

# **Валидация полярных алгоритмов восстановления влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков над Арктическим океаном по данным AMSR-E радиометра**

Заболотских Е.В.<sup>1</sup>, Митник Л.М.<sup>2</sup>,  
Бобылев Л.П.<sup>1</sup>

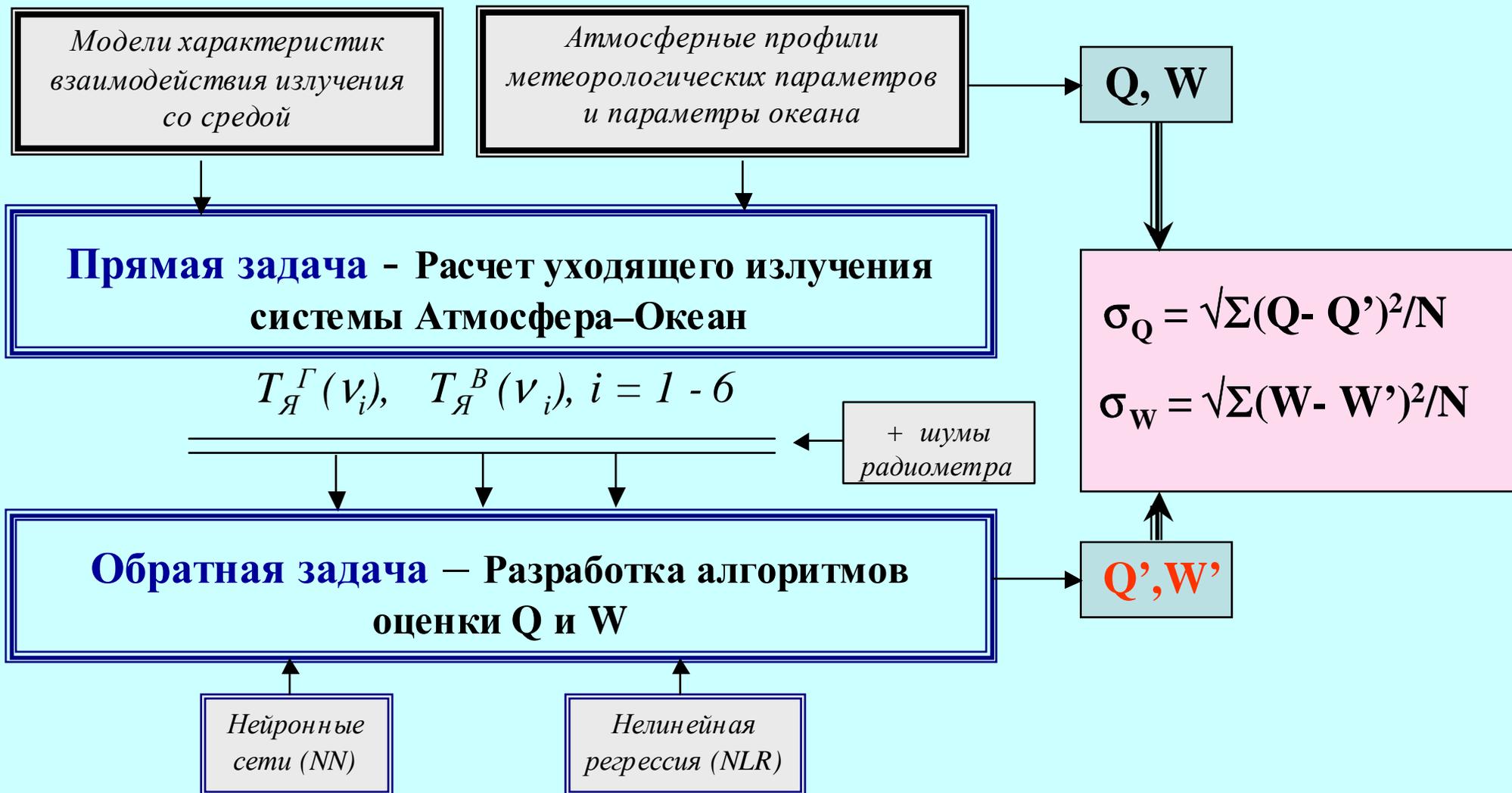
<sup>1</sup>Научный фонд "Международный Центр по Окружающей Среде и Дистанционному  
Зондированию имени Нансена" (фонд "Нансен-Центр")  
Россия, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Тихоокеанский Океанологический Институт им. В.И.Ильичева, ДВО РАН,  
Россия, Владивосток

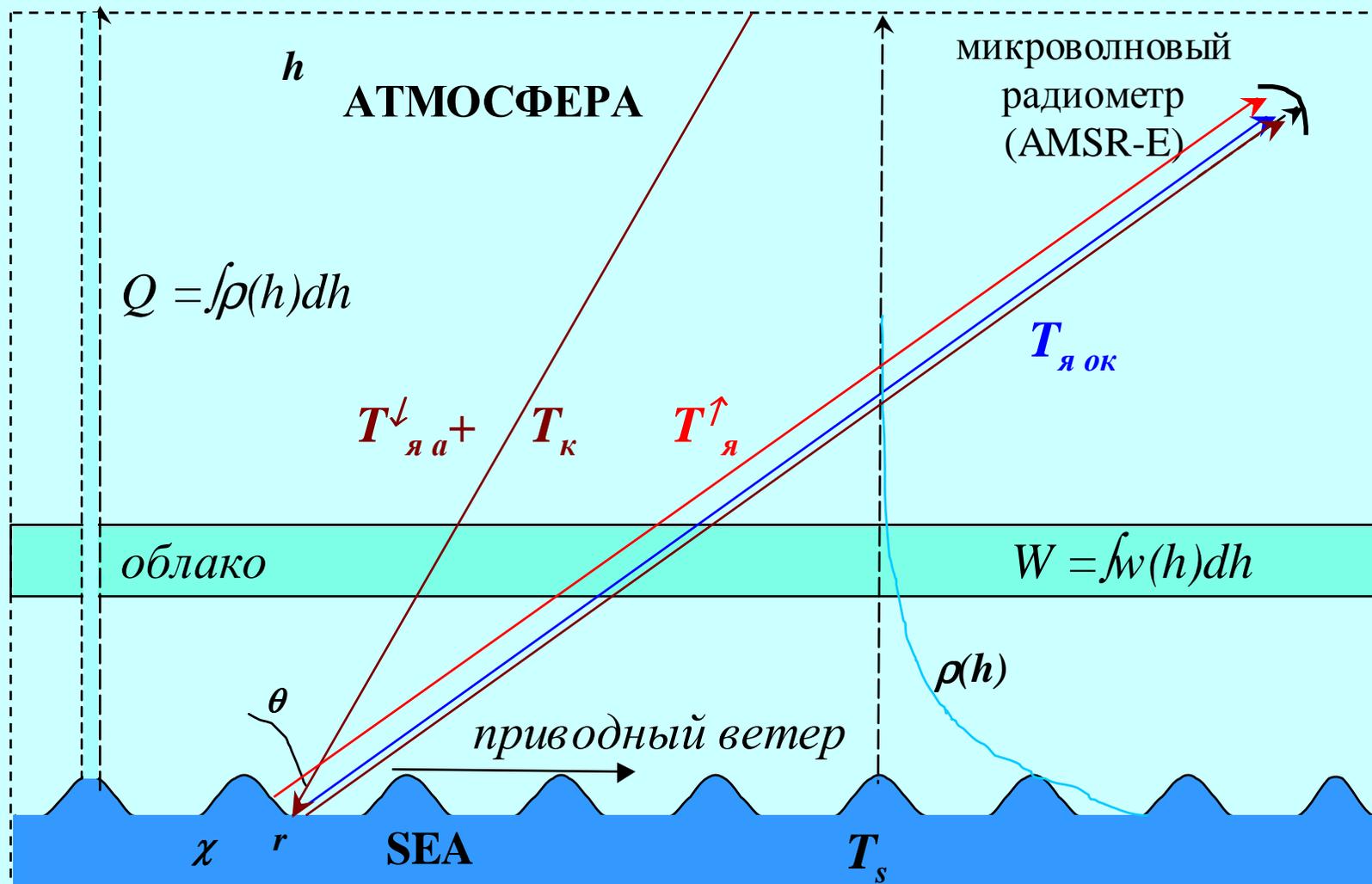
# Введение

- Цель:
  - разработка полярных алгоритмов оценки влагозапаса атмосферы  $Q$  и водозапаса облаков  $W$  по данным радиометра AMSR-E;
  - валидация разработанных алгоритмов
- Метод:
  - численный эксперимент для теоретической разработки алгоритмов;
  - анализ полей геофизических параметров для практической настройки алгоритмов;
  - сравнение результатов спутниковых оценок параметров с данными контактных измерений для валидации алгоритмов

# Численный эксперимент по замкнутой схеме



# Схема формирования микроволнового излучения в системе Атмосфера-Океан



# Составляющие микроволновой радиации системы Атмосфера-Океан

$$T_{\text{я а в}}^{\uparrow}(\theta) = \frac{1}{\cos \theta} \int_0^{\infty} T(h) \alpha_{\nu}(h) \exp\left(-\frac{1}{\cos \theta} \int_h^{\infty} \alpha_{\nu}(h') dh'\right) dh$$

- Восходящее излучение атмосферы

$$T_{\text{я а в}}^{\downarrow}(\theta) = \frac{1}{\cos \theta} \int_0^{\infty} T(h) \alpha_{\nu}(h) \exp\left(-\frac{1}{\cos \theta} \int_0^h \alpha_{\nu}(h') dh'\right) dh$$

- Нисходящее излучение атмосферы

$$T_{\text{я ок в}}(\theta) = \chi_{\nu}(\theta) \cdot T_{\text{ок}} \cdot \exp\left(-\cos \theta \int_0^{\infty} \alpha_{\nu}(h) dh\right)$$

- Излучение океана

$$T_{\text{я в}}^{\uparrow}(\mu) = T_{\text{я а в}}^{\uparrow} + T_{\text{я а в отр}}^{\downarrow} + T_{\text{я к в}} + T_{\text{я ок в}}$$

- Суммарное излучение системы

# Характеристики AMSR-E радиометра

Центральная частота (ГГц)	6.925	10.65	18.7	23.8	36.5	89.0
частотная полоса (МГц)	350	100	200	400	1000	3000
чувствительность (К)	0.3	0.6	0.6	0.6	0.6	1.1
среднее пространственное разрешение (км)	56	38	21	24	12	5.4
размер элемента разрешения (км × км)	74 × 43	51 × 30	27 × 16	31 × 18	14 × 8	6 × 4
площадь элемента разрешения (km × km)	3182	1530	432	558	112	24
время интегрирования (мсек)	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	1.3
эффективность главного луча (%)	95.3	95.0	96.3	96.4	95.3	96.0
ширина луча (градусы)	2.2	1.4	0.8	0.9	0.4	0.18

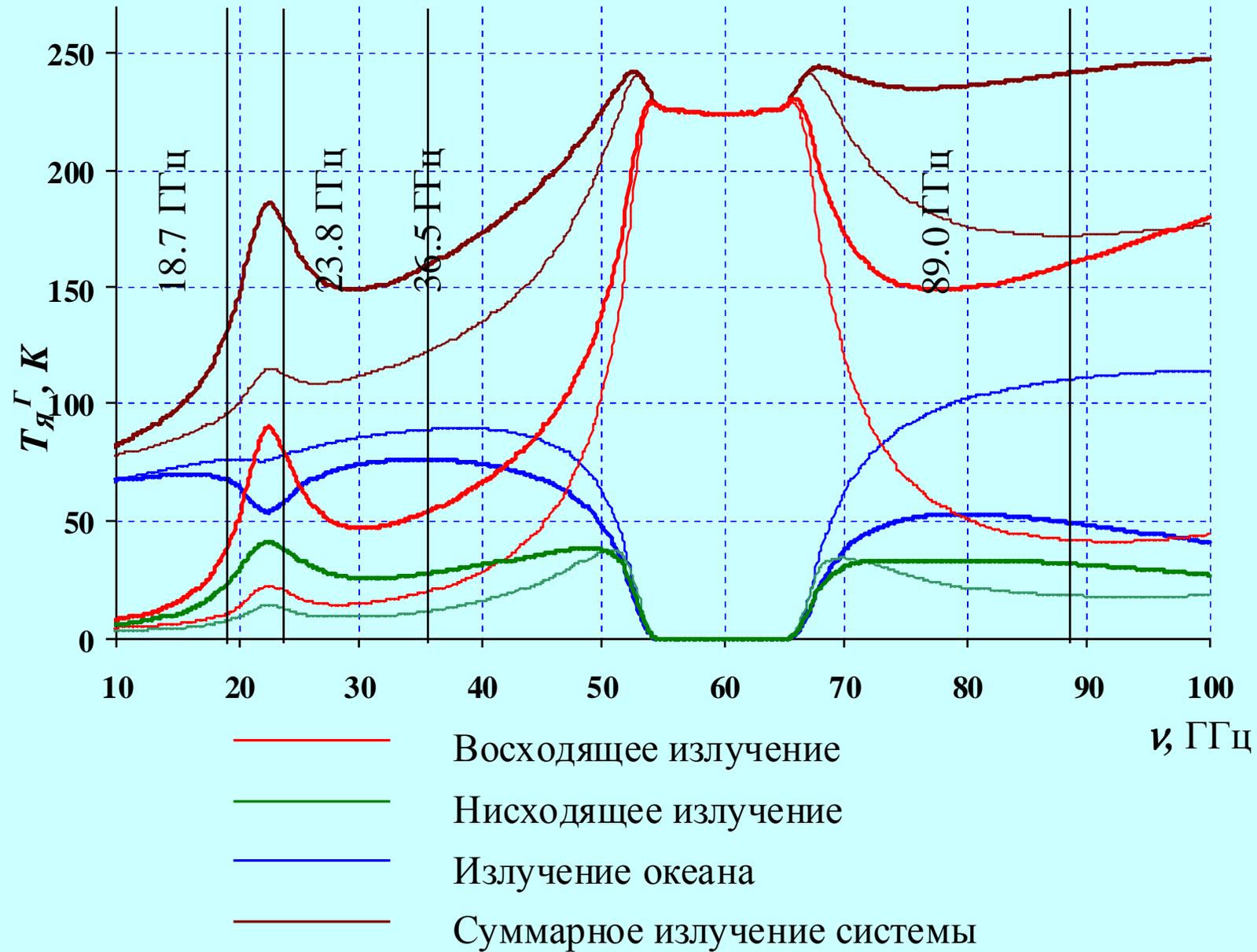
# Радиационная модель системы Атмосфера-Океан

- *Отсутствие рассеяния*
- *Отсутствие рефракции*

## Модели взаимодействия излучения со средой:

- 1) Поглощение кислорода и водяного пара – Liebe, 1993; для диапазона 20 – 24 ГГц поглощение водяного пара – Cruz Pol, 1998.
- 2) Облачность - модельные профили водности, построенные с учетом вертикальных профилей влажности, судовых наблюдений форм и количества облаков и статистических сведений о вариациях их водности;
- 3) Зависимость коэффициента излучения океана от скорости приводного ветра Aziz и др. 2005
- 4) Диэлектрическая проницаемость воды – Meissner и Wentz 2004

# Спектр радиоярких температур



# Данные

При решении прямой задачи – расчете массива радиоярких температур - были использованы следующие одновременные контактные измерения:

- ✓ Данные аэрологического зондирования;
- ✓ Данные метеорологических наблюдений (скорость приводного ветра, форма и количество облаков);
- ✓ Гидрологические измерения;
- Все данные были собраны на научных судах погоды Дальневосточного Гидрометеорологического Института, систематизированы и обработаны в Тихоокеанском Океанологическом Институте;
- Только данные с широтой севернее 45 градусов были использованы для настройки алгоритмов;
- Общее количество одновременных измерений составило 789, половина из которых использовалась для настройки, половина – для тестирования алгоритмов;

# Особенности нейронных сетей

## *Преимущества:*

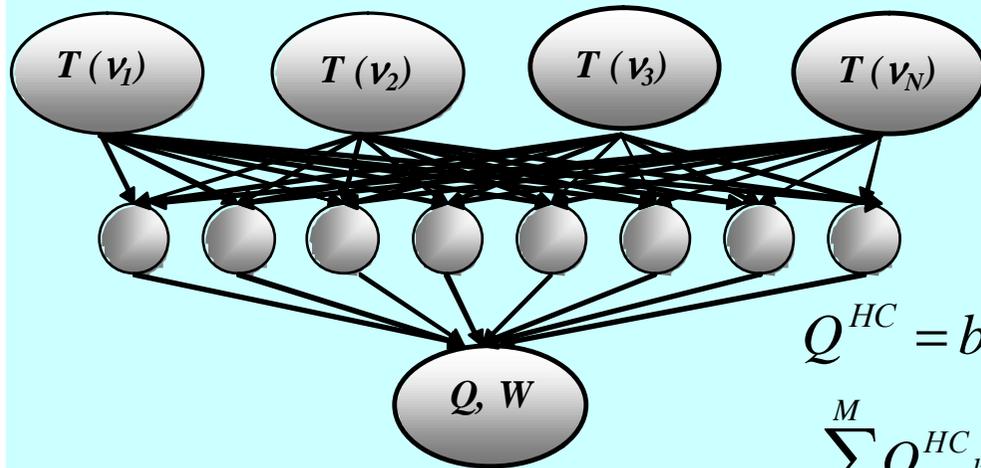
- Являются универсальным нелинейным аппроксиматором: аппроксимируют любые нелинейные зависимости
- не требуют явного задания функциональной зависимости между измеряемыми величинами (радиояркими температурами) и определяемыми параметрами;
- Относительно нечувствительны к шумам;
- В условиях облачности демонстрируют уменьшение погрешностей восстановления геофизических параметров;
- Работают в более широком диапазоне погодных условий, чем традиционные алгоритмы;

## *Недостатки:*

- Не содержат знания о физической природе связи между измеряемыми величинами и восстанавливаемыми параметрами («черный ящик»);
- зависимость от характеристик/адекватности статистического ансамбля совмещенных данных, на котором проводится настройка алгоритма
- влияние на погрешность алгоритмов ошибок измерений - как спутниковых, так и контактных
- невозможность учета всего разнообразия физических и технических факторов и условий, от которых зависит корректная интерпретация данных спутникового зондирования
- Имеют тенденцию к «перенастройке» - с потерей генерализирующих свойств;

# Регрессионные алгоритмы решения обратной задачи

## 1. Нейронно-Сетевой (НС) типа многослойный персептрон



$$Q^{HC} = b_0 + w_0 \cdot \tanh\left(\sum_{n=1}^L (b_{1n} + w_{1n} \cdot f\left(\sum_{i=1}^N (b_{2in} + w_{2in} \cdot T_{in})\right))\right)$$
$$\sum_{k=1}^M Q^{HC}_k - Q_k \rightarrow \min$$

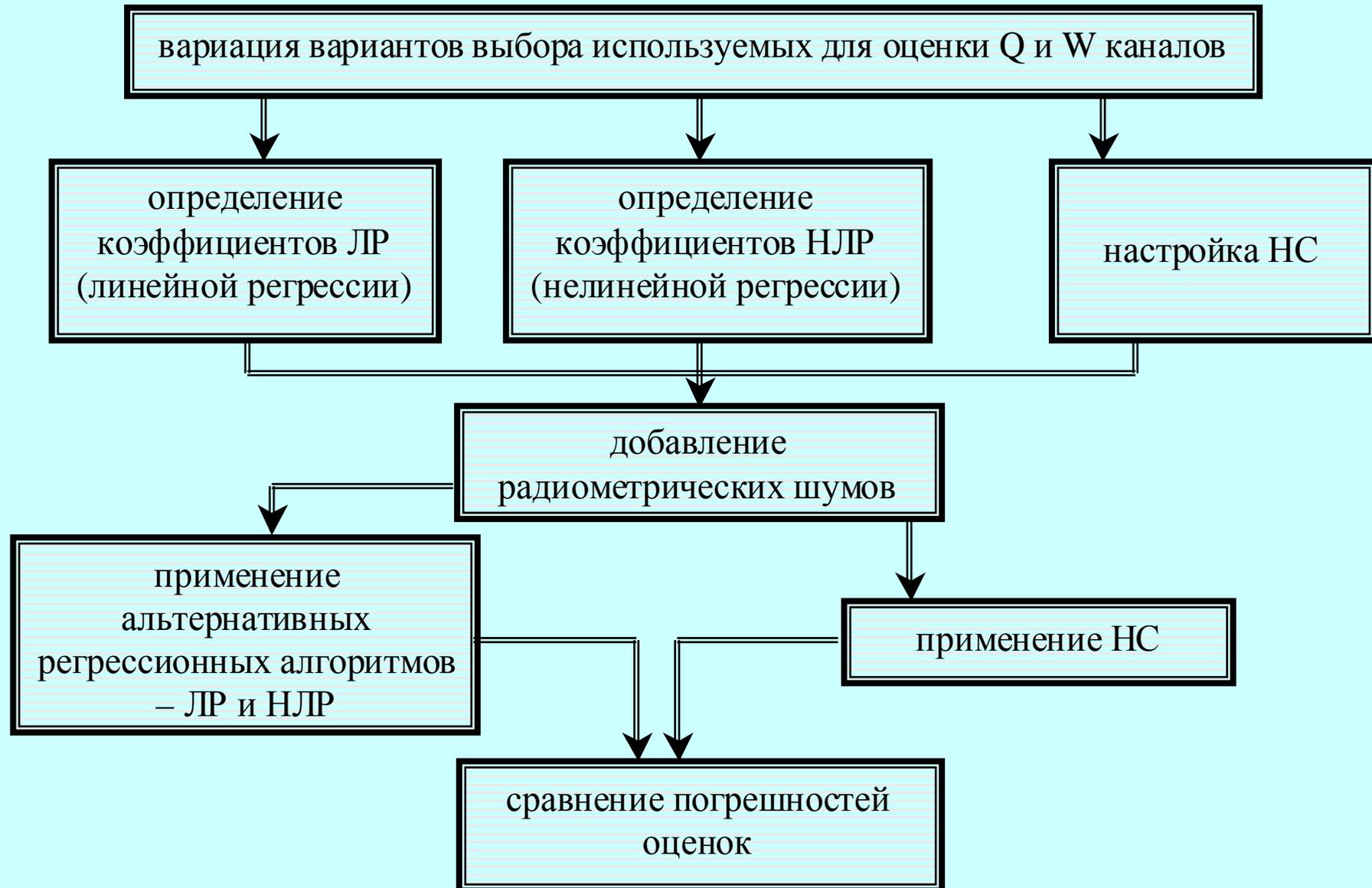
## 2. Линейная регрессия (ЛР).

$$Q^{ЛР} = a_0 + \sum_{i=1}^N (a_i \cdot T_i)$$
$$\sum_{k=1}^M Q^{ЛР}_k - Q_k \rightarrow \min$$

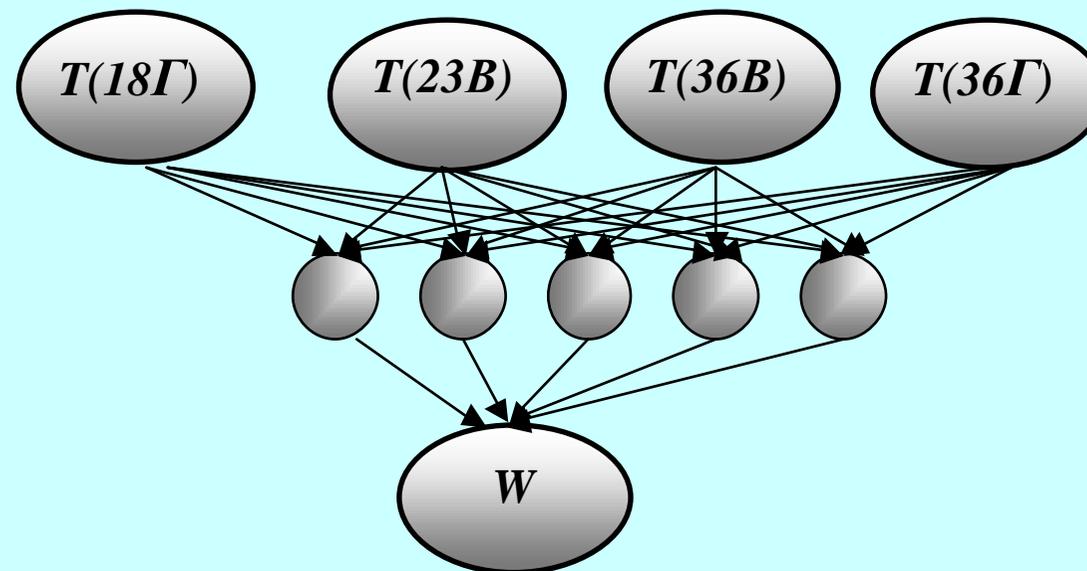
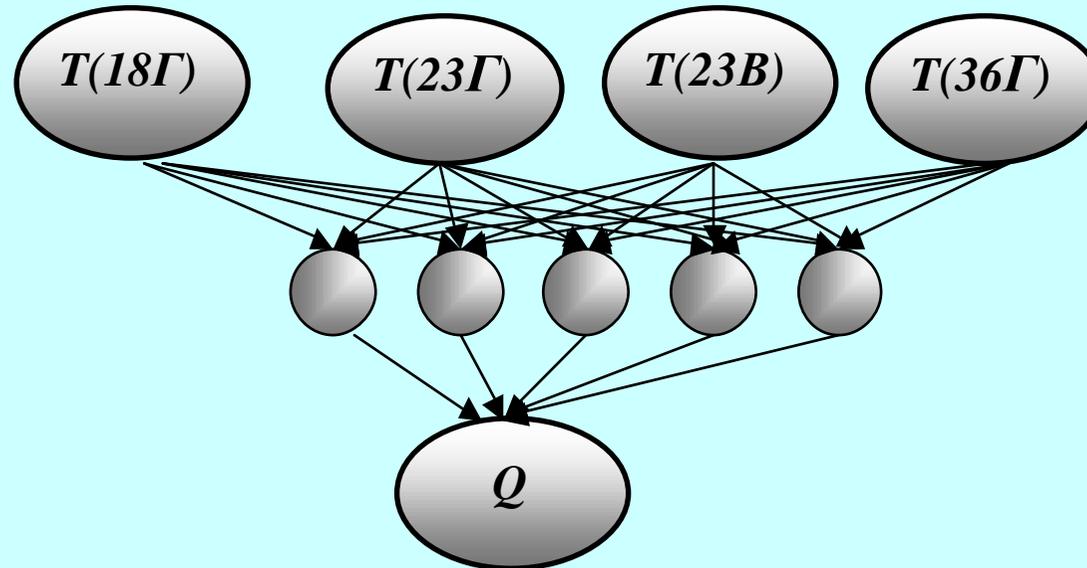
## 3. Нелинейная регрессия (НЛР).

$$Q^{НЛР} = c_0 + \sum_{i=1}^N (c_i \cdot \ln(280 - T_i))$$
$$\sum_{k=1}^M Q^{НЛР}_k - Q_k \rightarrow \min$$

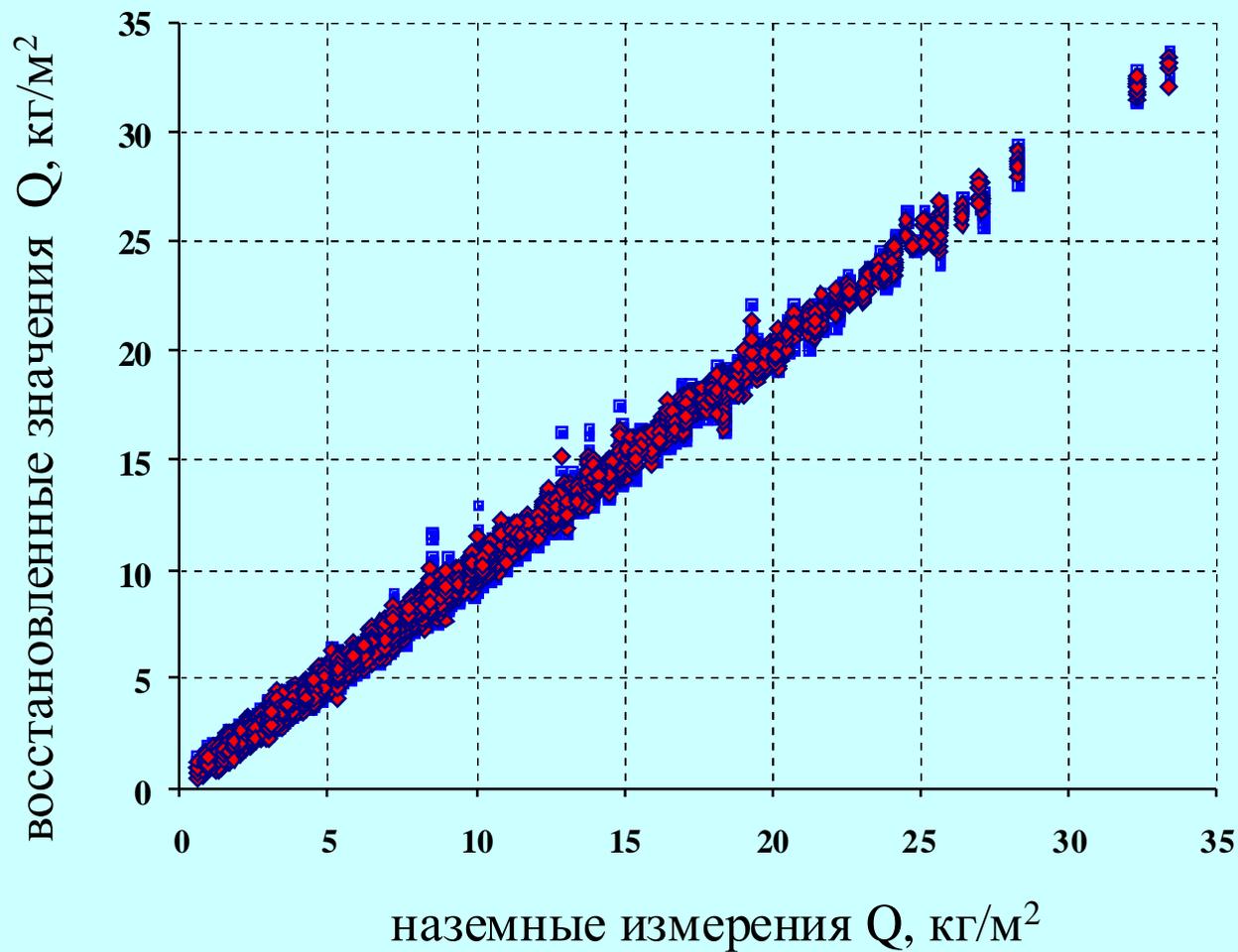
# Схема решения обратной задачи



# Оптимальные конфигурации НС



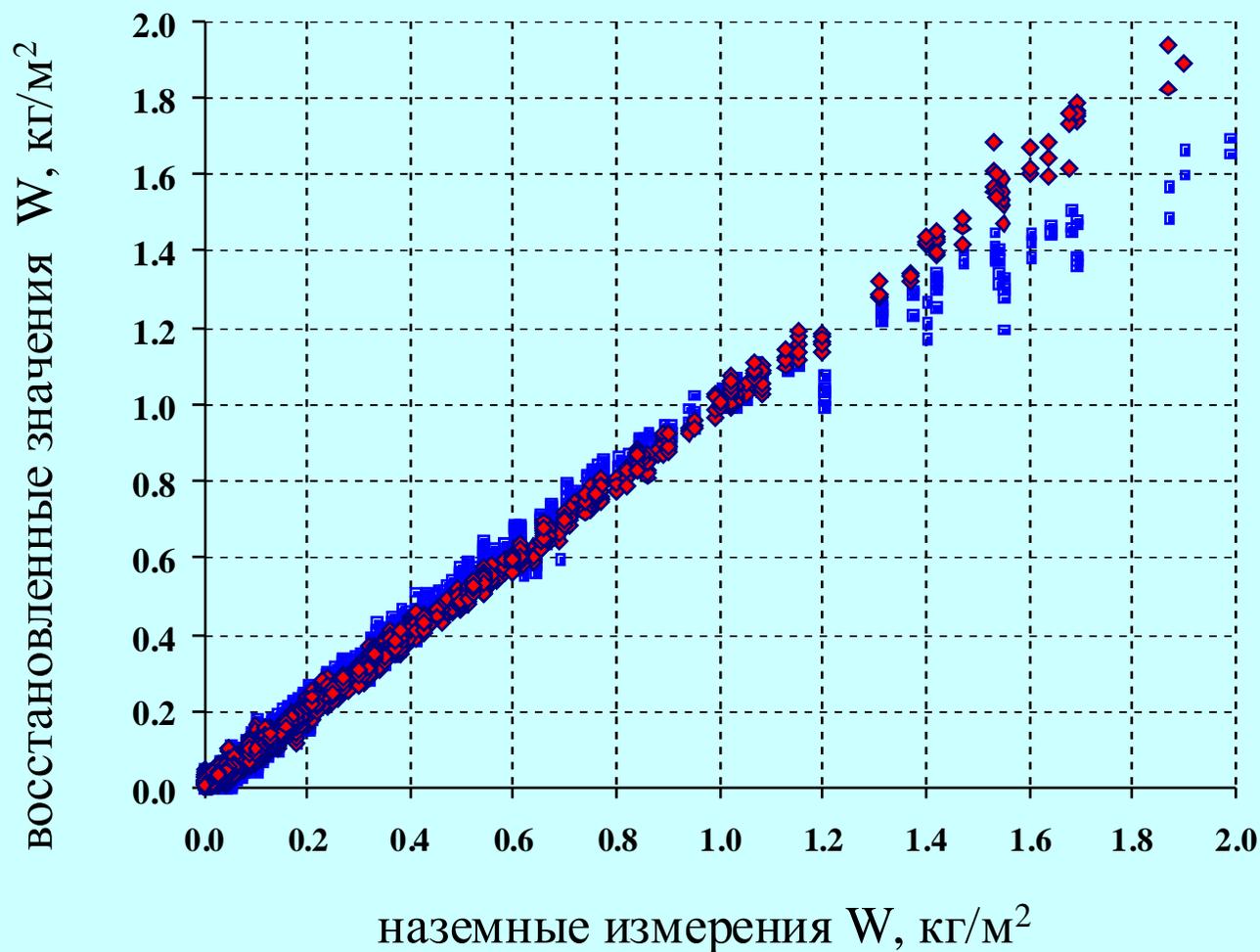
# Результаты теоретического тестирования НС и НЛР-алгоритмов оценки Q



$$\sigma_{Q,НС} = 0.34 \text{ кг/м}^2$$

$$\sigma_{Q,НЛР} = 0.40 \text{ кг/м}^2$$

# Результаты теоретического тестирования НС и НЛР-алгоритмов оценки $W$



$$\sigma_{W,НС} = 0.014 \text{ кг/м}^2$$

$$\sigma_{W,НЛР} = 0.028 \text{ кг/м}^2$$

# Экспериментальная настройка алгоритмов

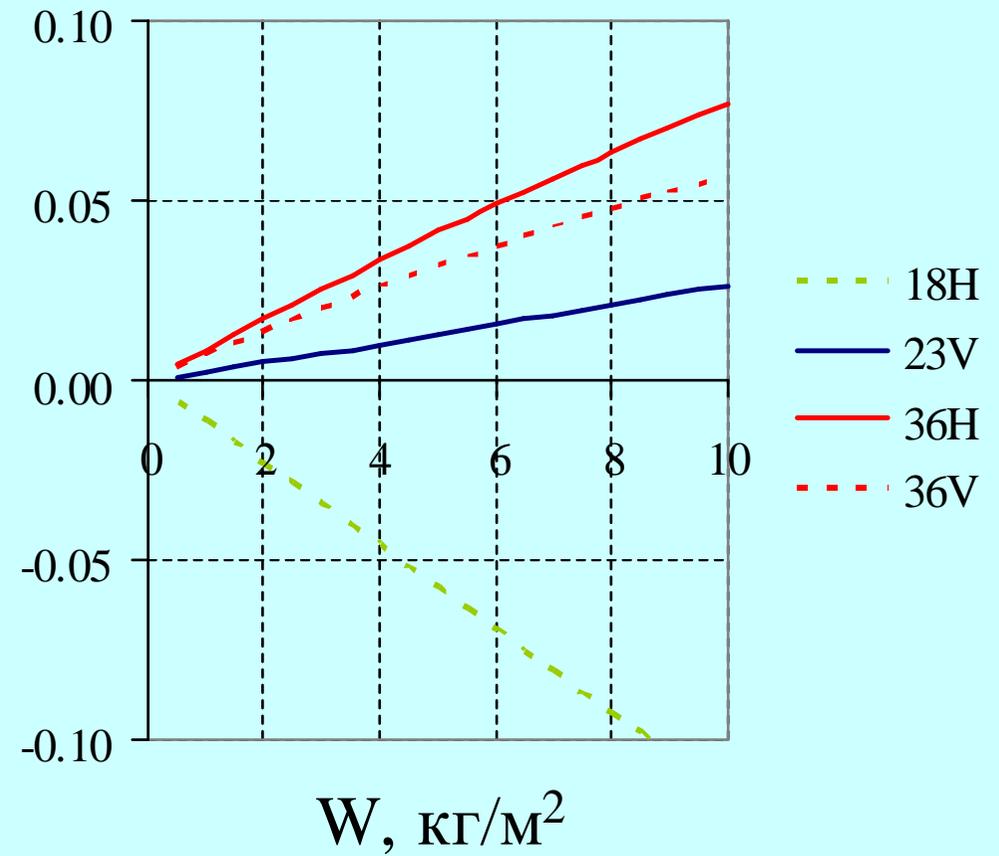
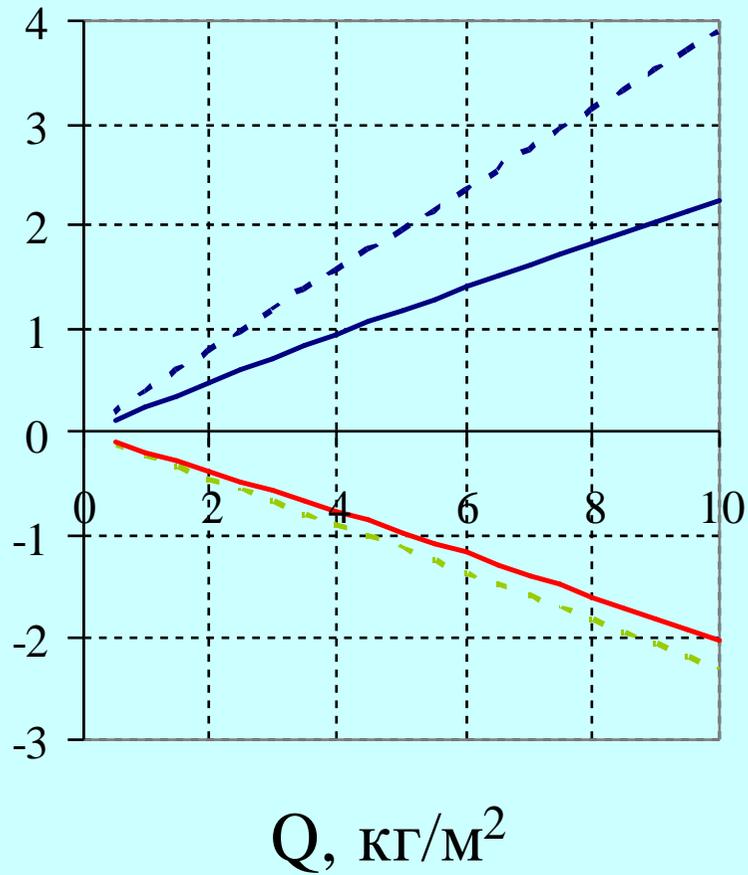
*Источники рассогласования между численным экспериментом и реальными данными:*

- I. Ошибки **геофизической модели**, использованной при расчете радиояркостных температур;
- II. Ошибки **калибровки** ;

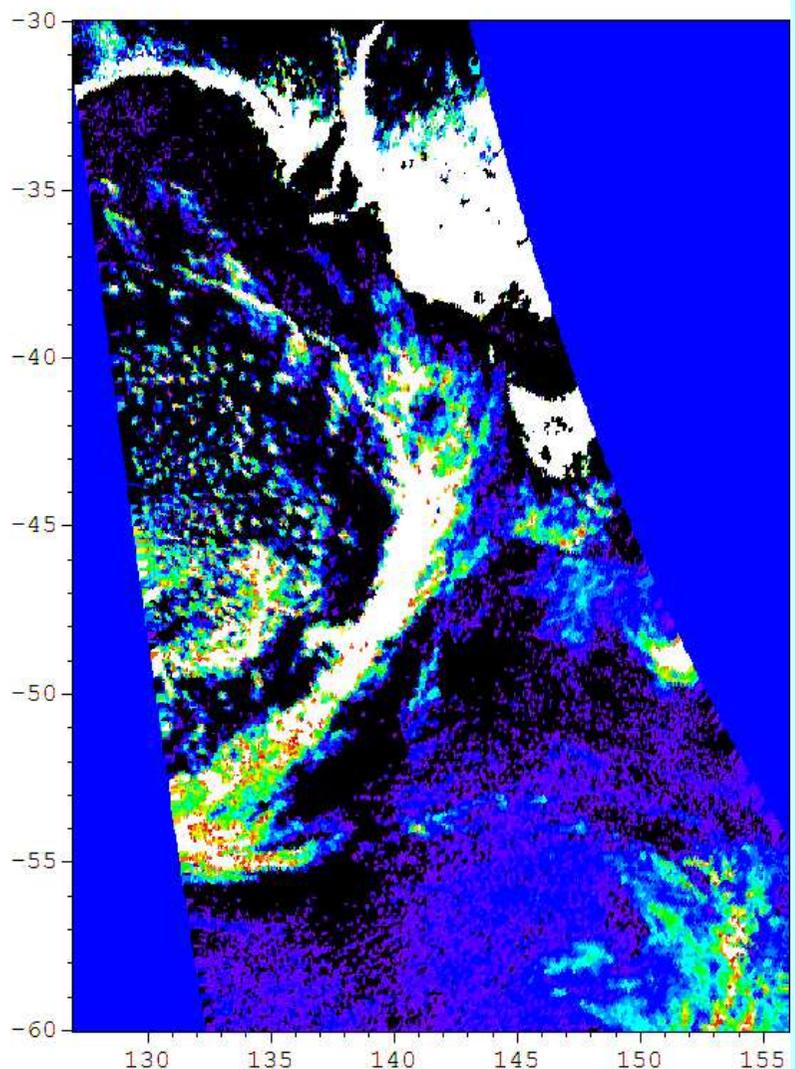
## *Этапы настройки:*

1. Теоретическое моделирование изменения параметра при наличии систематического сдвига в каналах, используемых в алгоритмах;
2. Применение алгоритма восстановления  $W$  к AMSR-E реальным радиометрическим измерениям и построение полей жидкокапельной влаги для различных регионов и погодных условий;
3. Сравнение построенных полей  $W$  с совмещенными видимыми изображениями для тех же регионов;
4. Направленная коррекция радиояркостных температур в целях исключения отрицательных значений  $W$ , превышающих по величине  $3\sigma$ ;

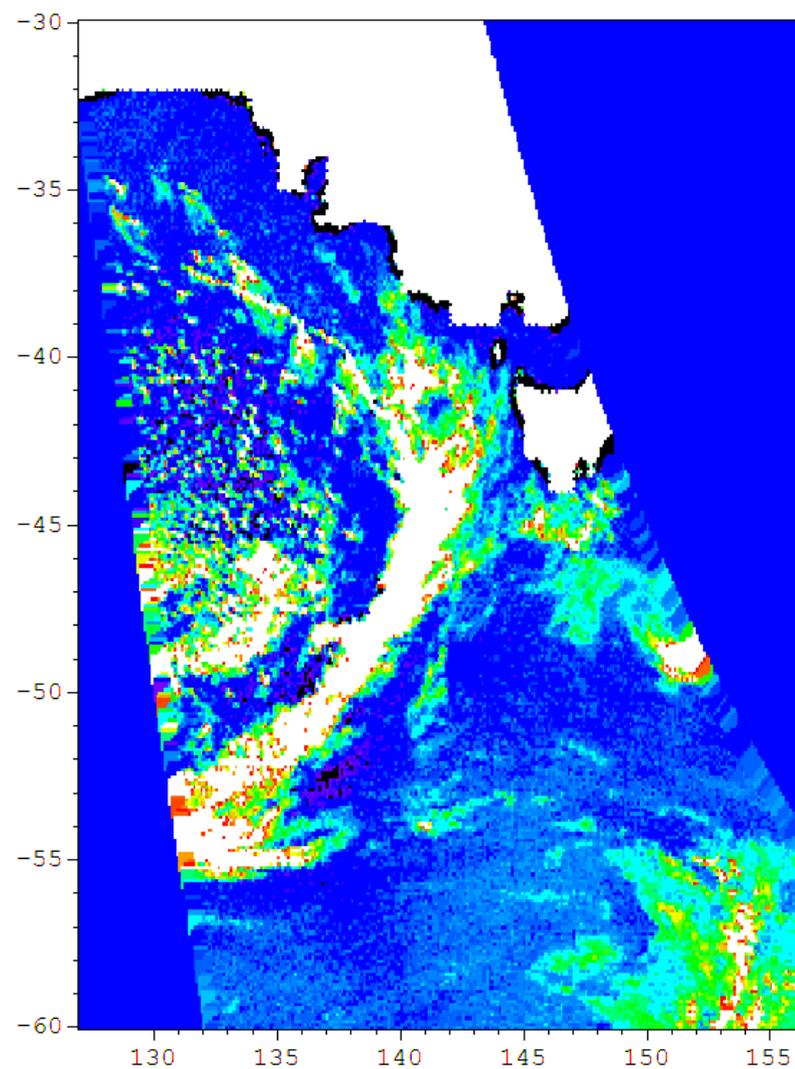
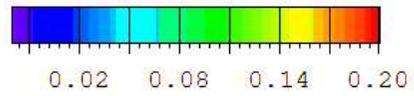
# Смещение $Q$ и $W$ как результат ошибок модели/калибровки



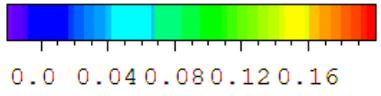
# Коррекция отрицательных значений W



$$W = W(T18H, T23V, T36H, T36V)$$



$$W = W(T18H, T23V, T36H + 3K, T36V + 3K)$$



оссийская от

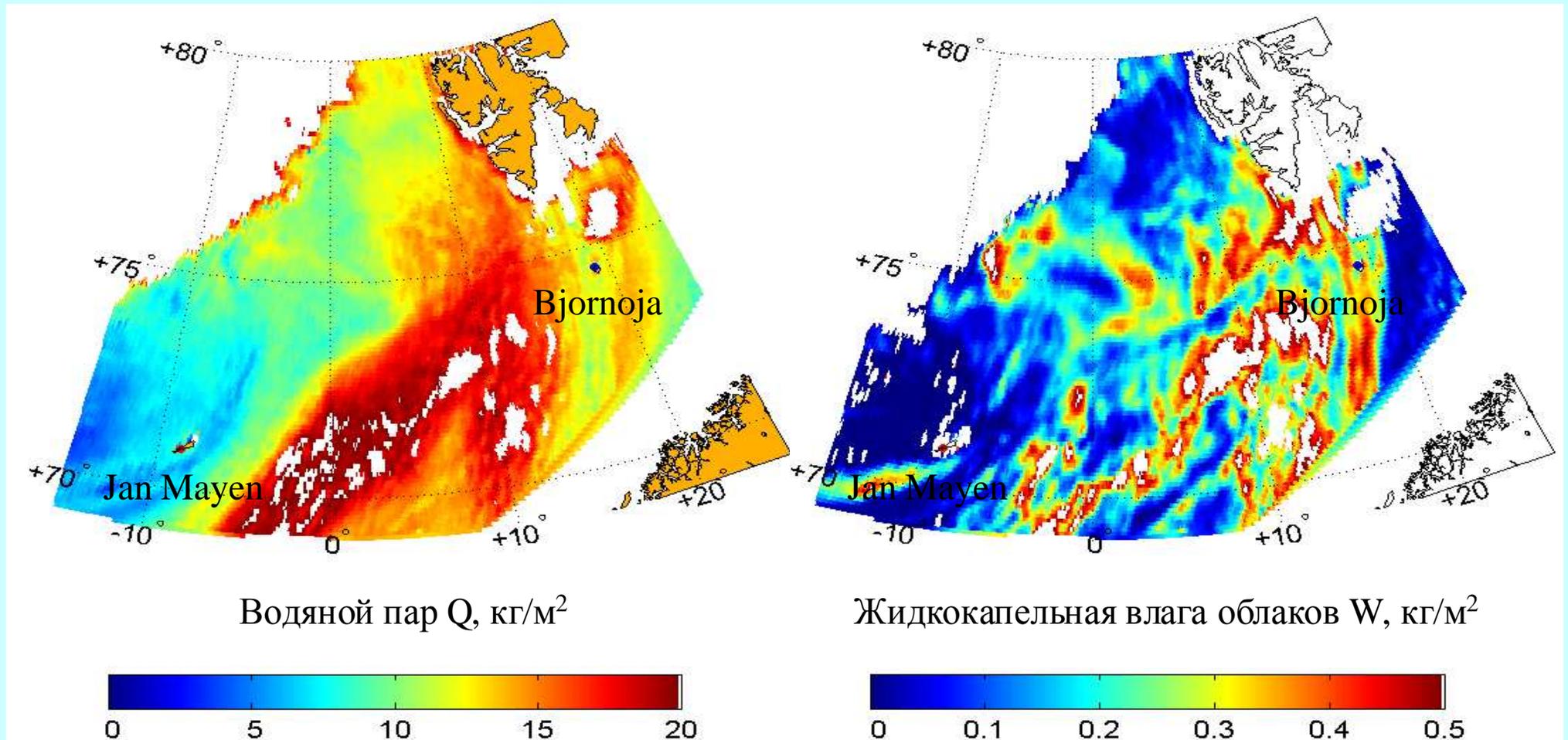
«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»

Москва, ИКИ РАН, 13-17 ноября 2006 г.

# Этапы валидации алгоритма оценки влагозапаса атмосферы Q:

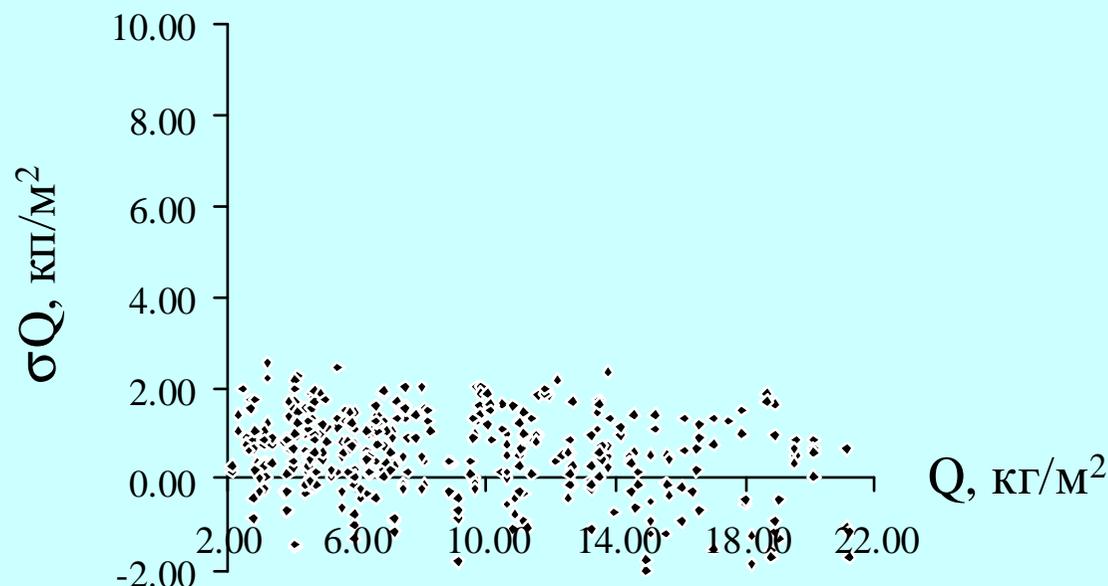
- Загрузка данных радиозондирования для исследуемых станций – проведена для зимнего (январь) и летнего (июль) месяцев;
- Загрузка радиометрических данных AMSR-E полного разрешения для исследуемых районов;
- Пространственное и временное (1 час) совмещение;
- Анализ полей параметров, соответствующих каждому отдельному измерению радиозонда для выявления случаев мощной облачности, осадков, фронтальных границ вблизи станций – для исключения из валидационных оценок;
- Применение НС-алгоритма определения Q и расчет среднеквадратичных погрешностей оценок:

# Пример применения ГС алгоритмов к данным AMSR-E радиометра для получения полей параметров (25 января 2006)



# Валидация НС-алгоритмов на основе их применения к спутниковым данным AMSR-E радиометра над районами норвежских станций Вjорноја и Jan Мауен.

	Январь		Июль	
	Количество данных	$\sigma_Q$ , кг/м <sup>2</sup>	Количество данных	$\sigma_Q$ , кг/м <sup>2</sup>
Вjорноја	137	1.08	119	1.15
Jan Мауен	111	1.04	115	1.18



Четвёртая всероссийская открытая конференция  
«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»

Москва, ИКИ РАН, 13-17 ноября 2006 г.