



МИКРОВОЛНОВОЕ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В СИБИРИ ПО ДАНЫМ СПУТНИКОВ МЕТЕОР-М №1 и AQUA

Выкочко А.В.¹, Митник Л.М.¹, Чёрный И.В.²

*¹ Тихоокеанский океанологический институт
им. В.И.Ильичёва ДВО РАН*

*² Научно-технологический центр «Космонит»
ОАО «Российские космические системы»*



Одним из наиболее важных дистанционных методов получения информации о водных ресурсах атмосферы, речных бассейнов, влажности почв, снежном и ледяном покрове является **пассивная микроволновая радиометрия**.

Основные преимущества СВЧ (микроволнового) диапазона:

- атмосфера и большинство типов облаков являются полупрозрачной средой для излучения подстилающей поверхности, что позволяет производить измерения при облачности;
- измерения могут быть выполнены независимо от времени суток.
- высокая энергетическая чувствительность микроволновых радиометров.

Микроволновая радиометрия. Физические основы



Факторы, влияющие на спектр яркостной температуры (Тя):

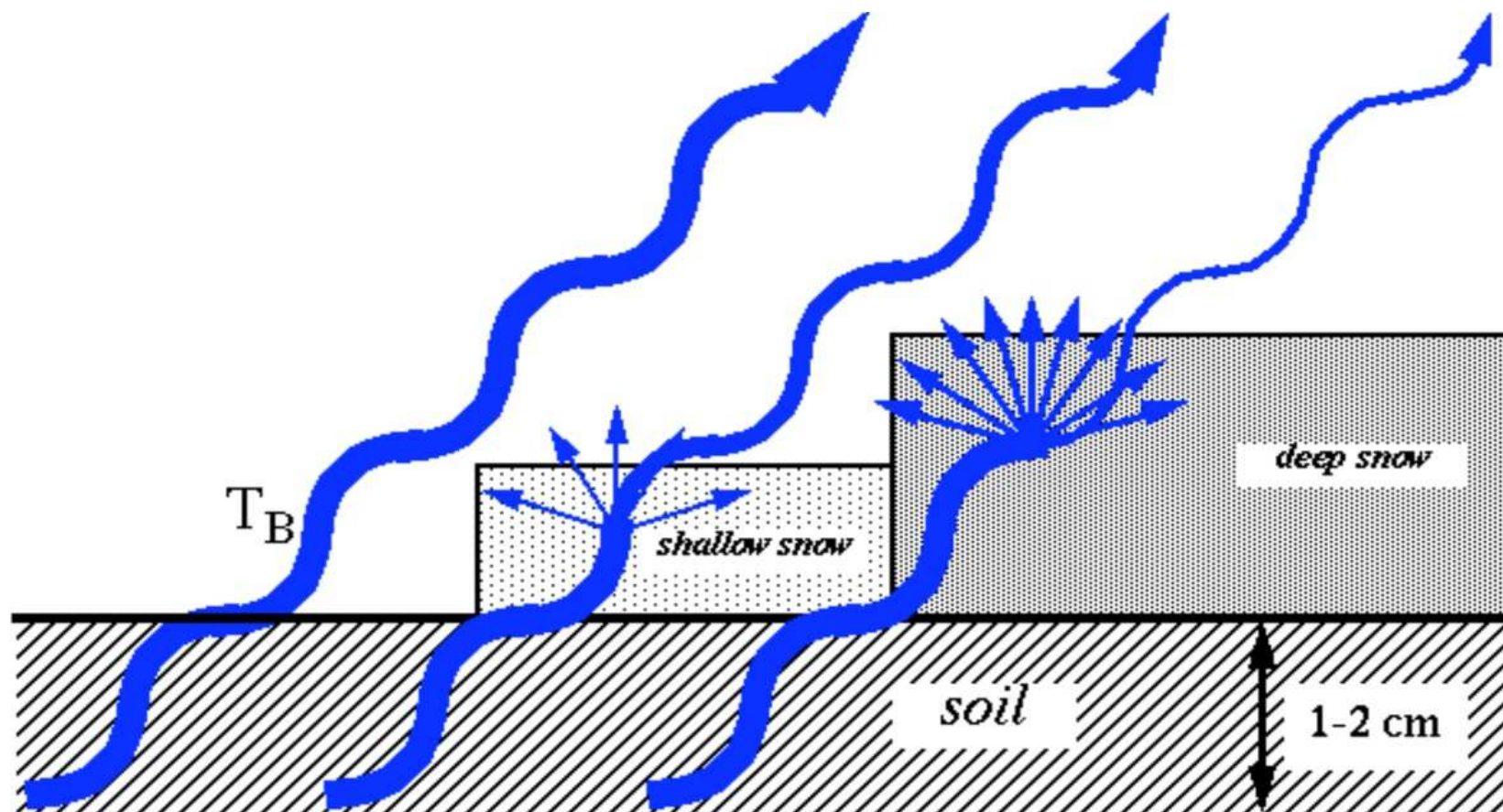
- характеристики подстилающей поверхности: тип, температура и рельеф местности (уклоны, шероховатость);
- толщина, структура и влажность снега;
- температура воздуха у поверхности

Спутниковый микроволновый радиометр принимает излучение подстилающей поверхности, ослабленное атмосферой, восходящее излучение атмосферы и нисходящее излучение атмосферы, отраженное поверхностью и ослабленное атмосферой. Интенсивность излучения характеризуется яркостной температурой Тя. Яркостная температура поверхности Тяп определяется её термодинамической температурой и коэффициентом излучения.

Появление снежного покрова, увеличение его толщины, вариации влажности и изменение структуры снега вызывают заметное изменение спектра Тяп, а, следовательно, и спектра Тя. С увеличением толщины растет плотность снега, меняются форма и размеры снежных зерен (метаморфизм), что приводит к росту рассеяния микроволнового излучения в сухом снеге. Рассеяние возрастает с частотой.

Пассивная микроволновая радиометрия снега

- Излучение почвы рассеивается в снежном покрове
- Рассеяние возрастает пропорционально количеству (массе) снега
- Появление снега на поверхности земли сопровождается уменьшением яркостных температур
- Спектральный градиент сухого снега отрицателен



Данные

- яркостные температуры T_b на частотах 18, 36, 42 и 48 ГГц на вертикальной (В) и горизонтальной (Г) поляризациях, полученные микроволновым радиометром МТВЗА-ГЯ со спутника Метеор-М №1

- яркостные температуры T_b на частотах 18 и 36 ГГц на В- и Г-поляризациях, полученные микроволновым радиометром AMSR-E со спутника Aqua

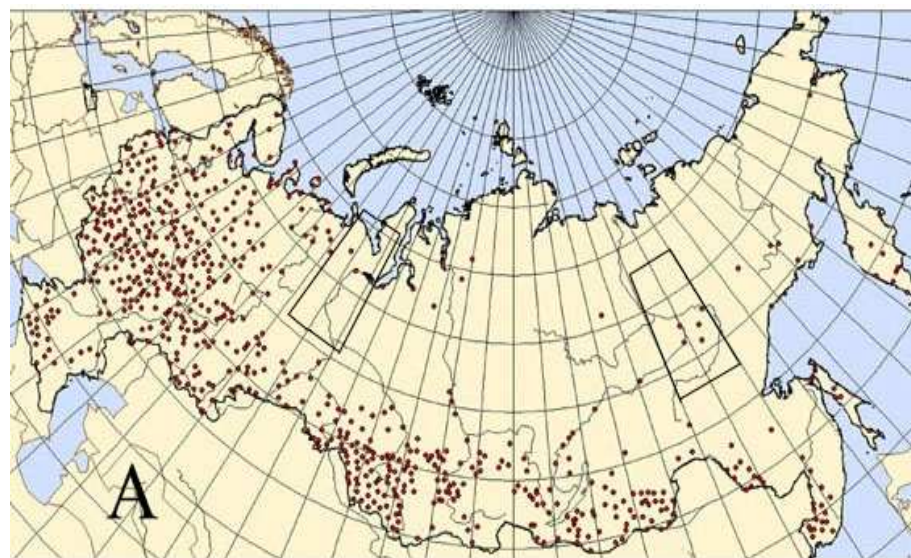
- поля водного эквивалента снега, восстановленные по данным AMSR-E по алгоритму Kelly (Канада)

Цель работы - оценка возможности использования яркостных температур, измеренных радиометром МТВЗА-ГЯ на частотах $\nu = 18.7, 36.7, 42.0$ и 48.0 ГГц на В- и Г-поляризациях при угле визирования 65° , для индикации эволюции снежного покрова в Сибири.

T_b со спутника Метеор-М №1 были сопоставлены с квазихронными T_b со спутника Aqua на частотах 18 и 36 ГГц В и Г-поляризациях при угле визирования 55° .

Временные ряды T_b были подготовлены для двух тестовых участков размером $10^\circ \times 10^\circ$. Центры участков находились в Салехарде и в Якутске. Время пролёта спутника над участком 1 (Якутск) – примерно в 0 и 12 Гр. и над участком 2 - примерно в ≈ 6 и 18 Гр, что близко к синоптическим срокам.

Метеорологические станции



Данные

Слева: ежедневных наблюдений за снежным покровом

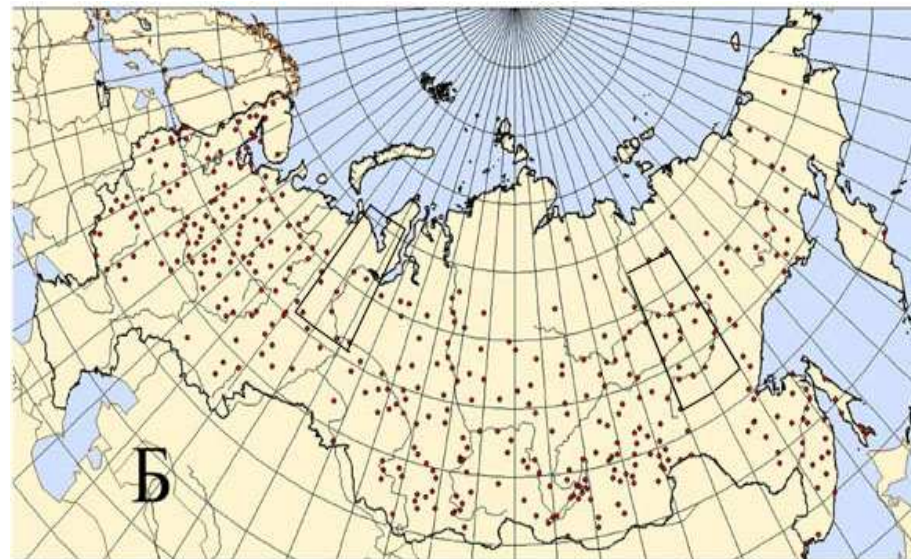
Справа: маршрутных снегосъёмов

А - в поле (665 станций)

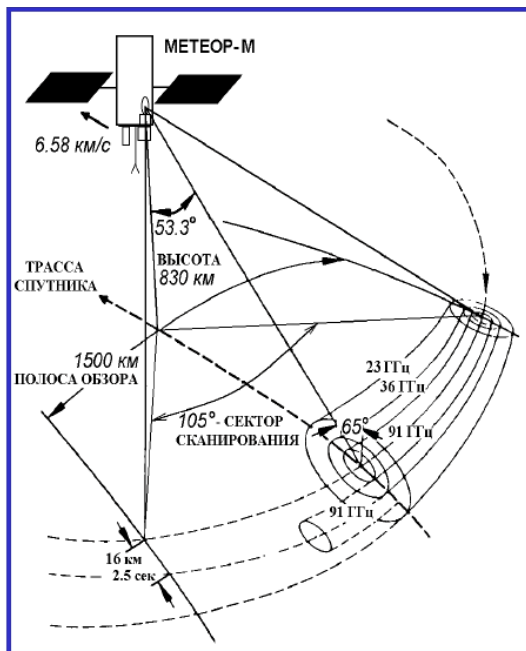
Б - в лесу (425 станций)

Красными кружками обозначены метеорологические станции

Прямоугольниками выделены районы исследования



Микроволновый радиометр МТВЗА-ГЯ. Геометрия сканирования



Разработан для космического аппарата (КА) «Метеор-М» и предназначен для температурно-влажностного профилирования атмосферы, зондирования океана и суши. Радиометрические каналы сканера МТВЗА-ГЯ включает рабочие частоты в окна прозрачности атмосферы 10.6, 18.7, 23.8, 31.5, 36.7, 42, 48 и 91 ГГц, а зондировщика в - полосе поглощения кислорода 52-57 ГГц и в области линии водяного пара 183.3 ГГц.

Параметры радиометрических каналов

Центральная частота ГГц	Поляризация	Эффективная площадь, км×км	Пиксель изображения, км×км
10.6	В,Г	89×198	32 × 32
18.7	В,Г	52 × 116	32 × 32
23.8	В,Г	42 × 94	32 × 32
31.5	В,Г	35 × 76	32 × 32
36.5	В,Г	30 × 67	32 × 32
42	В,Г	26 × 60	32 × 32
48	В,Г	24 × 43	32 × 32
183.31±1, 183.31±3, 181.31±7	В	9 × 21	32 × 32



Спутник Aqua. Микроволновый радиометр AMSR-E



Спутник NASA Aqua с

усовершенствованным микроволновым

сканирующим радиометром AMSR-E на

борту был запущен на полярную солнечно-синхронную орбиту 4 мая 2002 г.

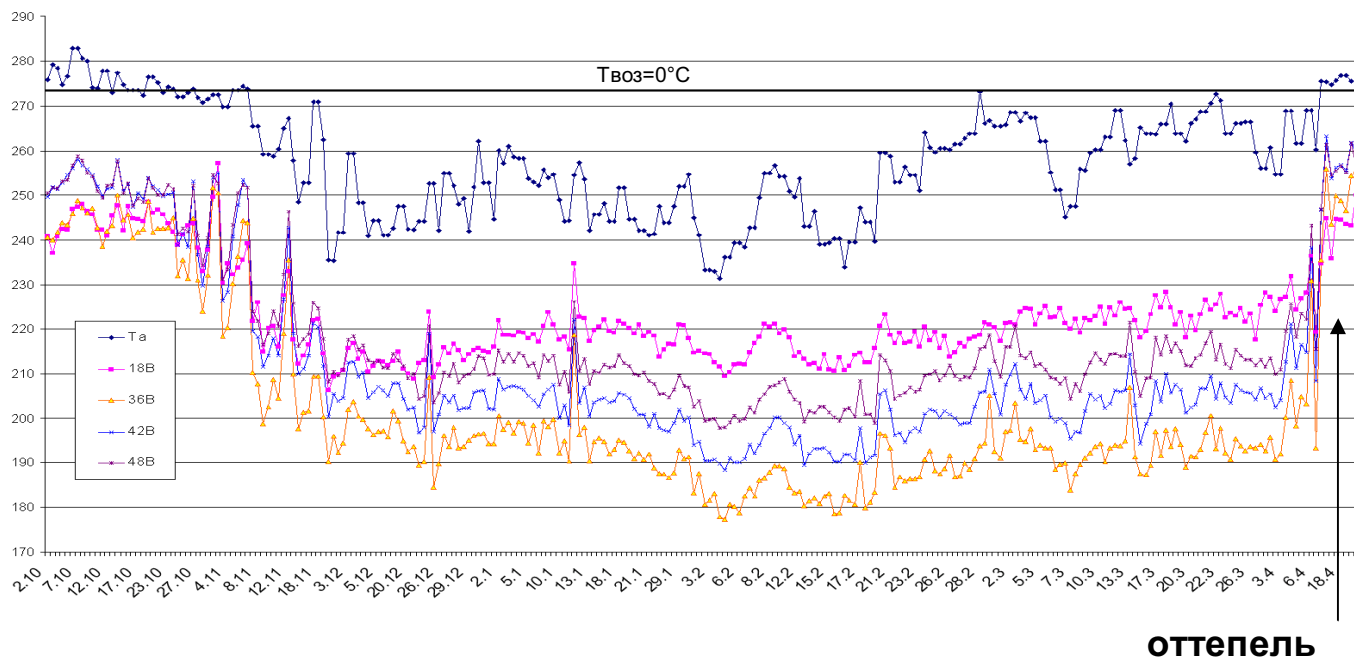
Прекратил измерения в октябре 2011 г.

Основные характеристики

По данным измерений радиометра AMSR-E могут быть восстановлены:
 паросодержание атмосферы,
 водозапас облаков,
 интенсивность осадков,
 скорость приводного ветра,
 температура поверхности океана, сплоченность ледяного покрова,
 влажность почвы, и другие

Центральная частота, ГГц	6.925	10.18	18.7	23.8	36.5	89 A	89 B
Ширина полосы (МГц)	350	100	200	400	1000	3000	
Поляризация	Вертикальная и горизонтальная						
IFOV (км)	43 × 75	29 × 51	16 × 27	18 × 32	8.2 × 14.4	3.7 × 6.5	3.5 × 5.9
Угол падения	55°					54.5°	
Полоса обзора (км)	Приблизительно 1450 км						

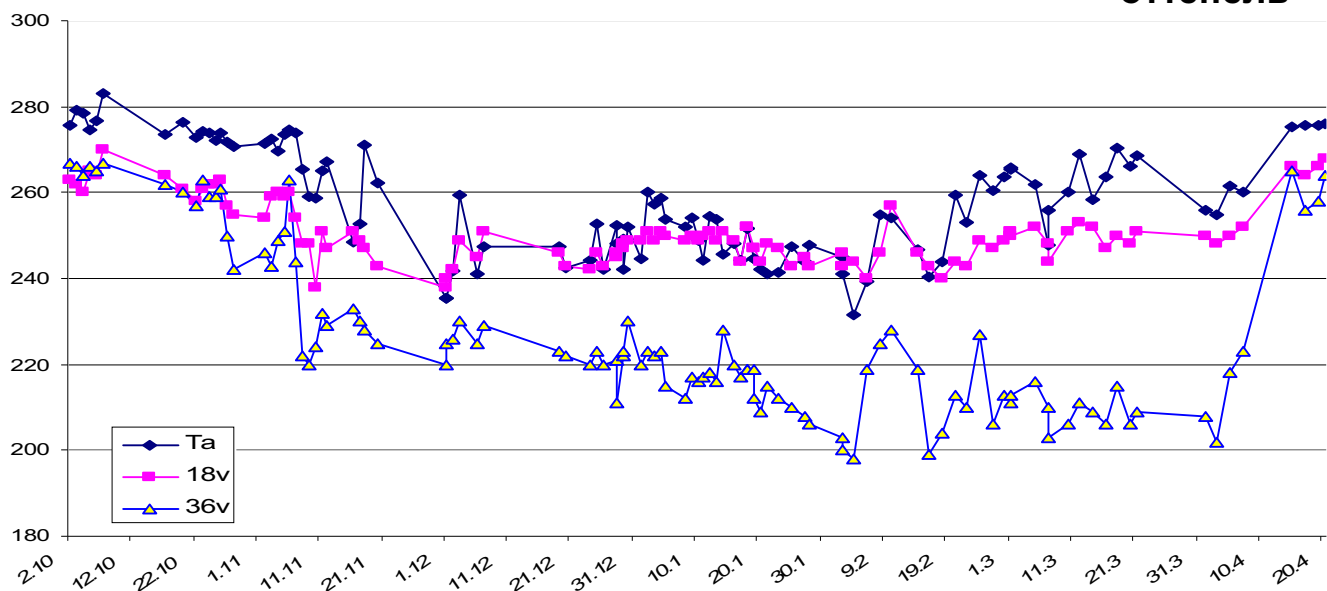
Временной ход температуры воздуха и яркостных температур на вертикальной поляризации в районе станции Салехард



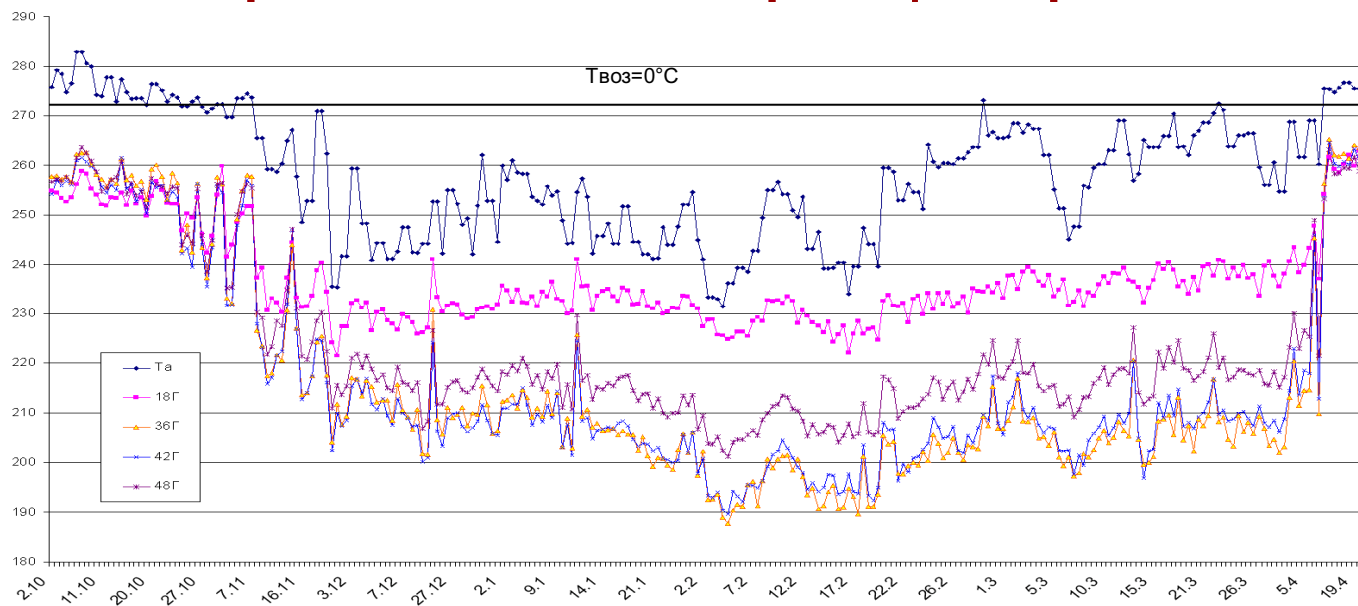
В зимний период $t_v < 0^\circ\text{C}$. Значения T_α уменьшаются с ростом частоты. Рост толщины снежного покрова до $d = 65$ см (в декабре) сопровождается понижением яркостной температуры.

Весной при переходе t_v через 0°C (\approx с 15.04) T_α начинает быстро расти. В дневные часы снег на поверхности тает, а ночью замерзает. Интервал изменения T_α , обусловленный ростом толщины (водного эквивалента) снежного покрова составляет зимой $\approx 20\text{-}30$ К. После перехода t_v через 0°C T_α изменяется до 10К.

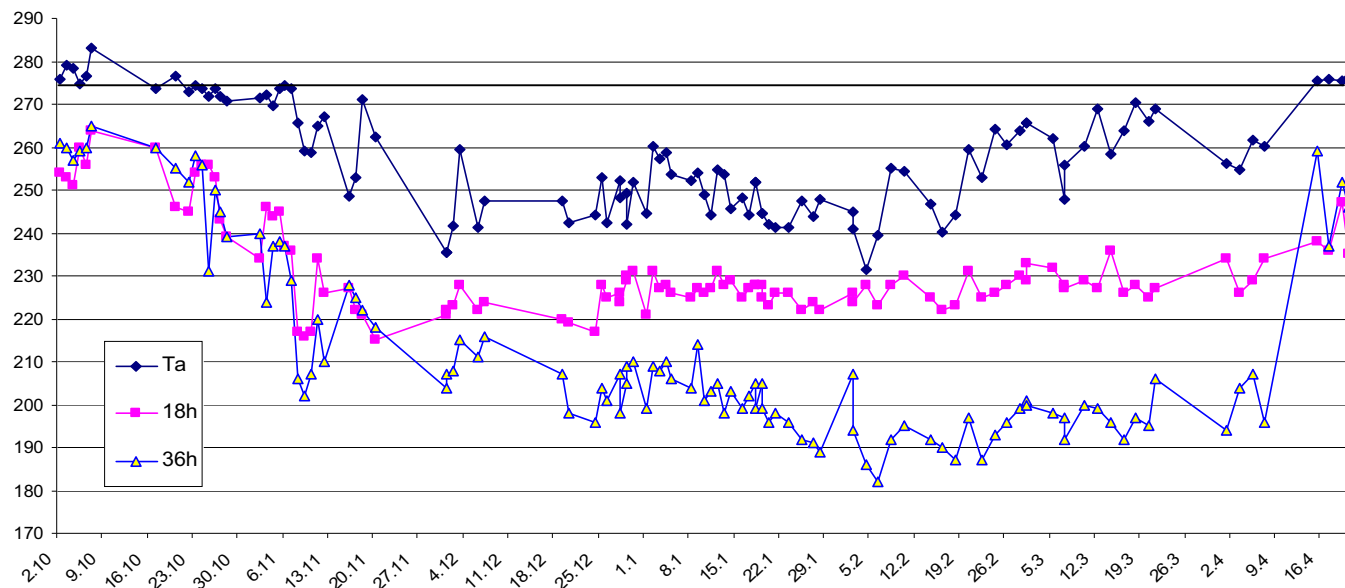
оттепель



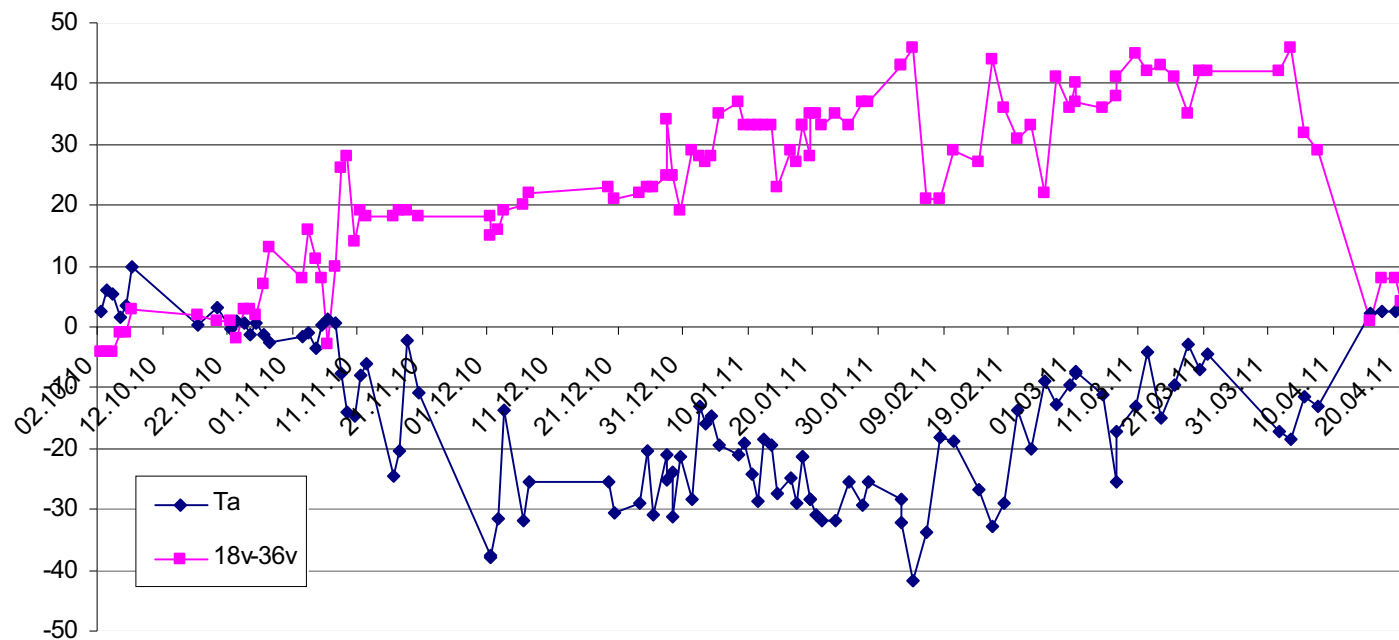
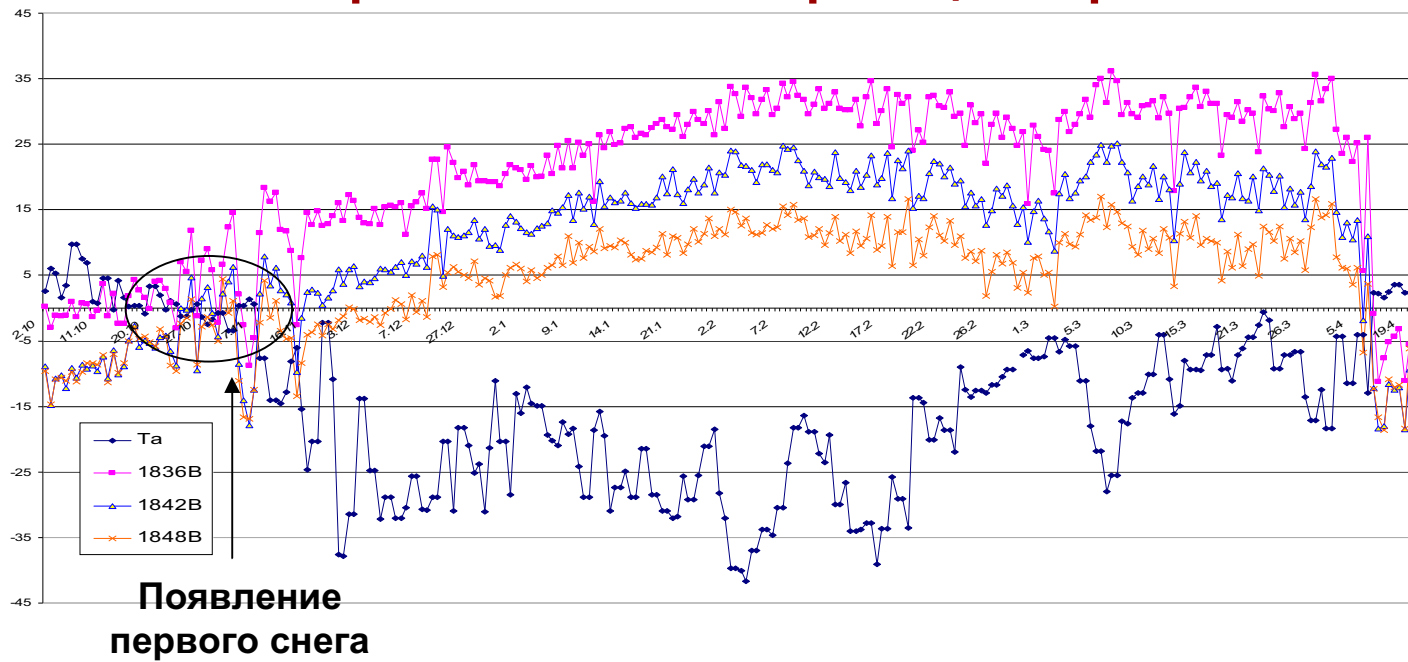
Временной ход температуры воздуха и яркостных температур на горизонтальной поляризации в районе станции Салехард



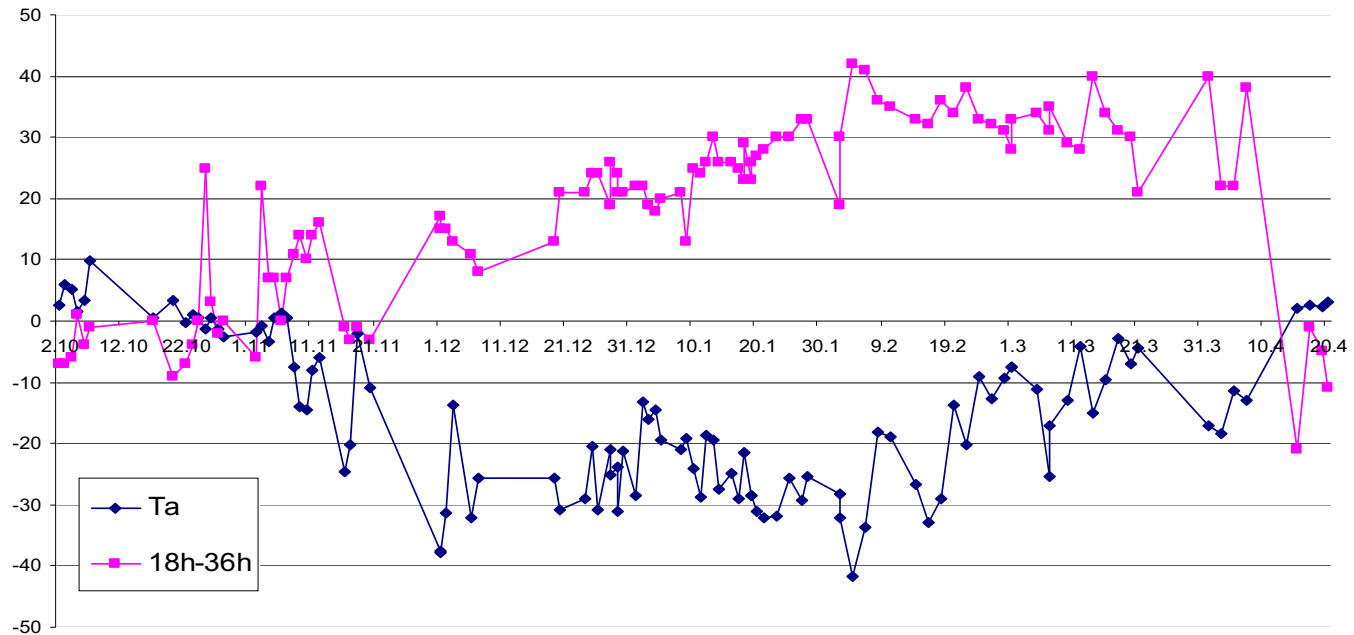
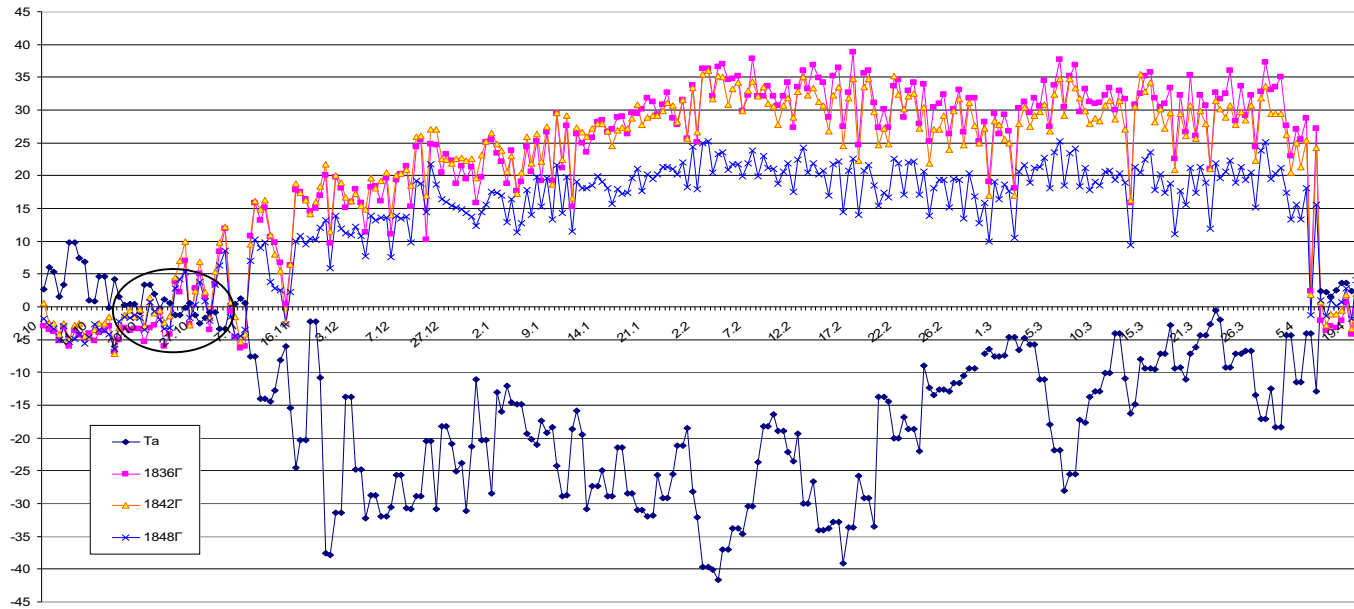
Аналогичная картина наблюдается по данным радиометров МТВЗА-ГЯ со спутника Метеор-М №1 и AMSR-E Aqua



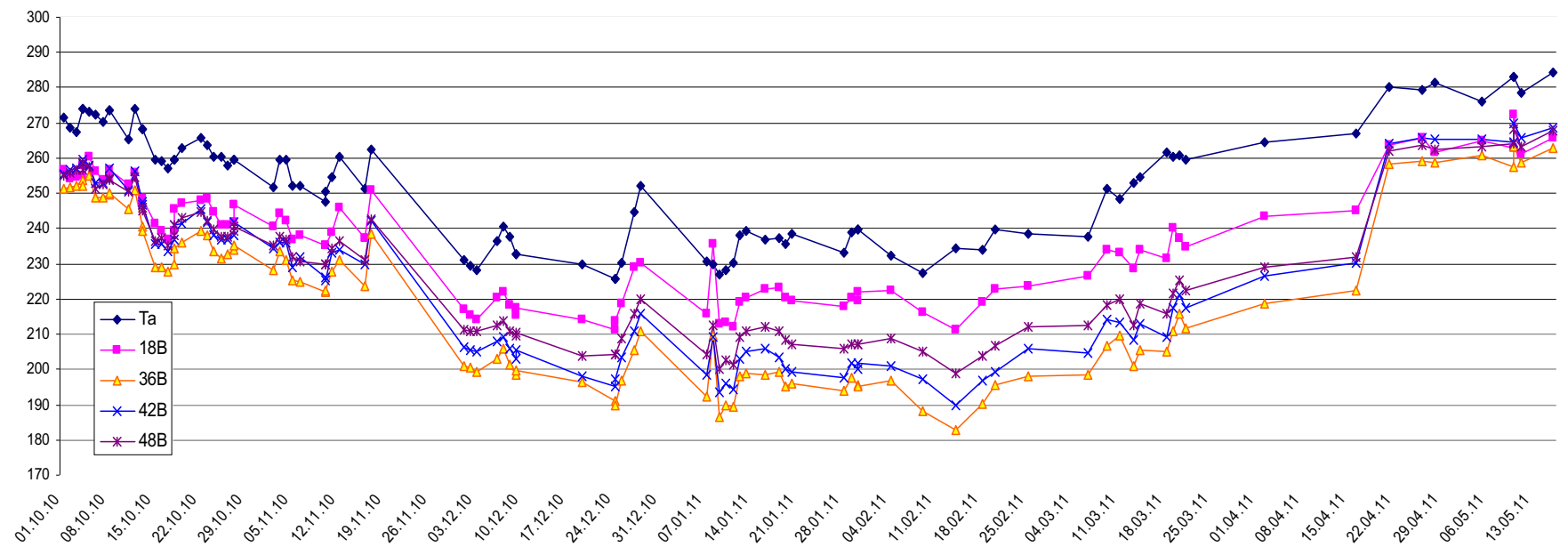
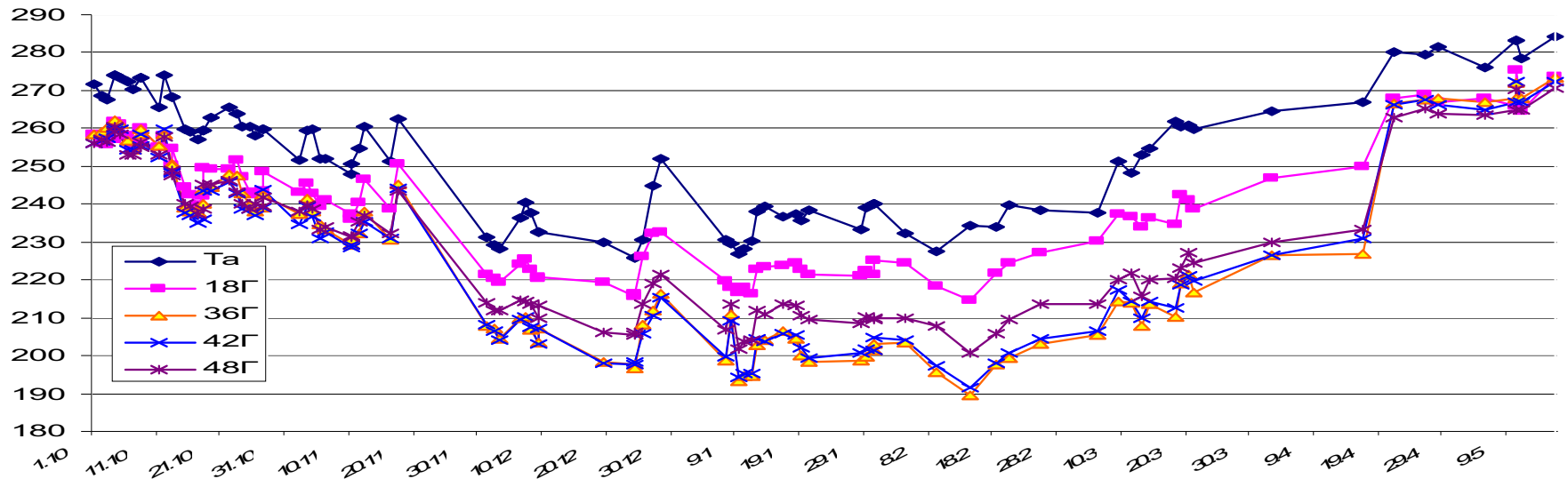
Изменение $t^{\circ}\text{C}$ воздуха и разности T_{ν} на частотах 18 и 36, 18 и 42, 18 и 48 на вертикальной поляризации в районе станции Салехард



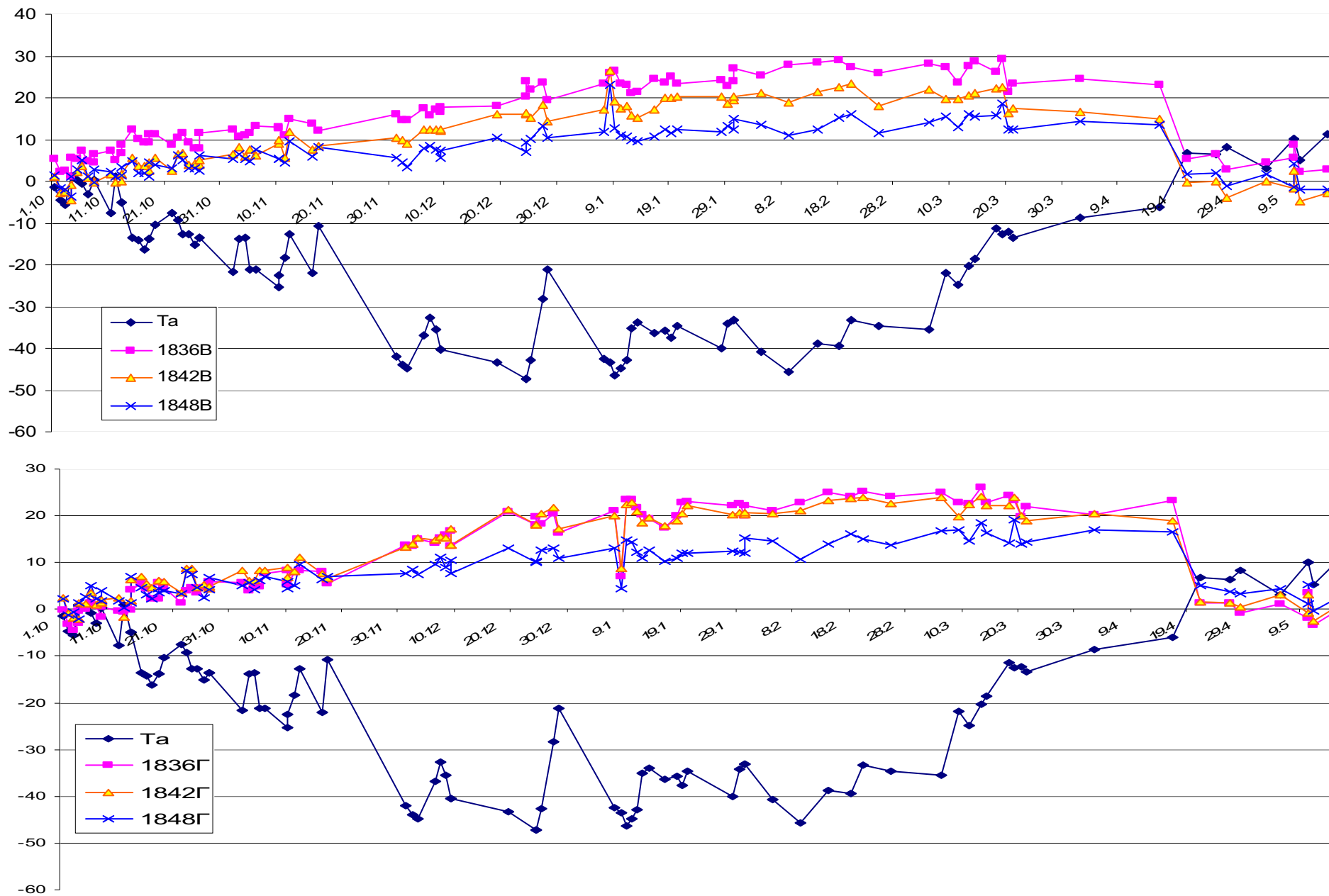
Изменение $t^{\circ}\text{C}$ воздуха и разности Тя на частотах 18 и 36, 18 и 42, 18 и 48 на горизонтальной поляризации в районе станции Салехард



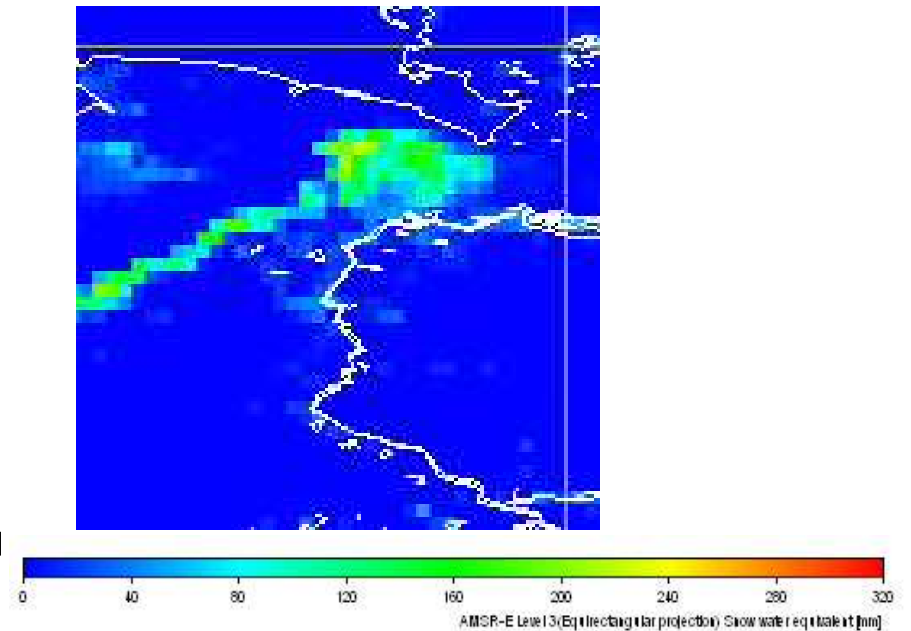
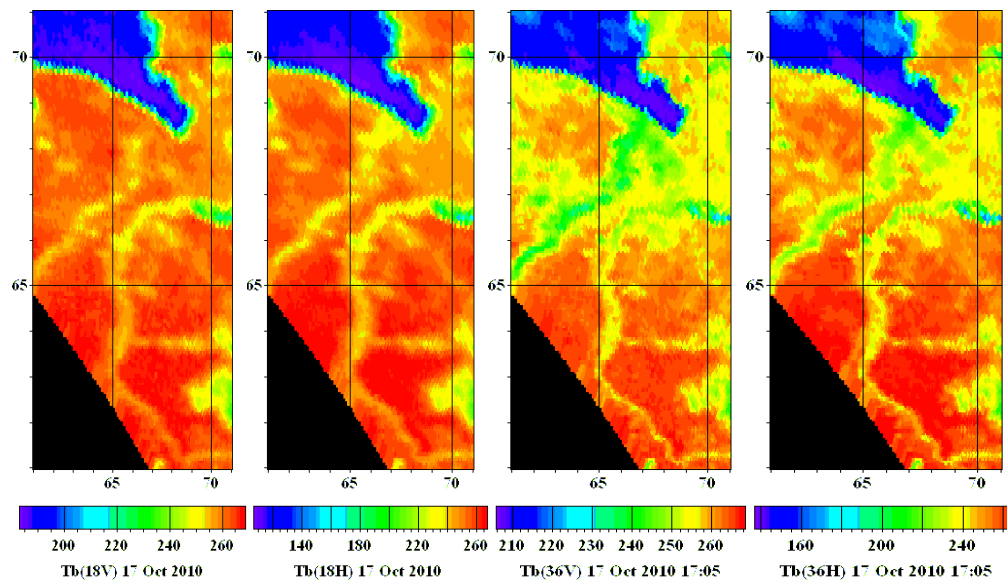
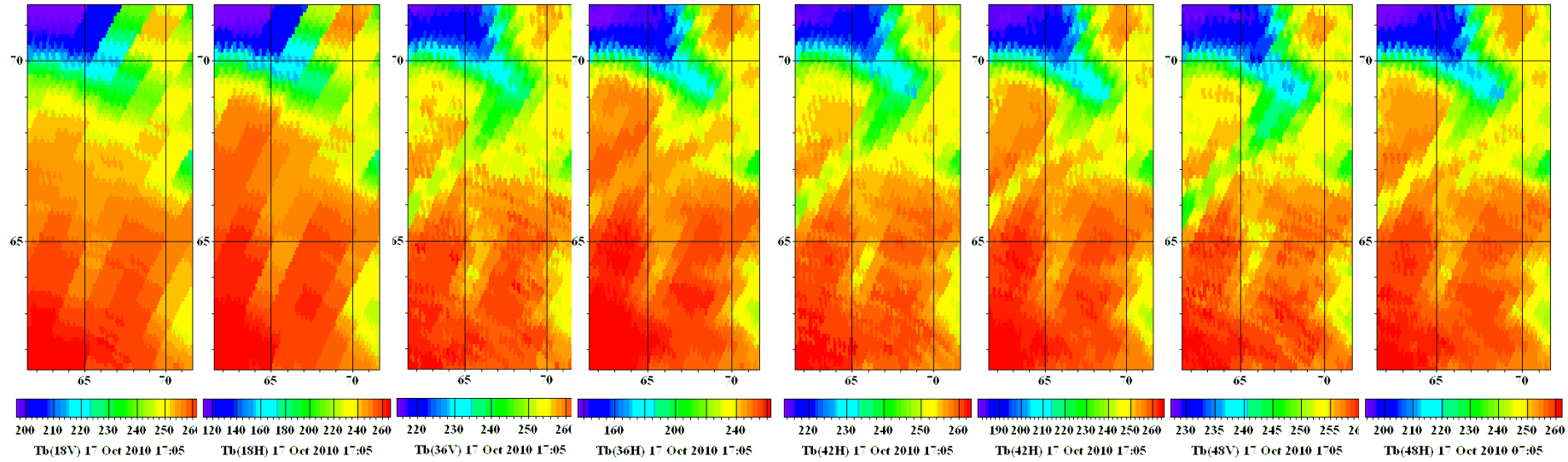
Временной ход температуры воздуха и яркостных температур на В и Г-поляризациях в районе станции Якутск



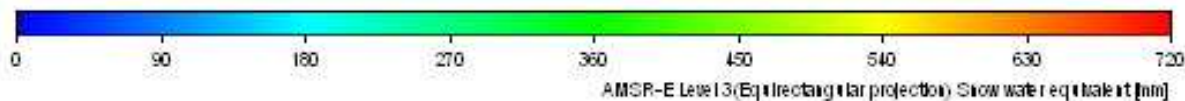
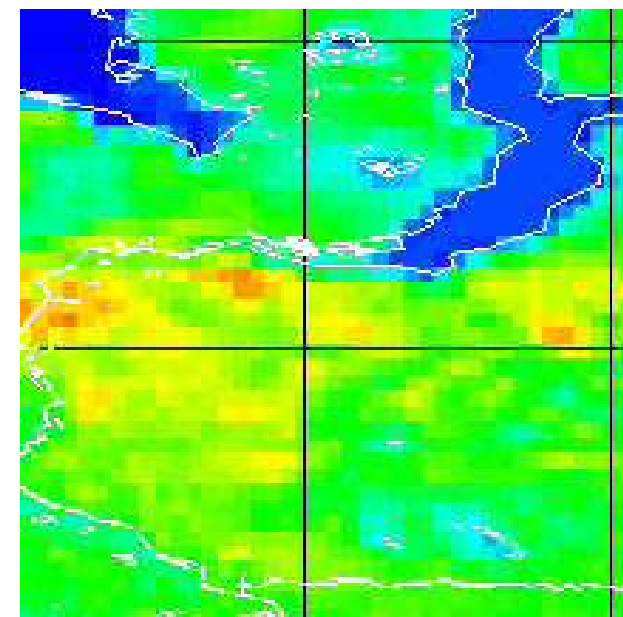
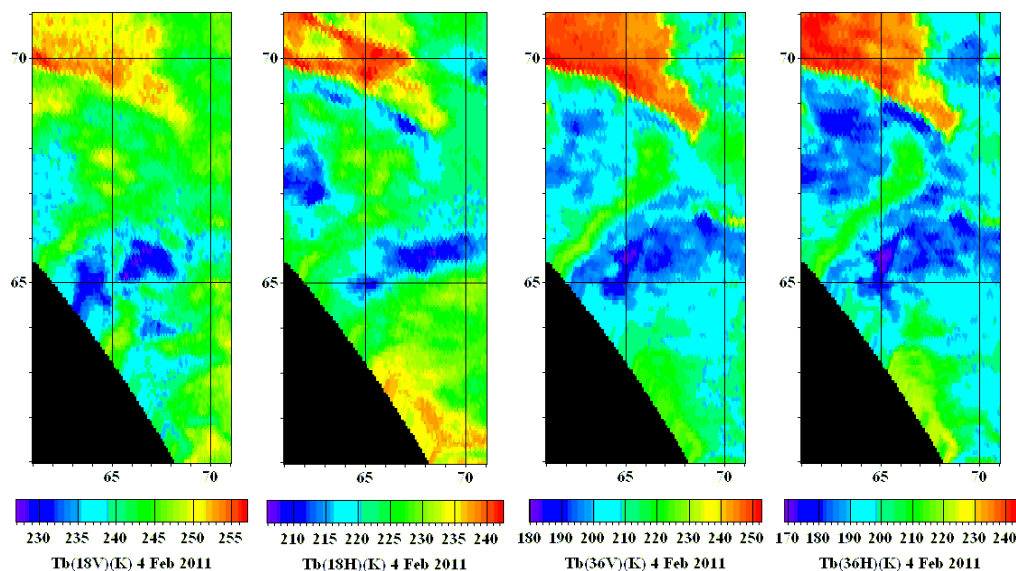
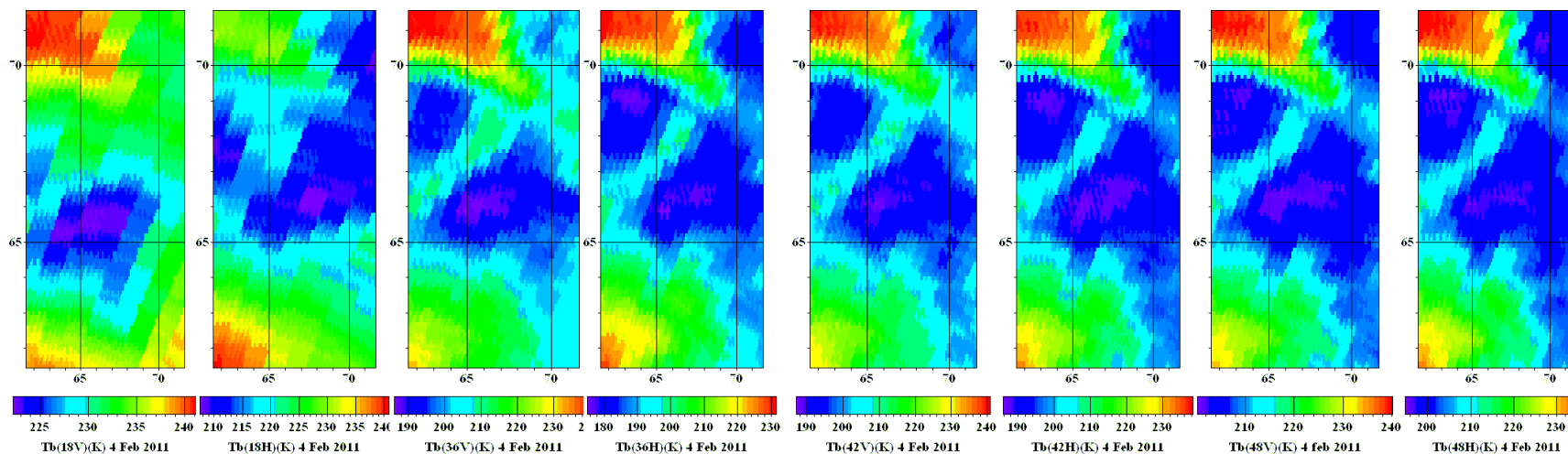
Изменение $t^{\circ}\text{C}$ воздуха и разности Тя на частотах 18 и 36, 18 и 42, 18 и 48 на В, Г-поляризациях в районе станции Якутск



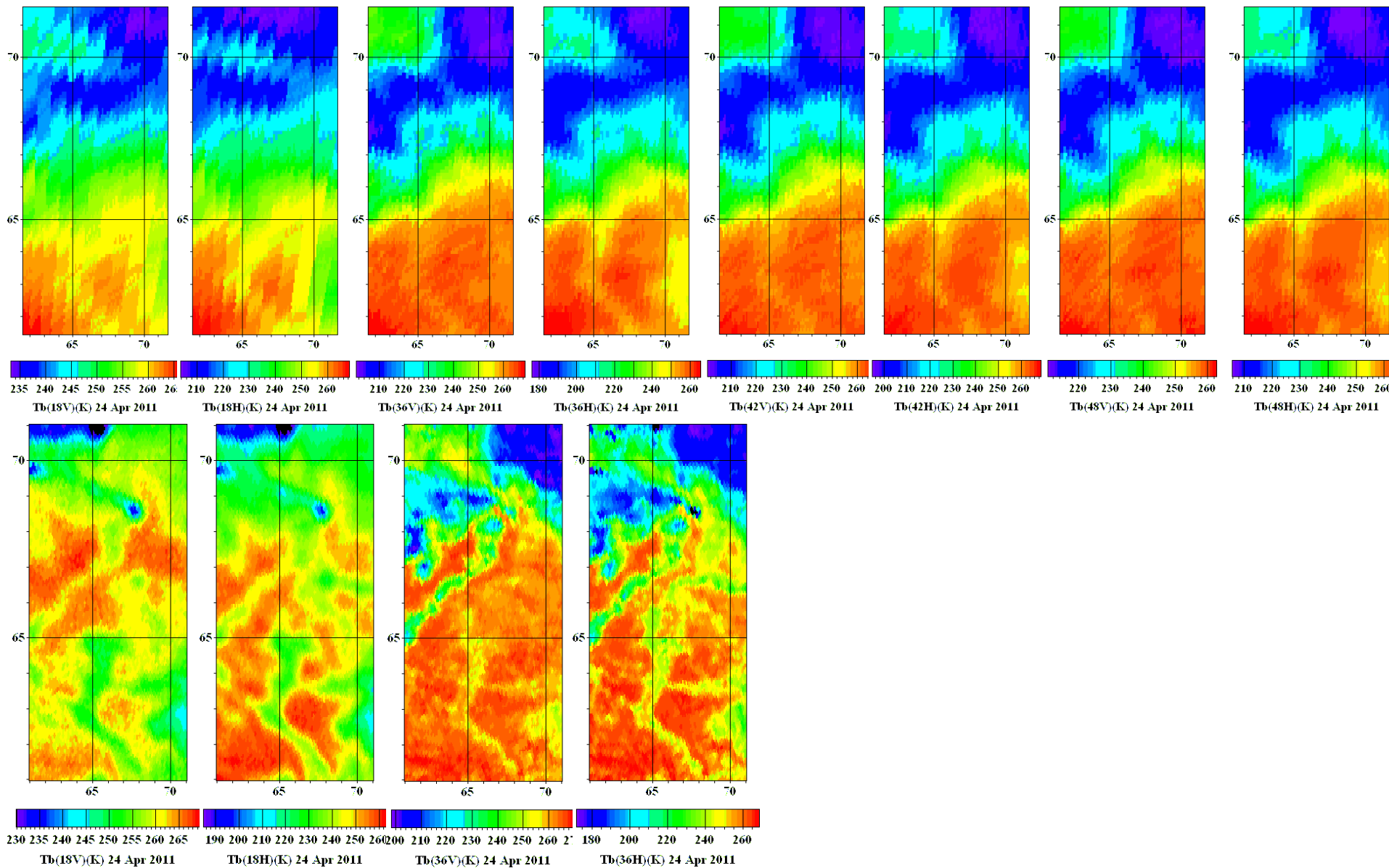
Поля Тя при появления снега на поверхности и установления «-» температур воздуха в районе станции Салехард по данным радиометров *MTB3A-ГЯ* и *AMSR-E* и поле водного эквивалента (толщины) снега *AMSR-E*



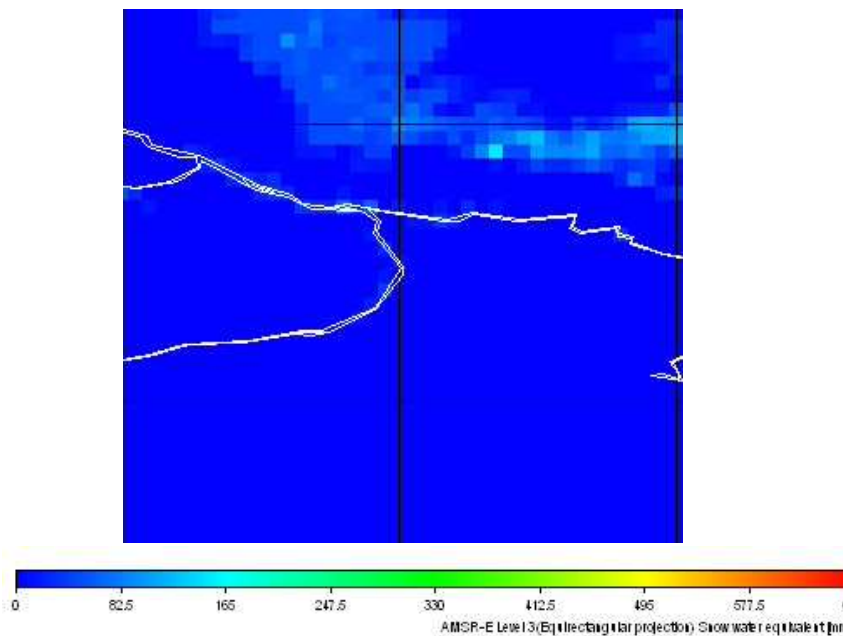
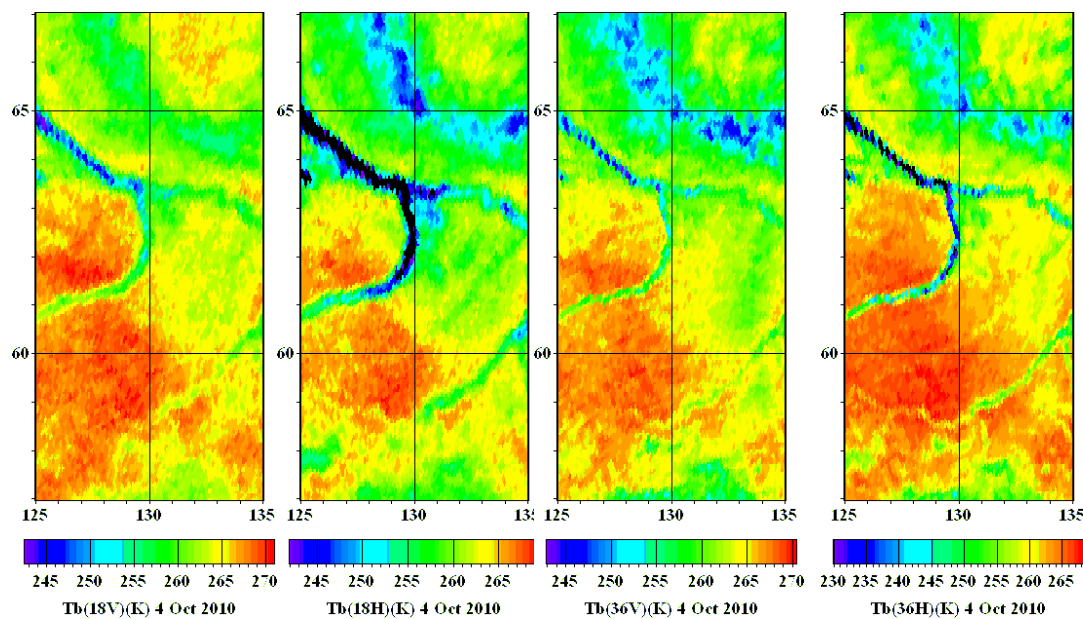
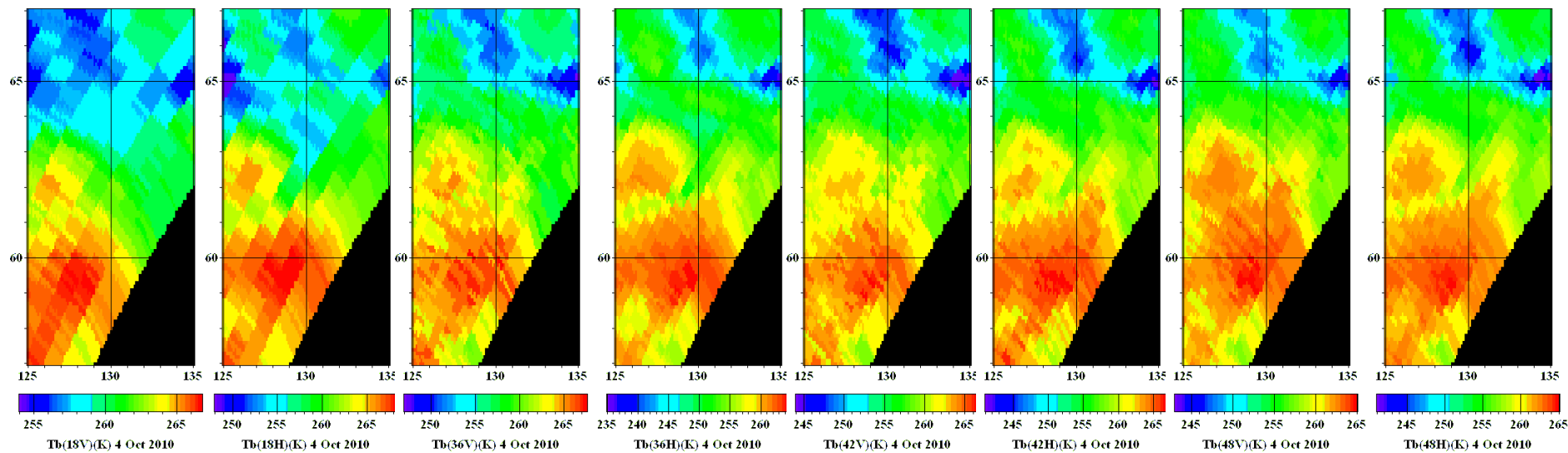
Поля Тя при минимальной температуре воздуха в районе станции Салехард в зимний период по данным радиометров *MTB3A-ГЯ* и *AMSR-E*



Поля Тя при наступлении оттепелей в районе станции Салехард по данным радиометров *MTB3A-ГЯ* и *AMSR-E*



Поля Тя при появлении снега на поверхности и установления «-» температур воздуха в районе станции Якутск по данным радиометров *MTB3A-ГЯ* и *AMSR-E* и поле водного эквивалента (толщины) снега *AMSR-E*



Основные выводы

- разность между яркостными температурами на частотах 18.7 и 36.5 ГГц является индикатором появления снега и может использоваться для определения границы снежного покрова;
- после установления снежного покрова наиболее значительные скачкообразные изменения яркостных температур и разностей между T_b на разных частотах происходят в результате оттепелей и связаны с ростом влажности поверхностного слоя снега и образованием корки
- яркостные температуры, измеренные радиометром МТВЗА-ГЯ со спутника Метеор-М №1, могут служить основой для разработки алгоритма оценки водного эквивалента снега.
- временные ряды яркостных температур МТВЗА-ГЯ и AMSR-E хорошо согласуются друг с другом и с изменчивостью температуры воздуха у поверхности (с учетом различий в пространственном разрешении, недостаточной развязки поляризационных каналов и погрешностей стабилизации МТВЗА-ГЯ).

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!