

# **СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ И ВЕСЕННИЙ СТОК: НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, И КОНЦЕПЦИИ**

**В.А. Шутов**

Валдайский филиал Государственного  
гидрологического института (ВФ ГУГГИ)  
175400. Валдай, ул. Победы 2. Россия  
E-mail: [hydrosphere@mail.ru](mailto:hydrosphere@mail.ru)

## Главные проблемы:

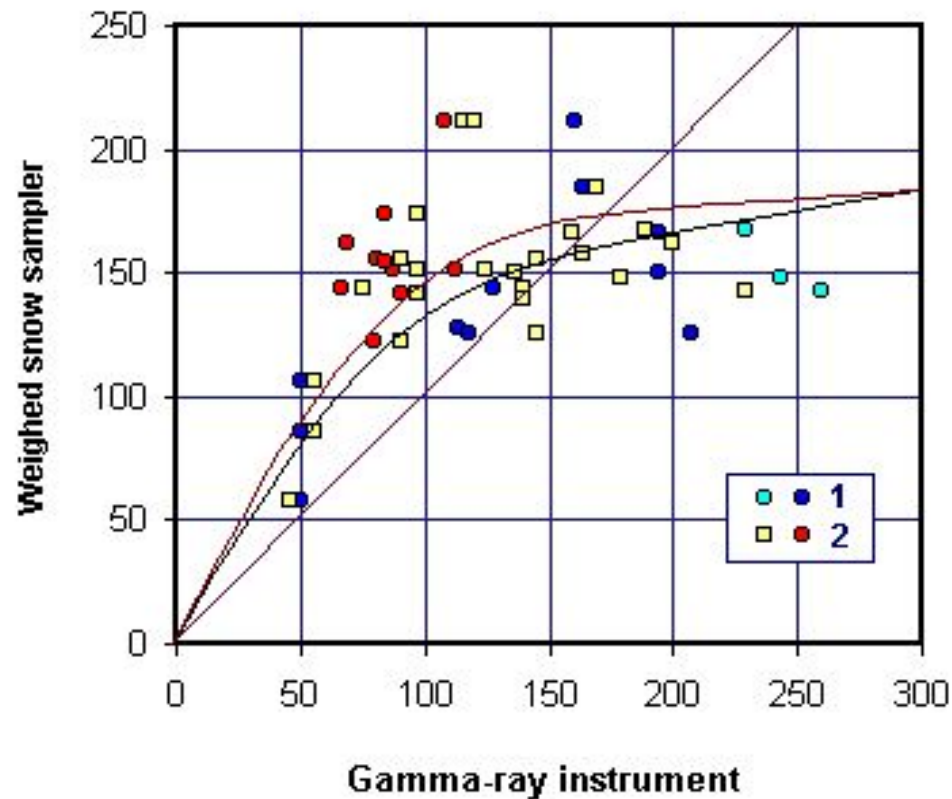
- Методы измерений снегозапасов
- Дистанционная индикация снежного покрова
- Распределения и структуры в поле снегозапасов
- Климатические аспекты снежного покрова
- Гидрологические аспекты исследований
- Предложения к программе исследований

# Наземные измерения снеготазпасов



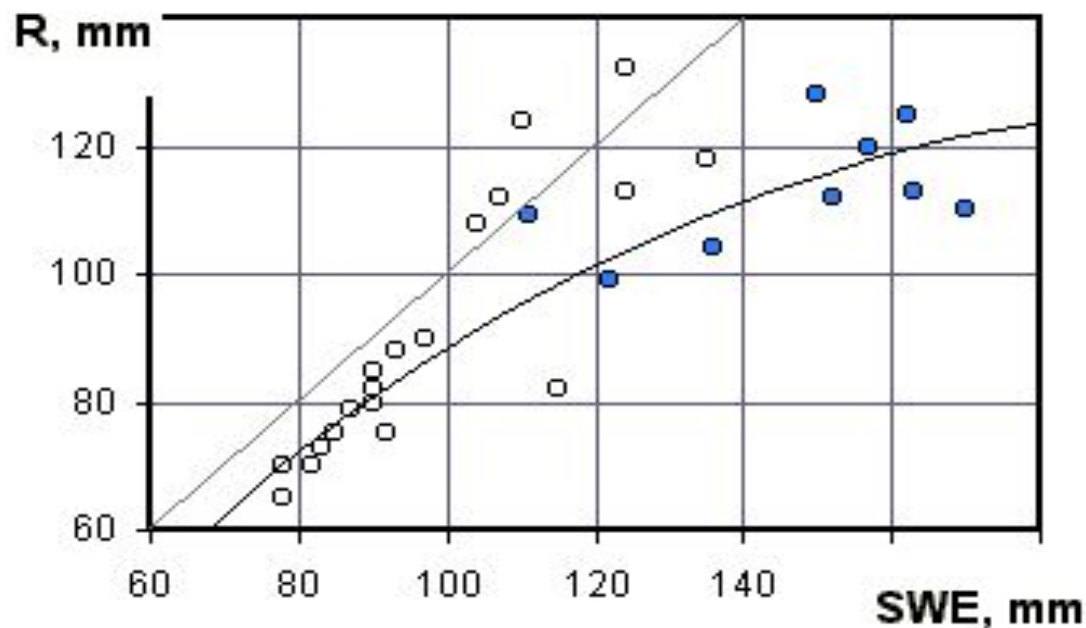
Запас воды в снеге (мм):  $H = 10 d h$ , где  $d$  – плотность (г/см<sup>3</sup>),  $h$  – высота снега (см) на маршруте снегосъемки

# Техника измерений: гамма-съёмка



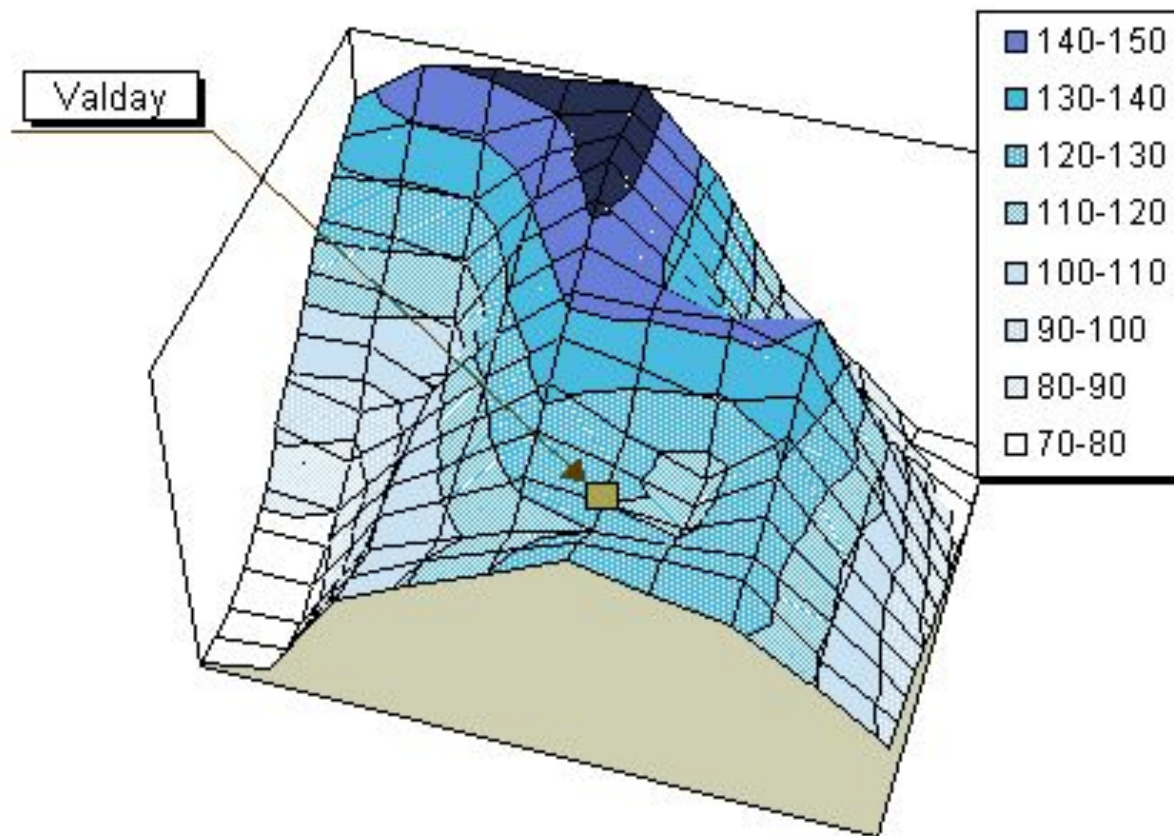
Наземная гамма-съёмка существенно завышает запас воды в мощном слое сухого снега (1) и занижает его в период таяния (2)

# Проблема калибровки радара



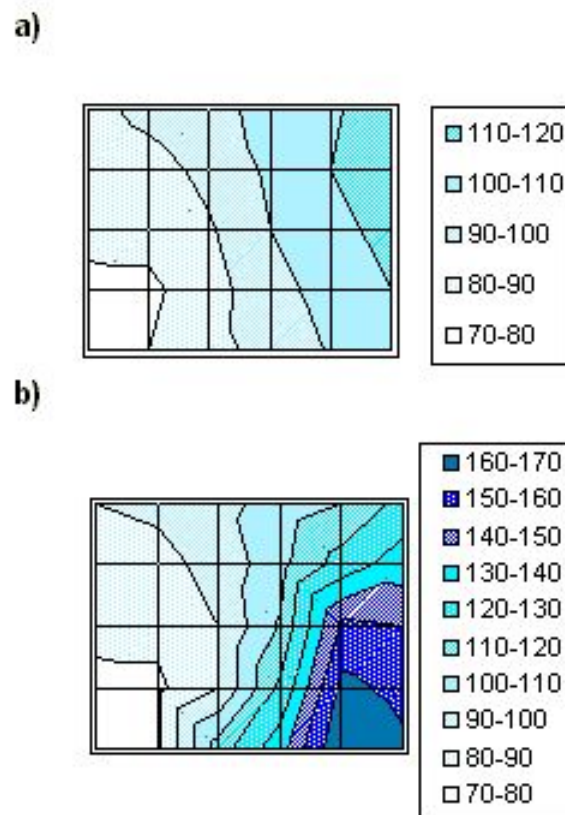
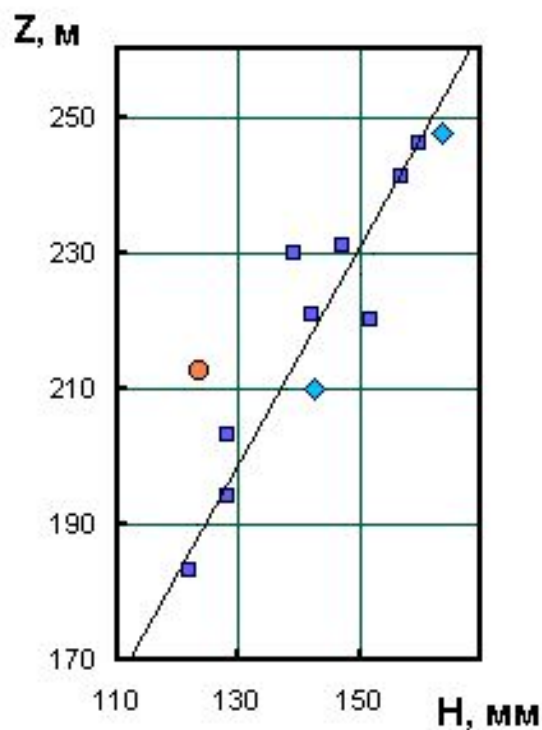
Суммы твердых осадков по данным радара (R) и запасы воды в снеге (SWE), темные точки – данные наблюдений в бассейне р. Полометь, интерполированные с учетом высоты

# Снегозапасы на Валдае



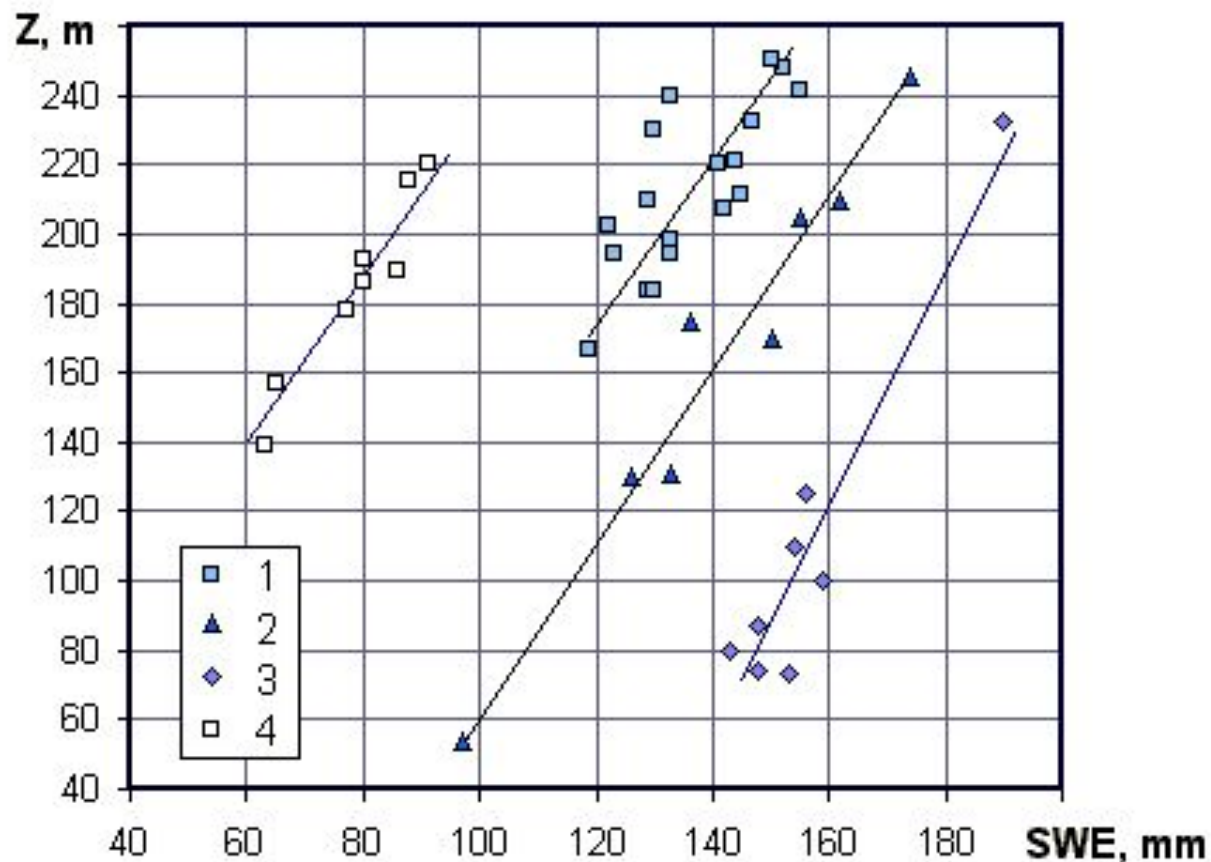
Эта трехмерная диаграмма построена по данным многолетних наблюдений стандартной метеорологической сети (19 станций)

# Влияние рельефа на снеготпасы



Справа - карты снеготпасов (SWE, мм) по данным стандартной сети станций (a) и специальной сети (b) в бассейне Поломети

# Высотные зависимости снегозапасов



1 – бассейн р. Москвы, 2 – Валдайская возв., 3 – Няндомская возв. (север ЕТР), 4 – Новогрудокская возв. (Белоруссия)



# Кригинг: суть процедуры

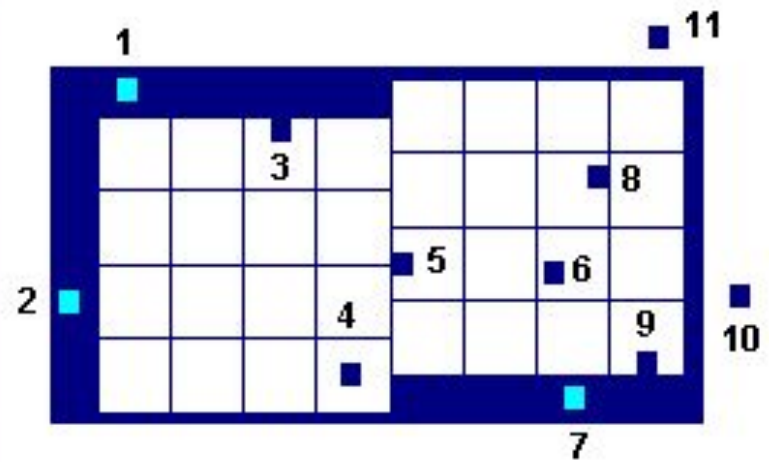
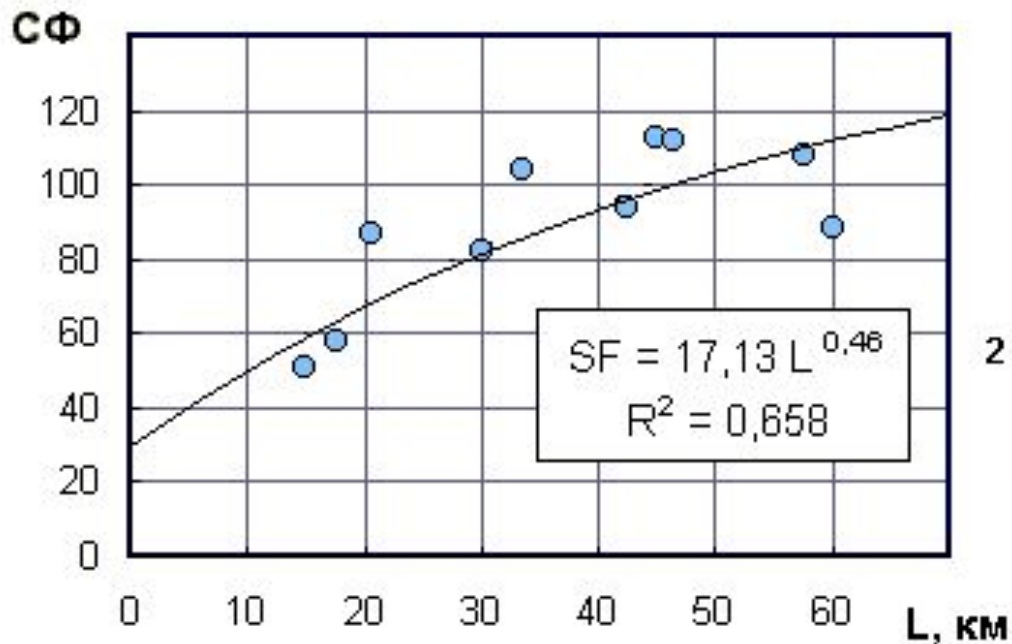
Кригинг – разновидность интерполяции данных наблюдений в произвольно расположенных пунктах в узлы регулярной сетки. Существующие программы типа **SURFER** или иные основаны на решении следующей системы уравнений:

$$\sum \Lambda_j V_{ij}(\mathbf{L}) + \mu = V_{j_0}(\mathbf{L})$$

$$\sum \Lambda_j = 1$$

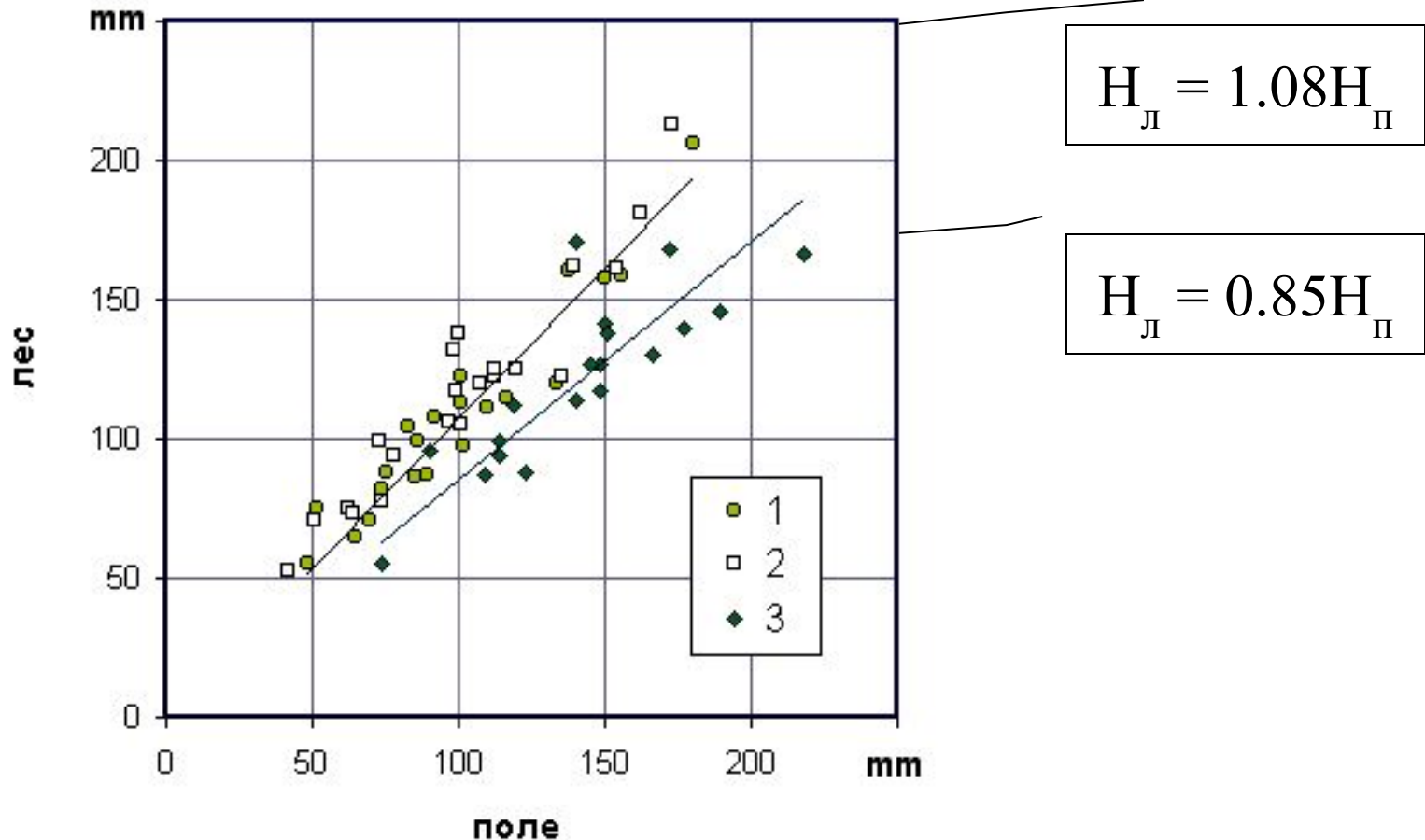
где  $i$  - индекс узла, а  $j$  – индекс станции,  $V_{j_0}(\mathbf{L})$  – вариограмма (структурная функция),  $V_{ij}(\mathbf{L})$  то же для каждой из пар “узел – станция”,  $\mu$  – множитель Лагранжа, делающий данную систему уравнений совместной.

# Структурная функция (СФ)



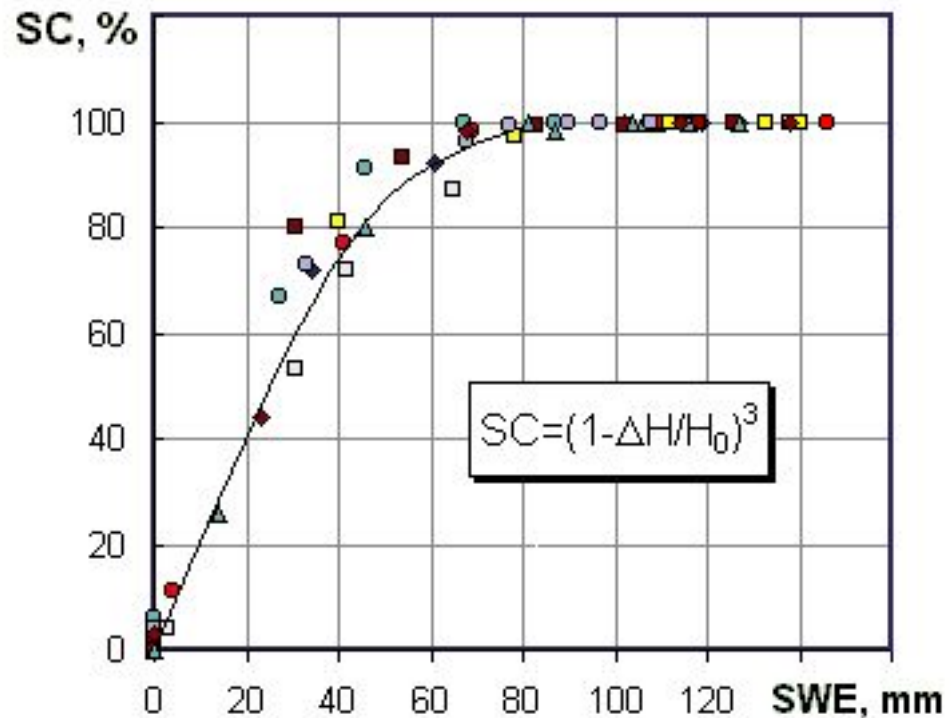
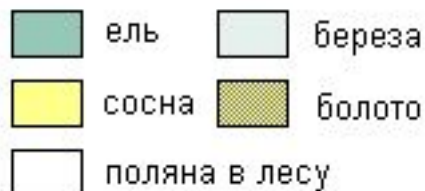
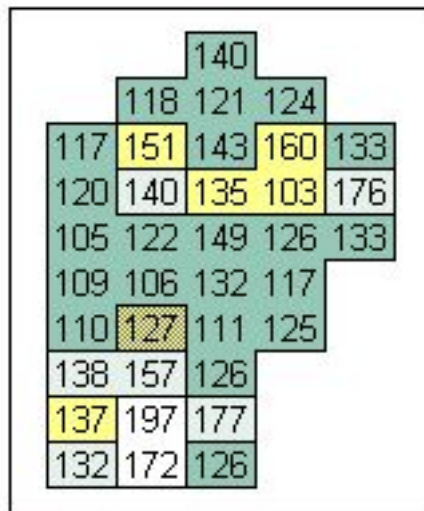
СФ применяется в оптимальной интерполяции снегозапасов, измеренных на станциях, например в бассейне р. Москвы (справа), в узлы регулярной сетки

# Отношение снегов запасов «лес – поле»



1 – бассейн р. Медвенки, 2 – лога Полевой и Лесной (Подмосковная ВБС), 3 – лога Усадьевский и Таежный (Валдай)

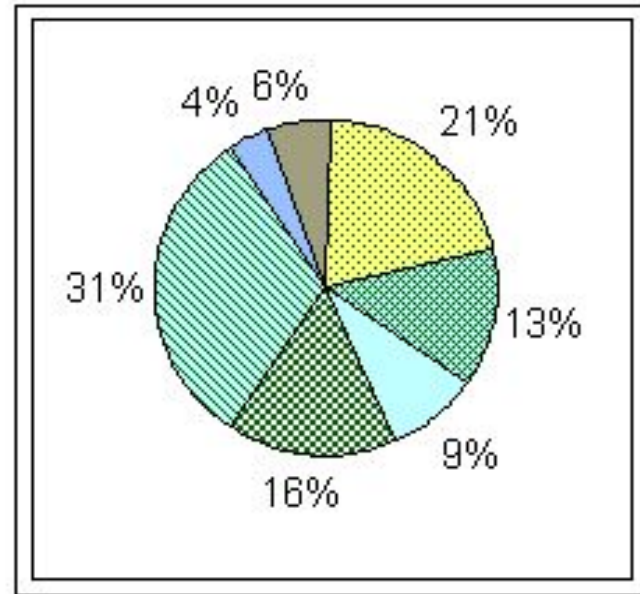
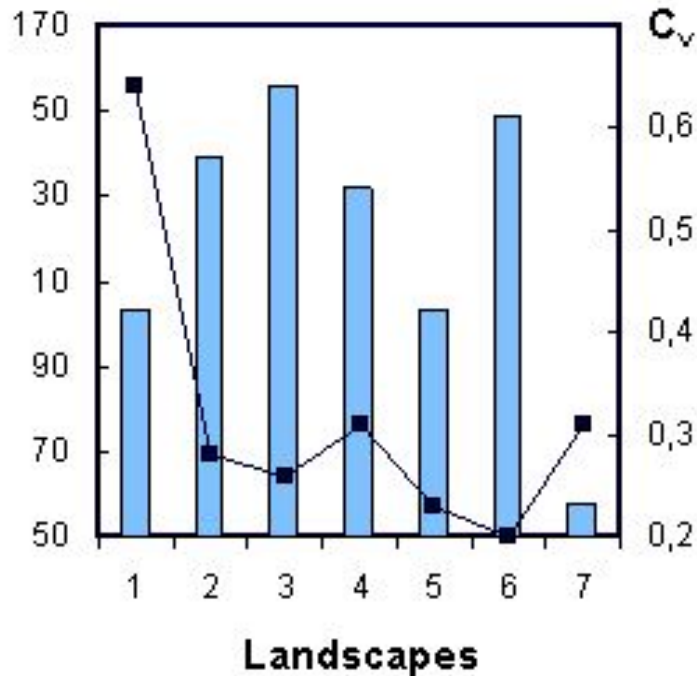
# Снег на лесном водосборе



Степень покрытия (SC, %) в зависимости от снеготолщины применяется для расчетов интенсивности снеготаяния

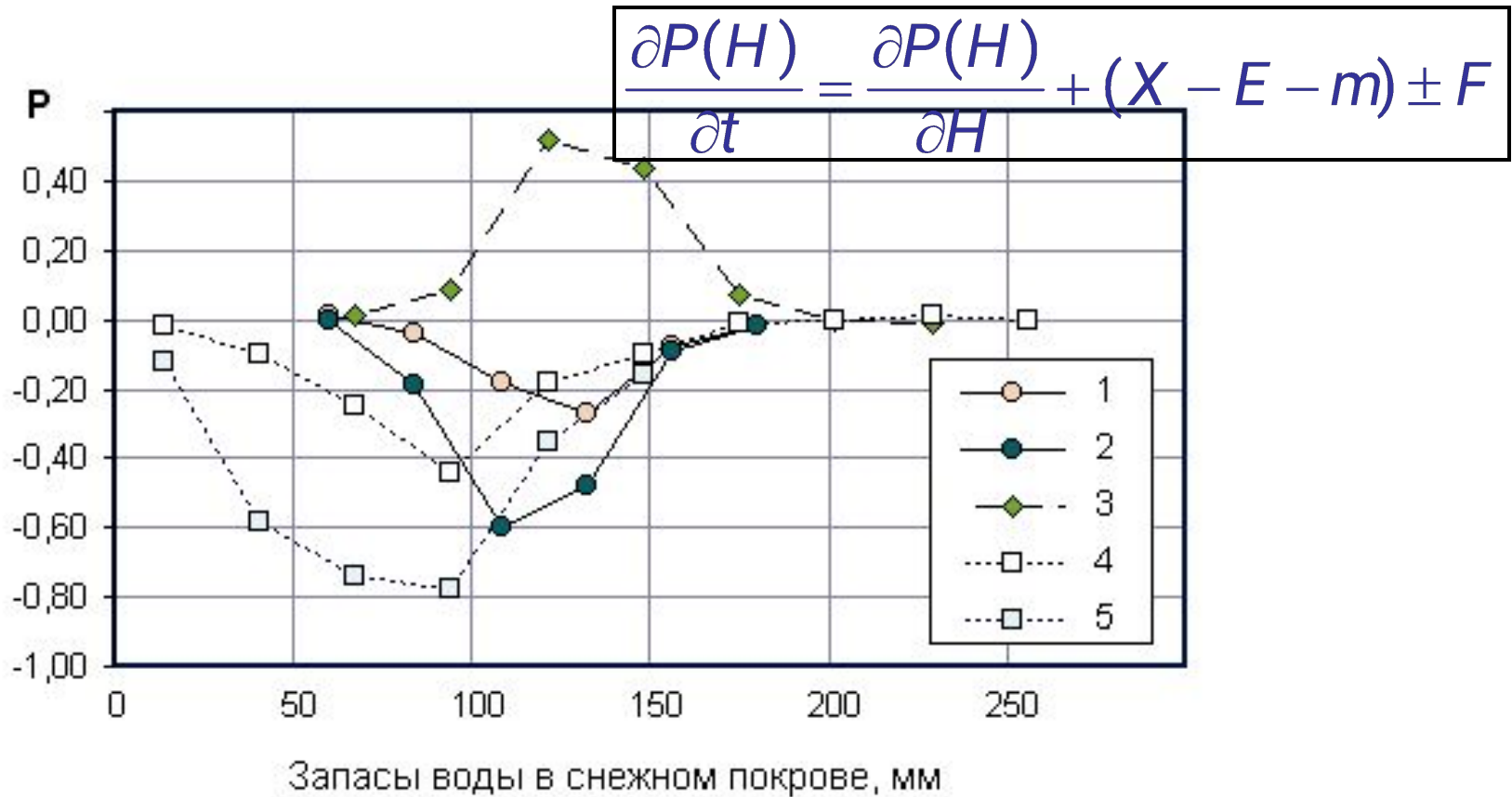
# Снег в различных ландшафтах

SWE, mm



Снегозапасы на водосборе определяются как средневзвешенное значение с учетом ландшафтной структуры (диаграмма справа)

# Трансформация распределений



Перехват осадков сосняком (1) и ельником (2), аккумуляция в лиственном лесу (3) и снегнос на пашне (4) и на льду озера (5)

# Данные снегосъежек 2003-2005 гг.

Поле (пашня)

Лес лиственный

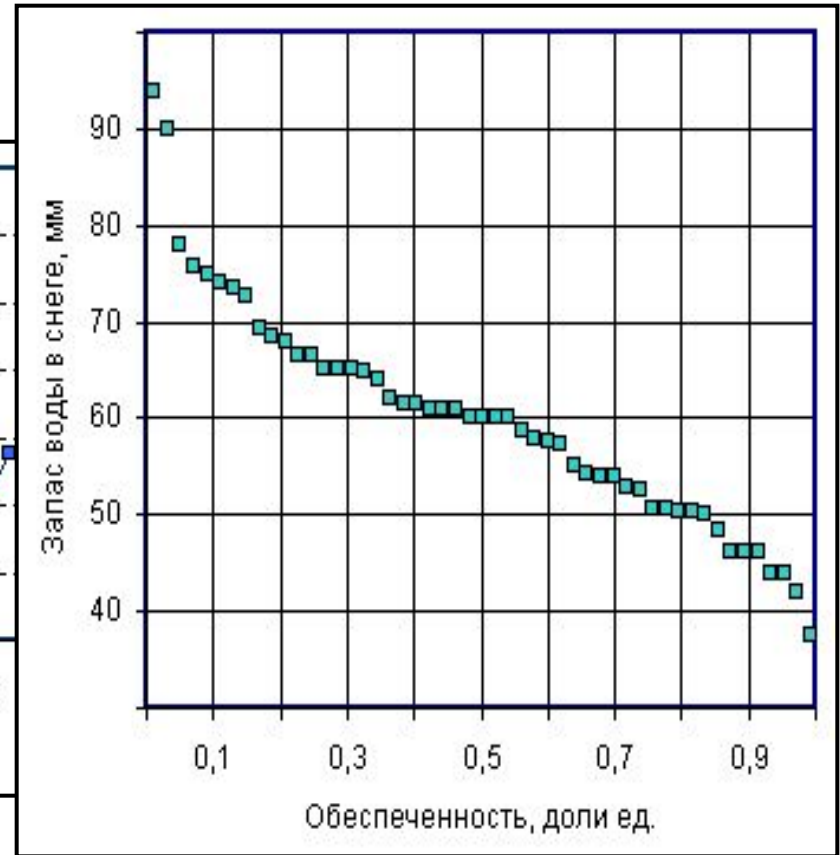
Дата	h	C <sub>vh</sub>	d	H	C <sub>vH</sub>	h	C <sub>vh</sub>	d	H	C <sub>vH</sub>	K <sub>F</sub>
28.10	13	0.43	0.17	22	0.46	15	0.39	0.11	16	0.52	<b>0.74</b>
29.12	26	0.28	0.25	64	0.30	34	0.18	0.25	83	0.20	1.29
02.02	35	0.21	0.24	84	0.22	41	0.17	0.26	107	0.16	1.28
01.12	21	0.25	0.17	36	0.25	32	0.21	0.16	<b>50</b>	0.19	1.39
31.12	33	0.25	0.21	66	0.23	42	0.18	0.18	76	0.23	1.14
31.01	28	0.34	0.23	65	<b>0.41</b>	31	0.24	0.23	<b>69</b>	0.26	1.07

Январь 2005:  $X_{TB} = 52.9$  мм  $X_{ж} = 24.2$  мм  $\Sigma T_{+} = 17.4^{\circ}$   $T_{cp} = -3.2^{\circ}$

# Данные съемки 4.01.2010 г.

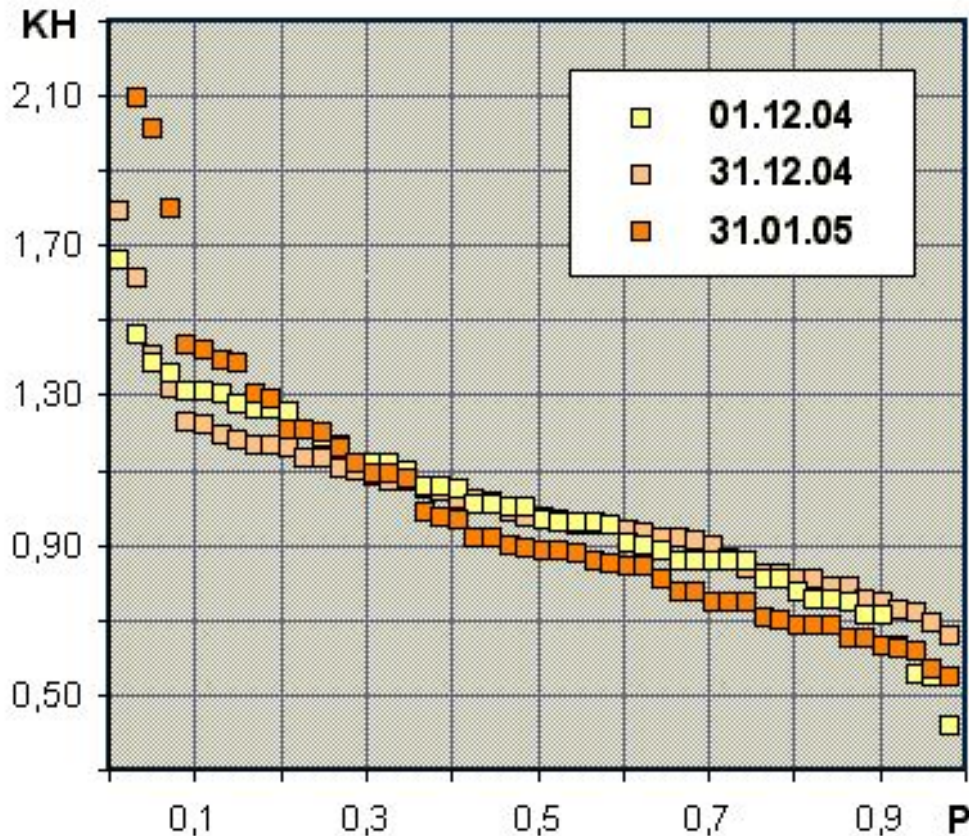
Поле (пашня):  $N_{\text{ср}} = 61 \text{ мм}$

Колеи трактора



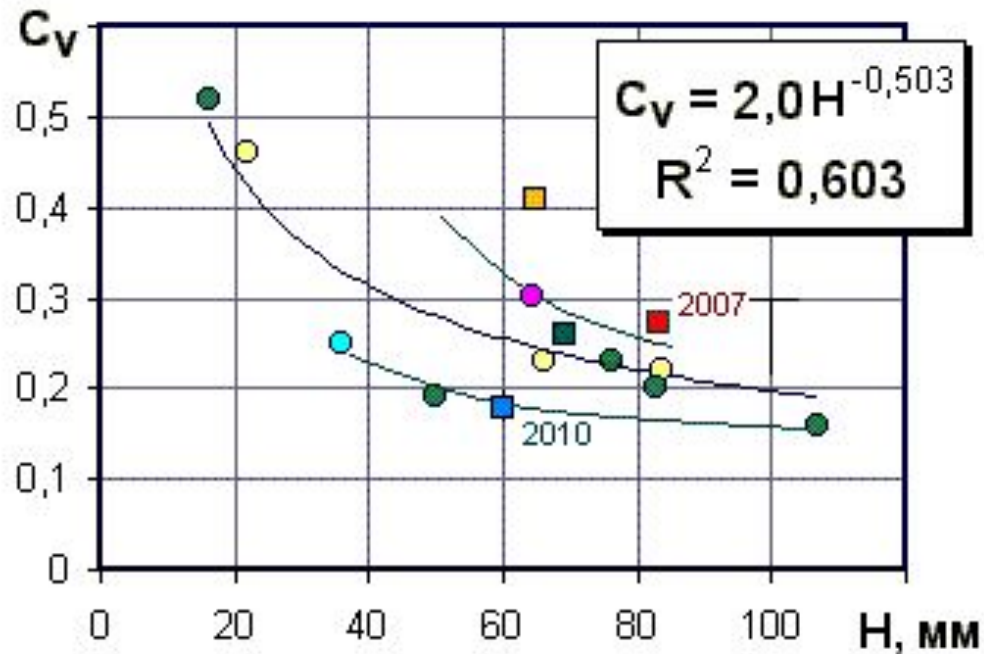


# Кривые обеспеченности



Зима 2004/2005: Рост вариации снеговых запасов в поле и изменение асимметрии распределений в течение зимы

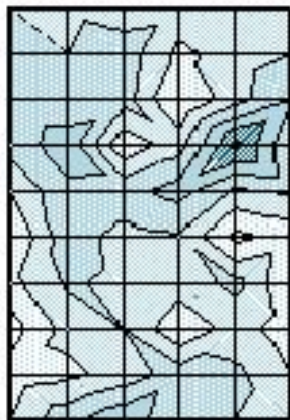
# Коэффициент вариации



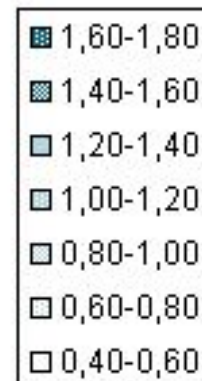
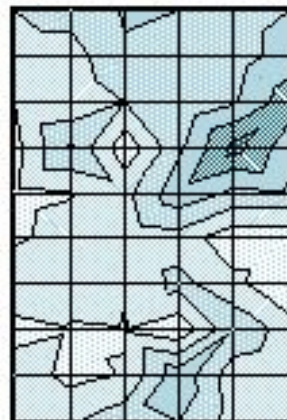
Коэффициент вариации снеготпасов ( $C_v$ ) по материалам специальных снегосъемок 2003-05, 2006-07 и 2010 гг.

# Структура полей снегозапасов

1988



1989



Устойчивые структуры полей снегозапасов наблюдаются из года в год. Это связано со стабильностью направлений ветров в зимний период, а также влиянием рельефа на распределение снега. Возникает проблема моделирования этих структур.

# ИНФОКАРТ: суть методики

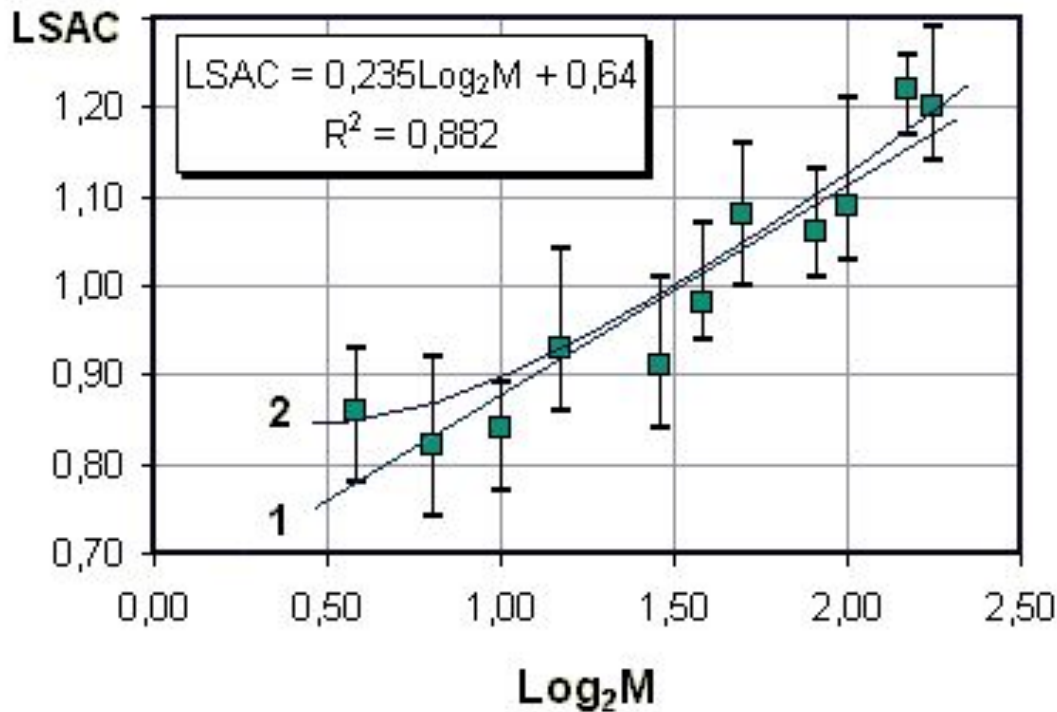
Исходя из представления информации по Шеннону и теоремы полной вероятности, было установлено, что индекс локального снегонакопления (**LSAC**) на отдельной ячейке поверхности пропорционален двоичному логарифму среднего ранга признаков **M**. По данным наблюдений получены следующие эмпирические уравнения:

$$\text{LSAC} = 0,375 \text{ Log } (M) + 0,50$$

$$\text{LSAC} = 0,235 \text{ Log } (M) + 0,65$$

Первое уравнение относится к полевому (открытому) водосбору, второе – к условиям преимущественно хвойного (елового) леса. Коэффициенты корреляции для них составляют 0,82-0,84.

# Эмпирическая основа ИНФОКАРТ



Зависимость локального коэффициента снеготаса (LSAC) от среднего ранга (M) индексов ландшафта для лесного водосбора

# К объяснению ИНФОКАРТ

Элемент рельефа		Экспозиция		Растительность		Тип леса	
Ложбина	5	Восточная	5	Кустарник	5	Кустарник	5
Ниж. склон	4	Северная	4	Стерня	4	Лиственный	4
Равнина	3	Равнина	3	Лес	3	Сосняк	3
Верх. склон	2	Западная	2	Луг (залежь)	2	Смешанный	2
Вершина холма	1	Южная	1	Пашня (пар)	1	Ельник	1

Рельеф

2	3	2
4	4	4
5	2	3
2	2	4

Экспозиция

1	3	1
2	4	4
5	4	3
1	2	1

Растительность

2	2	3
3	5	3
3	3	1
1	1	1

Тип леса

		2
2	5	1
4	1	

Средний ранг M

1,67	2,67	2,00
2,75	4,50	3,00
4,25	2,50	2,33
1,33	1,67	2,00

Log<sub>2</sub> M

0,74	1,42	1,00
1,46	2,17	1,58
2,09	1,32	1,22
0,42	0,74	1,00

ЛКС

0,78	1,03	0,88
1,05	1,31	1,09
1,28	1,00	0,96
0,66	0,78	0,88

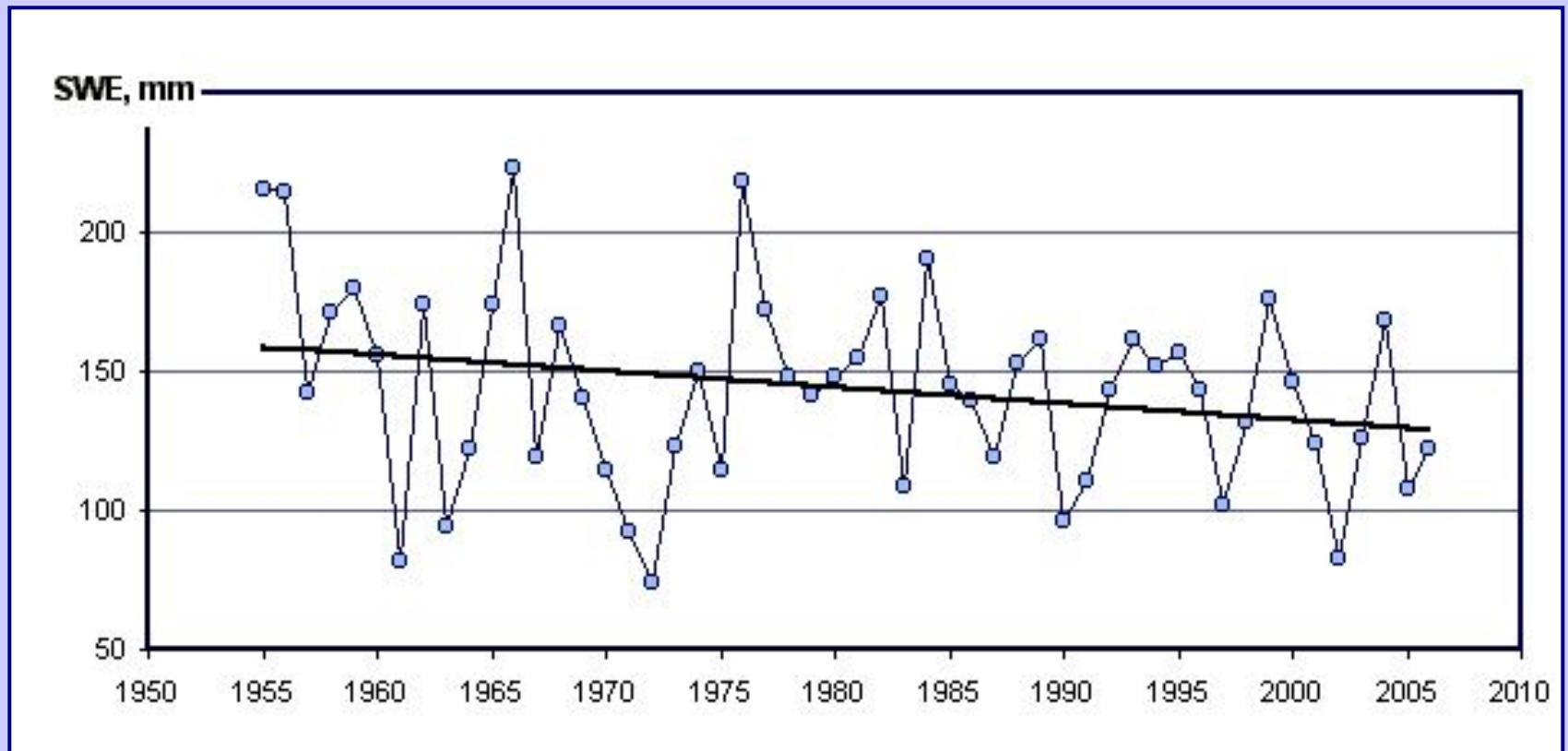
Снегозапасы, мм

109	145	123
148	185	154
181	140	135
92	109	123

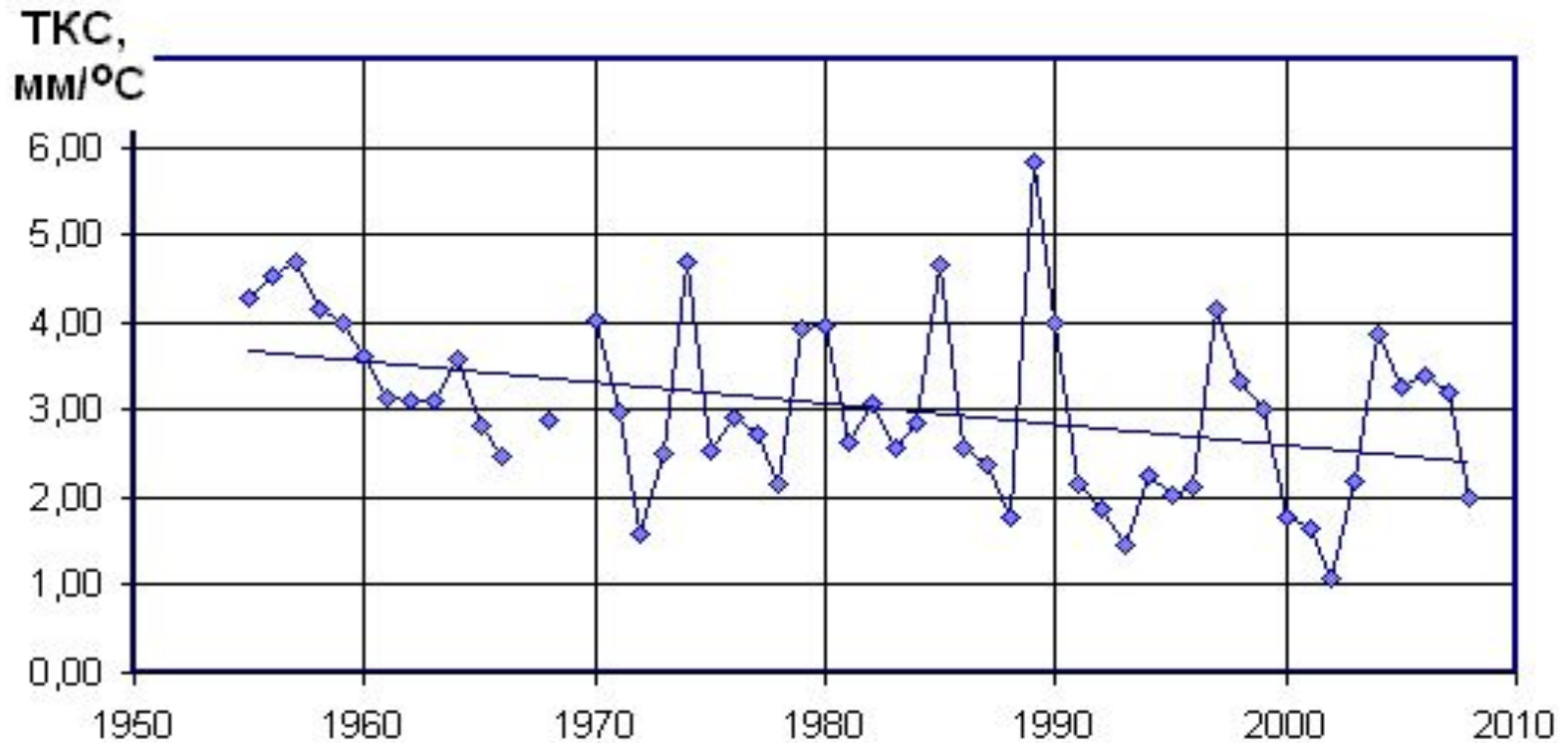
Средний запас воды в снеге

141

# Климатология снегов запасов



# Интенсивность снеготаяния (ТКС)



Наблюдается: а) снижение интенсивности таяния (ТКС),  
б) рост межгодовой изменчивости ТКС

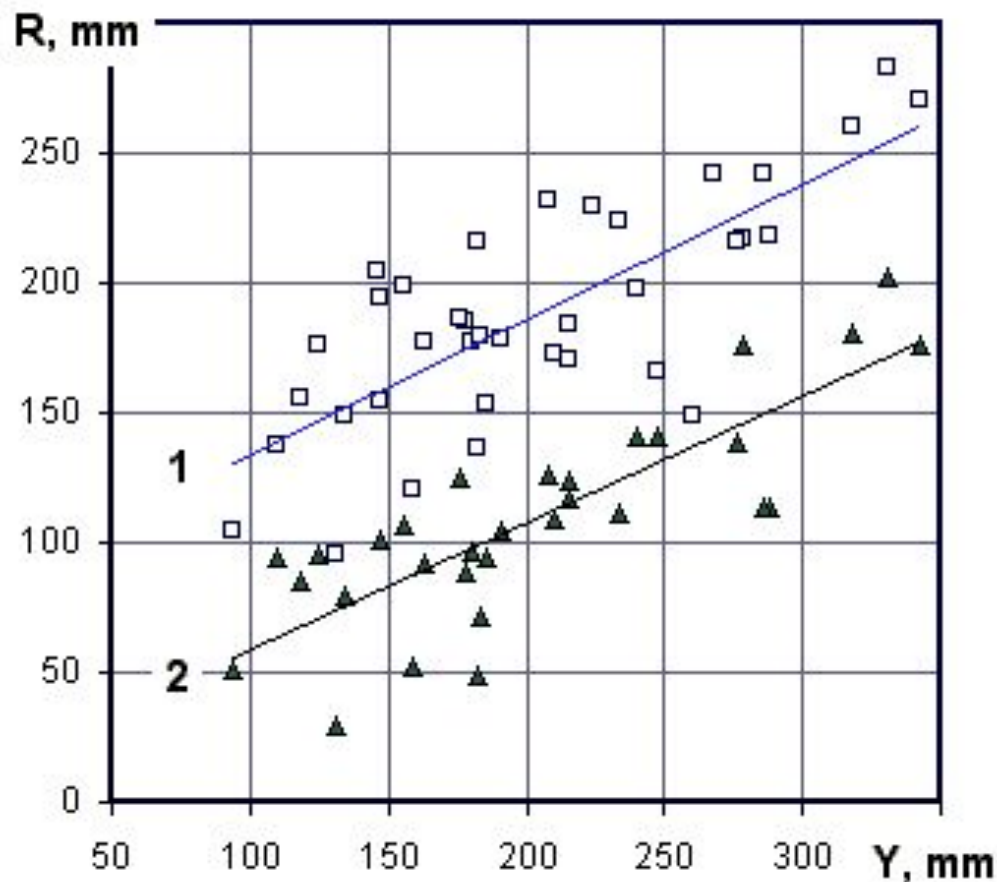


# Климатические параметры снеготаяния

Период	$Y$ , мм	$M_{\text{ср}}$ , мм	$M_{\text{max}}$ , мм	$M/Y$	$\Sigma T_{>0}$ °C
1955-1974	206.2	10.9	36.2	0.174	51.0
	75.1	4.4	11.1	0.036	17.9
1975-1994	202.7	7.7	37.1	0.187	57.4
	49.4	2.2	9.9	0.051	21.3

Числитель – средние значения, знаменатель –  
среднеквадратическое отклонение

# Снеготаяние и сток в поле и в лесу



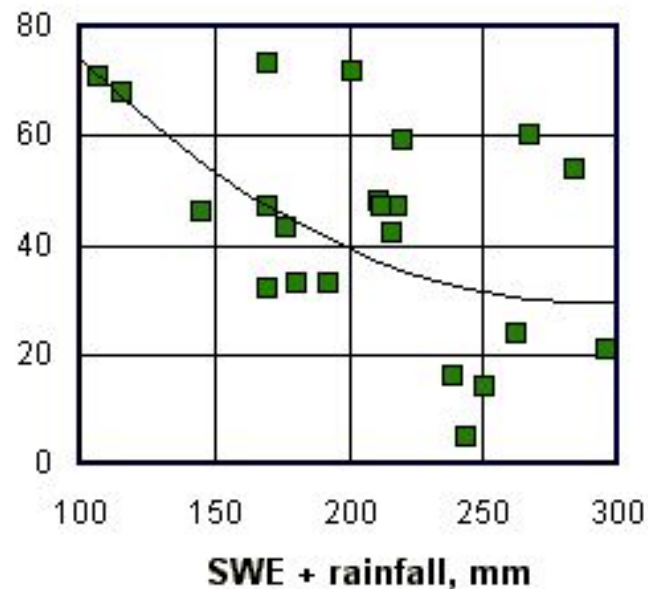
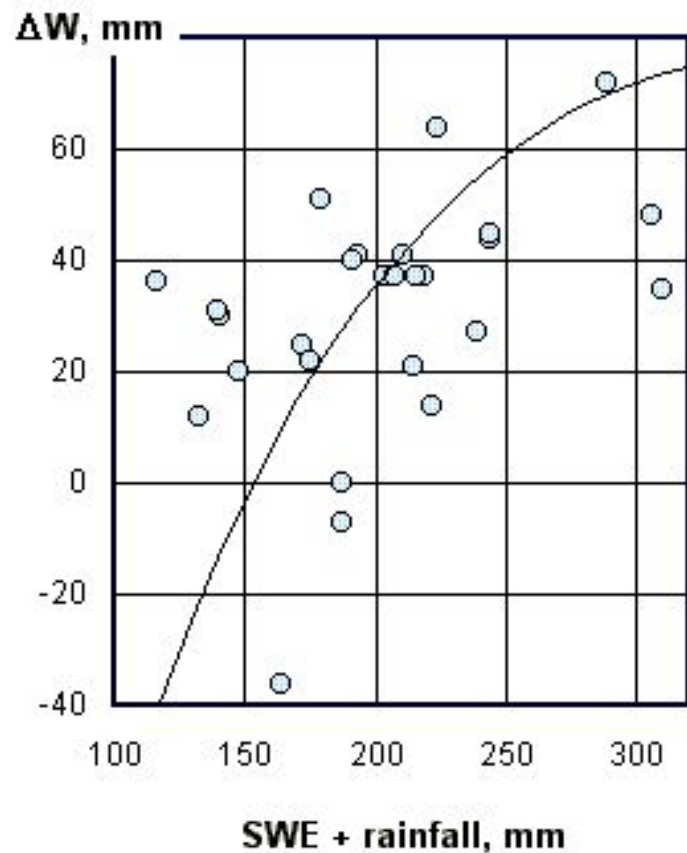
Связи стока (R) и слоя водоотдачи из снега (Y) на водосборах логов Усадьевского (1) и Таежного (2):

$$R = 0.52Y + 82 \quad (1)$$

$$R = 0.49Y + 11 \quad (2)$$

Коэффициент корреляции  $0.77 \div 0.82$

# Накопление влаги ( $\Delta W$ ) в почве при снеготаянии



Слева – на полевом, справа – на лесном водосборах

# **Перспективы исследований**

## **1. Методы дистанционного зондирования**

Радиолокационные измерения твердых осадков

Спутниковая СВЧ-радиометрия снежного покрова

## **2. Система алгоритмов анализа**

Интерполяция с учетом высоты местности

Скейлинг пространственных распределений

Картографический анализ с использованием ГИС

## **3. Изменения климата и снежный покров**

## **4. Модели формирования стока половодья**

## **6. Модели метелевого переноса и интерцепции**

## **7. Прикладные исследования**

Охрана вод от загрязнения поверхностным стоком

Нормирование снеговых нагрузок на сооружения

Контроль техногенного заболачивания