

# Некоторые аспекты «новой генерации полей температуры поверхности океана»

С.Е. Дьяков

*Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН*

*Владивосток, Радио, 5*

*E-mail: [sergdkv@gmail.com](mailto:sergdkv@gmail.com)*

Описываются некоторые аспекты повышения точности карт температуры поверхности океана. Рассматривается подход, основанный на использовании физической модели, предназначенной для определения интегральных параметров тропосферы по спутниковым ИК-измерениям. Обосновывается возможность использования данных радиометра AMSU для определения интегральных параметров атмосферы с их дальнейшим использованием для уточнения ТПО.

## Введение

В настоящее время для определения ТПО с высоким пространственным разрешением используется многоканальный метод MCSST и его вариации (NLSST и другие) [1], позволяющие оценивать ТПО на основе данных радиационного зондирования в каналах разделенного окна пропускания атмосферы (10,5 мкм и 11,5 мкм) и, для некоторых алгоритмов, окна пропускания атмосферы 3,7 мкм.

Стандартное отклонение значений ТПО, полученных с помощью MCSST, от температур на глубине в 1 метр, измеренных дрейфующими буями, равно 0,7° К. для MCSST и 0,5° К. для NLSST. Несмотря на то, что стандартные отклонения невелики, реальные отклонения могут достигать 2-х и даже 4-х градусов. Мало того, данные технологии не содержат средств оценивания точности полученных значений.

Новые требования к картам ТПО сформулированы в рамках проекта GODAE [2]. Согласно этим требованиям вместе с ТПО должна поставляться обширная сопутствующая информация, включающая в себя данные о волнении, скорости ветра, влажности, количестве атмосферного аэрозоля и точности расчета ТПО.

Работы по созданию карт ТПО для северо-западной части Тихого океана, удовлетворяющих требованиям проекта GODAE, проводятся международной группой ученых в рамках проекта NGSST [3] и включают в себя работы по совмещению карт ТПО полученных по данным зондирования в инфракрасном и микроволновом диапазоне длин волн с различным разрешением. Данные работы нацелены на регулярное (4 раза в сутки) создание карт ТПО высокого разрешения всей, включая облачные участки, северо-западной части Тихого Океана.

Одно из направлений работ предусматривает повышение точности карт ТПО, генерируемых по данным ИК зондирования. Возможность восстановления ТПО с высокой точностью следует из работы [4], в которой указывается на принципиальные недостатки алгоритма MCSST, связанные с неучетом нелинейности влияния угла сканирования и содержания водяного пара на дефицит между температурой поверхности и радиационными температурами в каналах 10,5 и 11,5 мкм. Данный недоучет приводит к погрешностям определения ТПО в случаях очень влажной и очень сухой атмосферы и при больших углах сканирования.

Следовательно, для получения точных значений ТПО необходимо знать и учитывать состояние атмосферы.

Параметры атмосферы можно определять двумя способами:

1. С помощью параметрической модели радиационного поглощения, по данным нескольких ИК-каналов высокого разрешения.
2. Восстанавливая профили температуры/влажности с помощью многоканальных зондировщиков ATOVS.

Исходя из этого, были предприняты попытки уточнения значений ТПО на основе перспективной физической модели поглощения радиационного излучения предложенной А.В. Казанским [5]. Данная модель, использующая аппроксимацию состояния атмосферы на основе четырех интегральных параметров, позволяет рассчитывать радиационную температуру инфракрасных каналов метеорологических спутников при заданной температуре поверхности моря. В перспективе, она должна позволить восстанавливать интегральное влагосодержание водяного пара, экспоненциальную высоту водяного пара, усредненный приповерхностный градиент температуры и температуру поверхности океана на основе данных каналов 10,5, 11,5 мкм, канала поглощения водяного пара (6,8 мкм) и канала поглощения углекислого газа.

Необходимо было определить внутренние параметры модели, проверить возможность ее использования для восстановления ТПО и параметров атмосферы и определить точность такого восстановления.

### Используемые данные

Для настройки модели, и проверки возможности её использования для уточнения ТПО, была создана база данных, включающая:

1. Данные аэрологических измерений, полученные из базы RAOB (raob.fsl.noaa.gov) за 2001-2006 годы.
2. Данные буйковых измерений ТПО, полученные из базы данных Near-GOOS.
3. Данные радиационных измерений ТПО, полученных по данным спутников POES NOAA.
4. Данные радиационных измерений в канале поглощения водяного пара (6.8 мкм), полученные от Японского метеорологического агентства.

На основе полученных измерений были сформированы наборы данных, включающие в себя:

1. Значение температуры воды на глубине один метр, измеренное дрейфующим бумом. Время и координаты измерения.
2. Атмосферные профили, полученные с ближайшей аэрологической станции. Аэрологическая станция должна была располагаться в радиусе 100 км от точки измерения температуры, разница во времени между измерением температуры воды и запуском аэрологического зонда должна быть меньше 6 часов. Дополнительно проводилась автоматическая проверка качества полученных профилей. На основе полученных атмосферных профилей определялись интегральные параметры атмосферы. Дополнительно из данных аэрологического зондирования извлекалась информация о скорости приводного ветра.
3. Спутниковые данные POES NOAA. Использовались изображения, полученные в пределах 3 часов до или после in-situ измерения температуры. Полученные значения радиационных температур осреднялись по окрестности радиусом 12 км, оценивались разброс и стандартное отклонение в окрестности.
4. Данные канала поглощения водяного пара спутника GMS-5. Использовались ближайшие по времени данные GMS-5.

Данные радиационных измерений в канале водяного пара присутствовали не во всех наборах. Наборы совместных данных прошли тщательную автоматическую и ручную фильтрацию облачности.

Кроме этого, была проведена отбраковка участков по скорости приводного ветра, для минимизации отклонений между температурой верхнего слоя воды и температурой на глубине в 1 метр в соответствии с ветровой моделью расчета поправок к ТПО [6].

Были также отбракованы наборы данных, в окрестности которых измерения канала 10,5 мкм были неоднородны (разброс радиационных температур превышал 0,4° К). Отобранные точки находились в северо-западной части Тихого Океана, Японском и Желтом морях. Всего использовалось около 1000 согласованных наборов данных.

### Определение внутренних параметров модели

Прежде чем пользоваться моделью, необходимо для каждого из каналов модели определить значения внутренних параметров, задающих зависимость массового коэффициента поглощения радиационного излучения от влажности и других параметров.

Подбор таких коэффициентов может производиться либо индивидуально для каждого канала, либо для всех каналов одновременно с тем, чтобы определить значения внутренних параметров, оптимальных для решения задачи восстановления параметров атмосферы.

Для определения внутренних параметров модели для каждого из каналов мы прибегли к минимизации целевой функции, являющейся суммой модулей отклонений радиационных температур, восстановленных с помощью модели при известных интегральных параметрах атмосферы, и радиационных температур полученных по данным спутников POES NOAA.

$$\min_{a,b,c} S = \sum_{i=1..N} \| T_{\text{sat}}[i] - T_{\text{model}}(T_{\text{insitu}}[i], W_0[i], H_{\text{h2o}}[i], \lambda[i], a, b, c \dots) \|$$

Здесь  $S$  - минимизируемая функция,  $T_{\text{sat}}(i)$  - радиационная температура измеренная радиометром спутника,  $T_{\text{insitu}}[i]$  - ТПО,  $W_0[i]$ ,  $H_{\text{h2o}}[i]$ ,  $\lambda[i]$  - интегральные параметры атмосферы – интегральное влагосодержание, экспоненциальная высота атмосферы и приповерхностный градиент температуры – определяемые по данным аэрологического зондирования, а величины  $a$ ,  $b$  и  $c$  - минимизируемые внутренние параметры модели.

Решение данной задачи позволило определить параметры модели для каналов 10,5 мкм, 11,5 мкм спутников POES NOAA и канала поглощения водяного пара спутника GMS-5.

Стандартное отклонение восстановления радиационных температур для каналов 10,5, 11,5 и 6,8 мкм было, соответственно, следующим: 0,72, 1,06, 2,24 .

### Проверка точности восстановления ТПО по данным канала 10,5 мкм при известных параметрах атмосферы

Для того чтобы проверить целесообразность использования модели для коррекции ТПО необходимо проверить возможность использования модели для восстановления ТПО в самом благоприятном случае. При этом используется один канал – 10,5 мкм, а данные о состоянии атмосферы извлекаются из аэрологических измерений. Выбор канала 10,5 мкм обусловлен тем, что для данного канала стандартное отклонение восстановления радиационных температур было наименьшим. Всего, при исследовании, использовалось 40 отобранных вручную точек.

Результаты восстановления температуры, приведены на рис. 1. Видно, что вводимые моделью поправки к MCSST коррелируют с ошибками MCSST, и, следовательно, модель может использоваться для коррекции ТПО при известных интегральных параметрах атмосферы. Стандартное отклонение восстановленного ТПО от результатов буйковых измерений – 0,7° К., но если при расчете стандартного отклонения не учитывать группу трех выделяющихся точек (выбросы), расположенных в левом верхнем углу графика стандартное отклонение уменьшается до 0,4° К. Стандартное отклонение для данной выборки не прошедшей коррекцию равно 1,4° К.

Таким образом, показано, что модель может использоваться для коррекции ТПО, при известных интегральных параметрах атмосферы. С другой стороны, наличие выбросов говорит о том, что не все ошибки MCSST связаны с влиянием водяного пара.

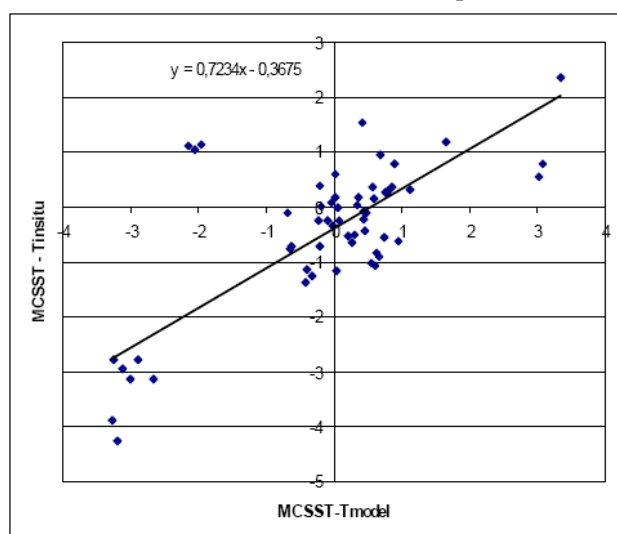


Рис. 1. Зависимость между расхождениями между температурами полученными с помощью алгоритма MCSST и температурами измеренными с помощью дрейфующих буев, и поправками, вводимыми к MCSST и рассчитанными по модели

### **Проверка достоверности аппроксимации состояния атмосферы интегральными параметрами**

Аппроксимация состояния атмосферы интегральными параметрами удобна для аналитического анализа модели и полученных с ее помощью результатов. Необходимо проверить, насколько оправдана предложенная в модели аппроксимация.

Поэтому, помимо модели описанной в [5], был реализован упрощенный вариант модели, использующий непосредственное моделирование радиационного переноса по атмосферным профилям.

Для упрощенного варианта были определены внутренние параметры модели для каналов 10,5, 11,5 и 6,8 мкм и оценена точность восстановления радиационных температур с помощью упрощенной модели.

При этом было обнаружено, что стандартные отклонения восстановления радиационных температур не существенно уменьшились, а наблюдаемое иногда уменьшение находилось в пределах погрешности решения задачи минимизации.

Следовательно, аппроксимация состояния атмосферы с помощью интегральных параметров является оправданной.

### **Использование модели для восстановления интегрального влагосодержания атмосферы**

Для восстановления ТПО с помощью модели необходимо знать интегральные параметры атмосферы, важнейшим из которых является интегральное влагосодержание. Мало того, именно то, что водяной пар сильно влияет на измеряемые спутником радиационные температуры, позволяет нам сконцентрироваться на его восстановлении.

Влияние других параметров атмосферы (экспоненциальной высоты водяного пара и вертикального градиента температуры) значительно слабее.

Пример результатов использования модели для восстановления интегрального влагосодержания по данным ИК-каналов (в том числе канала поглощения водяного пара) приведен на рис. 2. Во время данного эксперимента данные ТПО извлекались из данных буйковых измерений а экспоненциальная высота водяного пара и вертикальный градиент температуры – из данных аэрологического зондирования.

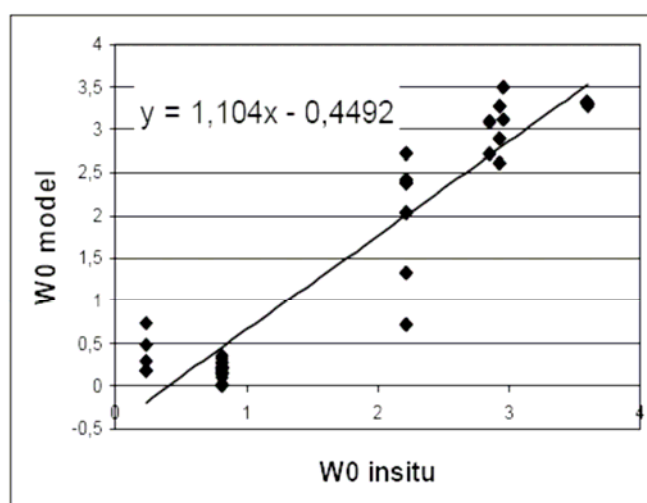


Рис.2. Сравнение интегрального влагосодержания, восстановленного по данным ИК-зондирования с помощью модели, и результатами аэрологических измерений

Видно, что модель может использоваться для грубой оценки интегрального влагосодержания атмосферы. Вместе с тем, большой разброс рассчитанного влагосодержания говорит о том, что решить задачу одновременного определения интегральных параметров атмосферы и ТПО с достаточной точностью не удастся.

Подводя итог описанным экспериментам можно сказать что, модель может использоваться для уточнения значений ТПО при известных атмосферных параметрах, но для уточнения ТПО данных трех ИК-каналов недостаточно.

## Восстановление профилей атмосферы по данным AMSU

Результаты проведенных экспериментов заставляют нас сделать попытку использования данных многоканальных микроволновых зондировщиков AMSU-A и AMSU-B, расположенных на борту спутников POES NOAA серии KLM. Рассчитанные атмосферные профили температуры и влажности можно будет в дальнейшем использовать для уточнения ТПО с помощью модели.

Для восстановления профиля атмосферы, по данным микроволнового зондировщика, необходимо сделать следующее:

- 1) откалибровать и географически привязать данные, преобразовав их к виду, пригодному для дальнейшего усвоения;
- 2) организовать решение прямой задачи определения радиационных температур;
- 3) восстановить профиль температуры и влажности атмосферы, то есть решить обратную задачу атмосферного зондирования.

Для решения задач используются пакеты AAPP, RTTOV, SSMIS 1Dvar разработанные в Европейском космическом агентстве (Met Office, UK).

Пакет AAPP - AVHRR and ATOVS Processing Package - используется для решения задач калибровки, географической привязки, фильтрации облачности и навигационного совмещения данных спутников POES NOAA; RTTOV - для решения прямой задачи радиационного пропускания; а SSMI 1D var – для восстановления профилей температуры и влажности атмосферы.

Данные пакеты были получены, скомпилированы и сконфигурированы.

С их помощью нами были получены вертикальные профили температуры и влажности, которые хорошо согласуются с данными аэрологического зондирования. Ожидается, что дальнейшие эксперименты и переход к использованию прогнозных профилей температуры и влажности позволит повысить точность восстановления вертикальных профилей.

## Выводы

Апробация физической модели учета атмосферного поглощения радиационного излучения показала, что модель может использоваться для уточнения значений ТПО, но для такого уточнения необходимо обладать данными о распределении водяного пара в атмосфере и вертикальном температурном градиенте атмосферы.

Хорошая точность полученных профилей и успешные эксперименты по использованию аэрологических данных для коррекции ТПО позволяют надеяться на повышение точности температурных карт.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 05-01-01110-а, 06-01-96915-р\_офи, 06-01-00660-а.

## Литература

1. *Walton, C. C., Pichel, W. G., Sapper, J. F., May, D. A.*, The development and operational application of non-linear algorithms for the measurement of sea surface temperatures with the NOAA polar-orbiting environmental satellites. // *Journal of Geophysical Research*, 1998, Т. 103, С. 27999–28012.
2. Проект GODAE – домашняя страница проекта // <http://www.bom.gov.au/bmrc/ocean/GODAE/>
3. NGSST – домашняя страница проекта // <http://www.ocean.caos.tohoku.ac.jp/~merge/sstbinary/actvalbm.cgi?eng=1>
4. *Kazansky A.V., Goncharenko I.A.* Atmospheric correction of AVHRR imagery // *Satellite Remote Sensing of the Oceanic Environment (Ch.2.6.)* / I.S.F.Jones, Y.Sugimory, R.W.Stewart, Eds. Tokio: Seibtsu Kenkyusha, 1993. С. 56-63.
5. *Казанский А.В.* Физическая модель для определения интегральных параметров тропосферы по спутниковым ИК-измерениям // *Оптика атмосферы и океана*, Т. 19, 2006, № 05, С. 428-434
6. *Kawai, Y. H. Kawamura* Study on a platform effect in the in situ sea surface temperature observations under weak wind and clear sky conditions using numerical models. // *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 2000, Т. 17, С. 185-196.