

Романов А.Н., Рябинин И.В., Хвостов И.В., Трошкин Д.Н., Романов Д.А.

# ОЦЕНКА ПОЧВЕННОЙ ЗАСУХИ НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА SMOS

Institute of Water and Environmental Problems SB RAS,  
1, Molodezhnaya St., Barnaul 656038, Russia,  
phone +7(385-2)66-64-62,  
romanov\_alt@mail.ru

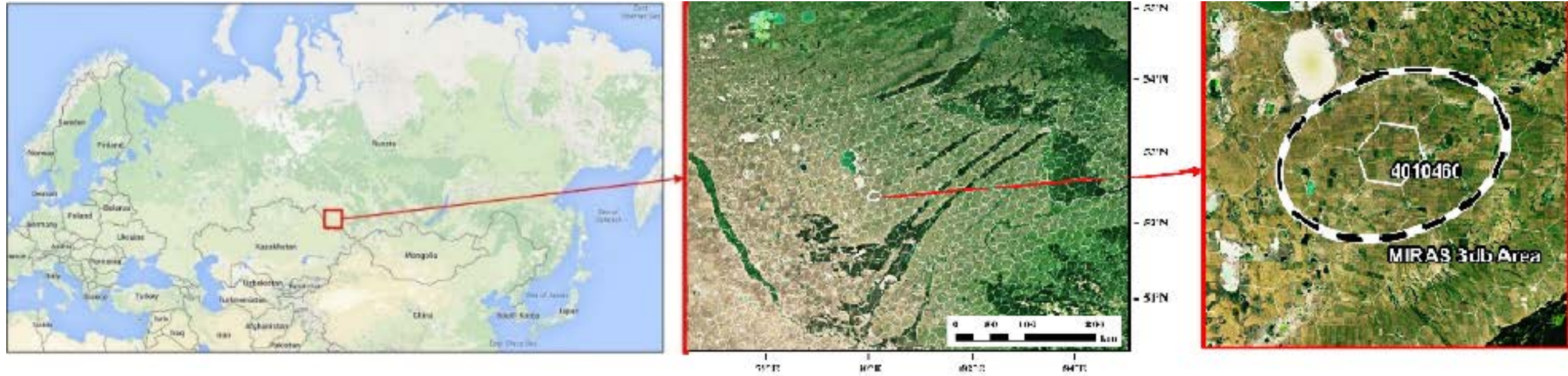
- Почвенные засухи, относящиеся к категории опасных природных явлений, возникают при влажности почвы, недостаточной для нормального роста растений и характеризуются региональными особенностями, зависящими от метеорологических условий, особенностей климата, циркуляции атмосферы, а также от физических свойств почв.
- Длительные засухи, периодически наблюдаемые во многих аграрных регионах мира, способствуют снижению урожайности сельскохозяйственных культур, что ведет к удорожанию продукции растениеводства и является угрозой продовольственной безопасности тех стран, где они происходят.
- К настоящему времени для мониторинга засух разработано более **170** индексов засухи, но ни один из них не гарантирует точного прогноза масштабов, сроков, продолжительности, интенсивности засух [1].
- Более того, уже многократно апробированные в разных регионах мира индексы засухи дают сбои в условиях изменяющегося климата и возрастающего антропогенного воздействия на экосистемы [2].

1. World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2016: Handbook of Drought Indicators and Indices (M. Svoboda and B.A. Fuchs. Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva. 2016. 45 p.

2. Zargar A., Sadiq R., Naser B., et al. A review of drought indices // Environmental Reviews. 13 September 2011. <https://doi.org/10.1139/a11-013>.



# Объект исследования - юг Западной Сибири (Кулундинская равнина, Алтайский край)



**(Кулундинская равнина** включает в себя степные территории Алтайского края, Новосибирской области (Российская Федерация), Павлодарской области (Республика Казахстан). Этот стратегически важный аграрный регион характеризуется засушливым климатом.

В 2012 году на данной территории наблюдалась сильнейшая с 1960 годов почвенная засуха, охватившая значительную часть Северной Евразии. В результате этой засухи пострадали 16 регионов России, а также сопредельные государства (Казахстан, Киргизия, северо-западные провинции Китая, юго-восточные территории Украины).

В **Алтайском крае** в результате аномальной жары и засухи пострадало более 3 млн. гектар сельскохозяйственных посевов и был введен режим Чрезвычайной ситуации.

- В качестве основных объектов были выбраны территории, попадающие в пиксель спутникового радиометрического приемника MIRAS (ячейка 4010460 of geodetic grid DGG ISEA 4H9).
- Основным ландшафтом являлись распаханые поля с посадками с/х культур. Площади водных объектов не превышали 5%, населенных пунктов – менее 1%. Площадь лесных массивов, искусственных древесных насаждений незначительна.
- Почвы по гранулометрическому составу легко- и среднесуглинистые.
- В натуральных условиях в поверхностном слое почвы 0-5 см плотность ( $\rho$ ), температура ( $t$ ) и объемная доля воды ( $W$ ) изменялись в следующих пределах:
  - $\rho = 1.1, \dots 1.3 \text{ г/см}^3$ ;       $t = 18, \dots 60^\circ\text{C}$ ;       $W = 0.05, \dots 0.40 \text{ см}^3/\text{см}^3$ .



# Тестовый участок (Родинский район), ячейка 4010460 дискретной геодезической сетки DGG ISEA 4Н9

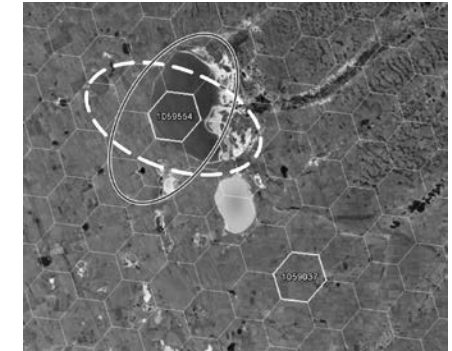


# Методика исследований

**Данные спутника SMOS** (продукт L1c) на частоте 1.41 ГГц использовали для оценки пространственного распределения радиоярких температур подстилающей поверхности.

Данные SMOS (продукт L1C), привязаны к дискретной геодезической сетке DGG ISEA 4N9, состоящей из 2621442 шестиугольных ячеек, покрывающих Земной шар. Размер ячейки 16 км.

Форма радиометрического следа радиометра MIRAS (SMOS) на вертикальной и горизонтальной поляризациях



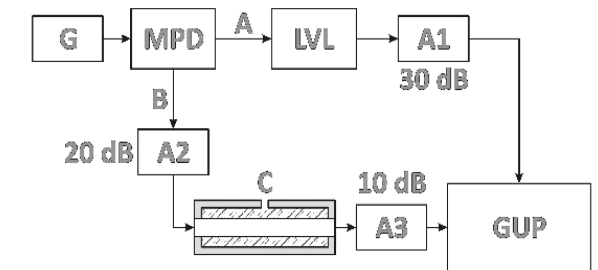
**Спутниковые снимки Landsat** использовали для планирования экспедиций, определения мест отбора проб воды.



**Полевые измерения:** измеряли температуру, отбирали пробы воды, почвы, растительности.

**В лабораторных условиях измеряли** диэлектрические характеристики отобранных образцов почв для установления зависимостей коэффициента излучения от объемной влажности.

Измерения проводили на лабораторной установке мостового типа.

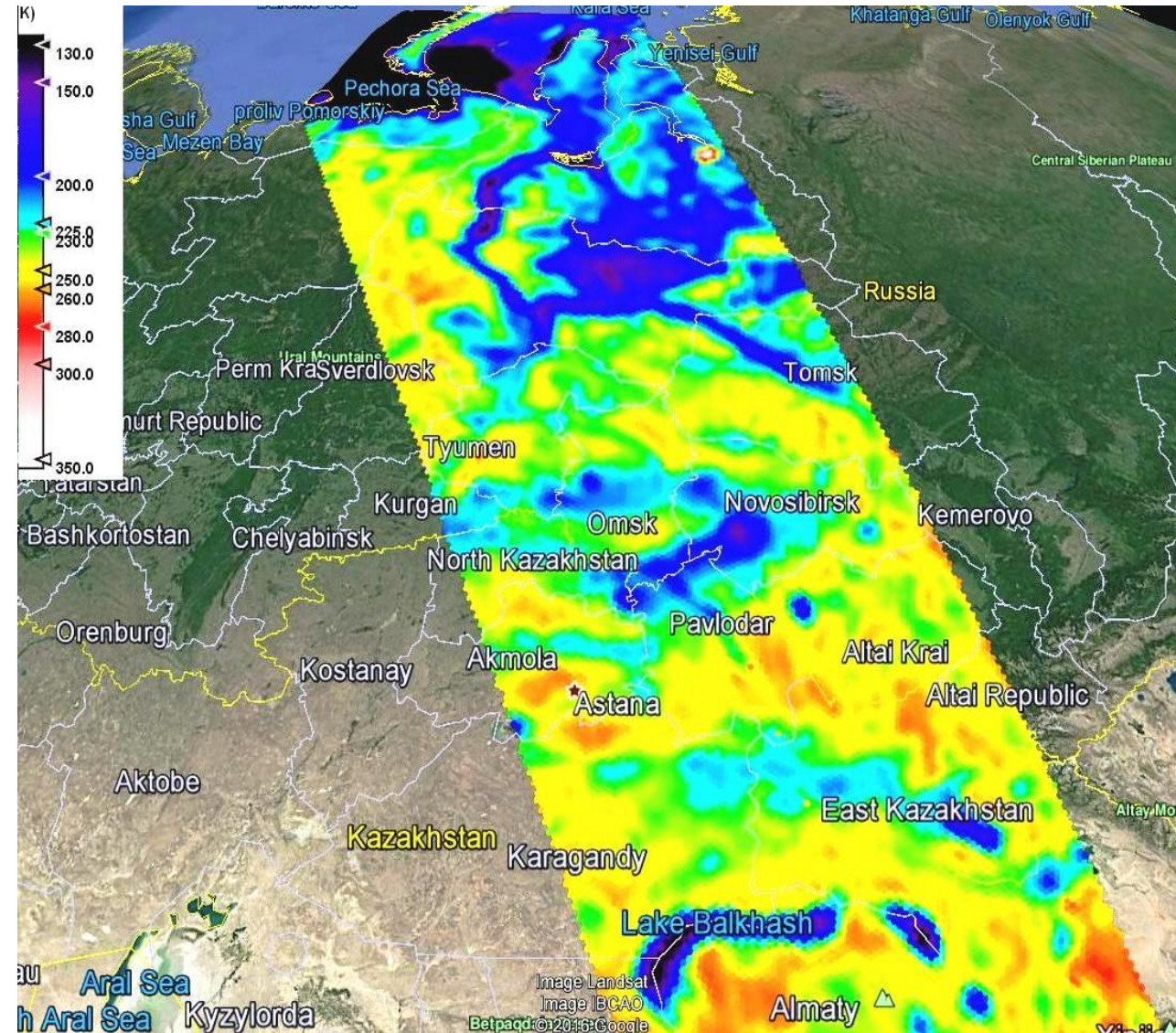


Блок-схема лабораторной установки на основе измерителя фаз ФК2-18.



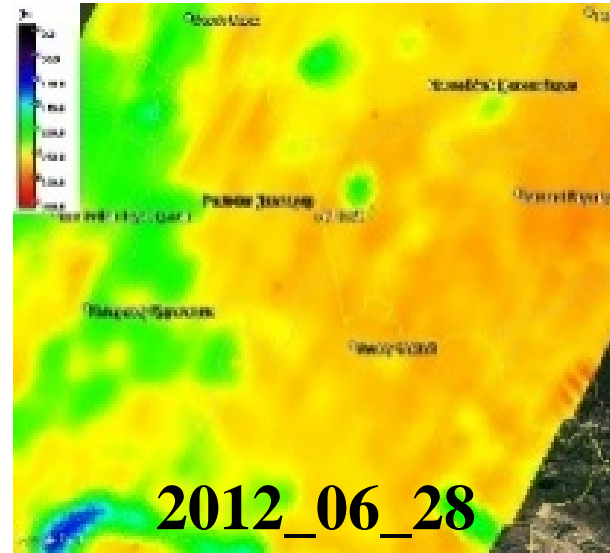
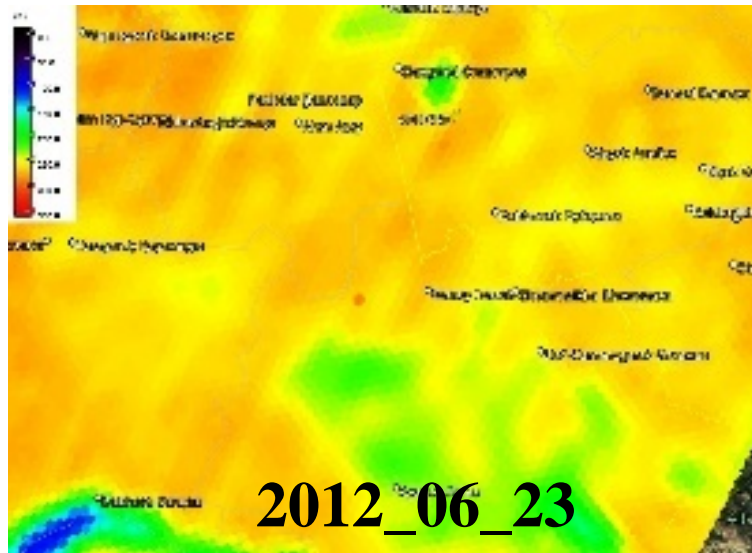
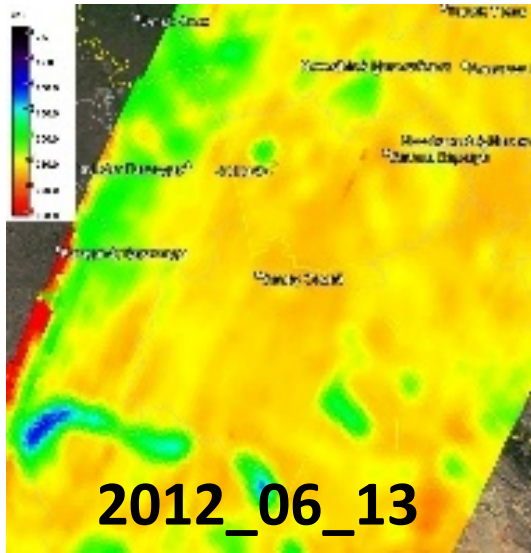
- Значения радиоизлучательных характеристик откалиброваны в единицах радиояркости температур (Тя).
- Погрешность определения Тя изменяется от  $\pm 3$  К в центре до  $\pm 6$  К на краях полосы захвата шириной 890 км.
- Съёмка территории производится на горизонтальной и вертикальной поляризациях в диапазоне углов зондирования от 0 до  $55^\circ$ .
- Разрешающая способность радиометра при зондировании под углом  $42.5^\circ$  составляет 45 км.

Для примера:  
виток спутника SMOS : Западная Сибирь  
горизонтальная поляризация



# Пространственно-временные закономерности распределения радиоярких температур на юге Западной Сибири (горизонтальная поляризация)

**2012 год – в Алтайском крае сильнейшая засуха с 1960 годов, 26 июля объявлен режим ЧС.**

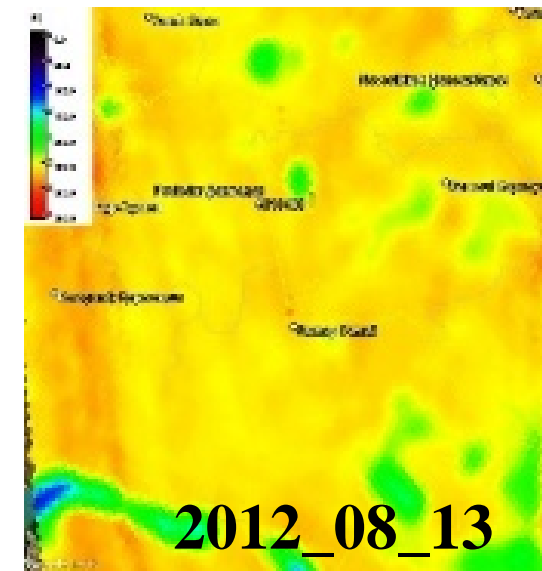
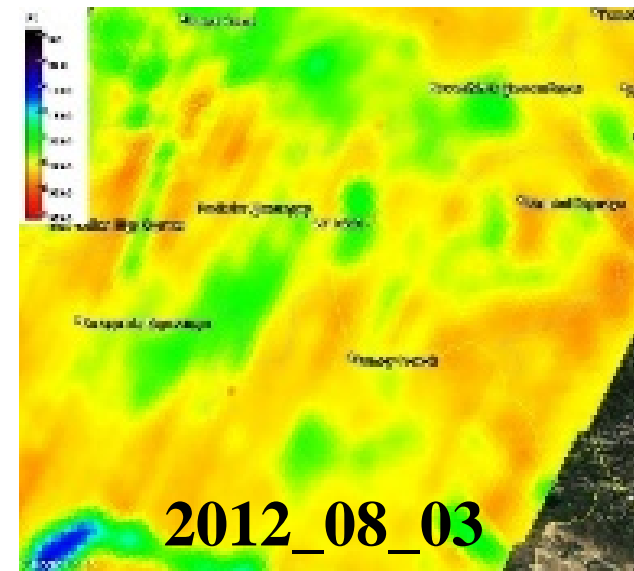
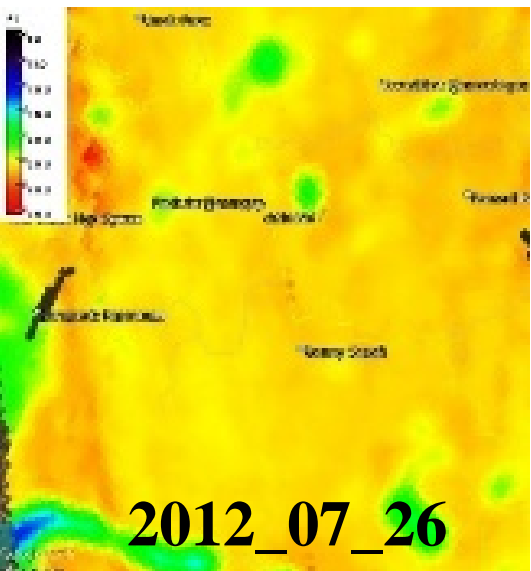


**Синий цвет- водоем или переувлажненная почва.**

**Зеленый цвет – влажная почва.**

**Желтый свет – недостаток влаги в почве.**

**Красный цвет – засуха**



**На качественном уровне видно, что с июня по август 2012 года практически на всей территории Западной Сибири наблюдался недостаток почвенной влаги**



Рассмотрим стандартные зависимости объемной доли воды в почве ( $W$ ) от emissivity ( $\chi$ ) для почв с разными  $W_t$ . Аппроксимированные прямыми линиями зависимости  $W(\chi)$  рассчитываются по результатам лабораторных измерений диэлектрических характеристик почв, отобранных с тестовых участков, попадающих в пиксель радиометра MIRAS

$$W = \begin{cases} A - B \cdot \chi, & \chi_W \leq \chi \leq \chi_t, \\ C - D \cdot \chi, & \chi_t \leq \chi \leq \chi_0, \end{cases} \quad (1)$$

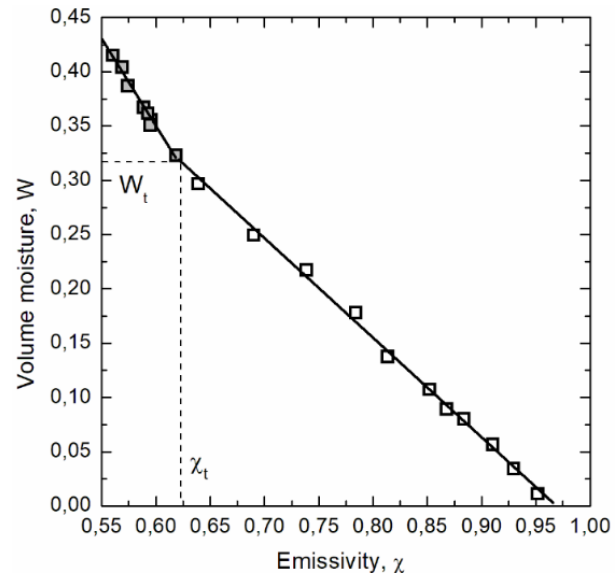
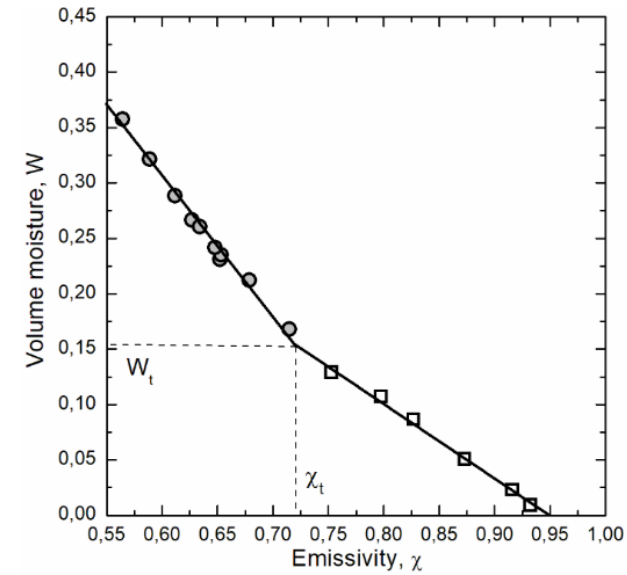
$A, B, C, D$  – эмпирические коэффициенты,

$\chi_0 (W = 0) = 0.96 \pm 0.01, \chi_W (W_{MAX} = 0.41 \pm 0.04) = 0.55,$

$\chi_t (W = W_t)$  – коэффициенты излучения почвы с разной влажностью,

$W_{max}$  - полная влагоемкость,

$W_t$  – объемная доля воды, соответствующая переходу от свободной воды к связанной воде.



После несложных преобразований запишем соотношение (1) в следующем стандартизированном виде:

$$W = \begin{cases} W_t \frac{\chi_0 - \chi}{\chi_0 - \chi_t}, & \chi_t \leq \chi \leq \chi_0, \\ W_t + (W_{MAX} - W_t) \frac{\chi_t - \chi}{\chi_t - \chi_{MAX}}, & \chi_W \leq \chi \leq \chi_t, \end{cases} \quad (2)$$

Из анализа экспериментальных данных следует, что для разных почв  $\chi_0$ ,  $\chi_W$  имеют близкие значения, находящиеся в пределах погрешности измерений, а  $\chi_t$  заметно отличаются ( $\chi_t(W_t = 0.13) = 0.84$ ;  $\chi_t(W_t = 0.32) = 0.62$ ).

Величина  $\chi_t$  может быть определена по результатам синхронных дистанционных измерений  $\chi$  и полевых измерений  $W$ , либо по результатам диэлектрических измерений комплексной диэлектрической проницаемости почвы при разных значениях  $W$ .

Следует отметить, что полевые измерения  $W$  довольно трудоемкие, а для диэлектрических измерений требуется специализированное оборудование и программное обеспечение, а также возникает необходимость решения электродинамической задачи прохождения электромагнитной волны через дисперсную среду.

В отличие от  $\chi_t$  величина  $W_t$  определяется в большинстве почвенных лабораторий.

Для возможности широкого практического использования соотношений (1)-(2) мы аппроксимировали  $\chi_t(W_t)$  линейной зависимостью

$$\chi_t = 0.96542 - 1.18111 \cdot W_t, \sigma = 0,03, R = 0.95,$$

где  $R$  - коэффициент корреляции,  $\sigma$  - среднеквадратичное отклонение



Почвенная засуха Soil Drought (SD) наступает при  $W \leq W_t$ . В этом случае в почве присутствует только связанная вода, недоступная для растений.

Радиофизической характеристикой SD может выступать величина  $\chi_t$ .

Значения  $\chi$  соответствуют следующим режимам почвенного увлажнения:

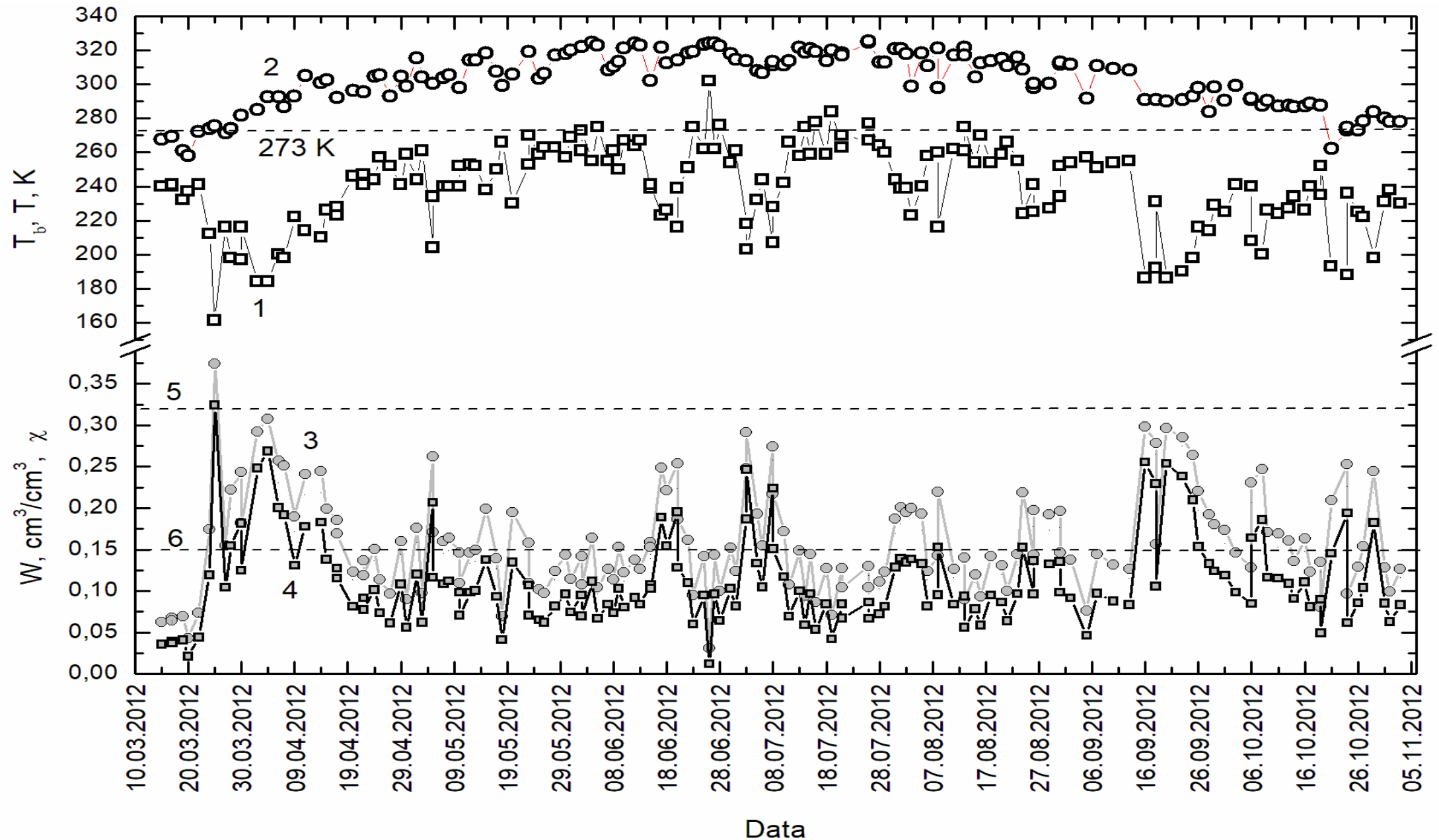
- 1)  $\chi_t \leq \chi \leq \chi_0$  – недостаток воды в почве – засуха;
- 2)  $\chi_w < \chi \leq \chi_t$  – количество воды, достаточное для растений;
- 3)  $\chi_w \approx \chi$  – избыток воды – переувлажнение.

Условия SD реализуются при  $\chi_t \leq \chi$ , достигая максимума при  $\chi \approx \chi_0$ .

Для оценки степени увлажненности почвы (включая засуху и переувлажнение) введем Дистанционный микроволновый индекс засухи (Remote Microwave Soil Drought Index – RMSDI) как отношение длин интервалов в разных диапазонах влажности

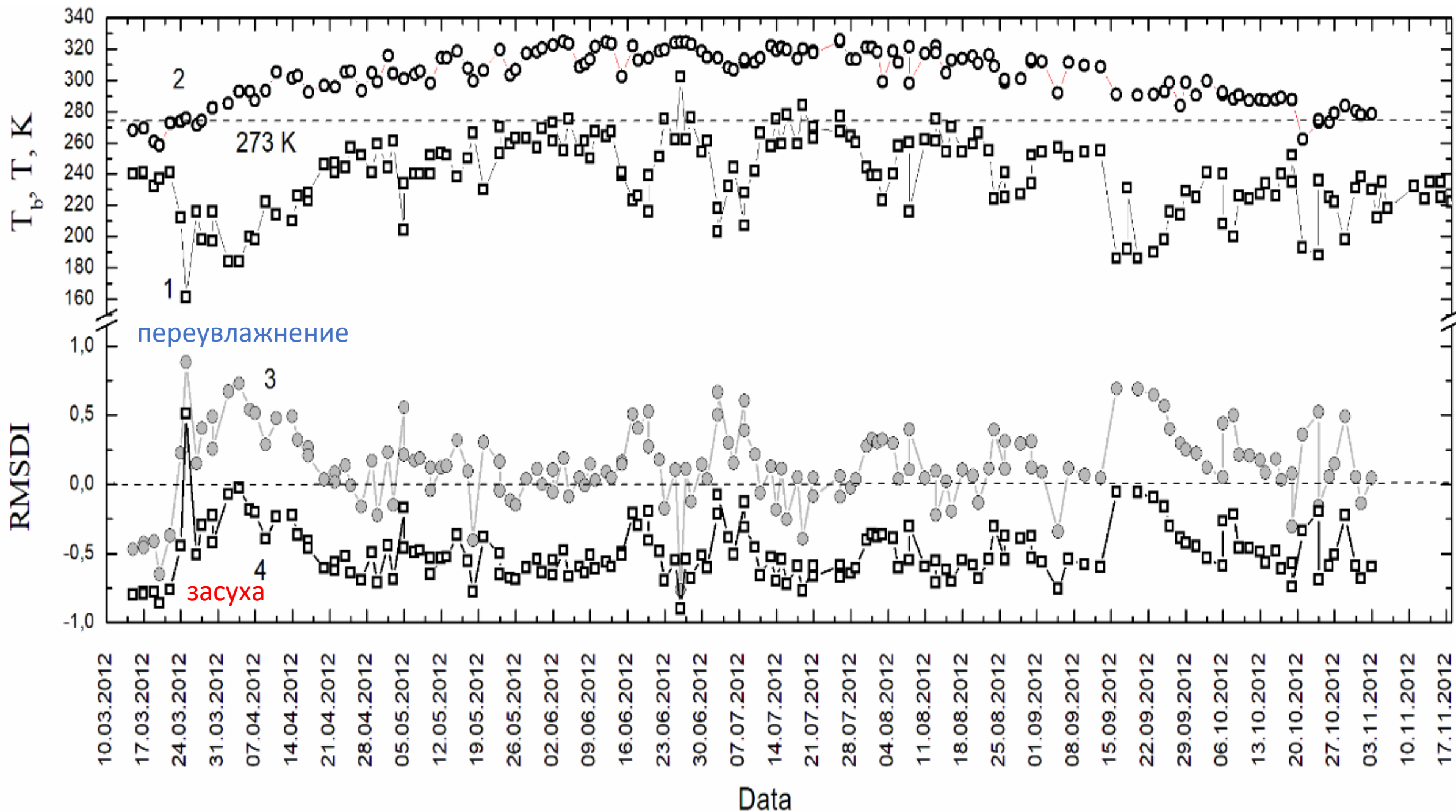
$$RMSDI = \begin{cases} \frac{\chi_t - \chi}{\chi_0 - \chi_t}, & \chi_t \leq \chi \leq \chi_0, \\ \frac{\chi_t - \chi}{\chi_t - \chi_w}, & \chi_w \leq \chi \leq \chi_t. \end{cases}$$

# Сезонная динамика $T_a$ (1), $T_b$ (2), $W$ ( $W_t = 0.13$ ) (3), $W$ ( $W_t = 0.32$ ) (4), 5, 6 – $W_t$ .

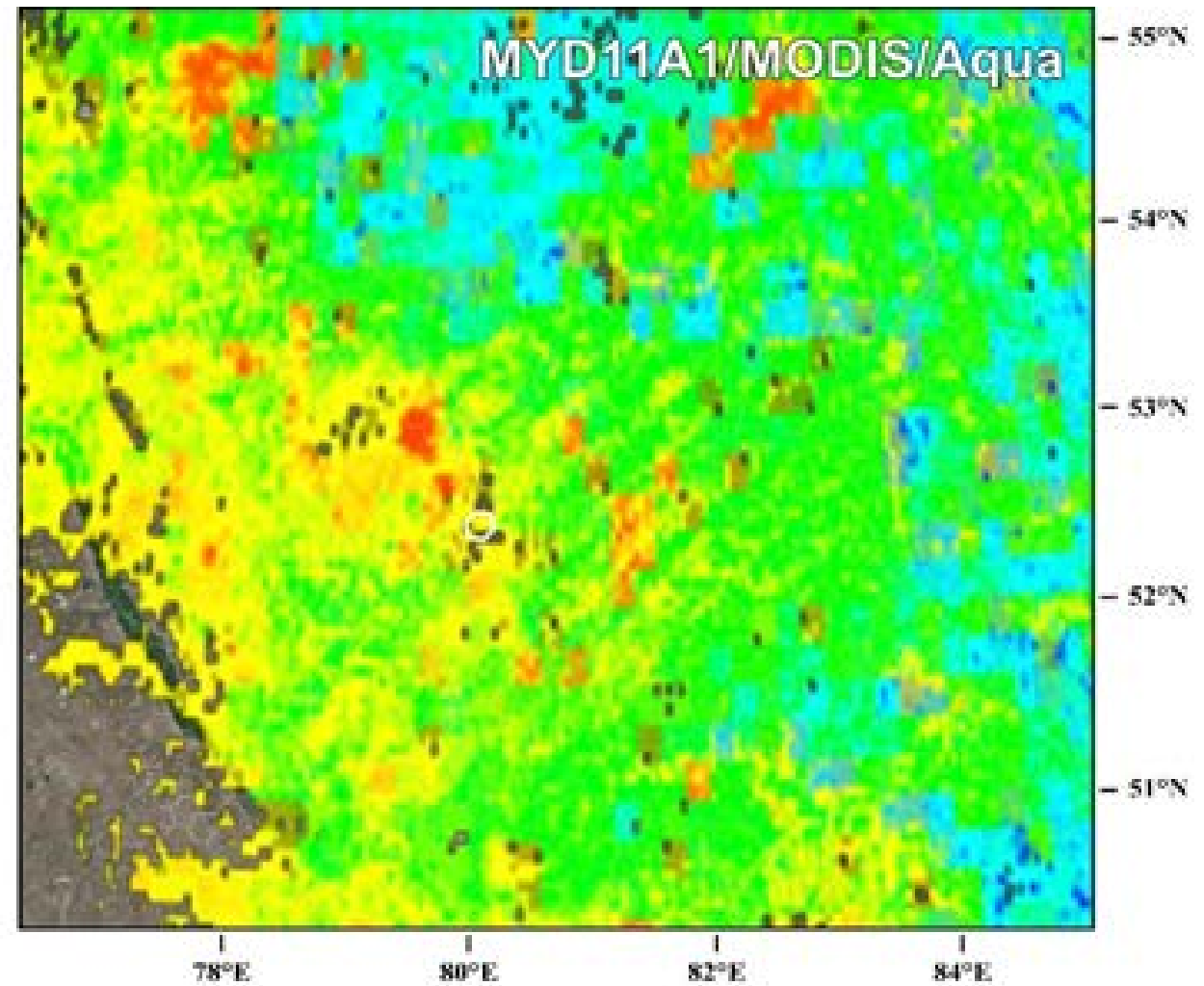
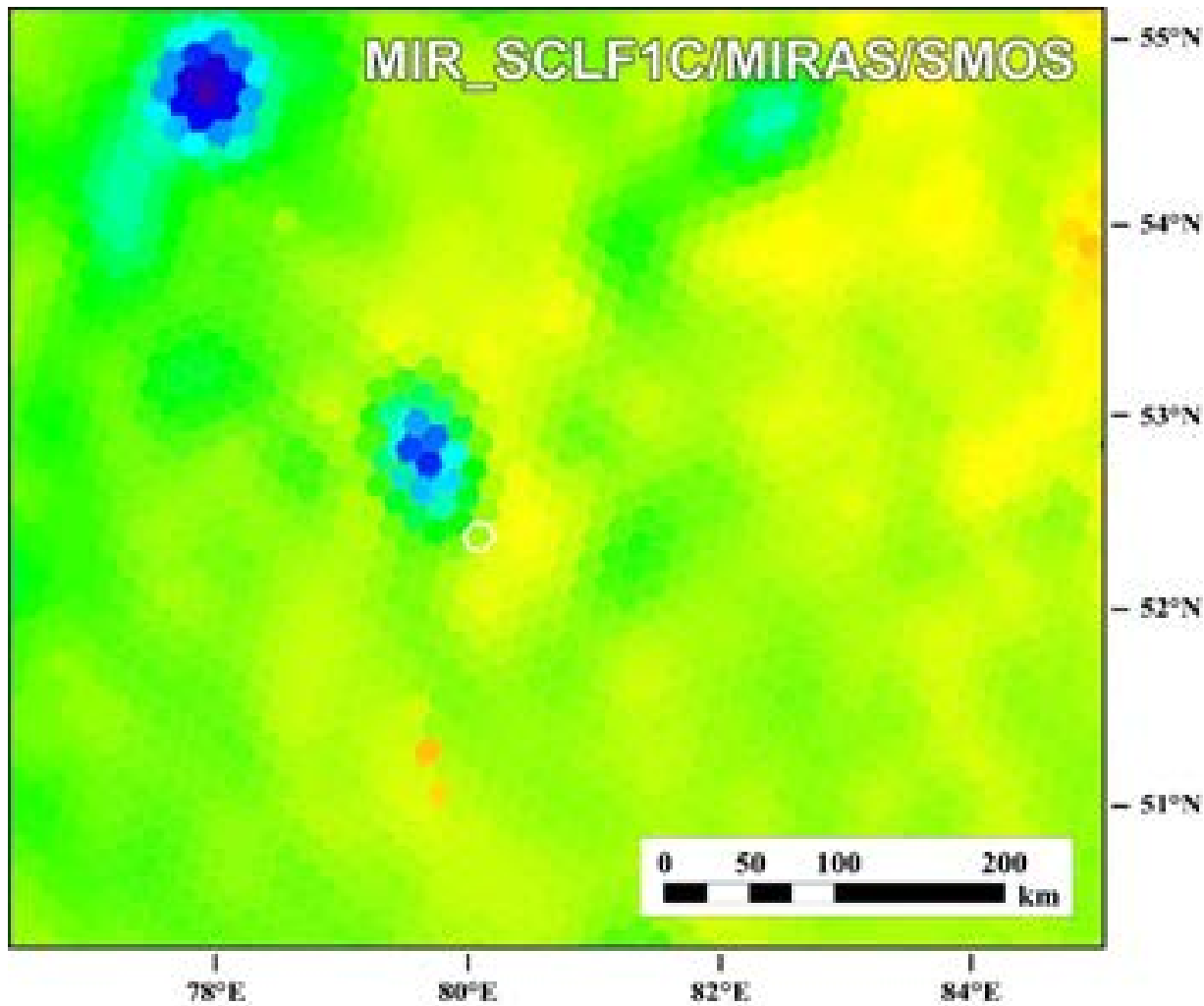




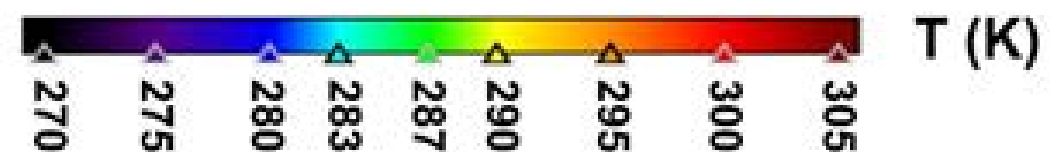
Сезонная динамика  $T_a$  (1),  $T_b$  (2), RMSDI для  $W_t = 0.15$  (3),  $W_t = 0.32$  (4).



# Карта-схема пространственного распределения $T_{\text{я}}$ и $T$ на 26.07.2012



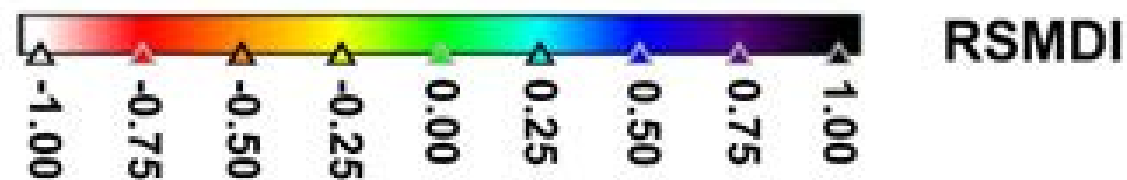
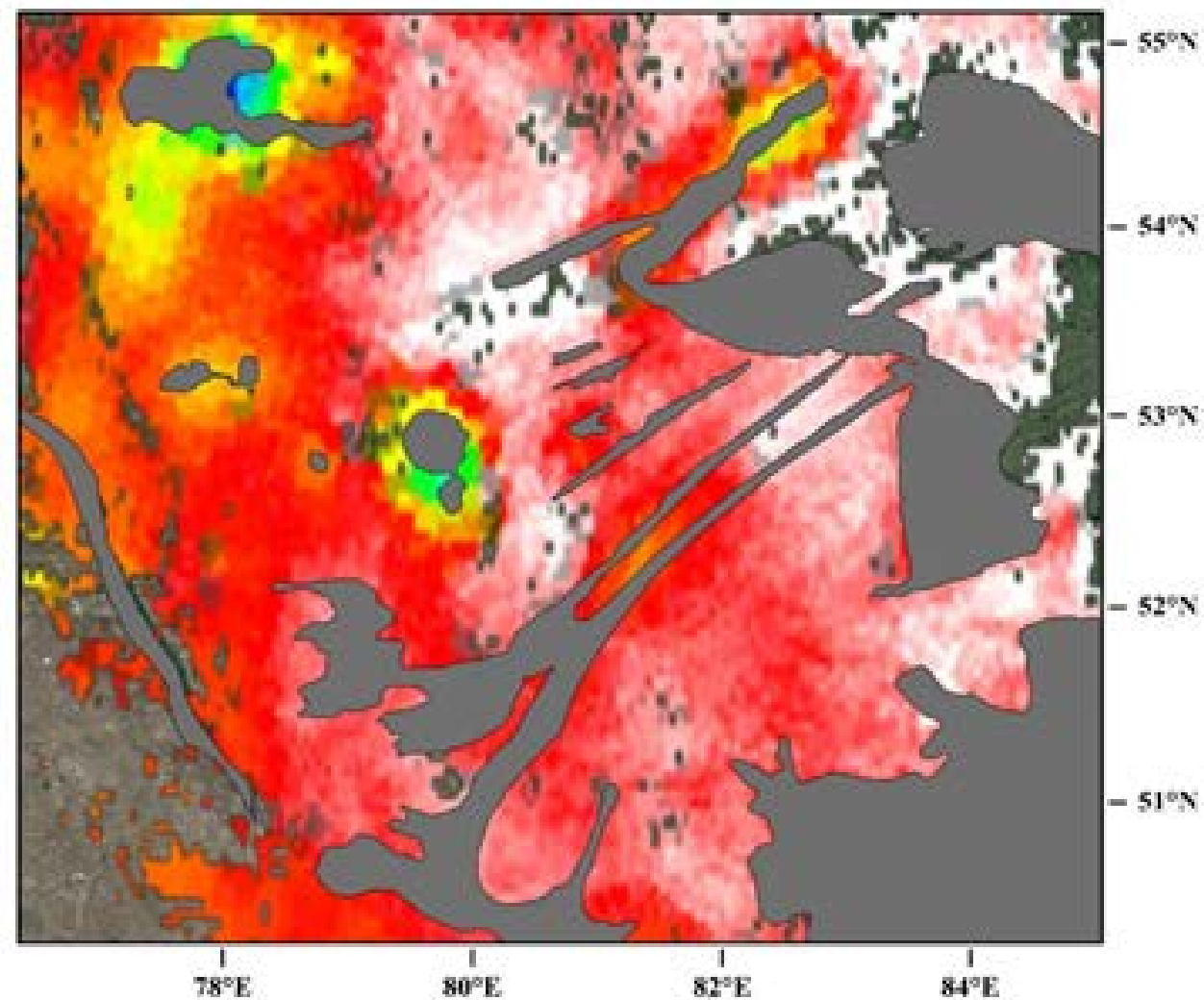
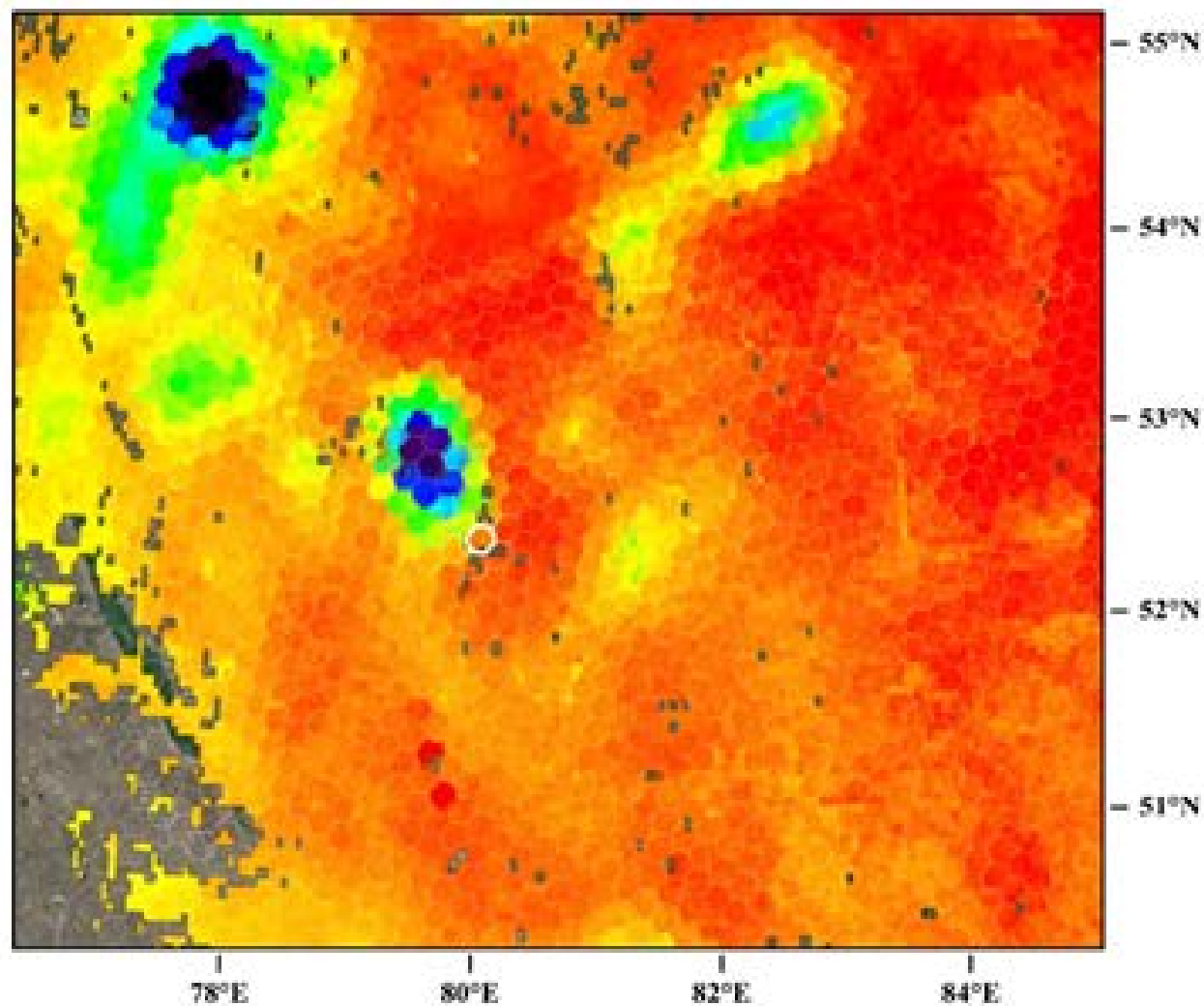
a



b



# Карта-схема пространственного распределения объемной влажности и RMDSI по состоянию на 26.07.2012



# Недостатки

1. Дистанционный микроволновый мониторинг почвенной засухи сталкивается с проблемой объективной интерпретации спутниковых данных, вызванной различием почв по гранулометрическому составу.
2. Точность дистанционного определения влажностных характеристик почвы в значительной мере ограничивается попаданием в пиксель спутникового радиометра разных типов подстилающей поверхности (водоем, лес, почва), размеры которых меньше его разрешающей способности.
3. В случае пространственно-неоднородной подстилающей поверхности в диаграмму направленности принимающей антенны попадают объекты с разной излучательной способностью.
4. При дистанционном зондировании почвенного покрова со спутника размер пикселя варьирует от нескольких километров до десятков километров, соответственно, вероятность попадания в пиксель разных типов подстилающей поверхности и почв, различающихся по гранулометрическому составу, высокая.

При зондировании подстилающей поверхности с беспилотного летающего аппарата на высотах 50-250 м размер пикселя не превышает нескольких десятков метров, соответственно, погрешность за счет ландшафтной пестроты почвенного покрова будет незначительной, но в этом случае площадь зондирования уменьшится с площади региона до площади одного поля.

Информация в масштабах региона интересна для руководителей областей и краев.

Информация в масштабах одного поля интересна для фермера, посеявшего на этом поле зерно.



**Исследование выполнено при поддержке гранта  
Российского научного фонда № 22-17-20041**

**«Дистанционные радиофизические предвестники засух в  
стратегически важных аграрных регионах России (на  
примере Алтайского края)»,**

**<https://rscf.ru/project/22-17-20041/>.**

***Спасибо за внимание***