

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

Главные проблемы:

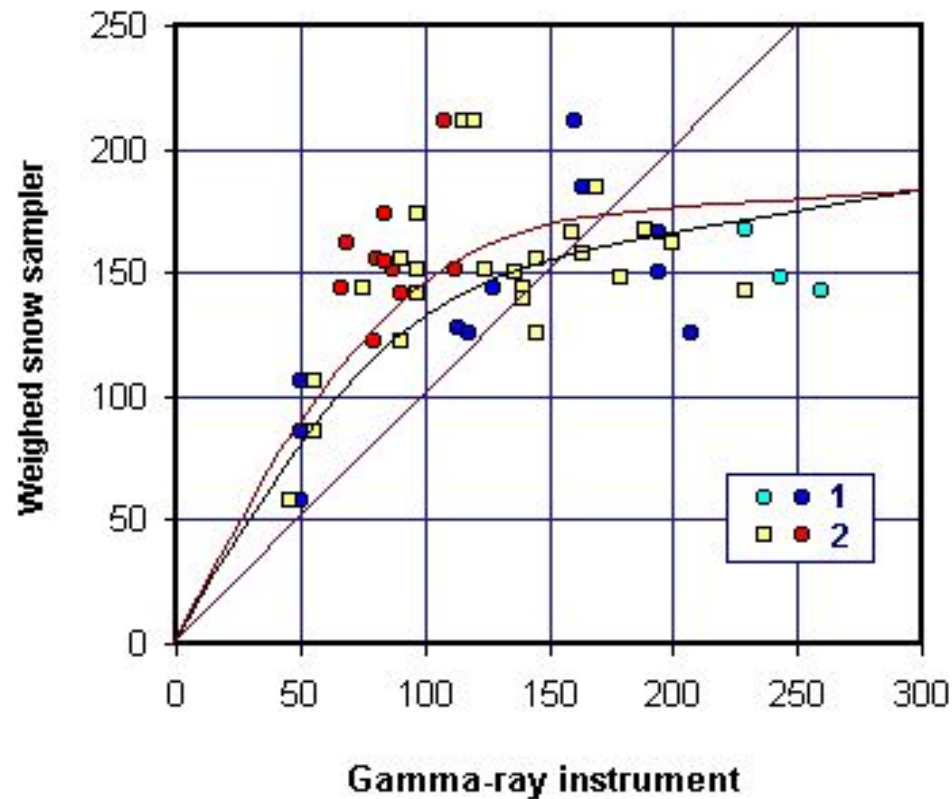
- Методы измерений снегозапасов
- Дистанционная индикация снежного покрова
- Распределения и структуры в поле снегозапасов
- Климатические аспекты снежного покрова
- Гидрологические аспекты исследований
- Предложения к программе исследований

Наземные измерения снеготпасов



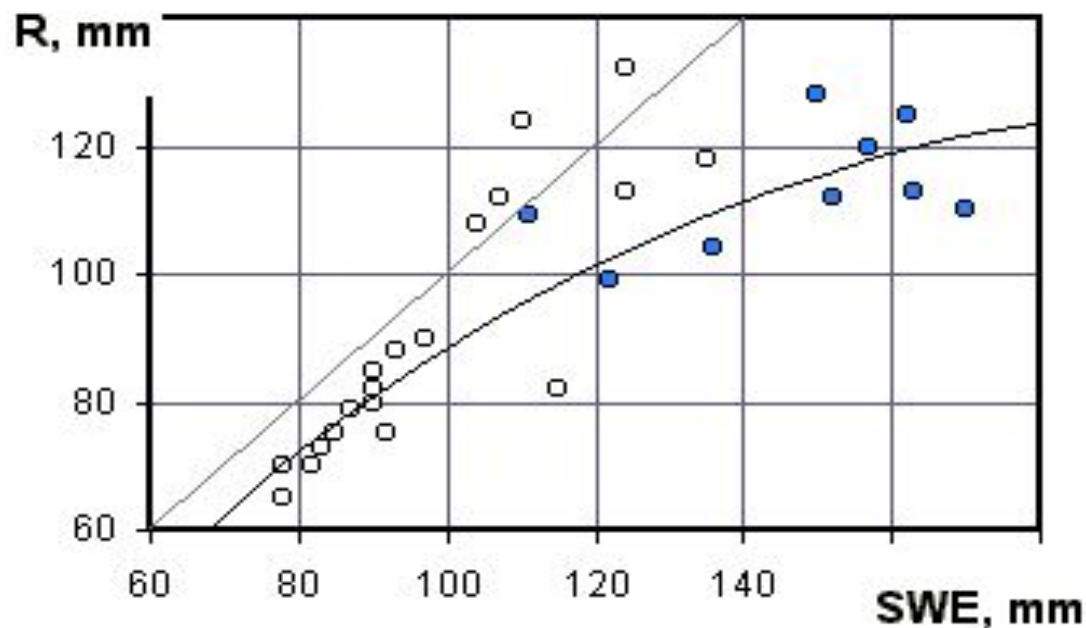
Запас воды в снеге (мм): $H = 10 d h$, где d – плотность (г/см^3), h – высота снега (см) на маршруте снегосъемки

Техника измерений: гамма-съёмка



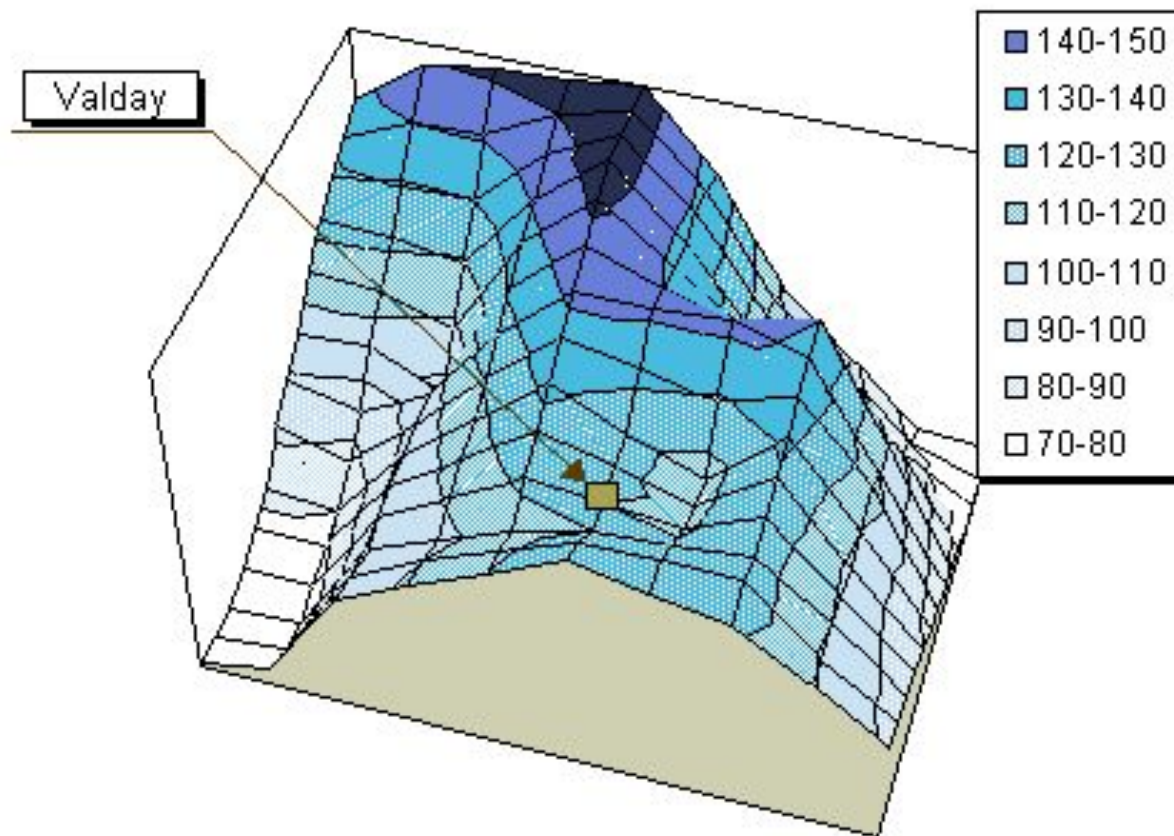
Наземная гамма-съёмка существенно завышает запас воды в мощном слое сухого снега (1) и занижает его в период таяния (2)

Проблема калибровки радара



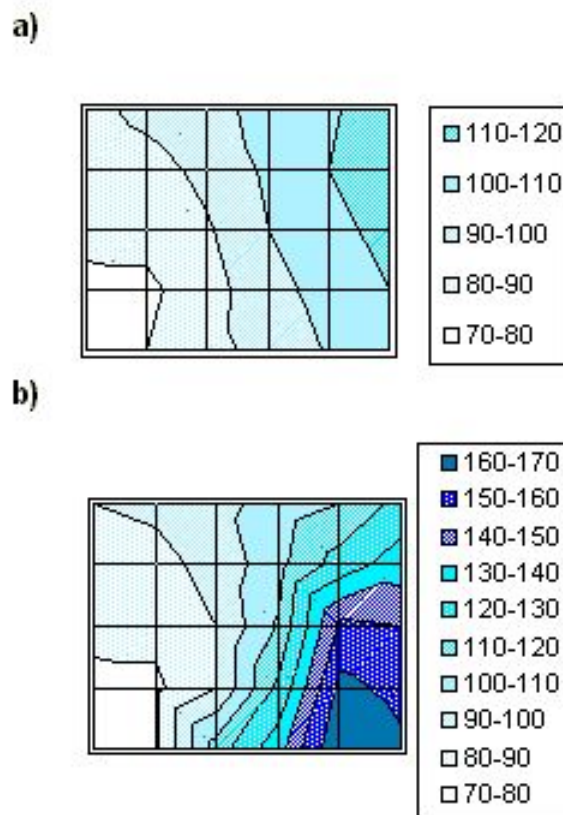
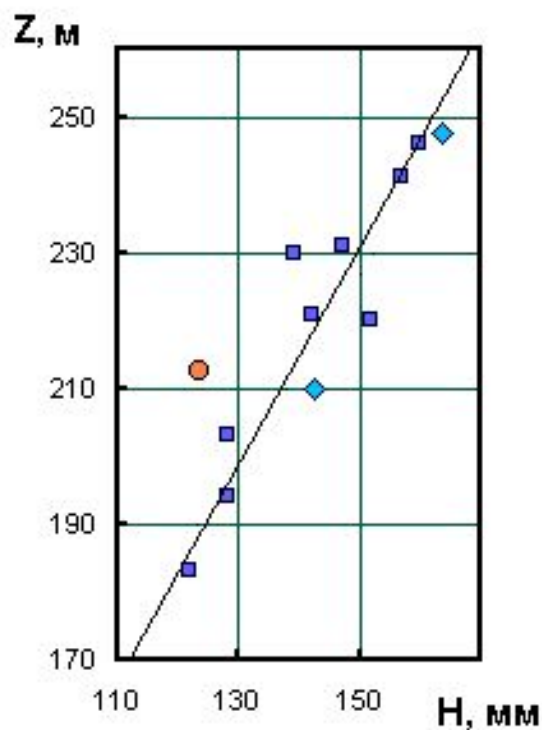
Суммы твердых осадков по данным радара (R) и запасы воды в снеге (SWE), темные точки – данные наблюдений в бассейне р. Полометь, интерполированные с учетом высоты

Снегозапасы на Валдае



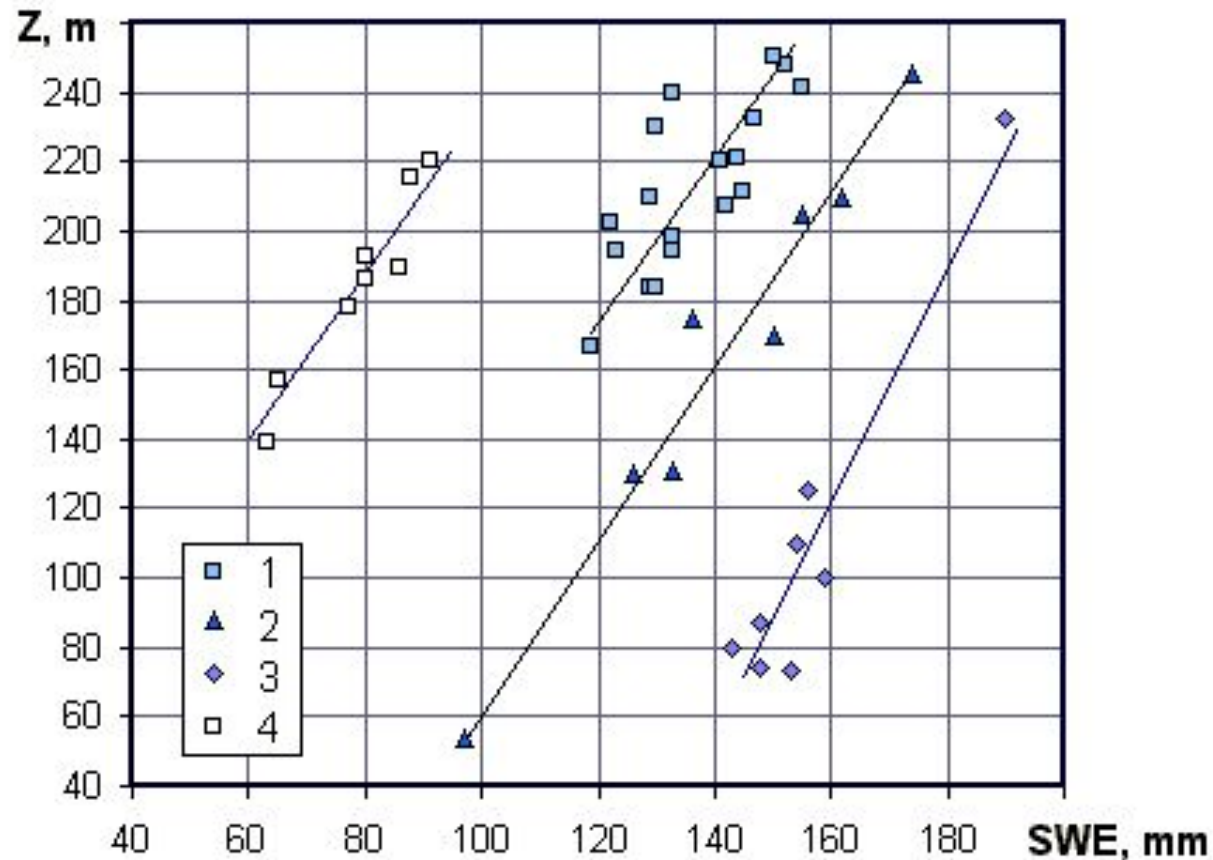
Эта трехмерная диаграмма построена по данным многолетних наблюдений стандартной метеорологической сети (19 станций)

Влияние рельефа на снегозапасы



Справа - карты снегозапасов (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

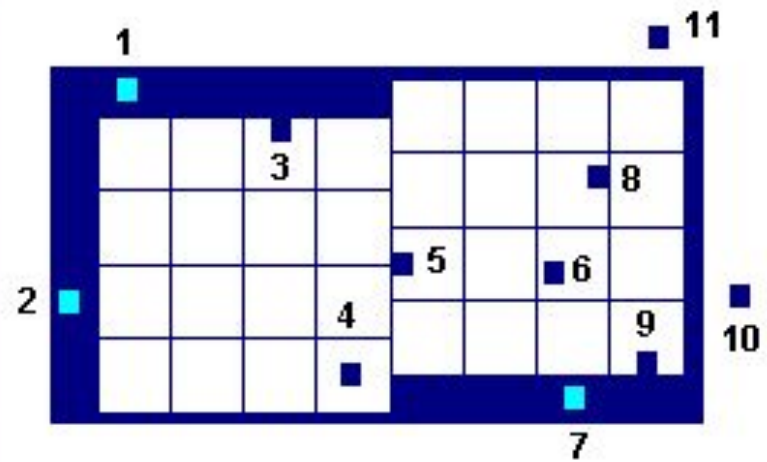
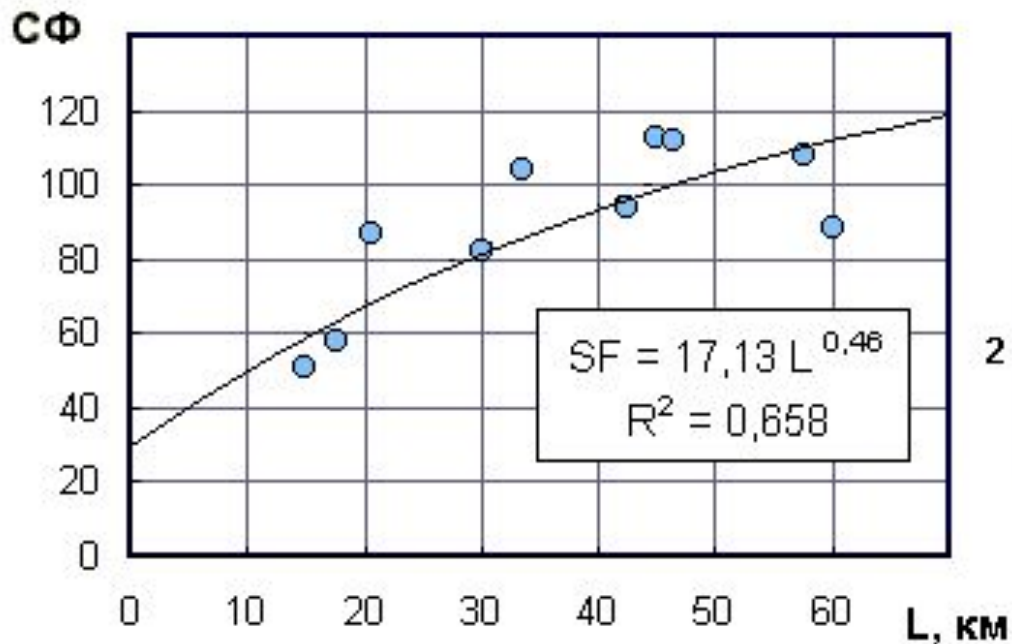
Кригинг – разновидность интерполяции данных наблюдений в произвольно расположенных пунктах в узлы регулярной сетки. Существующие программы типа **SURFER** или иные основаны на решении следующей системы уравнений:

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

$$\sum \Lambda_j = 1$$

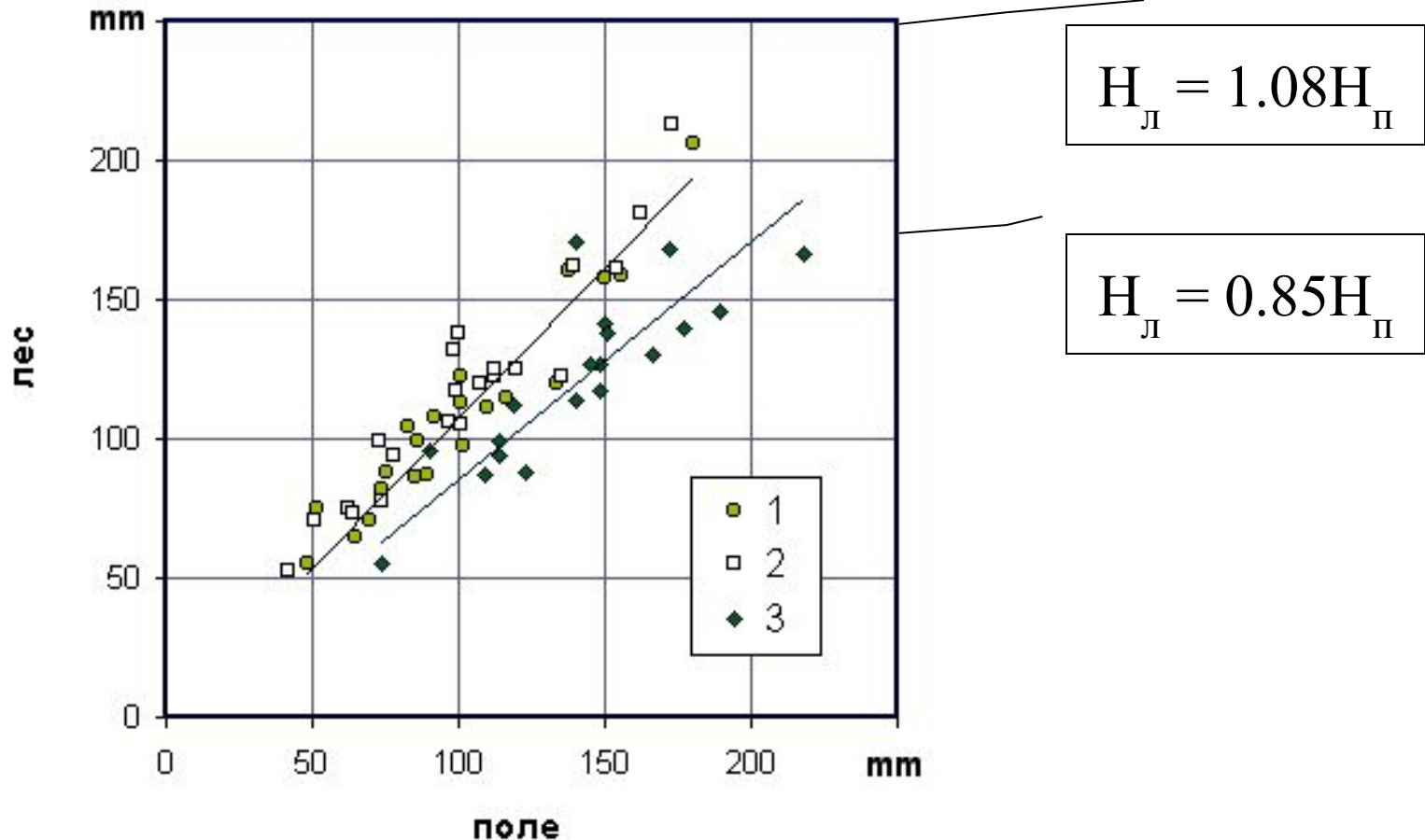
где i - индекс узла, а j – индекс станции, $V_{j_0}(\mathbf{L})$ – вариограмма (структурная функция), $V_{ij}(\mathbf{L})$ то же для каждой из пар “узел – станция”, μ – множитель Лагранжа, делающий данную систему уравнений совместной.

Структурная функция (СФ)



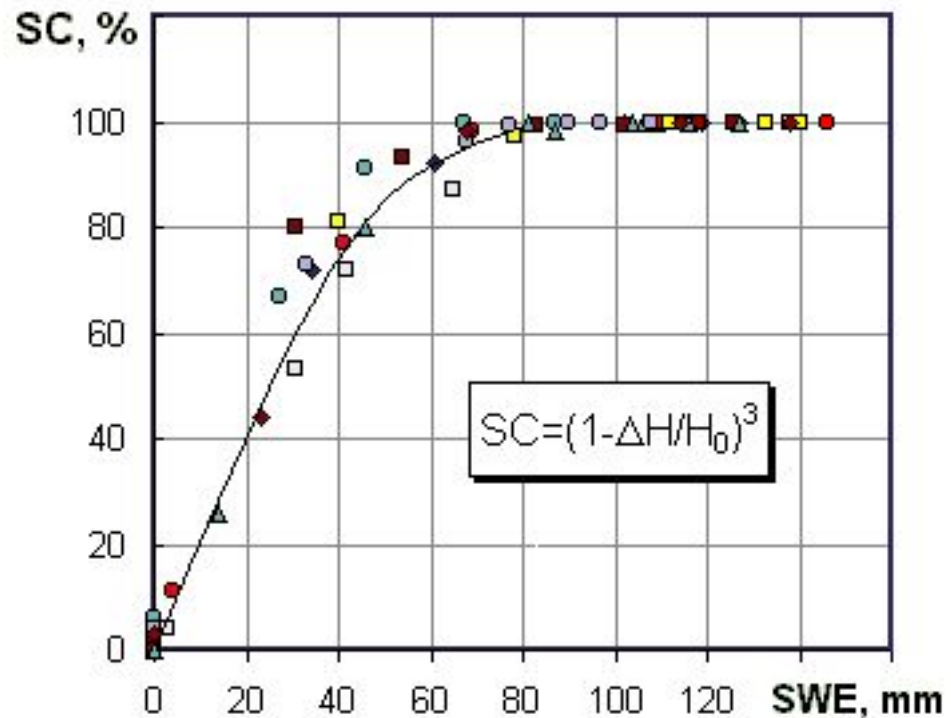
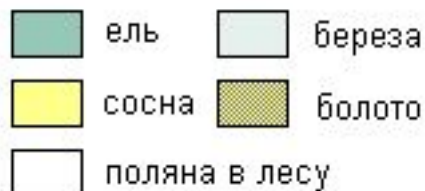
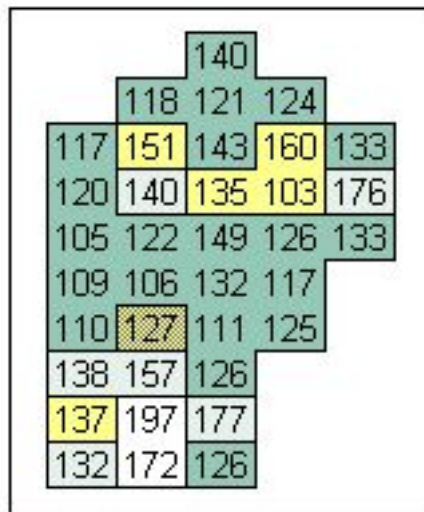
СФ применяется в оптимальной интерполяции снегозапасов, измеренных на станциях, например в бассейне р. Москвы (справа), в узлы регулярной сетки

Отношение снегов запасов «лес – поле»



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

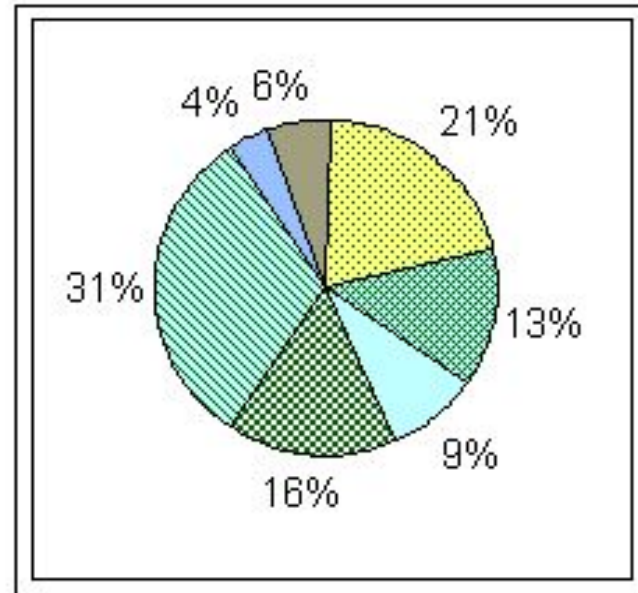
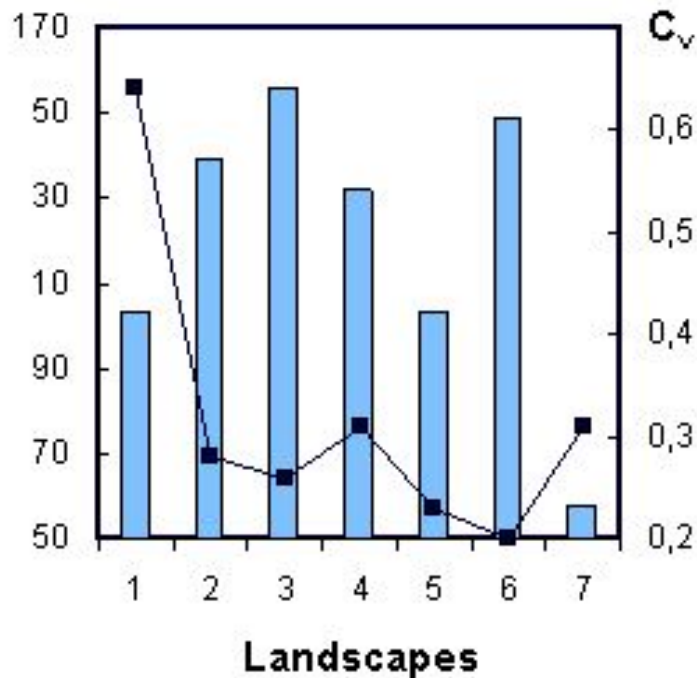
Снег на лесном водосборе



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

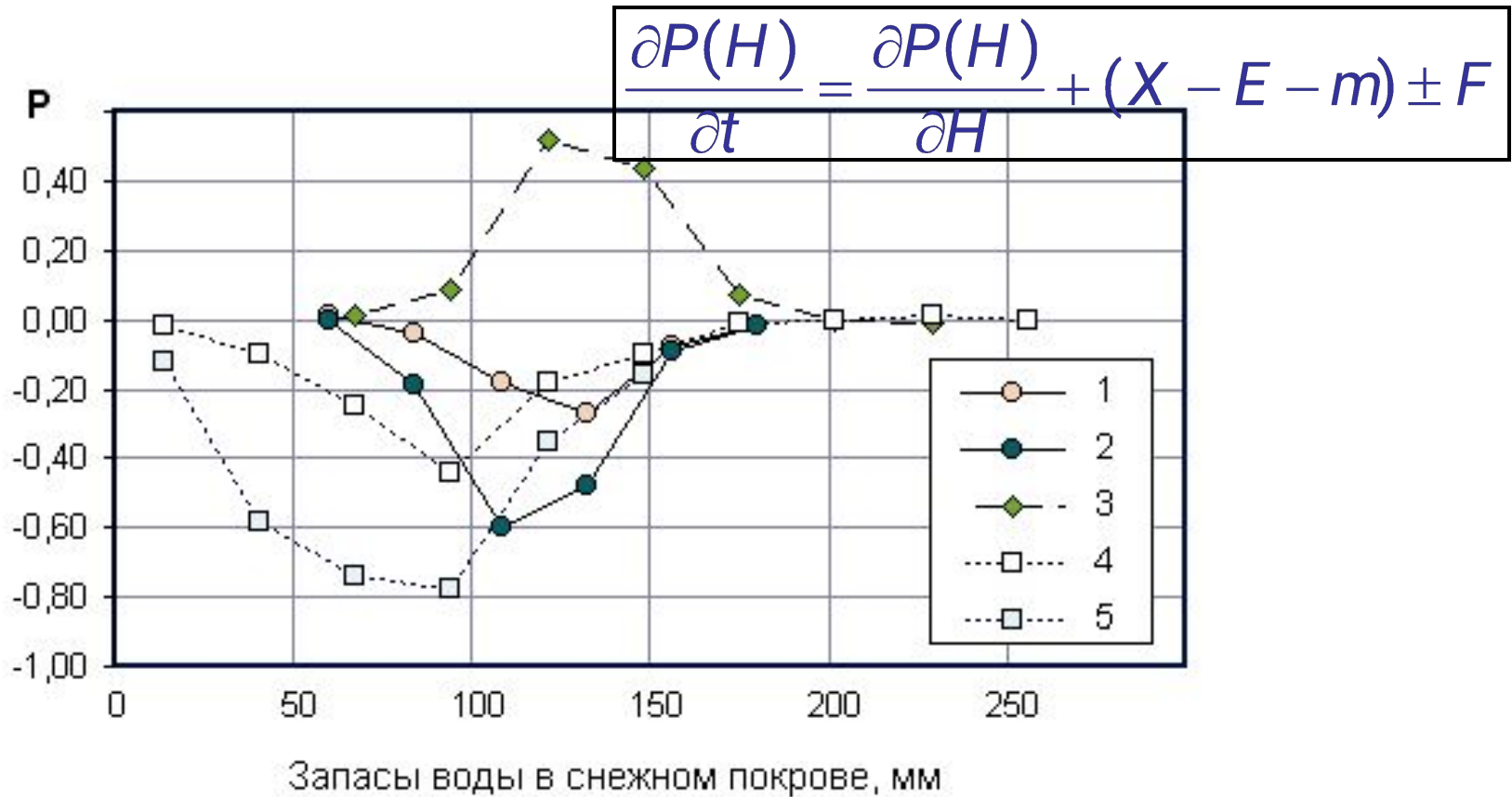
Снег в различных ландшафтах

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

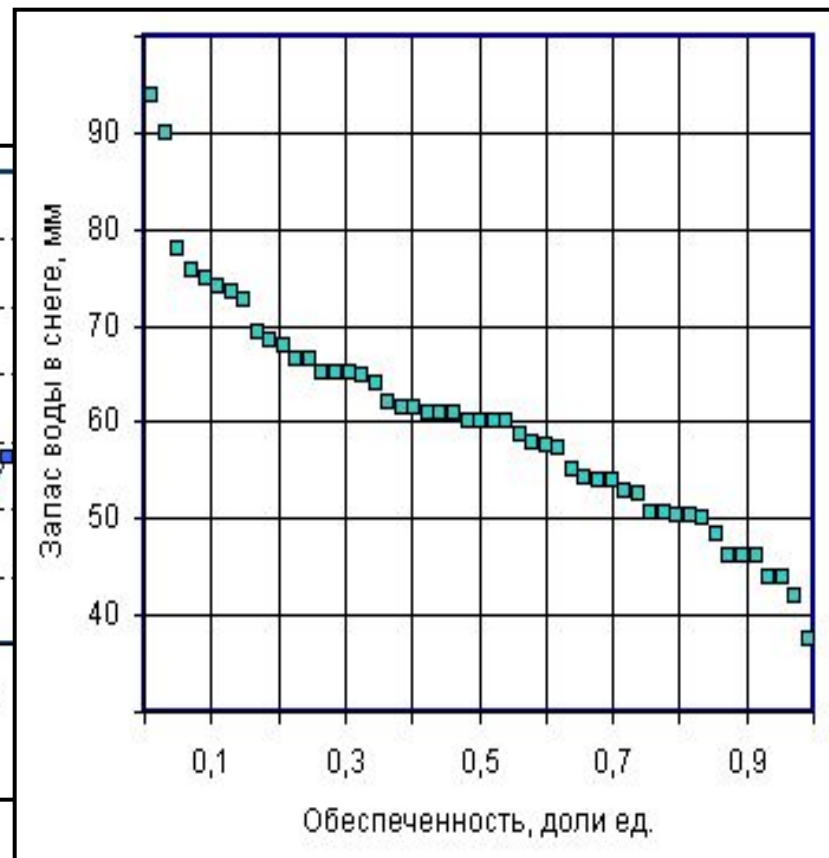
Дата	h	C _{vh}	d	H	C _{vH}	h	C _{vh}	d	H	C _{vH}	K _F
28.10	13	0.43	0.17	22	0.46	15	0.39	0.11	16	0.52	0.74
29.12	26	0.28	0.25	64	0.30	34	0.18	0.25	83	0.20	1.29
02.02	35	0.21	0.24	84	0.22	41	0.17	0.26	107	0.16	1.28
01.12	21	0.25	0.17	36	0.25	32	0.21	0.16	50	0.19	1.39
31.12	33	0.25	0.21	66	0.23	42	0.18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

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

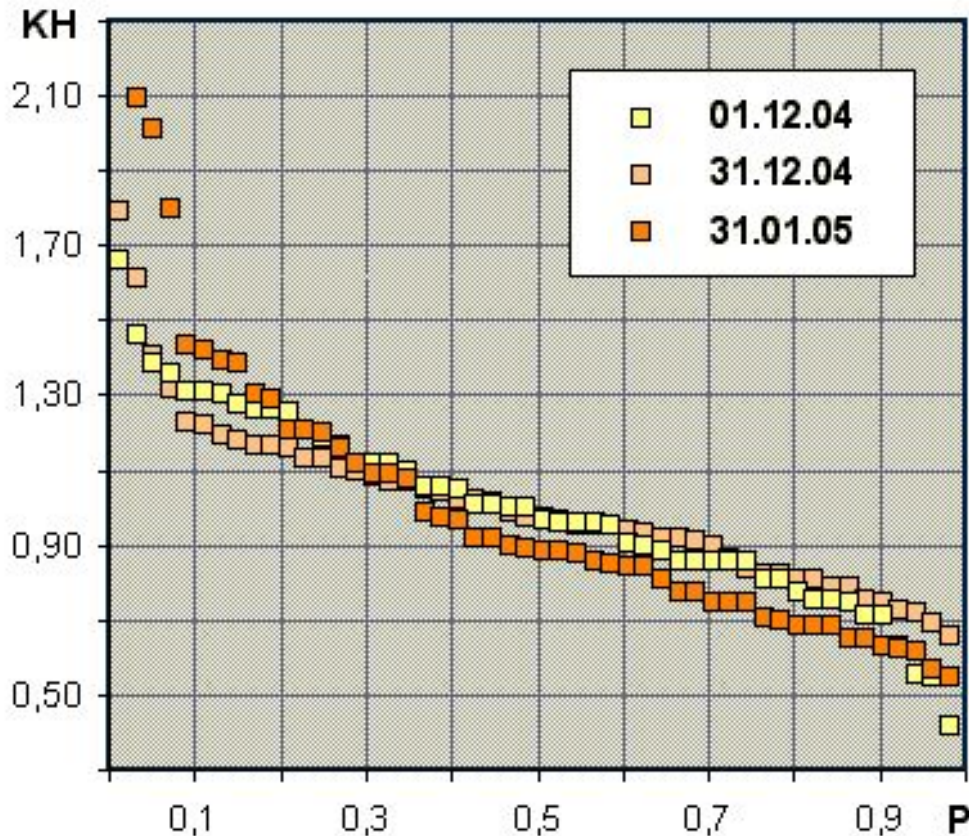
Данные съемки 4.01.2010 г.

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

Колеи трактора

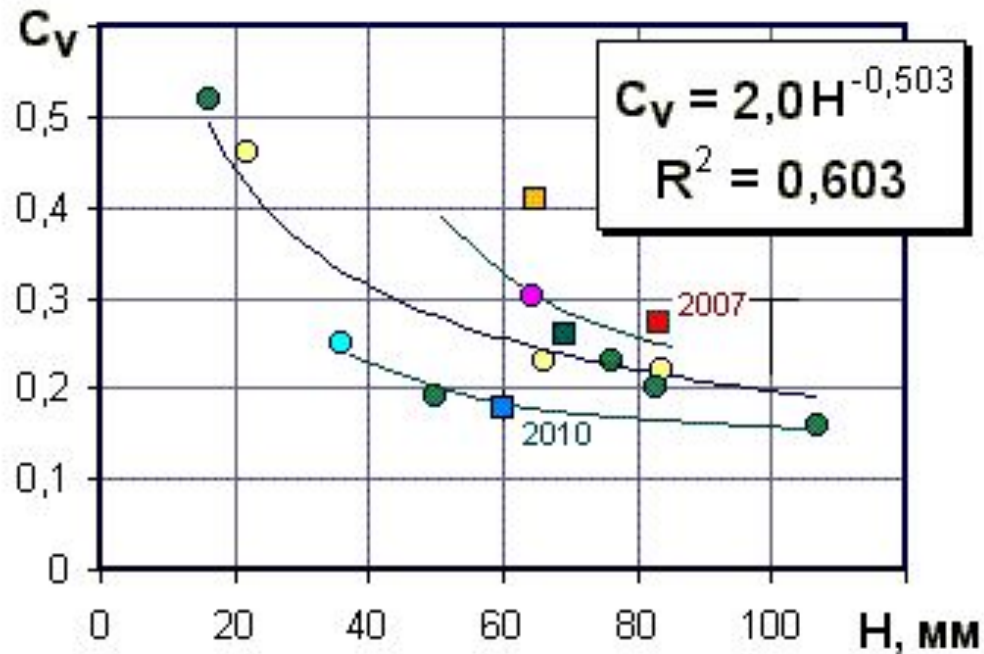


Кривые обеспеченности



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

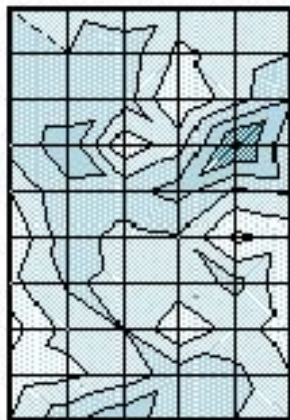
Коэффициент вариации



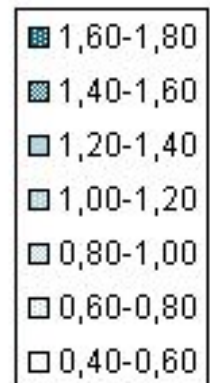
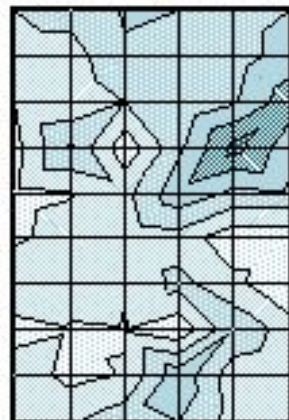
Коэффициент вариации снеготпасов (C_v) по материалам специальных снегосъемок 2003-05, 2006-07 и 2010 гг.

Структура полей снеготпасов

1988



1989



Устойчивые структуры полей снеготпасов 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

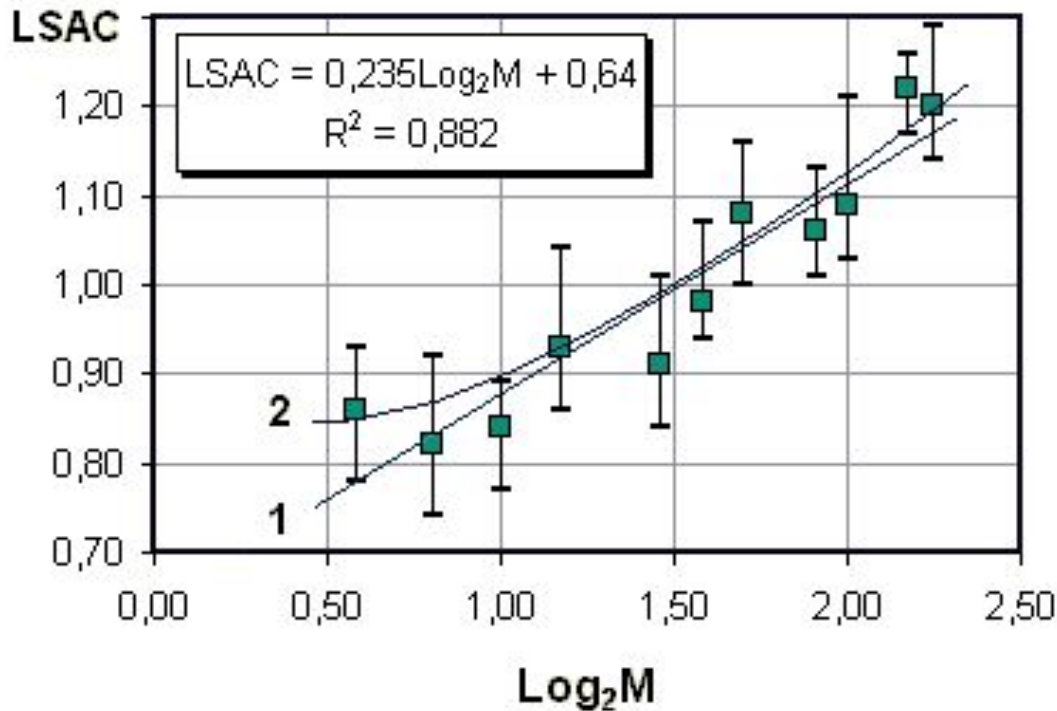
Исходя из представления информации по Шеннону и теоремы полной вероятности, было установлено, что индекс локального снегонакопления (**LSAC**) на отдельной ячейке поверхности пропорционален двоичному логарифму среднего ранга признаков **M**. По данным наблюдений получены следующие эмпирические уравнения:

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

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

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

Log₂ 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

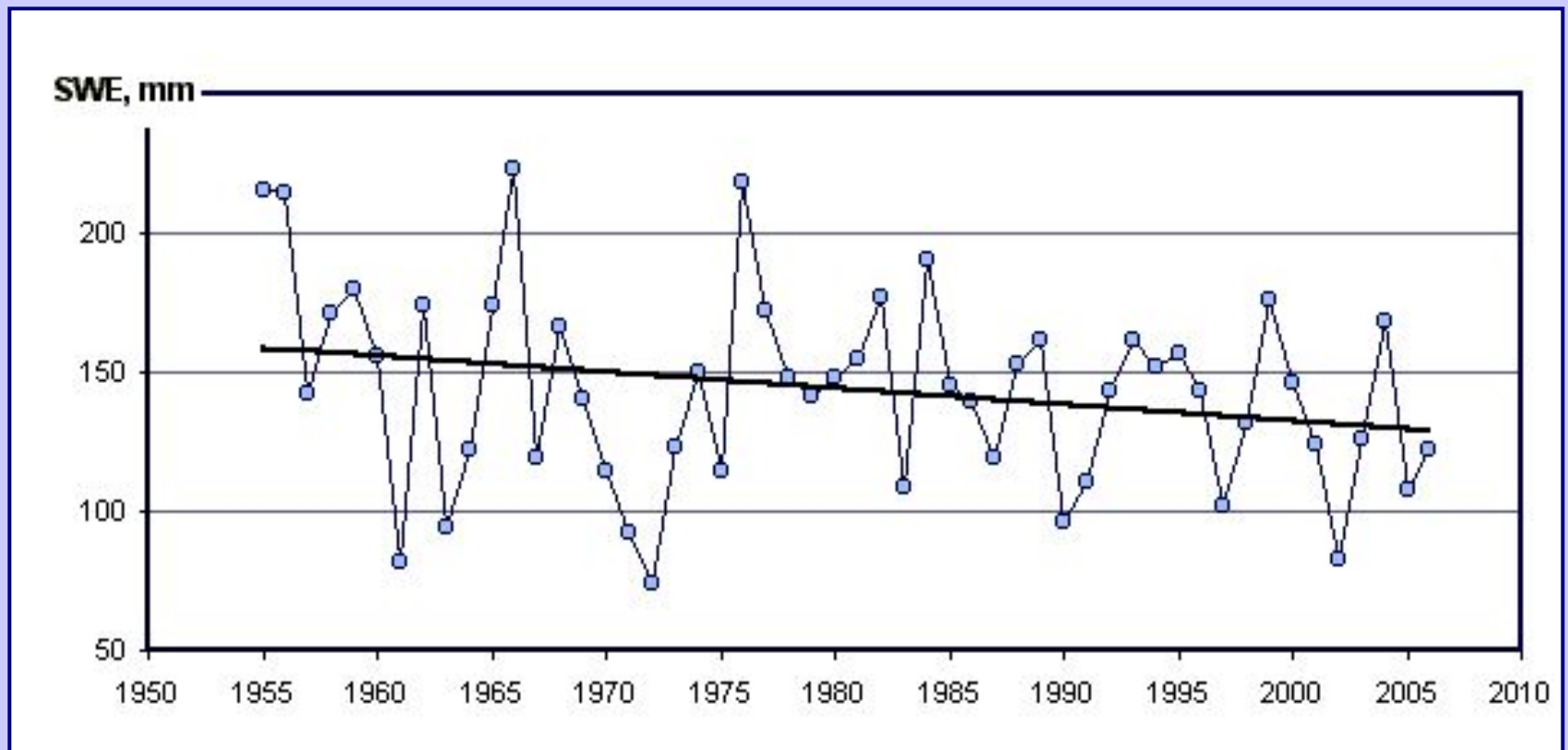
ЛКС

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

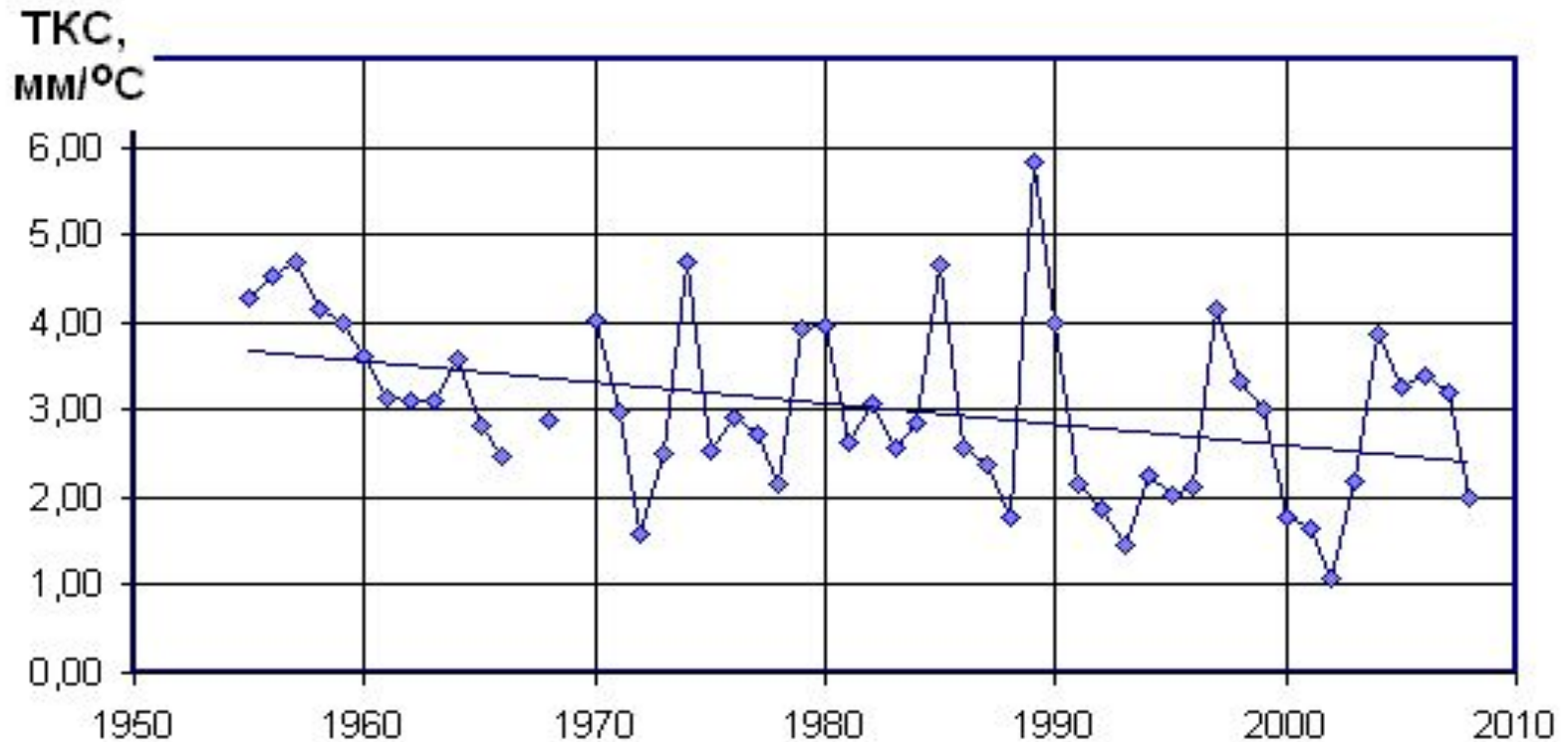
Снегозапасы, мм

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

Климатология снегов запасов



Интенсивность снеготаяния (ТКС)



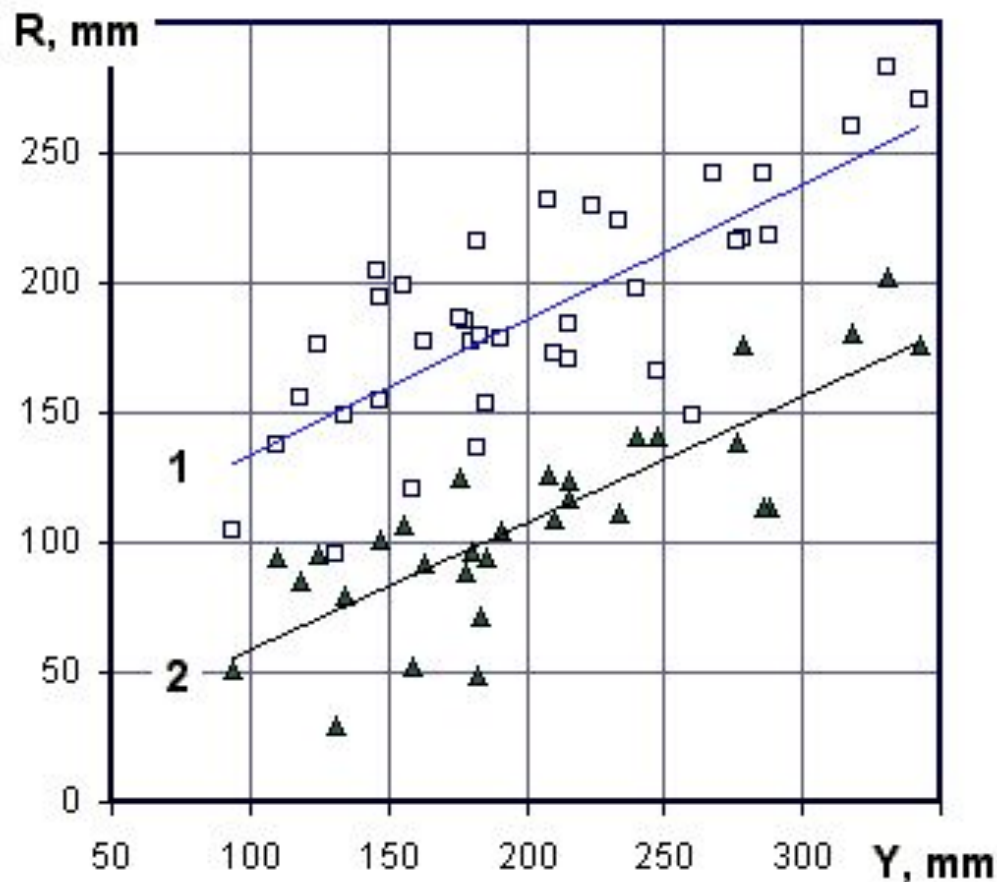
Наблюдается: а) снижение интенсивности таяния (ТКС),
б) рост межгодовой изменчивости ТКС

Климатические параметры снеготаяния

Период	Y , мм	$M_{\text{ср}}$, мм	M_{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



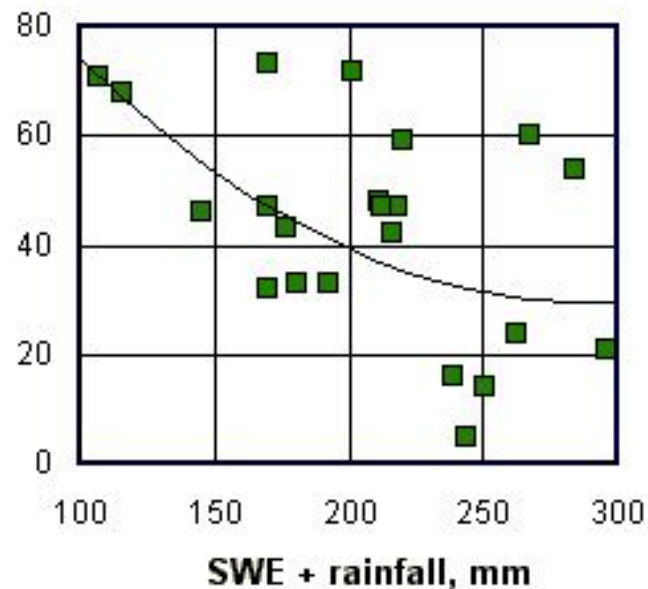
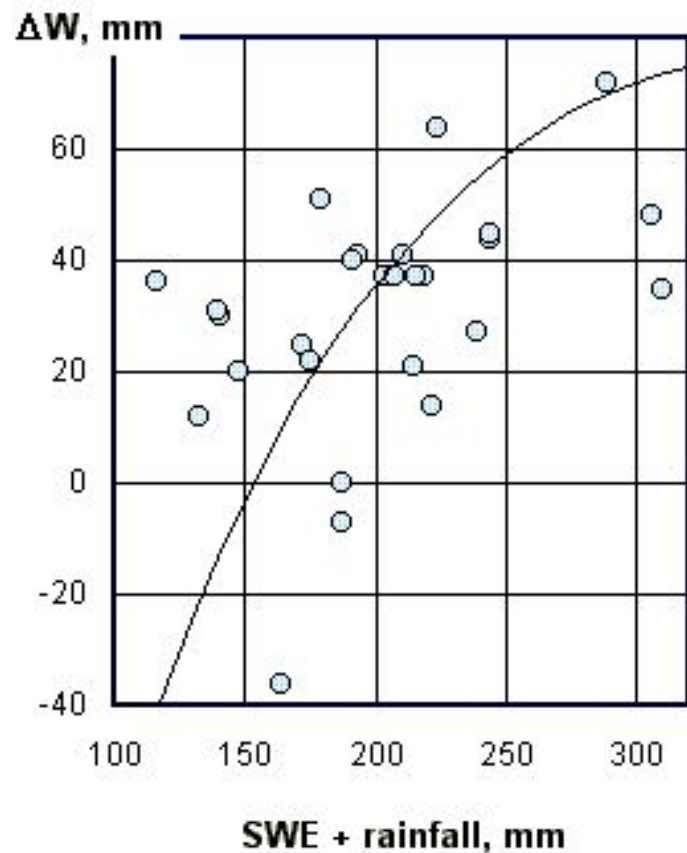
Связи стока (R) и слоя водоотдачи из снега (Y) на водосборах логов Усадьевского (1) и Таежного (2):

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

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

Коэффициент корреляции $0.77 \div 0.82$

Накопление влаги (ΔW) 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