

ПОСТРОЕНИЕ ПОЛЕЙ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПУТЁМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Л.С. Кучмент¹, А.Н. Гельфан¹, П.Ю. Романов²,
В.Н. Демидов¹

¹Институт водных проблем Российской академии наук, Москва, Россия

²Институт климатических исследований, Мэрилендский Университет, США

*Шестая Всероссийская Открытая конференция «Современные проблемы
дистанционного зондирования Земли из космоса» ИКИ РАН, 10 – 14 ноября
2008 г.*

Содержание доклада

1. Введение: перспективы использования спутниковых данных о снежном покрове в задачах гидрологии речных бассейнов.
2. Описание района исследований, использованных математических моделей гидрологических процессов и данных измерений
3. Методика расчета полей характеристик снежного покрова на водосборах лесной зоны путем совместного использования наземных и спутниковых измерений в математических моделях снежного покрова.
4. Использование спутниковых данных о динамике покрытости территории снегом для апдейтинга результатов моделирования. Оценка точности моделирования полей характеристик снежного покрова по данным о речном стоке.
5. Заключение.

1. Введение: перспективы использования спутниковых данных о снежном покрове в задачах гидрологии речных бассейнов.

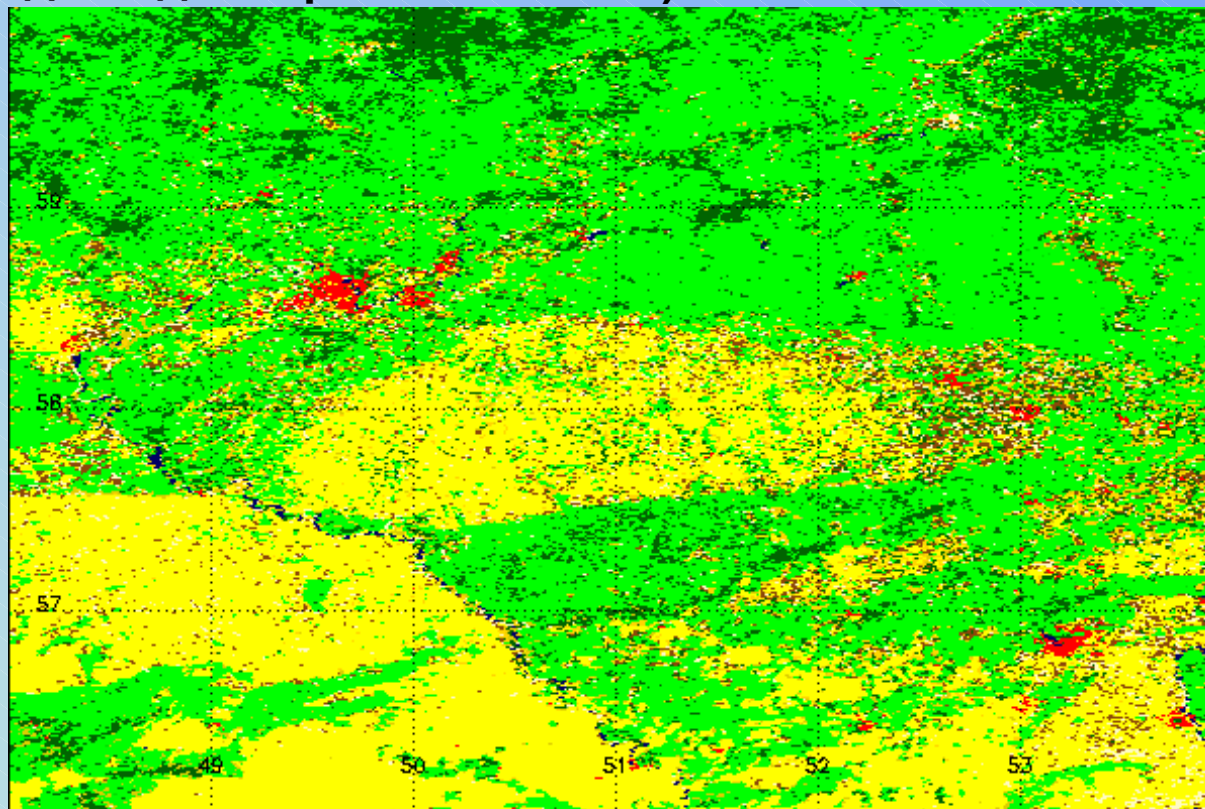
Спутниковые измерения приобретают все большее значение для учета пространственной и временной изменчивости характеристик снежного покрова в задачах гидрометеорологии, особенно для территорий с редкой сетью наземных снегомерных наблюдений.

Для решения многих практических задач точность спутниковых измерений характеристик снежного покрова пока недостаточна, причем наибольшие ошибки наблюдаются для территорий с лесной растительностью.

Уточнение оценок характеристик снежного покрова и обеспечение их непрерывности возможно путем совместного использования наземных и спутниковых измерений с априорной информацией, содержащейся в математических моделях снежного покрова.

2. Описание района исследований, использованных математических моделей гидрологических процессов и данных измерений

Исследования велись на примере территории, площадью порядка 200 тыс. км², расположенной на востоке Европейской части России (между 56° с.ш. и 60° с.ш. и от 48° в.д. до 54° в.д.) и включающей бассейн р. Вятка (площадь водосбора 124 тыс. км²)



MODIS-based Land Classes (UMD scheme)

0	Water	5	Mixed Forest	10	Grassland
1	Evergreen Needleleaf Forest	6	Closed Shrubland	11	Undefined
2	Evergreen Broadleaf Forest	7	Open Shrubland	12	Cropland
3	Deciduous Needleleaf Forest	8	Woody Savannas	13	Urban and Built-up
4	Deciduous Broadleaf Forest	9	Savannas	14	Undefined

Типы
землепользования
в пределах
исследуемого
региона

Модель формирования снежного покрова и снеготаяния

$$\frac{dH}{dt} = \rho_w [X_s \rho_0^{-1} - (S + E_s)(\rho_i i)^{-1}] - V$$

$$\frac{d}{dt}(\rho_i i H) = \rho_w (X_s - S - E_s) + S_i$$

$$\frac{d}{dt}(\rho_w w H) = \rho_w (X_l + S - E_l - R) - S_i$$

$$C_s \frac{d}{dt}(T_s H) = Q_a - Q_g - \chi \rho_w S + \chi \rho_i S_i$$

$$S = (Q_{sw} + Q_{lw} - Q_{ls} + Q_T + Q_E + Q_P)(\rho_w \chi)^{-1}$$

Составляющие водного и теплового баланса снежного покрова под пологом леса рассчитываются с учетом процессов задержания осадков кронами деревьев и абляции задержанного снега, влияния лесной растительности на радиационный и турбулентный теплообмен снежного покрова с атмосферой.

Тепло- и влагоперенос в мерзлой почве

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\rho_i}{\rho_w} \frac{\partial I}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Z} \left(K \frac{\partial \Psi}{\partial z} - K \right)$$

$$C_{ef} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \rho_w C_w \left(K \frac{\partial \Psi}{\partial z} - K \right) \frac{\partial T}{\partial z} + \rho_i \chi \frac{\partial I}{\partial t}$$

Поверхностный и подповерхностный сток

$$\frac{\partial(hB)}{\partial t} + \frac{\partial(qB)}{\partial x} = q_c$$

$$q = i^{0.5} h^{1.67} B n^{-1}$$

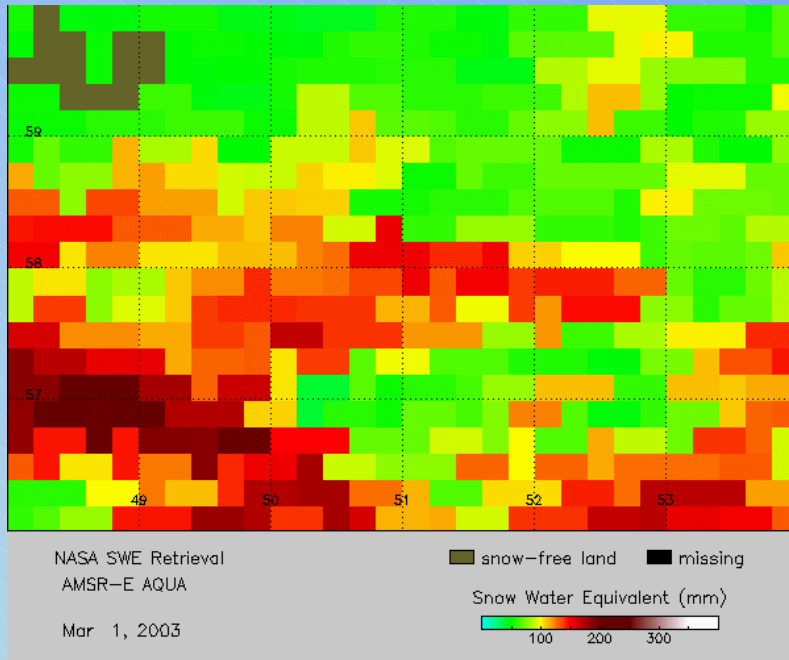
$$(\theta_m - \theta_f) \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = G$$

$$q = K(H) i_0 h$$

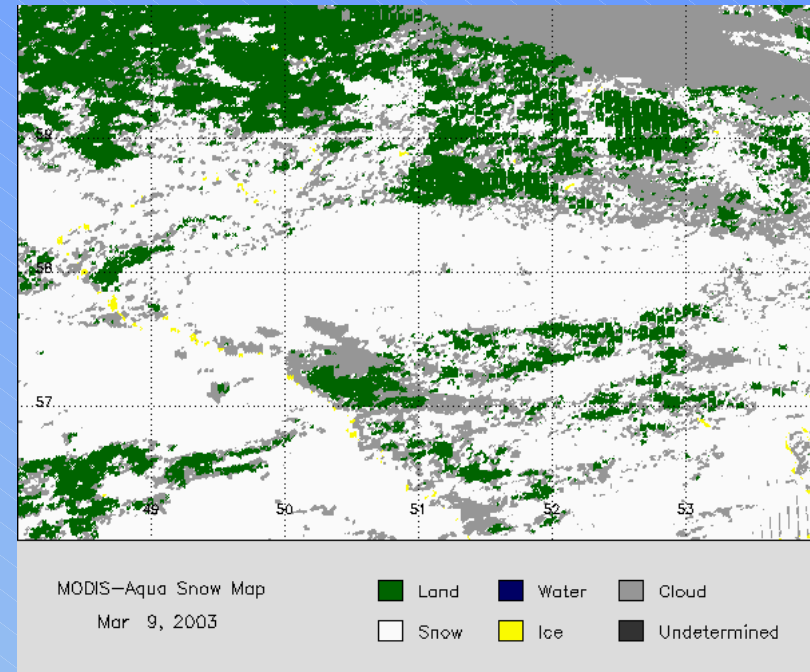
Спутниковая информация, использовавшаяся при моделировании полей снежного покрова

№ п/п	Характеристика подстилающей поверхности	Спутник	Радиометр	Пространственное разрешение по широте и долготе	Частота измерений	Период измерений
1	Запас воды в снежном покрове	AQUA	AMSR-E	0.20°×0.20°	1 раз в сутки	01.03-30.05 2003-2005 гг.
2	Покрытость территории снегом	TERRA	MODIS	0.01°×0.01°	1 раз в сутки	01.03-30.05 2003-2005 гг.
3	Температура подстилающей поверхности	TERRA	MODIS	0.01°×0.01°	Дважды в сутки	01.03-30.05 2003-2005 гг.
4	Альbedo подстилающей поверхности	TERRA	MODIS	0.05°×0.05°	1 раз в 16 суток	01.03-30.05 2003-2005 гг.
5	Тип подстилающей поверхности	NOAA	AVHRR	0.01°×0.01°	Статические данные	
6	Вид лесной растительности	NOAA	AVHRR	0.01°×0.01°		
7	Густота лесной растительности	NOAA	AVHRR	0.01°×0.01°		

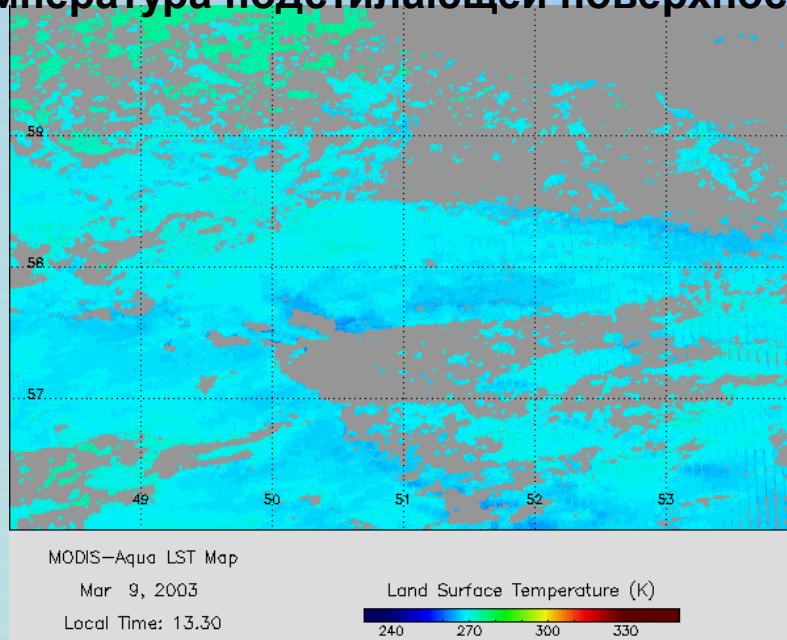
Запас воды в снежном покрове



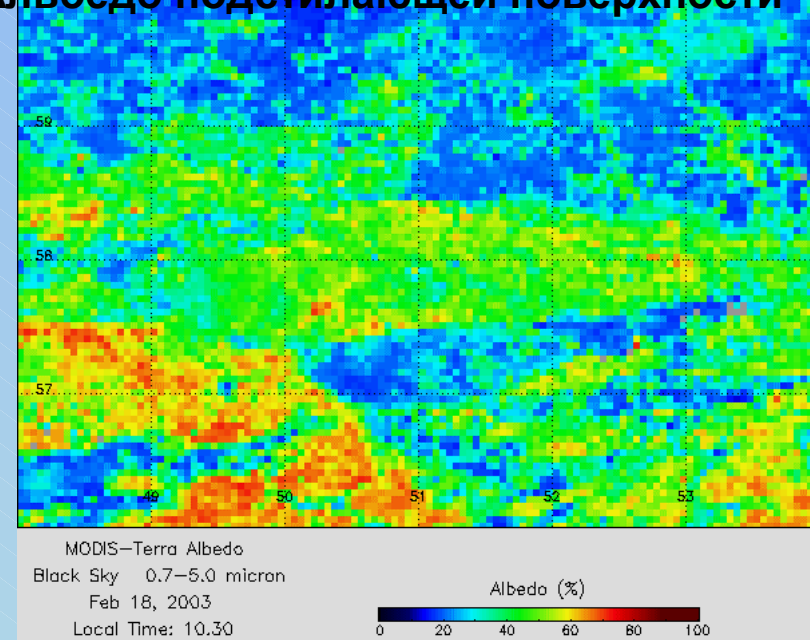
Покрытость снегом

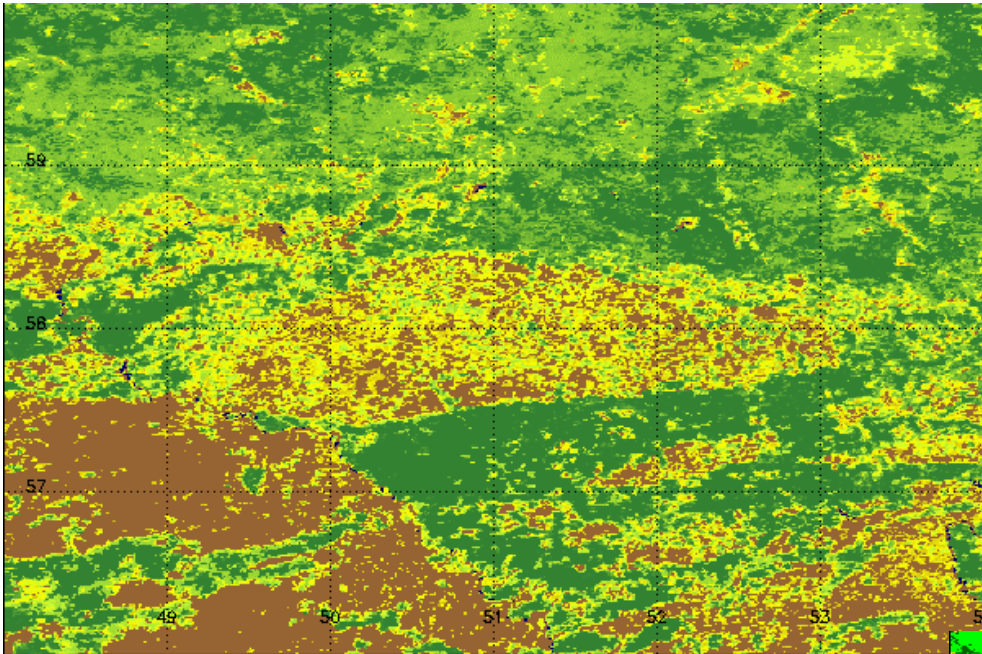


Температура подстилающей поверхности



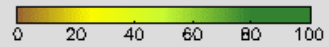
Альbedo подстилающей поверхности





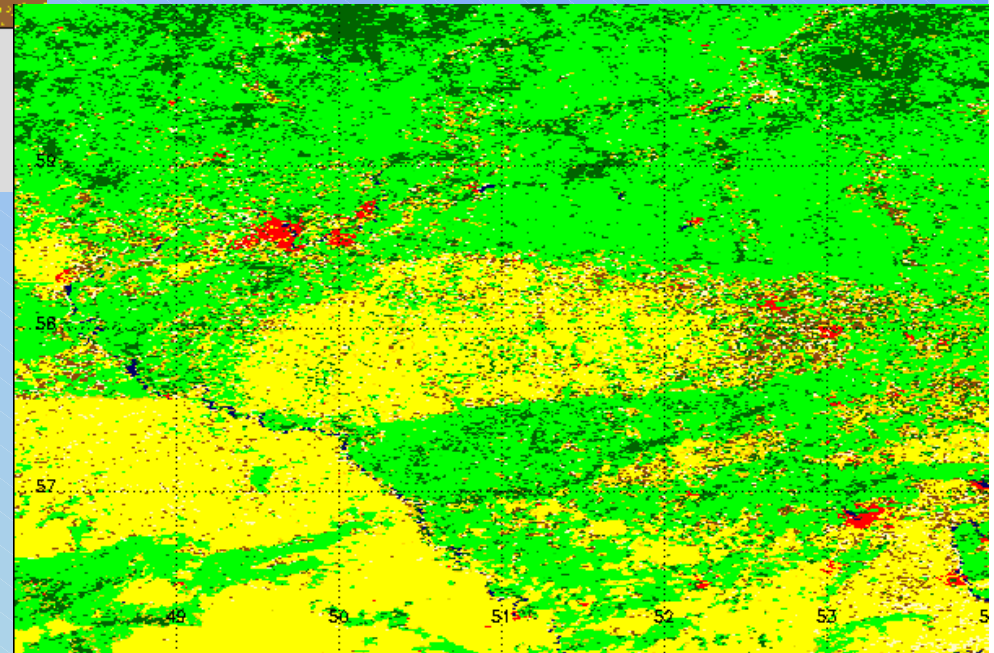
AVHRR-based Tree Cover Fraction (UMD)

Tree cover fraction



Доля лесной растительности

Типы землепользования

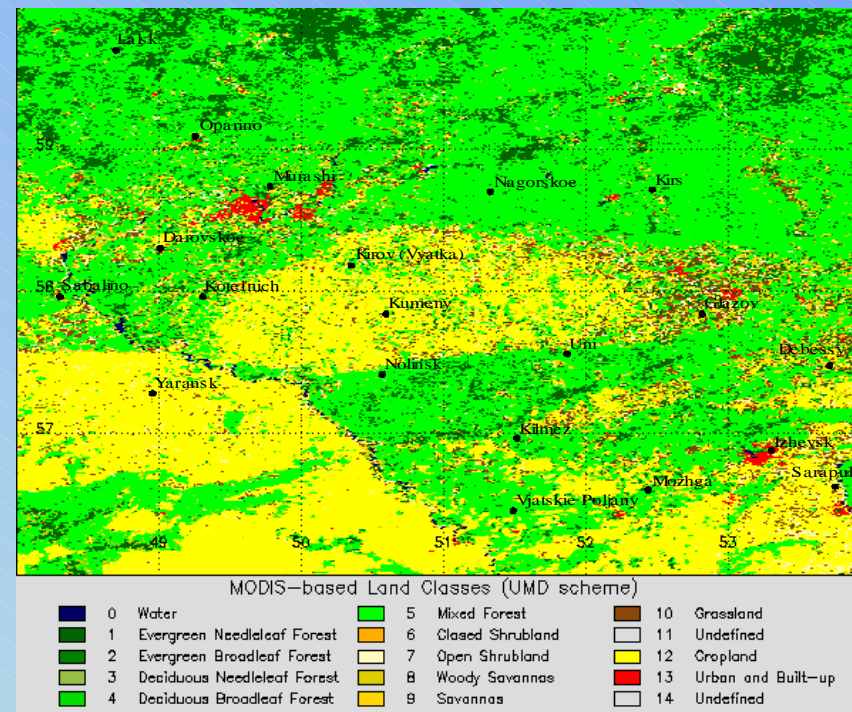


MODIS-based Land Classes (UMD scheme)

0	Water	5	Mixed Forest	10	Grassland
1	Evergreen Needleleaf Forest	6	Closed Shrubland	11	Undefined
2	Evergreen Broadleaf Forest	7	Open Shrubland	12	Cropland
3	Deciduous Needleleaf Forest	8	Woody Savannas	13	Urban and Built-up
4	Deciduous Broadleaf Forest	9	Savannas	14	Undefined

Наземные данные измерений на 19 метеорологических станциях, использовавшиеся при моделировании полей снежного покрова

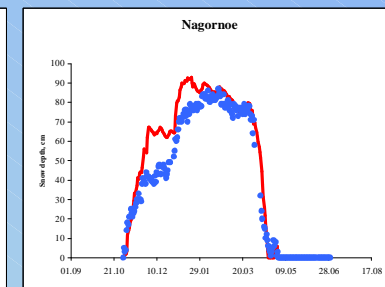
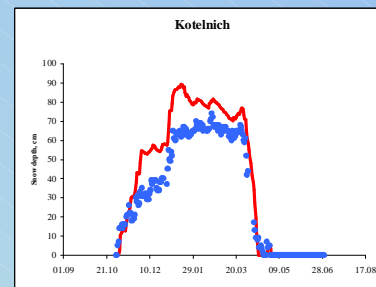
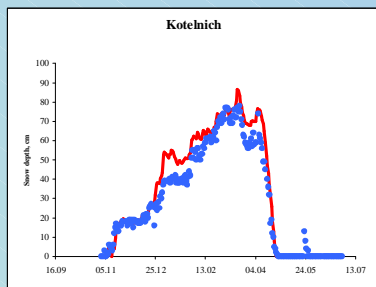
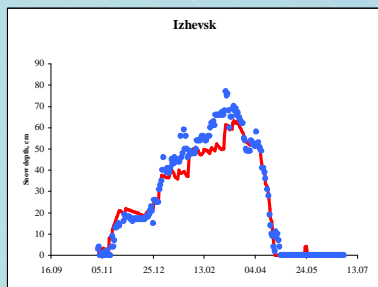
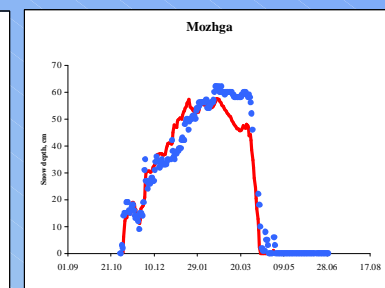
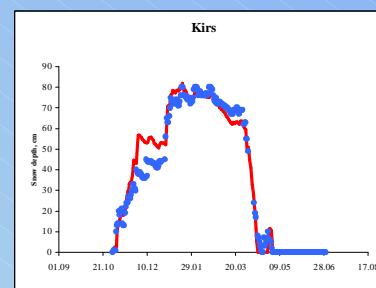
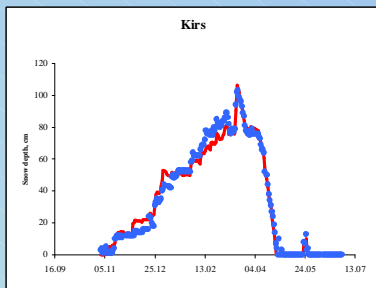
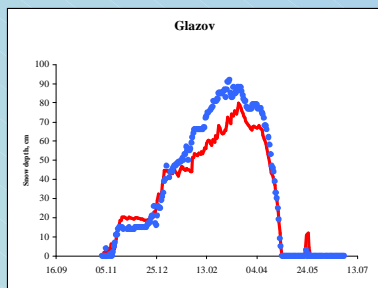
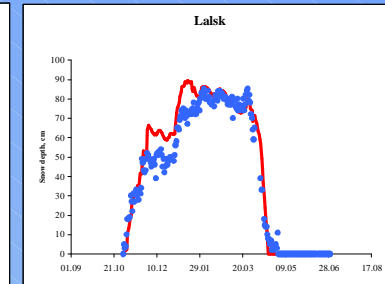
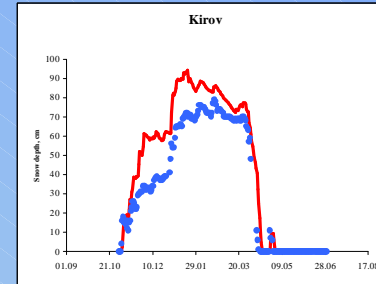
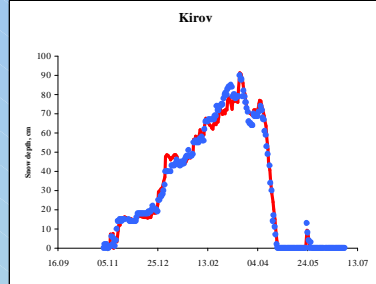
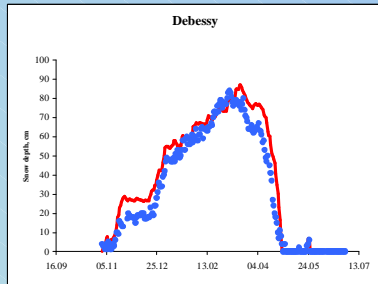
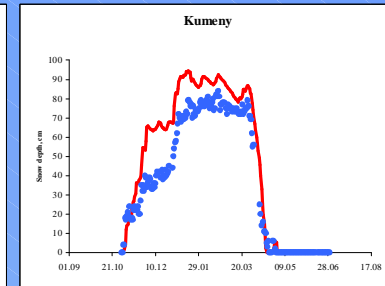
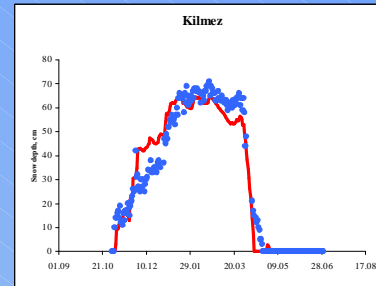
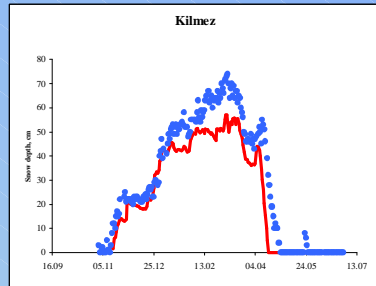
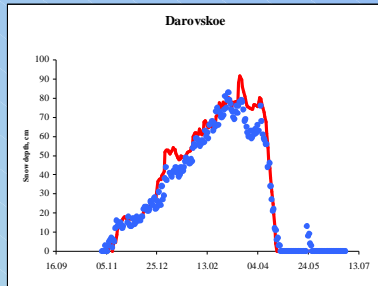
- ✓ Температура воздуха (6-часовые данные)
- ✓ Осадки (среднесуточные данные)
- ✓ Влажность воздуха (6-часовые данные)
- ✓ Скорость ветра (6-часовые данные)
- ✓ Облачность (среднесуточные данные)



Калибровка и проверка модели формирования снежного покрова и снеготаяния по данным наземных снегомерных наблюдений

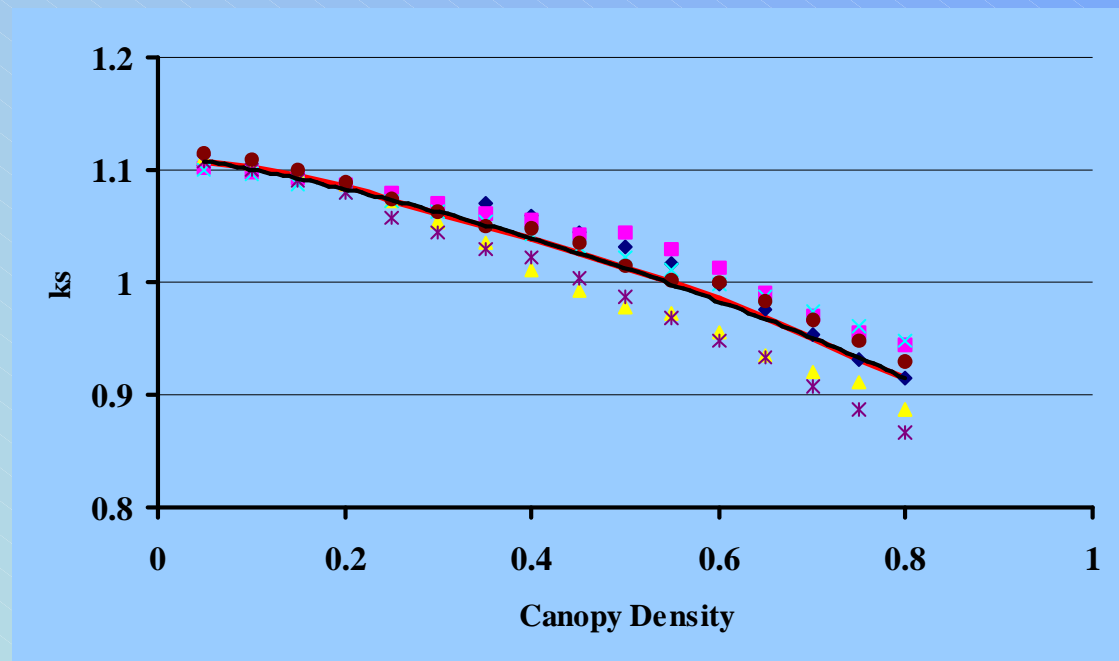
**Калибровочный период
(01.11.2000-31.05 2001 г.)**

**Проверочный период
(2001-02 – 2004-05 гг.)**



Определение начальных запасов воды в снежном покрове (снегозапасов) под пологом леса с использованием спутниковых данных о снегозапасах на открытых территориях

В ячейках пространственной сетки, не занятых лесом, начальный (на 1 марта) запас воды в снежном покрове задавался по картам NASA. В ячейках, занятых лесом, начальные снегозапасы определялись путем интерполяции по данным о снегозапасах на открытых территориях и затем умножались на коэффициент снегонакопления k_S , равный отношению снегозапасов в лесу к снегозапасам на окружающей его открытой местности.



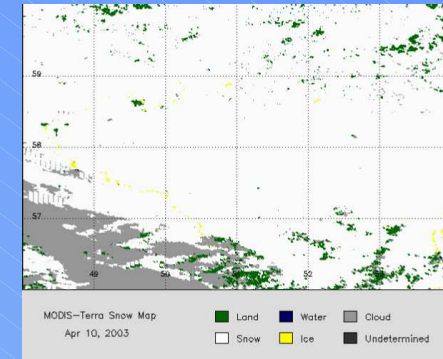
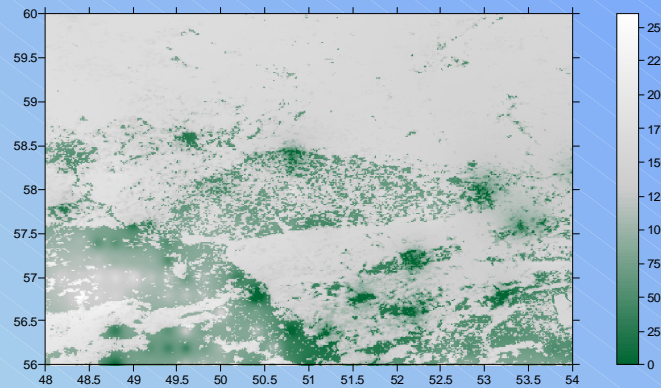
Simulated ratio of pre-melt SWE in evergreen forest to pre-melt SWE for the open site depending on the canopy coverage: points represent the ratio calculated for the specific seasons; line shows the average ratio



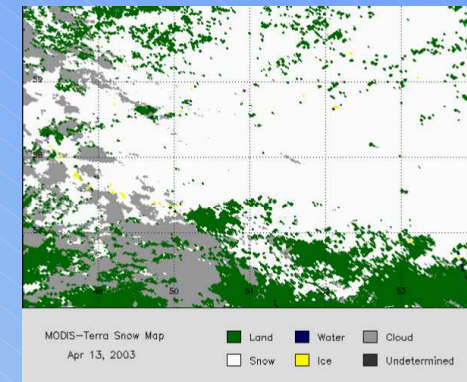
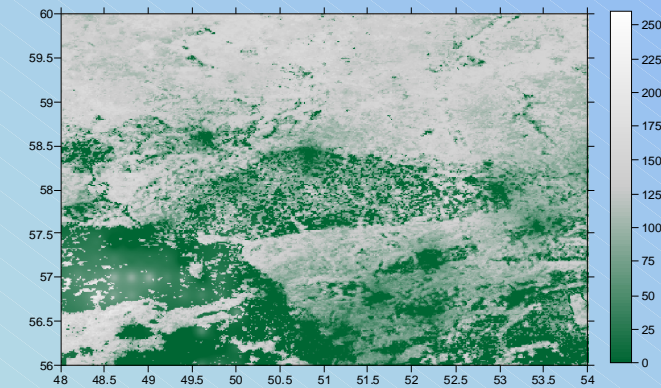
Расчитанные поля снегов запасов

Спутниковые данные

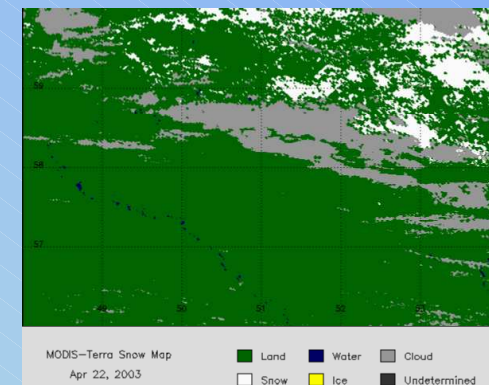
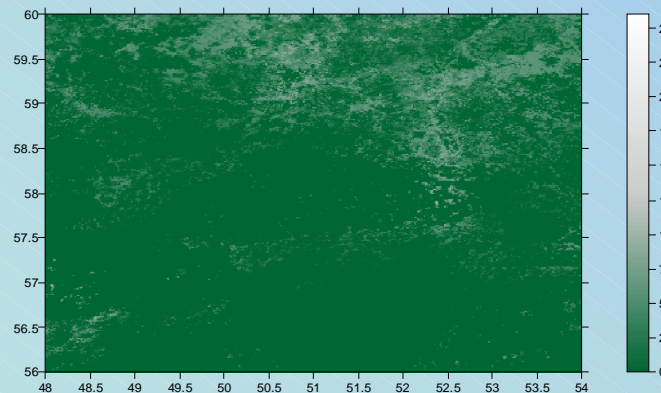
10 Apr. 2003



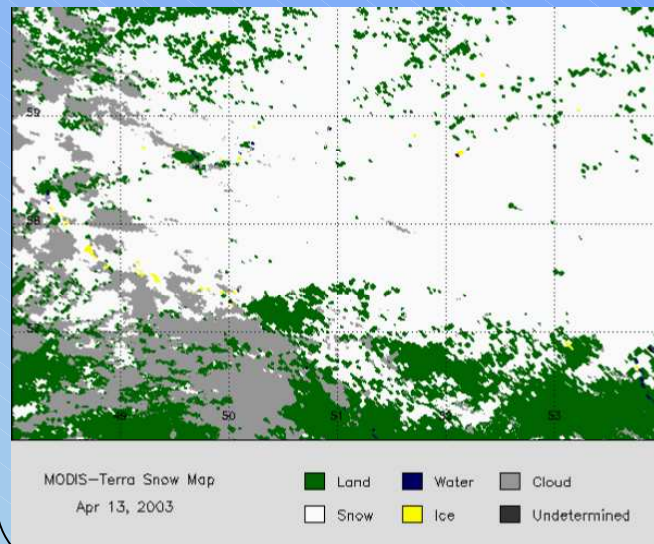
13 Apr. 2003



22 Apr. 2003



Использование спутниковых данных о динамике покрытости снегом для апдейтинга расчетов снеготаяния на открытых территориях

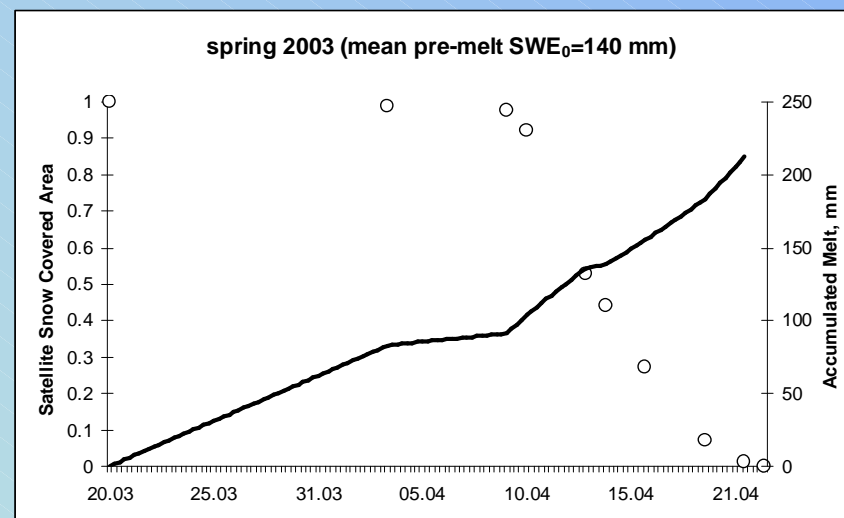
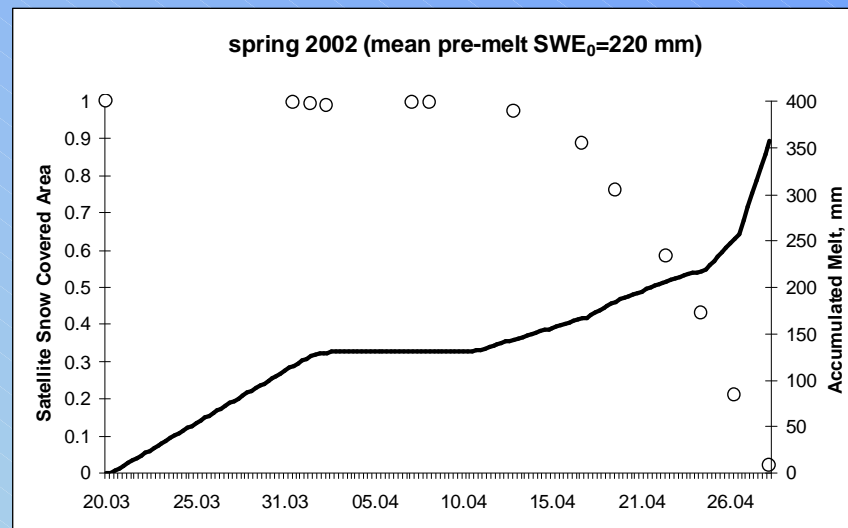


$$SnowCoveredArea = 1 - \frac{\alpha^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_0^S x^{\alpha-1} \exp(-\alpha x) dx$$

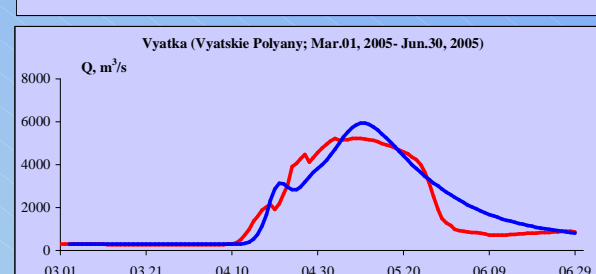
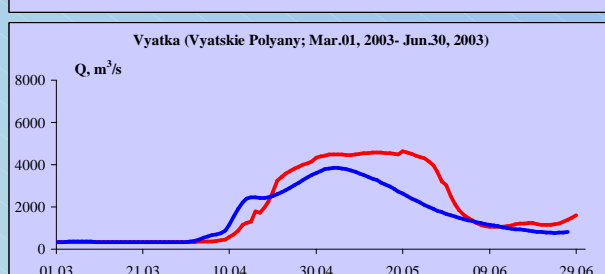
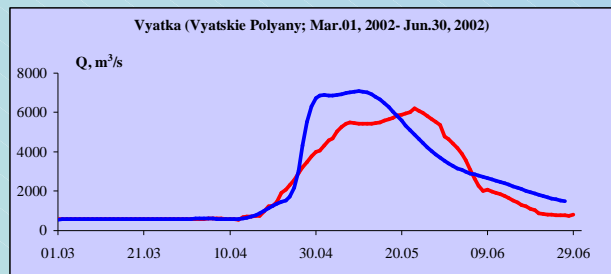
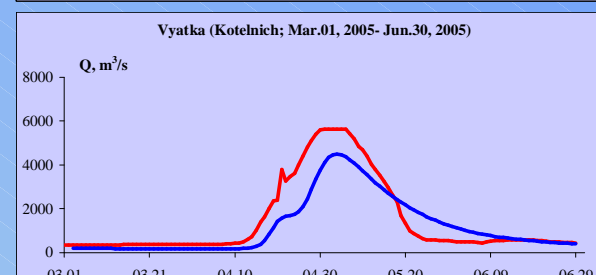
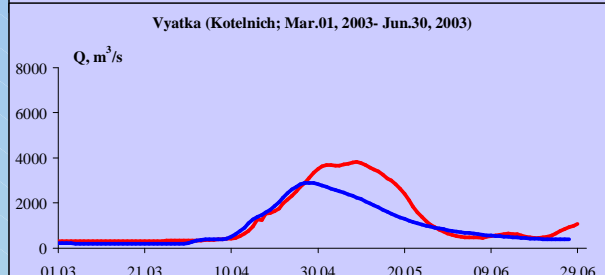
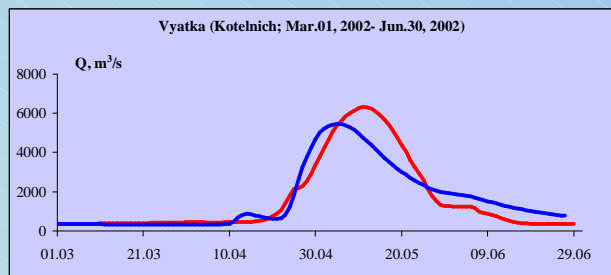
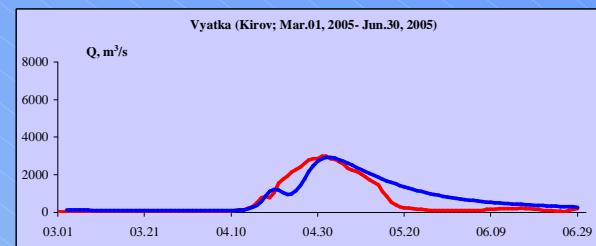
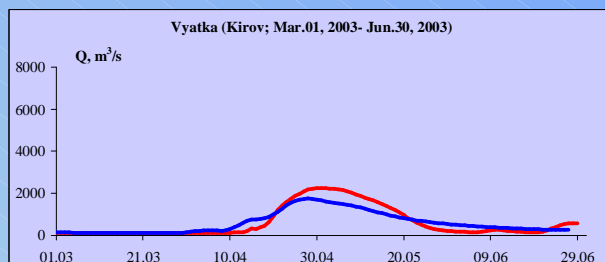
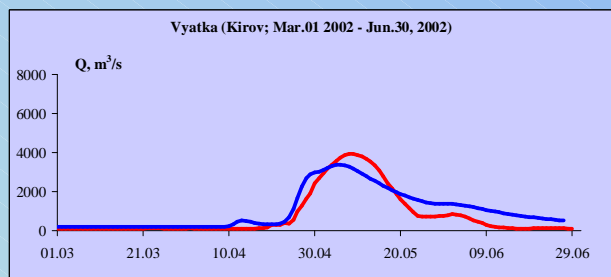
Суммарный слой стаявшего
Снега на момент времени t

$$S = \frac{1}{SWE_0} \int_0^t m(\tau) d\tau$$

Суммарный слой стаявшего снега (линия), рассчитанный по спутниковым данным о покрытости территории снегом (точки) и начальных снегозапасах для юго-восточного участка водосбора р. Вятка.



Сравнение фактических (красная линия) гидрографов стока в различных створах р. Вятка с рассчитанными (синяя линия) по модели формирования стока с использованием процедуры апдейтинга по спутниковым данным о покрытости снегом



Заключение

- ✓ Разработана методика построения полей снежного покрова в период снеготаяния на основе совместного использования спутниковых и наземных измерений и модели снежного покрова. Методика обеспечивает непрерывный мониторинг покрытости территории снегом и распределения снеготаяния, в том числе, при большой облачности и для лесных территорий.
- ✓ Предложена процедура апдейтинга расчетов снеготаяния на открытых территориях по спутниковым данным о покрытости снегом.
- ✓ Разработанная методика построения полей снежного покрова в сочетании с процедурой апдейтинга применена для расчета стока весеннего половодья на р. Вятка на основе физико-математической модели формирования стока. Получены удовлетворительные результаты расчета гидрографов стока

Исследования велись при финансовой поддержке NASA (Grant NNG06GH45G)

Спасибо за внимание!

