

# Применение технологий спутникового центра ДВО РАН для мониторинга чрезвычайных ситуаций\*

## ВВЕДЕНИЕ

Дальний Восток России имеет протяженную морскую и сухопутную границу со странами Азиатско-Тихоокеанского региона, который является зоной существенного риска возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) как природного, так и техногенного характера. В качестве наиболее яркого примера можно привести катастрофическое землетрясение в Японии в марте 2011 г. и разрушение АЭС Фукусима-1. Для Дальнего Востока России представляют опасность и другие виды ЧС: тайфуны, лесные пожары, разливы нефтепродуктов, извержения вулканов, вредоносное цветение водорослей и др. Данные со спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) могут покрывать огромную площадь, что делает их практически незаменимыми для мониторинга ЧС. Имеющиеся в Спутниковом центре Дальневосточного отделения (ДВО) РАН технологии обработки данных с метеорологических спутников уже сейчас могут быть использованы для оперативного обнаружения ЧС и их мониторинга.

Спутниковый центр ДВО РАН — Центр коллективного пользования (ЦКП) регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН — функционирует в Институте

автоматики и процессов управления (ИАПУ). Основная деятельность ЦКП спутникового мониторинга ДВО РАН обусловлена географическим положением и заключается в получении данных о состоянии окружающей среды и подстилающей поверхности в режиме реального времени, автоматизации их обработки и создании новых технологий для спутникового мониторинга океана и атмосферы.

В первую очередь это технологии:

- построения всепогодных карт температуры поверхности моря;
- построения профилей влажности и температуры атмосферы;
- расчета полей течений по спутниковым измерениям с автоматическим обнаружением и расчетом параметров вихрей океана;
- расчета макропараметров тайфунов в нижней тропосфере (максимальное значение скорости, радиус зоны максимальных скоростей, дефицит давления в центре, радиусы фиксированных значений скорости);
- оценки биопродуктивности и экологического состояния морей;
- мониторинга ледовой обстановки в дальневосточных морях.

На сегодняшний день созданы средства и методы автоматического приема,

\* Статья подготовлена группой авторов: академик В. А. Левин (руководитель ЦКП Регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН — ЦКП РСМ ОС ДВО РАН), сотрудники Лаборатории спутникового мониторинга ЦКП РСМ ОС ДВО РАН д-р техн. наук А. И. Алексанин (зав. лабораторией, отв. исполнитель ЦКП РСМ ОС ДВО РАН), канд. техн. наук М. Г. Алексанина (с.н.с.), П. В. Бобяк (гл. специалист), С. Е. Дьяков (м.н.с.), А. А. Загуменов (инженер-программист), канд. техн. наук А. С. Еременко (инженер-программист), канд. техн. наук В. Ким (с.н.с.), В. А. Качур (инженер-программист), канд. техн. наук И. В. Недолужко (ст. инженер-программист), В. С. Ерёменко (аспирант ДВФУ), Е. В. Фомин (ведущий инженер)

накопления, распределенной обработки и поставки базовых видов информации, принимаемой со спутников POES NOAA, MTSAT-1R, MTSAT-2, «Метеор-М» №1, Aqua/Terra(MODIS) и альтиметров через сеть Интернет. Реализованы автоматические цепочки обработки данных со спутников серии NOAA (температурные и структурные карты поверхности моря, профили температуры и влажности атмосферы), Aqua, Terra (около 200 параметров морской воды и атмосферы), MTSAT-1R, MTSAT-2 (температура воды, облачности, мониторинг морского льда) на основе пакетов AAPP, SeaDAS, RTTOV, MetOffice-1Dvar и собственных программных разработок [1].

На основе разработанных технологий в 2010–2014 гг. Спутниковым центром ДВО РАН выполнялись следующие работы по обнаружению и мониторингу ЧС:

1. Мониторинг атмосферы и океана в районе АЭС Фукусима-1.
2. Автоматический мониторинг тропических циклонов в западной части Тихого океана.
3. Мониторинг ледовой обстановки в Охотском море, северной части Японского моря.
4. Обеспечение спасательных операций в акваториях северо-западной части Тихого океана данными спутникового зондирования.
5. Мониторинг экологического состояния акваторий Японского моря.

### **МОНИТОРИНГ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА В РАЙОНЕ АЭС ФУКУСИМА-1**

С целью расчета рисков радиационного загрязнения территории России Спутниковым центром ДВО РАН проводился ежедневный мониторинг океана и атмосферы в районе АЭС Фукусима-1. Это потребовало оперативного развертывания и объединения ряда технологий обработки данных с метеорологических спутников Земли [1].

Основные задачи мониторинга:

- оценка путей распространения радиоактивного загрязнения через атмосферу и океан;
- оценка некоторых долговременных последствий, обусловленных радиоактивным заражением прибрежной зоны острова Хонсю.

Для мониторинга распространения радиоактивных загрязнений через атмосферу Спутниковым центром ДВО РАН была организована специальная обработка данных, результаты которой доступны в Интернете в режиме реального времени ([www.satellite.dvo.ru](http://www.satellite.dvo.ru), заголовок «Движение облачности и пара по данным спутника MTSAT») и обновляются один раз в час. Представленные данные позволяют быстро оценить крупномасштабные перемещения атмосферы, условно разбив ее по высоте на два уровня. Канал водяного пара позволяет отслеживать перемещение атмосферных масс на нижних горизонтах тропосферы, ИК-канал — по изображению облачности на верхних горизонтах.

Результаты проводимого мониторинга сравнивались с результатами анализа изменчивости радиационной обстановки на российской территории и непосредственно около АЭС Фукусима-1, а также с европейскими моделями распространения радиации и расчетами Регионального специализированного метеорологического центра в Обнинске. Для этого проводился анализ предсказаний европейских моделей циркуляции атмосферы (EURAD — The European Acid Deposition, <http://www.eurad.uni-koeln.de/> — Университет Кельна) и анализ измерений на территории РФ.

Радиоактивные вещества в океане переносятся течениями. Для прогноза такого распространения необходимо знать положение термических фронтов, вихрей и скорости течений.

В качестве основы для контроля циркуляции океана в районе АЭС Фукусима-1 использовались композиционные карты температуры поверхности океана (ТПО). Карты строились и выкладывались в Интернет в форме фильма об изменчивости ТПО района Фукусимы ([www.satellite.dvo.ru](http://www.satellite.dvo.ru), закладка «Динамика водных масс: движение термических структур на поверхности океана»).

Основным источником данных о температуре морской поверхности были ИК-измерения спутника MTSAT-1R. Для композиции по данным MTSAT-1R расчет ТПО велся по алгоритмам Спутникового центра [2], так как методики расчета Японского метеорологического агентства не удовлетворяют по точности современным требованиям (проект GODAE — Global Ocean Data Assimilation Experiment). Основная особенность расчета композиционной карты ТПО — отказ от процедуры усреднения ТПО за заданный интервал времени, использование медианных оценок. Такие трехдневные карты позволяют сохранять четкие термические фронты и уверенно выделять границы объектов (вихрей и струйных течений) (рис. 1).

Для расчета скоростей поверхностных течений применялся новый метод автоматического расчета, основанный на отслеживании перемещения выбранного участка изображения воды во времени [3]. Перемещение находится по максимуму кросс-корреляции участков на разных изображениях. Особенность применяемого метода — наличие новой процедуры априорной оценки точности расчета величины перемещения и отбраковки ошибочных перемещений. Это позволяет отказаться от обычно используемого сглаживания поля скоростей, построенного классическим кросс-корреляционным методом (рис. 2).

Вихри синоптического масштаба могут переносить зараженные воды, как в контейнере. Отслеживание их перемещения явля-

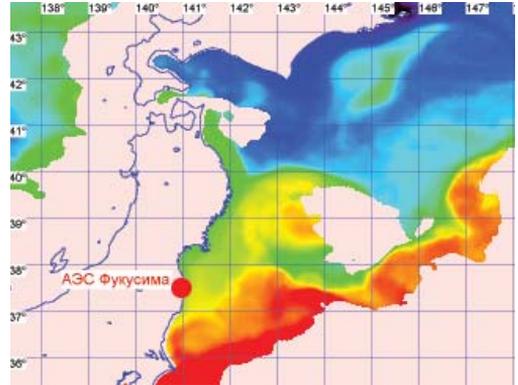


Рис. 1. Трехдневные композиции ТПО по ИК-измерениям спутника MTSAT-1R

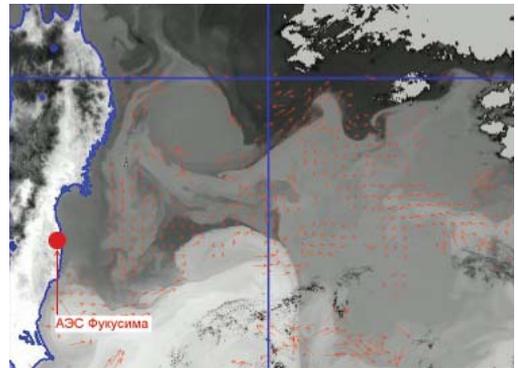


Рис. 2. Скорости поверхностных течений за 14 апреля 2011 г. (новый метод максимальных кросс-корреляций) и оценки линий тона на поверхности в районе АЭС Фукусима-1

ется актуальной задачей. Для автоматического слежения за вихрями в оперативную работу Спутникового центра ДВО РАН был введен созданный метод автоматического поиска и выделения вихрей с расчетом их геометрических параметров и отслеживанием на последовательности изображений [5].

На основании проведенного спутникового мониторинга был сделан вывод, что вероятность появления на Дальнем Востоке РФ загрязненных вод со значительными величинами радиоактивности фактически была равна нулю, так как наблюдается

быстрое падение концентрации радиоактивных веществ при их переносе течениями.

### **АВТОМАТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ**

Оперативное получение информации о тропических циклонах (ТЦ) является необходимым условием минимизации сопутствующих им рисков. Наиболее важными данными для моделей прогноза тропических циклонов являются их текущее местоположение и основные термодинамические параметры. В связи с этим оперативное получение информации играет ключевую роль при прогнозе ТЦ. Существующие на настоящий момент технологии мониторинга ТЦ являются полуавтоматическими, т. е. требуют участия оператора. В Спутниковом центре ИАПУ ДВО РАН разработана и внедрена в оперативную работу технология автоматического мониторинга ТЦ с использованием данных метеорологических спутников Земли (геостационарных серии MTSAT и полярно-орбитальных серии NOAA). Данная технология позволяет получать информацию о местоположении ТЦ с частотой до двух раз в час [6].

Входными данными для работы системы автоматического построения траекторий ТЦ являются ИК-изображения в проекциях с геостационарного спутника MTSAT-1R. ИК-изображения принимаются в оперативном режиме в ЦКП Спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН и охватывают следующий регион: координаты левого нижнего угла по широте —  $0^{\circ}00'00''$  с.ш. и долготе —  $110^{\circ}00'00''$  в.д.; размер по широте и долготе —  $70^{\circ}$ ; размер пикселя изображения в надире составляет около 3,7 км.

Одним из важных аспектов решения задачи мониторинга ТЦ является организация оперативной поставки информации заинтересованным потребителям. Широкую популярность получили геоинформационные

системы (ГИС), основанные на стандартах, разработанных Открытым геопространственным консорциумом (OGC). В Спутниковом центре ДВО РАН выполнена работа по организации автоматического построения траекторий ТЦ и их поставки с применением стандарта OGC WFS (Web Feature Service).

Разработанная система автоматического мониторинга ТЦ с использованием оригинальных методов автоматического поиска позволяет в оперативном режиме обнаруживать, прослеживать и рассчитывать основные геометрические параметры ТЦ на основе комплексного анализа данных дистанционного зондирования (рис. 3). Система интегрирована в структуру распределенной системы обработки ЦКП «Регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН».

### **МОНИТОРИНГ ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ И СПАСАТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ**

Спутниковый центр ДВО РАН в течение нескольких лет на регулярной основе ведет мониторинг ледовой обстановки в Охотском море. Для обеспечения информационной поддержки ледовой проводки судов к порту Магадан для администрации морского порта Магадан в период зимней навигации с 1 января по 31 мая оперативно через FTP-сервер поставляются продукты обработки спутниковых данных. Например, RGB-изображения в меркаторской проекции по данным радиометра MODIS/Terra-Aqua (рис. 4). Решаются две основные задачи информационного обеспечения зимней навигации: получение и мониторинг кромки льда, получение изображений структуры льда (трещины, разводья) и расчет дрейфа льда. Эта информация необходима для прокладки оптимального маршрута ледокола и судов. Все данные представляются в меркаторской проекции с пространственным разрешением 250 м.

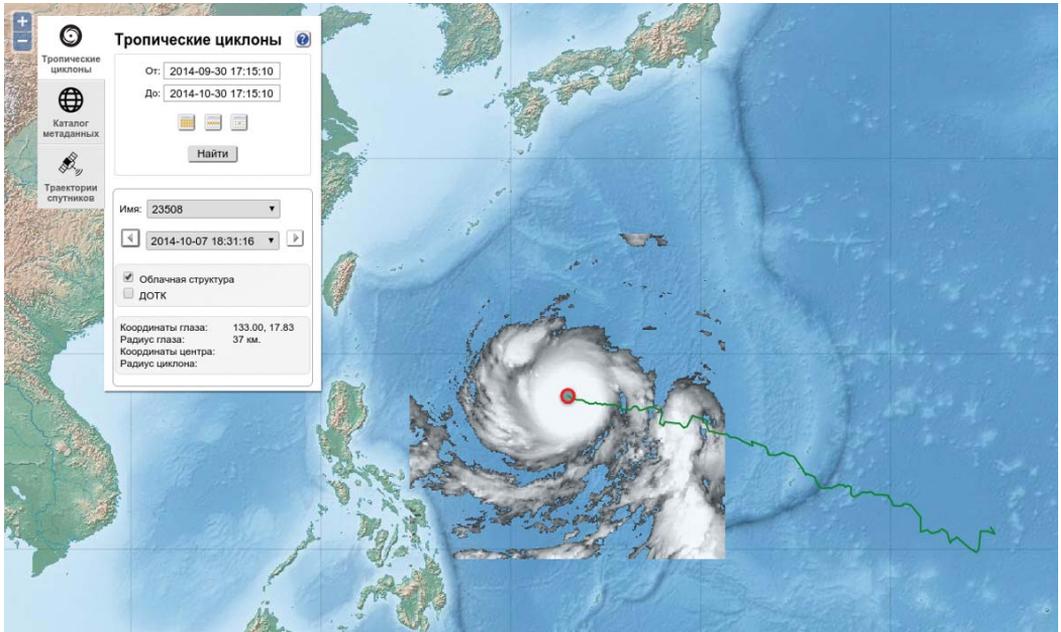


Рис. 3. Веб-интерфейс для работы с данными о траекториях тайфунов на примере супертайфуна «Вонгфонг» на момент времени 07.10.2014 г. 18:31:16 UTC



Рис. 4. RGB-изображение морского льда на подходе к порту Магадан в меркаторской проекции по данным радиометра MODIS/Terra-Aqua

Зимой 2010–2011 гг. Спутниковый центр ДВО РАН принимал участие в поиске пропавших в Охотском море судов [7]. 6 декабря 2010 г. в море унесло баржу. В Сахалинском заливе 30–31 декабря 2010 г. в ледовый плен попало сразу десять судов. В Татарском проливе у Сахалина 7 января 2011 г. потерялась рыболовецкая шхуна «Партнер» с экипажем из 14 человек. 11 января 2011 г. в юго-восточной части Сахалина унесло буксир «Прогресс-2». Западнее Камчатки 16 февраля 2011 г. потерялся траулер «Аметист» вместе с экипажем из 24 человек.

Практика показывает, что с момента последней связи с пропавшими судами и до начала их поиска на основе спутниковой информации (обычно после неудачи оперативного поиска традиционными средствами) проходит 5–10 дней. Чтобы осуществить достаточно дорогую высокоточную спутниковую съемку на район поиска,

необходимо сделать прогноз возможного местоположения судна. Для этого требуется знать скорости поверхностных течений, силу и направление ветра, а также парусность судна. Модельные расчеты ветра и течений не всегда совпадают с реальными значениями. Поэтому необходимо использовать весь комплекс информации — многолетние наблюдения за течениями, редкие прямые измерения, прогнозные оценки ветра и непосредственные расчеты дрейфа по временной последовательности спутниковых изображений.

### **МОНИТОРИНГ ВРЕДНОСНОГО ЦВЕТЕНИЯ ВОДОРΟΣЛЕЙ**

Среди биотических компонентов прибрежных экосистем фитопланктон — один из наиболее чувствительных элементов, реагирующих на изменения природной среды. При этом многие виды фитопланктона в процессе своей жизнедеятельности производят опасные токсины. Массовое цветение этих видов называется вредоносным цветением водорослей (ВЦВ).

ВЦВ представляет опасность для жизни и здоровья людей, снижает продуктивность марикультурных хозяйств, наносит ущерб туризму и рекреационным системам, снижает биоразнообразие и разрушает морские экосистемы.

Таким образом, важной является задача определения вида цветущего фитопланктона по спутниковым данным, а также установление биомассы и акватории массового цветения фитопланктона.

Большое разнообразие морских микроводорослей (более 5000 видов), близость оптических свойств некоторых видов и наличие шумов различной природы в измерениях цветности делают маловероятным решение задачи определения видового состава в «общей» постановке. Поэтому такую задачу можно решить на основе широкого

использования региональных особенностей, в первую очередь на основе знаний о видовом составе водорослей, времени, интенсивности и особенностях их цветения.

Как показывают исследования в Дальневосточном регионе, в произвольно выбранной пробе воды биомасса лидирующей водоросли составляет около 60%, а биомасса четырех лидирующих водорослей — около 90%. При этом наблюдается значительная пространственно-временная устойчивость видового состава, что снимает принципиальные ограничения на решение задачи распознавания вида водоросли [8].

Современные спутниковые биооптические алгоритмы позволяют не только исследовать пространственное распределение этих параметров, отражающее содержание фитопланктона в морской воде, но и оценивать спектральные плотности поглощения света, рассеивания света и флуоресценции клетками фитопланктона, что открывает принципиальную возможность определения доминирующего вида микроводорослей в морской воде.

Разработанная в Спутниковом центре ДВО РАН вычислительная система автоматического расчета характеристик атмосферы и океана по спутниковым данным позволяет практически в режиме реального времени (от 15 мин. до нескольких часов) поставлять карты более чем для 200 видов геофизических параметров океана и атмосферы.

В настоящий момент ведется оперативный мониторинг биооптических характеристик акватории, а также разработка алгоритма автоматического обнаружения ВЦВ по спутниковым данным (рис. 5).

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Разработанные технологии автоматического получения по спутниковым изображениям температуры поверхности океана, скоростей поверхностных течений,

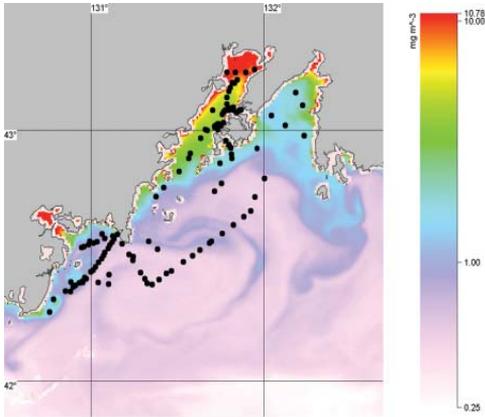


Рис. 5. Концентрация хлорофилла-А в заливе Петра Великого 31 августа 2009 г. и точки измерения видового состава фитопланктона

динамических параметров синоптических вихрей, параметров тропических циклонов, параметров излучения водной поверхности позволили повысить оперативность и достоверность мониторинга таких опасных природных явлений, как тайфуны, распространение загрязнений, вредоносное цветение водорослей, а также обеспечить проводку судов в тяжелых ледовых условиях.

Все эти технологии внедрены в практику работы ЦКП «Региональный спутниковый мониторинг окружающей среды ДВО РАН» и используются для оперативного мониторинга состояния прибрежных акваторий.

Работа поддержана программой фундаментальных исследований Президиума РАН «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левин В. А., Алексанин А. И., Алексанина М. Г., Бабяк П. В., Громов А. В., Дьяков С. Е., Загуменнов А. А., Ким В., Стопкин М. В., Фомин Е. В. Технологии спутникового

мониторинга атмосферы и поверхности океана района АЭС Фукусима // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. –2012. Т. 9. –№1. –С. 187–196.

2. Алексанин А. И., Дьяков С. Е. Кросс-калибровка ИК-каналов спутника MTSAT-1R и алгоритм расчета температуры поверхности моря // *Исследование Земли из космоса*. –2010. –№ 5. –С. 3–10.

3. Алексанин А. И., Алексанина М. Г., Карнацкий А. Ю. Автоматический расчет скоростей поверхностных течений океана по последовательности спутниковых изображений // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. –2013. Т. 10. –№ 2. –С. 131–142.

4. Emery W. J., A. C. Thomas, M. J. Collins, W. R. Crawford, and D. L. Mackas. An objective method for computing advective surface velocities from sequential infrared satellite images // *J. Geophys. Res.*, –1986. Vol. 91. No. –С11. P. 12865–12878.

5. Алексанин А. И., Загуменнов А. А. Проблемы автоматического обнаружения вихрей океана по спутниковым ИК-изображениям // *Исследование Земли из космоса*. –2011. –№ 3. –С.65–74.

6. Еременко А. С. Опытная эксплуатация системы автоматического мониторинга тропических циклонов // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. –2013. Т.10. –№1. –С. 320–327.

7. В. А. Левин, А. И. Алексанин, М. Г. Алексанина, П. В. Бабяк, А. В. Громов, Ю. В. Наумкин, Е. В. Фомин, М. В. Стопкин. Спутниковый мониторинг ледовой обстановки в Охотском море // *Земля из космоса — наиболее эффективные решения*. –2011. Вып. 10. –С.44–49.

8. А. И. Алексанин, В. А. Качур, В. Ким, Т. Ю. Орлова, А. Н. Павлов, П. А. Салюк, И. В. Стопкин, О. Г. Шевченко. К определению видового состава фитопланктона по спутниковым данным. Биологическая безопасность дальневосточных морей России. –2013. Владивосток: Дальнаука, –С. 412–448.