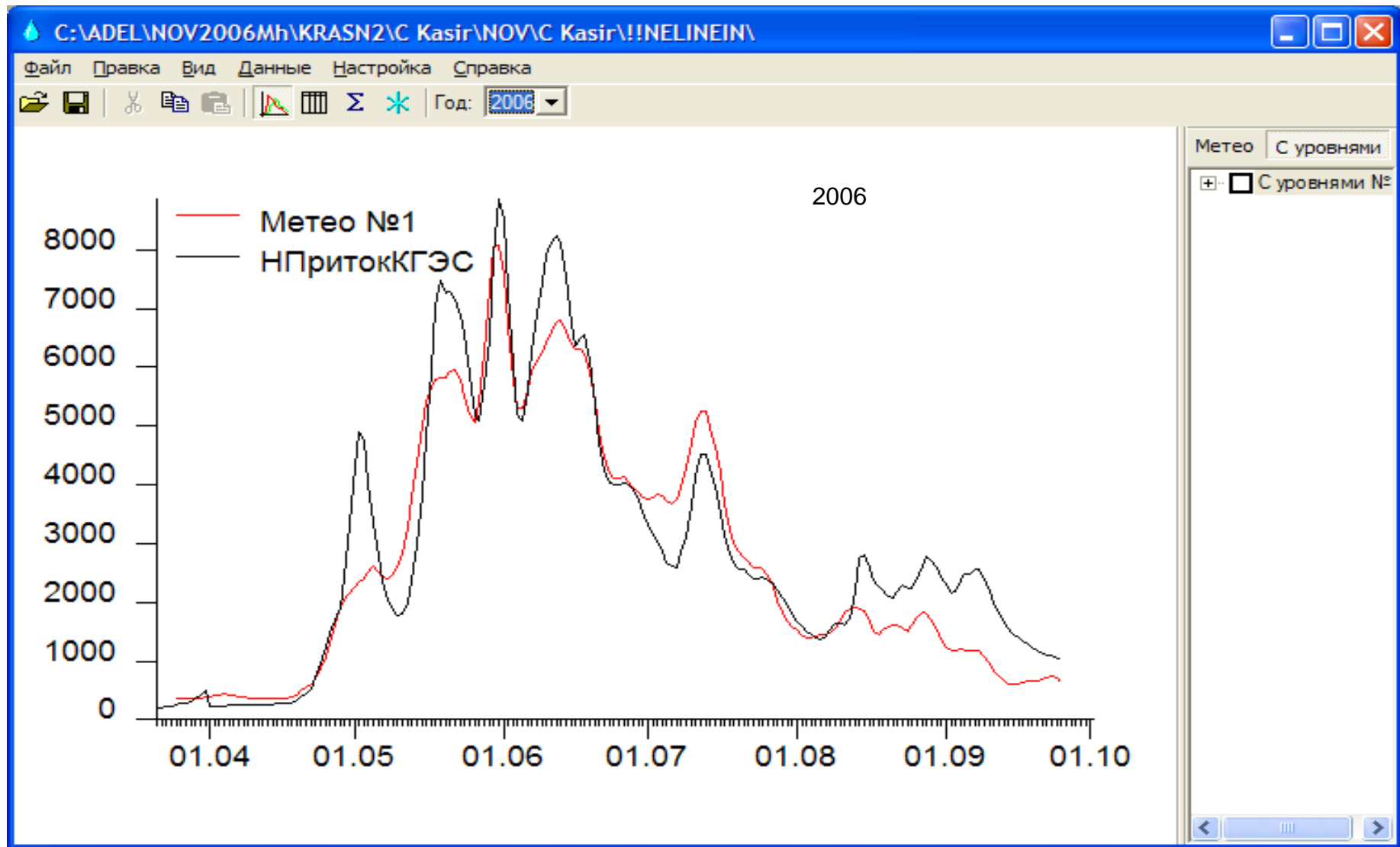
Показатели качества методики расчета ежедневного притока в водохранилище Обской ГЭС

Δt	Заблаговременность прогноза, сутки	1	2	3	4	5	6	7
σ_{δ}	Средняя квадратичная ошибка прогноза	175	267	314	337	353	373	397
σ	Среднее квадратичное отклонение притока за период заблаговременности	227	400	550	680	793	896	991
σ / δ	Критерий методики, вариант 2007 г, данные за 17 лет, апрель - июль	0.77	0.67	0.57	0.50	0.44	0.42	0.40

Показатели качества методики расчета ежедневного притока в водохранилище Красноярской ГЭС

Δt	Заблаговременность прогноза, сутки	1	2	3	4	5	6	7
S	Средняя квадратичная ошибка расчета, м ³ /с	129	227	321	408	467	504	524
σ	Среднее квадратичное отклонение притока за период Δt , м ³ /с	279	525	784	904	1041	1149	1238
S / σ	Критерий методики, вариант <u>2007 г</u> , данные за 22 года, 2-3 квартал	0.46	0.43	0.44	0.45	0.45	0.44	0.42
S / σ	Критерий методики, вариант <u>2006 г</u> , данные за 22 года, 2-3 квартал	0.52	0.45	0.45	0.46	0.45	0.44	0.42

Рассчитанный и фактический гидрограф притока воды в водохранилище Красноярской ГЭС по модели А – «снеготаяние-осадки-сток» (уровни воды на реках и приток на момент выпуска прогноза по модели А не учитываются)



Долгосрочный прогноз притока в водохранилища сибирских ГЭС за второй квартал

Долгосрочный прогноз притока 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.

Оправдываемость декадных прогнозов за апрель-сентябрь в 2007 г составила для Красноярского водохранилища 78%, для Саяно-Шушенского 76%.

В качестве года-аналога можно задать реальный год с характеристиками погоды, близкими к средним многолетним за второй квартал. Так, если принять в качестве среднего года-аналога реальный год (по ходу суточных осадков и температуры воздуха во втором квартале), то критерий качества долгосрочного прогноза квартального притока по модели для Обского водохранилища составит **0.77** (аналог 1990г), для Красноярского **0.60** (аналог 1985г) (методика «удовлетворительная»).

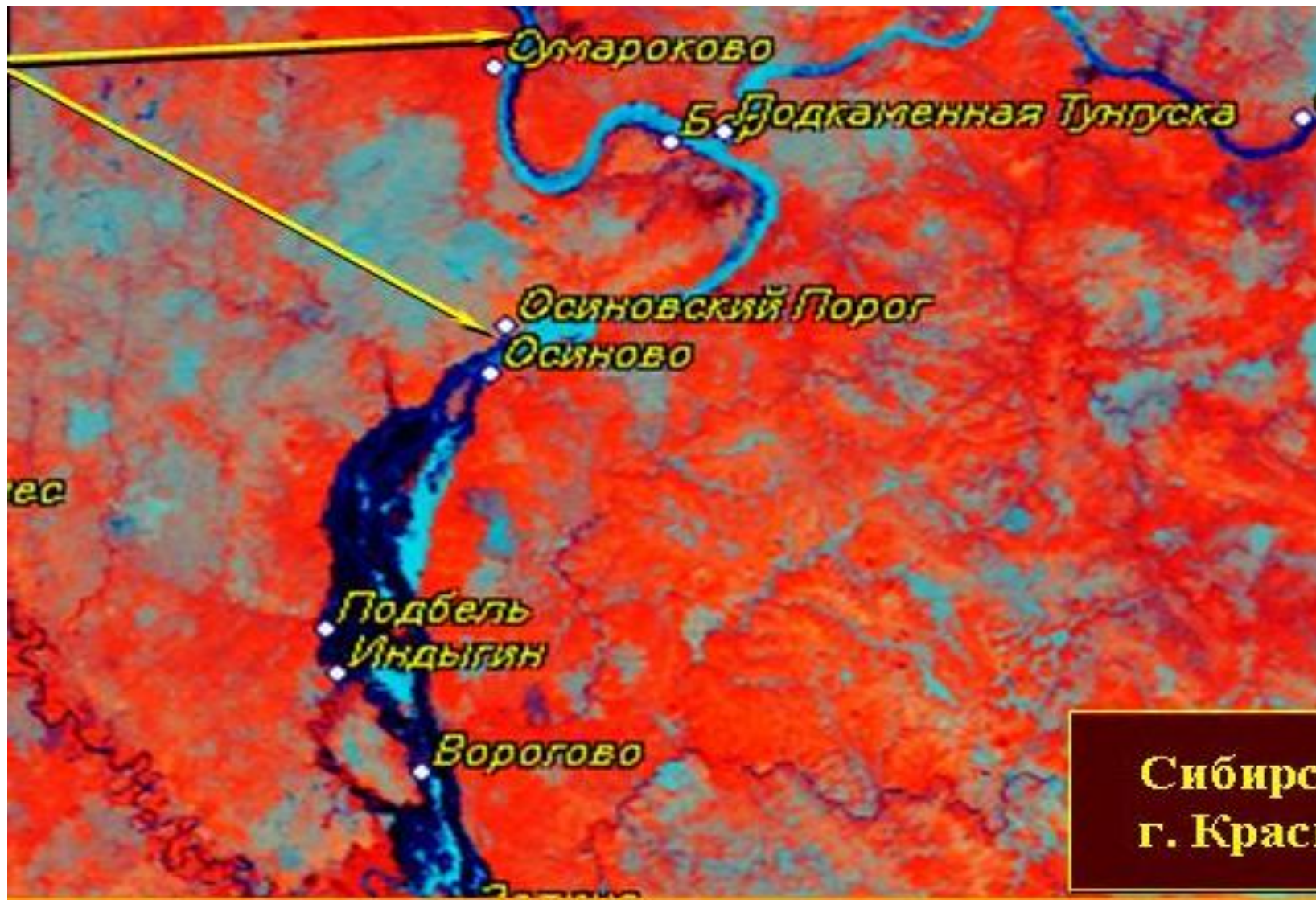
Дальнейшие задачи усовершенствования метода прогноза притока воды в сибирские водохранилища:

- повторная оптимизация параметров модели после накопления информации спутника «Terra» и данных наземных наблюдений (через 2-3 года);
- включение в модель дополнительных пунктов наблюдений за уровнями воды;
- постановка исследований весеннего стока средних рек в отдельных районах рассматриваемого бассейна для обоснования новых способов оценки показателей водопроницаемости почв;
- накопление и обобщение опыта прогноза декадного, месячного и квартального притока в процессе практического использования модели с применением различных способов задания метеорологической информации за период заблаговременности прогнозов (по данным года-аналога, выбираемого с учетом долгосрочных прогнозов погоды по методам ГМЦ России, Института Арктики, СибНИГМИ, Иркутского и Красноярского ГМЦ и др.);
- использование приемов текущей коррекции прогноза

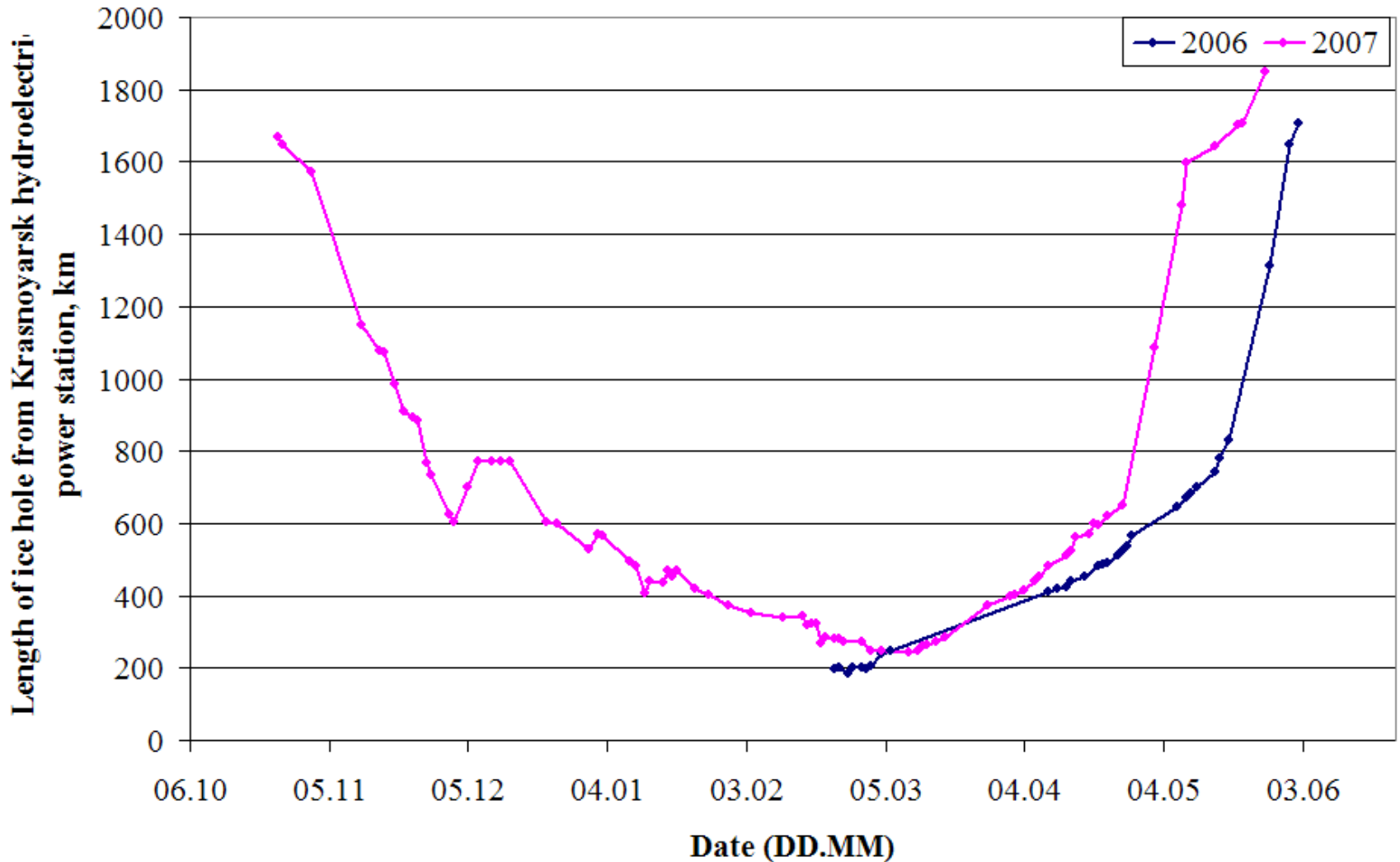
Половодье в 2007 г

- В 2007 к концу марта в речном бассейне Енисей, на его основных притоках Ниже Красноярской ГЭС (Кан, Ангара, Подкаменная Тунгуска) накопилось большое количество снега - полтора - две нормы. Можно было ожидать большой объем половодья и, вероятно, критические максимальные уровни.
- Но очень теплая погода в марте, апреле и начале мая сгладила ситуацию. Например, в Енисейске средняя месячная температура воздуха в марте была $-8,5^{\circ}\text{C}$ при норме $-10,4^{\circ}\text{C}$; в апреле $+5,3^{\circ}\text{C}$, норма $-0,8^{\circ}\text{C}$. Максимальные уровни воды оказались близкими к норме, т.е. ниже ожидаемых.
- Однако, на отдельных участках Енисея и Ангары вследствие заторов льда прошли высокие уровни воды: р. Ангара - д. Каменка, р. Енисей - с. Ярцево и р. Енисей - с. Ворогово.

Затор в районе с. Ворогово 2 мая 2007 г (Терра)



Движение кромки ледохода в 2006-2007 на ЕНИСЕЕ



Максимальные уровни воды в 2006 - 2007 на Енисее

Река-пункт	2006 <u>H_{max}, см</u> средний	2007 <u>H_{max}, см</u> средний	Наивысший за период наблюдений <u>H_{max}</u> год	H, см Начала подтопле ния	H _{max} , см 2007 прогноз
Енисей- Енисейск	<u>886</u> 882	<u>834 04/10</u> 822	<u>1158</u> 2001	950	958
Енисей- Назимово	<u>594</u> 650	<u>823 05/02</u> 650	<u>1174</u> 2000	1050	881
Енисей- Ярцево	<u>840</u> 994	<u>1408 jam 05/01</u> 994	<u>1515</u> 2000	947	1303
Енисей - Ворогово	<u>1104 jam</u> 970	<u>1306 jam 05/02</u> 970	<u>1430</u> 1999	1040	1281
Енисей – Подкаменная Тунгуска	<u>1797 jam</u> 1765	<u>1745 jam 05/03</u> 1765	<u>2089</u> 2001	1950	1702

Максимальные уровни воды на р. Томи у г. Томска

Фактический H_{\max}			№ формулы	Прогноз					
				2005		2006		2007	
2005	2006	2007		H_{\max}	Ошибка	H_{\max}	Ошибка	H_{\max}	Ошибка
633	708	681	1	571	66	617	91	664	17
			2	582	55	686	22		
			3	576	61	706	2		
			4	567	66	714	-6		

ДОЛГОСРОЧНЫЕ ПРОГНОЗЫ МАКСИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ НА ЗАТОРООПАСНЫХ УЧАСТКАХ



После пуска ГЭС на Енисее, ниже плотины зимой образуется полынья от 60 до 300 км длиной. Характерным явлением при замерзании Енисея стали подвижки льда при потеплениях, вызывающие разрушение и перемещение кромки ледостава на некоторое расстояние вниз по течению. Подвижки льда приводят к образованию пробок льда, за счет чего происходит дополнительный подъем на 1 – 3 метра и без того высоких зимних уровней воды. В течение весны, заторы происходят на участках, где формировались зимние скопления льда.

**Принципы построения моделей долгосрочного прогноза
максимальных уровней воды :**

Подбор предикторов производится на основе физического анализа условий формирования максимальных уровней воды

Для получения прогностических уравнений используется статистический метод множественной линейной регрессии

ИСПОЛЬЗУЮТСЯ СЛЕДУЮЩИЕ ПРЕДИКТОРЫ:

Температура воды ниже плотины. Расстояние до кромки ледостава, либо величина продвижения кромки ледостава.

Продолжительность ледостава в пунктах, расположенных на небольшом расстоянии от кромки.

Толщина льда.
Сбросы ГЭС.
Характеристики уровней воды (предледоставных и зимних).

Метод прогноза максимальных уровней воды на р Томи у г. Томска

- 1. Уравнение для выпуска прогноза в конце третьей декады марта (предварительный прогноз):
- **$HT_{max} = 0.597 * ST - 16.978 * t_{п} - 2.055 * H1 + 523,217$** ,
(5.1)
- показатели точности: $R = 0.777$, критерий качества прогноза $S/\sigma = 0.656$;
- 2. Уравнение для выпуска прогноза в конце третьей декады марта, с учетом выраженного в отдельные годы подпорного влияния Оби, (обобщенный показатель $H3$):
- **$HT_{max} = 0.670 * ST - 17.597 * t_{п} - 1.653 * H2 + 1,172 * H3 + 499,476$**
(5.2)
- показатели точности: $R = 0.806$, критерий качества прогноза $S/\sigma = 0.625$;
- 3. Уравнение для выпуска прогноза в конце второй декады апреля, с учетом температуры воздуха за первую и вторую декады апреля:
- **$HT_{max} = 0.630 * ST - 15.306 * t_{п} - 2.206 * H1 - 14,273 * T1 + 527,982$** ,
(5.3)
- показатели точности: $R = 0.872$, критерий качества прогноза $S/\sigma = 0.525$;

Оправдываемость прогнозов в 2010 г

Таблица 1. Сводная таблица оправдываемости прогноза максимальных уровней весеннего половодья.

река - пункт	допустимая	N _{max} фактический, см	прогноз по методу <u>Д.А.Буракова</u>		ошибка	оценка	оперативный прогноз ГМЦ	ошибка	оценка
			основной	уточнение					
Томь – Кемерово	± 68	763	779		-16	опр.	685	78	неопр.
				775	-12	опр.			
Томь – Томск	± 72	843	793		50	опр.	820	23	опр.
				844	-1	опр.			
Томь - Новокузнецк	± 55	666	698		-32	опр.	605	61	неопр.
				691	-25	опр.			
Томь - Междуреченск	± 43	418	399		19	опр.	450	-32	опр.
				378	40	опр.			
				397	21	опр.			

ОБОЗНАЧЕНИЯ переменных в формулах для прогноза $H_{\text{макс}}$ р. Томи у г. Томска

- ST- запас воды в снеге на 31 марта, Кузедеево;
- t_p - температура почвы за февраль на глубине 0,8 м, Киселевск;
- T1- средняя температура воздуха за первую и вторую декады апреля, Томск
- $H1 = 0,4 \cdot (H_{20.03} - H_{10.03}) + 0,6 \cdot (H_{31.03} - H_{20.03})$, сумма изменения уровня воды за вторую и третью декады марта с учетом весовых коэффициентов, р. Томь – г. Томск.
- $H2 = (H_{20.03} - H_{10.03}) + (H_{31.03} - H_{20.03})$, сумма изменения уровня воды за вторую и третью декады марта, р. Томь – г. Томск
- $H3 = (H_{31.03} - H_{20.03})$, изменение уровня воды третью декаду марта, р. Томь – с. Козюлино
- X1 – сумма осадков за вторую декаду апреля, Междуреченск

A long-exposure photograph of a bridge at night. The bridge has multiple arches and is illuminated with warm lights. The sky is dark blue with numerous white light trails from long-exposure photography. The water in the foreground is dark, with bright, vertical streaks of light reflecting the bridge's lights.

**THIS IS THE END OF
PRESENTATION, LADIES AND
GENTLEMEN.**

**I SHOULD LIKE TO THANK YOU FOR
YOUR KIND ATTENTION.**