

# АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА В КЭ «КОНВЕРГЕНЦИЯ» НА ПРИМЕРЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВОГО РАДИОМЕТРА WINDSAT



Сазонов Д.С.<sup>1</sup>, Стерлядкин В.В.<sup>1,2</sup>, Кузьмин А.В.<sup>1</sup>

*(1) Институт космических исследований РАН, Москва, Россия*

*(2) Московский технологический университет, Москва, Россия*

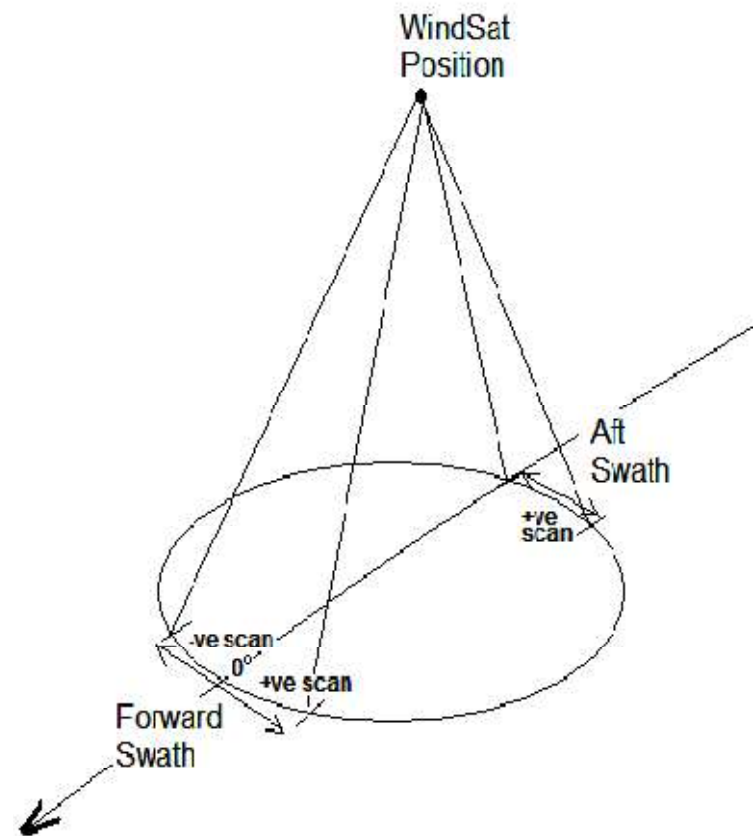
[Sazonov\\_33m7@mail.ru](mailto:Sazonov_33m7@mail.ru)

# ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

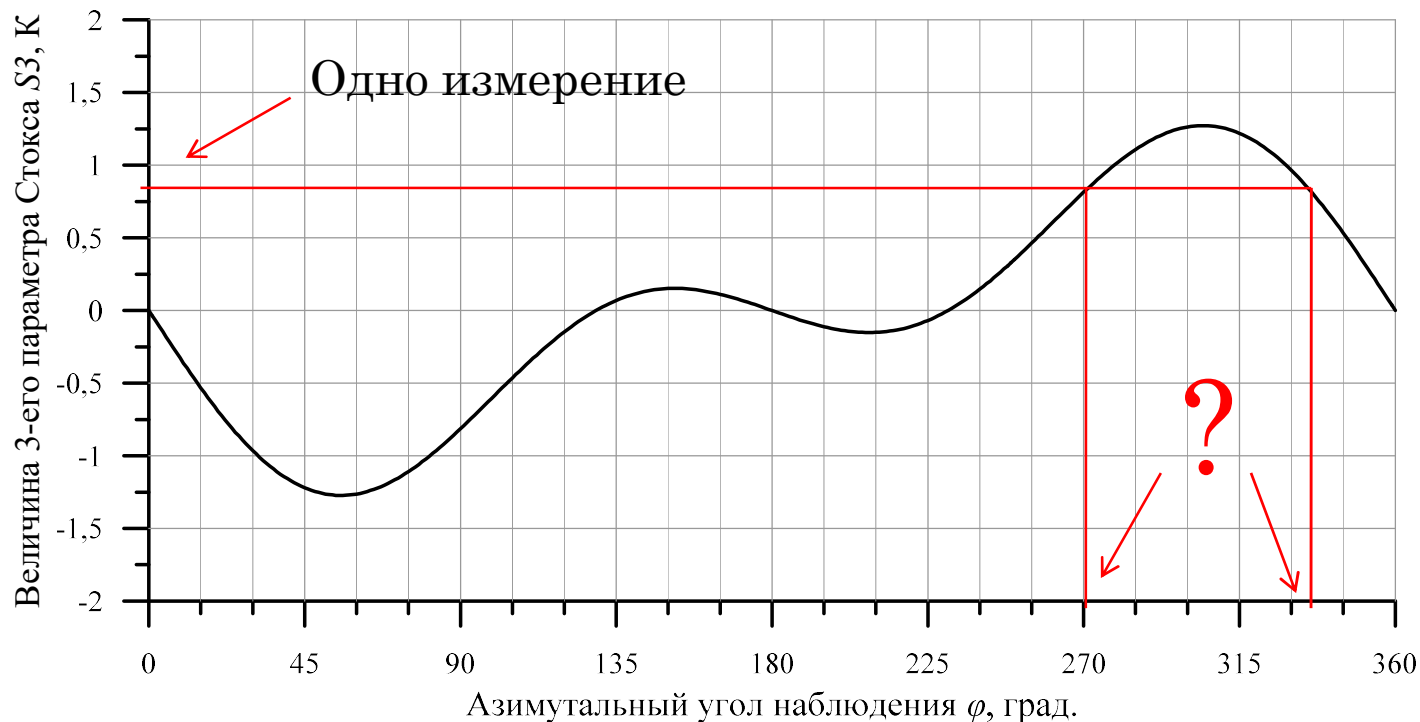
- Одной из задач КЭ «Конвергенция», планируемого на РС МКС, является восстановление направления ветра.
- Для восстановления направления ветра будут использованы измерения радиояркостной температуры для третьего параметра Стокса на частотах 10,7, 18,7 и 36 ГГц.
- Тестирование разработанного алгоритма **MicRAWiND** (*Microwave Radiometric Algorithm for Wind Direction retrieval*) на модельной задаче показало, что направление ветра может быть восстановлено с точностью порядка  $\pm 10-15^\circ$  для скоростей ветра более 3 м/с.
- Целью данной работы является проверка алгоритма на реальных измерениях из космоса.

# ВОССТАНОВЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА ПО СПУТНИКОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

- Поляриметрический радиометр **WindSat**;
- Ширина передней полосы обзора (forward swath) = 950 км (угол обзора  $68^\circ$ )
- Ширина задней полосы обзора (aft swath) – 350 км (угол обзора  $23^\circ$ ).
- Таким образом, в небольшой полосе (350 км) выполняется требование выше предложенного алгоритма к наличию двух измерений одного элемента поверхности под разными углами наблюдения.
- Чувствительность радиометрических приемников по третьему и четвертому параметрам Стокса данного прибора на частотах 10,7, 18,7 и 37 ГГц составляет 0,25 К



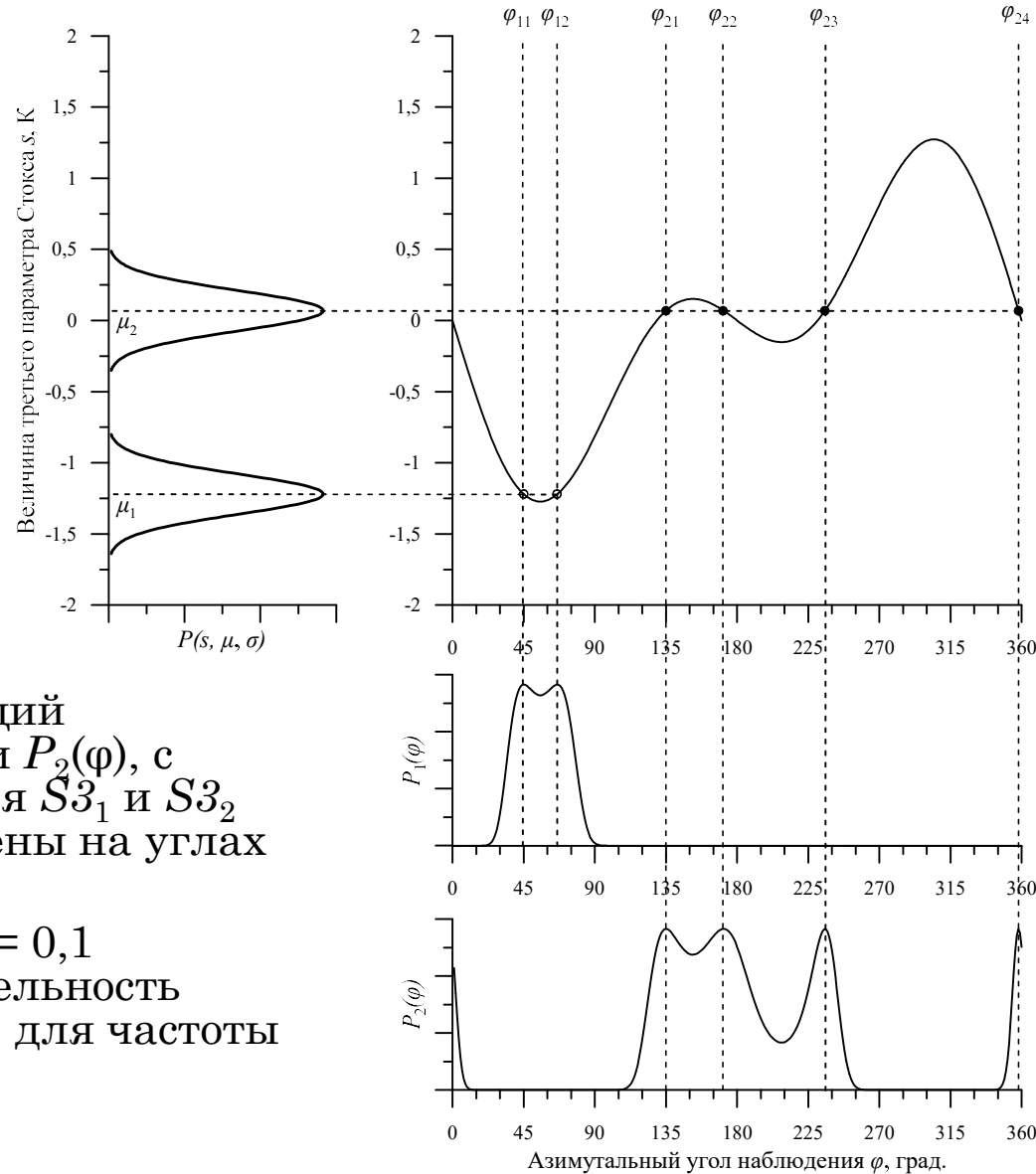
# ТРЕТИЙ ПАРАМЕТР СТОКСА



*Типичная зависимость третьего параметра Стокса  $S_3$  от угла между направлением ветра и направлением зондирования для скорости ветра  $U_{10} = 10$  м/с и частоты наблюдения 36,5 ГГц.*

*Отметим, что масштаб сигнала  $\pm 1,5$  К сравним с чувствительностью измерений  $\sigma(S_3) = 0,4-0,7$  К. Требовалось определенное искусство для решения столь сложной задачи!*

# АЛГОРИТМ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ С УЧЕТОМ ПОГРЕШНОСТЕЙ



- Определение функций вероятностей  $P_1(\varphi)$  и  $P_2(\varphi)$ , с которыми измерения  $S_3^1$  и  $S_3^2$  могут быть выполнены на углах  $\varphi$ .
- Для наглядности  $\sigma = 0,1$  (реальная чувствительность составляет  $0,315 \cdot \sqrt{2}$  для частоты 36,5 ГГц)

# АЛГОРИТМ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ С УЧЕТОМ ПОГРЕШНОСТЕЙ

- Смещение графиков для вероятностей  $P_1(\varphi)$  и  $P_2(\varphi)$  по углу, приводя их к нулевому азимуту зондирования, что дает зависимости  $P_1(\varphi+\varphi_{31})$  и  $P_2(\varphi+\varphi_{32})$ .

- При работе на одном канале определяется пересечение вероятностей

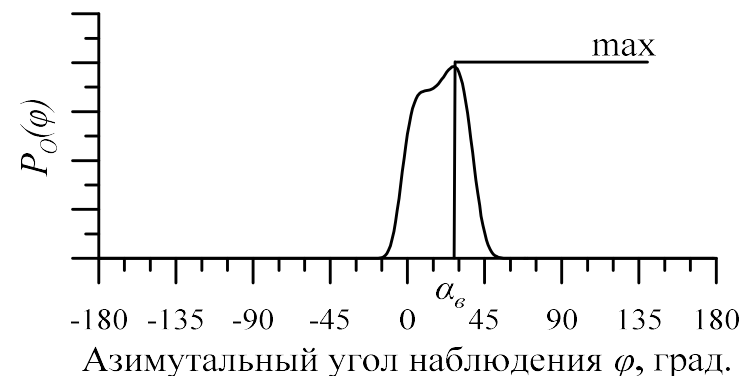
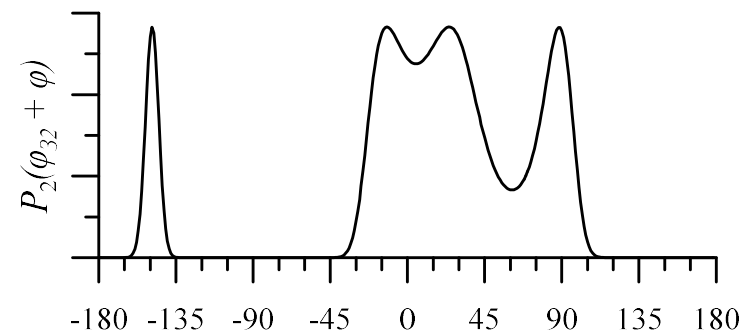
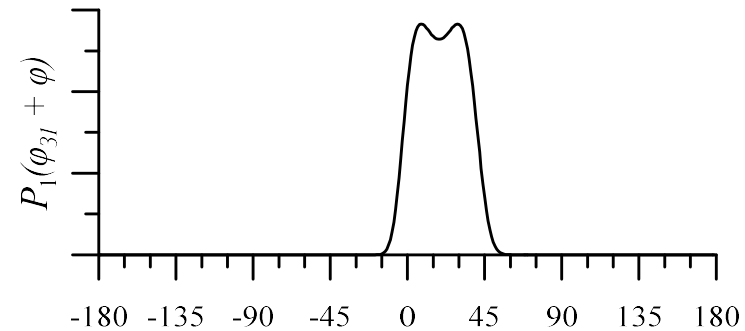
$$P_0(\varphi_{\text{в}}) = P_1(\varphi + \varphi_{31}) \cdot P_2(\varphi + \varphi_{32})$$

и по максимальному значению определяется направление ветра  $\alpha_{\text{в}} = \max(P_0(\varphi_{\text{в}}))$ .

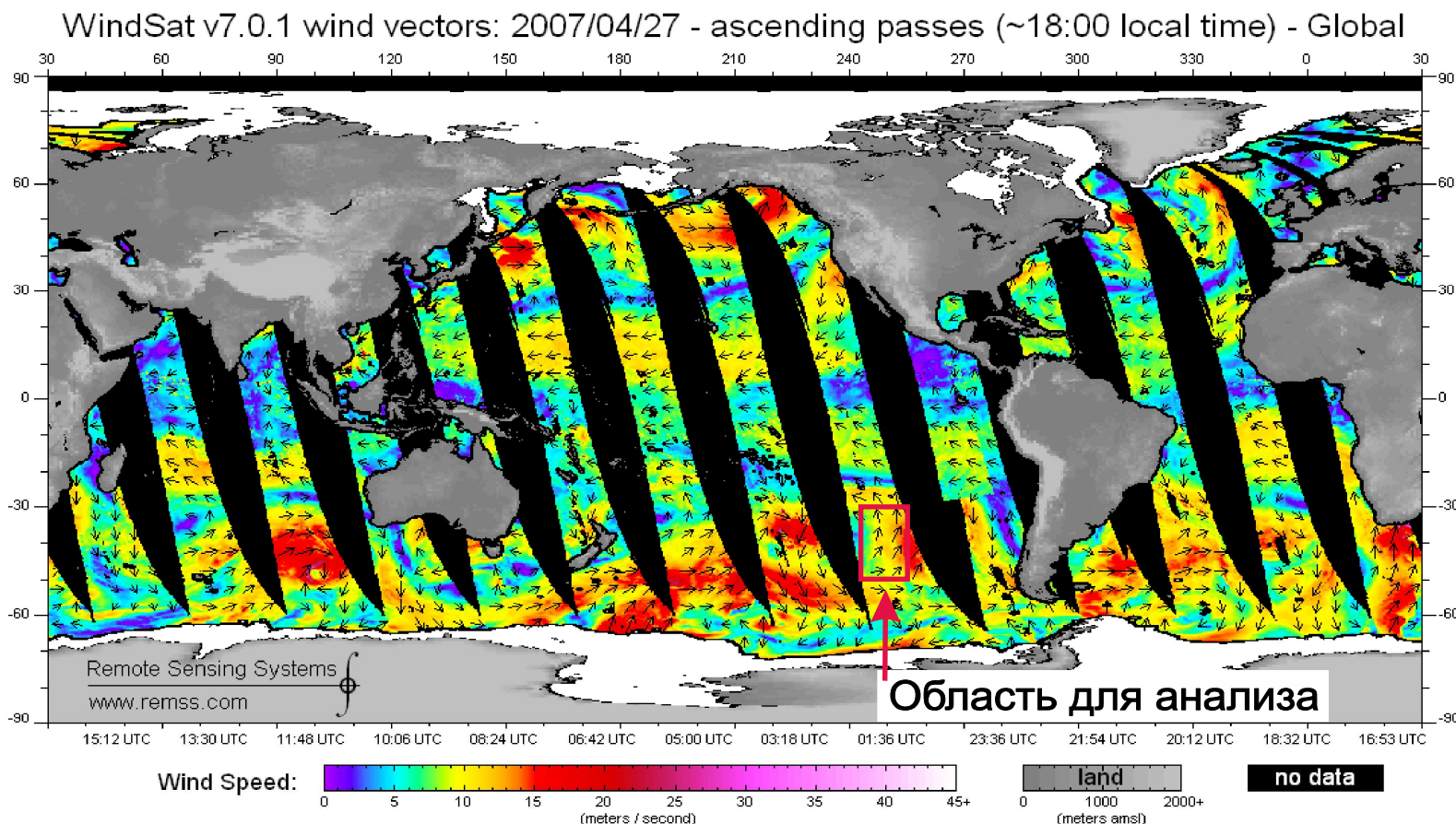
- Предлагается проводить объединение результатов, получаемых в каждом радиометрическом канале

$$P_{\text{рез}}(\varphi_{\text{в}}) = C1 \cdot P_{O1}(\varphi_{\text{в}}) + C2 \cdot P_{O2}(\varphi_{\text{в}}) + C3 \cdot P_{O3}(\varphi_{\text{в}}),$$

где  $C1$ ,  $C2$ , и  $C3$  – весовые коэффициенты, которые будут отображать степень надежности измерений на данном радиометрическом канале.

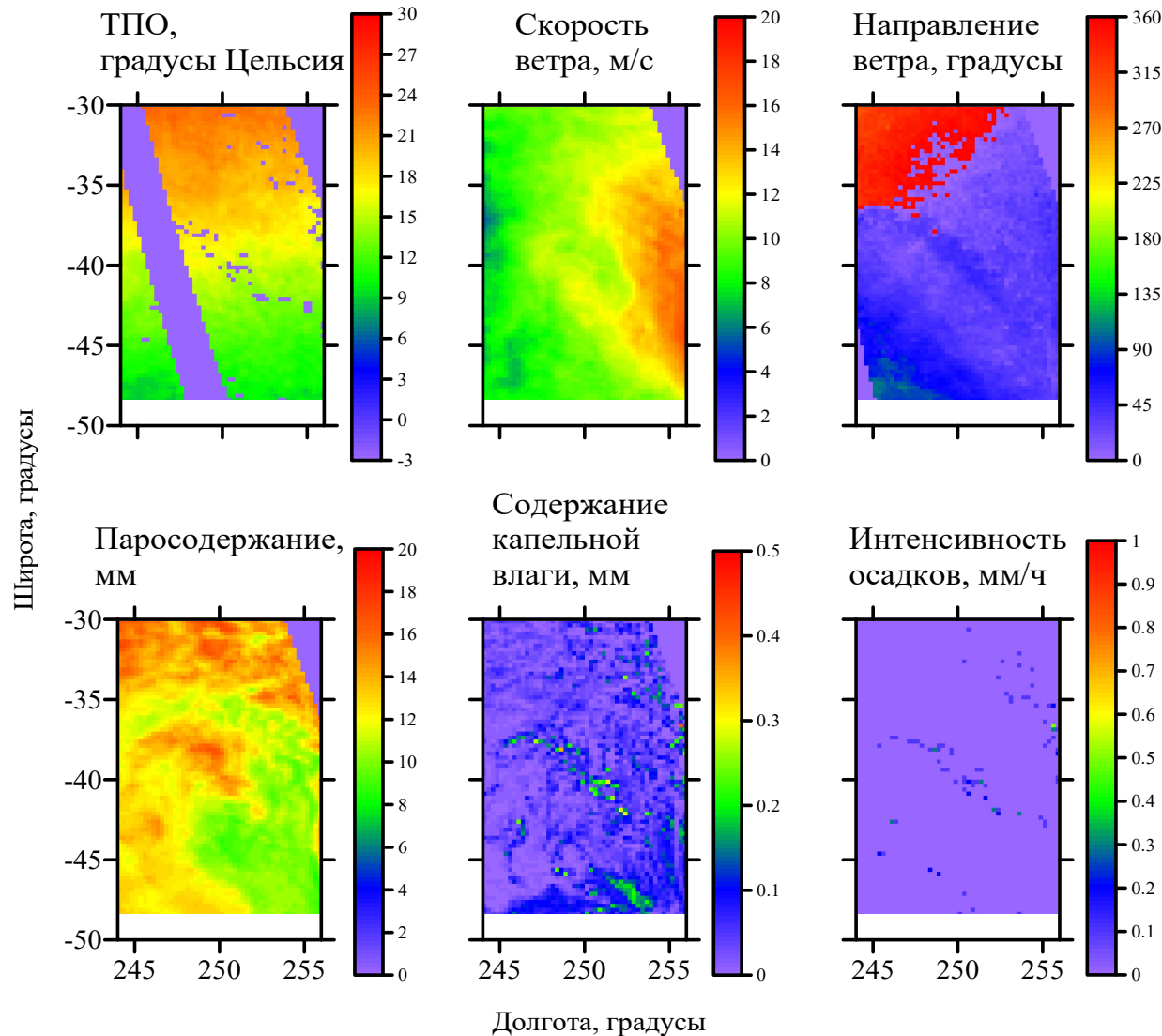


# ВЫБОР ОБЛАСТИ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ АЛГОРИТМА



- Для тестирования алгоритма определения направления ветра были взяты данные за 27 апреля 2007 года.

# ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ ТЕСТОВОЙ ОБЛАСТИ

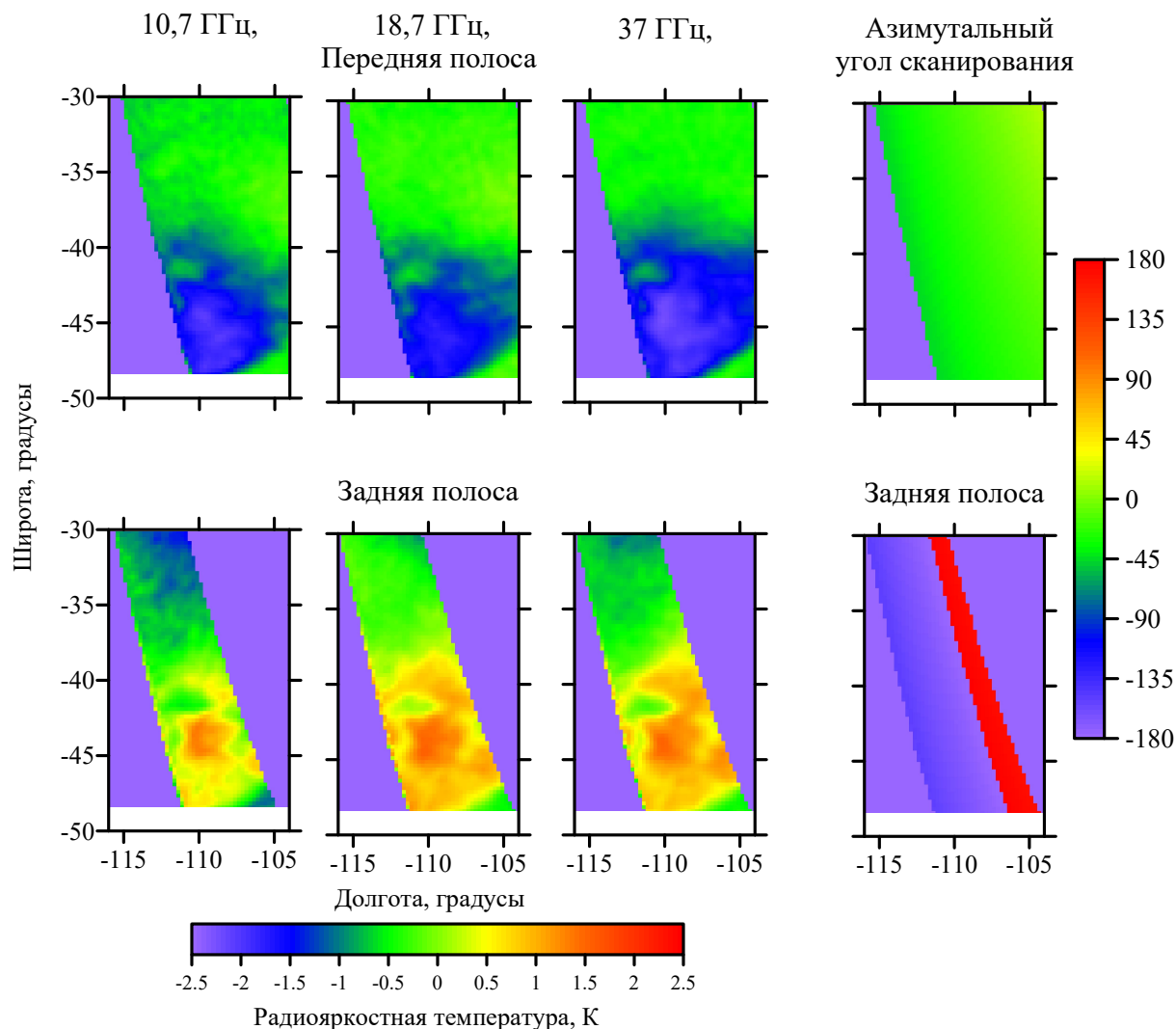


Данные о температуре поверхности, скорости ветра, паросодержании, интенсивности осадков, капельной влаге ВЗЯТЫ В ВИДЕ карт, расположенных на сайте:

<http://data.remss.com/windsat/>

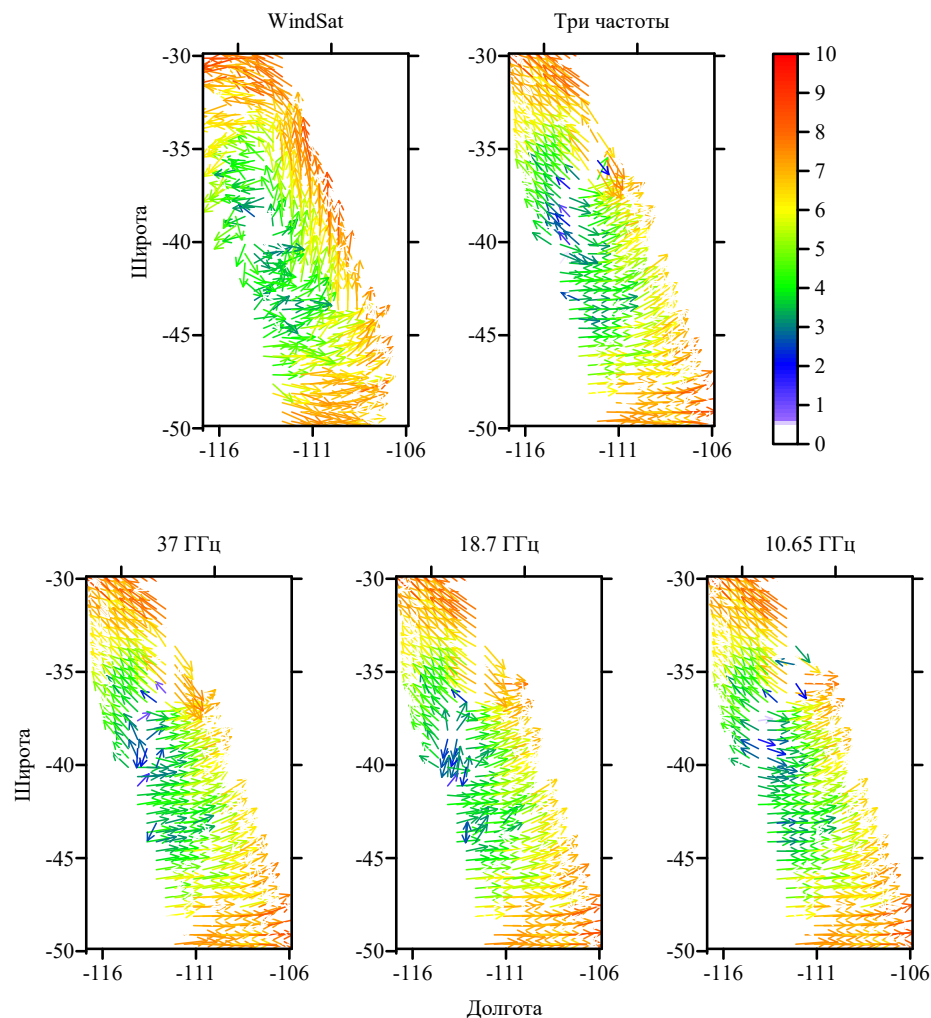


# РАДИОЯРКОСТНАЯ ТЕМПЕРАТУРА НА ТРЕХ ЧАСТОТАХ И АЗИМУТАЛЬНЫЕ УГЛЫ ВИЗИРОВАНИЯ ПРИБОРА WINDSAT.



Предварительно откалиброванные и привязанные к координатам данные измерений прибора WindSat, а также данные о телеметрии спутника и углах наблюдения (environmental data record) были взяты с интернет-ресурса: <http://www.ifremer.fr/opendap/cerdap1/oceanflux/satellite/l1/coriolis/windsat> в формате NetCDF (Version 2.0).

# РЕЗУЛЬТАТЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА ПО ИЗМЕРЕНИЯМ WINDSAT



По представленным картам видно, что есть области, где определенное направление ветра коррелировано с данными взятыми с ресурса [remss.com](http://remss.com), однако есть области где расхождение достаточно сильное.

## ДАЛЬНЕЙШАЯ РАБОТА

- Провести восстановление полей направления ветра за длительный промежуток времени (около 1 года измерений).
- Провести оценку точности восстановления поля ветра при сравнении с данными морских буев, измерениями скаттерометров, данными из реанализа.
- Разработать методы устранения неоднозначных решений обратной задачи, при малых скоростях ветра (менее 3 м/с).
- Адаптировать алгоритм к набору данных, который планируется получать с радиометрического комплекса МИРС.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**



12