Геопортал спутникового радиотепловидения: данные, сервисы, перспективы развития

Д.М. Ермаков[1,2], А.П. Чернушич[1], Е.А. Шарков[2]

[1]Институт радиотехники и электроники РАН, Фрязинский филиал, Фрязино, Россия
E-mail: dima@ire.rssi.ru
[2]Институт космических исследований РАН, Москва, Россия
E-mail: e.sharkov@mail.ru

В ходе решения задач по исследованию синоптических атмосферных процессов накоплен и обработан с помощью методик спутникового радиотепловидения значительный объем данных спутникового радиотеплового мониторинга. В частности, с применением интерполяционной схемы спутникового радиотепловидения построены ряды глобальных полей интегрального влагосодержания атмосферы и других геофизических параметров на сетке 0,25° с шагом по времени 3 часа в непрерывном интервале наблюдений с 2004 по 2015 годы. Дальнейшее применение интерактивной процедуры интерполяции позволяет дать оценки мгновенных состояний геофизических полей атмосферы Земли в произвольно задаваемые моменты времени. Результаты подхода могут широко привлекаться для визуализации и изучения динамики мезомасштабных и синоптических атмосферных процессов, отработки и реализации процедур калибровки и кросс-калибровки новых спутниковых продуктов, эффективной совместной обработки с разнородными данными из других источников, требующей высокой синхронизации восстанавливаемых параметров. Создан геопортал спутникового радиотепловидения, нацеленный на обеспечение коллективного использования (включая удаленную обработку) накопленной информации. В работе описаны форматы свободно распространяемых продуктов, реализованные и проектируемые сетевые сервисы, обсуждены некоторые перспективные направления развития геопортала.

Ключевые слова: спутниковое радиотепловидение, геопортал, динамика геофизических полей, сетевые сервисы

Одобрена к печати: 25.05.2016
DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-3-46-57

Введение

На протяжении последних десятилетий успешно действуют миссии спутникового радиотеплового мониторинга системы «океан – подстилающая поверхность», см. (Лупян и др., 2012), причем в некоторых из них осуществляется одновременное функционирование нескольких идентичных или близких по приборному оснащению спутников. Возникающая информационная избыточность совокупности измерений позволяет применить сравнительно простые интерполяционные методики для оценки состояния атмосферы в промежуточные между измерениями моменты времени (Wimmers, Velden, 2011; Ермаков и др., 2011). Тем самым достигается возможность оптимальной синхронизации, при сохранении приемлемой точности оценок, разнородных продуктов дистанционного зондирования для их совместной обработки и анализа. Кроме того, характеристики адвекции в геофизических полях, восстанавливаемые с высокой пространственно-временной детализацией, представляют существенный самостоятельный интерес в дистанционных исследованиях мезомасштабных и синоптических атмосферных процессов (Ермаков и др., 2014а). Историческая ретроспектива таких исследований, ведущихся, в том числе, авторами настоящей работы, дана в работе (Шарков, 2015).

Актуальность очерченного направления исследований подтверждается и развитием специализированных геопорталов, представляющих продукты интерполяционной обработки спутниковых данных. Среди них следует выделить геопортал MIMIC-TPW Центра

космической науки и техники (SSEC) Висконсинского университета в Мэдисоне, США (http://tropic.ssec.wisc.edu/real-time/mimic-tpw/global2/main.html), основанный на подходе (Wimmers, Velden, 2011). Представленный в настоящей работе геопортал спутникового радиотепловидения (http://fire.fryazino.net/tpw/) отличается в двух важных аспектах. Во-первых, авторы применяют оригинальную схему интерполяционной обработки, что обеспечивает возможность расширения номенклатуры продуктов принципиально новыми типами (Ермаков и др., 2014б). Во-вторых, архитектура геопортала является существенным эволюционным шагом по сравнению с ранним подходом (Ермаков и др., 2007) и учитывает наиболее современные тенденции в этой области (Savorskiy et al., 2014, Лупян и др., 2012). В ее основу заложена идея о динамической интерактивной генерации продуктов по запросам пользователей; обеспечен потенциал развития, связанный с виртуализацией источников данных и процедур обработки, организацией высокоэффективной распределенной обработки больших массивов информации дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Базовая архитектурная схема геопортала

Одной из основных задач геопортала является эффективное обеспечение пользователей данными о состояниях геофизических полей атмосферы в произвольные моменты времени. Очевидно, что такая задача не может быть решена путем заблаговременного расчета конечных продуктов для всех возможных вариантов запросов. Следовательно, геопортал должен иметь инструментарий динамической генерации продуктов на основе некоторого базового набора данных. Базовый набор данных хранится в базе данных геопортала, а конечные продукты имеют ограниченное время жизни в виртуальном пользовательском окружении, откуда могут быть записаны в файл на компьютере пользователя.

Базовый набор данных не тождественен исходным данным и продуктам спутникового радиотеплового мониторинга. В этом случае полный цикл обработки занимал бы существенное время (так, интерполяционная обработка годичного объема информации требует сейчас около суток вычислений по каждому типу продуктов). В ряде актуальных задач ДЗЗ (оперативный мониторинг атмосферных катастроф, исследование синоптических процессов и климатических изменений) существенна минимизация потерь времени, связанных с информационным обеспечением пользователей, либо по причине быстрого развития наблюдаемых процессов, либо из-за необходимости потоковой обработки сверхбольших массивов данных. Поэтому базовый набор данных должен, с одной стороны, представлять собой продукт достаточно глубокой предварительной обработки исходных данных, а с другой − при разумных ограничениях по объему обеспечивать возможность многократного использования для эффективной генерации конечных пользовательских продуктов. Далее такой базовый набор данных, дополненных необходимыми метаданными, называется «опорной коллекцией».

Сказанное выше иллюстрирует *рис. 1*. На нем представлены три уровня обработки данных: уровень внешних источников; уровень геопортала; пользовательский уровень. Переход между уровнями осуществляется с помощью соответствующих программных инструментов (процедур) геопортала. Следует отметить, что указанные уровни не соответствуют общепринятым классификациям по NASA или CEOS, см. (Лупян, Саворский, 2012), а отражают специфику работы геопортала, т.к. уже на первой стадии обработки могут усваиваться данные различных (как правило, третьего или второго) уровней по стандартным классификациям.

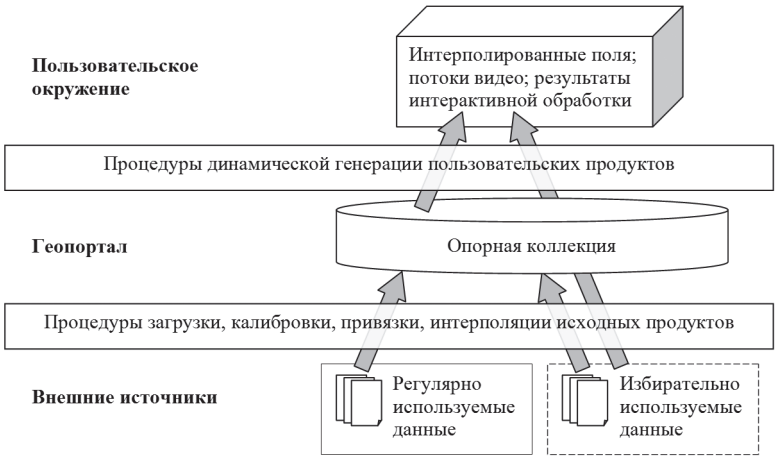

Рис. 1. Базовая архитектурная схема геопортала; переход между уровнями данных, соответствующими внешним источникам, серверам геопортала и пользовательскому окружению, осуществляется с помощью специализированных процедур

Уровень внешних источников представлен свободно распространяемыми продуктами спутникового дистанционного мониторинга. Ассоциирование этих данных с геопорталом условно: оно выражается тем фактом, что геопортал оснащен процедурами загрузки, декодирования, пространственно-временной привязки и калибровки этих данных, допускающими полную автоматизацию. При этом часть данных используется приоритетно и на регулярной основе для пополнения опорной коллекции с помощью интерполяционных процедур. Другая часть данных может использоваться избирательно: либо в качестве дополнительной информации при расчете опорной коллекции, либо в целях дальнейшего совместного анализа по запросам пользователя.

Уровню геопортала соответствует содержимое его базы данных, включающее опорную коллекцию. Опорная коллекция представляет собой последовательность глобальных геофизических полей атмосферы на сетке 0,25°, интерполированных с шагом по времени 3 часа с помощью процедур спутникового радиотепловидения. Дополнительно рассчитываются векторные поля адвекции, наблюдаемой в полях геофизических параметров за соответствующие интервалы времени.

На пользовательском уровне существуют генерируемые по запросам продукты. К ним, в частности, относятся геофизические поля, интерполируемые на произвольный

момент времени на основе данных опорной коллекции, а также результаты совместной обработки этих данных с различными данными из внешних источников.

Рассмотрим характеристики данных всех трех уровней более подробно.

Внешние источники

Основным внешним источником данных для геопортала в настоящее время служит открытый электронный архив компании Remote Sensing Systems, США (RSS, http://www.remss.com/). Продукты RSS содержат суточные поля восстановленных геофизических параметров атмосферы (интегрального влагосодержания, полного водозапаса облаков и т.д.) на сетке 0,25° по данным спутниковых сканирующих радиометров SSM/I, SSMIS (www.remss.com/missions/ssmi), WindSat (www.remss.com/missions/windsat), AMSR-E, AMSR2 (www.remss.com/missions/amsre). В качестве основных за разные годы наблюдений в интервале 2004–2015 гг. для построения опорной коллекции использованы данные приборов SSM/I (спутники F13, F14, F15 миссии DMSP), SSMIS (F16, F17), WindSat (Coriolis). В качестве дополнительных использованы данные SSM/I (F15), AMSR-E (Aqua) и AMSR2 (GCOM-W1). Диаграмма использования этих данных приведена на *рис. 2.* Заштрихованные полосы на ней показывают временные диапазоны наблюдений, в которых данные соответствующего прибора использованы на регулярной основе. Полосы без штриховки соответствуют доступным, но использованным избирательно данным. Вертикальные линии отмечают узкие временные интервалы, перечисленные в *табл. 1*, где потребовалось такое избирательное дополнение используемых на постоянной основе данных в связи со значительными пропусками информации в последних.

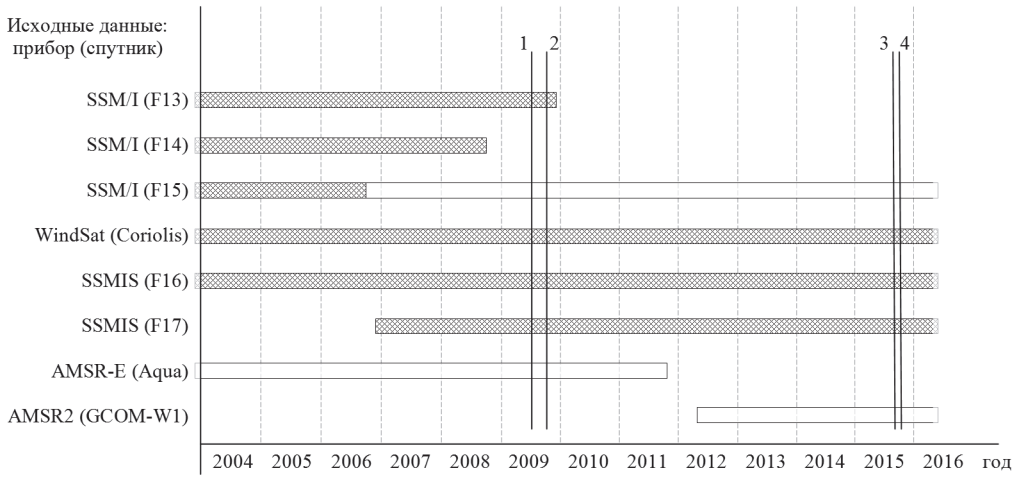

Рис. 2. Диаграмма использования продуктов RSS при построении опорной коллекции геопортала: на регулярной основе используются продукты, обозначенные заштрихованными полосами; вертикальными нумерованными линиями показаны интервалы привлечения дополнительных данных (белые полосы), см. табл. 1

Таблица 1. Дополнение основных данных в проблемных интервалах, показанных на *рис. 2*

Интервал		***Основные данные: прибор (спутник)***	***Дополнительные данные: прибор (спутник)***
№	***Даты начала и окончания***		
1	30.06.2009 – 30.06.2009	SSM/I (F13), SSMIS (F16, F17), WindSat (Coriolis)	SSM/I (F15)
2	18.09.2009 – 18.09.2009	SSM/I (F13), SSMIS (F16, F17), WindSat (Coriolis)	AMSR-E (Aqua), SSM/I (F15)
3	05.08.2015 – 05.08.2015	SSMIS (F16, F17), WindSat (Coriolis)	AMSR2 (GCOM-W1), SSM/I (F15)
4	01.09.2015 – 02.09.2015	SSMIS (F16, F17), WindSat (Coriolis)	AMSR2 (GCOM-W1), SSM/I (F15)

Как видно на *рис. 2* и в *табл. 1*, даже на длительном интервале наблюдений случаи существенных пропусков в регулярно используемых данных RSS единичны. В связи с этим не был выработан общий подход к проблеме заполнения таких пропусков; каждый случай рассматривался в индивидуальном порядке. Так, для данных 2015 года был применен новый итеративный алгоритм спутникового радиотепловидения (Ермаков и др., 2016а). В целом, для каждого случая было выработано решение, позволившее непрерывно продолжить ряд полей опорной коллекции с шагом 3 часа при полном покрытии расчетной сетки над Мировым океаном.

Определенным недостатком реализованного инструментария геопортала является зависимость от единого основного источника данных – архива RSS. Следует отметить, что это ограничение не является фундаментальным. Функционал геопортала может быть легко перестроен на альтернативные источники данных, в том числе отечественных спутниковых приборов. Критическими показателями в этом вопросе являются качество, объем и регулярность получения таких данных на длительных интервалах наблюдений.

Опорная коллекция

Методика построения опорной коллекции по перечисленным выше данным внешних источников описана в работе (Ermakov et al., 2015; Ермаков и др., 2014в) и цитированных там работах. Точность интерполяционной методики проанализирована в (Ермаков и др., 2015) и найдена удовлетворительной для широкого круга задач ДЗЗ. При построении опорной коллекции не ставилась задача достижения столь высокой пространственно-временной детализации полей, какую можно обеспечить при анализе сравнительно кратких серий наблюдений (Ermakov et al., 2015). Приоритетом были максимальная автоматизация обработки больших массивов данных (все случаи, потребовавшие дополнительного вмешательства оператора, перечислены в *табл. 1*) и разумное ограничение опорной коллекции по объему. С другой стороны, временной шаг в 3–6 часов представляется достаточным для исследования крупномасштабной динамики синоптических и климатических процессов, а оценка всех промежуточных состояний атмосферы в трехчасовых интервалах на сетке 0,25° реализуется на основе данных опорной коллекции с помощью простых процедур типа оптимальной интерполяции по времени (Ермаков и др., 2016а).

По типу продуктов опорная коллекция в настоящий момент подразделяется на поля интегрального влагосодержания атмосферы (TPW) и полного водозапаса облаков (CLW), охватывающие непрерывный интервал наблюдений за 2004–2015 гг. Планируется расширение номенклатуры продуктов; в краткосрочной перспективе – добавление полей интенсивности осадков (RRT). Также планируется наращивание временного охвата наблюдений по всей номенклатуре продуктов по мере накопления необходимых данных из внешних источников.

Продукты пользовательского уровня

Продукты пользовательского уровня генерируются динамически по запросам пользователей на основе данных опорной коллекции и (в перспективе) дополнительно привлекаемых данных внешних источников. Продукты представляют собой расчетные поля на глобальной сетке 0,25°. Основными параметрами запроса являются расчетный момент времени (в интервале 2004–2015 гг.), тип продукта (TPW, CLW), вид дополнительной интерполяции по времени (loc, ltw, utc). Последний указанный параметр управляет динамической генерацией продуктов следующим образом. При выборе типа loc осуществляется формирование запрашиваемого поля по данным опорной коллекции, наиболее близким по *местному* времени в каждом узле сетки к указанному пользователем моменту времени; дополнительная интерполяция по времени не выполняется. При выборе типа lwt для каждого узла сетки осуществляется поиск наиболее близких по местному времени данных из опорной коллекции до и после указанного пользователем момента времени; затем производится интерполяция на указанный момент времени. При выборе типа utc производится отбор и интерполяция данных опорной коллекции так, что значения во всех узлах сетки соответствуют одному и тому же моменту единого времени, совпадающему со временем, указанным пользователем, на нулевом меридиане. Таким образом, динамически генерируются как «развертки по времени», которые можно интерпретировать в качестве результатов измерений некоторым виртуальным спутником на солнечно-синхронной орбите, так и мгновенные глобальные состояния запрашиваемого геофизического параметра в произвольный момент времени.

Выходной формат файлов продуктов пользовательского уровня

Конечные продукты распространяются в виде файлов растровых изображений, содержащих матрицу калиброванных данных, дополненную стандартным заголовком для непосредственной визуализации данных в цветовой палитре. Размер заголовка − 1078 байтов. Размер матрицы данных – 720 строк по 1440 значений; значение *B* в каждом узле сетки 0,25° кодируется одним байтом. Нулевое значение *B* означает отсутствие данных

в узле сетки; значение 255 кодирует области над сушей. Физический смысл имеют значения в диапазоне 1–251, пересчет которых в значения интегрального влагосодержания Q или полного водозапаса облаков L (в мм) осуществляется по формулам:

$$Q = 0,3 \cdot (B - 1);$$

$$L = 0,01 \cdot (B - 1) - 0,05.$$

При этом, в соответствии с рекомендациями RSS, при получении отрицательных значений L их следует считать нулевыми для данного узла, но учитывать при осреднении ряда значений. В целом формат кодирования данных по возможности приближен к принятому RSS с двумя особенностями: значения B сдвинуты на 1, чтобы кодировать пропуск данных нулем; координатная сетка сдвинута так, что левый край изображения соответствует 20° восточной долготы. Технические детали пространственно-временной привязки и формата файлов продуктов опубликованы в разделе «Методика» на сайте геопортала (http://fire.fryazino.net/tpw/Radiothermovision.aspx).

Рис. 3. Страница заказа пользовательских продуктов (интерполированных геофизических полей атмосферы над Мировым океаном) геопортала спутникового радиотепловидения

Реализованные сетевые сервисы

В настоящее время геопортал оснащен базовыми сетевыми сервисами, типологически соответствующими стандартным инструментам предварительного просмотра, а также поиска и заказа данных. Функции просмотра соответствует динамическая визуализация данных (http://fire.fryazino.net/tpw/Default.aspx) в режиме потокового видео, просматриваемого в видеоплеере. Предусмотрены обычные функции запуска воспроизведения (с шагом 3 часа на один видеокадр), приостановки воспроизведения и установки на произвольный момент времени. Дополнительные элементы управления позволяют выбрать

год (2004–2015) и тип продукта (TPW, CLW). Возможно воспроизведение в полноэкранном формате. Качество изображения оптимизируется динамически в зависимости от пропускной способности соединения. Режим визуализации позволяет выполнить предварительный экспресс-анализ данных, отбор временных интервалов, зон интереса, выбор и локализацию конкретных объектов исследования.

Функция поиска и заказа полей дополнена элементами управления, позволяющими более точно установить время наблюдений (см. *рис. 3*). После выбора времени и типа продукта пользователь инициирует поиск и генерацию данных выбором типа интерполяции (loc, ltw, utc, см. выше) с помощью кнопок справа от окна изображения. Готовый продукт выводится в окно изображения и может быть сохранен в файл на компьютере пользователя нажатием кнопки «Save».

Перспективные сетевые сервисы

Архитектурная ориентированность геопортала на динамическую генерацию пользовательских продуктов и реализованный базовый инструментарий открывают перспективы развития принципиально новых сетевых сервисов, как с точки зрения расширения номенклатуры конечных продуктов, так и с точки зрения организации работы удаленных пользователей с распределенными данными ДЗЗ. Рассмотрим в качестве примера два проектируемых сетевых сервиса, находящихся в разных стадиях реализации.

Проект «ИКАР»

Проект «ИКАР» (Интерактивный Калькулятор для Атмосферных Расчетов) является вариантом реализации удаленной работы с распределенными виртуально интегрированными данными ДЗЗ в дружественном пользовательском окружении. Базовая идея заключается в организации на серверной части геопортала вычислений на сетке 0,25° полей различных величин с использованием данных опорной коллекции и внешних источников. Продукт любого типа, доступный для совместной обработки в проекте «ИКАР», имеет с точки зрения пользователя свое мнемоническое обозначение (имя), координатную и временную привязку. Генерация нового продукта может быть описана выражением, включающим константы, переменные (формальные параметры), имена продуктов, математические операции и функции – стандартные (библиотечные) и определяемые пользователем.

Таким образом, проект «ИКАР» сочетает следующие достоинства:

- простота описания интерактивного процесса обработки данных;
- неограниченно расширяемая функциональность (за счет введения новых функций);
- эффективная удаленная обработка при минимизации трафика обмена данными;
- виртуальная интеграция внешних источников;
- возможность организации работы в режимах «виртуального рабочего места»

(когда набор новых функций виден только описавшему их пользователю) и «виртуальной лаборатории», когда новые функции, после процедур тестирования и аттестации, становятся по согласованию доступными для коллективного использования.

В настоящее время выработан синтаксис расчетных выражений и реализованы базовые инструменты синтаксического анализа. Проект «ИКАР» находится в стадии разработки расчетного модуля и определения приоритетов по виртуализации внешних источников данных.

Проект «Потоки»

При интерполяции данных по схеме спутникового радиотепловидения осуществляется расчет полей адвекции для выбранного геофизического параметра, которые, в частности, могут быть использованы для оценки потоков скрытого тепла через заданную границу (Ермаков и др., 2014б). Такой подход применялся авторами в основном при анализе эволюции тропических циклонов, но может быть обобщен на широкий класс атмосферных процессов (прежде всего – синоптических масштабов).

Проект «Потоки» направлен на организацию дистанционной работы по описанной схеме, при которой пользователю необходимо лишь указать характеристики границы или семейства границ (конфигурацию, положение, скорость дрейфа, деформации и т.п.), наиболее адекватно описывающих исследуемый процесс. На первом этапе реализации проекта был обобщен способ вычисления потоков через произвольно заданную границу на дискретной расчетной сетке, в качестве примера получены первые оценки годового меридионального переноса скрытого тепла из Северной Атлантики в Арктику (Ермаков и др., 2016б). Проект «Потоки» находится в начальной стадии реализации и требует решения ряда сложных задач. С другой стороны, его успех откроет широкие перспективы для организации эффективной массовой обработки данных в различных задачах ДЗЗ, связанных с исследованиями атмосферных катастроф, динамики синоптических процессов, изменчивости климатических факторов и т.д.

Заключение

В работе описаны архитектурные основы, характеристики информационных продуктов, реализованные и проектируемые сервисы и перспективы развития геопортала спутникового радиотепловидения http://fire.fryazino.net/tpw/. Принципиальной особенностью геопортала является ориентированность на динамическое формирование продуктов по запросам пользователя. В совокупности с алгоритмическим подходом спутникового радиотепловидения это позволяет как качественно расширить возможности информационного обеспечения пользователей (например, путем оценки состояний глобальных полей различных геофизических параметров атмосферы в произвольные моменты времени),

так и организовать эффективную удаленную обработку больших объемов данных с привлечением дополнительных виртуально интегрированных внешних источников и неограниченно наращиваемой номенклатурой пользовательских продуктов.

Все конечные продукты поставляются в виде матриц калиброванных значений на координатной сетке с шагом 0,25° с привязкой по времени, дополненных стандартным заголовком для целей визуализации. Встроенный инструментарий геопортала позволяет визуализацию рядов данных в формате потокового видео, что облегчает их экспресс-анализ, отбор и заказ необходимой информации. Дальнейшее развитие геопортала связано как с наращиванием опорных коллекций по временному охвату и номенклатуре продуктов, так и с развитием и реализацией перспективных сетевых сервисов, в том числе кратко описанных в работе проектов «ИКАР» и «Потоки».

Следует отметить, что анализ архитектуры и перспектив развития геопротала ограничен моделью взаимодействия «сервер геопортала – конечный пользователь». Аспекты виртуальной интеграции рассмотрены только в отношении дополнительных источников данных. В то же время широкое развитие проектов и центров по распределенной обработке спутниковой информации (Лупян и др., 2012) актуализирует задачу функциональной реализации самого геопортала как объекта виртуальной интеграции, т.е. возможности обеспечения различных центров обработки требуемой информацией в автоматическом режиме. При решении этой задачи будет востребован богатый опыт иностранных и отечественных разработчиков, в частности, принципы и стандарты реализованной в ИКИ РАН технологии GEOSMIS (Толпин и др., 2011).

Разработка и реализация специализированного программного обеспечения по проекту «ИКАР» поддержана грантом РФФИ № 15-07-04422.

Литература

1. *Ермаков Д.М., Раев М.Д., Суслов А.И., Шарков Е.А.* Электронная база многолетних данных глобального радиотеплового поля Земли в контексте многомасштабного исследования системы океан-атмосфера // Исследование Земли из космоса. 2007. № 1. С. 7–13.
2. *Ермаков Д.М., Чернушич А.П., Шарков Е.А., Шрамков Я.Н.* Возможности построения краткосрочных глобальных радиотепловых изображений системы океан-атмосфера на базе программной платформы Stream Handler // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 3. С. 9–16.
3. *Ермаков Д.М., Шарков Е.А., Чернушич А.П.* Роль тропосферных адвективных потоков скрытого тепла в интенсификации тропических циклонов // Исследование Земли из космоса. 2014а. № 4. С. 3–15.
4. *Ермаков Д.М., Шарков Е.А., Чернушич А.П.* Возможности количественного описания мезомасштабных процессов в атмосфере на основе анимационного анализа // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014б. Т. 11. № 4. С. 153–162.
5. *Ермаков Д.М., Чернушич А.П., Шарков Е.А.* Оценки и достижимые точности описания динамики и энергетики мезомасштабных и синоптических атмосферных процессов с помощью спутникового радиотепловидения. // VIII Всероссийская конференция “Радиолокация и радиосвязь”. Доклады. Москва, ИРЭ РАН, 24–28 ноября 2014. 2014в. С. 174–179.
6. *Ермаков Д.М., Шарков Е.А., Чернушич А.П.* Оценка точности интерполяционной схемы спутникового радиотепловидения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 2. С. 77–88.
7. *Ермаков Д.М., Шарков Е.А., Чернушич А.П.* Мультисенсорный алгоритм спутникового радиотепловидения // Исследование Земли из космоса. 2016а. № 3 (в печати).
8. *Ермаков Д.М., Шарков Е.А., Чернушич А.П.* Спутниковое радиотепловидение на синоптических и климатически значимых масштабах // Исследование Земли из космоса. 2016б. № 6 (в печати).
9. *Лупян Е.А., Саворский В.П.* Базовые продукты обработки данных дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 87–96.

10. *Лупян Е.А., Саворский В.П., Шокин Ю.И., Алексанин А.И., Назиров Р.Р., Недолужко И.В., Панова О.Ю.* Современные подходы и технологии организации работы с данными дистанционного зондирования Земли для решения научных задач // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С. 21–44.
11. *Толпин В.А., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Прошин А.А., Уваров И.А., Флитман Е.В.* Создание интерфейсов для работы с данными современных систем дистанционного мониторинга (система GEOSMIS) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8 № 4. С. 93–108.
12. *Шарков Е.А.* Полярный перенос скрытого тепла мезомасштабными тропосферными системами: анимационный анализ микроволновых спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 170–187.
13. *Ermakov D.M., Sharkov E.A., Chernushich A.P.* Satellite radiothermovision of atmospheric mesoscale processes: case study of tropical cyclones // ISPRS Archives. 2015. Vol. 40. No. 7/W3. P. 179–186.
14. *Savorskiy V., Loupian E., Balashov I., Proshin A., Tolpin V., Ermakov D., Chernushich A., Panova O., Kuznetsov O., Vasilyev V.* Basic technologies of web services framework for research, discovery, and processing the disparate massive Earth observation data from heterogeneous sources // ISPRS Archives. 2014. Vol. 40. No. 4. P. 223–228.
15. *Wimmers A.J., Velden C.S.* Seamless advective blending of total precipitable water retrievals from polar-orbiting satellites // J. Appl. Meteor. Climatol. 2011. Vol. 50. No. 5. P. 1024–1036.

Geoportal of satellite radiothermovision: data, services, prospects

D.M. Ermakov[1,2], A.P. Chernushich[1], E.A. Sharkov[2]

[1]Institute of Radioengineering and Electronics RAS, Fryazino Dept., Fryazino, Russia
E-mail: dima@ire.rssi.ru
[2]Space Research Institute RAS, Moscow, Russia
E-mail: e.sharkov@mail.ru

In the course of solving the problems on the study of the synoptic atmospheric processes a significant amount of passive microwave satellite data was accumulated and processed with the help of satellite radiothermovision techniques. In particular, integral series of global fields of total precipitable water and other geophysical parameters on a 0.25° grid with a time step of 3 hours within continuous interval of observations from year 2004 through year 2015 were constructed with the use of the interpolation scheme of satellite radiothermovision. Further application of interactive interpolation procedure allows assessing the instantaneous states of geophysical fields of the Earth's atmosphere at arbitrary times. The results of the approach can be widely used in visualizing and studying the dynamics of mesoscale and synoptic atmospheric processes, working out and implementation of calibration and cross-calibration procedures of new satellite products, efficient co-processing with heterogeneous data from other sources, requiring higher synchronization of the retrieved parameters. The recently created geoportal of satellite radiothermovision aims to provide collective use (including remote processing) of the accumulated information. The paper describes the formats of the distributed products, and the implemented and planned network services; and also discusses some promising directions of the geoportal development.

Keywords: satellite radiothermovision, geoportal, dynamics of geophysical fields, network services

Accepted: 25.05.2016
DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-3-46-57

References

1. Ermakov D.M., Raev M.D., Suslov A.I., Sharkov E.A., Elektronnaya baza mnogoletnih dannyh global'nogo radioteplovogo polya Zemli v kontekste mnogomasshtabnogo issledovaniya sistemy okean-atmosfera (Electronic long-standing database for the global radiothermal field of the Earth in context of multy-scale investigation of the atmosphere–ocean system), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2007, Vol. 1, pp. 7–13.
2. Ermakov D.M., Chernushich A.P., Sharkov E.A., Shramkov Ya.N., Vozmozhnosti postroeniya kratkosrochnyh global'nyh radioteplovyh izobrazheniy sistemy okean-atmosfera na baze programmnoy platformy Stream Handler (Possibility of building short-term global radiothermal images of ocean-atmosphere system based on Stream Handler software platform), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 3, pp. 9–16.
3. Ermakov D.M., Sharkov E.A., Chernushich A.P., Rol troposfernyh advektivnyh potokov skrytogo tepla v intensifikatsii tropicheskih tsiklonov (The role of tropospheric advection of latent heat in the intensification of tropical cyclones), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 4, pp. 3–15.
4. Ermakov D.M., Sharkov E.A., Chernushich A.P., Vozmozhnosti kolichestvennogo opisaniya mezomasshtabnyh protsessov v atmosfere na osnove animatsionnogo analiza (Possibilities of quantitative description of mesoscale

processes in the atmosphere based on the animated analysis), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 11, No. 4, pp. 153–162.
5. Ermakov D.M., Chernushich A.P., Sharkov E.A., Otsenki i dostizhimye tochnosti opisaniya dinamiki i energetiki mezomasshtabnyh i sinopticheskih atmosfernyh protsessov s pomoschyu sputnikovogo radioteplovideniya (Estimates and attainable accuracies of the description of dynamics and power of mesoscale and synoptic atmospheric processes with the use of satellite radiothermovision), *Proc. VIII All-Russian Conf. "Radiolokatsiya i radiosvyz"* (VIII Radiolocation and Radiocommunication Conference), Moscow, IRE RAS, 24–28 November 2014, pp.174–179.
6. Ermakov D.M., Sharkov E.A., Chernushich A.P., Otsenka tochnosti interpolyatsionnoy shemy sputnikovogo radioteplovideniya (Assessment of the accuracy of the interpolation scheme of satellite radiothermovision), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 2, pp. 77–88.
7. Ermakov D.M., Sharkov E.A., Chernushich A.P., Mul'tisensornyy algoritm sputnokovogo radioteplovideniya (Multisensory algorithm of satellite radiothermovision), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2016, No. 3 (in print).
8. Ermakov D.M., Sharkov E.A., Chernushich A.P., Sputnikovoye radioteplovideniye na sinopticheskih i klimaticheski znachimyh masshtabah (Satellite radiothermovision on synoptic and climatically significant scales), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2016, No. 6 (in print).
9. Loupian E.A., Savorskiy V.P., Bazovye produkty obrabotki dannyh distantsionnogo zondirovaniya Zemli (Basic products of Earth remote sensing data processing), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 2, pp. 87–96.
10. Loupian E.A., Savorskiy V.P., Shokin Yu.I., Aleksanin A.I., Nazirov R.R., Nedolugko I.V., Panova O.Yu., Sovremennye podhody i tehnologii organizatsii raboty s dannymi distantsionnogo zondirovaniya Zemli dlya resheniya nauchnyh zadach (Up-to-date approaches and technology arrangement of Earth observation data applications aimed to solve scientific tasks), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 5, pp. 21–44.
11. Tolpin V.A., Balashov I.V., Efremov V.Yu., Loupian E.A., Proshin A.A., Uvarov I.A., Flitman E.V. Sozdanie interfeysov dlya raboty s dannymi sovremennyh system distantsionnogo monitoringa (sistema GEOSMIS) (The GEOSMIS system: developing interfaces to operate data in modern remote monitoring systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 4, pp. 93–108.
12. Sharkov E.A. Polyarnyy perenos skrytogo tepla mesomasshtabnymi troposfernymi sistemami: animatsionnyy analiz mikrovolnovyh sputnikovyh dannyh (Latent heat polar transfer by mesoscale tropospheric systems: animation analysis of microwave satellite data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 170–187.
13. Ermakov D.M., Sharkov E.A., Chernushich A.P., Satellite radiothermovision of atmospheric mesoscale processes: case study of tropical cyclones, *ISPRS Archives*, 2015, Vol. 40, No. 7/W3, pp. 179–186.
14. Savorskiy V., Loupian E., Balashov I., Proshin A., Tolpin V., Ermakov D., Chernushich A., Panova O., Kuznetsov O., Vasilyev V., Basic technologies of web services framework for research, discovery, and processing the disparate massive Earth observation data from heterogeneous sources, *ISPRS Archives*, 2014, Vol. 40, No. 4, pp. 223–228.
15. Wimmers A.J., Velden C.S., Seamless advective blending of total precipitable water retrievals from polar-orbiting satellites, *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 2011, Vol. 50. No. 5, pp. 1024–1036.