



**Пространственные вариации радиояркостной температуры
подстилающей поверхности в пределах Северной Евразии на
частоте 1,4 ГГц при отрицательных температурах**

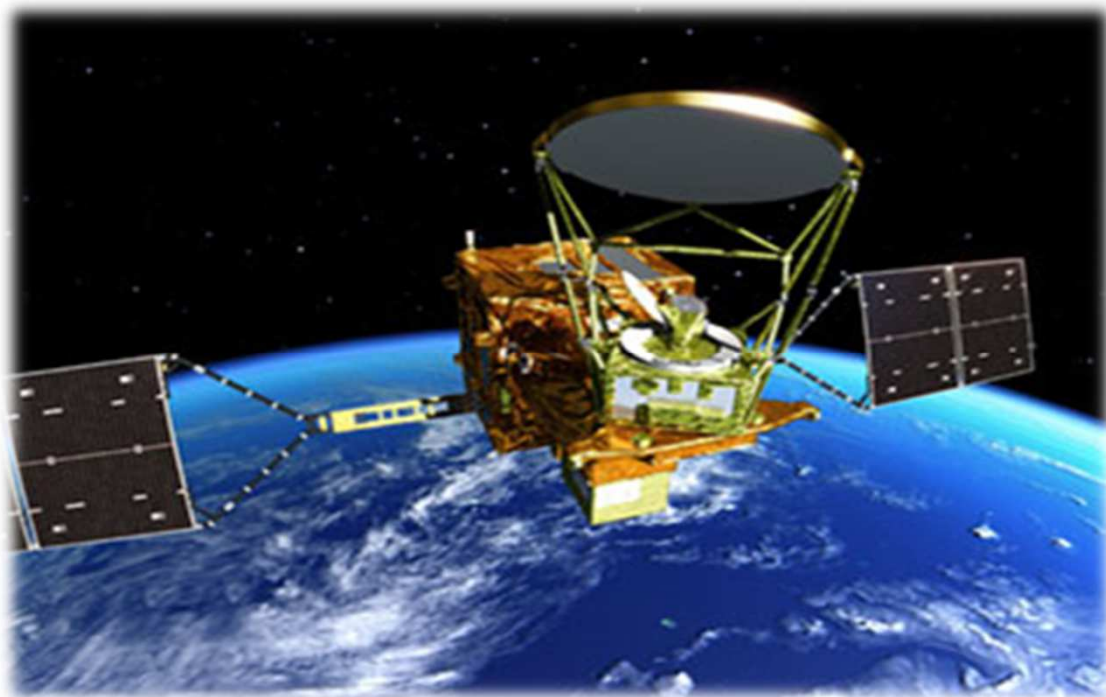
**Яценко А.С., с.н.с., к.ф.-м.н.
Институт радиофизики и физической электроники
Омского научного центра СО РАН
x_rays1@mail.ru**

Введение

Микроволновые радиометры, установленные на борту КА, позволяют производить съёмку поверхности с характерным пространственным разрешением в десятки (в отдельных случаях до единиц) километров. Однако, данные микроволновых радиометров, в отличие от полученных оптическими сенсорами и РСА, позволяют получать информацию о подстилающей поверхности (в первую очередь диэлектрической проницаемости) в пределах скин-слоя толщиной в несколько сантиметров. Полученные данные о диэлектрической проницаемости подстилающей поверхности, при наличии дополнительной априорной информации, позволяют создавать тематические карты влажных и мёрзлых почв. Однако, значения радиояркостной температуры, измеренной спутниковым радиометром, определяются не только диэлектрической проницаемостью подстилающей поверхности, что усложняет процесс создания тематических карт.

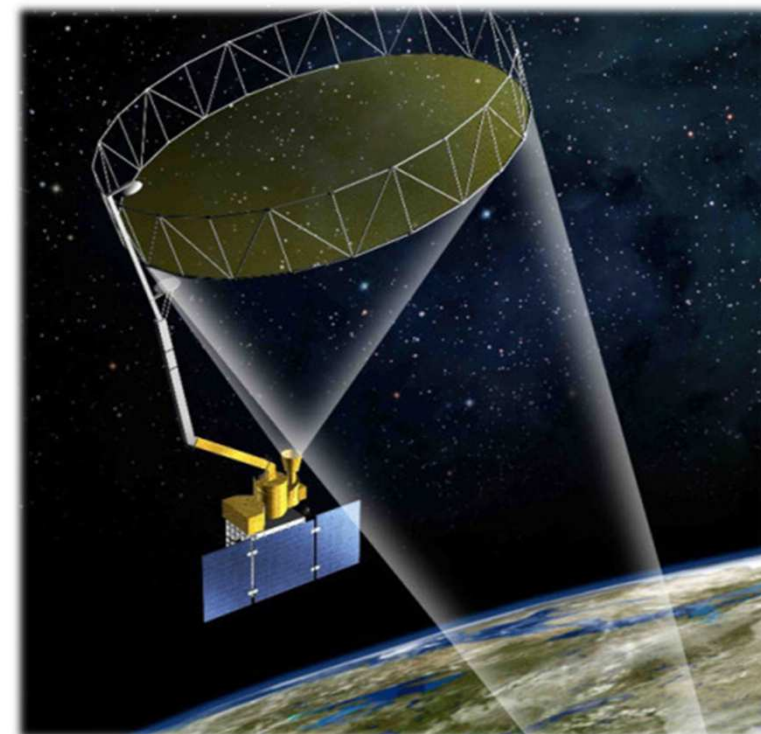
Внешний вид космических аппаратов

GCOM-W1



Аппаратура:
Сканирующий мультимастотный радиометр 6,9-89 ГГц

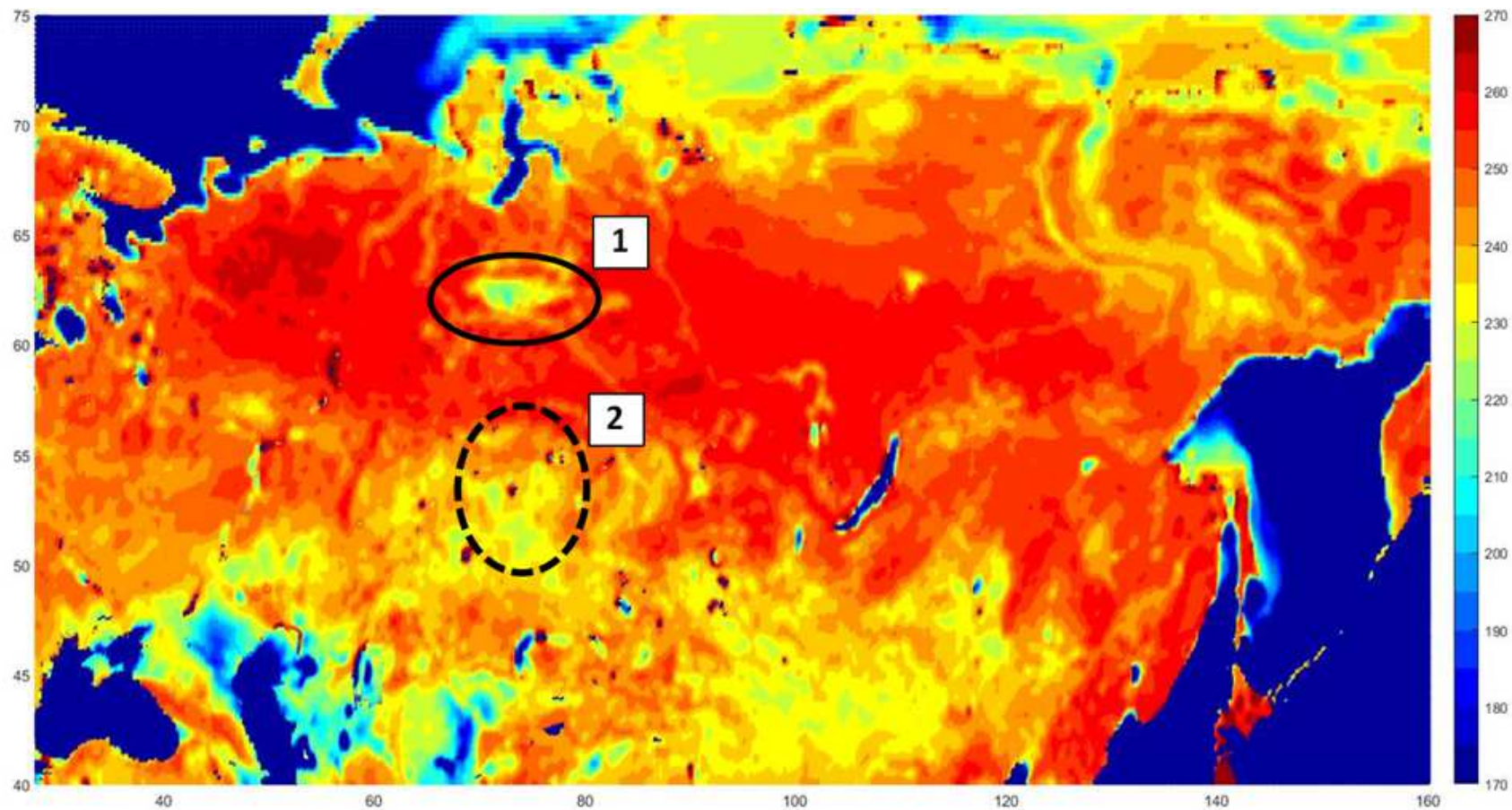
SMAP



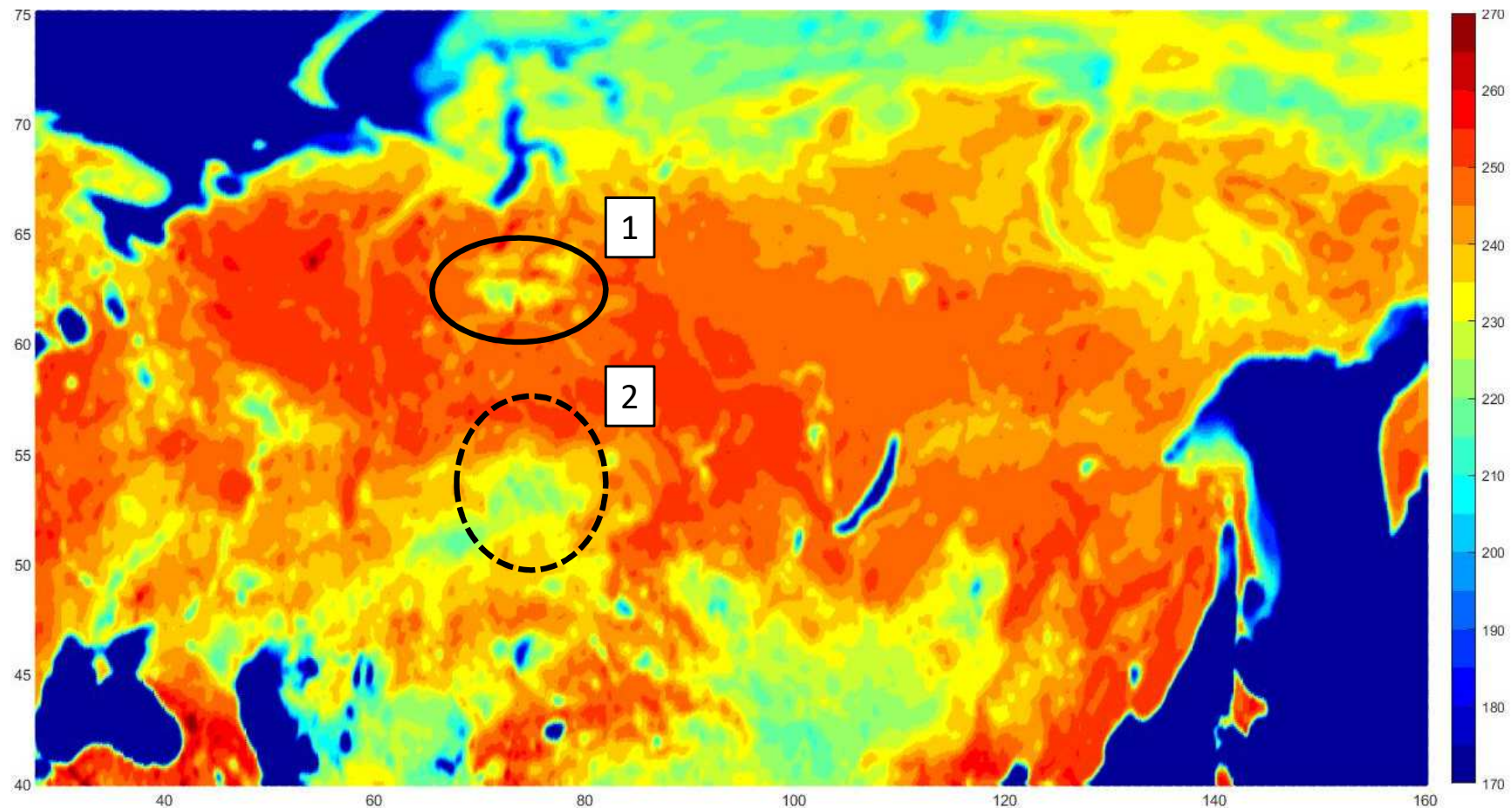
Аппаратура:
Сканирующий радиометр 1,4 ГГц

Описание проблемы

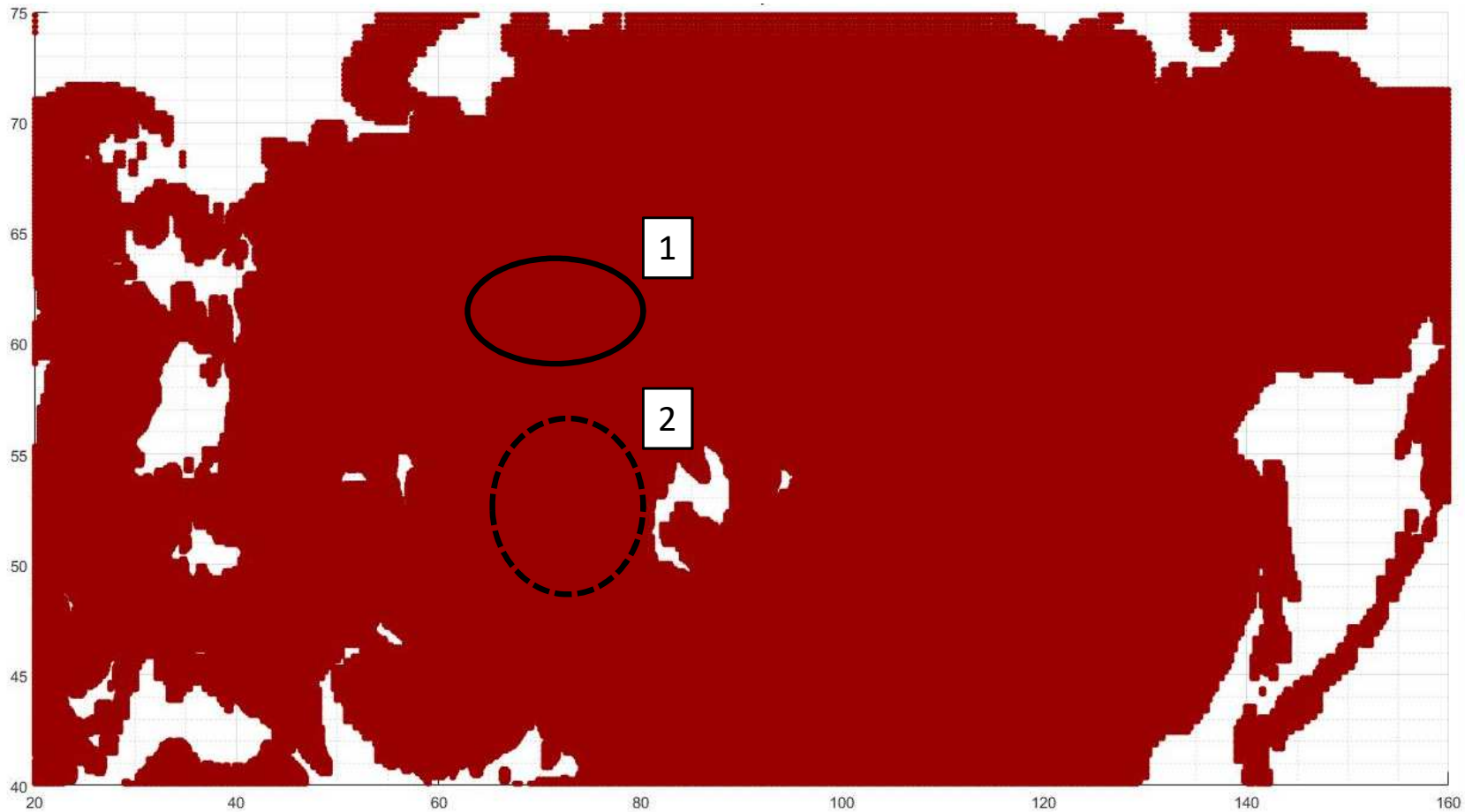
Процесс замерзания почв сопровождается изменением агрегатного состояния почвенной влаги. Поскольку диэлектрическая проницаемость льда существенно меньше диэлектрической проницаемости воды, почва в замёрзшем состоянии отличается большим значением коэффициента излучения и радиояркостной температуры. Данная зависимость лежит в основе алгоритма идентификации участков поверхности, почва которых находится в замёрзшем состоянии. В первом приближении идентификация участков поверхности замёрзшей почвы осуществляется по высоким значениям радиояркостной температуры при отрицательной термодинамической температуре воздуха. Однако наличие растительности и заметных неровностей поверхности так же приводит к росту радиояркостной температуры. Это усложняет процесс идентификации участков поверхности с промёрзшими почвами. В то же время, как показал пространственный и временной анализ данных радиометрических данных, идентифицируются участки, относящиеся к типу «замёрзшая почва», но имеющие аномально малые значения радиояркостной температуры.



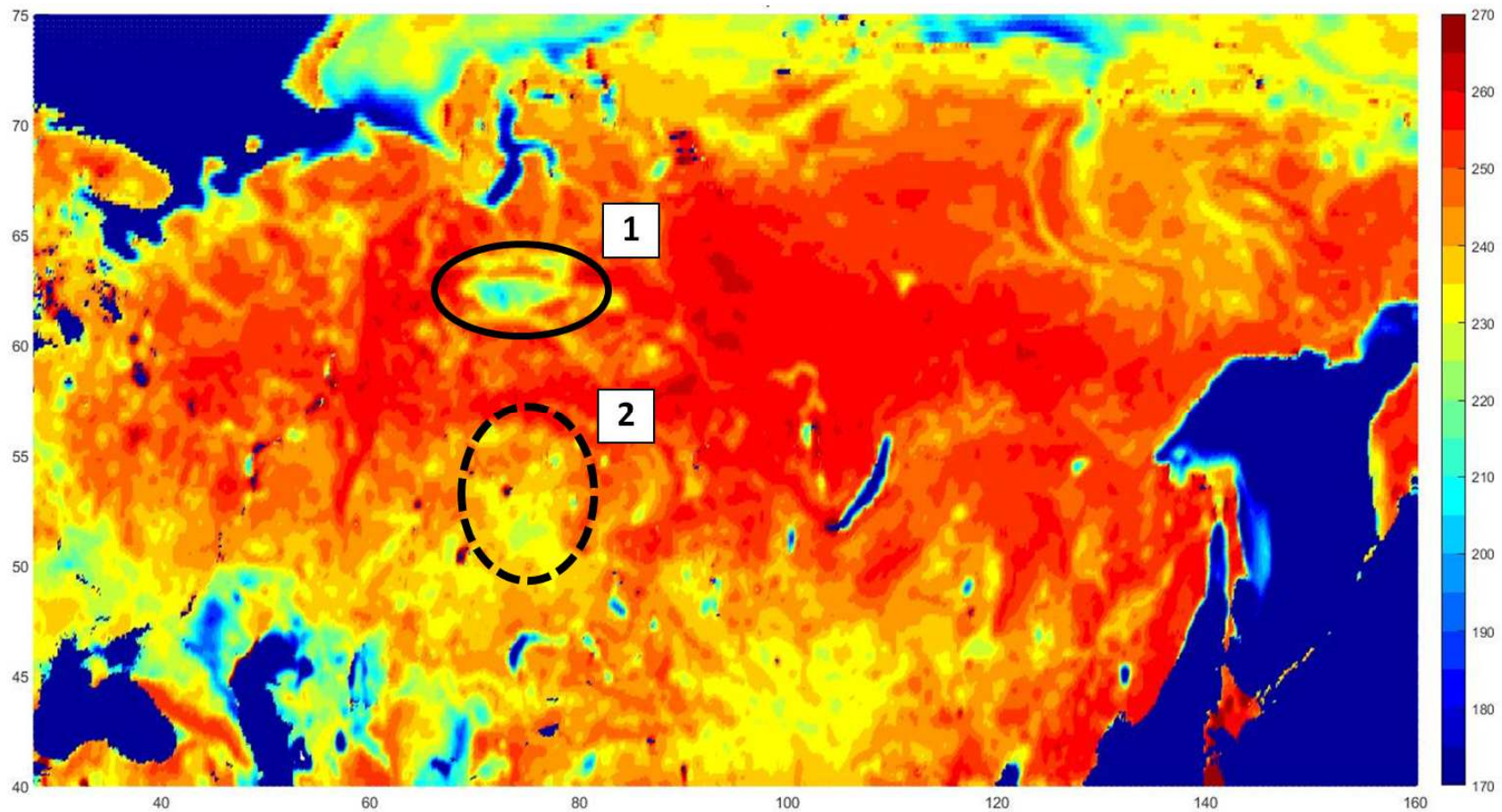
Радиометрическое изображение поверхности, построенное усреднением данных SMAP Level 3 за январь 2017 г. Контурами обозначены anomalно низкие значения радиояростной температуры. 1 - область интенсивной нефтедобычи, 2- участок засоленной почвы.



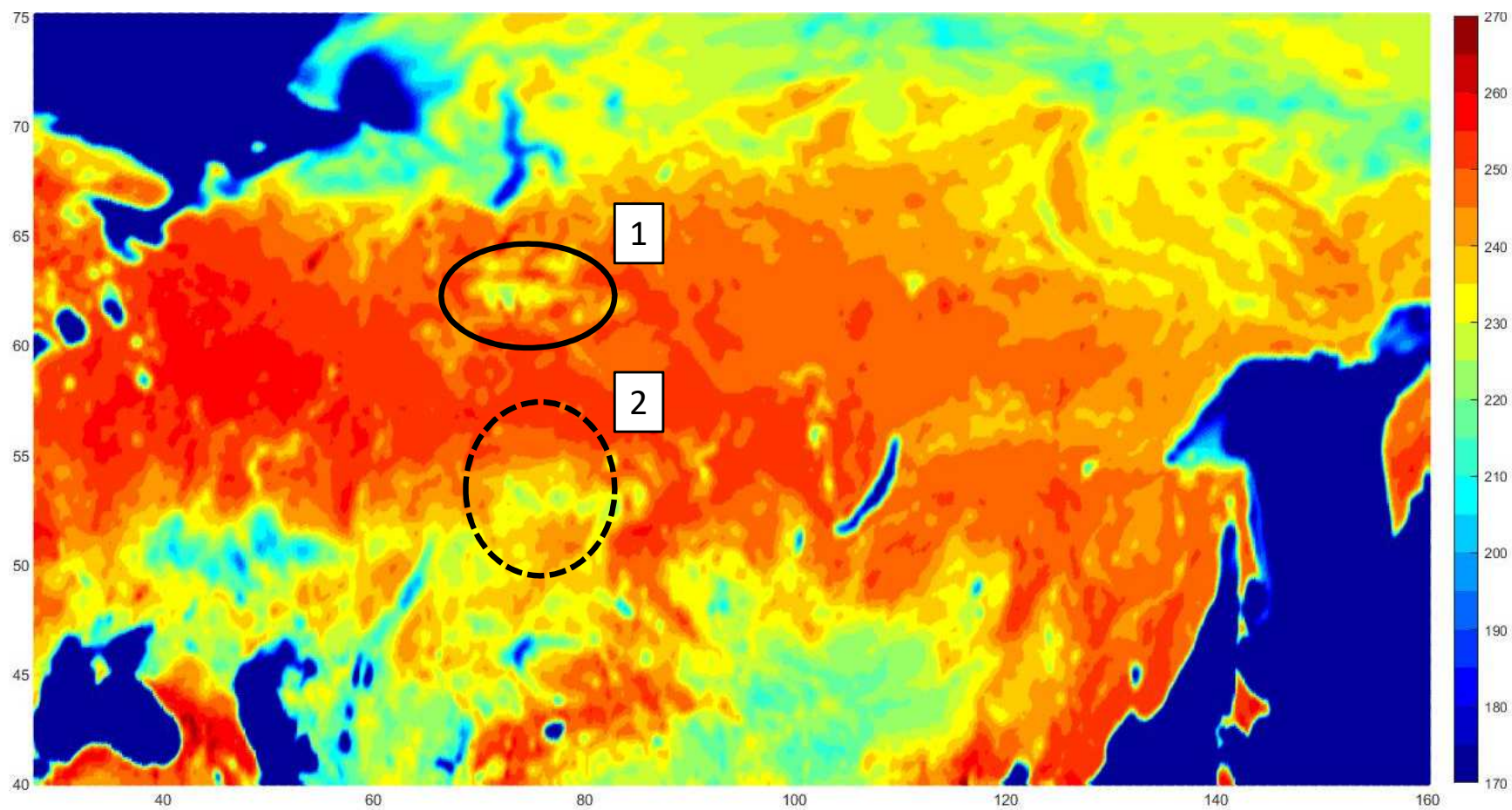
Радиометрическое изображение поверхности на частоте 6,9 ГГц, построенное усреднением данных GCOM-W1 за январь 2017 г. Контурами обозначены anomalously низкие значения радиояростной температуры. 1 - область интенсивной нефтедобычи, 2- участок засоленной почвы.



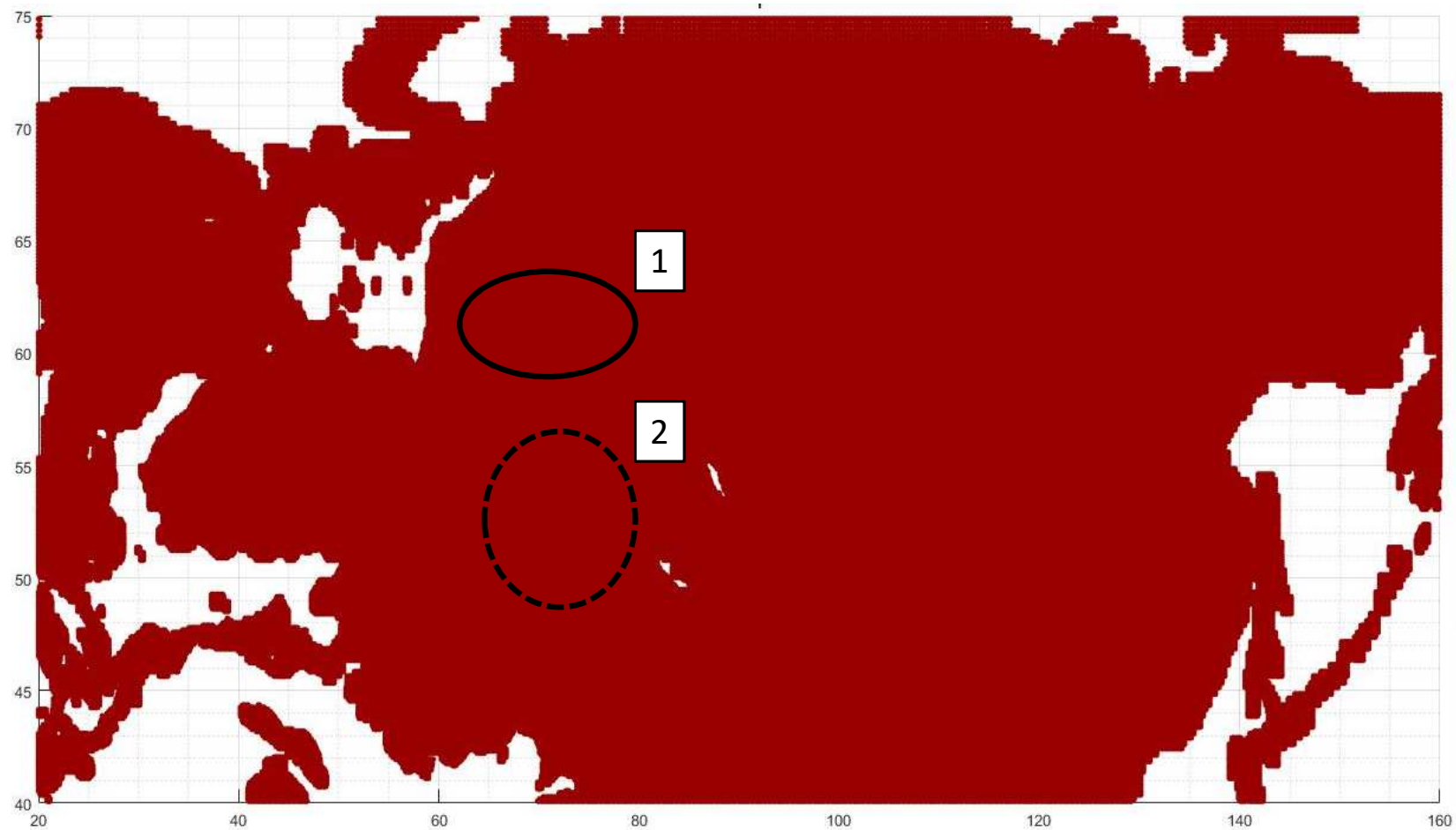
Участки поверхности, относящиеся к типу «замёрзшая почва» по данным SMAP Level 3. Январь 2017 г.
1 - область интенсивной нефтедобычи, 2- участок засоленной почвы.



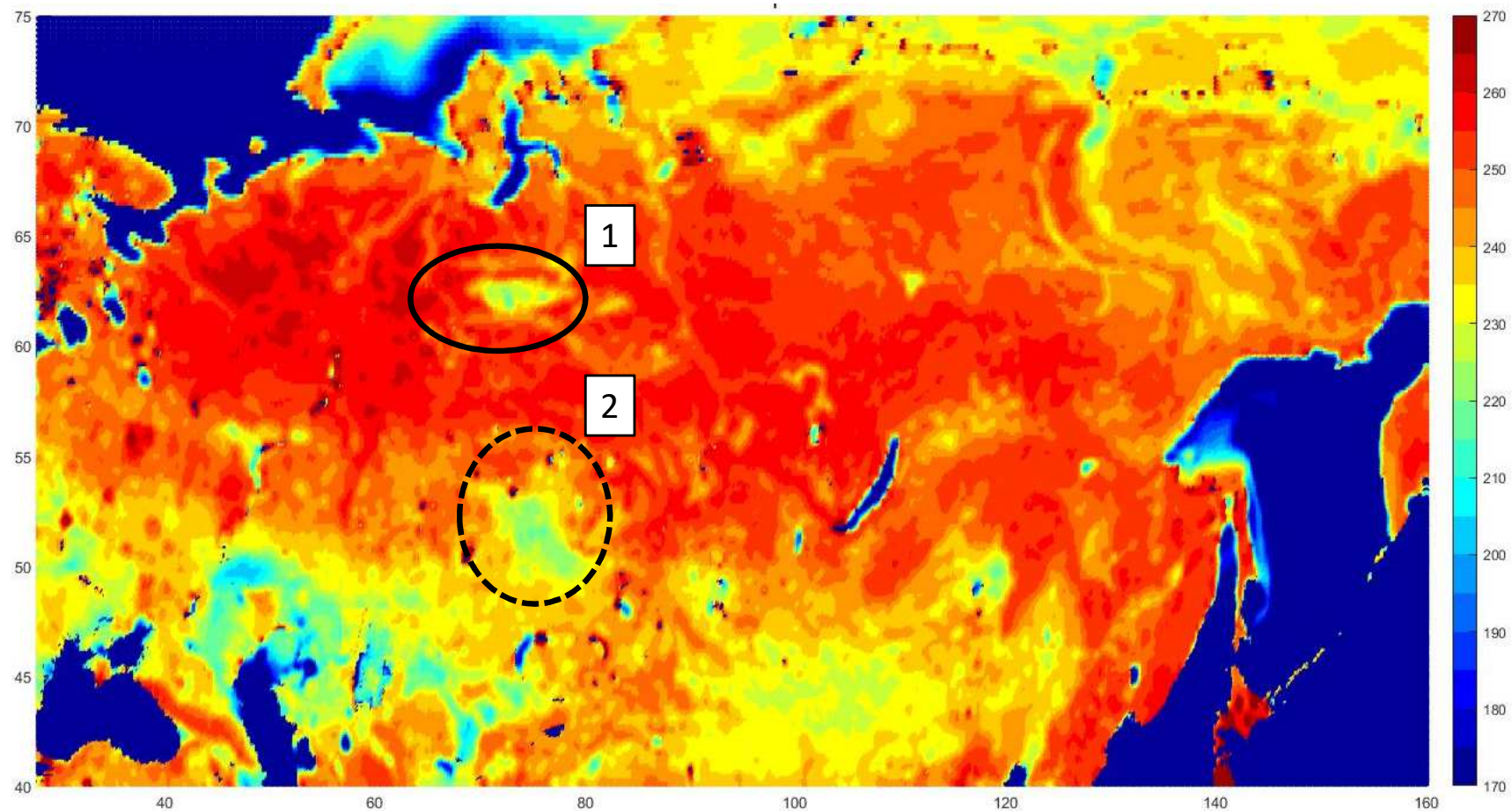
Радиометрическое изображение поверхности, построенное усреднением данных SMAP Level 3 за январь 2019 г. Контурами обозначены anomalно низкие значения радиояркостной температуры. 1 - область интенсивной нефтедобычи, 2- участок засоленной почвы.



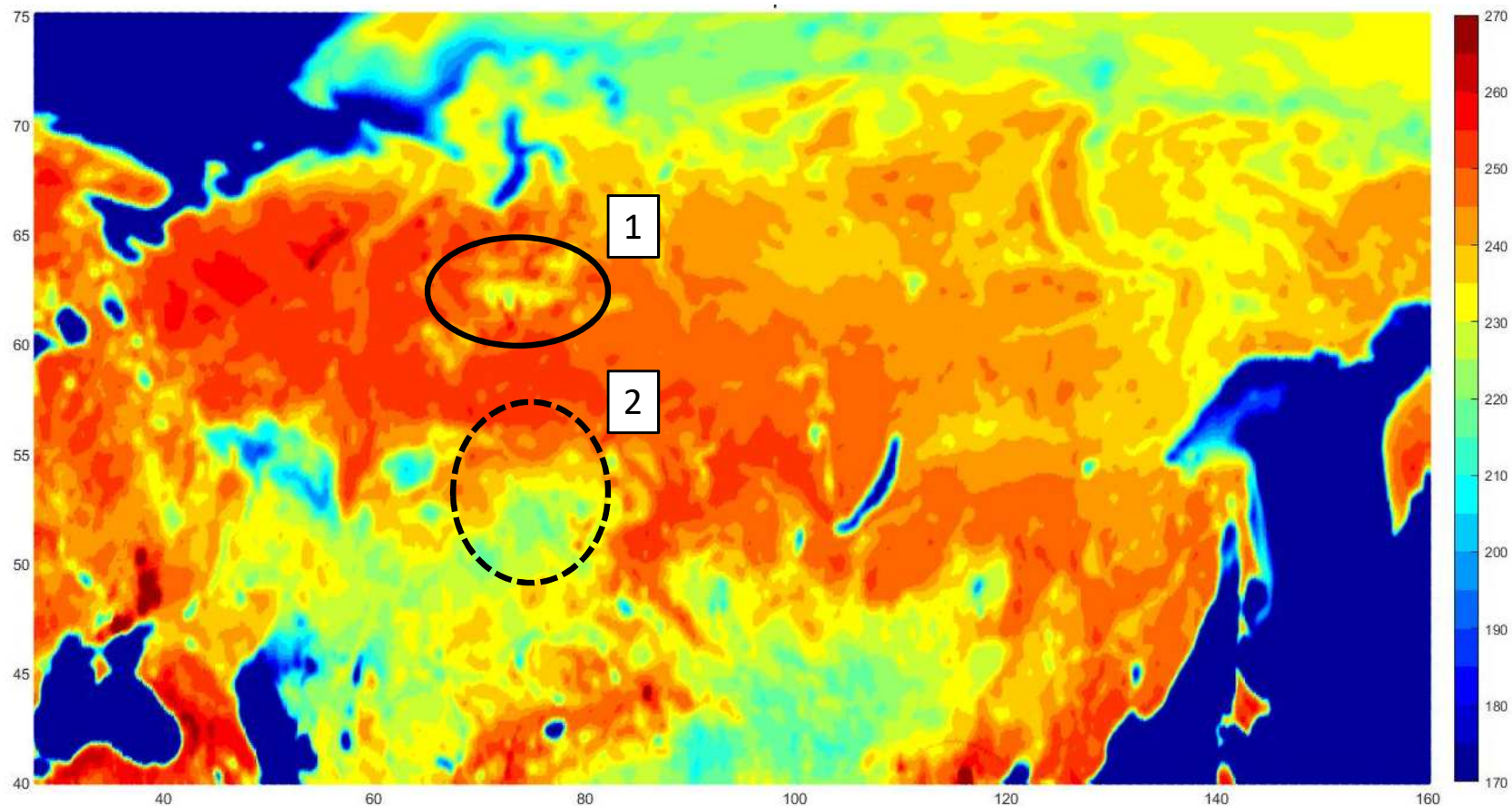
Радиометрическое изображение поверхности на частоте 6,9 ГГц, построенное усреднением данных GCOM-W1 за январь 2019 г. Контурами обозначены anomalно низкие значения радиояростной температуры. 1 - область интенсивной нефтедобычи, 2- участок засоленной почвы.



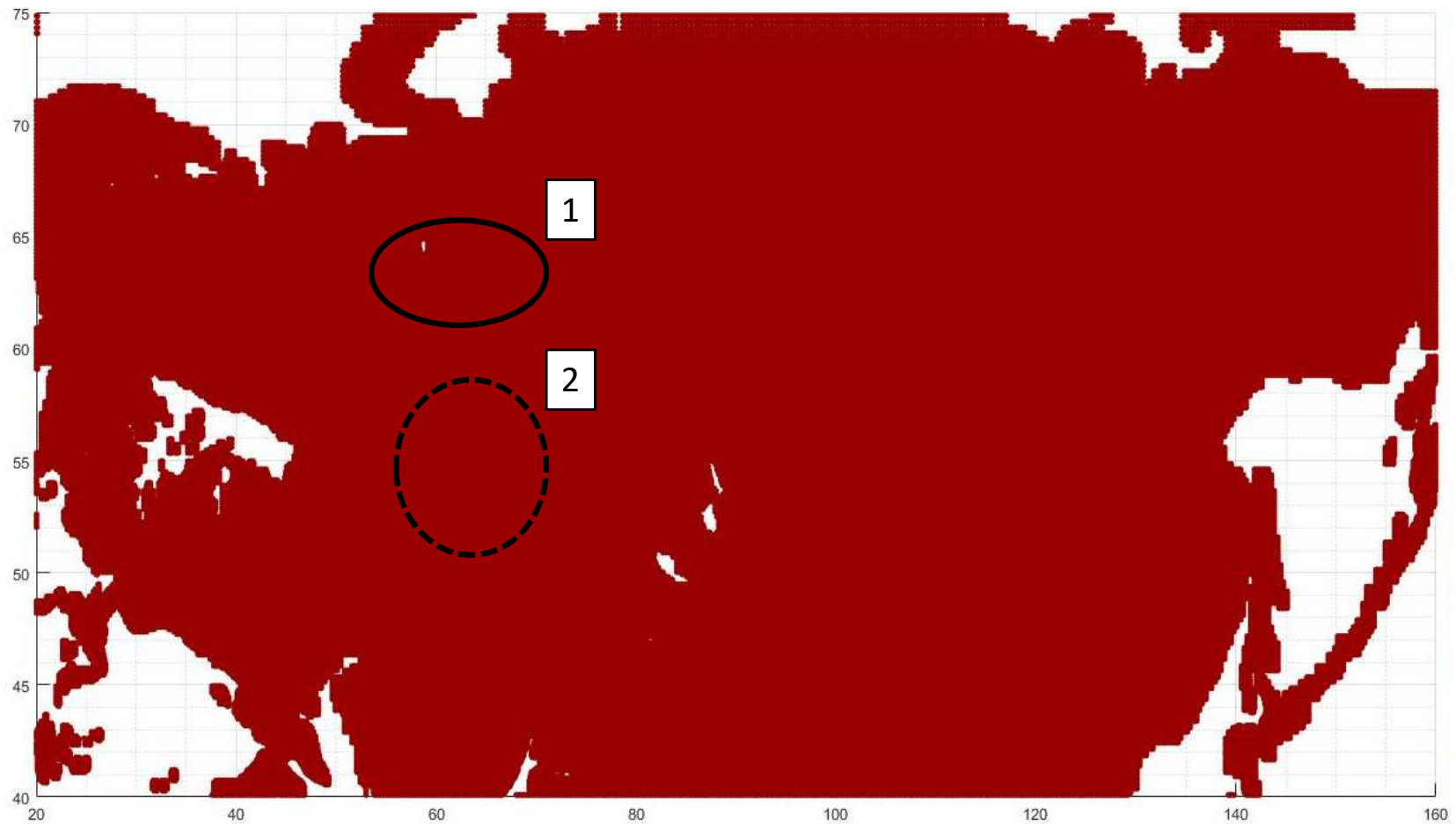
Участки поверхности, относящиеся к типу «замёрзшая почва» по данным SMAP Level 3. Январь 2019 г.
1 - область интенсивной нефтедобычи, 2- участок засоленной почвы.



Радиометрическое изображение поверхности, построенное усреднением данных SMAP Level 3 за январь 2023 г. Контурами обозначены anomalно низкие значения радиояркостной температуры. 1 - область интенсивной нефтедобычи, 2- участок засоленной почвы.



Радиометрическое изображение поверхности на частоте 6,9 ГГц, построенное усреднением данных GCOM-W1 за январь 2023 г. Контурами обозначены anomalно низкие значения радиояростной температуры. 1 - область интенсивной нефтедобычи, 2- участок засоленной почвы.

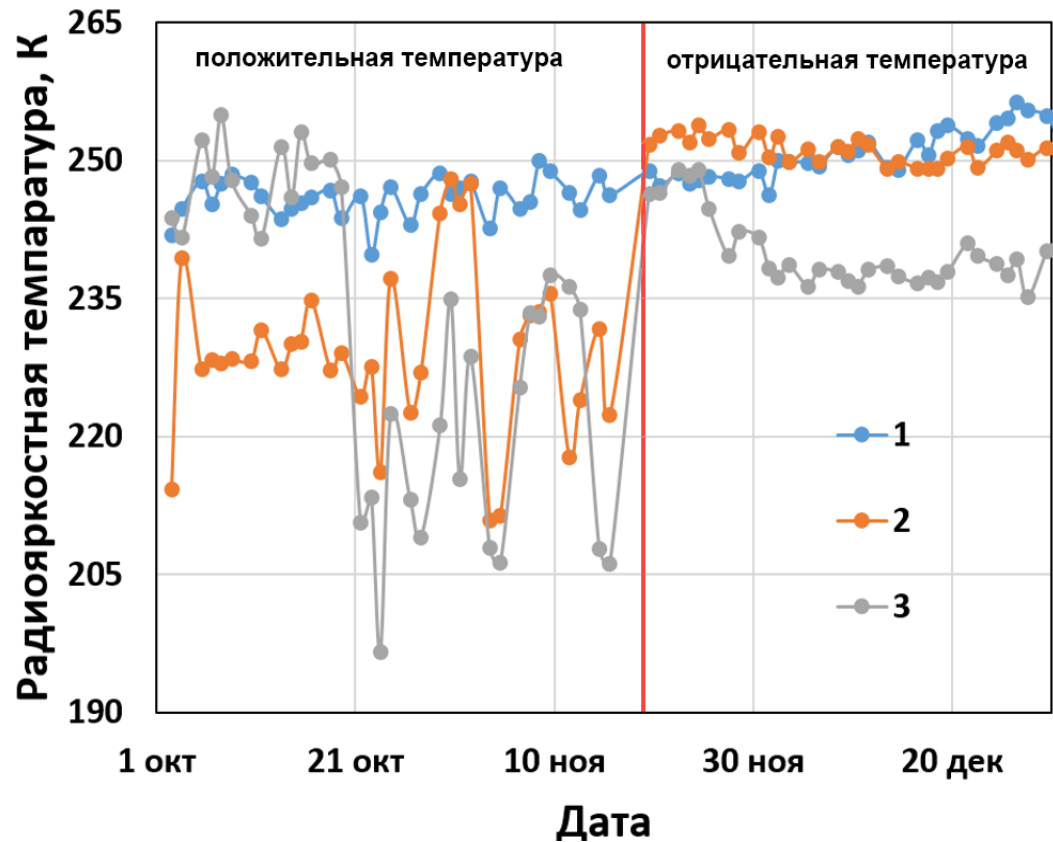


Участки поверхности, относящиеся к типу «замёрзшая почва» по данным SMAP Level 3. Январь 2023 г.
1 - область интенсивной нефтедобычи, 2- участок засоленной почвы.

Полученные результаты

Как можно видеть из приведённых данных, местоположение отдельных участков поверхности с аномально низкими значениями радиояркостной температуры не изменяется год от года. Это утверждение в равной степени справедливо для радиометрических данных полученных на частоте 1,4 ГГц и 6,9 ГГц. Подобные участки поверхности располагаются вблизи крупных водоёмов и в долинах крупных рек. Кроме этого были обнаружены области с пониженными излучательными характеристиками, территориально расположенные в пределах Северного Казахстана, юга Омской области, Алтайского края и на севере Западной Сибири, что, предположительно, связано с особенностью гидрофизических характеристик подстилающей поверхности и антропогенным воздействием. Север Западной Сибири испытывает антропогенную нагрузку связанную с интенсивной нефтедобычей. Почвы на обширных территориях юга Западной Сибири и Северного Казахстана отличаются повышенным содержанием солей, что способствует промерзанию подстилающей поверхности при температурах существенно ниже нуля градусов Цельсия. Кроме того, для участков поверхности, расположенных в степной зоне Сибири и Казахстана, характерен нелинейный временной ход радиояркостной температуры, обусловленный, предположительно, просветляющим действием промёрзшего слоя почв (интерференционными процессами). Аналогичные зависимости были получены нами ранее в результате наземных измерений.

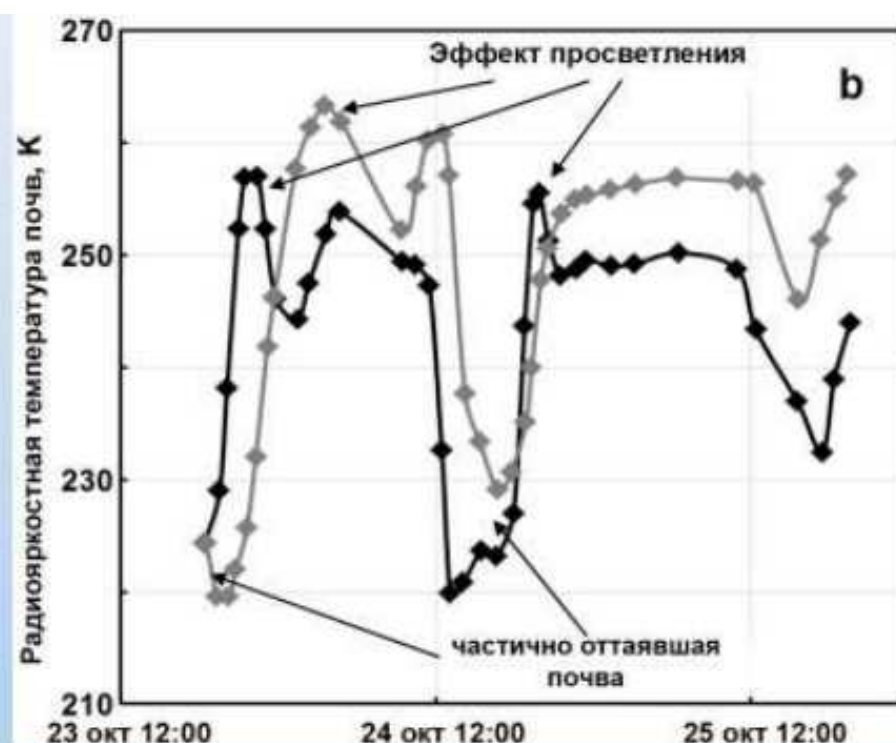
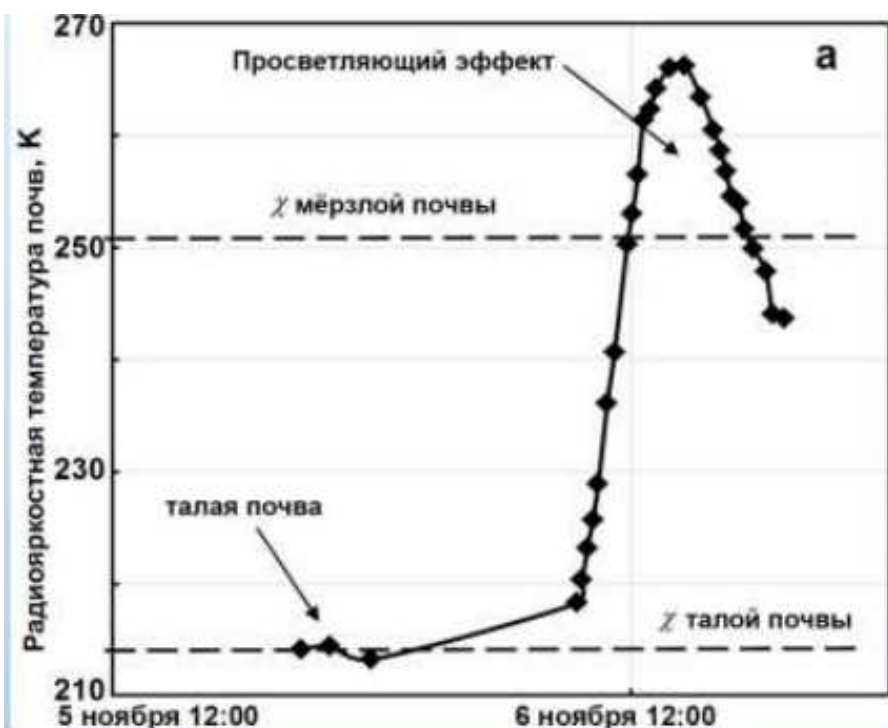
Временной ход радиояркой температуры в процессе промерзания участков поверхности, относящийся к разным типам поверхности



Временной ход радиояркой температуры, построенный по данным SMAP на горизонтальной поляризации; участки поверхности с координатами:

- (1) $57,75^{\circ}$ с. ш. и $71,56^{\circ}$ в. д. (южная тайга);
- (2) $54,97^{\circ}$ с. ш. и $71,56^{\circ}$ в. д. (южная лесостепь);
- (3) $51,47^{\circ}$ с. ш. и $71,56^{\circ}$ в. д. (степь)

Временной ход радиояркостной температуры, полученный в результате наземных измерений



Временной ход радиояркостной температуры, измеренных на тестовом участке с координатами $54^{\circ} 35' N, 71^{\circ} 94' E$ ноябрь, 2011(a) и октябрь, 2013 (a).

Чёрная линия маркера — открытая почва, серая линия — почва со стерней.

Влажность открытой почвы в 2011 г. $W=0,35 \text{ м}^3/\text{м}^3$, в 2011 г. $W=0,23 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Влажность почвы, покрытой стерней в $W=0,19 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Вывод

Обнаружено, что для отдельных участков поверхности наблюдаются аномально низкие значения радиояркостной температуры поверхности при отрицательной температуре воздуха. Координаты этих участков мало изменяются от года к году и идентифицируются. Территориально подобные участки располагаются в пределах Северного Казахстана, юга Омской области и Алтайского края. Кроме этого аномально низкая интенсивность собственного радиотеплового излучения характерна для участков расположенных на севере Западной Сибири. Так же найдено, что временной ход радиояркостной температуры участка поверхности с аномально низкими значениями радиояркостной температуры, относящегося к степной зоне, имеет ряд особенностей, которые могут быть обусловлены интерференционными процессами протекающими в замёрзшем слое. В перспективе обнаруженные особенности пространственного распределения радиояркостной температуры и её временного хода могут быть использованы для уточнения карты радиофизических характеристик подстилающей поверхности пределах территории Евразии.

Работа выполнена по государственному заданию Омского научного центра СО РАН (номер госрегистрации проекта 122011200349-3).

Спасибо за внимание