

Российский государственный гидрометеорологический университет

Кафедра гидрофизики и гидропрогнозов

Доцент, к.т.н. Хаустов В. А.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА

Русское географическое общество  
Государственный гидрологический институт

Научно-техническое совещание «Перспективы развития методов гидрологического прогнозирования в Российской Федерации в современных условиях»

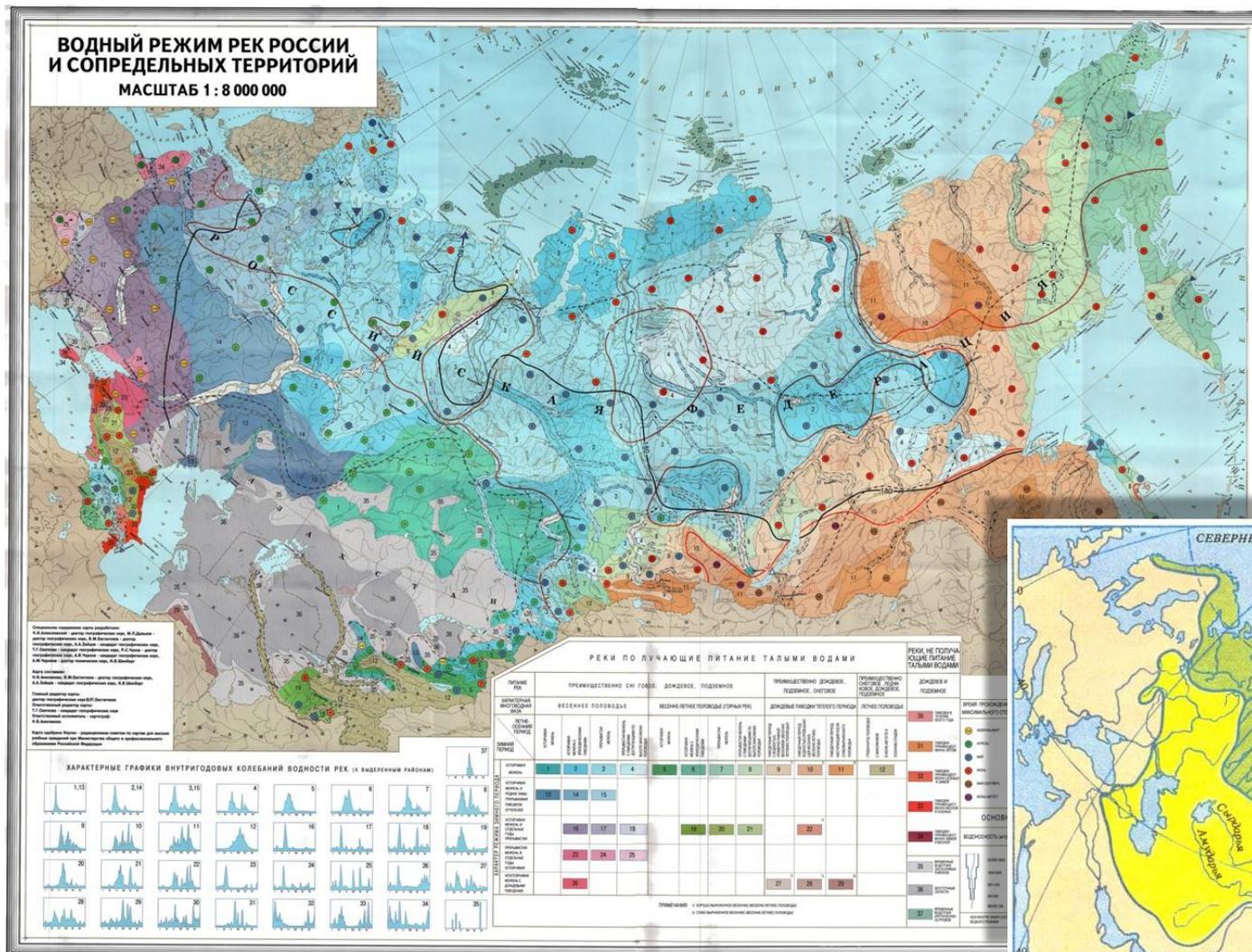
20 ноября 2018 г.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

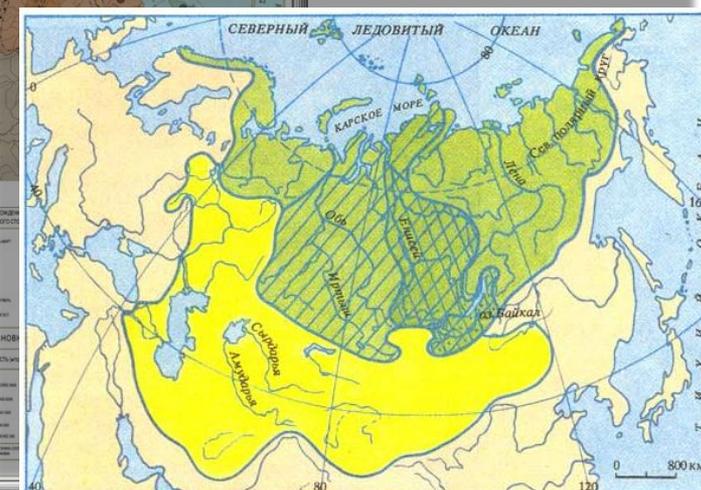
1. Начиная со второй половины 70-х годов XX в. на Европейской территории России происходят значимые изменения во внутригодовом распределении стока большинства рек. Основными факторами формирования максимального стока весеннего половодья являются снеготаяния и интенсивность снеготаяния.
2. Создана гидрометеорологическая база ежедневных данных с 1965 по 2017 гг. включающая:
  - приземную температуру воздуха,
  - осадки,
  - материалы маршрутных снегомерных съемок.
3. Апробирована математическая модель расчета ежедневных запасов воды в снеге.

**Цель работы** оценить степень точности расчетов снеготаяния с материалами маршрутных снегомерных съемок; дать оценку многолетней изменчивости формирующих максимальный сток факторов; формирование базы данных формирующих максимальный сток осадков и водоотдачи из снега.

# КАРТА ВОДНОГО РЕЖИМА РЕК РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ



Бассейн  
Северного  
Ледовитого  
океана и  
бессточные  
области



# МАССИВ ДАННЫХ

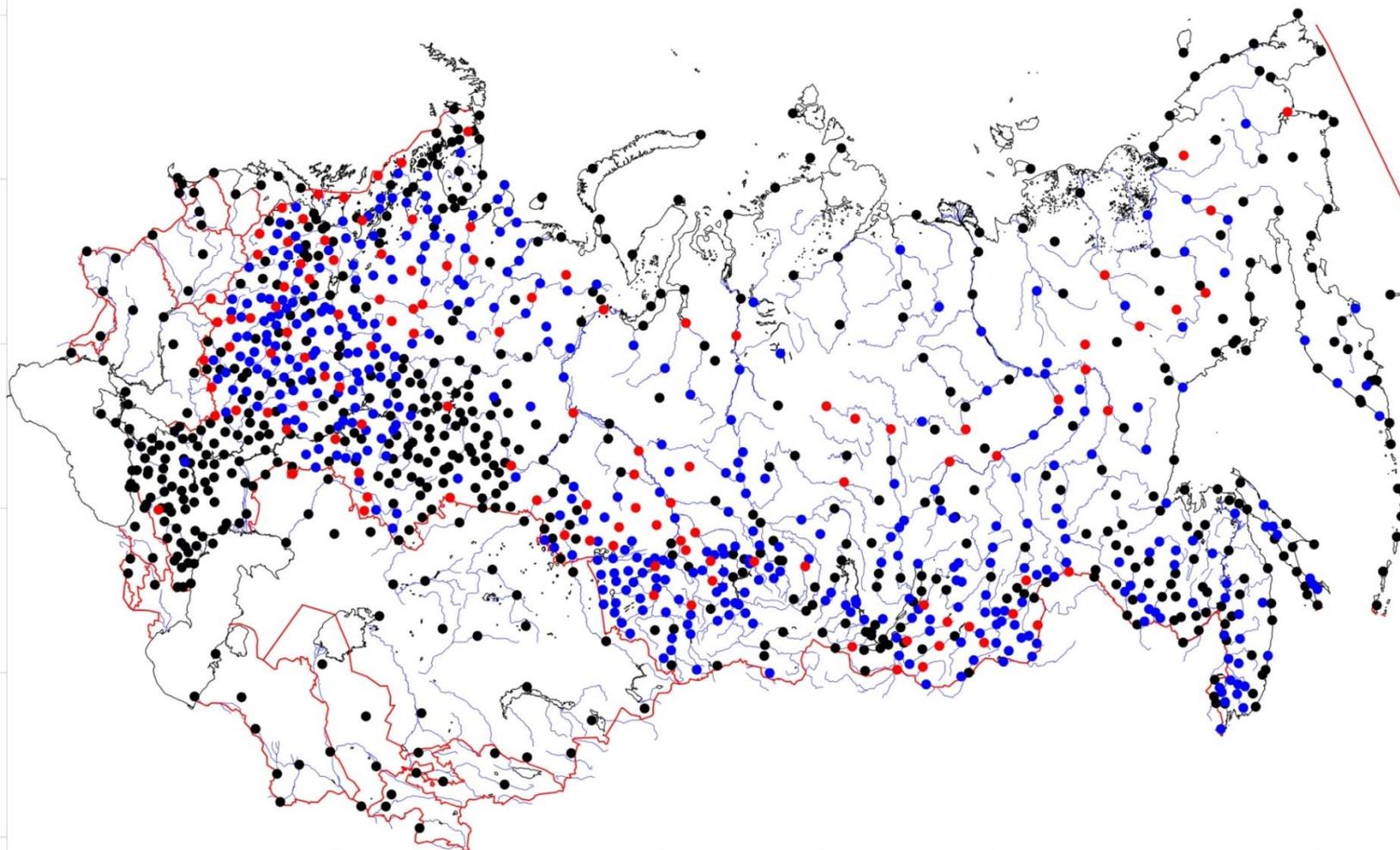


## Массив данных

- суточной температуры воздуха количества осадков на метеорологических станциях России содержит информацию по 600 станциям,
- характеристик снежного покрова по данным маршрутных снегомерных съемок по 476 станциям,
- суточных характеристик снежного покрова по 476 станциям.

Выбраны станции совместных наблюдений для моделирования формирования снеготранспорта и водоотдачи для различных зон России.

**Предмет исследования:** запас воды в снеге.



Расположение всех метеостанций по данным ВНИИГМИ МЦД (черный цвет), всех снегомерных (синий) и станций, для которых проведены расчеты снеготпасов (красный)

В качестве данных спутникового зондирования о запасах воды в снеге использованы материалы проекта Финского метеорологического института GLOBSNOW – Snow Water Equivalent (SWE).



FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

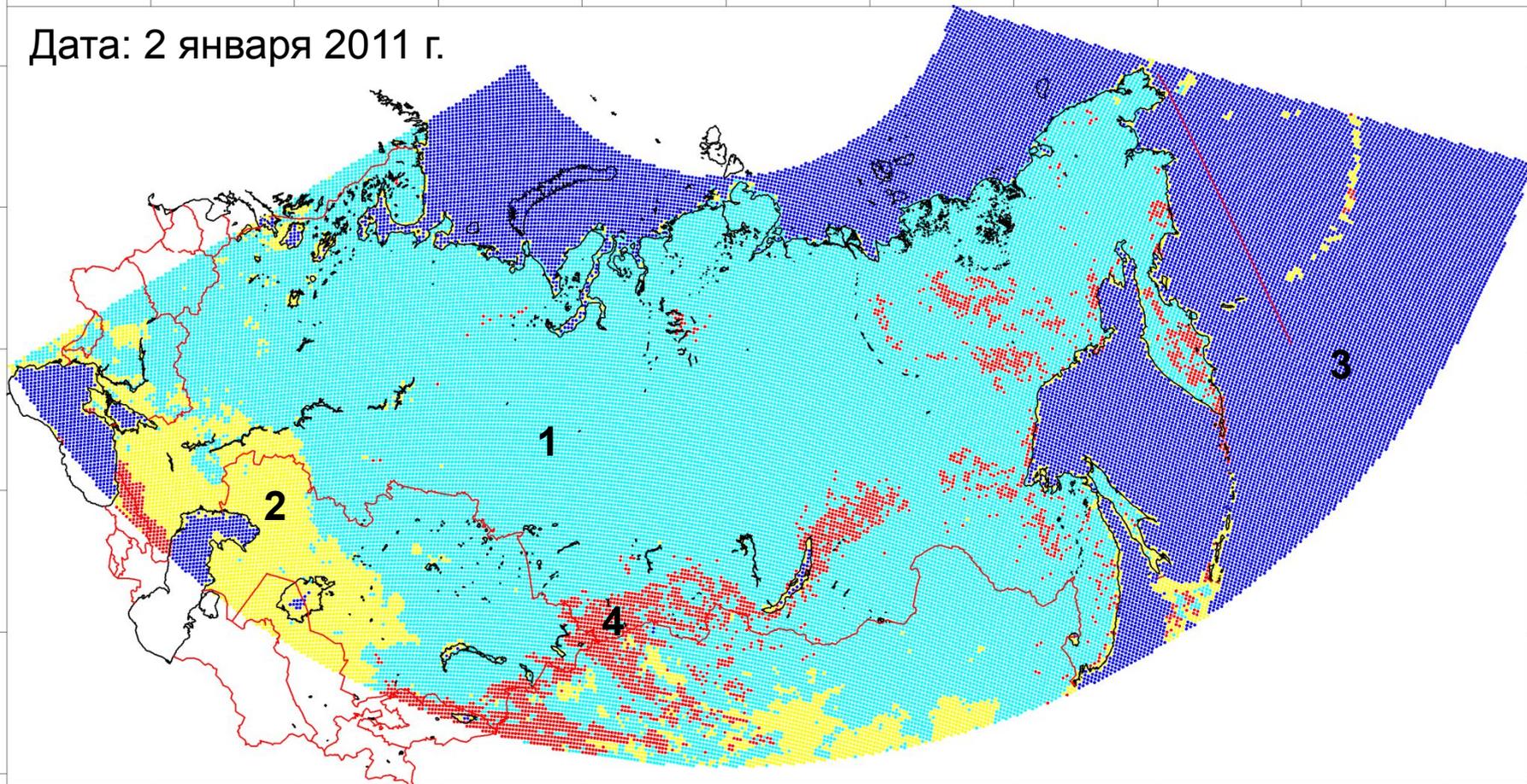


Данные представляют собой массив значений запаса воды в снеге (в мм слоя) в узлах сетки для всего Северного полушария. По специально разработанной программе из указанного массива выбраны узлы расположенные в пределах от  $42^{\circ}$  до  $78^{\circ}$  северной широты, от  $27^{\circ}$  до  $180^{\circ}$  восточной долготы и от  $168^{\circ}$  до  $180^{\circ}$  западной долготы.

На указанной поверхности расположены 57 493 узла сетки, из них часть попадает на водную поверхность, а часть – в горные районы. Для 56 указанных станций с маршрутными снегосъемками выбраны ближайшие узлы SWE.

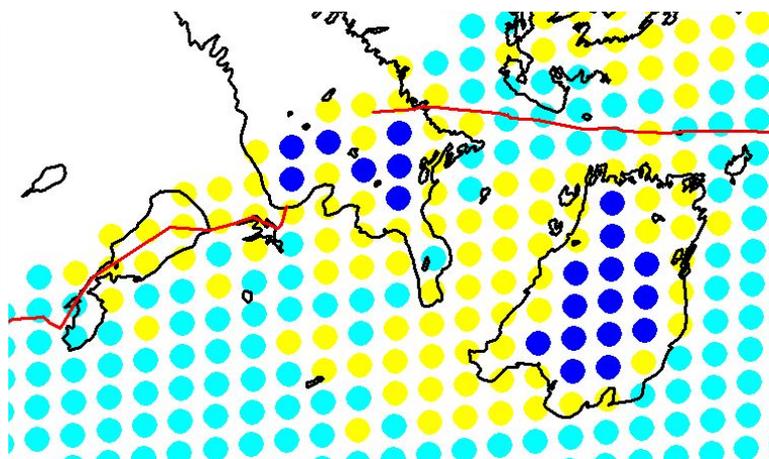
## РАСПОЛОЖЕНИЕ УЗЛОВ СЕТКИ С ДАННЫМИ SWE (Snow Water Equivalent)

Дата: 2 января 2011 г.

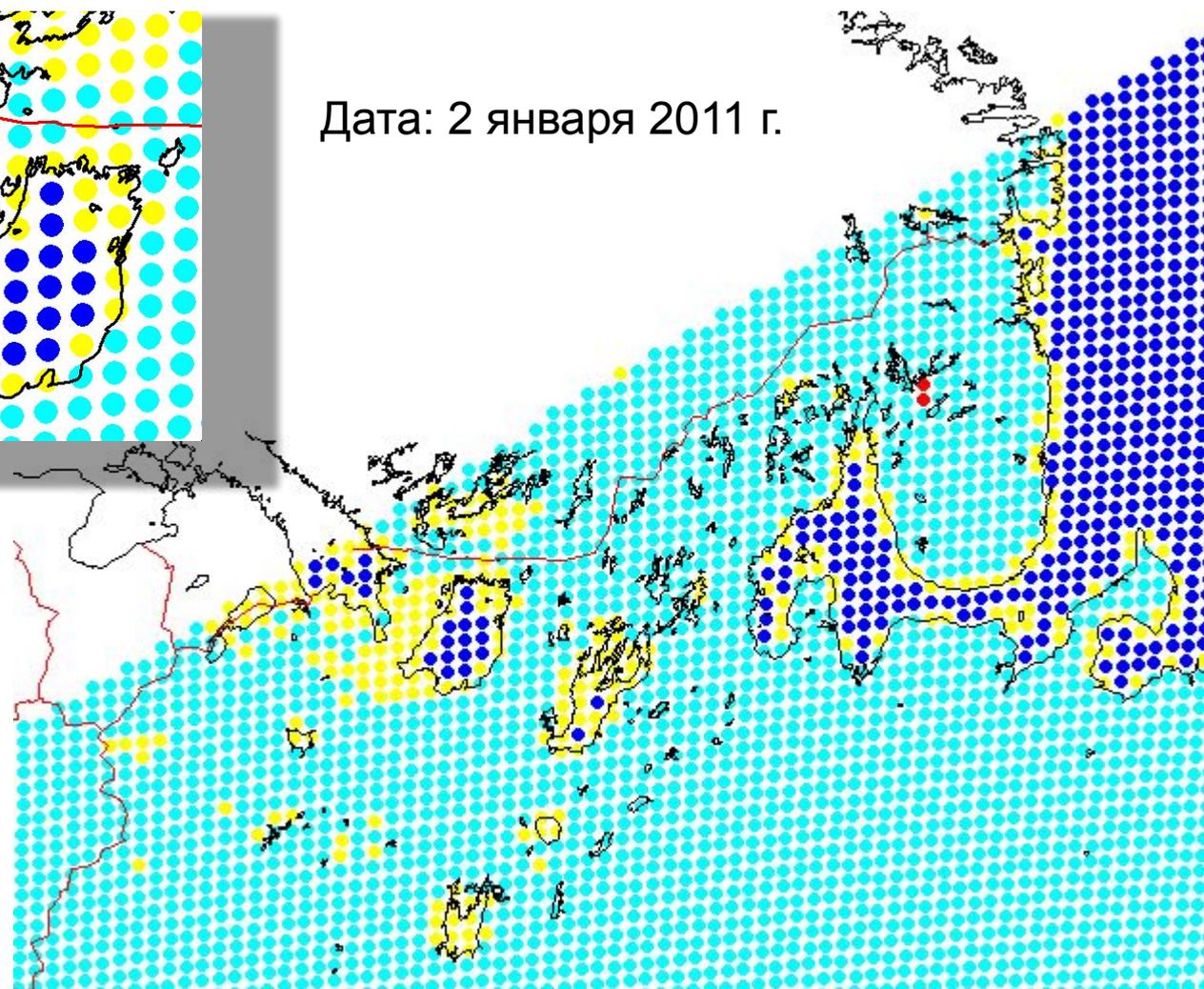


Обозначения: 1 – узлы с данными SWE (ненулевые значения), 2 – отсутствие снега (нулевые значения SWE), 3 – вода, 4 – горы.

## РАСПОЛОЖЕНИЕ УЗЛОВ СЕТКИ С ДАННЫМИ SWE (Snow Water Equivalent) для территории Северо-Запада России



Дата: 2 января 2011 г.



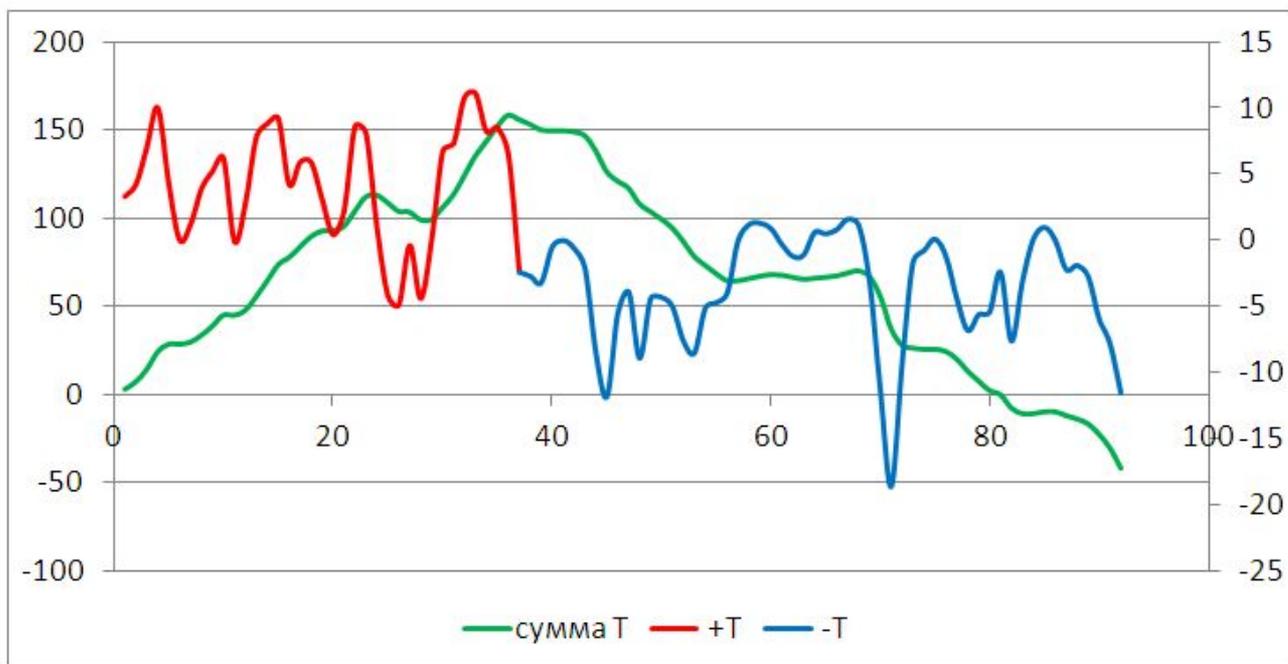
Обозначения (цвет):

голубой – узлы с данными SWE (ненулевые значения), желтый – отсутствие снега (нулевые значения SWE), синий – вода, красный – горы.

## МЕТОДИКА РАСЧЕТОВ

### 1. Определение даты начала снегонакопления на водосборе.

Предлагается назначить дату устойчивого перехода приземной температуры к отрицательным значениям по сумме температур в осенний период. Для этого, начиная с даты, когда температура становится ниже  $5^{\circ}\text{C}$  выполняется суммирование температур до даты, когда сумма принимает численные значения меньше 5-ти. Дата соответствующая первому значению после максимума суммы температур и принимается за устойчивый переход к отрицательным значениям.



## Мурманск

0 - год,

1 - номер с начала года устойчивого перехода через 0 весной,

2 - число дней теплого периода,

3 - номер с начала года устойчивого перехода через 0 осенью,

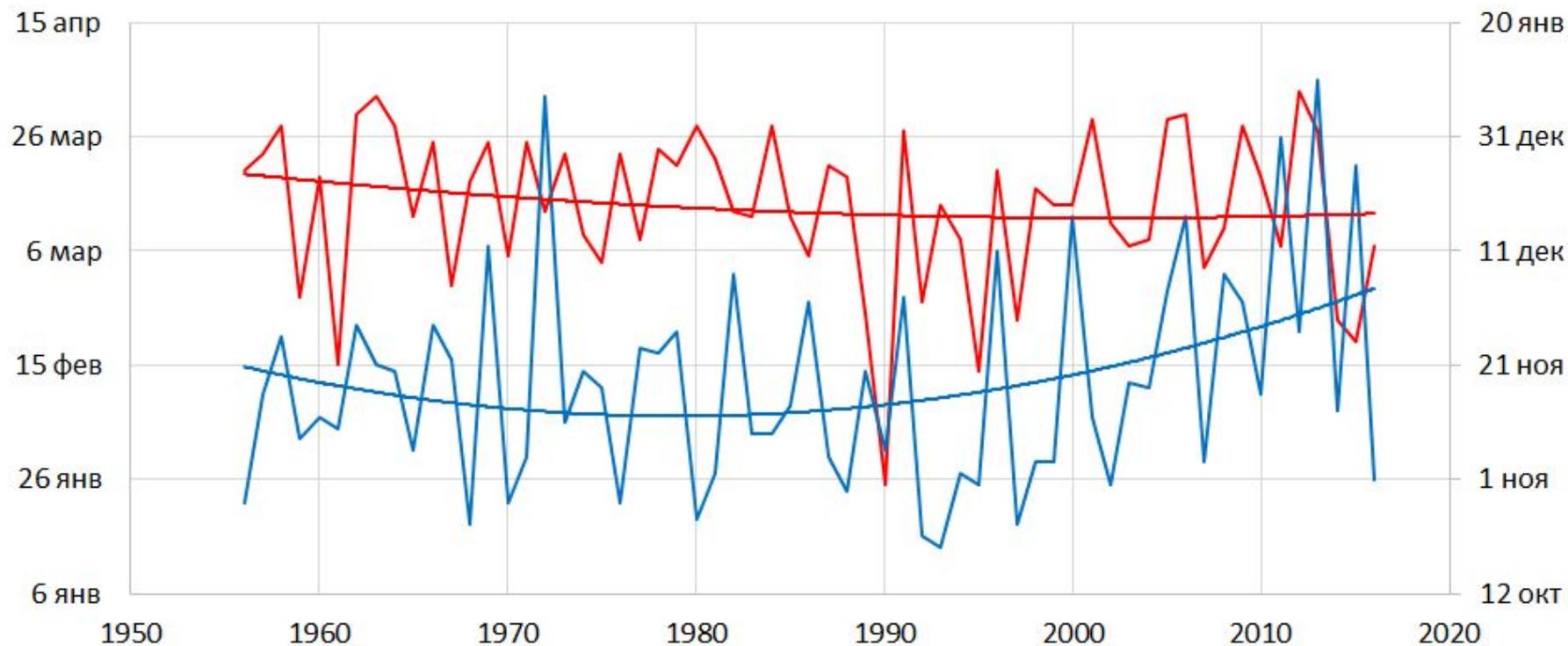
4 - число дней холодного периода,

5 - сумма температур теплого периода,

6 - сумма температур холодного периода.

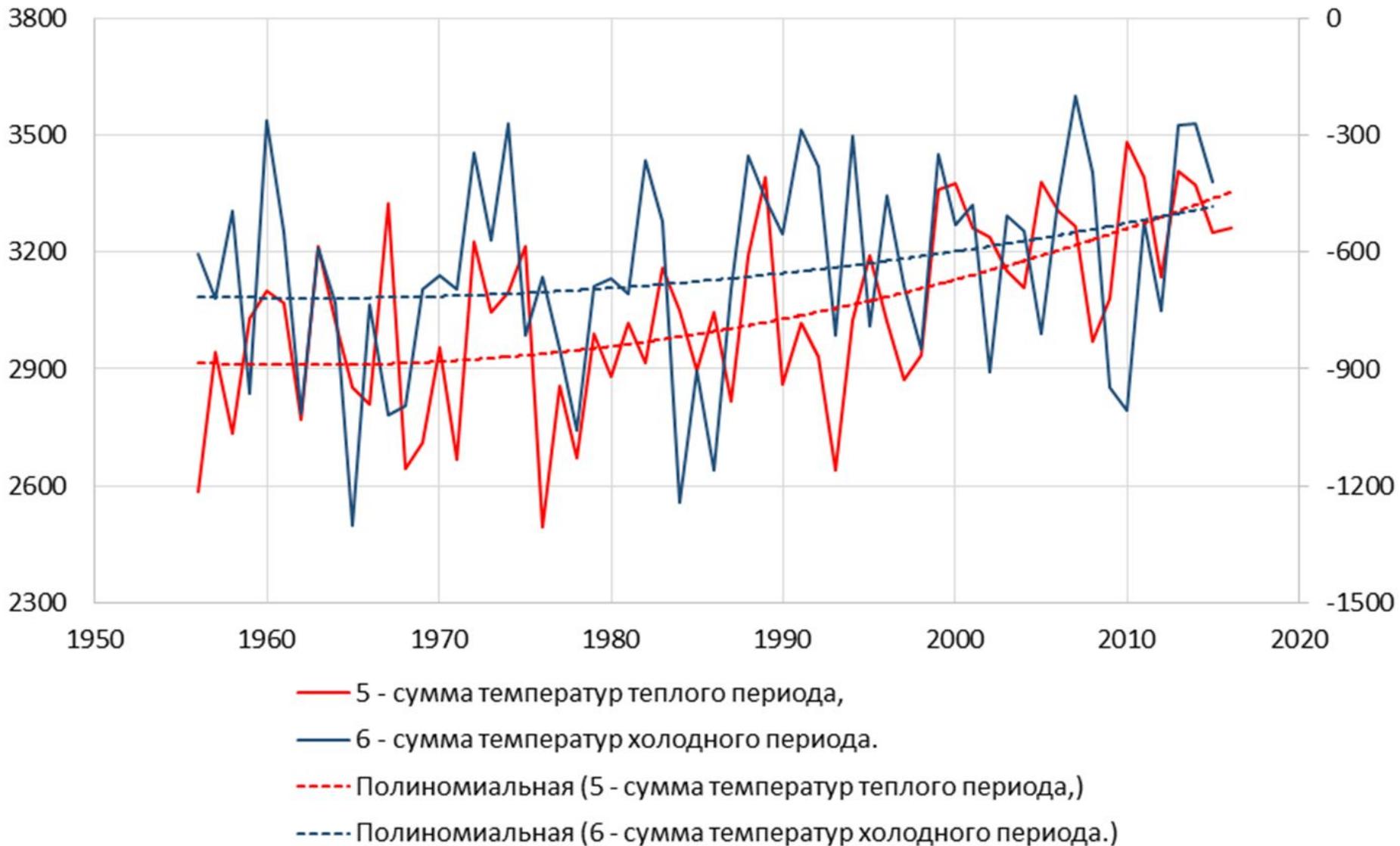
0	1	2	3	4	5	6
1965	103	179	282	0	1230.4	0.0
1966	132	147	279	215	1254.7	-2231.8
1967	87	234	321	173	1606.9	-1041.1
1968	145	137	282	189	1027.7	-1563.4
2015	88	222	310	170	1619.9	-911.9
2016	87	221	308	142	1917.7	-1004.1
2017	118	0	0	176	0	-904.9

## Даты устойчивого перехода температуры через 0°C

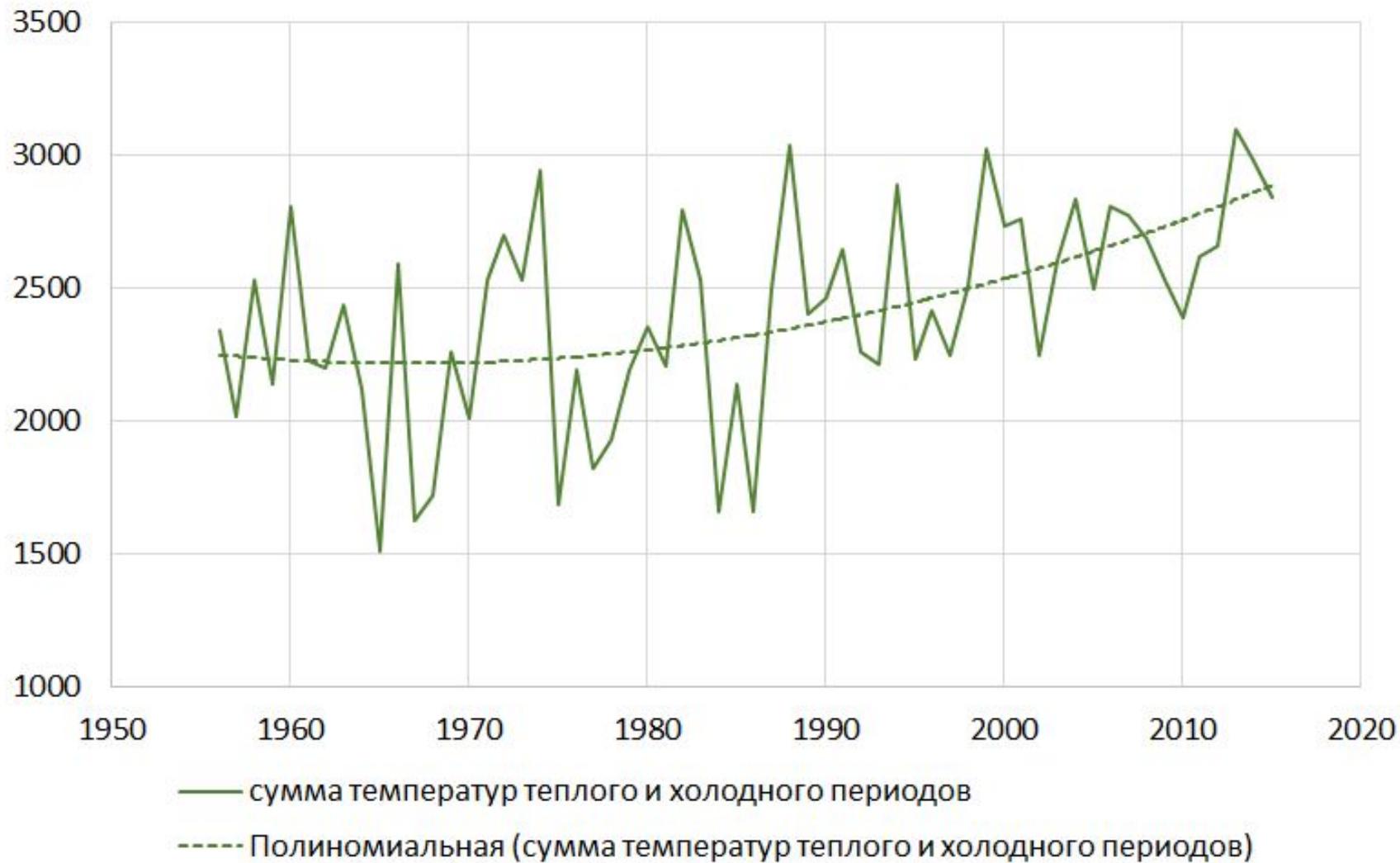


- 1+ - дата устойчивого перехода через 0 весной,
- 3+ - дата устойчивого перехода через 0 осенью,
- Полиномиальная (1+ - дата устойчивого перехода через 0 весной,)
- Полиномиальная (3+ - дата устойчивого перехода через 0 осенью,)

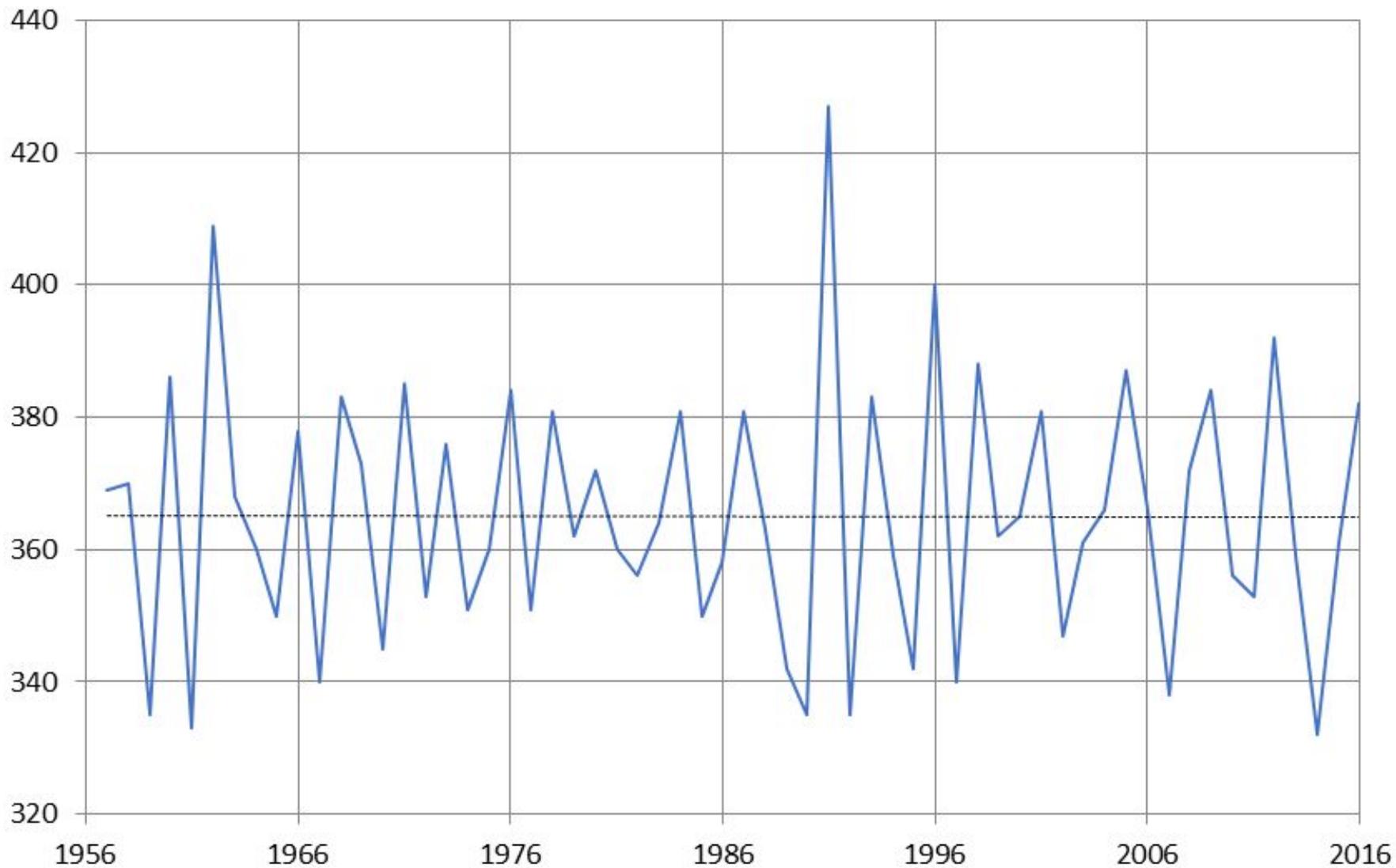
## Суммы температур теплого и холодного периодов, 0°С



## Суммы температур теплого и холодного периодов, 0°C



## Сумма числа дней теплого и холодного периодов



## Результаты оценки трендов характеристик температуры

77	17 мар	70	10 мар	
316	11 ноя	330	24 ноя	
239	дней	260	дней	21 день

## 2. Расчет снеготпасов, как суммы выпавших твердых осадков (снега) с учетом водоотдачи в период оттепелей.

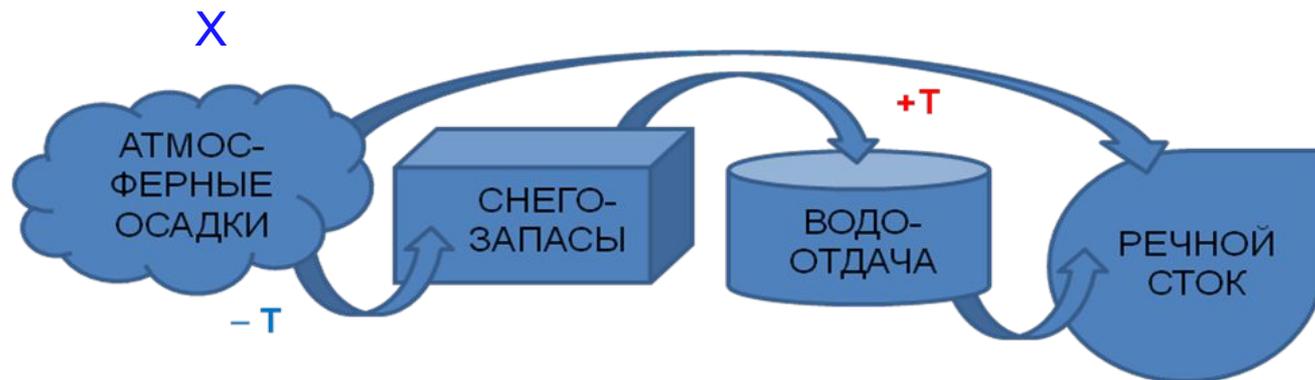
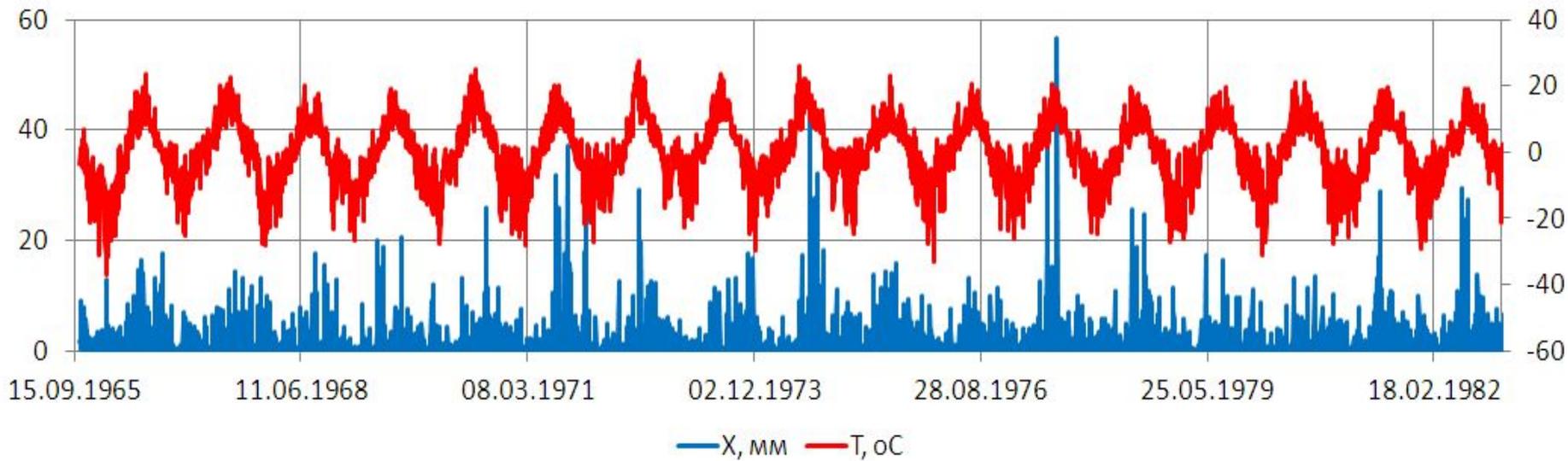
С даты устойчивого перехода температур к отрицательным значениям выполнялось суммирование твердых осадков (снега,  $X$ ) с коэффициентом потерь ( $kf$ ). В период оттепелей водоотдача учитывалась температурным коэффициентом ( $kt$ ) и положительными температурами ( $t^+$ ).

Формула для расчета снеготпасов на каждый ( $i$ -ый) день:

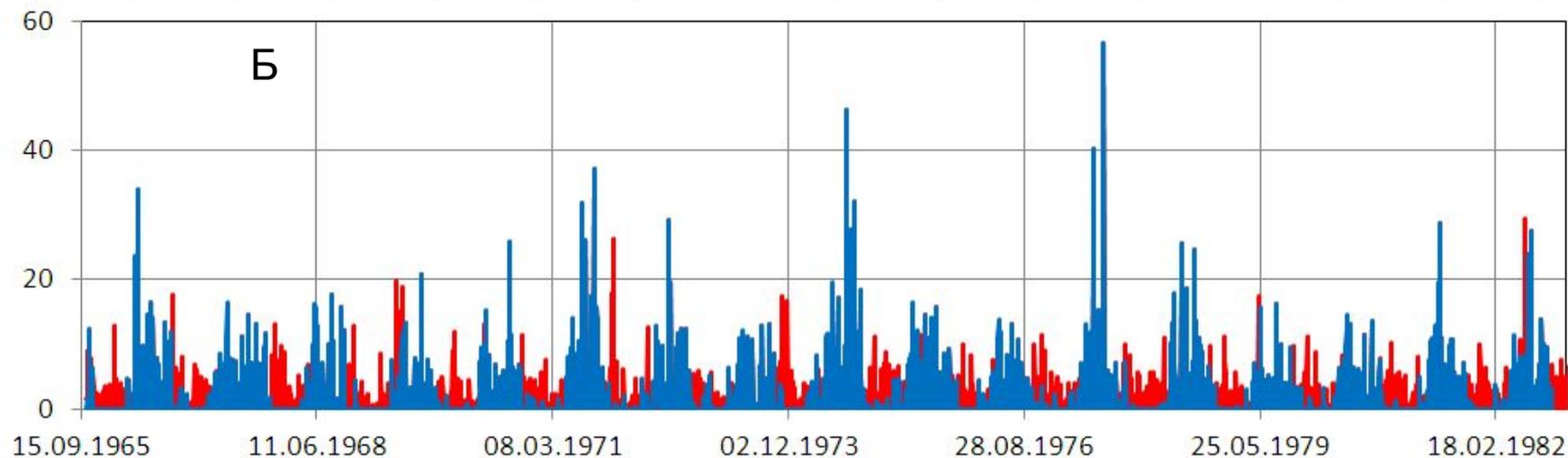
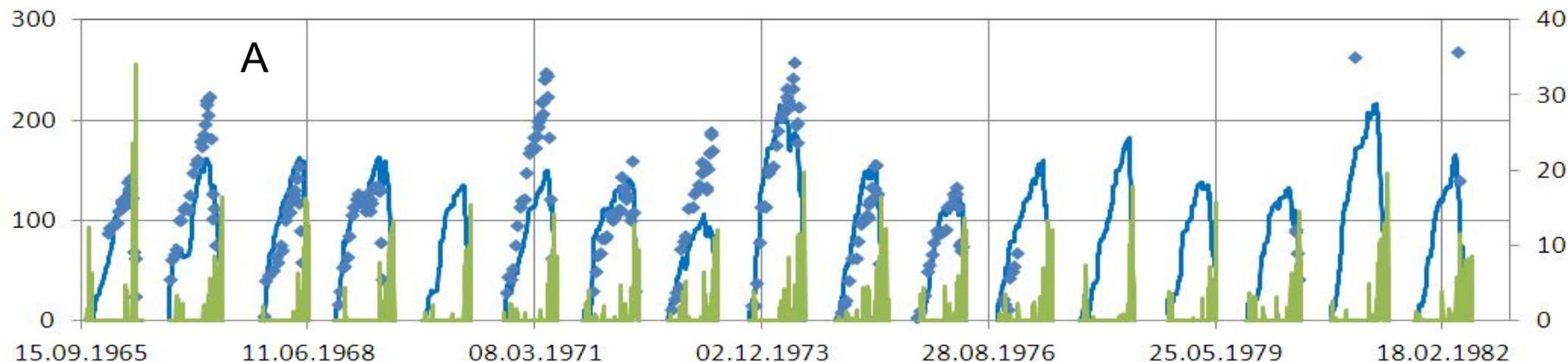
$$S_i = kf \sum_{i=1}^m X_i - kt \cdot t_i^+$$

Параметры модели  $kf$  и  $kt$  определялись при решении обратной задачи по известным запасам воды в снежном покрове (по данным снегомерных наблюдений), температуре и осадкам. Оптимизация выполнялась с помощью процедуры поиска решения MS Excel и решения системы линейных уравнений с переопределенной матрицей.

# Хронологические графики температуры воздуха и осадков за период с 1965 по 1982 г. для Мурманск (№ 22113)

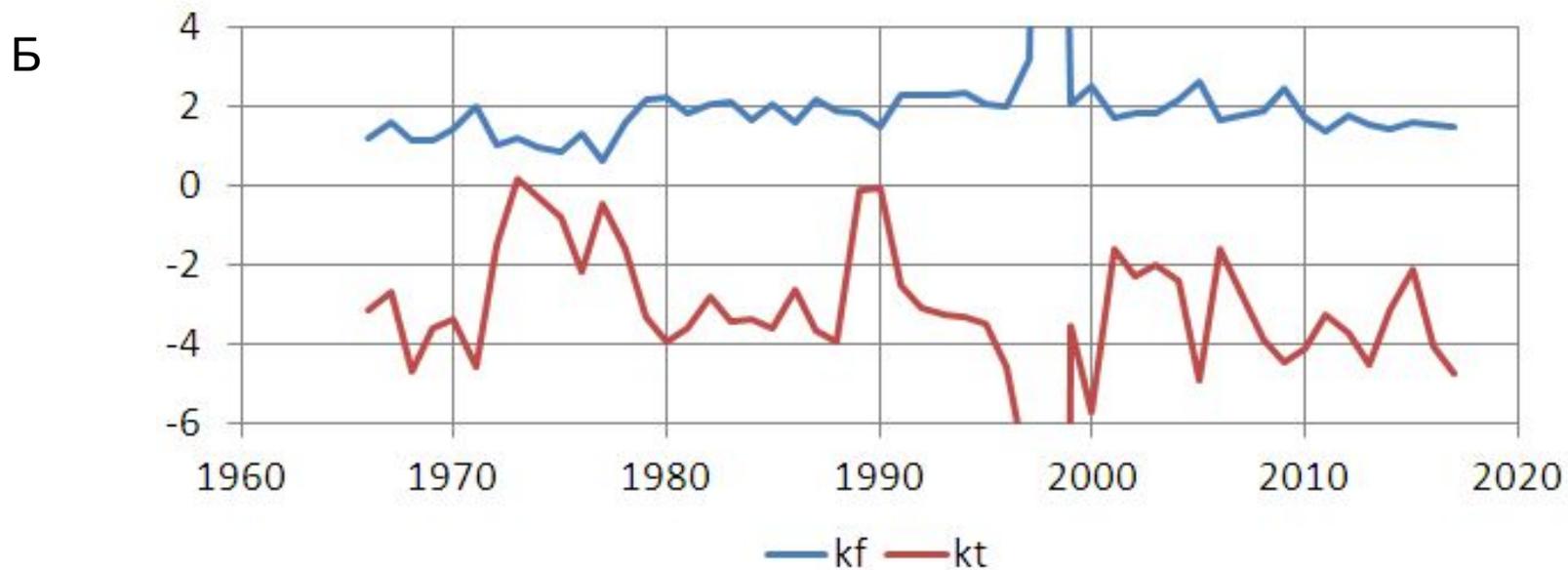
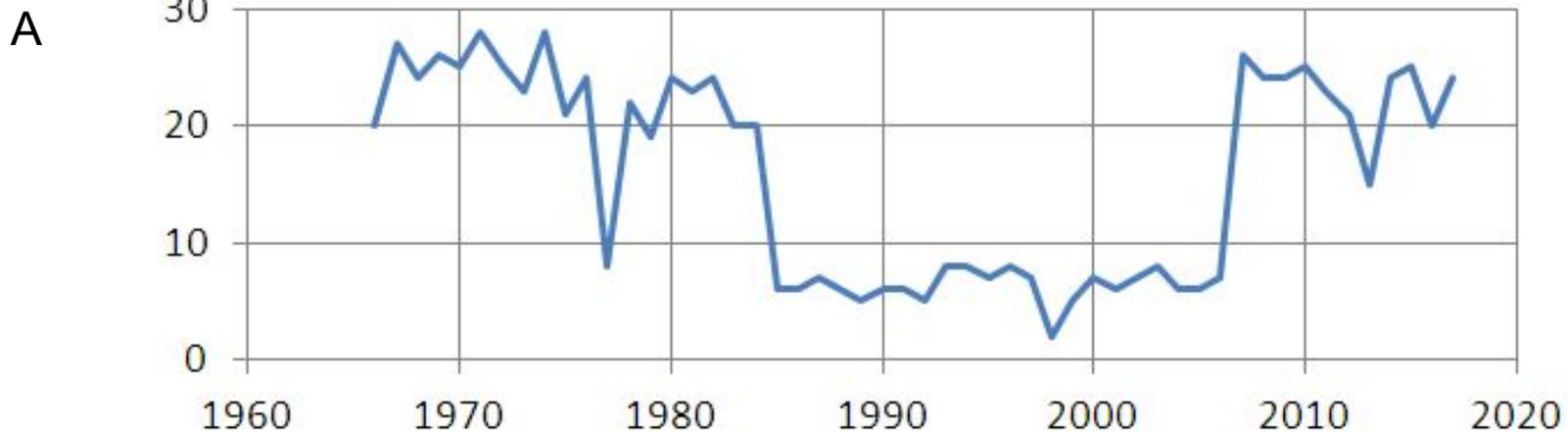


Хронологические графики (А) с результатами расчета общего запаса воды в снеге за период с 1965 по 1983 гг. для станции Мурманск (№ 22113) и фактическими общими запасами воды в снеге по данным маршрутных снегосъемок, (Б) жидких и твердых осадков, водопадачи на водосбор (в мм)

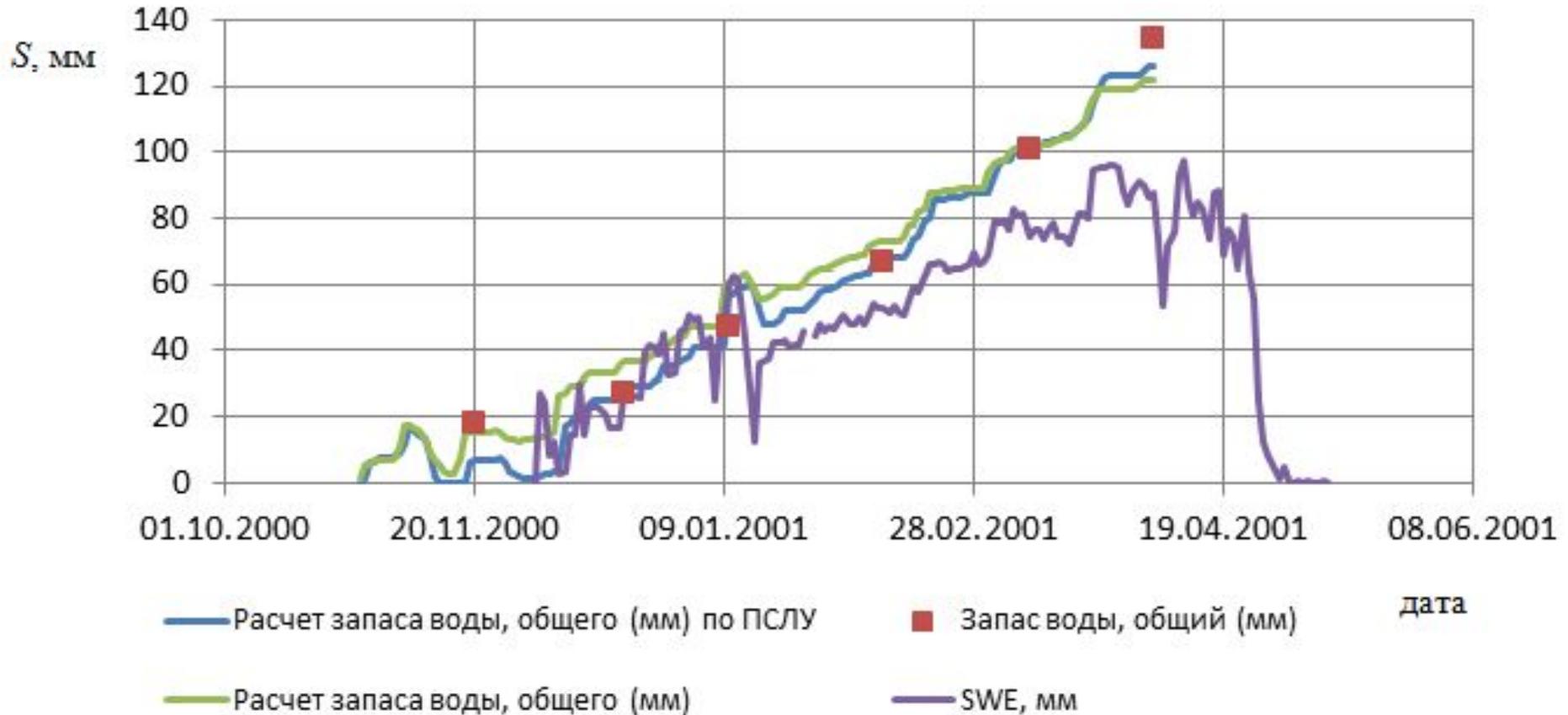


— Жидкие и твердые осадки, мм — Водопадача на водосбор, мм

Число снегомерных съемок за холодный период (А) и результаты параметризации модели формирования снеготпасов (Б) методом решения ПСЛУ для станции Мурманск (№ 22113)



Хронологические графики расчетных значений общего запаса воды в снеге при параметризации с использованием ПСЛУ и процедуры «поиск решения», фактических данных маршрутных снегосъемок и данных SWE холодного периода с 2000 по 2001 гг. для станции Мурманск (№ 22113)





**БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ**